

INŻYNIERIA BUDOWNICTWO

ShareProject

INNOWACYJNA PLATFORMA
DO ZARZĄDZANIA PROJEKTAMI

BIURO PROJEKTÓW



Engineering Sp. z o.o.



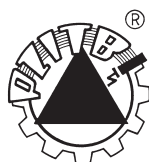
ELEKTROWNIA KOZIENICE



ELEKTROWNIA SOSTANJ



ELEKTROWNIA LEDVICE



SPIS TREŚCI

strona

Od redakcji 283

J. Ziółko, M. Giżejowski, A. Kozłowski, E. Supernak –
Z kart historii Sekcji Konstrukcji Metalowych Komitetu In-
żynierii Łądowej i Wodnej Polskiej Akademii Nauk 283

ZAGADNIENIA KONSTRUKCYJNE I MATERIAŁOWE

J. Ziółko – Uwagi do eurokodów dotyczących projektowa-
nia zbiorników stalowych 287

A. Biegus – Ocena wybożenia pasów dolnych z płaszczy-
zny kratownic usztywnionych obudową dachową 293

M. Gajdzicki, J. Goczek, Ł. Kwiatkowski – Wpływ rozmiesz-
czenia łączników mocujących poszycie z blachy trapezo-
wej na sztywność obrotową podparcia sprężystego 299

M. Giżejowski, Z. Stachura – Ocena nośności stalowych
elementów dwuteowych przy wybożeniu giętno-skręt-
nym w kontekście nowelizacji eurokodów dotyczących
konstrukcji 303

P. Kawecki, A. Kozłowski – Badanie rozkładu sił wewnątrz-
nych w zginanych wielośrubowych stykach doczołowych
blachownic 309

PORADNIK KONSTRUKTORA

Sz. Pałkowski – Wpływ rodzaju obciążenia na długość wy-
boczeniową słupów ram stalowych 313

W. Kubiszyn – Wpływ uwarunkowań środowiskowych na do-
bór gatunku stali nierdzewnej 316

Ł. Polus, M. Szumigała – Wpływ zespolenia na nośność i
sztywność belki metalowej współpracującej z płytą beto-
nową 320

TEORIA I BADANIA NAUKOWE

B. Gosowski, M. Redeckii – Doświadczalna nośność kry-
tyczna wybożenia giętno-skrętnego słupów o skokowo
zmiennej sztywności 325

M. Matuszkiewicz, R. Orzłowska – Wpływ efektów drugiego
rzędu na wyniki obliczeń masztów o trzonie kratowym 329

P. Kossakowski, W. Wciślik – Modelowanie procesów niszc-
zenia stali konstrukcyjnych 333

INFORMACJE

PN-B-02170:2016-12 Ocena szkodliwości drgań przekazy-
wanych przez podłoże na budynki 286

H. Michalak – Wybrane zmiany wprowadzone w ustawie
Prawo budowlane 292

KRONIKA

M. Malesza – Śp. doc. dr inż. Czesław Dawdo (1928–2016) 338

K. Kuczyński – Śp. doc. dr inż. Olgierd Korycki (1937–2017) 339

A. Halicka – Śp. doc. dr inż. Jakub Mames (1925–2017) ... 340

RECENZJE 302, 308, 312, 324, 332

Tematyka czasopisma

Ogólne problemy budownictwa i inżynierii lądowej, teoria konstrukcji, kształtowanie, wspomaganie komputerowe, projektowanie, realizacja, diagnostyka i utrzymanie obiektów budowlanych, inżynierskich i specjalnych, w tym mostów, budowli podziemnych i komunalnych, badania materiałów, elementów i konstrukcji, fizyka budowli, geotechnika, normalizacja, jakość i certyfikacja, kształcenie kadr oraz aktualne sprawy środowiska budowlanego.

Artykuły są recenzowane. Za publikację w czasopiśmie naukowym „Inżynieria i Budownictwo” uzyskuje się 7 punktów (Komunikat MNiSW z 18.12.2015 r.).

Wydawca

Fundacja PZITB Inżynieria i Budownictwo

00-050 Warszawa, ul. Świętokrzyska 14

Przewodniczący Rady Fundacji prof. dr hab. inż. Kazimierz Flaga, dr h.c. multi

Redakcja

00-637 Warszawa, al. Armii Ludowej 16, pokój 626A

Politechnika – Wydział Inżynierii Łądowej, tel./fax 22-629-69-86.

