



Najważniejsze cechy materiałowe stali zbrojeniowej EPSTAL o wysokiej ciągliwości

według nowej normy PN-H-93220:2018-02



Certyfikat EPSTAL

EPSTAL jest znakiem jakości nadawanym w drodze dobrowolnej certyfikacji na wyroby do zbrojenia betonu w postaci prętów lub kręgów żebrowanych ze stali gorącowalcowanej o wysokiej ciągliwości gatunku B500SP.

Proces certyfikacji prowadzonej przez CPJS obejmuje sprawdzenie funkcjonowania systemu zarządzania jakością w zakładzie produkcyjnym, wykonanie badań próbek w laboratorium producenta oraz niezależnym laboratorium zewnętrznym. Utrzymanie certyfikatu EPSTAL wiąże się zaś z koniecznością odpowiedniego znakowania prętów (m.in. trwałym napisem EPSTAL oraz etykietą), przekazywania do CPJS kwartalnych i rocznych wyników zakładowej kontroli produkcji, posiadania dodatkowego ubezpieczenia na certyfikowane wyroby oraz poddania się corocznemu audytowi.



Certyfikat EPSTAL daje gwarancję, że stal zbrojeniowa:

- spełnia wymagania klasy C wg Eurokodu 2 oraz klasy A-IIIN wg "starych" polskich norm do projektowania konstrukcji (PN-B-03264:2002, PN-S-10042:1991);
- spełnia wymagania dla gatunku B500SP według normy PN-H-93220 oraz wymagania normy europejskiej PN-EN 10080;
- została wprowadzona do obrotu i stosowania w budownictwie zgodnie z obowiązującymi przepisami;
- jest dobrze identyfikowalna poprzez napis EPSTAL nawalcowany na powierzchni, etykietę oraz unikalny wzór uźebrowania;
- posiada parametry wytrzymałościowo-odkształceniowe charakteryzujące się wysoką stabilnością;
- jest odporna na obciążenia dynamiczne: zmęczeniowe i cykliczne;
- jest odporna na zginanie z odginaniem i zginanie ze statyczną próbą rozciągania;
- posiada bardzo dobrą przyczepność do betonu;
- jest spajalna w pełnym zakresie średnic;
- jest produkowana w certyfikowanym zakładzie, w którym wdrożono system kontroli jakości.

Wysoka ciągliwość

Ciągliwość stali zbrojeniowej to jej zdolność do uzyskiwania znacznych odkształceń bez wyraźnego przyrostu naprężeń po przekroczeniu granicy plastyczności. Pojęcie to odnosi się do pracy konstrukcji w fazie odkształceń plastycznych, gdy naprężenia przekroczyły wartość granicy plastyczności, a odkształcenia przyrastają nieliniowo w stosunku do naprężeń – a zatem w sytuacji wystąpienia awarii konstrukcji.

Stal EPSTAL łączy najważniejsze dla stali zbrojeniowej cechy:

- dużą wytrzymałość na rozciąganie (klasa A-IIIN);
- podwyższoną ciągliwość (klasa C).

Ciągliwość stali zbrojeniowej ma ogromny wpływ na bezpieczeństwo konstrukcji w stanie awaryjnym, czyli po przekroczeniu dopuszczalnych wartości obciążeń. Projektując konstrukcje żelbetowe maksymalne dopuszczalne wartości obciążeń zakłada się z pewnym zapasem bezpieczeństwa. Zdarza się, iż zapas ten w niewystarczającym stopniu zabezpiecza konstrukcję przed skutkami nieprzewidzianych zdarzeń wyjątkowych, takich jak uderzenia, wybuchy, niewłaściwe użytkowanie budowli, błędy projektowe lub wykonawcze. Konstrukcjami szczególnie narażonymi na przeciążenia są obiekty wznoszone na terenach górniczych bądź sejsmicznych oraz obiekty mostowe, które są stale poddawane obciążeniom dynamicznym oraz wielokrotnie zmiennym. W czasie projektowania tych konstrukcji w sposób szczególny należy uwzględnić ich zachowanie się w stadium awaryjnym.

Praca w stanie awaryjnym



W elementach zbrojonych stalą o **niskiej ciągliwości** przekroczenie obciążeń dopuszczalnych powoduje kruche pękanie prętów zbrojenia, co w konsekwencji może doprowadzić do nagłego i niespodziewanego zniszczenia konstrukcji. Badania doświadczalne pokazują, iż zniszczenie to może nastąpić przy bardzo niskich wartościach ugięć tych elementów oraz przy niewielkim zarysowaniu powierzchni betonu – a zatem przy braku wyraźnych znaków ostrzegających przed katastrofą.

Stal o **wysokiej ciągliwości** po przekroczeniu naprężeń równych granicy plastyczności ulega uplastycznieniu, tzn. nabiera właściwości pozwalających jej na uzyskiwanie bardzo dużych odkształceń. Dlatego zerwanie następuje po osiągnięciu dużo większych wydłużeń niż zerwanie stali kruchej w analogicznej sytuacji. Ma to znaczący wpływ na zachowanie się konstrukcji – jeżeli jest ona zbrojona stalą o wysokiej ciągliwości, po przekroczeniu dopuszczalnych wartości obciążeń, czyli w sytuacji awaryjnej, doznaje dużych ugięć i zarysowań. Znaki te, będące bez problemu widoczne dla użytkowników obiektu, alarmują o zbliżającym się niebezpieczeństwie, umożliwiając w ten sposób ewakuację oraz podjęcie działań naprawczych, które mogą zapobiec katastrofie.

