

WIKTOR WCIŚLIK¹
PAWEŁ KOSSAKOWSKI²
PIOTR SOKOŁOWSKI³
Kielce University of Technology

¹ e-mail: wwcislik@tu.kielce.pl

² e-mail: kossak@tu.kielce.pl

³ e-mail: pso.sokol@wp.pl

STAINLESS STEEL IN BUILDING STRUCTURES – ADVANTAGES AND EXAMPLES OF APPLICATION

STAL NIERDZEWNA W BUDOWNICTWIE – ZALETY I PRZYKŁADY ZASTOSOWAŃ

Abstract

The paper discusses the problem of using stainless steels in construction. Characteristics of steel marking systems in the European standards have been characterized. Basic types of steel are presented together with their short characteristics. Examples of use of stainless steels in construction are discussed, both in terms of construction elements and equipment.

Keywords: hard-working steel, building structures, European standards.

Streszczenie

W pracy poruszono problematykę zastosowania stali nierdzewnych w budownictwie. Scharakteryzowano systemy oznaczeń stali trudnordzewiejących w normach europejskich. Przedstawiono podstawowe rodzaje stali wraz z ich krótką charakterystyką. Omówiono przykłady zastosowania stali nierdzewnych w budownictwie, zarówno w odniesieniu do elementów konstrukcyjnych, jak i wyposażenia obiektów.

Słowa kluczowe: stal trudnordzewiejąca, konstrukcje budowlane, normy europejskie

1. Introduction

Stainless steel was invented in the early 20th century. In 1913, Englishman Harry Brearley first used the term “stainless steel” for alloys composed of iron, carbon (0.24%) and chromium (12.8%) [1]. The material was patented in 1924 in Great Britain. From then on, stainless steel is constantly present in the building industry, architecture and everyday objects. What emphasizes its attractiveness among others are: aesthetics, strength, corrosion resistance, while excellent anticorrosive properties determine the use of this type of steel.

2. The advantages of stainless steel used in construction

Stainless steel is perceived as a modern material, a symbol of wealth and luxury. Its use in construction often allows significant improvement of the aesthetics of the object. Therefore, it is used not only for the

1. Wstęp

Stal nierdzewna, zwana stalą trudnordzewiejącą, została wynaleziona na początku XX wieku. W 1913 roku Anglik Harry Brearley po raz pierwszy użył terminu „stal nierdzewna” w odniesieniu do stopu złożonego z żelaza, węgla (0,24%) oraz chromu (12,8%) [1]. Materiał opatentowano w 1924 roku w Wielkiej Brytanii. Od tego momentu stal nierdzewna jest nieprzerwanie obecna w budownictwie, architekturze i przedmiotach codziennego użytku. O jej atrakcyjności decydują między innymi: estetyka, wytrzymałość, odporność na korozję, przy czym właśnie znakomite właściwości antykorozyjne decydują o zastosowaniu tego typu stali.

2. Zalety stali nierdzewnej stosowanej w budownictwie

Stal nierdzewna jest postrzegana jako materiał nowoczesny, symbol bogactwa oraz luksusu. Jej zasto-

implementation of large and prestigious investments, but also more and more often to make equipment and fittings in the general construction.

In addition to the high corrosion resistance, ecological considerations are an important factor influencing the popularity of hard-working steels. According to the European Association for the Development of Stainless Steel Market EURO-INOX, 60% of stainless steel comes from scrap melting [2].

The aesthetic appearance of stainless steel is an advantage especially appreciated by architects. It gives the opportunity to use steel with other building materials, such as glass. New architectural trends have contributed to the fact that architects have begun to use stainless steel in shopping mall projects, art galleries, museums, and office buildings.

The use of stainless steel not only emphasizes prestige, elegance, luxury, but also practical value, because stainless steel, unlike other types of steel, is hygienic, easy to maintain and clean.

Plasticity, strength, resistance to extreme temperatures (up to 1000°C) make stainless steel a material more and more commonly used in many fields of technology, including construction. The use of stainless steels also limits the need for corrosion protection and paint, reducing maintenance and maintenance costs. Like any other metal stainless steel is not devoid of defects. These include, among others, welding difficulties (and associated flooding and welding spatter). There is also a high cost of polishing steel and the cost of its production (about 5 times the normal steel).