e-mail: pzitbinzynieria@neostrada.pl www.inzynieriaibudownictwo.pl

www.zgpzitb.org.pl

Kolegium Redakcyjne

Redaktor naczelna prof. dr hab. inż. Hanna Michalak, zastępcy redaktor naczelnej: dr inż. Stefan Pyrak, prof. dr inż. Wojciech Włodarczyk, sekretarz redakcji mgr inż. Monika Kubisiak, st. red. Joanna Prus, redaktorzy tematyczni: prof. dr hab. inż. Marian Giżejowski, dr hab. inż. Aniela Glinicka – prof. PW, prof. dr hab. inż. Stanisław Kuś – dr h.c., prof. dr hab. inż. Czesław Miedziński, mgr inż. Piotr Rychlewski, prof. dr hab. inż. Anna Siemińska-Lewandowska, dr hab. inż. Tadeusz Urban – prof. PŁ, redaktor językowy mgr Barbara Gluch, redaktor statystyczny prof. Wojciech Włodarczyk. Współpracują: prof. dr hab. inż. Piotr Noakowski (Niemcy), prof. dr inż. Andrzej Nowak (USA).

Rada Programowa

Dr hab. inż. Anna Halicka, prof. PL (przewodnicząca), prof. dr hab. inż. Jan Bień (wiceprzewodniczący), prof. dr hab. inż. Wiesław Buczkowski, dr inż. Magdalena Dobiszewska (sekretarz), dr inż. Jacek Domski, prof. dr hab. inż. Kazimierz Furtak, dr inż. Roman Gaćkowski, dr hab. inż. Barbara Goszczyńska, prof. dr hab. inż. Kazimierz Gwizdała, dr hab. inż. Eugeniusz Koda, prof. SGGW, prof. dr hab. inż. Aleksander Kozłowski, dr inż. Jolanta Prusiel, dr inż. Teresa Rucińska, prof. dr hab. inż. Leonard Runkiewicz (wiceprzewodniczący), prof. dr hab. inż. Adam Zybur.

Warunki prenumeraty

Zamówienia prenumeraty „Inżynierii i Budownictwa” można składać w dowolnym terminie. Zamawiający może otrzymać czasopismo począwszy od następnego miesiąca po dokonaniu wpłaty. Zamówienia zeszytów sprzed terminu wpłaty będą realizowane – w miarę możliwości – z zapasów magazynowych.

Wpłaty na prenumeratę prosimy przekazywać na konto: Fundacja PZITB Inżynieria i Budownictwo, 00-050 Warszawa, ul. Świętokrzyska 14, Bank Millennium Warszawa, nr 23 1160 2202 0000 0000 5515 9052. Należy podać liczbę zamawianych egzemplarzy, okres prenumeraty oraz adres wysyłkowy.

Cena prenumeraty normalnej jednego zeszytu czasopisma wynosi rocznie 252,00 zł (miesięcznie 21,00 zł – w tym podatek VAT 5%). Członkowie indywidualni PZITB, Związku Mostowców RP, Polskiej Izby Inżynierów Budownictwa, studenci oraz uczniowie szkół średnich mogą zamówić 1 egzemplarz czasopisma w prenumeracie ulgowej (połowa ceny normalnej, tj. rocznie 126,00 zł brutto). W przypadku prenumeraty ulgowej jest wymagane podanie (odpowiednio): nazwy oddziału stowarzyszenia; numeru rejestracyjnego w Okręgowej Izbie Inżynierów Budownictwa; nazwy uczelni i wydziału lub nazwy szkoły. Faktura za prenumeratę ulgową może być wystawiona tylko na osobę fizyczną.

OGŁOSZENIA przyjmują: redakcja „Inżynierii i Budownictwa”, tel./fax 22-629-69-86 oraz BTP „ART”, tel. 728-939-076, btpart@wp.pl

Materiały opublikowane w „Inżynierii i Budownictwie” są objęte prawem autorskim i nie mogą być – bez zgody redakcji – rozpowszechniane w żadnej postaci. Redakcja nie ponosi odpowiedzialności za treść zamieszczonych reklam i artykułów sponsorowanych.

Indeks 95132 Cena: 20,00 zł + 5% VAT ISSN 0021-0315 (wersja pierwotna)

PRZYGOTOWANIE DO DRUKU I DRUK: Drukarnia „LOTOS Poligrafia” sp. z o.o. www.lotos-poligrafia.pl, tel. 22-872-22-66, fax 22-872-22-68.

Wpływ uwarunkowań środowiskowych na dobór gatunku stali nierdzewnej

Stale stopowe są coraz powszechniej stosowane jako materiał konstrukcyjny, przede wszystkim ze względu na ich odporność na korozję, atrakcyjny wygląd powierzchni, a także relatywnie dużą wytrzymałość. Stale te zawierają co najmniej 10,5% chromu i do 1,2% węgla [6]. Od marca 2010 r. w Polsce do stali stopowych odpornych na korozję odnoszą się normy serii PN-EN 10088. Według normy PN-EN 10088-1 [7] w grupie tych stali wyróżnia się stale nierdzewne, żaroodporne i żarowytrzymałe [2]. Wszystkie stale nierdzewne wykazują dużą odporność na korozję, zarówno w roztworach wodnych, jak i w środowiskach gazowych. Stale te nie ulegają korozji, ponieważ na ich powierzchni tworzy się bogata w chrom pasywna warstwa tlenków chromu.

