



Temat specjalny

Stal i jej zastosowanie w budownictwie

tekst: **MARIA SZRUBA**, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne



TITAN POLSKA

Stal jako materiał budowlany posiada wyjątkowe właściwości pod względem nośności mechanicznej. Spośród materiałów powszechnie wykorzystywanych w budownictwie wykazuje też największą nośność dla kształtownika o najmniejszym przekroju – zarówno przy rozciąganiu, jak i ściskaniu. Dzięki swoim unikatowym cechom stal umożliwia architektom stosowanie jej do szerokiej gamy rozwiązań technicznych i estetycznych.



Fot. kalafoto, fotolia.com



Fot. Tomasz Przychodzien, fotolia.com

Nowa jakość stali

Stal produkowana obecnie jest jakościowo zdecydowanie lepsza od wytwarzanej dawniej, głównie dzięki zmianom technologicznym i presji wywieranej przez inwestorów, stawiających temu produktowi coraz ostrzejsze wymagania.

Dzisiejsza stal cechuje się większą jednorodnością tak pod względem budowy krystalicznej, jak i składu chemicznego, co uzyskano przez skuteczniejszą eliminację niepożądanych zanieczyszczeń związkami siarki i fosforu.

Warto podkreślić, że w wyniku rozwoju inżynierii materiałowej i metalurgii projektanci dysponują nowymi gatunkami stali nie tylko o wyższej wytrzymałości, ale także spełniającymi specjalne wymagania. Jest wśród nich stal trudno rdzewiejąca i nierdzewna, kwasoodporna, odporna na ścieranie, odporna na zmęczenie przy naprężeniach zmiennych cyklicznie czy też charakteryzująca się wolniejszą degradacją właściwości w zmiennej temperaturze.

Nowoczesne procesy walcowania i obróbki cieplnej gotowych wyrobów umożliwiają uzyskanie blach i kształtowników o małych naprężeniach własnych i walcowniczych oraz jednorodnej budowie krystalicznej. Te korzystne cechy wyrobów stalowych są możliwe do uzyskania dzięki technologiom walcowania termomechanicznego w postaci regulowanego walcowania normalizującego lub regulowanego walcowania z chłodzeniem natryskiem wodnym. Stal walcowana w gotowych wyrobach może zostać poddana dalszej obróbce w postaci ulepszenia cieplnego, które polega na zahartowaniu i średnim lub wysokim odpuszczaniu stali.

W wyniku ciągle poszerzanej oferty gatunków stali oraz asortymentów produktów stalowych ich odpowiedni dobór uwzględnia zarówno zróżnicowane wymagania eksploatacyjne, jak i kryteria ekonomiczne [1].

Projektowanie konstrukcji stalowych

Zasady projektowania różnego rodzaju konstrukcji stalowych zawarto w PN-EN 1993 Eurokod 3, zbiorze 19 norm, z czego dotyczące projektowania obejmują budynki, mosty, wieże, maszty i kominy, silosy, zbiorniki i rurociągi, palowanie i grodzie, konstrukcje wsporcze suwnic.

Pod nazwą konstrukcji stalowych rozumie się takie, w których główne elementy nośne są wykonane ze stali – belki, słupy, ramy, kraty, ciągnia, powłoki itp. W stalach przeznaczonych na elementy nośne konstrukcji żelazo jest zawsze w przewodzie

pod względem masowym. Spektrum stosowania stali jako materiału konstrukcyjnego jest bardzo szerokie, ponieważ poza konstrukcjami obiektów budowlanych wykorzystuje się ją m.in. w konstrukcjach maszynowych, statkach, dźwigach czy środkach transportu lądowego.

W porównaniu z innymi materiałami budowlanymi stal cechuje duża jednorodność i izotropowość właściwości fizycznych i mechanicznych. To materiał najbardziej odpowiadający hipotezom obliczeniowym wytrzymałości materiałów oraz teorii sprężystości i plastyczności.

