



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

tekst: **mgr inż. MAGDALENA PIOTROWSKA**, Centrum Promocji Jakości Stali Sp. z o.o.

Dobór stali do zbrojenia betonowych obiektów mostowych w Polsce bardzo często ogranicza się do określenia klasy wytrzymałości A-IIIIN, 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 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.

## 1. Wymagania norm budowlanych

### 1.1. Klasyfikacja i wymagania dla stali zbrojeniowej według polskich norm do projektowania konstrukcji PN-B i PN-S

Podział stali zbrojeniowej na klasy od A-0 do A-IIIIN, ustanowiony przez normy PN-B i PN-S obowiązujące przed

wprowadzeniem Eurokodów, opierał się na wartościach charakterystycznej granicy plastyczności stali oraz jej charakterystycznej wytrzymałości na rozciąganie. Co ważne, normy te nie dokonywały podziału według ciągliwości stali – norma PN-B-03264:2002 [1] informowała jedynie, że stale klas od A-0 do A-III charakteryzują się dużą ciągliwością, a stale klasy A-IIIIN – średnią ciągliwością, zaś norma PN-S-10042:1991 [2] różnicowała klasy stali zgodnie z wymaganą wydłużalnością  $a_5$  (min. 10% dla klasy A-IIIIN, min. 16% dla klasy A-III oraz min. 22% dla klas od 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 przez 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 według starej normy ( $\epsilon_{uk} > 5\%$  oraz  $f_{tk}/f_{yk} > 1,08$ ) odpowiada średniej ciągliwości według Eurokodu 2, zaś średnia ciągliwość według 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] powołują się na szereg norm dla wyrobów, które na dzień dzisiejszy mają status wycofanych: PN-82/H-93215 [7] oraz PN-89/H-84023-06 [8]. Z kolei normy PN-ISO 6935-1 [9] i PN-ISO 6935-2 [10], 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 zaskutkowało m.in. dostosowaniem nazw gatunków do ówczesnej wersji normy ISO/TS 4949. Zmiana ta jednak nie została wprowadzona do polskiej wersji normy, 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 stosowanie 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] w tablicach definiujących podział stali zbrojeniowej na klasy. 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, że 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 zastąpienia przez Eurokody, niesie ze sobą również inne negatywne konsekwencje w zakresie doboru stali zbrojeniowej. Wpisanie przez konstruktora do projektu stali klasy A-IIIIN, 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.

## 1.2. Klasyfikacja i wymagania dla stali zbrojeniowej według Eurokodu 2

Po wprowadzeniu w 2010 r. 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  $\epsilon_{uk}$  oraz 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 ( $\epsilon_{uk} \geq 5,0\%$ ,  $f_{tk}/f_{yk} \geq 1,08$ ) oraz 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 według Eurokodu.

Norma do projektowania mostów z betonu – PN-EN 1992-2:2010 [5] – 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, że 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 r. dokonała się istotna zmiana – zatwierdzono poprawkę do załącznika krajowego do normy PN-EN 1992-1-1:2008/NA:2016-11 [4], a także opracowano nowy załącznik krajowy do normy PN-EN 1992-2:2010/NA:2016-11 [6]. 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-93220:2006 [12], co jest jednoznaczne z zastosowaniem w wymienionych obiektach stali gatunku B500SP.

## 2. Wymagania norm dla wyrobów

W katalogu Polskich Norm znaleźć można kilka określających wymagania dla stali zbrojeniowej, m.in.:

- PN-EN 10080:2007 [11] *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-ISO 6935-2:1998 [10] *Stal do zbrojenia betonu. Pręty żebrowane*, podająca wymagania m.in. dla gatunku RB500W, co do której pojawiają się opisane w rozdziale wyżej wątpliwości;
- PN-H-93247-1:2008 [14] *Spajalna stal B500A do zbrojenia betonu. Cz. 1. Drut żebrowany*, która określa wymagania dla gatunku B500A, stali zbrojeniowej o małej ciągliwości;
- PN-H-93220:2006 [12] *Stal B500SP o podwyższonej ciągliwości do zbrojenia betonu. Pręty i walcówka żebrowana*, która określa wymagania dla gatunku B500SP.