Reguły i zasady projektowania konstrukcji ze stali nierdzewnych zawarto w normie PN-EN 1993-1-4 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1-4 [8], która rozszerza o stale nierdzewne austenityczne, ferrytyczne oraz austenityczno-ferrytyczne (duplex) zakres stosowania norm przedmiotowych Eurokodu 3. Według tej normy stale nierdzewne są stosowane w realizacjach budowlanych niekonstrukcyjnych, zwanych również estetycznymi lub architektonicznymi, gdzie podstawowe znaczenie w wyborze materiału odgrywa wygląd konstrukcji i jego utrzymanie podczas planowego użytkowania, oraz w realizacjach konstrukcyjnych, w których zasadniczą rolę odgrywają właściwości mechaniczne stali, a dzięki dużej odporności na korozję jest zapewniona niezmiennosc istotnych parametrów wytrzymałościowych w projektowanym okresie eksploatacji. Takie kryteria spełnia odpowiednio dobrany w przypadku danej realizacji gatunek stali nierdzewnej.

Obecnie norma PN-EN 1993-1-4 [8] jest nowelizowana. Prace w tym zakresie są prowadzone w grupie roboczej CEN/TC 250/S.C. 3/WG 4 kierowanej przez dr Nancy Baddoo z brytyjskiego Steel Construction Institute (SCI). W ramach projektu badawczego PUREST (Promocja najnowszych wytycznych eurokodów odnośnie do konstrukcyjnych stali nierdzewnych) finansowanego przez Research Fund for Coal and Steel (RFCS), jest realizowana nowelizacja „Podręcznika projektowania elementów konstrukcyjnych ze stali nierdzewnej” [4]. Główne zmiany w tym podręczniku to:

- dostosowanie do zatwierdzonych poprawek do normy EN 1993-1-4: 2015;
- włączenie ferrytycznych stali nierdzewnych; wykorzystuje się najnowsze prace związane z zastosowaniem konstrukcyjnym tych stali;
- uzupełnienie o nowe dane dotyczące właściwości termicznych i mechanicznych stali nierdzewnych w warunkach pożaru;
- aktualizacja danych projektowych i zasad projektowania z uwzględnieniem aktualnych wersji norm, w tym norm europejskich EN 10088, EN 1993 i EN 1090;
- dodanie załącznika dotyczącego modelowania charakterystyki materiału;
- dodanie załącznika dotyczącego wykorzystania w projektowaniu poprawy właściwości mechanicznych stali na skutek formowania na zimno;
- dodanie aneksu zawierającego mniej konserwatywne zasady projektowania, oparte na wykorzystaniu metody projek-

owania uwzględniającej korzystny efekt umocnienia zgniotowego (Continuous Design Method).

Podręcznik [4] w ramach wymienionego projektu zostanie przetłumaczony na 9 języków, w tym również na język polski. Tłumaczeniem na język polski oraz przygotowaniem seminarium wieńczącego w Polsce powyższy projekt zajmują się pracownicy Politechniki Rzeszowskiej pod kierunkiem prof. dra hab. inż. Aleksandra Kozłowskiego.

W niniejszym artykule przedstawiono najnowsze zagadnienia związane z odpornością korozyjną stali nierdzewnych i projektowaniem na trwałość zawarte przede wszystkim w aktualizacji do normy PN-EN 1993-1-4: 2015 [9], czwartej edycji wyżej wspomnianego podręcznika projektowania [4] oraz z uwzględnieniem najnowszych wytycznych International Molybdenum Association (IMO) [5].

Określanie równoważnika odporności na korozję wżerową PREN

Szczegółowe wytyczne obliczania równoważnika (wskaźnika) odporności na korozję wżerową PREN (Pitting Resistance Equivalent Number) podano na stronie internetowej BSSA – British Stainless Steel Association [3]. Wartość wskaźnika jest obliczana z wykorzystaniem zależności liniowych obejmujących podstawowe pierwiastki stopowe: chrom (Cr), molibden (Mo) i azot (N); niekiedy wzór obejmuje dodatkowo wolfram (W). Zazwyczaj wykorzystuje się podstawowy wzór: $PREN = Cr + mMo + nN$, gdzie „m” i „n” są współczynnikami uwzględniającymi wpływ molibdenu i azotu na odporność korozyjną. Najczęściej jest stosowana wersja wzoru w postaci: $PREN = Cr + 16N + 3,3Mo$, gdzie: Cr – stężenie (zawartość) chromu, Mo – stężenie molibdenu; N – stężenie azotu. Można również wykorzystywać zmodyfikowany wzór: $PREN = Cr + 3,3(Mo + 0,5W) + 16N$ uwzględniający zawartość (stężenie) wolframu (W). Wartości wskaźnika PREN odporności na korozję wżerową podstawowych gatunków stali nierdzewnych według [3] podano w tabl. 1.

