

## Stale nierdzewne w instalacjach oczyszczania ścieków



## Euro Inox

Euro Inox jest stowarzyszeniem zajmującym się rozwojem europejskiego rynku stali nierdzewnych.

Członkami Euro Inox są następujące organizacje i instytucje:

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

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

ISBN 978-2-87997-044-8

978-2-87997-040-0

wersja angielska

978-2-87997-043-1

wersja niemiecka

### **Członkowie zwyczajni**

#### **Acerinox**

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

#### **Aperam**

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

#### **Outokumpu**

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

#### **ThyssenKrupp Acciai Speciali Terni**

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

#### **ThyssenKrupp Nirosta**

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

### **Członkowie stowarzyszeni**

#### **Acroni**

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

#### **British Stainless Steel Association (BSSA)**

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

#### **Cedinox**

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

#### **Centro Inox**

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

#### **Informationsstelle Edelstahl Rostfrei**

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

#### **International Chromium Development Association (ICDA)**

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

#### **International Molybdenum Association (IMOA)**

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

#### **Nickel Institute**

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

#### **Paslanmaz Çelik Derneği (PASDER)**

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

#### **Polska Unia Dystrybutorów Stali (PUDS)**

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

#### **SWISS INOX**

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

Stale nierdzewne w instalacjach oczyszczania ścieków  
Wydanie pierwsze 2011  
(Seria: Materiały i zastosowania, zeszyt 13)  
© Euro Inox 2011

#### Wydawca

Euro Inox  
Diamant Building, Bd. A. Reyers 80  
1030 Bruksela, Belgia  
Tel.: +32 2 706 82 67  
Fax: +32 2 706 82 69  
E-mail: info@euro-inox.org  
Internet: www.euro-inox.org

#### Autor

Ulrich Heubner, Werdohl (D)

#### Tłumaczenie

Zbigniew Brytan, CTP, Warszawa (PL)

#### Podziękowania

Euro Inox dziękuje Nickel Institute za wkład w przygotowanie i krytyczne uwagi podczas opracowania publikacji.

#### Zdjęcia

Zdjęcia na okładce  
CDA La Rochelle (F)

#### Zastrzeżenie

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

## Spis treści

Wstęp	2
1 Definicja stali nierdzewnych, ogólny przegląd i normy	3
2 Wymagania dla stali nierdzewnych w systemach oczyszczania ścieków	6
3 Odporność korozyjna w wodzie	7
3.1 Korozja ogólna	7
3.2 Wpływ składu chemicznego stali	8
3.3 Wpływ składu chemicznego wody	9
3.3.1 Jony chlorkowe	9
3.3.2 Inne związki rozpuszczone lub dodawane do wody	11
3.4 Konstrukcja instalacji	12
3.4.1 Projekt	12
3.4.2 Obróbka powierzchni	14
3.5 Warunki eksploatacji	16
4 Odporność na korozję atmosferyczną	18
5 Odporność korozyjna w glebie	19
6 Właściwości mechaniczne	20
7 Zastosowanie stali nierdzewnej w instalacjach oczyszczania ścieków	23
8 Korzyści ekonomiczne	24
8.1 Analiza kosztów eksploatacji	24
8.2 Dodatkowe aspekty obniżania kosztów	25

#### Uwagi o prawie autorskim

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

## Wstęp

Prawidłowo dobrane i obrabione stale nierdzewne mogą zapewnić niskie koszty konserwacji i długotrwałe rozwiązania konstrukcyjne dla instalacji oczyszczania ścieków. Ponadto w pełni podlegają recyklingowi. Mając na uwadze, że są one znane od wielu lat z doskonałej odporności korozyjnej to dopiero niedawno zwrócono szczególną uwagę na ich własności mechaniczne. Projekt dostosowany dla stali nierdzewnych umożliwia użycie cieńszych grubości ścianek i w efekcie zmniejszenie wagi oraz kosztów konstrukcji. Dalszy wzrost wytrzymałości można uzyskać przez odkształcenie na zimno stali austenitycznych, co umożliwia dodatkowe oszczędności. Austenityczne stale nierdzewne są łatwo obrabialne bezpośrednio na miejscu budowy, dzięki wysokiej plastyczności mogą być łatwo kształtowane. Jeżeli dodatkowo pod uwagę brane są koszty eksploatacji to zastosowanie stali nierdzewnej staje się jeszcze bardziej atrakcyjne.

Zwykle do wytwarzania rur do transportu wody i budowy konstrukcji podwodnych stosuje się stal nierdzewną 1.4404 (316L), a 1.4307 (304L) jest wybierana dla wielu zastosowań powyżej linii wody. Taki wybór opiera się zarówno na odporności korozyjnej jak i analizie kosztów. Gatunek nierdzewnej stali duplex (ferrytyczno-austenitycznej) 1.4462 w stanie przesyconym oferuje połączenie wysokiej odporności na korozję i wytrzymałości. W konsekwencji można go stosować zarówno nad jak i pod powierzchnią wody zwłaszcza, gdy duże elementy muszą być przenoszone i lekka konstrukcja jest zaletą, np. ramiona pomostów obrotowych w osadnikach.



## 1 Definicja stali nierdzewnych, ogólny przegląd i normy



Widok na komorę napowietrzania w oczyszczalni ścieków  
Zdjęcie:  
CDA La Rochelle (F)

Spośród licznej grupy dostępnych stali nierdzewnych w tabelicy 1 przedstawiono materiały zwykle stosowane w instalacjach oczyszczania ścieków. Grupy 1 i 2 obejmują stale austenityczne typu 304 i 316, które zawierają średnio 18 % chromu (Cr) i 10 % niklu (Ni) i w przypadku stali typu 316 od 2,0 % do 2,5 % molibdenu (Mo). Odporność korozyjna tych stali nierdzewnych jest wynikiem stężenia głównych pierwiastków stopowych. Stale mogą również zawierać niewielkie ilości węgla. Jeżeli węgiel nie jest związany z pierwiastkami stabilizującymi, np. tytanem

to może spowodować korozję międzykryształiczną po spawaniu w grubszych elementach. Dlatego też konwencjonalne gatunki stali 1.4541 i 1.4571 zawierają dodatek tytanu i są określane jako „stabilizowane”. Jednak nowoczesne procesy produkcji stali umożliwiają ograniczenie stężenia węgla do bardzo niskiego poziomu i w ten sposób uniknięcie konieczności stabilizowania. Materiały o niskim stężeniu węgla są dostępne w gatunkach 1.4306, 1.4307 i 1.4404. Pomimo to, wciąż są popularne bardziej tradycyjne gatunki takie jak 1.4301 i 1.4571.

Obecne normy europejskie [1] zawierają o wiele więcej gatunków, a konieczność zmniejszenia zapasów i postępująca globalizacja przyniesie w przyszłości preferencyjne lub wyłączne stosowanie gatunków 1.4307 i 1.4404. Dzieje się tak głównie dlatego, że są one odpowiednikami preferowanych w skali międzynarodowej gatunków typu 304L i 316L i są szeroko dostępne oraz proste w spawaniu.

Oprócz gatunków wymienionych w tabeli 1 istnieje wiele wysokostopowych stali nierdzewnych (patrz tabela 2), które także można zastosować w instalacjach oczyszczania ścieków, wszędzie tam gdzie przewidziane są agresywne warunki pracy. Są one również wymienione w [1]. Szczególną uwagę należy zwrócić na stal 1.4462. Ten dwufazowy, ferrytyczno-austeniczny gatunek stali nierdzewnej typu duplex z 22 % Cr jest szczególnie interesujący pod względem zwiększonej odporności na korozję oraz wysokiej granicy plastyczności.

