



**Wymagania materiałowe
dla stali zbrojeniowej
według obowiązujących norm
w kontekście projektowania mostów**

Centrum Promocji Jakości Stali



**Wymagania materiałowe
dla stali zbrojeniowej
według obowiązujących norm
w kontekście projektowania mostów**

Centrum Promocji Jakości Stali

Copyright© by Centrum Promocji Jakości Stali, 2019
Centrum Promocji Jakości Stali Sp. z o.o.
ul. rtm. Witolda Pileckiego 67
02-781 Warszawa
Tel.: +48 22 252 67 03
E-mail: biuro@cpjs.pl
www.epstal.pl

Wprowadzenie

Dobór stali do zbrojenia betonowych obiektów mostowych w Polsce bardzo często ogranicza się do określenia klasy wytrzymałości A-IIIN, zgodnej ze „starymi” normami do projektowania, które nadal są powszechnie stosowane. Zapis taki notorycznie pojawia się w specyfikacjach technicznych dla wielu obiektów mostowych w Polsce. Zdarzają się również wskazania co do gatunku stali, jednak nader często są to gatunki obecnie już niedostępne na rynku – choć również zgodne z zapisami „starych” norm. W zakresie produkcji stali zbrojeniowej, od czasów ostatnich aktualizacji norm PN-B i PN-S do projektowania konstrukcji, dokonał się olbrzymi postęp, oferta rynkowa hut stali jest obecnie znacznie bogatsza, a wyroby o wiele wyższej jakości. Warto mieć prawidłowe rozeznanie i wiedzieć, na jakie parametry stali poza wytrzymałością na rozciąganie należy zwrócić uwagę, aby zapewnić maksymalne bezpieczeństwo konstrukcji.



Stal zbrojeniowa w normach budowlanych

Wymagania i klasyfikacja wg „starych” polskich norm

Podział stali zbrojeniowej na klasy od A-0 do A-IIIN, ustanowiony przez normy PN-B i PN-S obowiązujące przed wprowadzeniem Eurokodów, opierał się na wartościach charakterystycznej granicy plastyczności oraz charakterystycznej wytrzymałości na rozciąganie. Co ważne, normy te nie dokonywały podziału wg ciągliwości stali – norma PN-B-03264:2002 [1] informowała jedynie, iż stale klas od A-0 do A-III charakteryzują się dużą ciągliwością, a stale klasy A-IIIN – średnią ciągliwością, zaś norma PN-S-10042:1991 [2] różnicowała klasy stali zgodnie z wymaganą wydłużalnością a_5 (min. 10% dla klasy A-IIIN, min. 16% dla klasy A-III oraz min. 22% dla klas A-0 do A-II).

Wyjaśnienia tego stanu rzeczy należy poszukiwać śledząc historię postępu technologicznego w produkcji stali. W przeszłości wzrost wytrzymałości materiału możliwy był do osiągnięcia poprzez zwiększenie zawartości węgla lub walcowanie na zimno. Oba procesy skutkowały znacznym spadkiem ciągliwości. Można było zatem otrzymać stal, dla której minimalna granica plastyczności wynosiła 500 MPa, lecz która była znacznie bardziej krucha od stali o mniejszych wytrzymałościach. Dlatego też zalecenia i instrukcje dotyczące projektowania konstrukcji, wydawane 20 lat temu i wcześniej, do zbrojenia elementów, w których ciągliwość pełni ważną rolę, nakazują stosowanie stali A-0 lub A-I, czyli materiału o mniejszej wytrzymałości, lecz stosunkowo dobrej plastyczności.

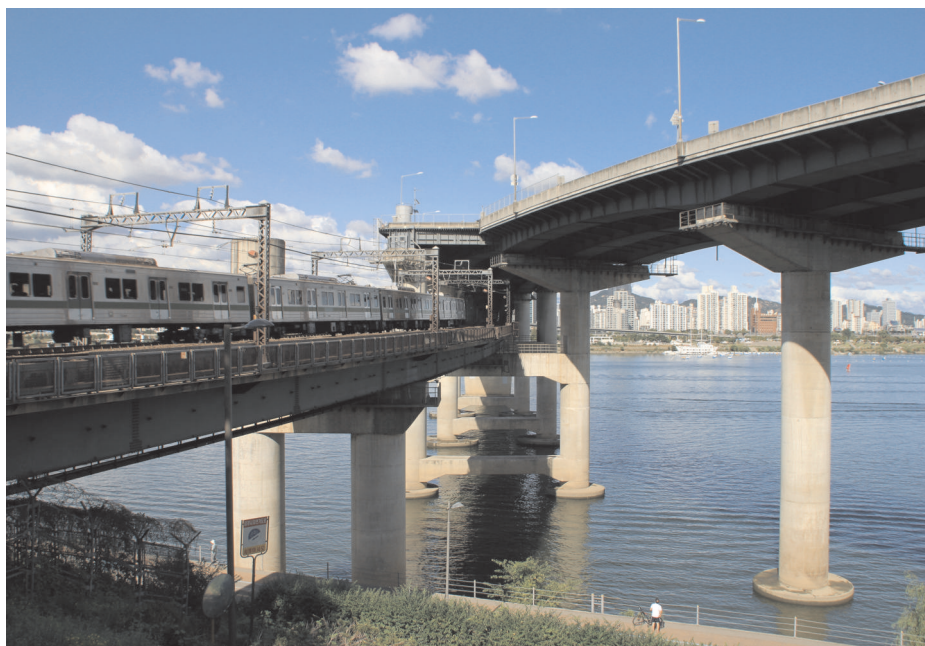
Obecnie postęp technologiczny sprawił, że możliwe jest osiągnięcie wysokiej wytrzymałości stali zbrojeniowej przy zachowaniu dobrych parametrów ciągliwości. Popularna w hutnictwie metoda kontrolowanego chłodzenia, która polega na intensywnym spryskiwaniu pręta wodą pod wysokim ciśnieniem w ostatniej fazie walcowania, sprawia, że osiągnięcie wysokiej wytrzymałości możliwe jest bez zwiększania zawartości węgla. Skutkuje to utrzymaniem wysokiej ciągliwości stali i zapewnieniem prawidłowej spawalności.