3. Basic types and grades of stainless steel

The most important criterion determining the classification of a given steel as corrosion resistant is the chromium content. According to PN-EN 10088-1 [3] the chromium content of corrosion resistant steels should not be lower than 10.5%, but the carbon fraction should not exceed 1.2%. Other alloying elements: nickel, molybdenum, titanium, niobium, manganese, nitrogen, copper, silicon, aluminum and vanadium increase corrosion resistance [3].

Principles of determination of stainless steel are included in standards [4, 5]. There are two types of markings. Digital signatures [5] consist of 5 digits. The first digit (separated from the remaining by a period) is the type of material where the steel is denoted by 1. The two consecutive digits define the group to which the types of steel is to be considered,

sowanie w budownictwie niejednokrotnie umożliwia znaczącą poprawę estetyki obiektu. W związku z tym wykorzystywana jest nie tylko do realizacji dużych i prestiżowych inwestycji, ale także coraz częściej do wykonawstwa elementów wyposażenia i wykończenia w budownictwie powszechnym.

Oprócz wysokiej odporności korozyjnej istotnym czynnikiem wpływającym na popularność stali trudnordzewiejących są względy ekologiczne. Według danych Europejskiego Stowarzyszenia Rozwoju Rynku Stali Nierdzewnej EURO-INOX 60% stali nierdzewnej pochodzi z przetopienia złomu [2].

Estetyczny wygląd stali nierdzewnych to zaleta szczególnie ceniona przez architektów. Daje ona możliwość komponowania stali z innymi materiałami budowlanymi, na przykład szkłem. Nowe trendy w architekturze przyczyniły się do tego, iż architekci zaczęli stosować stal nierdzewną w projektach centrów handlowych, galerii sztuki, muzeów czy też budynków biurowych.

Użycie stali nierdzewnej to nie tylko podkreślenie prestiżu, elegancji, symbol luksusu, ale przede wszystkim walory praktyczne, bo stal nierdzewna, w odróżnieniu od innych rodzajów stali, jest higieniczna, łatwa w konserwacji i utrzymaniu w czystości.

Plastyczność, wytrzymałość, odporność na skrajne temperatury (do 1000°C) powodują, że stal nierdzewna jest materiałem coraz częściej stosowanym w wielu dziedzinach techniki, także w budownictwie. Wykorzystanie stali nierdzewnych ogranicza też konieczność stosowania zabezpieczeń antykorozyjnych i farb, redukując koszty utrzymania i konserwacji obiektu.

Jak każdy metal, tak i stal nierdzewna nie jest pozbawiona wad. Należą do nich między innymi trudności w spawaniu (oraz związane z tym podtopienia i rozpryski spawalnicze). Wysoki jest też koszt polepowania stali oraz koszt jej produkcji (około 5 razy większy niż zwykłej stali).

3. Podstawowe rodzaje i gatunki stali nierdzewnej

Najistotniejszym kryterium, decydującym o zaklasyfikowaniu danej stali jako odpornej na korozję, jest zawartość chromu. Zgodnie z PN-EN 10088-1 [3] udział chromu w stalach odpornych na korozję nie powinien być niższy od 10,5%, natomiast udział węgla nie może przekraczać 1,2%. Inne składniki stopowe: nikiel, molibden, tytan, niob, mangan, azot, miedź, krzem, glin i wana- dodatkowo podwyższają odporność na korozję [3].

Zasady oznaczania stali nierdzewnych zawarto w normach [4, 5]. Rozróżnia się przy tym dwa rodzaje oznaczeń. Oznaczenia cyfrowe [5] składają się z 5 cyfr. Cyfra pierwsza (oddzielona od pozostałych kropką)

as shown in Table 1. The last two digits indicate the next types within the group. For example: 1.4436 designates a corrosion resistant steel containing more than 2.5% nickel, molybdenum but no niobium and titanium.

Group	Description of the steel grades belonging to the group
40	Corrosion resistant steel with a content below 2.5% Ni, without Mo, Nb and Ti
41	Corrosion resistant steel with a content below 2.5% Ni, with Mo, without Nb and Ti
42	Backup location
43	Corrosion resistant steel with a content above 2.5% Ni, without Mo, Nb and Ti
44	Corrosion resistant steel containing above 2.5% Ni, with Mo, without Nb and Ti
45	Corrosion resistant steels with special additives
46	Ni alloys chemically resistant and heat resistant
47	Heat-resistant steels containing below 2.5% Ni
48	Heat-resistant steels containing above 2.5% Ni
49	Materials for work at elevated temperatures

The alphanumeric system [4] in the name of the steel grade mentions the alloying elements and gives their percentages. For stainless steel, the name starts with the letter X (meaning that the content of at least one element exceeds 5%). The digits behind the letter X give the carbon content of a given steel multiplied by 100. In subsequent positions, the name of the types is the denotation of the chemical symbols of the alloying elements and their content in %. According to the principles set forth above, X17CrNi16-2 should be read as: steel in which the content of at least one element exceeds 5% (X) with a carbon content of 0.17% (17), containing 16% chromium and 2% nickel.