**Tablica 1: Stale nierdzewne dla instalacji oczyszczania ścieków**

Grupa (Typ)	Oznaczenie zgodne z EN 10088		Skład chemiczny, % masy				
	Znak	Numer	Cr	Ni	Mo	C max	Inne
1 (304)	X5CrNi18-10	1.4301	17,5–19,5	8,0–10,5		0,07	max. 0,11 N
	X2CrNi18-9	1.4307	17,5–19,5	8,0–10,5		0,03	
	X2CrNi19-11	1.4306	18,0–20,0	10,0–12,0		0,03	
	X6CrNiTi18-10	1.4541	17,0–19,0	9,0–12,0		0,08	Ti: 5xC–0,70
2 (316)	X5CrNiMo17-12-2	1.4401	16,5–18,5	10,0–13,0	2,0–2,5	0,07	max. 0,11 N
	X2CrNiMo17-12-2	1.4404		10,0–13,0		0,03	
	X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571		10,5–13,5		0,08	Ti: 5xC–0,70

**Tablica 2: Stale nierdzewne dla instalacji oczyszczania ścieków o specjalnych wymaganiach**

Gupa	Oznaczenie zgodne z EN 10088		Skład chemiczny, % masy				
	Znak	Numer	Cr	Ni	Mo	C max	Inne
3	X2CrNiMo18-14-3	1.4435	17,0–19,0	12,5–15,0	2,5–3,0	0,03	max. 0,11 N
4	X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	21,0–23,0	4,5–6,5	2,5–3,5	0,03	0,10–0,22 N
	X2CrNiMo17-13-5	1.4439	16,5–18,5	12,5–14,5	4,0–5,0	0,03	0,12–0,22 N
5	X1CrNiMoCuN20-18-7	1.4547	19,5–20,5	17,5–18,5	6,0–7,0	0,02	0,18–0,25 N 0,5–1,0 Cu
	X1NiCrMoCuN25-20-7	1.4529	19,0–21,0	24,0–26,0	6,0–7,0	0,02	0,15–0,25 N 0,5–1,5 Cu

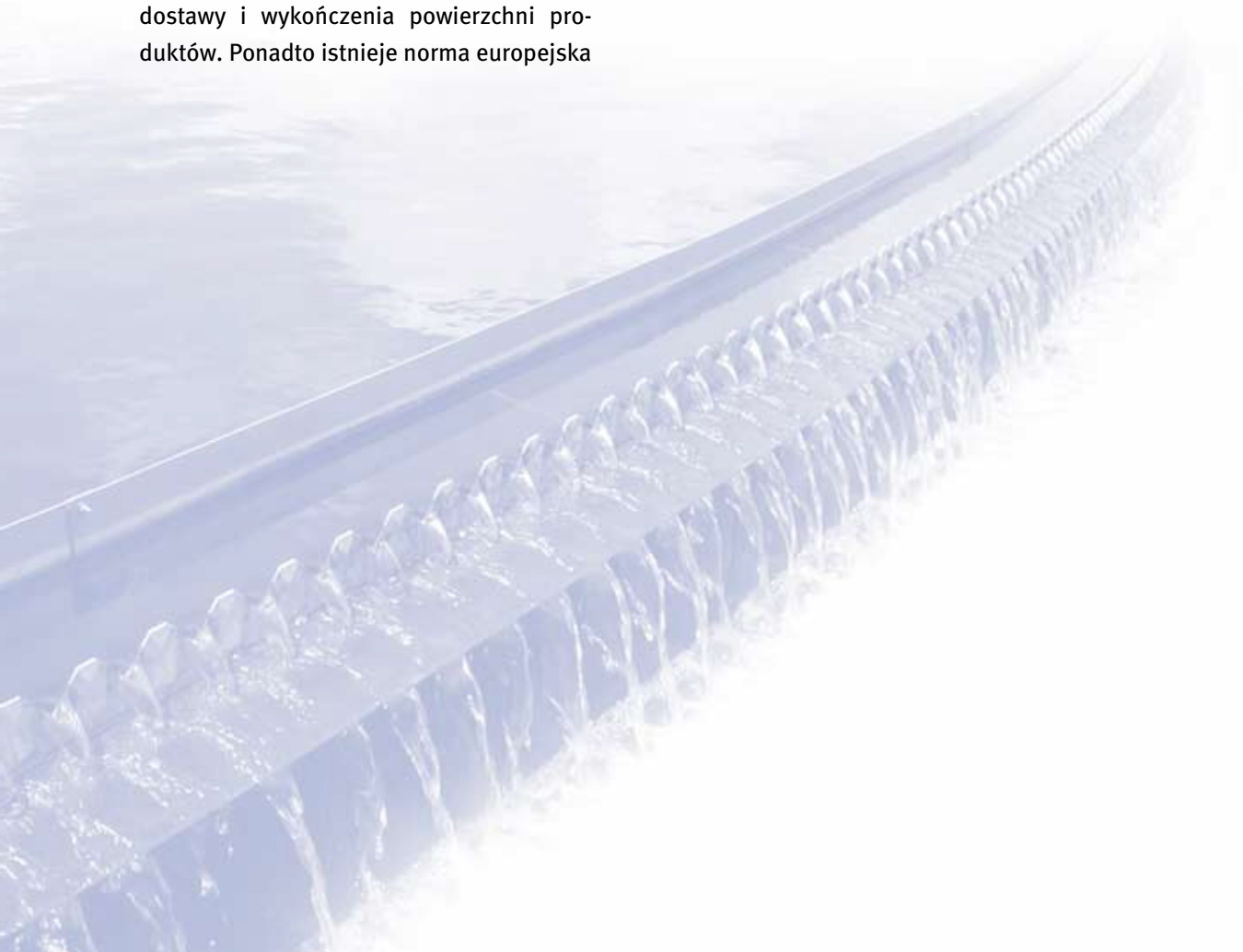




*Widok oczyszczalni ścieków z instalacją, gdzie rury i barierki wykonano ze stali nierdzewnej  
Zdjęcie:  
Cedinox, Madryt (E)*

Tablice 1 i 2 przedstawiają skład chemiczny stali zgodnie z częścią 1 normy europejskiej EN 10088 [2], część 2 tej normy określa warunki techniczne dostawy blach i taśm ogólnego przeznaczenia, a część 3 półwyrobów, prętów, walcówki, drutu i kształtowników. Normy te opisują również różne warunki dostawy i wykończenia powierzchni produktów. Ponadto istnieje norma europejska

EN 10312 określająca rury ze szwem ze stali nierdzewnej do transportu wody i innych płynów wodnych [1] i norma europejska EN 10217-7 dla rur ze szwem do zastosowań ciśnieniowych [3]. Obowiązują także liczne normy krajowe.



## 2 Wymagania dla stali nierdzewnych w systemach oczyszczania ścieków

Odporność korozyjna na ścieki i produkty stosowane do ich oczyszczania jest podstawowym wymogiem, który muszą spełniać stale nierdzewne przeznaczone do kontaktu ze ściekami. Jako pierwsze należy uwzględnić substancje rozpuszczone w dopływających do instalacji ściekach, głównie chlorki, a następnie wszystkie dodatki wprowadzane w trakcie oczyszczania ścieków w celu ich utlenienia i flokulacji. Chlor, który może być dodawany jako środek dezynfekujący jest także silnym środkiem utleniającym. Pod uwagę należy brać także odporność korozyjną na otaczającą atmosferę - w tym odporność na produkty gazowe, które mogą powstawać podczas oczyszczania ścieków.

Kompatybilność z innymi materiałami budowlanymi może też wymagać uwagi, zarówno jak odporność na otaczające gleby dla zakopanych konstrukcji. Występujące obciążenia mechaniczne mogą być nie tylko statyczne, ale również dynamiczne, np. w rurach do napowietrzania. W końcu, może być wymagana odporność na erozję ze względu na cząstki stałe przenoszone przez wodę.

Zbiorniki ze stali nierdzewnej i rurociągi w oczyszczalni ścieków  
Zdjęcie: Hans Huber, Berching (D)





## 3 Odporność korozyjna w wodzie

### 3.1 Korozja ogólna

Odporność na korozję - najważniejsze kryterium dla stali nierdzewnych - nie jest własnością materiału, lecz wynika z interakcji między materiałem i medium otaczającym jego powierzchnię. Oprócz dokładnej analizy korozyjnego charakteru wody i prawidłowego doboru materiału, należy rozpatrywać całość procesów produkcji, wytwarzania i łączenia pod względem wpływu na jakość powierzchni. Mimo to ogólną odporność korozyjną stali nierdzewnych [4] w ściekach można podsumować w następujący sposób:



- Stale nierdzewne wymienione w tabelicy 1 są odporne na korozję ogólną w wodzie pitnej i w wodach o podobnym składzie chemicznym, wodach powierzchniowych, w tym w wodzie morskiej, a zatem zwykle też w ściekach. Oprócz możliwości osadzania się zanieczyszczeń, stal nierdzewna podczas eksploatacji zachowuje metaliczny jasny wygląd powierzchni. Odporność na korozję ogólną nie jest osłabiona przez dodatek kwasów do wartości pH około 4, a zatem nie stanowi problemu dla użytkowania stali nierdzewnych w kontakcie z większością wód [5].
- Korozji międzykrystalicznej można uniknąć, jeżeli podczas spawania elementów o dużym przekroju, większym niż 6 mm grubości lub średnicy 20 mm [6], zastosuje się stal nierdzewną o stężeniu węgla maks. 0,03 %, np. 1.4307, 1.4404 lub gatunki stabilizowane tytanem np. 1.4541 i 1.4571.
- Korozja naprężeniowa austenitycznych stali nierdzewnych w środowisku wody zawierającej chlorki generalnie występuje tylko powyżej temperatury około 50–60 °C [7]. Gatunki typu duplex jak np. 1.4462 są jeszcze mniej wrażliwe na ten typ korozji. O ile zapewniona jest właściwa obróbka [8], czyli brak uwrażliwienia i ekstremalnego odkształcenia plastycznego na zimno [7], pękanie naprężeniowe stali nierdzewnych zwykle nie dotyczy instalacji oczyszczania ścieków.