Warto mieć na uwadze różnice w definicji dużej i średniej ciągliwości, jakie pojawiają się pomiędzy normą [1] a PN-EN 1992-1-1:2008 [3] (Eurokodem 2) – duża ciągliwość wg „starej” normy ($\epsilon_{uk} > 5\%$ oraz $f_{tk}/f_{yk} > 1,08$) odpowiada średniej ciągliwości wg Eurokodu 2, zaś średnia ciągliwość wg „starej” normy ($\epsilon_{uk} > 2,5\%$ oraz $f_{tk}/f_{yk} > 1,05$) – niskiej ciągliwości w aktualnych normach do projektowania.

W zakresie gatunków stali zbrojeniowej proponowanych do stosowania przez „stare” polskie normy do projektowania definitywnie wymagana jest aktualizacja. Zarówno norma [1], jak i [2], powołuje się na szereg norm dla wyrobów, które na dzień dzisiejszy mają status wycofanych: PN-82/H-93215 [4] oraz PN-89/H-84023-06 [5]. Z kolei normy PN-ISO 6935-1 [6] i PN-ISO 6935-2 [7], które podają wymagania techniczne dla kilku niegdyś popularnych gatunków stali, m.in. RB500 i RB500W, a do których odwołuje się norma [1], także zawierają pewne nieścisłości – ich międzynarodowe odpowiedniki zostały zaktualizowane, co skutkowało m.in. dostosowaniem nazw gatunków do

ówczesnej wersji normy ISO/TS 4949. Zmiana ta jednak nie została wdrożona w Polsce, przy czym stare wersje norm PN-ISO 6935 nie zostały wycofane. Obecnie najwięksi polscy producenci stali całkowicie zaprzestali już produkcji gatunków RB500 i RB500W, a zatem wpisanie ich w projektach konstrukcji może skutkować koniecznością zamiany na inne dostępne wyroby na etapie zakupu. Taka sama sytuacja często ma miejsce w przypadku wpisywania do projektów również innych gatunków podawanych przez normy [1] i [2]. Praktycznie wszystkie z nich są już niedostępne na rynku, brak jest natomiast wzmianki o gatunkach stali najszerzej obecnie produkowanych, np. B500SP. Oczywiście ten stan rzeczy jest konsekwencją wycofania zarówno normy [1], jak i [2], i tym samym braku możliwości ich aktualizacji, niemniej jednak, biorąc pod uwagę fakt, iż normy te nadal są w Polsce stosowane do projektowania konstrukcji, należałoby mieć świadomość owych przedawnień.

Powszechność stosowania „starych” polskich norm do projektowania konstrukcji mostowych, pomimo ich wycofania i zatępienia przez Eurokody, niesie ze sobą również inne negatywne konsekwencje w zakresie doboru stali zbrojeniowej. Wpisanie przez konstruktora do projektu stali klasy A-IIIN, bez wyraźnego wskazania gatunku stali (który byłby dostępny na rynku), czy wymaganych parametrów jej wydłużalności, daje wykonawcy dowolność w doborze typu wyrobów na etapie zakupów, niezależnie od ich pozostałych parametrów, w tym ciągliwości.



Wymagania i klasyfikacja wg Eurokodu 2

Po wprowadzeniu w 2010 roku Eurokodów do katalogu Polskich Norm zasadniczej zmianie uległ sposób klasyfikacji stali zbrojeniowej. Zgodnie z postanowieniami załącznika C do normy [3] właściwościami kluczowymi przy podziale na klasy są:

- charakterystyczne odkształcenie przy maksymalnej sile ϵ_{ukf}
- stosunek charakterystycznej wytrzymałości na rozciąganie f_{tk} do charakterystycznej granicy plastyczności f_{yk} .

Eurokod wyróżnia trzy klasy stali:

A – stal o niskiej ciągliwości ($\epsilon_{uk} \geq 2,5\%$, $f_{tk}/f_{yk} \geq 1,05$),

B – stal o średniej ciągliwości ($\epsilon_{uk} \geq 5,0\%$, $f_{tk}/f_{yk} \geq 1,08$)

C – stal o wysokiej ciągliwości ($\epsilon_{uk} \geq 7,5\%$,
 $1,15 \leq f_{tk}/f_{yk} \leq 1,35$).



Charakterystyczna granica plastyczności f_{yk} musi zawierać się przy tym w przedziale od 400 do 600 MPa – wyroby spoza tego zbioru nie mogą być stosowane w konstrukcjach projektowanych wg Eurokodu.