Podane w tej tablicy wartości równoważnika PREN umożliwiają porównanie gatunków stali nierdzewnych pod względem odporności na korozję wżerową, na podstawie ich składu chemicznego. Większa wartość równoważnika informuje o wyższej odporności korozyjnej. Nie można stosować tylko samego wskaźnika PREN jako kryterium doboru stali nierdzewnej, wymagane jest przeprowadzenie dodatkowych szczegółowych analiz z uwzględnieniem środowiska eksploatacji i innych czynników korozyjnych według zasad omówionych niżej.

Wybrane zagadnienia projektowania ze względu na korozję

• **Dobór gatunku stali nierdzewnej do zastosowań konstrukcyjnych.** Odporność korozyjna stali nierdzewnej jest pochodną składu chemicznego stopu. W związku z tym różne gatunki stali mogą zachowywać się odmiennie w tym samym środowisku. Istotną kwestią jest zatem odpowiedni dobór gatunku stali nierdzewnej do rodzaju agresywności środowiska. Wybór gatunku tej stali wpływa nie tylko na trwałość, ale również na nośność konstrukcji.

Tablica 1

Wartości równoważnika PREN wybranych gatunków stali nierdzewnych według [3]

Oznaczenie stali	Oznaczenie gatunku stali według AISI lub oznaczenie handlowe	Zawartość, %			Wartość równoważnika PREN
		Cr	Mo	N	
Stal ferrytyczna					
1.4003	–	10,5÷12,5	NS ¹⁾	0,030 max	10,5÷12,5
1.4016	430	16,0÷18,0	NS ¹⁾	NS ¹⁾	16,0÷18,0
1.4113	434	16,0÷18,0	0,9÷1,4	NS ¹⁾	19,0÷22,6
1.4509	441	17,5÷18,5	NS ¹⁾	NS ¹⁾	17,5÷18,5
1.4521	444	17,0÷20,0	1,8÷2,5	0,030 max	23,0÷28,7
Stal austenityczna					
1.4301	304	17,5÷19,5	NS ¹⁾	0,11 max	17,5÷20,8
1.4311	304LN	17,5÷19,5	NS ¹⁾	0,12÷0,22	19,4÷23,0
1.4401/4	316/316L	16,5÷18,5	2,0÷2,5	0,11 max	23,1÷28,5
1.4435	316L (2,5% min Mo)	17,0÷19,0	2,5÷3,0	0,11 max	25,3÷30,7
1.4406	316LN	16,5÷18,5	2,0÷2,5	0,12÷0,22	25,0÷30,3
1.4539	904L	19,0÷21,0	4,0÷5,0	0,15 max	32,2÷39,9
1.4563	Sanicro 28	24,0÷26,0	3,0÷4,0	0,11 max	35,9÷43,0
1.4547	254SMO	19,5÷20,5	6,0÷7,0	0,18÷0,25	42,2÷47,6
1.4529	1925hMo	19,0÷21,0	6,0÷7,0	0,15÷0,25	41,2÷48,1
1.4565	4565S	24,0÷26,0	4,0÷5,0	0,30÷0,60	42,0÷52,1
Stal Duplex					
1.4062 ²⁾	2202	22,0	0,4	0,20	26,5
1.4162	2101LDX	21,0÷22,0	0,1÷0,8	0,20÷0,25	24,5÷28,6
1.4362	SAF 2304	22,0÷24,0	0,1÷0,6	0,05÷0,20	23,1÷29,2
1.4462	SAF 2205	21,0÷23,0	2,5÷3,5	0,10÷0,22	30,8÷38,1
1.4410 ³⁾	SAF 2507 ³⁾	24,0÷26,0	3,0÷4,0	0,24÷0,35	> 40 ³⁾
1.4501 ³⁾	Zeron 100 ³⁾	24,0÷26,0	3,0÷4,0	0,20÷0,30	> 40 ³⁾
1.4507 ³⁾	Ferrinox 255 ³⁾	24,0÷26,0	3,0÷4,0	0,20÷0,30	> 40 ³⁾

¹⁾ Nie określono zawartości.

²⁾ Dostępna tylko w standardowym (typowym) składzie.

³⁾ Te stale superduplex podlegają szczególnym wymaganiom dotyczącym minimalnej wartości równoważnika PREN, bez względu na skład chemiczny danego gatunku stali.

W związku z tym ochronę przed wpływami środowiska i wymiarowanie konstrukcji ze stali nierdzewnych należy rozpatrywać łącznie. Wybór gatunku stali nierdzewnej optymalnego w przypadku danej realizacji ze względu na wymaganą odporność korozyjną powinien być poprzedzony m.in. analizą przewidywanych wpływów środowiskowych oraz wpływu technologii wytwarzania i wykończenia powierzchni na zachowanie się poszczególnych stopów.