*Widok na dwie przeciwprądowe kraty rzadkie ze stali nierdzewnej  
Zdjęcie: Werkstoff + Funktion Grimmel Wasser-technik, Ober-Mörlen (D)*



Nieizolowane i malowane powierzchnie ze stali nierdzewnej stosowane w Lavis (I)

Zdjęcie: Centro Inox, Mediolan (I)

- W przeciwieństwie do wyżej wymienionych typów korozji istnieją dwie formy ataku korozyjnego, które wymagają szczególnej uwagi przy stosowaniu stali nierdzewnych w środowisku wody: korozja wżerowa i szczelinowa. Dla obu typów korozji jednym z kluczowych czynników jest stężenie chlorków w wodzie, co musi być zrównoważone przez odpowiedni dobór gatunku stali nierdzewnej oraz inne środki zaradcze. Dla lepszego zrozumienia korozji wżerowej i szczelinowej omówiono je bardziej szczegółowo w dalszej części publikacji.
- Korozja mikrobiologiczna, która występuje głównie wewnątrz lub w pobliżu spoin rzadko pojawia się w instalacjach oczyszczania ścieków [9]. Najważniejszym czynnikiem w zapobieganiu tej korozji jest staranne usunięcie z powierzchni przebarwień po spawaniu [9]. Najbardziej skuteczną metodą jest trawienie zanurzeniowe stali, chociaż są dostępne także inne sposoby [10].

### 3.2 Wpływ składu chemicznego stali

Odporność stali nierdzewnych na korozję wżerową i szczelinową w wodach zawierających chlorki jest zależna od ich składu chemicznego i zwiększa się wraz z tzw. równoważnikiem odporności na korozję wżerową:  $PREN = \% Cr + 3,3 \times \% Mo + X \times \% N$ . Ta zależność obowiązuje dla jednorodnych materiałów w stanie dostawy. Jak widać z wzoru największy wpływ ma molibden, ponieważ ma współczynnik 3,3. Azot jest również ważny, dla stali duplex takich jak 1.4462 zwykle przyjmuje się dla niego współczynnik  $X=16$  oraz 30 dla bardzo wysoko stopowych stali nierdzewnych [7]. Azot ma niewielki wpływ na stale z grupy 1 i 2 (patrz tablica 1). Bazując na tym sformułowano ogólne wytyczne dla optymalnego doboru stali nierdzewnych przeznaczonych do pracy w środowisku wody zawierającej chlorki [5].

- Stale nierdzewne z grupy 1 (patrz tablica 1) nadają się do użytku w wodzie pitnej i przemysłowej z umiarkowanym stężeniem chlorków. Stale nierdzewne z grupy 2 są odpowiednie do zastosowania w wodzie pitnej i przemysłowej o podwyższonym stężeniu chlorków, a stale z grupy 3 nadają się do wód przemysłowych i chłodzących o stosunkowo wysokim stężeniu chlorków. Do użytku w wodzie słonawej (brakicznej) i morskiej należy wybierać stale z grupy 4 i 5. Dodatkowe wyjaśnienia podano w pkt. 3.3.1.

- Czasem uważa się [11], że gatunki stabilizowane tytanem 1.4541 i 1.4571 wykazują nieco niższą odporność na korozję wżerową w porównaniu do innych gatunków w obrębie tej samej grupy. Potwierdzeniem są publikacje w literaturze fachowej [12, 13], które stwierdzają, że obecność tytanu w stali nierdzewnej może zwiększyć prawdopodobieństwo korozji wżerowej.
- Gatunki maszynowe o wysokim stężeniu siarki, np. gatunek 1.4305 nie nadają się do trwałego kontaktu z wodą, ponieważ w ich strukturze występują wtrącenia siarczków, które prowadzą do zmniejszenia odporności na korozję wżerową.



Instalacja rurociągów pod piaskownikami w oczyszczalni ścieków w Sztokholmie (S)  
Zdjęcie: Outokumpu, Avesta (S)

### 3.3 Wpływ składu chemicznego wody

#### 3.3.1 Jony chlorkowe

Jak już wspomniano w punkcie 3.2, podczas doboru stali nierdzewnej do użytku w środowisku wody, a w tym także w ściekach najważniejszym czynnikiem jest stężenie chlorków ( $\text{Cl}^-$ ) w wodzie. Ze względu na wiele innych czynników wpływających na wybór stali, brak jest precyzyjnej definicji określeń: „umiarkowane”, „podwyższone” stosowanych w pracy [5] do opisu stężenia chlorków. Dopuszczalna górna granica stężenia zależy od pH, temperatury i obecności innych związków utleniających oraz innych substancji rozpuszczonych w wodzie, takich jak azotany, siarczany, itp. Te ostatnie mogą działać jak inhibitory, a korzystny wpływ tych anionów ma największe znaczenie dla grup  $\text{OH}^-$  i zmniejsza się w kolejności dla  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{ClO}_4^-$  [14].

Graniczne stężenia chlorków podawane w literaturze np. [15], nie mogą być stosowane zbyt dosłownie. Graniczne stężenia podawane dla czystej wody nie mogą być stosowane dla wód zanieczyszczonych. Generalnie ze względu na obecność innych anionów, dopuszczalne graniczne stężenie chlorków w pitnej i świeżej wodzie będzie znacznie wyższe niż w wodzie czystej. Graniczna temperatura w większości wód jest zwykle niższa niż przy wyższych stężeniach chlorków, a w przypadku korozji szczelinowej sama geometria szczeliny odgrywa także ważną rolę. Ciasne szczeliny są krytyczne i mogą występować między metalami i tworzywami sztucznymi, pod osadami naniesionymi z zewnątrz przez wodę lub jako depozyty produktów korozji.



Wybór materiału na rury umożliwia obniżenie kosztów budowy  
Zdjęcie: H. Butting, Knesebeck (D)

Kilkadziesiąt lat praktyki [14] ze stalami nierdzewnymi typu 304 (grupa 1 w tablicy 1) wykazały, że nadają się one do pracy w wodzie zawierającej stężenie chlorków poniżej 200 mg/l. Stale typu 304 są minimalnie zadowalające do użytku przy stężeniu chlorków na poziomie od 200 mg/l do 1000 mg/l, a ich udane zastosowanie będzie zależać od innych czynników, takich jak wysokie stężenie innych anionów (patrz wyżej), charakter występujących szczelin, itd., oraz możliwość akceptacji pewnego stopnia korozji szczelinowej w danym zastosowaniu [16]. Stale nierdzewne z grupy 2 w tablicy 1 (typu 316) są preferowane do krytycznych zastosowań,

w których stężenie chlorków przekracza 200 mg/l, a maksymalny limit wynosi ok. 1000 mg/l [16] i występują inne niekorzystne czynniki takie jak niskie stężenie siarczanów i ciasne szczeliny [14]. W 1990 r. [17] i w latach późniejszych [18] wydano deklaracje stwierdzającą, że stale nierdzewne z grupy 1 (typu 304) są odporne na korozję szczelinową poniżej stężenia chlorków ok. 200 mg/l, a korozja szczelinowa stali typu 304/304L jest rzadko spotykana w wodach słodkich - które na ogół zawierają 20–100 mg/l chlorków, podczas gdy stale typu 316 są odporne poniżej stężenia chlorków ok. 1000 mg/l. Ostatnie doniesienia z publikacji związanych z oczyszczaniem ścieków [9] opowiadają się za tym, że stal typ 1.4404 (316L) w środowisku, gdzie stężenie chlorków przekracza 200 mg/l jest bardziej preferowana od stali 1.4307 (304L). Praktyczne doświadczenia z wodą pitną [19] wykazały, że stale typu 304 można stosować w wodzie pitnej o stężeniu chlorków do ok. 200 mg/l. Zgodnie z normą europejską EN 12502-4 [20] ferrytyczne i austenityczne stale nierdzewne bez molibdenu wykazują wysokie prawdopodobieństwo korozji wżerowej w zimnej wodzie o stężeniu chlorków powyżej ok. 6 mmol/l (200 mg/l), podczas gdy w cieplej wodzie limit ten zmniejsza się do ok. 1,5 mmol/l (50 mg/l).