Norma do projektowania mostów z betonu – PN-EN 1992-2:2010 [8] – w zakresie materiałów stosowanych w konstrukcji powołuje się na normę [3], a zatem wymagania dla poszczególnych klas ciągliwości stali zbrojeniowej, wymienione powyżej, jak również inne zapisy dotyczące stali, mają tu zastosowanie. Norma mostowa podkreśla przy tym wagę podatności plastycznej stali zbrojeniowej, stwierdzając, iż do zbrojenia mostów z betonu należy stosować stal zbrojeniową o odpowiedniej ciągliwości – przy czym wyraźnie nie zaleca stosowania klasy A. Załącznik krajowy może dodatkowo regulować tę kwestię.

W zakresie doboru stali zbrojeniowej do wykorzystania w konstrukcjach z betonu w Polsce w 2016 roku dokonała się istotna zmiana – wprowadzono poprawkę do Załącznika Krajowego do normy [3]: PN-EN 1992-1-1:2008/NA:2016-11 [9], a także opracowano nowy Załącznik Krajowy do normy [8]: PN-EN 1992-2:2010/NA:2016-11 [10]. Oba załączniki wprowadzają obecnie nakaz stosowania w Polsce stali zbrojeniowej o wysokiej ciągliwości klasy C do zbrojenia wybranych elementów czy typów konstrukcji, jak np. obiektów posadowionych na terenach górniczych, zbrojenia zabezpieczającego przeciwko katastrofie postępującej, czy w końcu zbrojenia nośnego wszystkich obiektów mostowych. Co więcej stal ta powinna spełniać wymagania Polskiej Normy PN-H-93220:2018-02 [11], co jest jednoznaczne z zastosowaniem w wymienionych obiektach stali gatunku B500SP.

Stal zbrojeniowa w normach dla wyrobów

Polskie Normy określające wymagania dla stali zbrojeniowej to m.in.:

- PN-EN 10080:2007 [12] „Stal do zbrojenia betonu - Spawalna stal zbrojeniowa - Postanowienia ogólne” – która określa w sposób ogólny istotne właściwości stali zbrojeniowej oraz metody ich badania, nie definiując przy tym wymagań dla konkretnego gatunku stali. Norma ta przywoływana jest w Eurokodzie 2 – stal zbrojeniowa stosowana w konstrukcjach projektowanych zgodnie z normą [3] powinna spełniać wszystkie jej wymagania. Na dzień dzisiejszy jest to jednak norma niezharmonizowana, co oznacza, iż nie ma obowiązku jej stosowania w Unii Europejskiej, a fakt wprowadzenia jej do katalogu Polskich Norm nie zobowiązuje polskich producentów stali do certyfikowania wyrobów na zgodność z tą normą.
- PN-H-93220:2018-02 [11] „Stal B500SP o podwyższonej ciągliwości do zbrojenia betonu - Pręty i walcówka żebrowana” – która określa wymagania dla gatunku B500SP (stal klasy C).
- PN-H-93250:2018-02 [13] „Stal do zbrojenia betonu - spawalna stal zbrojeniowa B500SN - Pręty i walcówka żebrowana” - która określa wymagania dla gatunku B500SN (stal klasy B).
- PN-H-93247-1:2008 [14] „Spawalna stal B500A do zbrojenia betonu - Część 1: Drut żebrowany” – która określa wymagania dla gatunku B500A, stali zbrojeniowej o małej ciągliwości (stal klasy A).



Część popularnych w Polsce gatunków stali zbrojeniowej produkowana jest na zgodność z normami zagranicznymi (np. B500B – dawniej BSt500S – na zgodność z normą niemiecką DIN 488) i, z powodu braku Polskiej Normy, może być wprowadzona do obrotu w naszym kraju jedynie na podstawie Krajowej Oceny Technicznej. Warto podkreślić wyraźnie, iż dla gatunków stali zbrojeniowej, dla których istnieje Polska Norma, zgodnie z ustawą o wyrobach budowlanych [15], nie ma konieczności opracowania Aprobaty Technicznej czy Krajowej Oceny Technicznej, wystarczający jest certyfikat stałości właściwości użytkowych wydawany na zgodność z Polską Normą.

Najważniejsze właściwości użytkowe stali zbrojeniowej oraz metody ich badania zostaną opisane w dalszej części publikacji na przykładzie normy [11] dla gatunku B500SP, która po wprowadzeniu wspomnianych w poprzednim rozdziale poprawek do Załączników Krajowych do Eurokodu 2 ([9] i [10]) staje się wiodącą Polską Normą dla stali zbrojeniowej. Norma ta jest kompatybilna z normą PN-EN 10080:2007 [12] w zakresie wymagań ogólnych dla wyrobów oraz PN-EN ISO 15630-1 [16] w zakresie metod badań. W Polsce na stal zbrojeniową gatunku B500SP przyznawany jest dodatkowy certyfikat EPSTAL, potwierdzający jej wysoką jakość i stabilność parametrów.