Wśród budowlanych konstrukcji stalowych można wyróżnić trzy główne grupy:

- konstrukcje prętowe, w tym szkielety hal różnego przeznaczenia, szkielety budynków wielopiętrowych, kopuły prętowe, wieże antenowe i energetyczne, trzony masztów;
- konstrukcje powłokowe, do których zalicza się zbiorniki na płyny, zasobniki na materiały sypkie, zamknięcia wodne, rurociągi;
- konstrukcje ciągnowe, takie jak mosty wiszące i podwieszane, kolejki linowe, dachy wiszące i podwieszane o dużych rozpiętościach.

Wśród zalet konstrukcji stalowych można wymienić jednakową, dużą wytrzymałość na rozciąganie i ściskanie. Ich atutem jest także wysoki stopień prefabrykacji – konstrukcje wytwarzane są w postaci tzw. elementów wysyfkowych, dostosowanych pod względem ciężaru i gabarytów do posiadanych środków transportu i montażu. Elementy te są scalane na placu budowy.

Konstrukcje stalowe można łatwo wzmacniać w przypadku wzrostu obciążeń, co zdarza się często podczas modernizacji procesu technologicznego lub w przypadku uszkodzenia konstrukcji. Jeśli połączenia montażowe elementów są na śruby, to istnieje możliwość rozbiórki konstrukcji i jej ponowne zmontowanie w innym miejscu. W przypadku likwidacji konstrukcji nierozbieralnej i przeznaczenia jej na inne elementy konstrukcyjne lub skierowanie do ponownego przetopienia w stalowni możliwy jest niemal całkowity odzysk stali. Ponadto konstrukcje stalowe charakteryzują się względną lekkością – są lżejsze od konstrukcji betonowych i drewnianych [2].

Obszary zastosowań

Elementy stalowe występują w niemal każdym obszarze budownictwa drogowo-mostowego. W różnym zakresie

Czy systemy z żeliwa mogą być alternatywą dla systemów ze stali w kanalizacji i budownictwie?



ŁUKASZ MOCHOCKI,
menedżer sprzedaży ds. SMU,
Saint-Gobain PAM

Żeliwo – tak jak stal – jest materiałem trwałym, niezmiennym swoich właściwości w czasie, posiada przewodność elektryczną, jest niepalne, topi się w temperaturze dopiero ponad

1000 °C. Niewątpliwą zaletą żeliwa jest bardzo szybki montaż, a w przypadku rozwiązań bezkielichowych – znacznie szybszy montaż niż systemów ze stali, ponieważ nie wymaga specjalistycznego sprzętu ani spawania. Często warunki otoczenia nie pozwalają na spawanie rur, dlatego systemy z żeliwa są korzystną alternatywą dla stali. Nasze systemy z żeliwa z powodzeniem stosowane są w wielu branżach, jak wod-kan, budownictwo mieszkaniowe czy przemysł, ponieważ żeliwo wytrzymuje wysokie ciśnienia, nawet powyżej 20 b, jego odporność korozyjna jest wyższa niż stali, a powłoki wewnętrzne i zewnętrzne pozwalają implementować system z żeliwa zarówno do ścieków agresywnych (oleje, tłuszcze, kwasy, zasady itd.), jak i w miejscach o podwyższonej korozyjności zewnętrznej. W ofercie posiadamy kompletny system Epams, składający się z rur, kolan, trójników, czwórników, redukcji czy obejm, który daje możliwość podciśnieniowego odwodnienia dachu. Taki system często jest stosowany w halach sportowych, dużych obiektach użyteczności publicznej czy hotelach.

znajdują zastosowanie w obiektach mostowych, wiaduktach, systemach odwodnień, barierach energochłonnych, osłonach akustycznych, konstrukcjach oświetleniowych, infrastrukturze towarzyszącej itp. Konstrukcje stalowe dla drogownictwa są wykonywane ze stali niestopowych, wysokowytrzymałych i wysokostopowych. Podstawową technologią ich łączenia jest spawanie.