Ciągliwość w normalizacji

Podział stali zbrojeniowej na klasy uległ zmianie po wprowadzeniu Eurokodów do katalogu Polskich Norm. Obecnie to ciągliwość jest parametrem decydującym o przynależności gatunku stali do danej klasy. Dawniej normy budowlane klasyfikowały zbrojenie na podstawie granicy plastyczności, nie uwzględniając ciągliwości materiału.

Wyjaśnienia owych różnic 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 nawet 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.

Wymagania Eurokodu

Europejska norma do projektowania konstrukcji żelbetonowych PN-EN 1992-1-1 wyróżnia trzy klasy stali zbrojeniowej:

| Klasa stali | Granica plastyczności f_{yk} | $k=(f_t/f_y)_k$ | ϵ_{uk} [%] |
|-------------|--------------------------------|-----------------|---------------------|
| A | 400 ÷ 600 | $\geq 1,05$ | $\geq 2,5$ |
| B | | $\geq 1,08$ | $\geq 5,0$ |
| C | | 1,15 ÷ 1,35 | $\geq 7,5$ |

gdzie:

- klasa A – stal o małej ciągliwości
- klasa B – stal o średniej ciągliwości
- klasa C – stal o wysokiej ciągliwości

Dodatkowo polskie Załączniki Krajowe do Eurokodów wprowadzają wyraźne zalecenia co do doboru stali zbrojeniowej w przypadku niektórych konstrukcji.



Załącznik Krajowy do PN-EN 1992-1-1 nakazuje stosowanie stali zbrojeniowej o wysokiej ciągliwości klasy C, zgodnej z Polską Normą PN-H-93220, do wykonania zbrojenia:

- zabezpieczającego konstrukcję przed działaniami obciążeń wyjątkowych oraz przed skutkami katastrofy postępującej;
- nośnego obiektów posadowionych na terenach górniczych, a także zbrojenia nośnego obiektów narażonych na działanie obciążeń dynamicznych.

Załącznik Krajowy do PN-EN 1992-2 nakazuje stosowanie stali zbrojeniowej o wysokiej ciągliwości klasy C, zgodnej z odpowiednimi Polskimi Normami, do wykonania zbrojenia nośnego mostów z betonu.

Aktualność normy PN-B-03264:2002

1 stycznia 2018 r. weszło w życie rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 14 listopada 2017 r. zmieniające „Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie”. Zmiana ta skutkuje wykreśleniem z załącznika do ww. Rozporządzenia starych Polskich Norm do projektowania. Od tej pory projektowanie konstrukcji powinno być prowadzone wyłącznie w oparciu o Eurokody.

W wycofanej normie do projektowania konstrukcji żelbetowych PN-B-03264:2002 zawarte były zdezaktualizowane informacje dotyczące m.in. asortymentu gatunków oraz sposobu produkcji stali zbrojeniowej. Według tej normy podział stali zbrojeniowej na klasy prowadzony był na podstawie granicy plastyczności. Norma określała klasy od A-0, dla której charakterystyczna granica plastyczności f_{yk} wynosiła minimum 220 MPa, do A-IIIN, dla której f_{yk} nie mogła być mniejsza od 500 MPa. Jednocześnie norma ta stwierdzała, że stale klasy A-IIIN wykazują obniżoną ciągliwość w stosunku do stali niższych klas. Wiązało się to ściśle z procesem produkcji stali, o czym wspomina się na początku tego rozdziału.

Norma PN-B-03264:2002 podawała również przykłady gatunków stali zbrojeniowej w danej klasie (np. 34GS, RB500W) oraz określała ich spajalność. Warto zaznaczyć, że większość przytoczonych gatunków jest już obecnie niedostępna na polskim rynku (producenci zaprzestali ich produkcji), ponadto część z nich nie spełnia wymagań obecnych norm do projektowania (np. gatunki niespajalne lub o granicy plastyczności niższej niż 400 MPa).

Odporność na obciążenia dynamiczne

Odporność stali zbrojeniowej na obciążenia dynamiczne ma szczególne znaczenie w przypadku np. wszystkich obiektów inżynierskich, obiektów przemysłowych, a także budowli posadowionych na terenach sejsmicznych i górniczych.

Stal EPSTAL jest badana pod kątem odporności na obciążenia dynamiczne w dwóch rodzajach testów. Zgodnie z wymaganiami normy PN-H-93220:2018-02 dla gatunku B500SP wykonuje się badanie cykliczne oraz badanie zmęczeniowe.