Aktualizacja normy PN-EN 1993-1-4 [9] opublikowana w 2015 r. określa nowe zasady doboru właściwego gatunku stali nierdzewnej w zależności od środowiska eksploatacji elementów konstrukcyjnych. Znajdują one zastosowanie w przypadku:

- elementów nośnych oraz zastosowań zewnętrznych,
- eksploatacji w środowisku bez stałego lub częstego obmywania wodą morską,
- neutralnego środowiska o wartości pH= 4 ÷ 10,
- braku ekspozycji na strumień mediów występujących w procesach chemicznych.

W innych sytuacjach projektowych jest wymagana konsultacja ze specjalistą ekspertem.

Środowisko jest oceniane za pomocą współczynnika odporności korozyjnej (CRF) złożonego z 3 składowych (CRF= $F_1+F_2+F_3$), gdzie F_1 – ryzyko wystawienia na oddziaływanie chlorków pochodzących ze słonej wody lub soli drogowej, F_2 – ryzyko wystawienia na oddziaływanie dwutlenku siarki, F_3 –

wymogi okresowego czyszczenia lub naturalnego zmywania przez deszcz. Wartości poszczególnych składowych w zależności od agresywności środowiska podano w tabl. 2.

Tablica 2

Określanie współczynnika odporności korozyjnej CRF= $F_1+F_2+F_3$ [4]

F_1, ryzyko wystawienia na oddziaływanie chlorków (pochodzących ze słonej wody lub soli drogowej)		
Uwaga: M to odległość od morza, a S to odległość od dróg, gdzie stosuje się sól drogową.		
1	środowisko wewnętrzne budynków – kontrolowane	
0	niskie ryzyko oddziaływania	$M > 10$ km lub $S > 0,1$ km
-3	średnie ryzyko oddziaływania	$1 \text{ km} < M \leq 10$ km lub $0,01 \text{ km} < S \leq 0,1$ km
-7	wysokie ryzyko oddziaływania	$0,25 < M \leq 1$ km lub $S \leq 0,01$ km
-10	bardzo wysokie ryzyko oddziaływania – tunele drogowe, gdzie stosuje się sól drogową lub gdzie pojazdy mogą przewozić sól drogową	
-10	bardzo wysokie ryzyko oddziaływania – wybrzeża Morza Północnego Niemiec; wszystkie obszary nadbrzeżne Morza Bałtyckiego	$M \leq 0,25$ km
-15	Bardzo wysokie ryzyko oddziaływania – linia wybrzeża Atlantyku Portugalii, Hiszpanii, Francji, kanał La Manche i wybrzeża Morza Północnego Wielkiej Brytanii, Francji, Belgii, Holandii, południowej Szwecji; wszystkie inne obszary nadbrzeżne Wielkiej Brytanii, Norwegii, Dani i Irlandii; wybrzeża śródziemnomorskie	$M \leq 0,25$ km
F_2, ryzyko wystawienia na oddziaływanie dwutlenku siarki		
Uwaga: Warunki europejskich środowisk przybrzeżnych zwykle wykazują małą zawartość dwutlenku siarki. Dla środowisk wewnątrz łądu zawartość dwutlenku siarki może być zarówno mała, jak i średnia. Obszary o dużej zawartości dwutlenku siarki są zwykle związane z obszarami silnie uprzemysłowionymi lub specyficznym środowiskiem – np. tunele drogowe. Stężenie dwutlenku siarki może być wyznaczone zgodnie z metodą podaną w normie ISO 9225.		
0	małe ryzyko oddziaływania	średnie stężenie < 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
-5	średnie ryzyko oddziaływania	średnie stężenie 10÷90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
-10	duże ryzyko oddziaływania	średnie stężenie 90÷250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
F_3, wymaganie okresowego czyszczenia lub naturalnego zmywania przez deszcz (jeżeli $F_1 + F_2 \geq 0$, to $F_3 = 0$)		
0	całkowicie wystawione na zmywanie przez deszcz	
-2	sprecyzowane wymagania okresowego czyszczenia	
-7	brak zmywania przez deszcz lub brak wymagań okresowego czyszczenia	
Uwagi:		
– wymagania inspekcji oraz czyszczenia muszą być dokładnie określone w formie pisemnej,		
– charakter inspekcji, metody czyszczenia oraz częstotliwość powinny być jasno określone,		
– większa częstotliwość czyszczenia daje lepsze efekty/korzyści,		
– częstotliwość inspekcji nie powinna być rzadsza niż co 3 miesiące,		
– sprecyzowane wymagania czyszczenia powinny odnosić się do wszystkich elementów konstrukcyjnych, nie tylko do tych łatwo dostępnych i widocznych.		

