



# **Jak projektować odpowiedzialnie? Kilka słów na temat ciągłości stali zbrojeniowej**

**Opracowanie:  
Centrum Promocji Jakości Stali**



# CO TO JEST CIĄGLIWOŚĆ STALI ZBROJENIOWEJ?

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 wartości dopuszczalne, a odkształcenia przyrastają nieliniowo w stosunku do naprężeń – a zatem w sytuacji wystąpienia awarii konstrukcji.

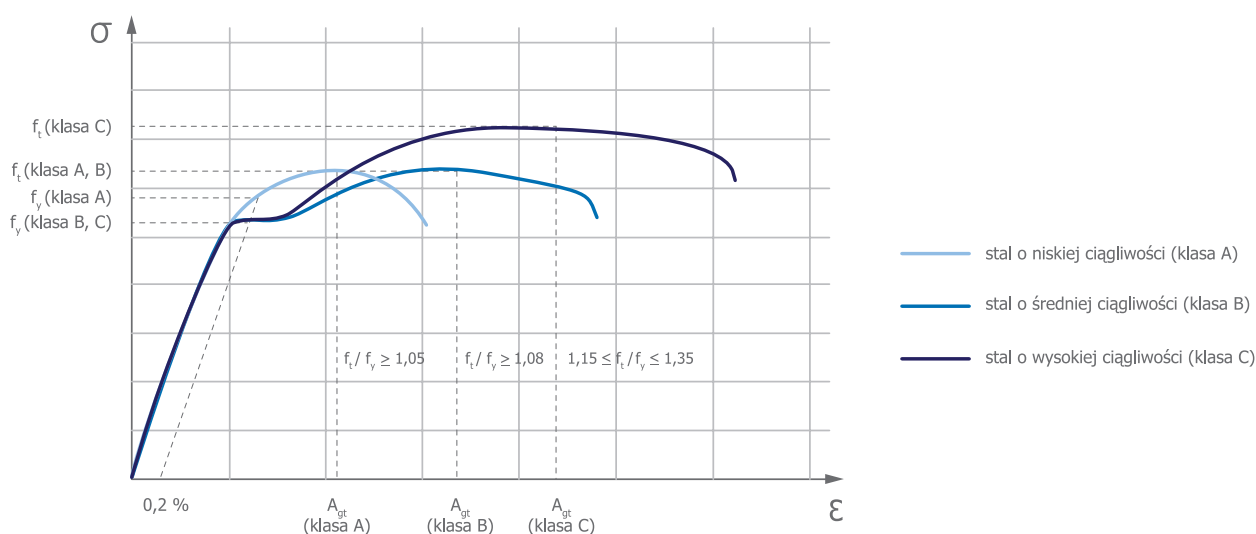
Ciągliwość stali zbrojeniowej definiowana jest przez dwa parametry:

$$f_{tk}/f_{yk} \text{ oraz } \epsilon_{uk}$$

**Stosunek  $f_{tk}/f_{yk}$**  ( $R_m/R_e$  w oznaczeniach norm dla stali) – jest to parametr wyrażający stosunek charakterystycznej wytrzymałości stali na rozciąganie ( $f_{tk}$ ) do charakterystycznej wartości granicy plastyczności ( $f_{yk}$ ). Parametr ten określa zapas wytrzymałości stali po przekroczeniu granicy plastyczności.

**Wydłużenie przy maksymalnej sile  $\epsilon_{uk}$**  ( $A_{gt}$  w oznaczeniach norm dla stali) – parametr ten definiuje wydłużenie procentowe próbki przy maksymalnej wartości przenieszonego przez próbkę obciążenia, czyli wydłużenie odpowiadające największemu naprężeniu ( $f_{tk}$ ).

**Wykres zależności naprężeń od odkształceń dla stali zbrojeniowej o zróżnicowanej ciągliwości**



# DLACZEGO CIĄGLIWOŚĆ STALI ZBROJENIOWEJ JEST TAK WAŻNA DLA BEZPIECZEŃSTWA KONSTRUKCJI ŻELBETOWYCH?



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 itp. Konstrukcjami szczególnie narażonymi na przeciążenia są obiekty wznoszone na terenach górniczych bądź sejsmicznych oraz obiekty mostowe, które są stale pod-

dawane obciążeniom dynamicznym oraz wielokrotnie zmiennym. W czasie projektowania tych konstrukcji w sposób szczególny należy uwzględnić ich zachowanie się w stadium awaryjnym.