W stalach nierdzewnych bez dodatku molibdenu korozja szczelinowa może wystąpić w zimnej wodzie o stężeniu chlorków zdecydowanie niższym niż 200 mg/l [20]. Aby wystąpiła korozja szczelinowa same szczeliny muszą być ciasne i powstać, jako wynik projektu lub pod osadami w trakcie eksploatacji. Jako zasadę przyjmuje się, że szczeliny o szerokości większej od 0,5 mm uważa się za bezpieczne [20], ale równie ważna jest głębokość szczeliny. Czynnikiem decydującym, który określa ryzyko korozji szczelinowej jest użyta metoda łączenia. Zastosowanie złączy włączanych dla stali nierdzewnych z grupy 1 w tablicy 1 (typu 304) nie zapewnia całkowitej odporności na korozję szczelinową w zakresie stężeń chlorków dozwolonych w wodzie pitnej przez dyrektywę 98/83/WE tj. do 250 mg/l [5]. W tym przypadku konieczne jest użycie stali z grupy 2 w tablicy 1 (typu 316), dla których górna granica stężenia chlorków wynosi 500 mg/l dla instalacji wody pitnej [5].

### 3.3.2 Inne związki rozpuszczone lub dodawane do wody

Oprócz chlorków są także inne substancje, które mogą mieć wpływ na korozyjność wody. Szczególną uwagę należy zwrócić na obecność halogenków innych niż chlorki, takich jak bromki lub jodki. Innym ważnym czynnikiem jest udział środków utleniających, ponieważ ryzyko korozji wżerowej rośnie wraz ze wzrostem siły utleniającej wody. Chlor jest silnym środkiem utleniającym. Stale nierdzewne są generalnie odporne na chlor w stężeniu normalnie występującym w oczyszczalniach ścieków [9]. Stężenie chloru 2 mg/l w chlorowanej słodkiej wodzie nie powoduje korozji stali nierdzewnych typu 304 i 316. Ciągłe oddziaływanie na stężenie 3–5 mg/l chloru w chlorowanej słodkiej wodzie powoduje korozję szczelinową stali nierdzewnej typu 304/304L i dużo słabiej stali typu 316 [21].



*Kraty do oczyszczania ścieków  
Zdjęcie: Hans Huber, Berching (D)*

Dlatego, stal 316 stanowi bardziej konserwatywny wybór w takich zastosowaniach [9]. Ozon jest coraz to powszechniej stosowanym alternatywnym środkiem utleniającym, który może być używany osobno lub w połączeniu z chlorem. Stal nierdzewna typu 316 jest preferowanym materiałem do budowy generatorów ozonu [9].

Chlorek żelaza jest czasem stosowany w oczyszczalni ścieków, w etapie flokulacji. Stale nierdzewne typu 304 i 316 mogą ulegać zarówno korozji wżerowej jak i szczelinowej przy stężeniach zbyt wysokich dla danego stopu. Publikacja [9] podaje, że obecność 250–300 mg/l chlorku żelaza w czynnym osadzie powoduje korozję. Wszystkie dodatki przed kontaktem ze stalą nierdzewną muszą być dobrze wymieszane i rozcieńczone w wodzie ściekowej, aby nie narażać ich na niebezpieczne stężenie. Siarczan żelaza jest kolejnym związkiem chemicznym, który często występuje w procesie oczyszczania ścieków,

ale dotychczasowe doświadczenia wskazują, że szybkość korozji stali nierdzewnej w bezkwasowym środowisku siarczanu żelaza jest nieznaczna [9].

### 3.4 Konstrukcja instalacji

#### 3.4.1 Projekt

Dla uzyskania wysokiej odporności korozyjnej stali nierdzewnych w środowisku wody, projekt musi zapewniać możliwie najwyższy przepływ medium, a minimalny ok. 1 m/s, co zmniejsza skłonność do korozji wżerowej i ogranicza odkładanie się osadów. Oprócz tego należy unikać szczelin wszędzie, gdzie jest to możliwe. Jeżeli nie można ich uniknąć to powinny być jak najszersze. Generalnie szczeliny metal/metal są mniej groźne niż metal/tworzywo sztuczne. Zwiększone ryzyko korozji na skutek obecności szczelin może być skompensowane przez dobór materiału o wyższej odporności korozyjnej np. stali nie-



*Całkowicie zadaszona  
oczyszczalnia w Vallarsa (1)  
Zdjęcie: Centro Inox,  
Mediolan (1)*



rdzewnej z grupy 2 w tablicy 1 zamiast stali z grupy 1. Rury poziome powinny być na tyle nachylone, aby umożliwić łatwe spływanie cieczy. Jeżeli w instalacji występują osady to należy unikać ślepych odnóg i zagłębień, gdzie mogłyby się one zatrzymać i odkładać.

W instalacjach oczyszczania ścieków stale nierdzewne są często łączone z innymi materiałami i tu pojawia się pytanie o ich kompatybilność [22]. Gdy dwa różne metale zanurzone w cieczy przewodzącej prąd elektryczny znajdują się w kontakcie elektrycznym to wystąpią reakcje elektrochemiczne, które mogą spowodować korozję materiału mniej szlachetnego. Taką korozję nazywa się galwaniczną lub bimetaliczną. W takich połączeniach dla większości przypadków stale nierdzewne są bardziej szlachetne i nie ulegają korozji. Materiałem mniej szlachetnym może być na przykład powłoka cynkowa na stali galwanizowanej. Przy określaniu zakresu korozji galwanicznej bardzo ważny jest stosunek stykających się powierzchni dwóch metali. Aby uniknąć korozji galwanicznej stykające się metale muszą być od siebie odizolowane elektrycznie lub należy przyjąć inne aktywne lub pasywne środki zapobiegawcze [15].



*Mikro-filtry do usuwania zawiesiny drobnych zanieczyszczeń stałych z odpływu wtórnego osadnika ścieków  
Zdjęcie: Hans Huber, Berching (D)*

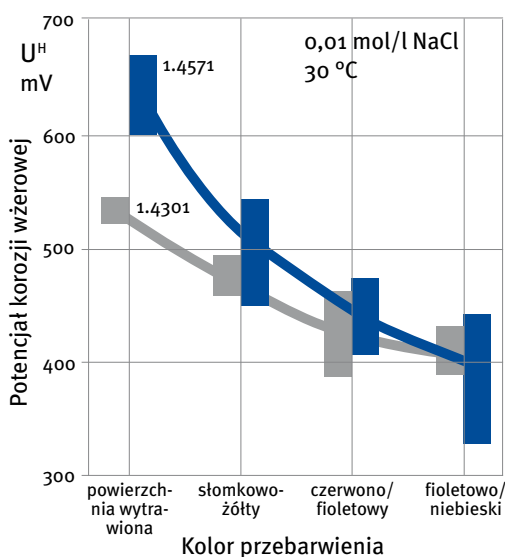
Podczas łączenia rur za pomocą kołnierzy lub innych złączy ważne jest, aby stosować uszczelki i materiały uszczelniające, które nie wydzielają żadnych chlorków [4]. Z zasady elementy wykonane ze stali nierdzewnej nie mogą mieć kontaktu z materiałami konstrukcyjnymi uwalniającymi chlorki. Należy także unikać ataku przez chlor i atmosfery lub pary zawierające chlorki [4]. Materiały izolacyjne nie mogą zawierać chlorków w stężeniu większym niż 0,05 %. W wełnie mineralnej zawartość rozpuszczalnych w wodzie chlorków nie może przekraczać 6 mg/kg [4]. Komponenty tłumiące dźwięk elementów mocujących dla systemów rurociągów muszą być wolne od rozpuszczalnych w wodzie chlorków [4].

Więcej szczegółowych informacji można znaleźć w [15] i [22]. Projekt powinien również uwzględniać wytyczne odnośnie obróbki, które omówiono w dalszej części publikacji.

### 3.4.2 Obróbka powierzchni

Odporność korozyjna stali nierdzewnych jest w dużym stopniu uzależniona od jakości ich powierzchni [5]. Najlepszą odporność na korozję wykazują stale nierdzewne o czystej i metalicznie jasnej powierzchni, wolnej od wad, gdzie może wystąpić korozja szczelino-wa, np. pozostałości żużła, pęknięcia i porowatości po spawaniu.