Własności wytrzymałościowe

Określane w statycznej próbie rozciągania własności wytrzymałościowe są najistotniejsze z punktu widzenia projektanta konstrukcji, gdyż determinują przekrój zbrojenia w konstrukcji oraz informują o ciągliwości stali. Parametry wymagane przez normy hutnicze – R_{eF} , R_m oraz A_{gt} – są uznawane za odpowiedniki f_y , f_t i ε_{ukF} jednak w rzeczywistości nie są one tożsame. Zasadnicza różnica pomiędzy tymi oznaczeniami sprowadza się do założenia, że R_{eF} , R_m oraz A_{gt} odnoszą się do wartości określanych na podstawie długoterminowej kontroli jakości procesu produkcji prowadzonej przez wytwórcę, zaś f_y , f_t i ε_{uk} do właściwości danego pręta stosowanego w konstrukcji. Przyjmuje się jednak, że deklarowane przez hutę cechy stali można wprost przełożyć na użytek projektu budowlanego – granicę plastyczności R_e przyjąć jako charakterystyczną wartość granicy plastyczności f_y w projektach konstrukcji, R_m jako wytrzymałość na rozciąganie f_{tkF} a A_{gt} – wydłużenie pod największym obciążeniem ε_{uk} .

Ocenę zgodności prętów żebrowanych i procesu ich produkcji z wymaganiami odpowiedniej normy dla wyrobu wykonuje się zgodnie z systemem 1+, który wymaga od producenta prowadzenia wewnętrznej kontroli produkcji, wykonywania przez niego uzupełniających badań próbek pobranych w zakładzie oraz poddania się kontroli prowadzonej przez notyfikowaną jednostkę certyfikującą (wstępne badania wyrobów, inspekcja zakładu, ciągły nadzór oraz – co wyróżnia system 1+ od pozostałych – badania sondażowe próbek pobranych w zakładzie, w obrocie lub na budowie). Wszystkie wymagania co do właściwości wytrzymałościowo-odkształceniowych stali odnoszą się do długoterminowego poziomu jakości, co oznacza, że producent wykazuje ich spełnienie dopiero po zebraniu określonej liczby wyników badań wytrzymałościowych i opracowaniu ich statystycznie. Przykładowo dla gatunku stali B500SP norma [11] wymaga zgromadzenia wyników badań z sześciu miesięcy lub około 200 wyników, przy czym badana jest przynajmniej jedna próbka na każde 30 ton wyprodukowanej stali i co najmniej trzy próbki na partię do badań. Na podstawie zebranych wyników wyliczana jest wartość średnia (m), odchylenie standardowe (s) oraz sprawdzany jest warunek:

$$m - ks \geq C_v \text{ dla dolnych granic } R_{eF}, R_m/R_e \text{ i } A_{gt} \text{ oraz}$$

$$m + ks \leq C_v \text{ dla górnej granicy } R_m/R_{eF}$$

gdzie „ k ” jest współczynnikiem zależnym od liczby badanych próbek, a C_v wartością charakterystyczną dla danego parametru (np. 500 MPa dla granicy plastyczności).

Norma PN-EN 1990:2004 [17] – Eurokod 0 – podaje następujące definicje właściwości materiałów:

- (1) Zaleca się, aby właściwości materiałów (łącznie z gruntem i skałą) lub wyrobów były określane z podaniem ich właściwości charakterystycznych.
- (2) Jeżeli w EN 1991 do EN 1999 nie podano inaczej to: kiedy dolna wartość materiału jest niekorzystna, wartość charakterystyczną zaleca się ustalać jako kwantyl 5%.

Na podstawie ww. normy wytrzymałość charakterystyczną zmiennych losowych granicy plastyczności i wytrzymałości na rozciąganie, które oznaczamy jako $R_{e,5\%}$ i $R_{m,5\%}$, definiujemy następująco: „są to wartości wytrzymałości, poniżej których może się znaleźć 5% populacji wszystkich możliwych oznaczeń wytrzymałości”, czyli są to wartości obu wytrzymałości osiągnane przez minimum 95% zbadanych próbek dla danej serii prób.

Na rys. 1 oznaczono wymagane normowo wartości charakterystyczne najważniejszych parametrów wytrzymałościowo-odkształceniowych oraz faktyczne wartości 5-procentowych kwantyli ($R_{e,5\%}$, $R_{m,5\%}$ i $A_{gt,5\%}$), wyliczone na podstawie wyników badań zrywania, prowadzonych w hutach w ramach zakładowej kontroli produkcji stali zbrojeniowej EPSTAL. Ponadto podane są również:

n - liczba zbadanych próbek

$\bar{R}_e$, $\bar{R}_m$, $\bar{A}_{gt}$ - wartość średnia

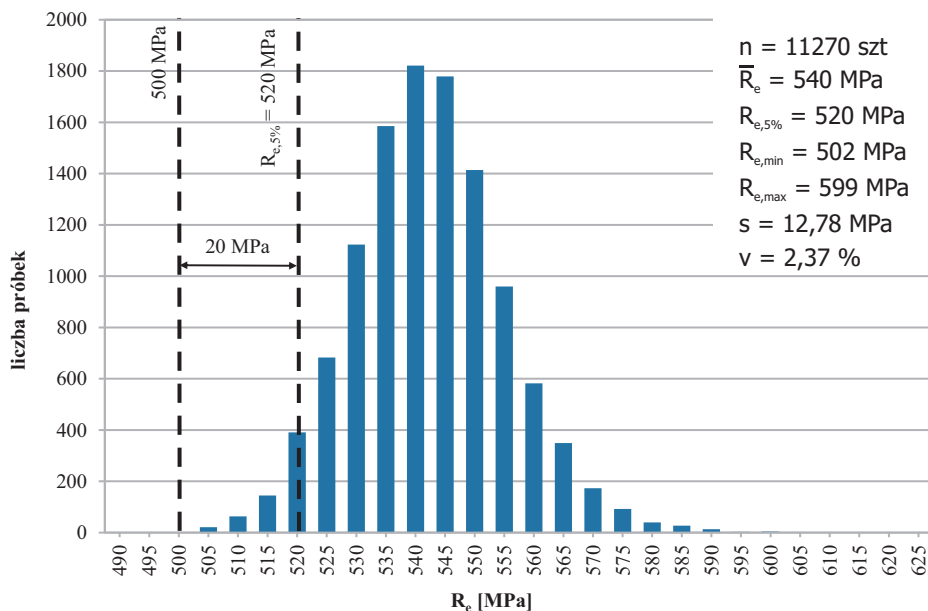
$R_{e,min}$, $R_{m,min}$, $A_{gt,min}$ - wartość minimalna