W elementach zbrojonych **stałą 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 przy nawet niewielkim wzroście naprężeń. Dlatego jej 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.



## O KLASYFIKACJI I GATUNKACH STALI ZBROJENIOWEJ

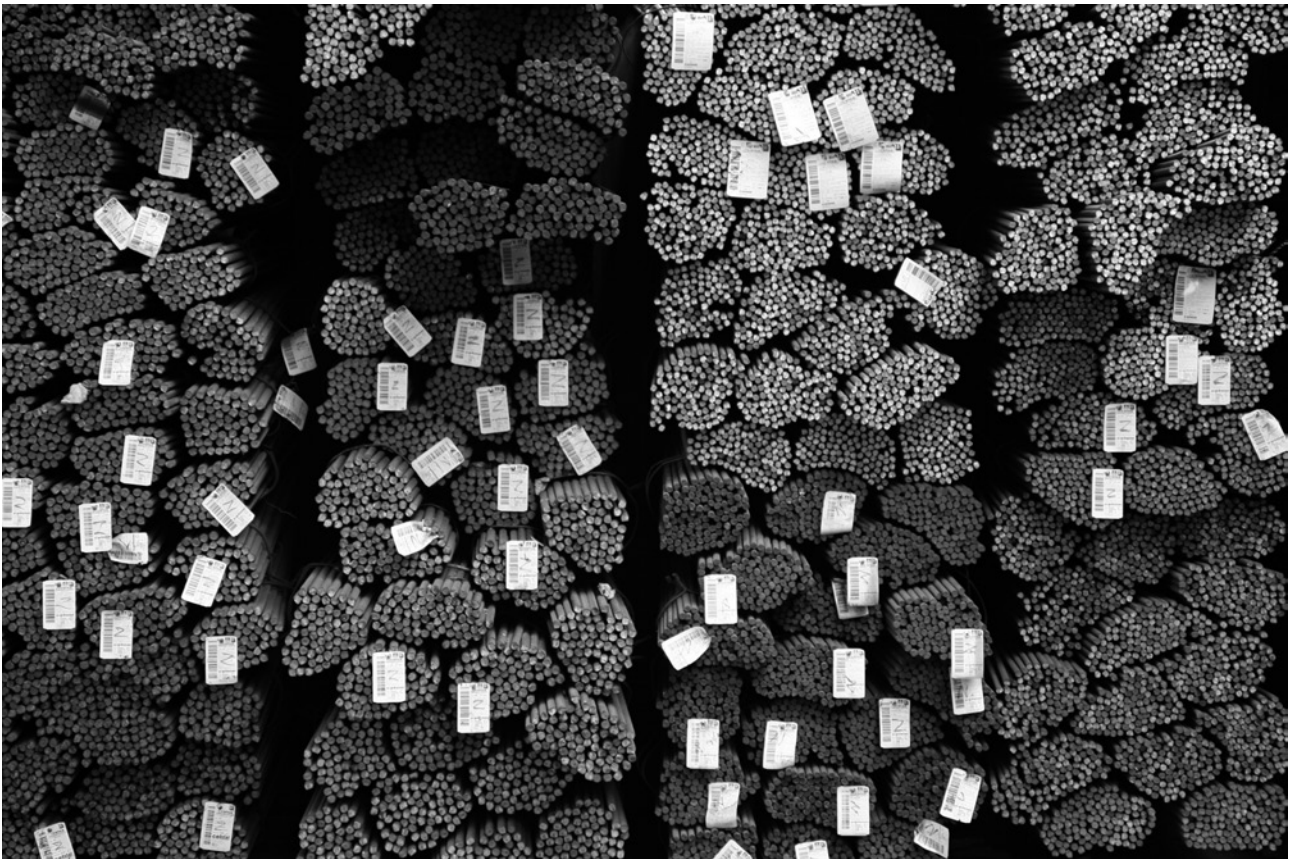
Ciągliwość jest parametrem, który decyduje o klasyfikacji stali zbrojeniowej według normy PN-EN 1992-1-1:2008, czyli Eurokodu 2. Norma ta wyróżnia trzy klasy stali zbrojeniowej:

- A – stal zbrojeniowa o niskiej ciągliwości
- B – stal zbrojeniowa o średniej ciągliwości
- C – stal zbrojeniowa o wysokiej ciągliwości