Ze stali wykonuje się hale o różnym przeznaczeniu, a o dużej popularności tego typu obiektów decydują krótki termin budowy i możliwość szybkiej rozbudowy. Hale o konstrukcji stalowej znajdują zastosowanie w różnorodnych branżach przemysłu, rolnictwie, a także jako obiekty użyteczności publicznej. Na rynku dominują dwa typy hal stalowych – z płyt warstwowych oraz z profili zamkniętych.

W przypadku hal stalowych z płyt warstwowych inwestorzy podczas wyboru komponentów kierują się ekonomią ich eksploatacji. Rodzaj pokrycia dachu i ścian oraz ich izolacji dostosowuje się do charakteru działalności. Zaletą tego typu hal są niskie koszty, wynikające z prostego montażu i szybkości powstawania obiektu.

Profile stalowe używane są w konstrukcjach drugorzędnych, a ich podstawową wersję wykorzystuje się głównie w halach produkcyjnych, natomiast kształtowniki zamknięte – w projek-

tach maszynowych i budowlanych o wysokich wymaganiach wytrzymałościowych i dużej precyzji wykonania. Ze względu na charakterystykę nośności powstającego obiektu w przypadku mniejszych konstrukcji stosuje się profile gięte na zimno, a dla dużych hal stalowych – walcowane na gorąco [3].

Sektor konstrukcji stalowych dokonał znaczących inwestycji w rozwój szerokiego zakresu dobrych inżynierskich rozwiązań dla wszystkich form budownictwa mieszkaniowego. Obecnie technologie te pozwalają uzyskać odpowiednią jakość, dobre właściwości konstrukcyjne, termiczne i akustyczne oraz spełniają kryteria zrównoważonego rozwoju. Ze względu na swoją różnorodność z powodzeniem znajdują zastosowanie w każdym stylu architektonicznym. O dojrzałości tych technologii świadczy ich powszechne stosowanie na wielu rynkach krajowych. Rynki te są silnie konkurencyjne i sukces konstrukcji stalowych, wypierających materiały bardziej tradycyjne, pokazuje potencjał wzrostowy [4].

Stal znajduje zastosowanie w budowie różnego rodzaju rurociągów i przewodów w górnictwie, przemyśle chemicznym, budownictwie, a także w produkcji armatury przemysłowej. Rury stalowe wyróżniają się dobrymi parametrami wytrzymałościowymi zarówno na ściskanie, jak i na rozciąganie. W celu zapewnienia ochrony przed agresywnym oddziaływaniem czynników zewnętrznych i wewnętrznych w rurach stalowych stosuje się powłoki ochronne. Do budowy instalacji wodociągowych służą rury z żeliwa sferoidalnego, które różni się od stali jedynie zawartością węgla – jest ona większa niż 2%. Charakteryzujące się dużą wytrzymałością na rozciąganie, a ponadto odporne na pęknięcie, swoją trwałość zawdzięczają dużej odporności na agresywne oddziaływanie płynącego medium od wewnątrz przewodu oraz środowiska po zewnętrznej stronie przewodu [5].

Prefabrykacja stali

Prefabrykaty stalowe są produkowane i tworzone do konkretnych obiektów. Elementy stalowe, podobnie jak w przypadku prefabrykatów betonowych, można scalać za pomocą prętów zbrojeniowych i betonu. Obliczenia dotyczące elementów prefabrykowanych oraz ich wymiarowanie tworzy się zgodnie z zasadami obliczeń dla konstrukcji żelbetowych i sprężonych według Eurokodu 2.

Żelbetowe konstrukcje prefabrykowane najczęściej produkowane są w klasie od B30 aż do klasy B60. Największymi zaletami konstrukcji prefabrykowanych są duża wytrzymałość i odporność. Elementy prefabrykowane charakteryzują się dużą odpornością ogniową i odpornością na korozję. Ponadto są gotowe do montażu już po kilku dniach i posiadają prawie 70% wytrzymałości betonu. Zastosowanie izolacji w postaci płyt warstwowych sprawia, że wszystkie elementy razem spełniają wymagania dotyczące stawiania przegród zewnętrznych.

