

WYMAGANIA MATERIAŁOWE DLA STALI ZBROJENIOWEJ WEDŁUG OBOWIĄZUJĄCYCH NORM W KONTEKŚCIE PROJEKTOWANIA MOSTÓW

1. Wstęp

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.

2. Wymagania norm budowlanych

2.1. Klasyfikacja i wymagania dla stali zbrojeniowej wg polskich norm do projektowania konstrukcji PN-B i PN-S

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 stali oraz jej charakterystycznej wytrzymałości na rozciąganie. Co ważne normy te nie dokonywały podziału wg ciągliwości stali – norma PN-S-10042:1991 [1] 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).

Powszechność stosowania „starych” polskich norm do projektowania konstrukcji mostowych, pomimo ich wycofania i zatępienia przez Eurokody, niesie ze sobą pewne 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.

2.2. Klasyfikacja i wymagania dla stali zbrojeniowej 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

¹ mgr inż., Centrum Promocji Jakości Stali Sp. z o.o.

do normy PN-EN-1992-1-1:2008 [2] właściwością kluczową przy podziale na klasy jest ciągliwość stali. Norma do projektowania mostów z betonu PN-EN 1992-2:2010 [3] podkreśla 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 – 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 [5]. 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 „Stal do zbrojenia betonu – Spajalna stal zbrojeniowa B500SP – Pręty i walcówka żebrowana” [6], co jest jednoznaczne z zastosowaniem w wymienionych obiektach stali gatunku B500SP.

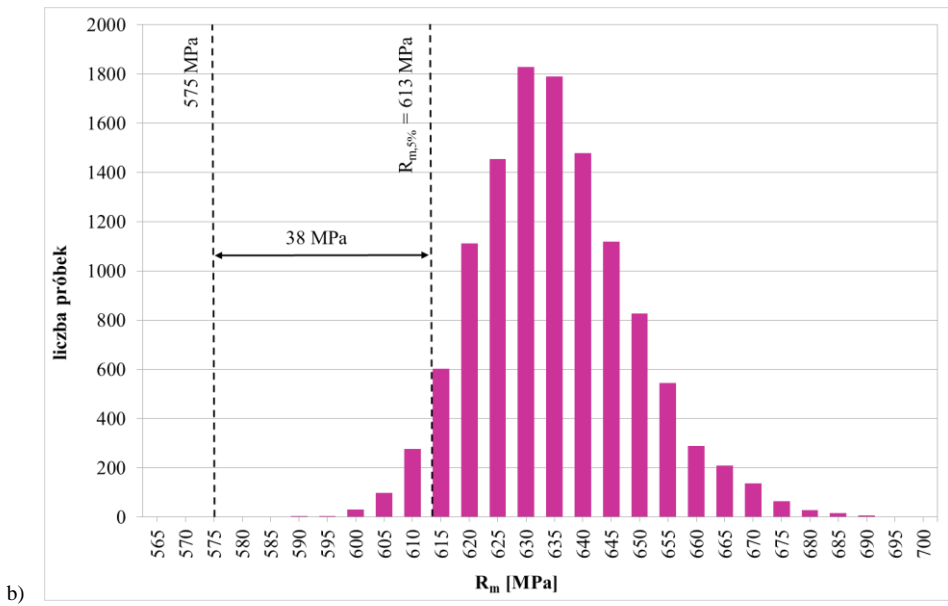
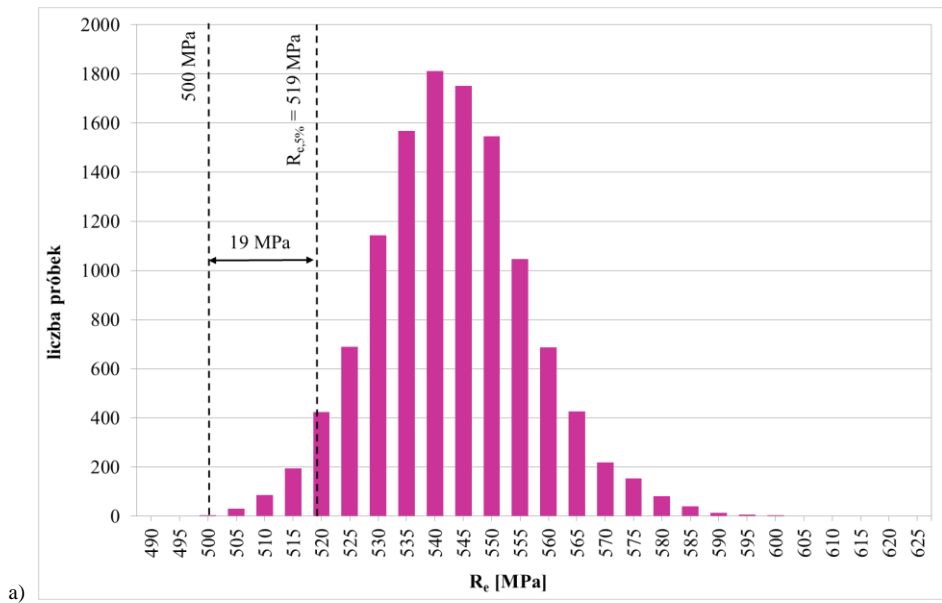
3. Wymagania norm dla wyrobów