### Klasyfikacja stali zbrojeniowej wg PN-EN 1992-1-1:2008 (Eurokodu 2)

Klasa stali	Granica plastyczności $f_{yk}$ [MPa]	Stosunek wytrzymałości na rozciąganie do granicy plastyczności $f_{tk}/f_{yk}$ [-]	Wydłużenie procentowe pod maksymalnym obciążeniem $\epsilon_{uk}$ [%]
A	400 ÷ 600	$\geq 1,05$	$\geq 2,5$
B		$\geq 1,08$	$\geq 5,0$
C		1,15 ÷ 1,35	$\geq 7,5$

Podział stali zbrojeniowej na klasy według Polskiej Normy do projektowania konstrukcji betonowych PN-B-03264:2002 prowadzony jest na podstawie wartości charakterystycznej granicy plastyczności – od klasy A-0 ( $f_{yk} \geq 220$  MPa) do klasy A-IIIN ( $f_{yk} \geq 500$  MPa). Klasyfikacja ta nie definiuje jednak w dokładny sposób ciągliwości stali. A zatem projektant stosując taką klasyfikację stali zbrojeniowej, np. definiując w projekcie jedynie klasę A-IIIN, daje wykonawcy możliwość dowolnego wyboru gatunku stali – jedynym warunkiem jest minimalna wartość granicy plastyczności 500 MPa.



Należy jednak pamiętać, że obecnie na rynku w ramach klasy A-IIIN dostępne są gatunki stali zbrojeniowej o zróżnicowanej ciągliwości, np.:

- B500A – klasa ciągliwości A,
- B500B, BSt500S, RB500W – klasa ciągliwości B,
- B500SP – klasa ciągliwości C.

A zatem, w przypadku stosowania przez konstruktora Polskiej Normy do projektowania konstrukcji betonowych PN-B-03264:2002, dobrym zwyczajem wydaje się być definiowanie nie tylko klasy stali zbrojeniowej, lecz przede wszystkim odpowiedniego gatunku stali, najlepiej o jak najwyższej ciągliwości. Taka praktyka zwiększa bezpieczeństwo konstrukcji, szczególnie tych narażonych na działanie obciążeń dynamicznych lub posadowionych na terenach górniczych. Daje również pewność, iż w obiekcie zastosowane zostaną wyroby najlepsze z dostępnych na rynku.

## STAL ZBROJENIOWA EPSTAL



Wśród dostępnych obecnie na polskim rynku gatunków stali zbrojeniowej jedynie gatunek B500SP wyróżnia się zarówno wysoką wytrzymałością (klasa A-IIIN wg PN) oraz ciągliwością (klasa C wg Eurokodu 2). Jest to stal gorącowałcowana, produkowana w postaci prętów prostych lub kręgów przez polskich producentów zgodnie z wymogami Polskiej Normy PN-H-93220:2006, szeroko

dostępna na terenie całego kraju i chętnie stosowana przez projektantów konstrukcji.

Znak EPSTAL jest dodatkową gwarancją wysokiej jakości materiału. Jest on nadawany przez CPJS w drodze dobrowolnej certyfikacji na stal zbrojeniową gatunku B500SP, produkowaną przez producentów spełniających dodatkowe kryteria, m.in. wykazujących wysoki poziom stabilności procesu produkcji oraz prowadzących statystyczną kontrolę parametrów stali.

Stal EPSTAL to przede wszystkim:

- wysoka ciągliwość (klasa C wg Eurokodu 2),
- wysoka wytrzymałość (klasa A-IIIN),
- odporność na obciążenia dynamiczne – potwierdzona w badaniach cyklicznych i zmęczeniowych,
- dobra przyczepność do betonu – zatwierdzona przez ITB,
- łatwa identyfikowalność – poprzez napis EPSTAL nawalcowany na prętach,
- dobra spawalność (spawalność i zgrzewalność) –  $C_{eq} \leq 0,50 \%$ ,
- gwarancja stabilności parametrów – poprzez dbałość o stabilność procesu produkcji.



Certyfikat EPSTAL otrzymało już trzech największych polskich producentów stali zbrojeniowej gatunku B500SP, a zatem stal z tym znakiem jest szeroko dostępna na terenie całego kraju. Co więcej stal EPSTAL nie odbiega cenowo od innych popularnych w Polsce gatunków stali zbrojeniowej, pomimo iż jej znakomite właściwości stawiają ją na najwyższej półce w ofercie krajowych producentów i dystrybutorów. Wpisanie stali EPSTAL w projekt konstrukcyjny zapewnia użytkownikom wyższy poziom bezpieczeństwa bez wzrostu kosztów dla wykonawcy, a konstruktorowi – bezpieczny sen.