Tworzenie konstrukcji prefabrykowanych różni się od projektowania konstrukcji monolitycznych, charakteryzując się większą szczegółowością, zakresem zagadnień i dokumentacji. Podczas projektowania konstrukcji należy brać pod uwagę na kilka etapów, m.in. etap produkcji i rozformowania, transportu i składowania, ale także montażu i eksploatacji. Przed przystąpieniem do projektowania dokonuje się podziału konstrukcji na elementy oraz tworzy szczegóły połączeń poszczególnych elementów [6].

Korozja i zabezpieczanie konstrukcji stalowych

Konstrukcje i budowlane wyroby ze stali wymagają zabezpieczeń przeciwkorozyjnych, co wynika z konieczności ochrony przed ubytkami wywołanymi korozją oraz ze względów estetycznych. Do najbardziej popularnych sposobów zabezpieczenia konstrukcji stalowych należy malowanie systemami farb podkładowych i nawierzchniowych. W tym celu używa się:

- farb schnących oksydacyjnie, alkidowych, alkiłowych modyfikowanych, epoksyestrowych, tworzących powłokę w reakcji z tlenem z powietrza, przy czym reakcja sieciowania przebiega stosunkowo szybko po nałożeniu powłoki i zachodzi (wolniej) przez cały okres eksploatacji, co przekłada się na stopniowe pogarszanie właściwości ochronnych;
- farb schnących fizycznie: chlorokauczukowych, poliwinilowych, akrylowych termoplastycznych, bitumicznych, które tworzą powłokę w wyniku odparowywania rozpuszczalnika. Tego typu farby charakteryzują się dobrą odpornością na warunki atmosferyczne, środowisko wilgotne, a także roztwory o odczynie kwaśnym i alkalicznym;
- farb schnących (utwardzanych) chemicznie dwuskładnikowych: epoksydowych, poliuretanowych, polimocznikowych, które są utwardzane w reakcji z drugim składnikiem. Powłoka utwardza się w wyniku odparowania rozpuszczalników, jeżeli są obecne, a następnie w wyniku reakcji chemicznej składnika podstawowego z utwardzaczem. Te farby charakteryzują się bardzo dobrą odpornością na wodę, wilgoć, media chemiczne;