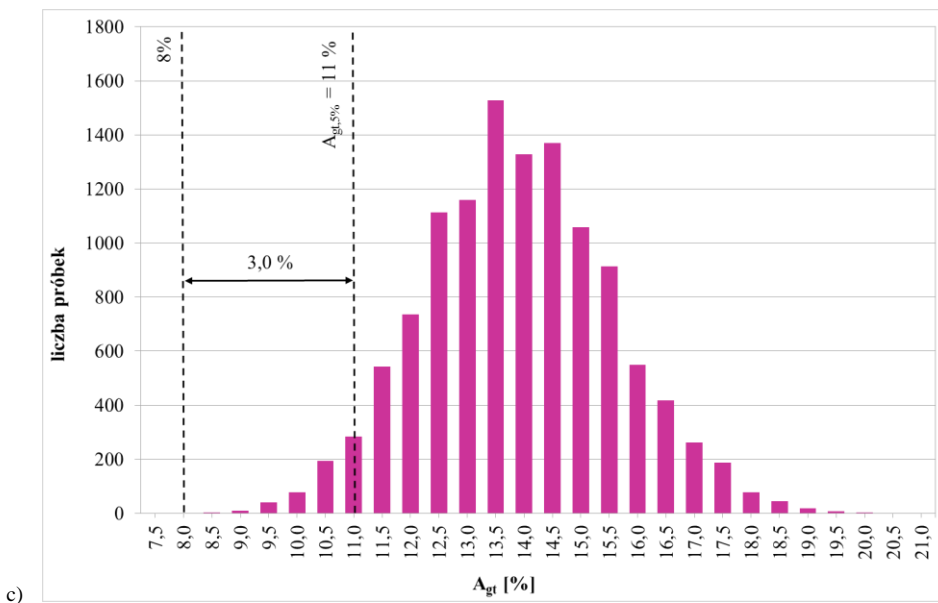
Najważniejsze właściwości użytkowe stali zbrojeniowej oraz metody ich badania zostaną opisane w dalszej części artykułu na przykładzie normy [6] dla gatunku B500SP, która po wprowadzeniu wspomnianych w poprzednim rozdziale poprawek do Załączników Krajowych do Eurokodu 2 ([4] i [5]) staje się wiodącą Polską Normą dla stali zbrojeniowej. W Polsce na stal zbrojeniową gatunku B500SP nadawany jest dodatkowy certyfikat EPSTAL, potwierdzający jej wysoką jakość i stabilność parametrów.