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, że 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 zgodności z Polską Normą, o czym jednak większość inspektorów nadzoru budowlanego zdaje się zapominać.

Najważniejsze właściwości użytkowe stali zbrojeniowej oraz metody ich badania zostaną opisane w dalszej części artykułu na przykładzie normy [12] dla gatunku B500SP, która po wprowadzeniu wspomnianych w poprzednim rozdziale poprawek do załączników krajowych do Eurokodu 2 [4, 6] staje się wiodącą Polską Normą dla stali zbrojeniowej. Norma ta jest kompatybilna z normą PN-EN 10080:2007 [11] w zakresie wymagań ogólnych dla wyrobów oraz PN-EN ISO 15630-1 [13] w zakresie metod badań, co oznacza, że wyroby zgodne z normą [12] spełniają jednocześnie wymagania wymienionych wyżej norm. W Polsce na stal zbrojeniową gatunku B500SP nadawany jest dodatkowy certyfikat EPSTAL, potwierdzający jej wysoką jakość i stabilność parametrów.

### 2.1. Właściwości wytrzymałościowe

Określane w statycznej próbie rozciągania właściwości wytrzymałościowe są najistotniejsze z punktu widzenia projektanta konstrukcji, gdyż determinują przekrój zbrojenia w konstrukcji oraz informują o ciągliwości stali. Parametry wymagane przez normy hutnicze –  $R_e$ ,  $R_m$  oraz  $A_{gt}$  – są uznawane za odpowiedniki  $f_y$ ,  $f_t$  i  $\epsilon_{uk}$ , jednak w rzeczywistości nie są one tożsame. Zasadnicza różnica pomiędzy tymi oznaczeniami sprowadza się do założenia, że  $R_e$ ,  $R_m$  oraz  $A_{gt}$  odnoszą się do wartości określanych na podstawie długoterminowej kontroli jakości procesu produkcji prowadzonej przez wytwórcę, zaś  $f_y$ ,  $f_t$  i  $\epsilon_{uk}$  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  $f_{tk}$ , a  $A_{gt}$  – wydłużenie pod największym obciążeniem  $\epsilon_{uk}$ .

Ocenę zgodności prętów żebrowanych i procesu ich produkcji z wymaganiami odpowiedniej normy dla wyrobu (hutniczej) zwykle wykonuje się zgodnie z systemem 1+ (egzekwuje to norma [11]), który wymaga od producenta

prowadzenia wewnętrznej kontroli produkcji, wykonywania przez niego uzupełniających badań próbek pobranych w zakładzie oraz poddania się kontroli notyfikowanej jednostki certyfikującej (wykonującej wstępne badania wyrobów, inspekcję 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 [12] wymaga zgromadzenia wyników badań z sześciu miesięcy lub ok. 200 wyników, przy czym badana jest przynajmniej jedna próbka na każde 30 t 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:

$$m - ks \geq C_v \text{ dla dolnych granic } R_e, R_m/R_e \text{ i } A_{gt} \text{ oraz} \\ m + ks \leq C_v \text{ dla górnej granicy } R_m/R_e,$$

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

Wykazana przez producenta w wyżej opisany sposób jakość stali zbrojeniowej nie oznacza jednoznacznie spełnienia wymagań stawianych tym wyrobom przez normy budowlane. Dlatego norma [3] zastrzega, że aby można było uznać taką zgodność i przyjąć wartości deklarowane przez wytwórcę przy projektowaniu konstrukcji żelbetowych, wszystkie wyniki pojedynczych badań muszą spełniać ograniczenia co do wartości charakterystycznych (np. granica plastyczności  $R_e$  musi wynosić co najmniej 500 MPa), a wartość średnia z próby powinna spełniać warunek:

$$M \geq C_v + a$$

gdzie  $a$  jest współczynnikiem zależnym od rozpatrywanego parametru i podany jest w załącznikach krajowych (Eurokod zaleca, aby  $a$  wynosiło 10 MPa dla  $f_{yk}$  i zero dla  $k$  i  $\epsilon_{uk}$ ). Dodatkowo norma proponuje absolutne granice wyników badań:  $0,97 * \min. C_v$  i  $1,03 * \max. C_v$  dla obliczenia  $f_{yk}$ ,  $0,98 * \min. C_v$  i  $1,02 * \max. C_v$  dla obliczenia  $k$  oraz  $0,80 * \min. C_v$  dla obliczenia  $\epsilon_{uk}$ .