$R_{e,max}$, $R_{m,max}$, $A_{gt,max}$ - wartość maksymalna

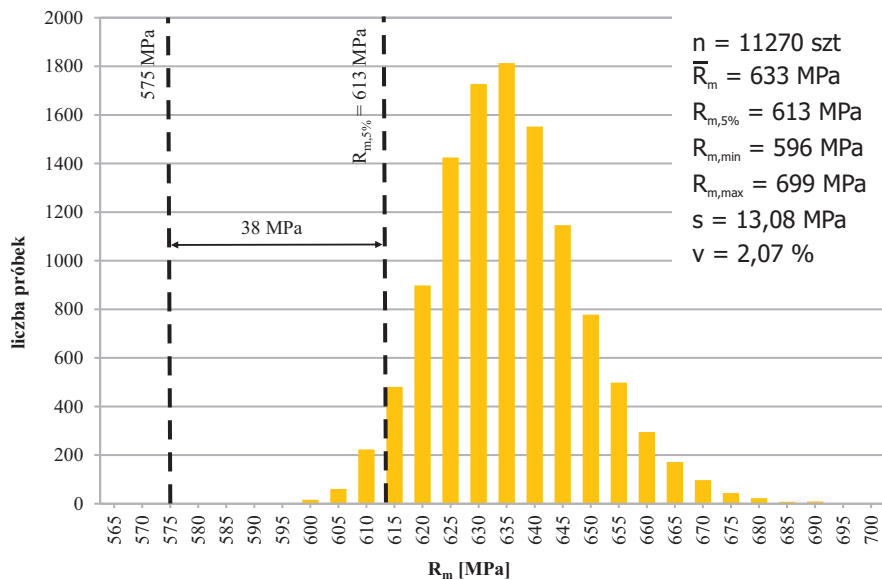
s - odchylenie standardowe

v - współczynnik zmienności

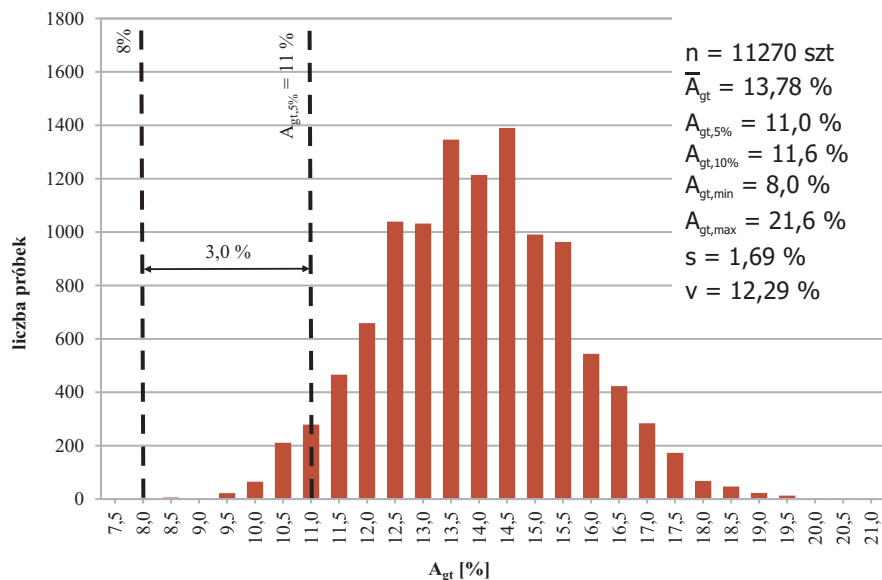
● Granica plastyczności R_e



● Wytrzymałość na rozciąganie R_m



● Wydłużenie pod największym obciążeniem A_{gt}



Rys. 1. Histogramy przedstawiające wyniki badań prowadzonych w ramach zakładowej kontroli produkcji prętów żebrowanych EPSTAL o średnicach 10-32 mm, zebranych w 2018 roku: a) R_e (minimum 500 MPa), b) R_m (minimum 575 MPa), c) A_{gt} (minimum 8%).

Odporność na obciążenia dynamiczne

Odporność stali zbrojeniowej na obciążenia dynamiczne ma szczególne znaczenie w przypadku konstrukcji takich jak obiekty inżynierskie, obiekty przemysłowe, a także budowle posadowione na terenach sejsmicznych i górniczych. Stal B500SP badana jest pod kątem odporności na obciążenia dynamiczne w dwóch rodzajach testów: zgodnie z wymaganiami normy [11] dla gatunku B500SP wykonuje się badanie cykliczne oraz badanie zmęczeniowe.