3.1. 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_e , R_m oraz A_{gt}) są uznawane za odpowiedniki f_y , f_t i ϵ_{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 ϵ_{uk} do właściwości danego pręta stosowanego w konstrukcji.

Na rysunku 1 przedstawiono wyniki zakładowej kontroli jakości produkcji stali EPSTAL, uzyskane w jednym z zakładów w 2017 roku. Wyniki te, zobrazowane w postaci histogramów, świadczą o wysokim poziomie stabilności uzyskanych parametrów wytrzymałościowo-odkształceniowych oraz dużym marginesie bezpieczeństwa w odniesieniu do wymagań stawianych producentom stali przez normy hutnicze.





Rys. 1. Histogramy przedstawiające wyniki badań prowadzonych w jednej z polskich hut w ramach zakładowej kontroli produkcji prętów żebrowanych EPSTAL o średnicach 10-32 mm, zebranych w 2017 roku:

- R_e – granica plastyczności (minimum 500 MPa),
- R_m – wytrzymałość na rozciąganie (minimum 575 MPa),
- A_{gr} – wydłużenie przy maksymalnej sile (minimum 8%).

3.2. Odporność na obciążenia cykliczne

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 [6] 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.

3.3. Odporność na obciążenia zmęczeniowe

Badanie odporności stali B500SP na obciążenia zmęczeniowe, zgodnie z normą [6], 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 miliony.

3.4 Podatność na zginanie z odginaniem

Wymaganą przez Eurokod podatność stali zbrojeniowej na zginanie z odginaniem w przypadku stali zbrojeniowej gatunku B500SP należy sprawdzić zgodnie z normą [6] 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.

Dodatkowo pręty ze stali gatunku B500SP o średnicy do 16 mm zgodnie z normą [6] należy zbadać pod kątem podatności na zginanie ze statyczną próbą rozciągania. Badanie to polega na zagięciu próbki o kąt 90° , następnie wyprostowaniu jej i wykonaniu badania zrywania w maszynie wytrzymałościowej. Pozytywny wynik uzyskuje się, gdy taka próbka spełni podstawowe wymagania dla granicy plastyczności R_e oraz wydłużenia pod największym obciążeniem A_{gt} .

3.5 Przyczepność do betonu

Zgodnie z Eurokodem warunkiem dobrej przyczepności stali zbrojeniowej do betonu jest zachowanie minimalnego względnego pola powierzchni żeber f_R . Takie samo wymaganie pojawia się w normach hutniczych. Względne pole powierzchni żeber wyznacza się w badaniu geometrii uźebrowania, przeprowadzanym w urządzeniach dokonujących laserowego pomiaru powierzchni próbki.

3.6. 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: sprawdzenie wzoru uźebrowania – identyfikacja gatunku stali; sprawdzenie numeru producenta; weryfikacja etykiety; identyfikacja ewentualnych innych trwałych oznakowań stali.

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 [7]. Wg tej normy, każda stal zbrojeniowa powinna mieć na jednym z rzędów żeber lub wgnieceń oznakowanie identyfikujące zakład. 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 pochodzenia prętów dostarczonych na budowę. Ponadto zarówno norma [6], jak i [7] 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-S-10042:1991 „Obiekty mostowe – Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone – Projektowanie” (norma wycofana).

- [2] PN-EN 1992-1-1:2008 „Eurokod 2 – Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków”.
- [3] PN-EN 1992-2:2010 „Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 2: Mosty z betonu – Obliczanie i reguły konstrukcyjne”.
- [4] 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”.
- [5] 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”.
- [6] PN-H-93220:2018-02 „Stal do zbrojenia betonu – Spawalna stal zbrojeniowa B500SP – Pręty i walcówka zębrowana”.
- [7] PN-EN 10080:2007 „Stal do zbrojenia betonu – Spawalna stal zbrojeniowa – Postanowienia ogólne”.