# WŁAŚCIWOŚCI STALI EPSTAL

Gatunek stali	Średnica nominalna	Nominalna powierzchnia przekroju poprzecznego	Masa nominalna 1 m*
	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[kg/m]
B500SP	8	50,30	0,40
	10	78,50	0,62
	12	113,00	0,89
	14	153,94	1,21
	16	201,00	1,58
	20	314,00	2,47
	25	491,00	3,85
	28	615,75	4,83
	32	804,00	6,31
	40	1256,64	9,86

Parametry wytrzymałościowe		
Parametr	Opis	Wartość
$f_{yk}$	Charakterystyczna granica plastyczności	$\geq 500$ [MPa]
$f_{yd}$	Obliczeniowa granica plastyczności	$\geq 420$ [MPa]
$f_{tk}$	Charakterystyczna wytrzymałość na rozciąganie	$\geq 575$ [MPa]
$f_{tk} / f_{yk}$	Stosunek wytrzymałości na rozciąganie do granicy plastyczności	$1,15 \div 1,35$ [-]
$\epsilon_{uk}$	Wydłużenie próbki pod maksymalnym obciążeniem	$\geq 8$ [%]

\* Masa obliczona na podstawie ciężaru objętościowego stali 7850 kg/m<sup>3</sup>

## Skład chemiczny

Analiza	C	Mn	Si	P	S	Cu	N <sup>a</sup>	C <sub>eq max</sub> [%]
	Maksymalna zawartość w %							
<b>Wypłowa</b>	0,22	1,60	0,55	0,05	0,05	0,80	0,01	0,50
<b>Wyrobu</b>	0,24	1,65	0,60	0,06	0,06	0,85	0,01	0,52

<sup>a</sup> Dopuszcza się przekroczenie podanych wartości liczbowych, jeśli na każde zwiększenie o 0,001% N zawartość maksymalna P zostanie zmniejszona o 0,005%; jednakże zawartość N według analizy wytopowej nie powinna przekraczać 0,015%.

Równoważnik węgla oblicza się ze wzoru:  $C_{eq} = C + Mn/6 + (Cr+V+Mo)/5 + (Cu+Ni)/15$

## TABELE DO PROJEKTOWANIA

Średnica [mm]	Pole przekroju [cm <sup>2</sup> ]	Przekrój zbrojenia w cm <sup>2</sup> /m w zależności od rozstawu prętów				
		10 cm	15 cm	20 cm	25 cm	30 cm
8	0,503	5,03	3,35	2,51	2,01	1,68
10	0,785	7,85	5,24	3,93	3,14	2,62
12	1,13	11,13	7,54	5,65	4,52	3,77
14	1,54	15,40	10,27	7,70	6,16	5,13
16	2,01	20,11	13,4	10,05	8,04	6,7
20	3,14	31,42	20,94	15,71	12,57	10,47
25	4,91	49,09	32,72	24,54	19,63	16,36
28	6,16	61,60	41,07	30,80	24,64	20,53
32	8,04	80,42	53,62	40,21	32,17	26,81
40	12,57	125,7	83,8	62,85	50,28	41,9

Średnica [mm]	Przekrój zbrojenia w cm <sup>2</sup> w zależności od ilości prętów									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	0,5	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,52	5,03
10	0,79	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,5	6,28	7,07	7,85
12	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,18	11,31
14	1,54	3,08	4,62	6,16	7,70	9,24	10,78	12,32	13,85	15,39
16	2,01	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,1	20,11
20	3,14	6,28	9,42	12,57	15,71	18,85	21,99	25,13	28,27	31,42
25	4,91	9,82	14,73	19,63	24,54	29,45	34,36	39,27	44,18	49,09
28	6,16	12,32	18,47	24,63	30,79	36,95	43,10	49,26	55,42	61,58
32	8,04	16,08	24,13	32,17	40,21	48,25	56,3	64,34	72,38	80,42
40	12,57	25,13	37,70	50,27	62,83	75,40	87,96	100,53	113,10	125,66

**[www.cpjs.pl](http://www.cpjs.pl)**

**Centrum Promocji Jakości Stali**

**al. Niepodległości 69**

**02-626 Warszawa**

**Tel.: + 48 22 322 76 32**

**Fax: +48 22 322 76 33**

**E-mail: [biuro@cpjs.pl](mailto:biuro@cpjs.pl)**