Badanie cykliczne polega na naprzemiennym ściskaniu i rozciąganiu próbki siłą osiową w ustalonym zakresie naprężeń i odkształceń. Pozytywny wynik badania uzyskuje się, gdy po osiągnięciu ustalonej liczby cykli obciążeń próbka nie dozna żadnych widocznych okiem nieuzbrojonym zarysowań czy pęknięć. Parametry badania cyklicznego dla stali gatunku B500SP określone w normie [11] są następujące: częstotliwość cykli obciążeniowych powinna zawierać się pomiędzy 0,5 a 3 Hz, odkształcenie ϵ od 1,5 do 4% (w zależności od średnicy nominalnej próbki oraz długości pomiarowej, rozumianej jako długość między uchwytami maszyny), natomiast minimalna liczba cykli obciążeniowych wynosi 5. Spośród dostępnych w Polsce gatunków stali zbrojeniowej B500SP jest jedynym badanym pod kątem odporności na obciążenia cykliczne.

Badanie odporności stali B500SP na **obciążenia zmęczeniowe**, zgodnie z normą [11], polega na poddawaniu próbki osiowemu rozciąganiu do maksymalnej wartości naprężenia 300 MPa z amplitudą 175 MPa dla $d \leq 25$ mm oraz 160 MPa dla $d > 25$ mm. Rozciąganie to przeprowadzane jest sinusoidalnie ze stałą częstotliwością, która nie powinna przekraczać 200 Hz. Pozytywny wynik badania, podobnie jak w przypadku badania cyklicznego, uzyskuje się, gdy po obciążeniu próbki ustaloną minimalną liczbą cykli obciążeniowych nie dozna ona żadnych uszkodzeń widocznych gołym okiem. W przypadku stali B500SP minimalna liczba cykli obciążeń zmęczeniowych wynosi 2 miliony.

Skład chemiczny i spawalność

Spawalność stali zbrojeniowej, zarówno w normach do projektowania konstrukcji, jak i w normach dla wyrobów, determinowana jest poprzez jej skład chemiczny – aby wyrób można było uznać za spawalny muszą zostać zachowane ograniczenia co do maksymalnej wartości równoważnika węgla C_{eq} oraz zawartości poszczególnych pierwiastków. Nie ma obowiązku wykonywania laboratoryjnych badań spawalności, takie testy przeprowadza się jednak niekiedy dla wykazania dobrych właściwości złączy.

W przypadku stali B500SP-EPSTAL w Instytucie Spawalnictwa w Gliwicach przeprowadzone zostały badania złączy nakładkowych spawanych elektrodą otuloną i metodą MAG oraz złączy zgrzewanych rezystancyjnie na krzyż. Zakres badań obejmował: próbę statycznego rozciągania, próbę ścinania i próbę odginania. Wyniki badań dostępne są na stronie: www.epstal.pl.

Podatność na zginanie z odginaniem

Wymaganą przez normę [3] podatność stali zbrojeniowej na zginanie z odginaniem w przypadku stali zbrojeniowej gatunku B500SP należy sprawdzić zgodnie z normą [11] w laboratoryjnym badaniu, polegającym na zagięciu pręta o kąt 90° , a następnie odgięciu go o min. 20° , przy zachowaniu odpowiedniej, określonej normowo średnicy trzpienia. Na powierzchni pręta po takim badaniu nie mogą pojawić się widoczne gołym okiem uszkodzenia czy pęknięcia.

Podatność na zginanie ze zrywaniem

Próba zginania ze statyczną próbą rozciągania wykonywana jest dla prętów o średnicy $d \leq 16$ mm. Polega ona na zagięciu pręta o kąt 90° (przy zachowaniu wymagań jak w próbie zginania z odginaniem), a następnie wyprostowaniu i poddaniu statycznej próbie rozciągania. Warunkiem w tym badaniu jest spełnienie przez badaną próbkę podstawowych wymaganych właściwości wytrzymałościowo-odkształceniowych: R_e , R_m/R_e , A_5 oraz A_{gt} .

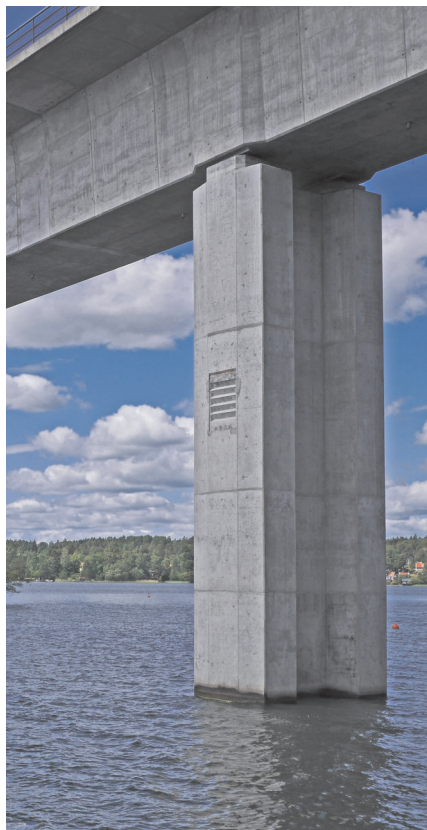


Przyczepność do betonu

Zgodnie z normą [3] warunkiem dobrej przyczepności stali zbrojeniowej do betonu jest zachowanie minimalnego względnego pola powierzchni żeber f_R . Takie samo wymaganie pojawia się w normach [12] oraz [11] – ta ostatnia norma podaje minimalne wartości f_R , jakie obowiązują dla gatunku B500SP. Względne pole powierzchni żeber wyznacza się w badaniu geometrii uźebrowania, przeprowadzanym za pomocą urządzeń dokonujących laserowego pomiaru powierzchni próbki.