High corrosion resistance is associated with the formation of a thin layer of oxidized material on the surface (so-called passivation). High chromium permeability is shown to be a particularly desirable element in corrosion resistant steels. Taking into account the chemical composition, the following are distinguished: high chrome, chromium-nickel, chromium-nickel-manganese.

The standard PN-EN 10088-3 [6] distinguishes four types of steel: austenitic, ferritic, martensitic and ferritic-austenitic (duplex). According to this standard, austenitic steel is divided into 1.4301, 1.4305, 1.4306, 1.4307, 1.4310, 1.4401, 1.4435, 1.4436, 1.4438, 1.4439, 1.4529, 1.4539, 1.4541,

oznacza rodzaj materiału, gdzie stal oznaczona jest numerem 1. Dwie kolejne cyfry definiują grupę, do jakiej należy rozpatrywany gatunek, zgodnie z tabelą 1. Dwie ostatnie cyfry określają kolejny gatunek w obrębie danej grupy. Przykładowo: oznaczenie 1.4436 określa stal odporną na korozję zawierającą powyżej 2,5% niklu, molibden, ale niezawierającą niobu i tytanu.

Table 1. Groups of grades of corrosion resistant steels according [5]

Tabela 1. Grupy gatunków stali odpornych na korozję [5]

System oznaczeń literowo-cyfrowych [4] w nazwie gatunku stali wymienia pierwiastki stopowe i podaje ich procentową zawartość. W przypadku stali nierdzewnych nazwa zaczyna się od litery X (oznacza, że zawartość przynajmniej jednego pierwiastka przekracza 5%). Cyfry znajdujące się za literą X podają zawartość węgla w danej stali pomnożoną przez 100. Na kolejnych pozycjach nazwy gatunku znajdują się oznaczenia symboli chemicznych pierwiastków stopowych, a następnie ich zawartość wyrażona w %. Zgodnie z podanymi powyżej zasadami, oznaczenie X17CrNi16-2 należy odczytywać jako: stal, w której zawartość przynajmniej jednego pierwiastka przekracza 5 % (X), o zawartości węgla 0,17% (17), zawierająca 16% chromu i 2% niklu.

Wysoka odporność korozyjna jest związana z tworzeniem się cienkiej warstwy utlenionego materiału na powierzchni (tzw. pasywacja). Wysoką zdolność do pasywacji wykazuje chrom, dzięki czemu jest pierwiastkiem szczególnie pożądanym w stalach odpornych na korozję. Przyjmując za kryterium skład chemiczny, rozróżnia się stale: wysokochromowe, chromowo-niklowe, chromowo-niklowo-manganowe.

Norma PN-EN 10088-3 [6] wyróżnia cztery rodzaje stali: austenityczna, ferrytyczna, martenzytyczna i ferrytyczno-austenityczna (duplex). Według tej normy stal austenityczna dzieli się na gatunki: 1.4301,

1.4547, 1.4550, 1.4571. Due to the addition of 8% nickel and 18% chromium, austenitic steels are most commonly used. They are characterized by the highest resistance to corrosion, high ductility and weldability.

Ferritic steel is divided into 1.4000, 1.4003, 1.4016, 1.4510 and three groups depending on chromium content (13%, 17% and 25%). The carbon content is in the range 0% to 1%. Ferritic steels are characterized by good strength properties, higher than austenitic steels, and high corrosion resistance. The main alloying additive is chrome and minor admixtures of molybdenum, titanium, niobium and other components.

Martensitic steel is divided into grades: 1.4006, 1.4021, 1.4028, 1.4031, 1.4034, 1.4057, 1.4122. It is characterized by similar content of chromium as ferritic steels, while the content of carbon is slightly higher. The martensite structure gives these steels high strength properties (tensile strength up to about 1100 MPa). The resistance of martensitic steel to corrosion is low and decreases with the increase of temperature, the weather corrosion resistance is sufficient only in very clean air.