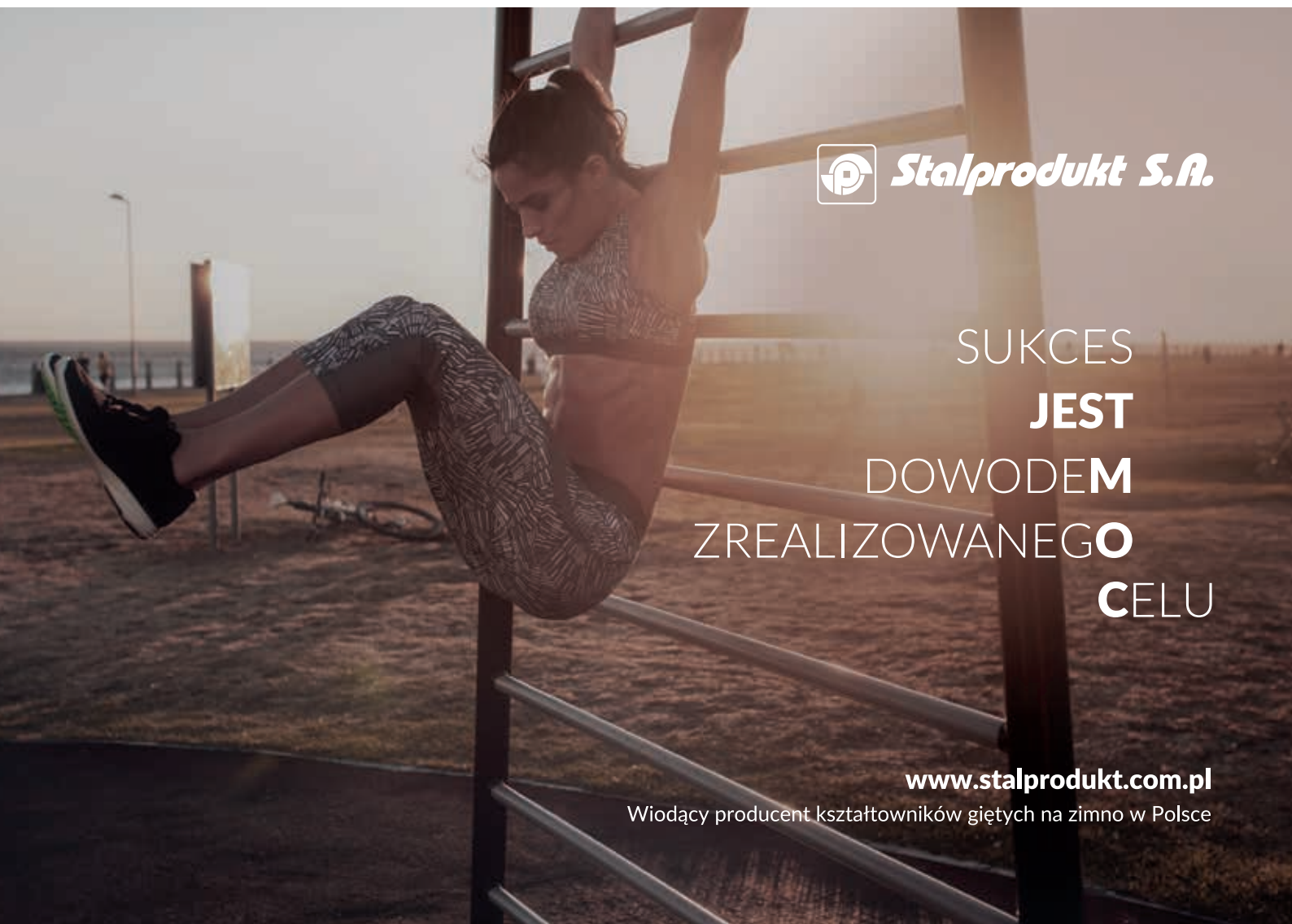
- farb utwardzanych chemicznie w wyniku reakcji z wilgocią z powietrza: jednoskładnikowych poliuretanowych i etylokrzemianowych.

Ochronne systemy malarskie wymagają okresowych przeglądów i wykonywania renowacji, napraw, usuwania i wymiany uszkodzonych powłok.

Wyroby z blach zabezpieczane są głównie przez metalizację zanurzeniową (metoda Sendzimira). Szerokie zastosowanie znajdują blachy zabezpieczone powłokami wykonywanymi metodą ciągłą (*coil coating*), w której zabezpieczenie stanowi układ warstw:

- powłoka metaliczna po obu stronach rdzenia stalowego o jednakowej lub zróżnicowanej masie (grubości),
- powłoka konwersyjna na powłoce metalicznej,
- powłoka organiczna na stronie górnej: najczęściej podkładowa (czasem także pośrednia) oraz zewnętrzna (nawierzchniowa), a na stronie odwrotnej najczęściej stosuje się pojedynczą warstwę z dowolnych materiałów powłokowych bez specjalnych wymagań, np. pod względem ochrony przed korozją, jeśli wcześniej nie zastrzeżono, że powinna mieć takie właściwości.

W przypadku konstrukcji stalowych, których trwałość jest ważnym elementem użytkowania, stosuje się metalizację (zanurzeniową, natryskową, elektrolityczną). Metalizacja zanurzeniowa, polegająca na zanurzeniu elementu konstrukcyjnego w roztopionym metalu, nazywana także metalizacją ogniową, skutecznie zabezpiecza konstrukcję i nie wymaga stosowania dodatkowego zabezpieczenia. Mniej