Badanie cykliczne

Badanie to 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 określono w normie PN-H-93220:2018-02. 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 zmęczeniowe

Badanie to polega na poddawaniu próbki osiowemu rozciąganiu w zmiennym zakresie naprężeń, o stałej częstotliwości nieprzekraczającej 200 Hz. Maksymalne naprężenie wynosi 300 MPa, natomiast zakres zmienności naprężeń 175 MPa dla $d \leq 25$ mm oraz 165 MPa dla $d > 25$ mm. 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**.

Odporność na zginanie

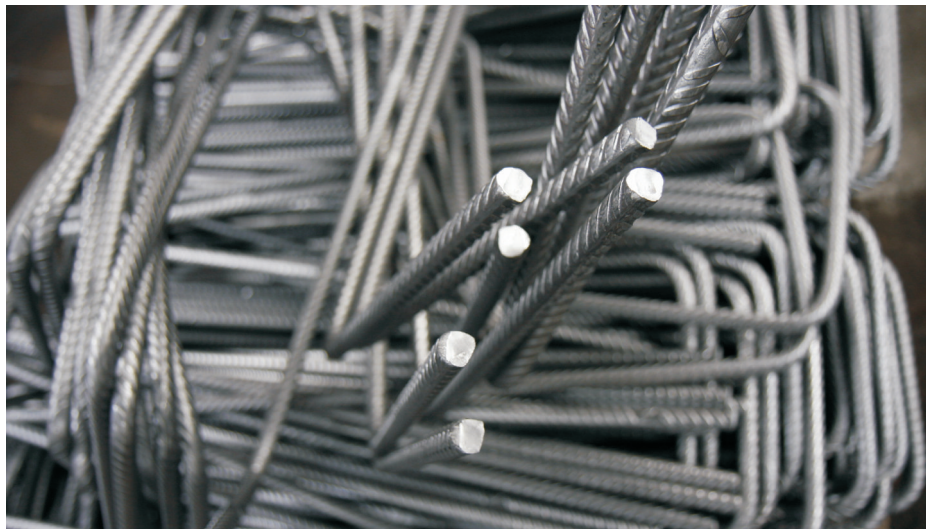
Niezwykle ważną cechą stali zbrojeniowej jest jej zdolność do zachowania pożądanych właściwości fizycznych po zginaniu. Wykonanie zagięcia powoduje uplastycznienie stali zbrojeniowej, ocenie podlega wpływ tego uplastycznienia na pracę całego pręta. W tym celu wykonuje się dwa niżej opisane badania.

Badanie zginania z odginaniem

W celu wykonania badania zginania z odginaniem w pierwszej kolejności próbkę stalową zagina się o kąt 90° . Średnice trzpienia, na którym można wykonać zagięcia, są ściśle określone w normie i wynoszą - w zależności od średnicy badanego pręta - od $4d$ do $8d$ (gdzie d - średnica badanego pręta). W dalszej kolejności próbkę poddaje się starzeniu, czyli podgrzaniu jej do temperatury 100°C , utrzymaniu w tej temperaturze przez godzinę, a następnie ostudzeniu w warunkach naturalnych do temperatury pokojowej. W ostatniej czynności próbkę odgina się o kąt min. 20° . Jeżeli na powierzchni próbki nie wystąpią żadne uszkodzenia widoczne gołym okiem uznaje się, że przeszła ona pozytywnie badanie zginania z odginaniem.

Badanie zginania ze zrywaniem

Próba zginania ze statyczną próbą rozciągania jest wykonywana 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_{eL} , R_m/R_{eL} , A_5 oraz A_{gt} .



Identyfikowalność

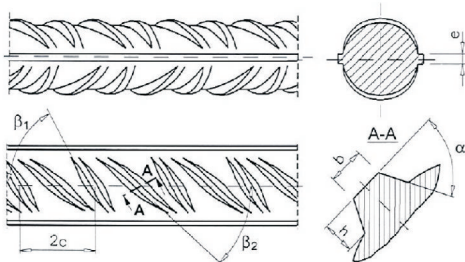
Stal EPSTAL posiada unikalny wzór uźebrowania oraz napis "EPSTAL" nawalcowany na każdym pręcie w miejsce sześciu kolejnych żeber. Ponadto na powierzchni prętów w sposób trwały nawalcowany jest również numer producenta. Ten zestaw narzędzi do identyfikacji pozwala na stuprocentową pewność dostawy i gwarancję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

Odbierając stal na budowie należy zweryfikować nie tylko dołączone do niej dokumenty, ale również 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.

Wzór uźebrowania

Stal EPSTAL to gatunek B500SP, który zgodnie z normą PN-H-93220 posiada unikalny wzór uźebrowania, składający się z dwóch rzędów żeber poprzecznych oraz dwóch żeber podłużnych. Żebra poprzeczne po obu stronach pręta ułożone są naprzemiennie pod dwoma różnymi kątami w stosunku do osi podłużnej.