Ferritic-austenitic steel is classified into 1.4362, 1.4410, 1.4460, 1.4462. These steels are high alloyed steels resistant to corrosion, in terms of strength considerably outperform the austenitic steels. They are also often used in structures exposed to strong acids.

4. Application of stainless steel in construction

4.1. Stainless steel in public buildings

One of the first buildings constructed with stainless steel is Chrysler Building, built in 1930 (Fig. 1). Krupp KA2 "Enduro" steel was used for its construction.

Today, stainless steel is widely used in the production of glazed roofs and facades, such as the Walt Disney Concert Hall in Los Angeles (Fig. 2), for the construction of elevators and escalators. An example of the application of stainless steel in pedestrian walkways is Cheung Kong Center, Hong Kong (Fig. 3).

There have appeared also new construction sectors, where stainless steel proves to be the perfect replacement for other materials. These are, for example, pools for swimming pools or archaeological sites. An example might be Terrace House 2 in Ephesus, where an arched structure above the archaeological site was built to protect it from the weather (Fig. 4).

1.4305, 1.4306, 1.4307, 1.4310, 1.4401, 1.4435, 1.4436, 1.4438, 1.4439, 1.4529, 1.4539, 1.4541, 1.4547, 1.4550, 1.4571. Z uwagi na dodatek 8% niklu i 18% chromu, stale austenityczne są stosowane najczęściej. Charakteryzują się największą odpornością na korozję, wysoką ciągliwością i spawalnością.

Stal ferrytyczna dzieli się na gatunki: 1.4000, 1.4003, 1.4016, 1.4510 i na trzy grupy w zależności od zawartości chromu (13%, 17% i 25%). Zawartość węgla zawiera się w przedziale od 0% do 1%. Stale ferrytyczne charakteryzują się dobrymi właściwościami wytrzymałościowymi, wyższymi niż stal austenityczna, oraz wysoką odpornością na korozję. Głównym dodatkiem stopowym jest chrom oraz niewielkie domieszki molibdenu, tytanu, niobu oraz innych składników.

Stal martenzytyczna dzieli się na gatunki: 1.4006, 1.4021, 1.4028, 1.4031, 1.4034, 1.4057, 1.4122. Charakteryzuje się podobną zawartością chromu jak stale ferrytyczne, nieco wyższa jest natomiast zawartość węgla. Struktura martenzytu zapewnia tym stalom wysokie własności wytrzymałościowe (wytrzymałość na rozciąganie nawet do około 1100 MPa). Odporność stali martenzytycznych na korozję jest niska i spada wraz ze wzrostem temperatury, odporność na korozję atmosferyczną jest dostateczna jedynie przy bardzo czystym powietrzu.

Stal ferrytyczno-austenityczna dzieli się na gatunki: 1.4362, 1.4410, 1.4460, 1.4462. Stale te są wysokostopowymi stalami odpornymi na korozję, pod względem wytrzymałości znacznie przewyższają stale austenityczne. Są też często używane w konstrukcjach narażonych na działanie silnych kwasów.

4. Zastosowanie stali nierdzewnej w budownictwie

4.1. Stal nierdzewna w budynkach użyteczności publicznej

Jednym z pierwszych obiektów budowlanych wzniesionych z wykorzystaniem stali nierdzewnej był zbudowany w 1930 roku Chrysler Building (rys. 1). Do budowy użyto stali o nazwie Krupp KA2 „Enduro”.

Obecnie szeroko stosuje się stal nierdzewną w produkcji oszklonych dachów i elewacji jak np. w Walt Disney Concert Hall w Los Angeles (rys. 2), do budowy wind i ruchomych schodów. Przykładem zastosowania stali nierdzewnej w konstrukcji kładki dla pieszych jest Cheung Kong Center, Hong Kong (rys. 3).