Wymaganie dotyczące f_R – zgodnie z postanowieniami Eurokodu – może być w pewnych przypadkach nie spełnione, jeśli odpowiednia przyczepność stali do betonu zostanie wykazana w dodatkowych badaniach laboratoryjnych. Tu Eurokod 2 powołuje się na normę EN 10080, w której podano warunki wykonania dwóch alternatywnych badań przyczepności: badania belki oraz badania wyciągania. Oba wykonywane są na drobnowymiarowych elementach betonowych z zakotwionymi wewnątrz prętami i mają za zadanie wyznaczenie granicznego naprężenia przyczepności.

W normie [11] badanie belki i badanie wyciągania przedstawiane są jako alternatywne metody oceny przyczepności stali do betonu. W przypadku prętów ze stali B500SP-EPSTAL, w celu uzyskania dodatkowego źródła informacji nt. warunków przyczepności, w Instytucie Techniki Budowlanej wykonane zostało badanie pull-out polegające na wyrwaniu prętów z kostek betonowych. Do badania przygotowane zostały próbki betonowe w postaci kostek sześciennych o boku długości 150 mm, z zakotwionym w każdej z nich prętem ze stali EPSTAL o średnicy 16 mm. Na długości zakotwienia, którą przyjęto jako 5 średnic pręta ($5d = 80$ mm) znajdował się napis EPSTAL lub samo uźebrowanie. Przeprowadzono 3 serie badań, każda po 12 próbek – 6 z napisem EPSTAL na długości zakotwienia i 6 bez napisu. Siłę wyrwającą zwiększano stopniowo co 5 kN, tak aby uzyskać około 10 kroków dla każdej próbki. Określenie siły wyrwającej pręt oraz przemieszczenia jego nieobciążonego końca pozwoliły wyznaczyć naprężenia przyczepnościowe w badanych modelach. Naprężenia te okazały się kilkakrotnie większe niż minimalne naprężenia normowe – zarówno w strefie uźebrowanej, jak i strefie z napisem EPSTAL.



Identyfikowalność

Odbierając stal na budowie należy zweryfikować nie tylko dołączone do niej dokumenty, ale również sprawdzić sam materiał i upewnić się, czy jest zgodny z zamówieniem. Weryfikacja ta powinna przebiegać w kilku krokach:

1. Sprawdzenie wzoru uźebrowania – identyfikacja gatunku stali.
2. Sprawdzenie numeru producenta.
3. Weryfikacja etykiety.
4. Identyfikacja ewentualnych innych trwałych oznakowań stali.

Stal gatunku B500SP posiada unikalny wzór uźebrowania, składający się z dwóch rzędów żeber poprzecznych oraz najczęściej dwóch żeber podłużnych. Żebra poprzeczne po obu stronach pręta ułożone są naprzemiennie pod dwoma różnymi kątami w stosunku do osi podłużnej.



Wszystkie pręty żebrowane, poza informacją na temat gatunku stali, posiadają również trwałe znakowanie wskazujące na zakład, w którym zostały wyprodukowane. Metodę takiego trwałego znakowania prętów (przez producenta) określa norma [12]. Wg tej normy, każda stal zbrojeniowa powinna mieć na jednym z rzędów żeber lub wgniecień oznakowanie identyfikujące zakład. Oznakowanie to powinno być powtarzane w odstępach nie większych niż 1,5 m i powinno składać się z:

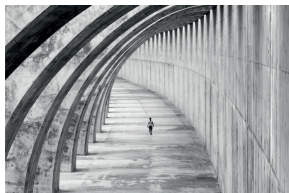
- symbolu oznaczającego początek znakowania,
- numerycznego systemu identyfikującego wytwórcę.

Symbol oznaczający początek znakowania wykonywany jest najczęściej za pomocą pogrubienia dwóch kolejnych żeber. Na numer zakładu wskazuje liczba nie pogrubionych żeber znajdująca się pomiędzy żebrami pogrubionymi. Umiejętność odczytywania tak zakodowanej informacji jest bardzo przydatna przy weryfikacji stali na budowie, gdyż pozwala na natychmiastowe rozwianie wątpliwości odnośnie pochodzenia prętów dostarczonych na budowę. Ponadto zarówno norma [12], jak i [11], dopuszcza użycie innych znaków alfanumerycznych, które nawalcowane na powierzchni pręta mogą ułatwić jego identyfikację – w Polsce metoda ta stosowana jest przez producentów stali EPSTAL.