Znakowanie producenta

Wszystkie pręty żebrowane, poza informacją na temat gatunku stali, posiadają również trwale znakowanie wskazujące na zakład, w którym zostały wyprodukowane. Metodę takiego trwałego znakowania prętów przez producenta określa norma PN-EN 10080:2007 „Stal do zbrojenia betonu. Spajalna stal zbrojeniowa. Postanowienia ogólne”. Wg tej normy, każda stal zbrojeniowa powinna mieć na jednym z rzędów żeber lub wgnieceń oznakowanie identyfikujące zakład. Oznakowanie to jest powtarzane w odstępach nie większych niż 1,5 m i składa się z symbolu oznaczającego początek znakowania oraz numerycznego systemu identyfikującego wytwórcę. Symbol oznaczający początek znakowania wykonywany jest za pomocą pogrubienia dwóch kolejnych żeber. Natomiast na numer zakładu wskazuje liczba niepogrubionych żeber znajdujących 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.

Etykieta

Każda wiązka prętów, oprócz oznaczeń umieszczonych bezpośrednio na pręcie, dostarczana jest wraz z etykietą identyfikującą z logotypem znaku EPSTAL, gatunkiem stali i danymi producenta.

Napis EPSTAL

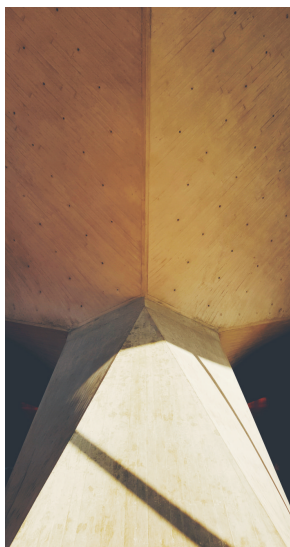
Producenci, którzy po pomyślnym przejściu procesu certyfikacji uzyskali certyfikat EPSTAL mają obowiązek trwałego znakowania swoich wyrobów poprzez nawalcowanie na powierzchni prętów napisu „EPSTAL” w miejsce sześciu kolejnych żeber. Metoda ta sprawia, że identyfikacja wyrobu w warunkach budowy jest łatwa i wiarygodna. Znak EPSTAL na pręcie jest gwarancją, że wyrób ten został poddany badaniom zgodnie z wymaganiami odpowiednich Polskich Norm, certyfikowany przez akredytowaną jednostkę badawczą oraz posiada wszystkie niezbędne certyfikaty wymagane w Polsce. Znajdując napis "EPSTAL" na pręcie możemy mieć pewność, że jest to stal gatunku B500SP, spełniająca wymagania klasy C ciągliwości oraz A-IIIN wytrzymałości, wyprodukowana w Polsce, w zakładzie gwarantującym wysoki stopień stabilności procesu produkcji i kontroli jakości.



Przyczepność do betonu

Jednym z najważniejszych czynników pracy konstrukcji żelbetowej jest dobra przyczepność stali do betonu. Umożliwia ona prawidłowe przekazywanie naprężeń rozciągających z betonu na pręty zbrojeniowe, a w przypadku występowania większych naprężeń zapewnia określony uślizg – zarysowania i pęknięcia przebiegają w konstrukcji w założony podczas projektowania sposób.

Norma dla stali zbrojeniowej gatunku B500SP jako kryterium przyczepności stali do betonu podaje minimalne względne pole powierzchni żeber f_R . Przy spełnieniu warunków normowych dla tego parametru uznaje się, że przyczepność stali do betonu po wbudowaniu w konstrukcję będzie wystarczająca. Sprawdzenie względnego pola powierzchni żeber wykonuje się obecnie w nowoczesnych maszynach, które za pomocą laserów dokonują pomiaru geometrii całego pręta. W przypadku stali EPSTAL warunek minimalnego pola powierzchni żeber f_R sprawdzany jest zarówno w miejscu z napisem EPSTAL, jak i z samym uźebrowaniem.



Badania przyczepności

Niezależnie od warunku minimalnego względnego pola powierzchni żeber f_R normy dla stali zbrojeniowej opisują dodatkowe metody weryfikacji przyczepności stali do betonu poprzez laboratoryjne badania modeli. Zgodnie z normą PN-EN 10080:2007 można wyróżnić dwie główne metody badania tego typu:

- badanie belki,
- badanie wyciągania.

Dla prętów ze stali EPSTAL Instytut Techniki Budowlanej wykonał badanie wyciągania, polegające na wyrywaniu 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, 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 wyrywającą zwiększano stopniowo co 5 kN, tak aby uzyskać około 10 kroków dla każdej próbki. Określenie siły wyrywającej pręt oraz przemieszczenia jego nieobciążonego końca pozwoliły wyznaczyć naprężenia przyczepnościowe w badanych modelach. Naprężenia te okazały się kilkakrotnie większe niż minimalne naprężenia normowe (wg PN-EN 10080:2007) – zarówno w strefie uźebrowanej, jak i strefie z napisem EPSTAL.

Spajalność

Ważną cechą stali zbrojeniowej jest jej spajalność. Stal EPSTAL, dzięki uważnie kontrolowanemu procesowi produkcji, posiada skład chemiczny gwarantujący pełną spajalność prętów. Ponadto spawane i zgrzewane złącza ze stali EPSTAL pomyślnie przeszły testy laboratoryjne.

Spajalność stali EPSTAL została przebadana w Instytucie Spawalnictwa w Gliwicach. Celem badań było wykonanie i zbadanie 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.