Przypisanie odpowiedniej klasy odporności korozyjnej CRC w zależności od obliczonej wartości współczynnika odporności korozyjnej CRF pokazano w tabl. 3.

Zgodnie ze zmianą do Polskiej Normy [9], doboru gatunku stali nierdzewnej do danej klasy odporności korozyjnej środowiska eksploatacji konstrukcji **CRC** dokonuje się według tabl. 4.

Przedstawione wyżej zasady doboru gatunku stali nierdzewnej dotyczą wyłącznie zastosowań konstrukcyjnych.

Tablica 3
Klasa odporności korozyjnej CRC według [4]

Współczynnik odporności korozyjnej (CRF)	Klasa odporności korozyjnej (CRC)
CRF = 1	I
$0 \geq CRF > -7$	II
$-7 \geq CRF > -15$	III
$-15 \geq CRF \geq -20$	IV
CRF < -20	V

Tablica 4
Gatunki stali nierdzewnych przypisane do poszczególnych klas odporności korozyjnej [9]

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

Gatunki stali przyporządkowane do danej wyższej klasy **CRC** mogą być z powodzeniem stosowane w klasach niższych.

• **Wewnętrzne środowisko basenów pływackich.** W celu ograniczenia ryzyka związanego z rozwojem korozji naprężeniowej (SCC) w wewnętrznym środowisku basenów pływackich należy na elementy konstrukcyjne [9] stosować jedynie gatunki stali podane w tabl. 5.

Tablica 5
Gatunki stali nierdzewnej stosowane wewnątrz basenów pływackich [9]

Elementy nośne pracujące w wewnętrznej przestrzeni basenów pływackich	Klasa odporności korozyjnej CRC
Elementy nośne, które są regularnie czyszczone ^{a)}	CRC III lub CRC IV (z wyłączeniem 1.4162, 1.4662, 1.4362 i 1.4062)
Elementy nośne, które nie są regularnie czyszczone	CRC V (z wyłączeniem 1.4410, 1.4501 i 1.4507)
Wszystkie elementy złączne, elementy mocujące i elementy gwintowane	CRC V (z wyłączeniem 1.4410, 1.4501 i 1.4507)

^{a)} Wymagania kontroli elementów pod względem jakichkolwiek oznak korozji i ich czyszczenia muszą być precyzyjnie określone w formie pisemnej instrukcji. Charakter inspekcji, metody czyszczenia i częstotliwość kontroli powinny być jasno określone. Większa częstota czyszczenia daje lepsze korzyści. Częstość inspekcji nie powinna być rzadsza niż raz w tygodniu. Sprecyzowane wymogi czyszczenia powinny odnosić się do wszystkich elementów konstrukcyjnych ze stali nierdzewnej, nie tylko do tych łatwo dostępnych i widocznych.

• **Dobór gatunku stali nierdzewnej do niekonstrukcyjnych zastosowań zewnętrznych.** Stałe w tym przypadku są dobierane przede wszystkim pod względem ich odporności korozyjnej. Głównym czynnikiem, który decyduje o zastosowaniu stali odpowiedniego gatunku, jest umiejscowienie danej konstrukcji w określonym środowisku zewnętrznym, a także

lokalny charakter klimatu, wykończenie powierzchni oraz dostępność i możliwość czyszczenia powierzchni. Zasady doboru gatunku stali nierdzewnej do zastosowań niekonstrukcyjnych, zwanych również estetycznymi lub architektonicznymi, opracowano na podstawie systemu oceny miejsca (The Site and Design Evaluation System) rekomendowanego przez Międzynarodowe Stowarzyszenie Molibdenu (IMO) [6]. Dobór ten polega na wyznaczeniu liczby punktów z uwzględnieniem niżej podanych kryteriów. W zależności od końcowej liczby punktów otrzymuje się zalecane gatunki stali nierdzewnych możliwe do zastosowania w określonym środowisku.

Kryteriami ocenianymi podczas procedury doboru optymalnego gatunku stali nierdzewnej są:

- 1) zanieczyszczenie środowiska,
- 2) oddziaływanie warunków morskich i soli drogowej,
- 3) lokalny charakter klimatu,
- 4) charakterystyka projektu – uwarunkowania projektowe,
- 5) harmonogram konserwacji.

Zasady doboru gatunku stali do realizacji estetycznych przedstawiono w tabl. 6 i 7.