Literatura

- [1] PN-B-03264:2002 „Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone – Obliczenia statyczne i projektowanie” (norma wycofana).
- [2] PN-S-10042:1991 „Obiekty mostowe – Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone – Projektowanie” (norma wycofana).
- [3] PN-EN 1992-1-1:2008 „Eurokod 2 – Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków”.
- [4] PN-H-93215:1982 „Walcówka i pręty stalowe do zbrojenia betonu” (norma wycofana).
- [5] PN-H-84023-06:1989 „Stal określonego zastosowania – Stal do zbrojenia betonu – Gatunki” (norma wycofana).
- [6] PN-ISO 6935-1:1998 „Stal do zbrojenia betonu – Pręty gładkie”.
- [7] PN-ISO 6935-2:1998 „Stal do zbrojenia betonu – Pręty żebrowane”.
- [8] PN-EN 1992-2:2010 „Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 2: Mosty z betonu – Obliczanie i reguły konstrukcyjne”.
- [9] PN-EN 1992-1-1:2008/NA:2016-11 – załącznik krajowy do „Eurokod 2 – Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków”.
- [10] PN-EN 1992-2:2010/NA:2016-11 – załącznik krajowy do „Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 2: Mosty z betonu – Obliczanie i reguły konstrukcyjne”.
- [11] PN-H-93220:2018-02 „Stal do zbrojenia betonu - spawalna stal zbrojeniowa B500SP - Pręty i walcówka żebrowana”
- [12] PN-EN 10080:2007 „Stal do zbrojenia betonu – Spawalna stal zbrojeniowa – Postanowienia ogólne”.
- [13] PN-H-93250:2018-02 „Stal do zbrojenia betonu - spawalna stal zbrojeniowa B500SN - Pręty i walcówka żebrowana”
- [14] PN-H-93247-1:2008 „Spawalna stal B500A do zbrojenia betonu -- Część 1: Drut żebrowany”.
- [15] Ustawa o wyrobach budowlanych z dnia 16 kwietnia 2004 r. (Dz.U. Nr 92, poz. 881) z poprawkami.
- [16] PN-EN ISO 15630-1:2011 „Stal do zbrojenia i sprężania betonu – Metody badań – Część 1: Pręty, walcówka i drut do zbrojenia betonu”.
- [17] PN-EN 1990:2004 „Eurokod 0 - Podstawy projektowania konstrukcji”.

Publikacje



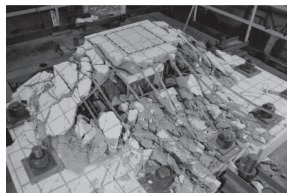
**Probabilistyczny opis parametrów
wytrzymałościowych stali zbrojonej
EPSTAŁ i eksperymentalne
potwierdzenie ich wartości**

**Tadeusz CHMIELEWSKI
Magdalena PIOTROWSKA**



**Najważniejsze cechy materiałowe
stali zbrojonej EPSTAŁ
o wysokiej ciągliwości**

według nowej normy PN-EN 9322-2018-02



**Badania zachowania się połączeń płyta-słup
zbrojonych stali EPSTAŁ o wysokiej ciągliwości
w studium awaryjnym wywołanym przecięciem**

Połączenia zbrojone według Model Code 2010

**Autorki:
Barbara WILCZCZAK
Magdalena WILCZCZAK
Włodzisław STURDUSIŁSKI**

**Nadzwyczajne
Centrum Promocji Jakości Stali**

Diagnostyka Techniczna nr 2



**Badania zachowania się brzoświatowych połączeń płyta-słup
zbrojonych stali EPSTAŁ o wysokiej ciągliwości
w studium awaryjnym wywołanym przecięciem**

**Autorki:
Barbara WILCZCZAK
Magdalena WILCZCZAK
Włodzisław STURDUSIŁSKI**

**Nadzwyczajne
Centrum Promocji Jakości Stali**

Diagnostyka Techniczna nr 2



**Badania zachowania się płyty (zbrojonej)
zbrojonych stali EPSTAŁ o wysokiej ciągliwości
w sytuacji awaryjnej wywołanej
przecięciem**

**Autorki:
Magdalena WILCZCZAK
Barbara WILCZCZAK
Włodzisław STURDUSIŁSKI**

**Nadzwyczajne
Centrum Promocji Jakości Stali**

Diagnostyka Techniczna nr 7

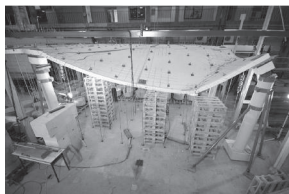


**Rekonstrukcja płytowo-słupowa
Zabezpieczenia przeciwko katastrofom postępowej**

**Autorki:
Włodzisław STURDUSIŁSKI
Barbara WILCZCZAK
Magdalena WILCZCZAK**

**Nadzwyczajne
Centrum Promocji Jakości Stali**

Diagnostyka Techniczna nr 1

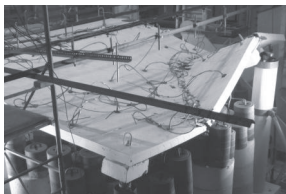


**Badania zachowania się płyty (zbrojonej)
zbrojonych stali EPSTAŁ o wysokiej ciągliwości
w sytuacji awaryjnej wywołanej
mnożeniem podłogi karbowanej**

**Autorki:
Barbara WILCZCZAK
Magdalena WILCZCZAK
Włodzisław STURDUSIŁSKI**

**Nadzwyczajne
Centrum Promocji Jakości Stali**

Diagnostyka Techniczna nr 2



**Badania zachowania się narożnego fragmentu
monolitycznego otworu płytowo-słupowego
zbrojonych stali EPSTAŁ o wysokiej ciągliwości
w sytuacji awaryjnej wywołanej mnożeniem podłogi**

**Autorki:
Magdalena WILCZCZAK
Włodzisław STURDUSIŁSKI**

**Nadzwyczajne
Centrum Promocji Jakości Stali**

Diagnostyka Techniczna nr 6

**Zobacz
wszystkie
publikacje:**



www.epstal.pl

Centrum Promocji Jakości Stali

ul. rtm. Witolda Pileckiego 67

02-781 Warszawa

Tel.: 22 252 67 03

E-mail: biuro@cpjs.pl