Pojawiły się też zupełnie nowe sektory budownictwa, gdzie stal nierdzewna doskonale się sprawdziła, wypierając tym samym inne materiały. Są to np. zbiorniki basenów kąpielowych czy konstrukcje zabezpieczające tereny wykopalisk archeologicznych. Przykładem może być Terrace House 2 w Efezie,



Fig. 1. Chrysler Building [7]
Rys. 1. Chrysler Building [7]



Fig. 2. Walt Disney Concert Hall [8]
Rys. 2. Walt Disney Concert Hall [8]



Fig. 3. Footbridge in Cheung Kong Center, Hong Kong [9]
Rys. 3. Kładka dla pieszych w Cheung Kong Center, Hong Kong [9]



Fig. 4. Terrace House 2 in Ephesus [10]
Rys. 4. Terraca House 2 w Efezie [10]



Fig. 5. Dome covered with stainless steel sheet [11]
Rys. 5. Kopuła pokryta blachą ze stali nierdzewnej [11]

It is worth mentioning that there is a possibility of using stainless steel for roofing (Fig. 5). This guarantees not only attractive appearance, but also high resistance to corrosion, and consequently significant durability and associated reduction in maintenance costs.

4.2. Stainless steel in single family housing

In single family housing stainless steel is used for the construction of fences (Fig. 6), barriers and balustrades, roofing, gutters and drainage. It is also used in modern chimney systems, in heating systems where aggressive chemicals are condensed.

gdzie nad stanowiskiem archeologicznym wybudowano konstrukcję mającą je chronić przed warunkami atmosferycznymi (rys. 4).

Warto wspomnieć o możliwości użycia stali nierdzewnej do pokrycia dachów (rys. 5). Gwarantuje to nie tylko atrakcyjny wygląd, ale przede wszystkim odporność na korozję, a co za tym idzie znaczną trwałość i związaną z tym redukcję kosztów konserwacji.

4.2. Stal nierdzewna w budownictwie jednorodzinym

W budownictwie jednorodzinym stal nierdzewną wykorzystuje się do budowy ogrodzeń (rys. 6), barier i balustrad, wykonawstwa pokryć dachowych, rynien i rur spustowych. Jest ona także stosowana w nowoczesnych systemach kominowych, w instalacjach grzewczych, w których kondensowane są agresywne związki chemiczne.



Fig. 6. Fence made of stainless steel [12]

Rys. 6. Ogrózenie wykonane ze stali nierdzewnej [12]

4.3. Stainless steel construction in industrial buildings

Stainless steel is also used in industrial applications: for the construction of pipelines, heating systems, air conditioning components, fittings, as well as for the production of profiles used in metalwork, truss bars, lashing or reinforcement (Fig. 7). Durable steel is used for the production of cables and nets [13], bolts, and anchors.

4.3. Stal nierdzewna w budownictwie przemysłowym

Stal nierdzewna jest też używana w obiektach przemysłowych: do budowy rurociągów, systemów grzewczych, elementów klimatyzacji, armatury, jak również do produkcji profili stosowanych w metaloplastyce, prętów kratownic, odciągów lub zbrojenia żelbetu (rys. 7). Stal trudnordzewiejącą wykorzystuje się do produkcji kabli i siatek [13], śrub, sworzni i kotew.



Fig. 7. Reinforcement made of stainless steel [14]

Rys. 7. Siatka zbrojeniowa wykonana ze stali nierdzewnej [14]

4.4. Technological issues related to the use of stainless steel

The use of traditional methods such as shaping, rolling, cutting, drilling, stamping on stainless steel is relatively easy, but the tools used must be designed exclusively for stainless steel [15]. This is to help avoid contamination with iron compounds that can contribute to corrosion. Stainless steel can be joined or attached to other materials by welding, soldering, riveting or gluing. However, the choice of the appropriate technique should be made according to the application and mechanical strength required. The mechanical assembly of stainless steel is done with threaded bolts, screws, bolts, washers, rivets, and dowels. However, in most cases two-sided screws, pins or rivets are used. For moisture-laden joints it is recommended that the grade of the fastener is at least the same as the grade of the combined stainless steel. If other connecting materials are used, they should be separated from stainless steel by non-metallic washers and sleeves. Stainless steel can also be seamlessly combined with any type of wood and all types of particleboard. Contact with masonry, cement, lime or plaster does not affect stainless steel.

5. Summary

Constantly evolving construction still needs new solutions and modern materials that will provide long life, durability, reliability and aesthetics. Meeting these conditions has always been a problem. The search for new construction materials that would withstand corrosion but at the same time provide durability and aesthetics resulted in the emergence of stainless steel, which has been more and more commonly used in the construction industry since its invention. This has led to an increase in world investment, where stainless steel is used.