Z tego względu na szczególną uwagę zasługuje dostosowanie technologii spawania do wymagań stali nierdzewnej [23]. Praktyka wykazała, że zmechanizowane procesy spawania z odpowiednim nadmuchem gazu obojętnego i prawidłowym wyrównaniem krawędzi dają wyższą odporność korozyjną niż procesy spawania ręcznego. Należy zwrócić szczególną uwagę na uzyskanie pełnego przetopienia spoiny bez pęknięć, nadtopień i innych wad spawalniczych.



Rys. 1: Odporność na korozję wżerową w funkcji stanu powierzchni dwóch austenitycznych stali nierdzewnych [10], według Diaba i Schwenka [24]

Przebarwienia i inne formy utlenienia powierzchni oraz pozostałości żużła należy usunąć przez szlifowanie lub trawienie w razie potrzeby. W zależności od korozyjności środowiska, mogą być tolerowane przebarwienia o jasnym słomkowym kolorze [20]. W krytycznych warunkach eksploatacji nawet przebarwienia o takim kolorze mogą zwiększyć skłonność do korozji wżerowej [20]. Jak podano w [10], próbki o czystej powierzchni uzyskanej po wytrawianiu były znacznie bardziej odporne na korozję wżerową niż próbki z przebarwieniem koloru słomkowego, podczas gdy różnica w odporności korozyjnej między przebarwieniami koloru słomkowego i fioletowo – niebieskiego była wyraźnie mniejsza. Rysunek 1 przedstawia ten przykład: potencjał korozji wżerowej gatunku 1.4571 wyrażający odporność na korozję wżerową w wodzie zawierającej 0,01 m NaCl w 30 °C jest większy w stanie wytrawionym i spada stromo dla stanu powierzchni z przebarwieniem koloru słomkowego i następnie mniej gwałtownie dla koloru czerwono / fioletowego i fioletowo / niebieskiego [24]. To samo dotyczy potencjału korozji wżerowej gatunku EN 1.4301, który jednak wykazuje znacznie mniejszy spadek. W związku, z czym potencjał korozji wżerowej dla obu materiałów ostatecznie się pokrywa.



*Kraty gęste dla kontroli zanieczyszczenia wody w przypadku zrzutu awaryjnego wody i jej instalacja w kanale przelewowym  
Zdjęcia: Steinhardt Wassertechnik, Taunusstein (D)*

Jeżeli nie zapobiega się przebarwieniom to należy je usunąć przez wytrawianie [25] lub wstępnie obrobić mechanicznie przez ostrożne szlifowanie za pomocą miękkiej tarczy szlifierskiej lub piaskowanie kulkami szklanymi i następnie wytrawianie. Szczotki ze stali węglowej mogą prowadzić do zanieczyszczenia powierzchni żelazem, przez co nie należy ich stosować do stali nierdzewnej. Należy pamiętać, że pod przebarwioną powierzchnią często występuje bardzo cienka warstwa materiału zubożona w chrom, a zatem ona także musi być usunięta przez wytrawianie, w celu osiągnięcia optymalnej odporności korozyjnej stali nierdzewnej. Usuwanie przebarwień i brak szczelin znacznie zwiększa odporność na korozję mikrobiologiczną i inne formy korozji lokalnej [9, 26]. Wszystkie inne rodzaje zanieczyszczeń lub obce substancje przylegające do powierzchni, takich jak osadzone cząstki żelaza lub rdza muszą być także wyeliminowane. Rodzaj i zakres koniecznych operacji czyszczenia zależy od występującego typu uszkodzenia powierzchni oraz sposobu jego powstania [27].

Jest oczywiste, że stal nierdzewna wykaże doskonałą odporność na korozję w środowisku wody tylko wtedy, gdy etap obróbki zostanie starannie wykonany. Wysoki stan-

dard pracy w warsztatach, podczas montażu i spawania na miejscu budowy jest niezbędny dla właściwego użytkowania stali. Tylko firmy wyspecjalizowane w produkcji elementów i instalacji ze stali nierdzewnej oferują wysoki standard i jakość obróbki, które są wymagane w celu zminimalizowania problemów z korozją podczas eksploatacji. Wstępna prefabrykacja w warsztatach oferuje optymalne warunki pracy dla operacji czyszczenia, które często obejmują trawienie zanurzeniowe elementów. Ogranicza to do minimum liczbę spoin koniecznych do wykonania na miejscu budowy, gdzie trudny dostęp do elementów utrudnia wykonanie spoin o wysokiej jakości [28].

*Szczegół z instalacji w oczyszczalni ścieków  
Zdjęcie: Regeneracija, Lesce (SI)*



### 3.5 Warunki eksploatacji

Wiele czynników związanych z warunkami eksploatacji zostało już wymienionych w związku z wpływem składu chemicznego wody w punkcie 3.3.

Hydrostatyczne testy rurociągów i zbiorników stanowią powszechną metodę sprawdzania integralności instalacji po zakończeniu budowy. Jeżeli instalacja nie trafia bezpośrednio do użytku to musi być całkowicie opróżniona i wysuszona. Jest to szczególnie ważne, gdy do testu używa się surowej wody, gdzie występują bakterie i powstają osady, pod którymi może się rozpocząć proces korozji w obszarach spin. Do testów preferuje się zatem wody pitne lub filtrowane. Jeżeli nie jest możliwe odprawianie całości wody, należy zadbać o regularne codzienne płukanie instalacji, które powinno ograniczyć potencjalne problemy [29], aż do momentu jej uruchomienia.

Równie ważny jest wpływ temperatury. Generalnie odporność na korozję wżerową i szczelinową maleje wraz ze wzrostem temperatury. Jednak, w instalacjach nie pod ciśnieniem, gdy stężenie substancji utleniających maleje ze wzrostem temperatury to wpływ temperatury na korozję wżerową będzie niewielki [5].

Prędkość przepływu wody to kolejny ważny parametr. Zasadniczo w wodzie płynącej z odpowiednią prędkością (tj. powyżej ok. 0,5 m/s do 1 m/s), odporność na korozję jest zawsze stosunkowo wysoka, podczas gdy w wodach stojących może wystąpić korozja wżerowa. Wolno płynące wody mogą prowadzić do powstawania osadów, pod którymi może wystąpić korozja szczelinowa. Woda niosąca osady powinna mieć prędkość przepływu co najmniej 0,6 m/s, aby uniknąć odkładania się osadów [9]. Skutecznym środkiem zapobiegawczym jest czyszczenie i płukanie instalacji w regularnych odstępach czasu.



*Dopływ odwadniania mułu do silosa magazynowego*  
Zdjęcie:  
Cedinox, Madryt (E)



W instalacjach oczyszczania wody mogą także występować opary siarkowodoru i pary zawierające chlor. Stale nierdzewne typu 304 i 316 wykazują nieznaczną szybkość korozji w wilgotnym siarkowodorze [9], ale zarówno stale 304 i 316 mogą ulegać korozji przy dużej ilości wilgotnego siarkowodoru powstającego w instalacjach oczyszczania wody [30]. Taki atak korozyjny może być wynikiem silnego działania depolaryzującego siarkowodoru, które sprzyja korozji wżerowej [31]. Odpowiednim działaniem zapobiegawczym jest właściwa wentylacja [30]. Stale nierdzewne ulegają także korozji wżerowej w przestrzeniach, gdzie wilgotne opary chloru mogą się gromadzić i ostatecznie ulegać kondensacji. W takich warunkach eksploatacyjnych należy zapewnić odpowiednią wentylację i/lub zmywanie wodą oraz czyszczenie w regularnych odstępach czasu [30].



*Czysta metaliczna powierzchnia zapewnienia długotrwałą eksploatację  
Zdjęcie: Butting, Knesebeck (D)*

## 4 Odporność na korozję atmosferyczną

Atmosfery zewnętrzne mogą być bardzo różne. Cząstki zawierające węgiel i dwutlenek siarki tworzą substancje agresywne w atmosferze miejskiej i przemysłowej z daleka od morza. Aerosol chlorków jest najbardziej agresywną korozyjnie substancją w pobliżu wybrzeży, a w niekorzystnych warunkach wiatrowych także w stosunkowo dużej odległości od morza. Dla porównania atmosfery wiejskie z dala od morza nie są agresywne. Z dotychczasowej praktyki [32] wynika, że stale nierdzewne z grupy 1 w tablicy 1 (typu 304) stanowią najlepszy wybór, zarówno pod względem odporności korozyjnej i kosztów, do użycia w atmosferze wiejskiej daleko od morza. Odnosi się to także do obszarów w pobliżu morza i przestrzeni miejskich, jeżeli ich korozyjność jest niska lub umiarkowana.