Tablica 6
Punktacja w poszczególnych kryteriach rozpatrywanych przy doborze gatunku stali nierdzewnej w realizacjach niekonstrukcyjnych (estetycznych) [5]

Punkty	Opis kryteriów procedury
1. Zanieczyszczenie środowiska (należy wybrać odpowiednią wartość)	
1.1. Zanieczyszczenia wiejskie	
0	brak lub bardzo małe zanieczyszczenia
1.2. Zanieczyszczenia miejskie (lekki przemysł, spaliny samochodowe)	
0	małe
2	umiarkowane
3	duże ¹⁾
Zanieczyszczenia przemysłowe (agresywne gazy, tlenki żelaza, chemikalia itd.)	
3	małe i umiarkowane
4	duże ¹⁾
2. Oddziaływanie warunków morskich i soli drogowej	
2.1. Ekspozycja przybrzeżna	
Oddziaływanie stref przybrzeżnych lub morskich	
1	małe (>1,6 – 16 km [1 – 10 mil] od słonej wody) ²⁾
3	umiarkowane (30 m – 1,6 km [100 stóp do 1 mili] od słonej wody)
4	duże (<30 m [100 stóp] od słonej wody)
5	morskie (mgła solna lub sporadyczne spryskiwanie) ¹⁾
8	surowe morskie (ciągłe spryskiwanie) ¹⁾
10	surowe morskie (ciągłe zanurzenie) ¹⁾
2.2. Ekspozycja na sól drogową	
Oddziaływanie soli drogowej (odległość od drogi lub gruntu)	
0	brak soli w próbkę pobranej z terenu – brak wpływu
0	ruch drogowy zbyt mały, aby powodować unoszenie soli z podłoża lub zbyt słaby wiatr, aby przenosić chlorki, na chodnikach nie stosuje się soli
1	bardzo małe (10 m do 1 km [33 do 3280 stóp] lub 3 do 60 piętra) ³⁾
2	małe (<10 do 500 m [33 do 1600 stóp] lub 2 do 34 piętra) ³⁾
3	umiarkowane (<3 do 100 m [10 do 328 stóp] lub 1 do 22 piętra) ³⁾
4	duże (<2 do 50 m [6,5 do 164 stóp] lub 1 do 3 piętra) ^{1) 3)}
3. Lokalny charakter klimatu	
-1	umiarkowany lub zimny klimat, regularne obfite opady
-1	ciepły lub zimny klimat o typowej wilgotności poniżej 50%
0	umiarkowany lub zimny klimat, sporadyczne silne opady deszczu
0	tropikalny lub podzwrotnikowy, wilgotny, regularne lub sezonowe silne opady deszczu
1	umiarkowany klimat, rzadkie deszcze, wilgotność ponad 50%
1	regularne bardzo lekkie deszcze lub częste mgły

cd. tabl. 6

Punkty	Opis kryteriów procedury
2	ciepły klimat, wilgotność ponad 50%, bardzo słabe lub brak opadów deszczu ⁴⁾
4. Uwarunkowania projektowe – wybrać jedną lub więcej opcji	
0	powierzchnie swobodnie wystawione na łatwe zmywanie przez deszcz
0	powierzchnie pionowe z pionowym kierunkiem lub bez wykończenia
-2	powierzchnie wytrawione, elektropolerowane lub o chropowatości $X \leq R_a 0,3 \mu\text{m}$ (12 μin)
-1	chropowatość wykończenia powierzchni $R_a 0,3 \mu\text{m}$ (12 μin) < $X \leq R_a 0,5 \mu\text{m}$ (20 μin)
1	chropowatość wykończenia powierzchni $R_a 0,5 \mu\text{m}$ (20 μin) < $X \leq R_a 1 \mu\text{m}$ (40 μin)
2	chropowatość wykończenia powierzchni $X > R_a 1 \mu\text{m}$ (40 μin)
1	miejsca osłonięte lub otwarte szczeliny ⁴⁾
1	powierzchnie poziome
1	powierzchnie poziome z kierunkowym wykończeniem
5. Harmonogram konserwacji	
0	brak czyszczenia
-1	mycie/zmywanie przynajmniej w sposób naturalny
-2	czyszczenie cztery lub więcej razy w roku
-3	czyszczenie przynajmniej co miesiąc
¹⁾ Miejsca o dużej korozyjności; skonsultować z ekspertem ds. korozji stali nierdzewnej. ²⁾ Zakres ten pokazuje, jak daleko migrują chlorki od dużych zbiorników słonowodnych. Niektóre miejsca tego typu są narażone na występowanie chlorków, a w innych ich brak. Wymaga zbadania próbek z terenu na obecność chlorków. ³⁾ Zakres ten pokazuje, jak daleko migrują chlorki od lokalnych dróg wiejskich i z dużym natężeniem ruchu. Wymaga zbadania próbek z terenu na obecność chlorków. ⁴⁾ Jeżeli jednocześnie występuje sól (chlorki) lub zanieczyszczenia należy skonsultować z ekspertem ds. korozji stali nierdzewnej.	