References

- [1] <http://www.nierdzewka.com/page/24/historia-stali-nierdzewnej>.
- [2] <http://www.nierdzewka.com/page/36/stal-nierdzewna-material-przyszlosci-dla-budownictwa>.
- [3] PN-EN 10088-1, *Constant corrosion resistant. Part 1: Corrosion resistant steel grades*.
- [4] PN-EN 10027-1:2007, *Steel Marking Systems - Part 1: Steel Signs*.
- [5] PN-EN 10027-2:2015-07, *Steel Identification Systems - Part 2: Digital System*.
- [6] PN-EN 10088-3, *Constant corrosion resistant. Part 3: Technical conditions for the delivery of semi-finished products, rods, rods, wire, sections and articles of general purpose stainless steel bright surfaces*.
- [7] https://en.wikipedia.org/wiki/Chrysler_Building#/media/File:Chrysler_Building_by_David_Shankbone_Retouched.jpg.

4.4. Technologiczne aspekty związane z zastosowaniem stali nierdzewnych

Użycie tradycyjnych metod, takich jak kształtowanie, walcowanie, skrawanie, wiercenie, stemplowanie, przy obróbce stali nierdzewnej jest stosunkowo łatwe, jednak użyte narzędzia muszą być przeznaczone wyłącznie do pracy ze stalą nierdzewną [15]. Ma to pomóc, uniknąć zanieczyszczenia związkami żelaza, które mogą przyczynić się do powstawania korozji. Stal nierdzewna może być łączona lub mocowana do innych materiałów przy użyciu spawania, lutowania, nitowania bądź klejenia. Jednakże wybór odpowiedniej techniki powinien być dokonany zgodnie z zastosowaniem oraz wymaganą wytrzymałością mechaniczną. Montaż mechaniczny stali nierdzewnej odbywa się za pomocą kołków gwintowanych, wkrętów, śrub, podkładek, nitów i dybli. Jednak w większości przypadków używa się śrub dwustronnych, sworzni lub nitów. W przypadku połączeń działających w wilgotnej atmosferze zaleca się, aby gatunek stali łącznika był co najmniej taki sam jak gatunek łączonej stali nierdzewnej. Jeżeli są zastosowane inne materiały łączące, to powinny być odseparowane od stali nierdzewnej poprzez niemetalowe podkładki i tuleje. Stal nierdzewną można również bezproblemowo łączyć z każdym typem drewna oraz ze wszystkimi rodzajami płyt wiórowych. Kontakt z zaprawą murarską, cementem, wapnem lub tynkiem nie wywiera korozyjnego wpływu na stal nierdzewną.

5. Podsumowanie

Stale rozwijające się budownictwo wciąż potrzebuje nowych rozwiązań i nowoczesnych materiałów, które zapewniłyby długą trwałość, wytrzymałość, niezawodność i estetykę. Spełnienie tych warunków od zawsze stanowiło problem. Poszukiwanie nowych materiałów konstrukcyjnych, które byłyby odporne na korozję, a jednocześnie odpowiednio wytrzymałe i estetyczne, doprowadziło do powstania stali nierdzewnej, która od czasu jej wynalezienia jest coraz częściej używana w branży budowlanej. Zaowocowało to wzrostem inwestycji na świecie, w których czynny udział bierze stal nierdzewna.

- [8] https://pl.wikipedia.org/wiki/Walt_Disney_Concert_Hall#/media/File:Walt_Disney_Concert_Hall,_LA,_CA,_jjron_22.03.2012.jpg.
- [9] <http://imagennix.com/portfolio/architecture/cheung-kong/#main>.
- [10] Helzel M.: *Combination of classics with modern - stainless steel in reconstruction and renovation of buildings (Polish version)*. Construction Series, Book 12, Euro Inox 2008.
- [11] <http://new.dachy.org/InfinityCMS/files/news/2934.jpg>.
- [12] <http://www.ogrodzenia.co.pl/ogrodzenia-nierdzewne-opole.php>.
- [13] McCormick C.: *The greening of a convention centre*. Nickel, 23, 3 (2008), pp. 6-9.
- [14] <http://www.outokumpu.com/en/forms/reinforcement-bar/pages/default.aspx>.
- [15] Dusart A., El-Deeb H., Jaouhari N., Ka D., Ruf L.: *Final Report ISSF Workshop*. Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2011.
- [16] Kossakowski P.: *Stainless steel bridges*. Structure and Environment, 1, 8 (2016), pp. 37-44.