Jednak w obu obszarach atak korozyjny może być wystarczająco ostry, aby wymagane było zastosowanie bardziej stopowanych stali nierdzewnych z grupy 2 (typu 316). W atmosferach przemysłowych zawsze należy rozważać zastosowanie stali nierdzewnych z grupy 2. Zarówno w atmosferze przemysłowej jak i w pobliżu morza, jeżeli dominują niekorzystne warunki eksploatacji (wysoka wilgotność i temperatura, agresywne zanieczyszczenia w atmosferze) może być konieczne użycie nawet stali z grupy 4 w tablicy 2. Więcej szczegółów można znaleźć w [32].





## 5 Odporność korozyjna w glebie

Gleby różnią się pod względem korozyjności w zależności od czynników takich jak stężenie chlorków, pH i rezystywność. Stale nierdzewne mają dobrą odporność w różnych glebach. Kryteria doboru podane w [33] zalecają zastosowanie stali z grupy 1 z tablicy 1 dla gleby, w której stężenie chlorków jest mniejsze od 500 ppm, a rezystywność przekracza 1000  $\Omega\cdot\text{cm}$ . Zalecają także grupę 2 stali dla stężenia chlorków poniżej 1500 ppm i rezystywności większej od 1000  $\Omega\cdot\text{cm}$  i grupę 5 z tablicy 2 dla stężenia

chlorków poniżej 6000 ppm i rezystywności powyżej 500  $\Omega\cdot\text{cm}$ . Zalecenia te odnoszą się do pH gleby większego od 4,5 przy braku prądów błędzących i braku dodatkowych powłok i/lub ochrony katodowej.



*System splotkiwania w okrągłym zbiorniku – falowe splotkiwanie dla zbiorników okrągłych i małych prostokątnych  
Zdjęcie: Steinhardt Wassertechnik, Taunusstein (D)*

## 6 Własności mechaniczne

W tablicy 3 podano niektóre istotne własności mechaniczne stali nierdzewnych z grup 1–4 (patrz tablica 1 i 2). Jako przykład wybrano zimnowalcowane taśmy do grubości 8 mm w stanie przesyconym. Jest to forma produktu, z której cięte są arkusze do produkcji zbiorników i pojemników oraz wzdłużnie spawane rury stosowane w instalacjach oczyszczania ścieków. Dane zawarte

w tablicy uwidaczniają, że umowna granica plastyczności  $R_{p0,2}$  stali nierdzewnych z grupy 1 i 2 jest  $\geq 220 \text{ N/mm}^2$ , a dla grupy 2  $\geq 240 \text{ N/mm}^2$ . Stale austenityczne mają wytrzymałość porównywalną do dolnego zakresu stali konstrukcyjnych ogólnego przeznaczenia [34].

**Tablica 3: Własności mechaniczne stali nierdzewnych dla instalacji oczyszczania ścieków. Dane dotyczą zimnowalcowanych taśm do grubości 8 mm w stanie wyżarzonym, zgodnie z EN 10088-2:2005**

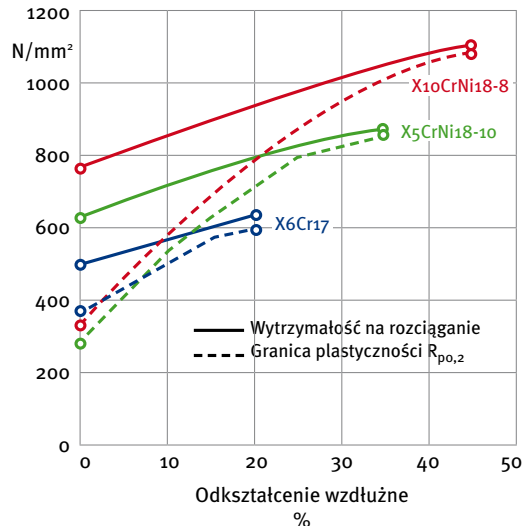
Grupa	Numer EN	Umowna granica plastyczności $R_{p0,2}$ $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup> min.	Wytrzymałość na rozciąganie $R_m$ N/mm <sup>2</sup> min.	Wydłużenie A % min.
1	1.4301	230	540	45
	1.4306	220	520	45
	1.4307	220	520	45
	1.4541	220	520	40
2	1.4401	240	530	40
	1.4404	240	530	40
	1.4571	240	540	40
3	1.4435	240	550	40
4	1.4462	500	700	20
	1.4439	290	580	35

*Prefabrykowane elementy rurociągu dla oczyszczalni ścieków w Holandii  
Zdjęcie: H. Butting, Knesebeck (D)*



Wysoka plastyczność austenitycznych stali nierdzewnych zasługuje na szczególną uwagę, ponieważ jest znacznie wyższa niż stali konstrukcyjnych ogólnego przeznaczenia. Wydłużenie do zerwania wynosi, co najmniej 40 % dla stali nierdzewnych z grupy 1 i 2 w tablicy 3. Wysoka plastyczność oznacza, że austenityczne stale nierdzewne są łatwe w obróbce na miejscu montażu, a nawet w dostosowaniu do nieprawidłowości konstrukcji betonowych. W związku z tym są łatwiejsze w kształtowaniu podczas montażu i prac remontowych niż aluminium lub stal ocynkowana.

Kolejną szczególną cechą austenitycznych stali nierdzewnych jest potencjał do umocnienia przez zgniot. Umożliwia to zwiększenie umownej granicy plastyczności  $R_{p0,2}$  przez obróbkę plastyczną na zimno, dostosowaną do formy produktu, np. w procesie ciągnięcia lub walcowania na zimno. Potwierdzeniem tego jest wykres z rysunku 2, gdzie porównano stal austenityczną X5CrNi18-10 (1.4301) i ferrytyczną X6Cr17 (1.4016) oraz austenityczną typu X10CrNi18-8 (1.4310), która została opracowana z myślą o wyjątkowo wysokim umocnieniu przez zgniot, do produkcji sprężyn i noży. Wykres [35] przedstawia jak można łatwo zwiększyć umowną granicę plastyczności  $R_{p0,2}$  austenitycznej stali nierdzewnej 1.4301 przez odkształcenie na zimno do wartości 460 N/mm<sup>2</sup> przy zachowaniu znacznej plastyczności. W technologii oczyszczania ścieków taki wzrost własności można skutecznie zastosować [36]. Cienkie blachy, np. ze stali austenitycznej 1.4301 lub 1.4571 umocnione przez zgniot w procesie walcowania na zimno do wysokiej wytrzymałości można stosować do budowy dużych zbiorników i pojemników. Pozwala to na obniżenie ciężaru i zmniejszenie kosztów konstrukcji, ale bez zmiany jej stabilności, np. zbiorniki do oczyszczania ścieków stosowane w browarnictwie. Dodatkowa wytrzymałość materiału wynikająca z obróbki plastycznej na zimno może być użyta [37] w celu zmniejszenia grubości ścianek elementów. Jednak skorzystanie z tego wymaga użycia innych technik łączenia niż spawanie, ponieważ spawanie może spowodować lokalne osłabienie materiału [6].



Rys 2: Podatność do umocnienia przez zgniot różnych gatunków stali nierdzewnych: klasycznej stali austenitycznej 1.4301 (X5CrNi18-10) w porównaniu do silnie umocnionej stali austenitycznej typu 1.4310 (X10CrNi18-8) oraz ferrytycznej 1.4016 (X6Cr17)[35]

Należy także wspomnieć o granicy plastyczności stali nierdzewnej typu duplex 1.4462, która zgodnie z tabelicą 3 w stanie przesyconym wynosi  $\geq 500$  N/mm<sup>2</sup>. Jest to znacznie więcej od granicy plastyczności stali konstrukcyjnych ogólnego przeznaczenia. Gatunek ten umieszczono w tabelicy 2 w grupie 4, która zawiera materiały o podwyższonej odporności na korozję w omawianych mediach. Zastosowanie gatunku o tak wysokiej wytrzymałości może być korzystne dla lekkich konstrukcji, np. ramiona pomostów obrotowych w osadnikach. Jeżeli nie ma konieczności zastosowania spawania to można rozważyć użycie stali austenitycznych umacnianych przez zgniot, których granica plastyczności mieści się w zakresie do 460 N/mm<sup>2</sup> do nawet 690 N/mm<sup>2</sup> [37].