 **Stalprodukt S.A.**

SUKCES
JEST
DOWODEM
ZREALIZOWANEGO
CELU

www.stalprodukt.com.pl

Wiodący producent kształtowników giętych na zimno w Polsce

Ze względów bezpieczeństwa budowa stacji metra wymaga użycia materiałów o podwyższonych parametrach. Jakiego rodzaju stal stosują budowniczowie metra w Warszawie?



mgr inż. PAWEŁ CHUDZIK,
BuroHappold Engineering

W realizowanym obecnie projekcie stacji metra C06 Księcia Janusza w Warszawie zastosowano stal zbrojeniową klasy B500SP. Decyzję tę podjęto ze względu na bezpieczeństwo konstrukcji, w tym ograniczenie skutków ewentualnej katastrofy postępującej, która może być efektem wystąpienia nieprzewidzianych oddziaływań wyjątkowych, takich jak wybuch, pożar czy też uderzenie taboru kolejowego. Dodatkową przesłanką był charakter obiektu i występujące tu oddziaływania dynamiczne zarówno od ruchu pojazdów nad stacją, jak i oddziaływania wewnątrz stacji, pochodzące od taboru kolejowego oraz ruchu pieszych. Poprawka do polskiej normy PN-EN 1992-1-1:2008/Ap2 wyraźnie wskazuje, że w przypadkach opisanych powyżej należy stosować stal o wysokiej ciągliwości klasy C, która charakteryzuje się dodatkowym zapasem nośności na rozciąganie w obszarze odkształceń plastycznych, dzięki czemu gwarantuje większe bezpieczeństwo konstrukcji. Zastosowanie stali B500SP jest jednym z elementów naszego podejścia projektowego tak w tym, jak i w innych projektach.

skutecznym sposobem zabezpieczenia jest metalizacja natryskowa (natrysk roztopionego metalu), ponieważ powłoki utworzone tą metodą są dość porowate, stąd wymagane jest ich uszczelnianie wyrobami malarskimi. Powłoki elektrolityczne wykonywane są głównie na drobnych elementach, takich jak śruby, łączniki, drobna galanteria do robót wykończeniowych [7].

Ekologiczno-ekonomiczne aspekty stosowania stali

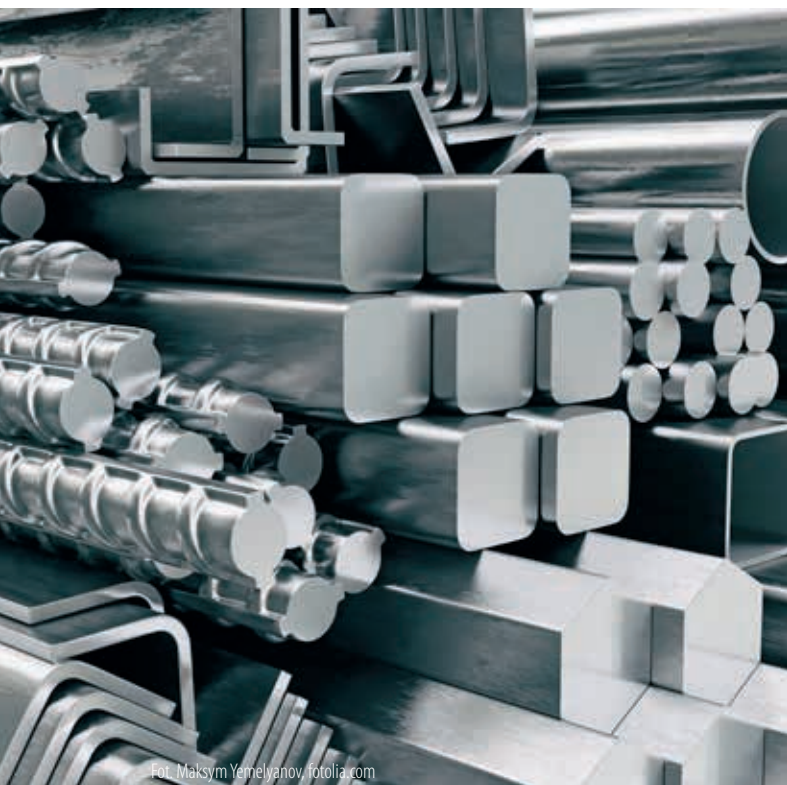
Stal to materiał wielokrotnego użytku – po przetopieniu w stalowni możliwy jest niemal całkowity odzysk stali z konstrukcji stalowych. Ekologia jest także jednym z powodów, dla którego używa się w budownictwie stali nierdzewnej. Jednym z przykładów proekologicznego wykorzystania tego budulca są kolektory słoneczne – tańsze w produkcji i montażu od zwykle spotykanych kolektorów szklanych. Kolektory ze stali nierdzewnej, w przeciwieństwie do szklanych, mogą również służyć za pokrycie dachowe. Niemniej z racji mniejszej absorpcji promieni słonecznych wykorzystuje się je głównie do ogrzewania wody.