Tablica 7

Gatunki stali nierdzewnej zalecane do realizacji estetycznych [5]

Suma punktów	Zalecane gatunki stali nierdzewnych
Od 0 do 2	gatunek typu 1.4301 (AISI 304)/ 1.4306 (AISI 304L)
3	gatunek typu 1.4401 (AISI 316)/1.4404 (AISI 316L) lub 1.4521 (AISI 444)
4	zalecany gatunek 1.4438 (AISI 317L)
≥ 5	wymagane gatunki o większej odporności korozyjnej, takie jak: 1.4462 (2205)*), 1.4539 (904L)*), 1.4439 (AISI 317LMN), superduplex, superferrytyczne lub superaustenityczne z 6-procentową zawartością molibdenu (Mo). Przy wyniku ponad 5 jest wymagana konsultacja z ekspertem ds. korozji z doświadczeniem w zastosowaniach niekonstrukcyjnych (estetycznych).
*) Alternatywne oznaczenie handlowe.	

W celu obniżenia wyniku końcowego – liczby punktów, można wprowadzić następujące zmiany w projekcie architektonicznym zmniejszające wymagania co do odporności korozyjnej stosowanych materiałów:

- zastosować powierzchnie swobodnie wystawione na zmywanie przez deszcz,
- dobrać powierzchnie o mniejszej chropowatości,

- stosować pionowy kierunek wykończenia powierzchni,
- eliminować powierzchnie poziome oraz otwarte szczeliny,
- zalecać regularne czyszczenie powierzchni,
- zastosować rozwiązania projektowe ułatwiające ręczne czyszczenie powierzchni,
- wprowadzić naturalne lub sztuczne bariery zmniejszające wpływ mgiełki soli drogowej unoszonej spod kół samochodowych.

Podsumowanie

Trwałość konstrukcji ze stali nierdzewnych w dużym stopniu zależy od właściwego doboru gatunku stali do korozyjnie agresywnych czynników środowiska. Brak konieczności odnawiania zabezpieczeń antykorozyjnych, estetyka i trwałość materiału oraz długi cykl życia konstrukcji są niewątpliwymi zaletami konstrukcji ze stali nierdzewnej [1]. Ponadto konserwacja konstrukcji zrealizowanych z tych stali jest łatwa i nie wymaga skomplikowanych zabiegów pielęgnacyjnych. Czynniki te, w połączeniu z dobrymi właściwościami mechanicznymi, łatwością obróbki i montażu elementów, dostępnością zróżnicowanego asortymentu produktów i wyrobów hutniczych oraz rodzajów wykończenia powierzchni (matowych, błyszczących i kolorowych) sprawiają, że stal nierdzewna jest coraz częściej stosowana w konstrukcjach budowlanych. Realizację konstrukcyjne i estetyczne ze stali nierdzewnej przyczyniają się do znacznego zmniejszenia kosztów ogólnych inwestycji przez uzyskanie doskonałej małej wartości proporcji kosztów końcowych inwestycji do kosztów utrzymania obiektu odniesionych do jego globalnej trwałości.

W artykule przedstawiono wyniki badań naukowych finansowanych częściowo przez Research Fund for Coal and Steel, a częściowo przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach programu badawczego PUREST – Promotion of new Eurocode rules for structural stainless steels.

PIŚMIENNICTWO

- [1] *Baddoo N.*: 100 years of stainless steel: A review of structural applications and the development of design rules. "The Structural Engineer". Volume 91, August 2013.
- [2] *Brytan Z.*: Vademecum stali nierdzewnej. Stowarzyszenie Stal Nierdzewna, Katowice 2014.
- [3] BSSA – British Stainless Steel Association. Calculation of pitting resistance equivalent numbers (PREN). <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=111>.
- [4] Design Manual for Structural Stainless Steel (Fourth Edition, 6 Feb 2017). Publication Number: SCI P413 (wersja elektroniczna).
- [5] International Molybdenum Association (IMO). Selecting Stainless Steel for Optimum Performance. <http://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-stainless-steels/architecture/stainless-steel-selection-system.php>.
- [6] *Kuchta K., Tylek I.*: Specyfika cech fizykomechanicznych konstrukcyjnych stali nierdzewnych. „Czasopismo Inżynierii Łąkowej, Środowiska i Architektury JCEEA” z. 61 (4/14), październik-grudzień 2014.
- [7] PN-EN 10088-1 Stale odporne na korozję – Część 1: Gatunki stali odpornych na korozję.
- [8] PN-EN 1993-1-4 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1-4: Reguły ogólne – Reguły uzupełniające dla konstrukcji ze stali nierdzewnych.
- [9] Zmiana do Polskiej Normy PN-EN 1993-1-4:2007/A1:2015-08 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1-4: Reguły ogólne – Reguły uzupełniające dla konstrukcji ze stali nierdzewnych.

Zapraszamy do prenumerowania „INŻYNIERII I BUDOWNICTWA”

Warunki prenumeraty na stronie 281 niniejszego zeszytu