Wnętrze zbiornika z obudową membrany ze stali nierdzewnej  
Zdjęcie: Centro Inox, Mediolan (1)



Niektóre rurociągi, takie jak rurociągi napowietrzające są narażone na wibracje podczas pracy. W takim przypadku dopuszczalne naprężenia projektowe wynikają z granicy wytrzymałości zmęczeniowej, która jest niższa od umownej granicy plastyczności  $R_{p0,2}$ . Pomimo, że stale typu 304 i 316 wykazują doskonałą wytrzyma-

łość zmęczeniową, to w każdej konstrukcji zawsze należy idealnie wygładzić wszystkie powierzchnie połączeń między elementami. Takie miejsca stanowią najłabszy punkt konstrukcji, gdzie naprężenia pochodzące od drgań mogą się spiętrzać [9].

## 7 Zastosowanie stali nierdzewnej w instalacjach oczyszczania ścieków

Zastosowania stali nierdzewnych w instalacjach oczyszczania ścieków są tak liczne, że poniżej wymieniono tylko niektóre, najważniejsze z nich. W instalacjach oczyszczania ścieków stale nierdzewne są głównie stosowane, jako rury i przewody rurowe, np. do aeratorów. Wspominano już o zbiornikach wykonanych z blachy ze stali nierdzewnej utwardzonej przez obróbkę plastyczną. Ponadto, wyposażenie osadników zarówno zbiorników okrągłych i prostokątnych, takie jak urządzenia podwodne i przelewy osadników, można z korzyścią wytwarzać ze stali nierdzewnej. Maszyny do uzdatniania wody w dużej mierze wytwarzane są ze stali nierdzewnej, w tym do przesiewania, płukania, zagęszczania, odwadniania, usuwania tłuszczu i separacji oleju, zagęszczania i odwadniania różnych typów osadów, filtracji itp. Stal nierdzewna jest także materiałem preferowanym do budowy wyposażenia pomocniczego, np. pomostów, schodów [38], drabin, balustrad [38], poręczy, włazów, ogólnych konstrukcji architektonicznych i pokryć dachowych [39].



Jeżeli brak jest specjalnych wymagań co do jakości wody lub atmosfery to użycie gatunku 1.4404 (316L) może służyć, jako ogólny standard zalecany dla rurociągów z wodą ściekową i konstrukcji podwodnych. Nawet, jeżeli wybór tego gatunku nie jest wymagany przez istniejący obecnie skład wody ściekowej to pozwala on na pogorszenie się jakości ścieków w przyszłości, którego nigdy nie można zignorować. Przeciwnie dla wielu zastosowań podwodnych gatunek 1.4307 (304L) może stanowić optymalny wybór zarówno pod względem odporności korozyjnej jak również kosztów. Wspominano już także o wysoce wytrzymałej stali duplex 1.4462 i gatunkach austenitycznych umacnianych przez zgniot, które mają duży potencjał w budowie lekkich konstrukcji, a ich użycie może dać także znaczne oszczędności kosztów, ponieważ do budowy będzie potrzebna mniejsza ilość materiału.

*Duże, spawane wzdłużnie rury ze stali nierdzewnej dla oczyszczalni ścieków w Grecji  
Zdjęcie: H. Butting, Knesebeck (D)*

*Instalacja rurowa po montażu w oczyszczalni ścieków  
Zdjęcie: CDA La Rochelle (F)*



## 8 Korzyści ekonomiczne

### 8.1 Analiza kosztów eksploatacji

Stal nierdzewna jest cennym materiałem. Elementy wykonane ze stali ocynkowanej są często tańsze, gdy rozważy się jedynie cenę zakupu. Jeżeli jednak uwzględni się również koszty konserwacji i napraw w trakcie całości trwania instalacji to stal nierdzewna może okazać się bardziej opłacalna [40]. Najważniejszym czynnikiem jest odporność korozyjna stali nierdzewnej, która powoduje jej długi czas użytkowania. Czynnikiem ten przyczynia się także do obniżenia kosztów czyszczenia i konserwacji. Na zakończenie okresu eksploatacji elementy ze stali



*Systemy rurowe przed montażem w oczyszczalni ścieków*

*Zdjęcie:*

*Cedinox, Madryt (E)*

nierdzewnej w pełni podlegają recyklingowi. W publikacji [41] opisano, że pokrywy włazu ze stali galwanizowanej były dostępne w cenie 20 % niższej niż ta sama pokrywa ze stali nierdzewnej w gatunku 1.4301 (304). Jednak ze względu na znacznie wyższe koszty konserwacji dla stali ocynkowanej, pokrywy włazów kanałowych ze stali nierdzewnej wykazały o 24 % niższe koszty cyklu eksploatacji dla analizy kosztów w przeciągu 25 lat. Próg rentowności wystąpił w 13 roku.

Kiedy spodziewany jest inny czas eksploatacji to w celu dokonania porównania całkowity koszt powinien być obliczony, jako koszty całkowite na rok. Takie dane opublikowano w 1998 roku dla przypadku gęstego sita dla oczyszczalni ścieków [41]. Jeżeli sito wykonane by ze stali galwanizowanej to koszt inwestycji wyniesie około 15 % mniej niż dla wykonania ze stali nierdzewnej, ale przewidywany czas eksploatacji zostanie ograniczony do 12 lat. Dla porównania to samo sito wykonane ze stali nierdzewnej 1.4301 (304) będzie miało znacznie dłuższą żywotność, 18 lat. W konsekwencji sito ze stali nierdzewnej będzie o 19 % tańsze na rok niż wykonane ze stali ocynkowanej. Bardzo podobny stosunek kosztów ustalono również dla prasy zagęszczania osadów [41]. Jeżeli rozpatruje się różne czasy eksploatacji - 20 lat dla konstrukcji ze stali nierdzewnej i tylko 10 lat dla konstrukcji ze stali galwanizowanej to roczne koszty dla instalacji ze stali nierdzewnej są mniejsze o 20 %.



Innym przykładem jest użycie stali nierdzewnej 1.4401 (316) (grupa 2 w tablicy 1) na kanały wentylacyjne do usuwania siarkowodoru z oczyszczalni ścieków w północno-zachodniej Anglii. Użycie elementów cienkościennych i brak dodatkowych powłok sprawiło, że początkowe różnice w kosztach między stalą nierdzewną i galwanizowaną nie były tak duże jak na wstępie przypuszczano. Koszty całkowite były zbliżone po około 5 latach użytkowania, kiedy zaplanowano pierwszą główną konserwację instalacji. Wynika to z braku dodatkowych powłok na stali, co powoduje pokaźną przewagę w kosztach po 15 latach użytkowania, kiedy zaplanowano wymianę stali galwanizowanej [29]. Podobnie wybrano stal nierdzewną podczas wymiany i przeprojektowania instalacji procesu biologicznego oczyszczania w zakładach należących do Yorkshire Water, Wielka Brytania. W tym przypadku konstrukcję ramy głównej wykonano ze stali nierdzewnej 1.4301 (304) (grupa 1 w tablicy 1), a podwozie pomostu z gatunku 1.4401 (316). Założono gotowość do działania procesu na poziomie 97 % i oszczędności na poziomie 50 % w ciągu 20 lat użytkowania w porównaniu do konstrukcji ze stali galwanizowanej oraz jej wymianę. Po 2 latach eksploatacji, stal nierdzewna przekroczyła oczekiwania i umożliwiła zredukowanie kosztów konserwacji o ponad 90 % [29].



## 8.2 Dodatkowe aspekty obniżania kosztów

*Dwa zbiorniki natleniania ze stali nierdzewnej  
Zdjęcie: Centro Inox,  
Mediolan (I)*

W sektorze instalacji rurowych grubość ścianki rur ze stali nierdzewnej może być dobrana bardziej dokładnie do zakładanego ciśnienia w instalacji, podczas gdy rury ze stali galwanizowanej posiadają większe standaryzowane grubości ścianek. Na przykład DN 200, grubość ścianki dla rury galwanizowanej wynosi co najmniej 4,5 mm, ale dla większości przypadków od ręki dostępna jest w grubości 6,3 mm. Alternatywnie można zastosować rury ze stali nierdzewnej o wymiarach 204 mm × 2 mm lub 219 mm × 2,5 mm. Różnica w wadze powoduje niższy koszt rur ze stali nierdzewnej [42].

Dodatkowe oszczędności można uzyskać, gdy wykorzystana się w pełni potencjał, jaki oferuje stal nierdzewna pod względem możliwej prędkości przepływu medium. Dopuszcza się wysoką wartość przepływu rzędu 30 m/s [43], co umożliwia użycie mniejszych średnic rur i prowadzi do obniżenia masy oraz kosztów w porównaniu do innych materiałów.