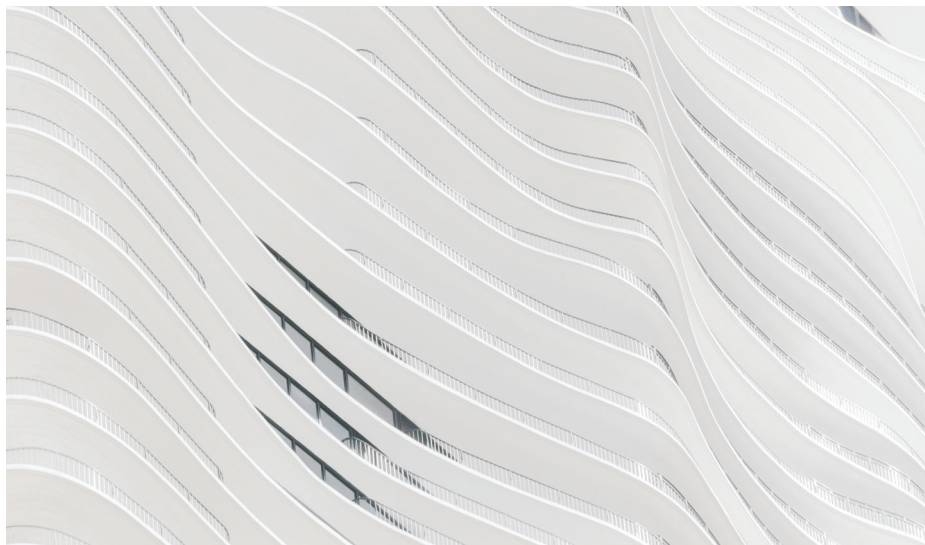
Pozytywne wyniki, opisane w orzeczeniu Instytutu Spawalnictwa, świadczą o tym, że wszystkie badane złącza wykazały dobre właściwości wytrzymałościowe i plastyczne:

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



Transparentność

Producenci stali zbrojeniowej deklarują spełnienie podstawowych wymagań normowych, np. minimalnej granicy plastyczności równej 500 MPa. Z punktu widzenia projektanta konstrukcji ważna jest również analiza statystyczna wyników uzyskiwanych podczas zakładowej kontroli produkcji. Daje ona możliwość oceny stabilności procesu produkcji i tym samym może przyczynić się do zwiększenia zaufania do danego wyrobu.



Na stronie www.epstal.pl w zakładce „STAL ZBROJENIOWA” / „Dane statystyczne” zamieszczone są opracowania statystyczne wyników badań wytrzymałościowych prowadzonych w certyfikowanych przez CPJS zakładach w ramach Zakładowej Kontroli Produkcji. Badania te obejmują próby rozciągania prętów o różnych średnicach, na podstawie których określa się następujące parametry stali:

- R_e – granicę plastyczności (odpowiadającą wartości f_{yk})
- R_m – wytrzymałość na zerwanie (odpowiadającą wartości f_{tk})
- A_{gt} – wydłużenie przy maksymalnej sile (odpowiadające wartości ϵ_{uk})

Wyniki badań przedstawiono w postaci histogramów obrazujących częstości występowania próbek stali, dla których wartość parametru zawiera się w określonym przedziale.

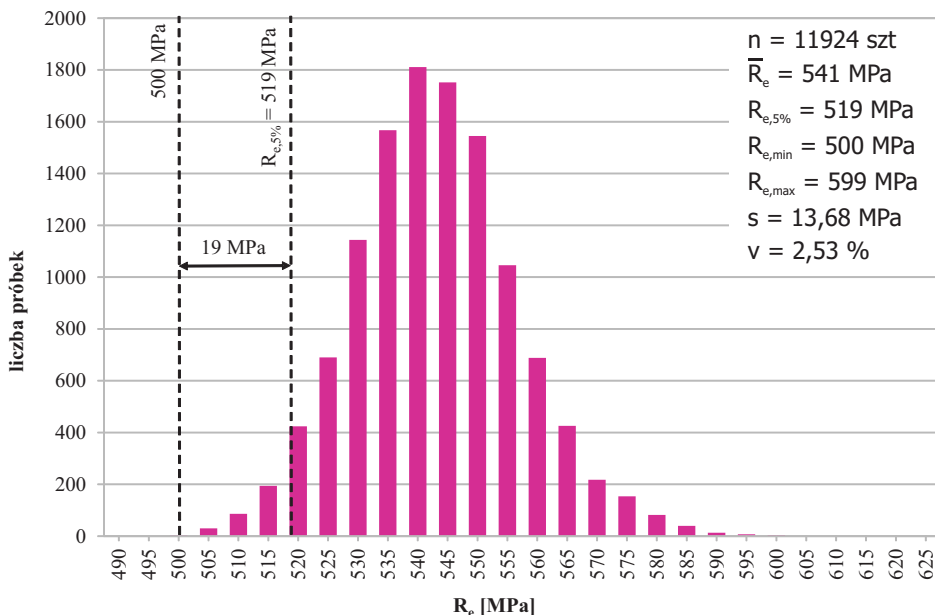
Statystyka

Na podstawie normy PN-EN 1990:2004 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 której może się znaleźć 5% populacji wszystkich możliwych oznaczeń wytrzymałości”, czyli są to wartości obu wytrzymałości osiągane przez minimum 95% zbadanych próbek dla danej serii prób. W analogiczny sposób definiujemy wartość charakterystyczną zmiennej losowej wydłużenia $A_{gt,5\%}$. Z rachunku prawdopodobieństwa wartość wytrzymałości charakterystycznej danej zmiennej losowej definiuje się precyzyjnie jako kwantyl rzędu 0,05 (5%) zmiennej losowej.