Dla konstruktora sprawdzenie owych warunków zgodności może być kłopotliwe, o ile w ogóle możliwe. Dlatego aby oddalić wszelkie wątpliwości, producenci stali zbrojeniowej deklarują spełnienie przez produkowane przez nich wyroby wymagań stawianych przez normy dla wyrobów z zachowaniem odpowiedniego marginesu bezpieczeństwa. Ponadto przyjmuje się, że rozkład wartości badanych parametrów jest zbliżony do normalnego, a wartości średnie są wystarczająco wyższe od minimalnych i niższe od maksymalnych. Te założenia pozwalają konstruktorom z czystym sumieniem przyjmować do obliczeń deklarowane przez wytwórców parametry stali, a o ich słuszności przekonują wyniki rocznej kontroli jakości produkcji, przekazane Centrum Promocji Jakości Stali przez polskie huty. Wyniki te dotyczą produkcji stali zbrojeniowej gatunku B500SP-EPSTAL. Ich opracowanie w postaci histogramów obrazujących rozkład najważniejszych parametrów przedstawiono na rycinie 1.

## 2.2. Odporność na obciążenia cykliczne

Odporność stali zbrojeniowej na obciążenia dynamiczne ma szczególne znaczenie w przypadku takich konstrukcji, jak obiekty inżynieryjne, 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 [12], 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 [12] są następujące: częstotliwość cykli obciążeniowych powinna zawierać się pomiędzy 0,5 a 3 Hz, odkształcenie  $\epsilon$  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 trzy. Spośród dostępnych w Polsce gatunków stali zbrojeniowej B500SP jest jedynym badanym pod kątem odporności na obciążenia cykliczne.

## 2.3. Własności zmęczeniowe

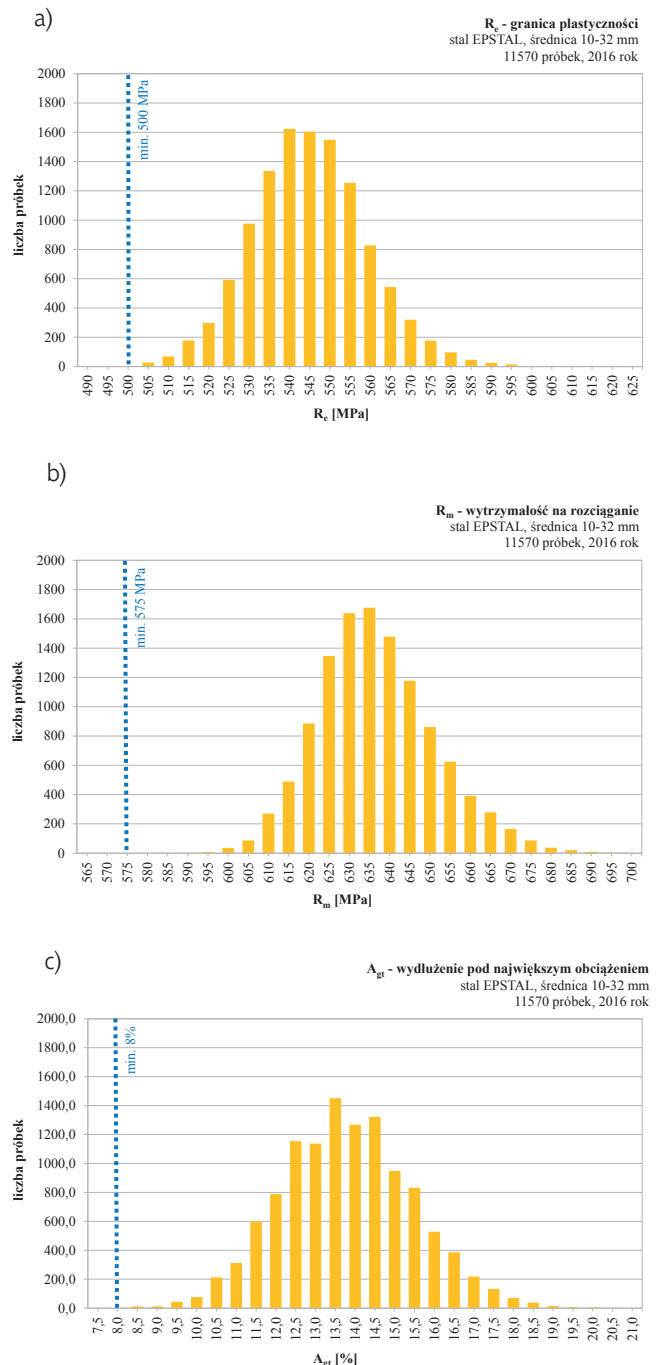
Badanie odporności stali B500SP na obciążenia zmęczeniowe zgodnie z normą [12] polega na poddawaniu próbki osiowemu rozciąganiu w zakresie naprężeń od 150 do 300 MPa, zmieniających się sinusoidalnie ze stałą częstotliwością. Częstotliwość ta nie powinna przekraczać 200 Hz. Pozytywny wynik badania, podobnie 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 mln.