## Literatura

- [1] PN-EN 10312:2006 - Rury ze szwem ze stali odpornej na korozję do transportu wody i innych płynów wodnych - Warunki techniczne dostawy
- [2] PN-EN 10088:2007 - Stale odporne na korozję - Część 1: Gatunki stali odpornych na korozję, Część 2: Warunki techniczne dostawy blach i taśm ze stali nierdzewnych ogólnego przeznaczenia, Część 3: Warunki techniczne dostawy półwyrobów, prętów, walcówki, drutu, kształtowników i wyrobów o powierzchni jasnej ze stali nierdzewnych ogólnego przeznaczenia
- [3] PN-EN 10217-7:2006 Rury stalowe ze szwem do zastosowań ciśnieniowych - Warunki techniczne dostawy - Część 7: Rury ze stali odpornych na korozję
- [4] *The Self-Passivation of Stainless Steels*, CD-ROM, Euro Inox, 1997/2001
- [5] *Edelstahl Rostfrei in chloridhaltigen Wässern*, 2. Auflage, 1997, zu beziehen von der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf
- [6] *Die Verarbeitung von Edelstahl Rostfrei*, Merkblatt 822 der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, 3. überarbeitete Auflage, Düsseldorf, 2001
- [7] Arlt, N.; Kiesheyer, H.: "Korrosionsverhalten von nichtrostenden Stählen in wässrigen Medien", in Gümpel, P. und 6 Mitautoren: Rostfreie Stähle, expert-Verlag, 3. Auflage, 2001, Reihe Kontakt und Studium, Band 493, pp. 38 - 100
- [8] *Practical Guidelines for the Fabrication of Duplex Stainless Steels*, International Molybdenum Association, 2009
- [9] Tuthill, A.H.; Lamb, S.: *Stainless steel in municipal waste water treatment plants*, NiDI Technical Series N° 10 0076, 1998
- [10] Heubner, U.: "Corrosion behaviour of nickel alloys and high-alloy special stainless steels in the welded state", Rozdział 2.4, Ulrich Heubner, Jutta Klöwer i 7 współautorów: Nickel Alloys and High-Alloy Special Stainless Steels, wydanie trzecie, expert-Verlag, Renningen-Malmsheim, 2003
- [11] van Bennekom, A.; Wilke, F.: "Comparison Between Stabilised And Low Carbon Austenitic Stainless Steels", Euro Inox, 2009
- [12] Srivastava, S.C.; Ives, M.B.: "The Role of Titanium in the Pitting Corrosion of Commercial Stainless Steels", Corrosion NACE 45 (1989) 488- 493
- [13] Boulton, L.H.; Betts, A.J.: "Corrosion performance of titanium and titanium stabilised stainless steels", British Corrosion Journal 26 (1991) 287-292
- [14] Flint, N.: *Resistance of Stainless Steel to Corrosion in Naturally Occurring Waters*, NiDI Publikacja 1262, 1976
- [15] *Richtlinien zum Korrosionsschutz in Abwasseranlagen*, herausgegeben von der Korrosionskommission der Schweizerischen Gesellschaft für Korrosionsschutz, Zürich, Ausgabe 1995
- [16] *Guidelines for Selection of Nickel Stainless Steels for Marine Environments, Natural Waters and Brines*, A Nickel Development Institute Reference Book Series N° 11 003, 1987
- [17] Tuthill, A.H.: *Design, water factors affect service water piping materials*, NiDI Technical Series N° 10 043, przedruk z Power Engineering, lipiec 1990

- [18] *Nickel-containing materials for water control applications*, A Nickel Development Institute Reference Book Series N° 11 010, 1993
- [19] Lewus, M.; Tupholm K.; Hobson, S.; Lee, B.; Dulieu, D.: "Properties and in-service performance - Stainless steels for water systems", Report EUR 17867 EN, Luxemburg, Office for Official Publications of the European Communities, 1997, p. 15
- [20] PN-EN 12502-4:2006 - Ochrona materiałów metalowych przed korozją - Wytyczne do oceny ryzyka wystąpienia korozji w systemach rozprowadzania i magazynowania wody - Część 4: Czynniki oddziałujące na stale odporne na korozję
- [21] Tuthill, A.H.; Avery, R.E.; Lamb, S.; Kobrin, G.: "Effect of Chlorine on Common Materials in Fresh Water", CORROSION'98, Paper N° 708, NACE International, Houston, Texas, 1998
- [22] Arlt, N.; Burkert, A.; Isecke, B.: *Kontakt stali nierdzewnej z innymi materiałami metalowymi* (Seria: Materiały i zastosowania, zeszyt 10), Euro Inox, 2010
- [23] *Schweißen von Edelstahl Rostfrei*, Merkblatt 823 der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, 4. Aufl., Düsseldorf, 2004
- [24] Diab, A.S.M.; Schwenk, W.: Beeinträchtigung der Lochkorrosionsbeständigkeit von CrNi-Stählen durch dünne Oxidschichten, *Werkstoffe und Korrosion* 44 (1993), 367-372
- [25] Crookes, R.: *Wytrawianie i pasywacja stali nierdzewnej* (Seria: Materiały i zastosowania, zeszyt 4), Euro Inox, wydanie pierwsze, 2004
- [26] Heubner, U.: "Mikrobiologisch beeinflusste Korrosion nichtrostender Stähle und ihre Vermeidung", *Chemie Ingenieur Technik* 72 (2000) 1439-1444
- [27] *Die Reinigung von Edelstahl Rostfrei*, herausgegeben von der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf, 1995
- [28] Schüller, T./ Butting Edelstahlrohre, Wittingen: "Nichtrostende Stähle in Wasserwerken - Sortenauswahl und Verarbeitung", Vortrag anlässlich der Fachveranstaltung Edelstahl Rostfrei in Städtischen Werken, Düsseldorf, listopad 1999
- [29] Fassina, L.; Powell, C.: "Waste Water Stainless Steel Equipment in Italy and Abroad; Applications, Guidelines and Life Cycle Cost Analysis", wykład na seminarium "Stainless Steel for the Municipal Companies", Bolonia, czerwiec 2001
- [30] *Edelstahl Rostfrei für die Wasserwirtschaft*, Merkblatt 893 der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf, 1. Auflage, 2007
- [31] Newman, R.C.; Isaacs, H.S.; Alman, B.: "Effects of Sulfur Compounds on the Pitting Behaviour of Type 304 Stainless Steel in Near-Neutral Chloride Solutions", *CORROSION-NACE* Vol. 38, No. 5, 1982, pp. 261-265
- [32] *Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle an der Atmosphäre*, Merkblatt 828 der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf, 2. Auflage, 1996
- [33] Cunat, P.J.: "Corrosion Resistance of Stainless Steels in Concrete and Soils", *CEOCOR CONGRESS*, Biarritz, 2001
- [34] Gramberg, U.; Horn E.M.; Mattern, P.: *Kleine Stahlkunde für den Chemieapparatebau*, 2. Auflage, Düsseldorf, 1993

- [35] *Edelstahl Rostfrei - Eigenschaften*, Merkblatt 821 der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf, 4. Auflage, 2006
- [36] "Stallkamp Abwassertechnik – Dünoblechbehälter aus Edelstahl", Focus Rostfrei 18/1996
- [37] Deutsches Institut für Bautechnik: *Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6 vom 20. April 2009, Zulassungsgegenstand: Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen*, zu beziehen als Sonderdruck 862 von der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf
- [38] *Geländer und Treppen aus Edelstahl Rostfrei*, Dokumentation 871 der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf, aktualisierter Nachdruck, 2006
- [39] *Stal nierdzewna w konstrukcjach dachowych* (Seria budowlana, zeszyt 4), Euro Inox, 2002
- [40] *Life Cycle Costing (LCC) of Stainless Steels* (Materials and Application Series), Euro Inox, 2005
- [41] Hini, E./ Hans Huber GmbH, Berching: "Wirtschaftliche und innovative Lösungen mit nichtrostendem Stahl im Abwasserbereich", Vortrag anlässlich des Korrosionsschutzseminars „Korrosionsschutz in Abwasser führenden Anlagen“, Dresden, 1998
- [42] Communication of H. Butting Edelstahlrohre, Wittingen/Germany, styczeń 2000
- [43] *Applications for Stainless Steel in the Water Industry*, Water Industry Information & Guidance Note (IGN) 4-25-02, The Steel Construction Institute, Ascot, 1999





ISBN 978-2-87997-044-8