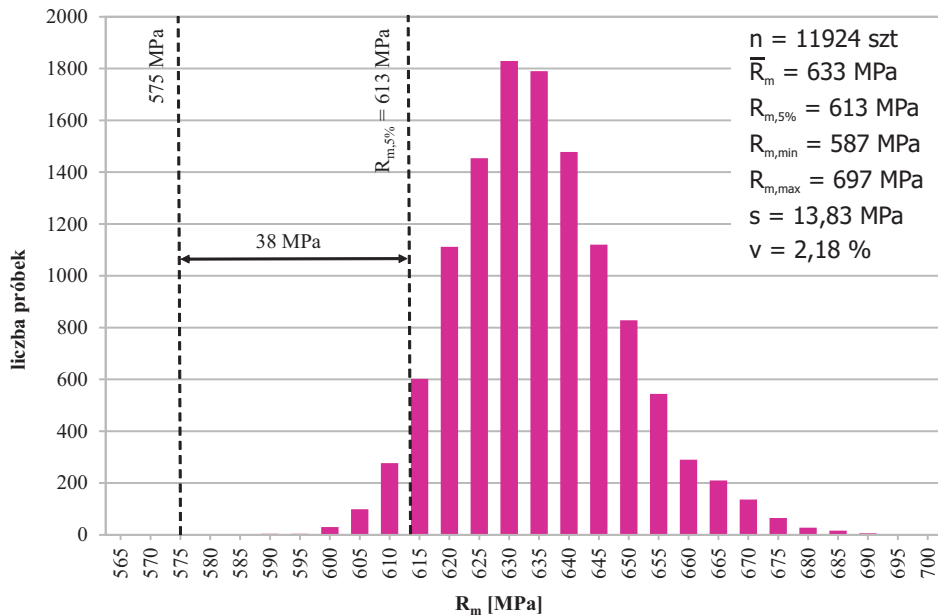
W postaci poniższych histogramów przedstawiono wyniki zakładowej kontroli produkcji dla prętów o średnicach 10÷32 mm wykonanych ze stali EPSTAL, uzyskane w jednym z zakładów w 2017 roku. Do opisu użyto następujących oznaczeń:

| | |
|-----------------------------|--|
| n - liczebność próby | $\bar{R}_e, \bar{R}_m, \bar{A}_{gt}$ - wartość średnia |
| s - odchylenie standardowe | $R_{e,min}, R_{m,min}, A_{gt,min}$ - wartość najmniejsza próby |
| v - współczynnik zmienności | $R_{e,max}, R_{m,max}, A_{gt,max}$ - wartość największa próby |
| | $R_{e,5\%}, R_{m,5\%}, A_{gt,5\%}$ - wartość charakterystyczna |

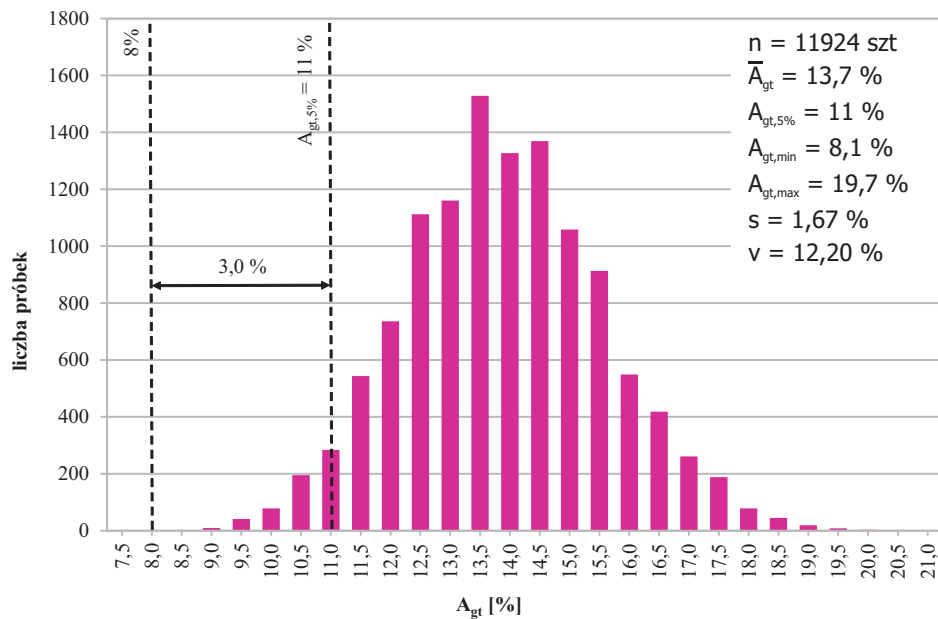
● Granica plastyczności



● Wytrzymałość na rozciąganie



● Wydłużenie pod największym obciążeniem



Program badawczy

Centrum Promocji Jakości Stali jest inicjatorem wielu badań naukowych, które dają szerokie pole do rozważań na temat pracy konstrukcji żelbetonowych, potwierdzają teoretyczną wiedzę na ich temat, a także są impulsem do wprowadzania nowych rozwiązań w projektowaniu i wykonawstwie.