Stosunkową nowością w budownictwie są pręty zbrojeniowe ze stali nierdzewnej, polecane do stosowania zwłaszcza w środowisku nadmorskim oraz przy budowie dróg i mostów w klimacie chłodnym i umiarkowanym, gdzie drogi są często posypywane solą, przez co znajdująca się w pobliżu stal może być zagrożona korozją.


Podobnie w przypadku konstrukcji mostu – o ile zewnętrzna konstrukcja może być zabezpieczona przez farby antykorozyjne, o tyle pręty zbrojeniowe przez zalanie betonem już nie. Dlatego również w budowie dróg i mostów zastosowanie stali nierdzewnej może ostatecznie okazać się tańsze niż użycie innych materiałów [8].

Literatura

- [1] Biegus A.: *Projektowanie konstrukcji budowlanych według Eurokodów. Podstawy projektowania konstrukcji. Oddziaływania na konstrukcje. Projektowanie konstrukcji stalowych*. Zeszyty Edukacyjne Buildera, z. 1. Warszawa 2011.
- [2] Rykaluk K.: *Konstrukcje stalowe. Podstawy i elementy*. Wrocław 2009.
- [3] *Konstrukcje stalowe w budownictwie* (online). inzynieria.com. Dostępny w Internecie: <https://inzynieria.com/wpis-branzy/wiadomosci/10/50065,konstrukcje-stalowe-w-budownictwie> (dostęp 26 sierpnia 2018).
- [4] *Przewodnik klienta. Zalety stosowania stali w budownictwie mieszkaniowym* (online). Access Steel. Dostępny w Internecie: <https://www.piks.com.pl/wp-content/uploads/2015/05/SPO30a-PL-EU.pdf> (dostęp 21 sierpnia 2018).
- [5] Szruba M.: *Rury w infrastrukturze*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2017, nr 1, s. 42–47.
- [6] *Prefabrykacja konstrukcji stalowych* (online). E-edycja.pl, 14 listopada 2017. Dostępny w Internecie: <http://e-edycja.pl/prefabrykacja-konstrukcji-stalowych> (dostęp 28 sierpnia 2018).
- [7] Możaryn T., Wójtowicz M., Strąg A.: *Korozja i zabezpieczanie konstrukcji stalowych. Cz. 2. Zabezpieczanie przeciwkorozyjne*. „Przegląd Budowlany” 2016, nr 7–8, s. 60–66.
- [8] Łangalis M.: *Stal nierdzewna – materiał przyszłości dla budownictwa*. „Stal” 2008, nr 6, s. 26–29.



Fot. Maksym Yemeljanov, fotolia.com



łatwiejsza
identyfikacja
stali na budowie

EPSTAL

stal zbrojeniowa o wysokiej ciągliwości

Stal **EPSTAL** posiada unikalny wzór uźebrowania oraz napis "EPSTAL" nawalcowany na każdym pręcie w miejsce sześciu kolejnych żeber. Ponadto indywidualny numer danego producenta również jest zakodowany na powierzchni prętów. Ten zestaw narzędzi do identyfikacji pozwala na stuprocentową pewność dostawy i gwarancję jakości stali.



www.epstal.pl