## 2.4. Skład chemiczny i spajalność

Spajalność stali zbrojeniowej zarówno w normach do projektowania konstrukcji, jak i w normach dla wyrobów determinowana jest przez jej skład chemiczny – aby wyrób można było uznać za spajalny, muszą zostać zachowane ograniczenia co do maksymalnej wartości równoważnika węgla  $C_{eq}$  oraz zawartości poszczególnych pierwiastków. Nie ma obowiązku wykonywania laboratoryjnych badań spajalności, 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. Pozytywne wyniki (dostępne na stronie [www.epstal.pl](http://www.epstal.pl)), opisane w orzeczeniu Instytutu Spawalnictwa, świadczą o tym, że wszystkie badane złącza wykazały dobre właściwości wytrzymałościowe i plastyczne:

- w badaniach rozciągania złączy spawanych i zgrzewanych wszystkie próbki zerwały się poza spoiną i zgrzeiną,
- w próbach ścinania złączy krzyżowych otrzymano większe siły niszczące, niż wskazują wymagania normowe,



Ryc. 1. Histogramy przedstawiające wyniki badań prowadzonych w jednej z polskich hut w ramach zakładowej kontroli produkcji prętów zbrojonych EPSTAL o średnicach 10–32 mm, zebranych w 2016 r.:

a)  $R_p$  – granica plastyczności (min. 500 MPa), b)  $R_m$  – wytrzymałość na rozciąganie (min. 575 MPa), c)  $A_{gt}$  – wydłużenie przy maksymalnej sile (min. 8%)

- w próbach odginania złącza wykazały dobrą plastyczność w miejscu zgrzania – wszystkie próbki zgięły się bez rys i pęknięć.

## 2.5. 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 [12] w laboratoryjnym badaniu, polegającym na zagięciu pręta o kąt  $90^\circ$ , a następnie odgięciu go o min.  $20^\circ$ , przy zachowaniu odpowiedniej,

określonej normowo średnicy trzpienia. Na powierzchni pręta po takim badaniu nie mogą pojawić się widoczne gołym okiem uszkodzenia czy pęknięcia.

### 2.6. 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 [11] oraz [12] – ta ostatnia norma podaje minimalne wartości  $f_R$ , jakie obowiązują dla gatunku B500SP. Względne pole powierzchni żeber wyznacza się w badaniu geometrii uźebrowania, przeprowadzanym w urządzeniach dokonujących laserowego pomiaru powierzchni próbki.