● **Badanie płyty w stanie awaryjnym wywołanym usunięciem słupa**

Ustroje płytowo-słupowe są bardziej narażone na skutki wystąpienia obciążeń wyjątkowych niż innego typu konstrukcje (np. ścianowe). Fakt ten stwarza konieczność zwrócenia szczególnej uwagi projektanta na zastosowanie odpowiednich zabezpieczeń. W wyniku wystąpienia obciążeń wyjątkowych, np. wywołanych wybuchem gazu, uderzenia pojazdu, błędami projektowymi czy wykonawczymi, może dojść do katastrofy postępującej, czyli zniszczenie całej konstrukcji w następstwie uszkodzenia jednego z jej elementów nośnych (najczęściej słupa).

Celem przeprowadzonego badania było zaobserwowanie mechanizmu zniszczenia płyty stropowej w sytuacji usunięcia podpory krawędziowej, a także wpływu ciągliwości oraz ilości zastosowanej stali zbrojeniowej. Modelem badawczym była płyta żelbetowa, posadowiona na 16 prefabrykowanych słupach, zbrojona w całości stalą EPSTAL o wysokiej ciągliwości. Obciążenie realizowano na dwa sposoby: grawitacyjny poprzez podwieszenie 115 betonowych obciążników o ciężarze 200 kg każdy na całej powierzchni płyty z wyjątkiem pola badawczego i hydrauliczny poprzez rozmieszczenie 12 siłowników hydraulicznych na obwodzie zewnętrznym pola badawczego oraz 27 siłowników wewnątrz tego pola. Po usunięciu jednego ze słupów zwiększano obciążenie hydrauliczne, aż do momentu zniszczenia płyty. W czasie badania notowano ugięcie, zarysowanie i siłę niszczącą.

Więcej szczegółów dotyczących tego badania można znaleźć na stronie www.epstal.pl w zakładce „Badania” lub w Biuletynie Technicznym nr 5, który jest do pobrania w zakładce „Publikacje”.

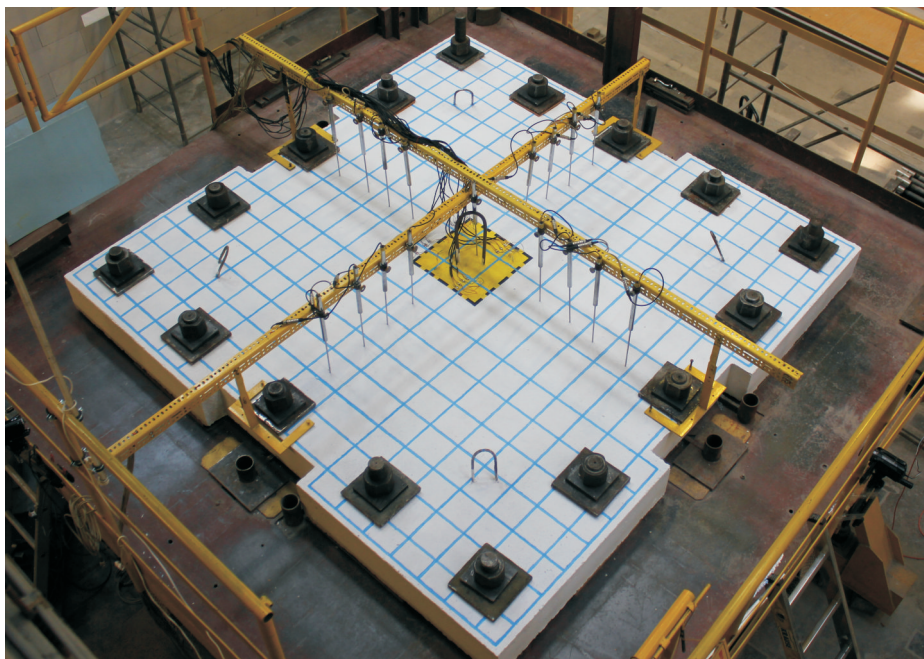


● **Badanie płyty w stanie awaryjnym wywołanym przebicciem**

W przypadku połączeń płytowo-słupowych, w których nie zastosowano zbrojenia na ścinanie, występuje zwiększone ryzyko wystąpienia przebiccia, które może doprowadzić do katastrofy postępującej. W celu zabezpieczenia konstrukcji przed skutkami takiej awarii należy zastosować zbrojenie integrujące w postaci prętów zbrojenia dolnego płyty krzyżujących się nad śladem słupa. Zadaniem zbrojenia integrującego jest przeniesienie ciężaru płyty i tym samym zapobieżenie upadkowi stropu na niższe kondygnacje. Dochodzi wówczas do przekształcenia ustroju płytowo-słupowego w ustrój cięgnowy. Aby spełnić to zadanie zbrojenie integrujące musi być wykonane ze stali o wysokiej ciągliwości oraz zostać odpowiednio zakotwiczone i uciągłone w płaszczyźnie płyty.