Wymaganie dotyczące  $f_R$  – zgodnie z postanowieniami Eurokodu – może być w pewnych przypadkach niespełnione, 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 [12] badanie belki i badanie wyciągania przedstawiane są jako alternatywne metody oceny przyczepności stali do betonu. Dla prętów ze stali B500SP-EPSTAL, dla których na bieżąco dokonuje się oceny  $f_R$  dla uzyskania dodatkowego źródła informacji na temat warunków przyczepności. W Instytucie Techniki Budowlanej wykonane zostało badanie wyciągania polegające na wrywaniu 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 pięć średnic pręta ( $5d = 80$  mm), znajdował się napis EPSTAL lub samo uźebrowanie. Przeprowadzono trzy serie badań, każda po 12 próbek – sześć z napisem EPSTAL na długości zakotwienia i sześć bez napisu. Siłę wrywającą zwiększano stopniowo co 5 kN, tak aby uzyskać ok. 10 kroków dla każdej próbki. Określenie siły wrywającej pręt oraz przemieszczenia jego nieobciążonego końca pozwoliły wyznaczyć naprężenia przyczepnościowe w badanych modelach. Naprężenia te okazały się kilkukrotnie większe niż minimalne naprężenia normowe – zarówno w strefie uźebrowanej, jak i strefie z napisem EPSTAL.

### 2.7. Identyfikowalność

Odbierając stal na budowie, należy zweryfikować nie tylko dołączone do niej dokumenty, ale również należy sprawdzić sam materiał i upewnić się, że 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 unikatowy 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 [11]. Według niej, każda stal zbrojeniowa powinna mieć na jednym z rzędów żeber lub wgnieceń 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 oraz numerycznego systemu identyfikującego wytwórcę.

Symbol oznaczający początek znakowania wykonywany jest za pomocą pogrubienia dwóch kolejnych żeber. Na numer zakładu wskazuje liczba niepogrubionych 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 do pochodzenia prętów dostarczonych na budowę. Ponadto zarówno norma [11], jak i [12] dopuszczają stosowanie innych znaków alfanumerycznych, które nawalcowane na powierzchni pręta ułatwiają 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. Cz. 1-1. Reguły ogólne i reguły dla budynków*.
- [4] PN-EN 1992-1-1:2008/NA:2016-11 – załącznik krajowy do Eurokodu 2 *Projektowanie konstrukcji z betonu. Cz. 1-1. Reguły ogólne i reguły dla budynków*.
- [5] PN-EN 1992-2:2010 Eurokod 2 *Projektowanie konstrukcji z betonu. Cz. 2. Mosty z betonu. Obliczanie i reguły konstrukcyjne*.
- [6] PN-EN 1992-2:2010/NA:2016-11 – załącznik krajowy do Eurokodu 2 *Projektowanie konstrukcji z betonu. Cz. 2. Mosty z betonu. Obliczanie i reguły konstrukcyjne*.
- [7] PN-H-93215:1982 *Walcówka i pręty stalowe do zbrojenia betonu* (norma wycofana).
- [8] PN-H-84023-06:1989 *Stal określonego zastosowania. Stal do zbrojenia betonu. Gatunki* (norma wycofana).
- [9] PN-ISO 6935-1:1998 *Stal do zbrojenia betonu. Pręty gładkie*.
- [10] PN-ISO 6935-2:1998 *Stal do zbrojenia betonu. Pręty żebrowane*.
- [11] PN-EN 10080:2007 *Stal do zbrojenia betonu. Spajalna stal zbrojeniowa. Postanowienia ogólne*.
- [12] PN-H-93220:2006 *Stal B500SP o podwyższonej ciągliwości do zbrojenia betonu. Pręty i walcówka żebrowana*.
- [13] PN-EN ISO 15630-1:2011 *Stal do zbrojenia i sprężania betonu. Metody badań. Cz. 1. Pręty, walcówka i drut do zbrojenia betonu*.
- [14] PN-H-93247-1:2008 *Spajalna stal B500A do zbrojenia betonu. Cz. 1. Drut żebrowany*.
- [15] Ustawa o wyrobach budowlanych z dnia 16 kwietnia 2004 r. (Dz.U. 2004, nr 92, poz. 881) z poprawkami: z dnia 14 maja 2014 r. (Dz.U. 2014, poz. 883) oraz z dnia 8 września 2016 r. (Dz.U. 2016, poz. 1570).



odporność na  
obciążenia  
dynamiczne

# EPSTAL

stal zbrojeniowa o wysokiej ciągliwości

Pręty stalowe **EPSTAL** są badane pod kątem odporności na obciążenia cykliczne i zmęczeniowe, dlatego są doskonałe do zastosowania w obiektach mostowych i posadowionych na obszarach górniczych.



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