W latach 2008-2018 w Katedrze Konstrukcji Budowlanych Politechniki Śląskiej na zlecenie CPJS wykonane zostały liczne badania połączeń płytowo-słupowych w stanie awaryjnym wywołanym przebicciem. Głównym celem badań było zweryfikowanie postanowień normowych odnośnie zastosowania zbrojenia integrującego. Modele badawcze, w postaci monolitycznych fragmentów płyty ze słupem umieszczonym centralnie lub krawędziowo, doprowadzano do stanu awaryjnego wywołanego przebicciem poprzez wypychanie słupa do góry. Zniszczenie modeli następowało w wyniku kontynuowania obciążania w stanie awaryjnym i z założenia miało być następstwem zerwania prętów zbrojenia integrującego. W czasie badań prowadzono obserwację rozwoju zarysowania płyt, przemieszczeń słupa, jak również odnotowywano siły powodujące przebiccie i zniszczenie modeli.

Więcej szczegółów na temat tego oraz innych badań połączeń płytowo słupowych można znaleźć na stronie www.epstal.pl.



Publikacje



Badania zachowania się połączeń płyta-słup zbrojonych stali EPSTAL o wysokiej ciągliwości w stadium awaryjnym wywołanym przecięciem

Połączenia zbrojone według Modelu Code 2010

Autorzy:
Barbara WILCZOREK
Miroslaw WILCZOREK
Włodzisław STARODULSKI

Redakcja:
Centrum Promocji Jakości Stali

Biuletyn Techniczny nr 3



Badania zachowania się krawędziowych połączeń płyta-słup zbrojonych stali EPSTAL o wysokiej ciągliwości w stadium awaryjnym wywołanym przecięciem

Autorzy:
Barbara WILCZOREK
Miroslaw WILCZOREK
Włodzisław STARODULSKI

Redakcja:
Centrum Promocji Jakości Stali

Biuletyn Techniczny nr 6



Badania zachowania się płyty filitrowej zbrojonej stalią EPSTAL o wysokiej ciągliwości w sytuacji awaryjnej wywołanej przecięciem

Autorzy:
Miroslaw WILCZOREK
Barbara WILCZOREK
Włodzisław STARODULSKI

Redakcja:
Centrum Promocji Jakości Stali

Biuletyn Techniczny nr 7

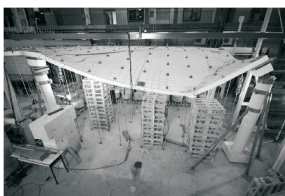


Rekonstrukcja płytowo-słupowa. Zapewnienie przemieszczenia postępującego

Autorzy:
Włodzisław STARODULSKI
Barbara WILCZOREK
Miroslaw WILCZOREK

Redakcja:
Centrum Promocji Jakości Stali

Biuletyn Techniczny nr 1

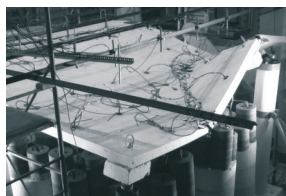


Badania zachowania się płyty filitrowej zbrojonej stalią EPSTAL o wysokiej ciągliwości w sytuacji awaryjnej wywołanej przecięciem podparty brzoźwiakami

Autorzy:
Barbara WILCZOREK
Miroslaw WILCZOREK
Włodzisław STARODULSKI

Redakcja:
Centrum Promocji Jakości Stali

Biuletyn Techniczny nr 6



Badania zachowania się narożnego fragmentu monolitycznego układu płytowo-słupowego zbrojonego stalią EPSTAL o wysokiej ciągliwości w sytuacji awaryjnej wywołanej osunięciem podpory

Autorzy:
Miroslaw WILCZOREK
Włodzisław STARODULSKI

Redakcja:
Centrum Promocji Jakości Stali

Biuletyn Techniczny nr 4



Badania zakotwień strzemion wykonanych ze stali o wysokiej ciągliwości

Autorzy:
Halina Knapczyk
Włodzisław STARODULSKI

Redakcja:
Centrum Promocji Jakości Stali

Biuletyn Techniczny nr 3

2

BADANIA ZACHOWANIA SIĘ STREPY PODPORÓWJ MONOLITYCZNYCH USTROJÓW FILTROWO - SŁUPOWYCH W STADIUM AWARYJNYM



BIULETYN INFORMACYJNY
CENTRUM PROMOCJI JAKOŚCI STALI

1

ZNACZENIE CIĄGLIWOŚCI STALI ZROBIENIOWEJ W PROJEKTOWANIU KONSTRUKCJI ŻELAZNOBETONOWYCH WŁAŚCIWOŚCI GATUNKU BS500SP - EPSTAL®



BIULETYN INFORMACYJNY
CENTRUM PROMOCJI JAKOŚCI STALI



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