

Aniela GLINICKA¹

BADANIA OSIOWEGO ROZCIĄGANIA PRĘTÓW Z WYBRANYCH GATUNKÓW STALI ZBROJENIOWYCH

W pracy opisano kontrolowane testy osiowego rozciągania kilku gatunków stali. Jest ona stosowana w konstrukcjach betonowych. Testy przeprowadzono w maszynie wytrzymałościowej Instron 3382. W rezultacie badań otrzymano wykresy w relacji siła rozciągająca – wydłużenie i wszystkie charakterystyki mechaniczne. Przeprowadzono analizę wyników pomiarów i ich dyskusję.

OF EXAMINING THE AXIAL TENSILE OF BARS FROM CHOSEN GRADES OF REINFORCED STEELS

At the work controlled tests of axial tensile a few grades of steel were described. This steel is applied in concrete structures. Tests were conducted in the machine named Instron 3382. As a result examinations were received graphs in the relation tensile force – extending and all mechanical characteristics. Analysis of results of measurements and their discussion were conducted.

1. WSTĘP

Charakterystyki mechaniczne stali wyznacza się poddając osiowemu rozciąganiu próbki wykonane bezpośrednio z prętów stalowych. Na podstawie otrzymanych zależności siła - wydłużenie (lub naprężenie – odkształcenie) można dobrać odpowiedni gatunek stali biorąc pod uwagę rolę jaką pełni stal w określonej konstrukcji. W konstrukcjach z betonu stal w postaci prętów, drutów lub siatek przenosi naprężenia rozciągające i wzmacnia beton; jest też stosowana jako stal montażowa. W niniejszej pracy wyznaczono, na podstawie przeprowadzonych w maszynie wytrzymałościowej kontrolowanych prób rozciągania, parametry nośności i odkształcalności wybranych gatunków stali zbrojeniowej oraz energię przy zerwaniu prętów.

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej
Warszawa 00-637, Al. Armii Ludowej 16. Tel.: + 48 22 234 65 14.
E-mail: a.glinicka@il.pw.edu.pl

2. BADANIA DOŚWIADCZALNE OSIOWEGO ROZCIĄGANIA STALI I ICH ANALIZA

2.1 Próby rozciągania i ich rezultaty

Próbowi osiowego rozciągania poddano pręty żebrowane i gładkie z następujących gatunków stali i o niżej wymienionych średnicach:

1. BSt500, pręty żebrowane o średnicy $d=8$ mm,
2. B500A, pręty żebrowane o średnicy $d=8$ mm,
3. 18G2, pręty żebrowane o średnicy $d=8$ mm,
4. S235 JR, pręty gładkie o średnicy $d=8$ mm,
5. 18G2, pręty żebrowane o średnicy $d=7$ mm,
6. 18G2, pręty żebrowane o średnicy $d=12$ mm.

Przygotowano po trzy pręty w każdej wyżej wymienionej grupie. Próby osiowego rozciągania w maszynie wytrzymałościowej Instron 3382 wykonano zgodnie z normą [1]. Próbkę do badań stanowiły nieobrobione mechanicznie odcinki pręta stalowego, których długość całkowita wynosiła 200 mm, a odległość między szczękami maszyny wytrzymałościowej była równa 140 mm. Na próbkę był nakładany tensometr o bazie pomiarowej równej 50 mm. Wszystkie testy rozciągania przeprowadzono z zastosowaniem tensometru, ich wyniki zostały przedstawione na wykresach i w tablicach. Wykresy przedstawiają relację $F - \Delta l$ (siła rozciągająca – przemieszczenie pionowe czyli wydłużenie próbki). Maszyna wytrzymałościowa jest sterowana przemieszczeniem [2], a więc relacja ta jest pierwszą i bezpośrednią. W badaniach przyjęto: prędkość przemieszczenia 5 mm/s, częstotliwość zbierania danych 5 punktów /s. Na podstawie tych danych bezpośrednich naprężenia normalne σ oblicza się z następującej zależności:

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \quad (1)$$

gdzie: F – siła,

S_0 - nominalna wartość początkowa powierzchni przekroju poprzecznego.

Wartość S_0 zgodnie z normą PN-82 H-93215 [3] oblicza się wg wzoru:

$$S_0 = \frac{m}{\rho L} = 1,274 \frac{m}{L} \quad (2)$$

gdzie: S_0 - przekrój poprzeczny, cm^2 ,

ρ - gęstość stali równa $7,85 \text{ g/cm}^3$,

L – całkowita długość odcinka (próbki), mm,

m – masa odcinka pręta, g.

Odształcenie ϵ oblicza się z pomiarów przemieszczenia pionowego wg zależności:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} \times 100\% = \frac{\Delta l}{50} \times 100\% \quad (3)$$

gdzie: baza pomiarowa tensometru równa jest $l=50$ mm .

Na rys. 1 i 2 przedstawiono próbki w trakcie badań.

W tabelicy 1 zestawiono następujące wartości wyznaczonych charakterystyk mechanicznych:

E – moduł Younga,

$R_{p0.2}$ – umowna granica plastyczności,

$\epsilon_e = A_e$ - odkształcenie na granicy plastyczności z pomiarów tensometrem (nazwa wg normy [1] - wydłużenie procentowe na granicy plastyczności),

R_m – wytrzymałość na rozciąganie,

$\epsilon_{gt} = A_{gt}$ - odkształcenie przy R_m z pomiarów tensometrem (nazwa wg normy [1] - wydłużenie całkowite procentowe przy największej sile),

R_z - wytrzymałość przy zerwaniu,

$\epsilon_t = A_t$ - odkształcenie przy R_z z pomiarów tensometrem (nazwa wg normy [1] - wydłużenie całkowite procentowe przy rozciąganiu).



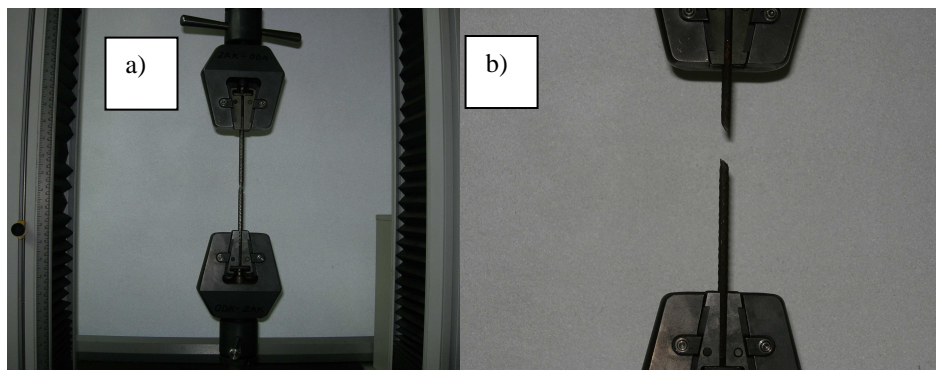
Rys. 1. Próbki wycięte z prętów ze stali żebrowanej o średnicy 12 mm i o średnicy 8 mm w trakcie badań

Badane stale żebrowane gatunków BSt500, B500A i 18G2 zalicza się do stali zbrojeniowych [4]. Natomiast stal gładka S235 JR może być stosowana zarówno w konstrukcjach betonowych jak i w konstrukcjach stalowych [4, 5].

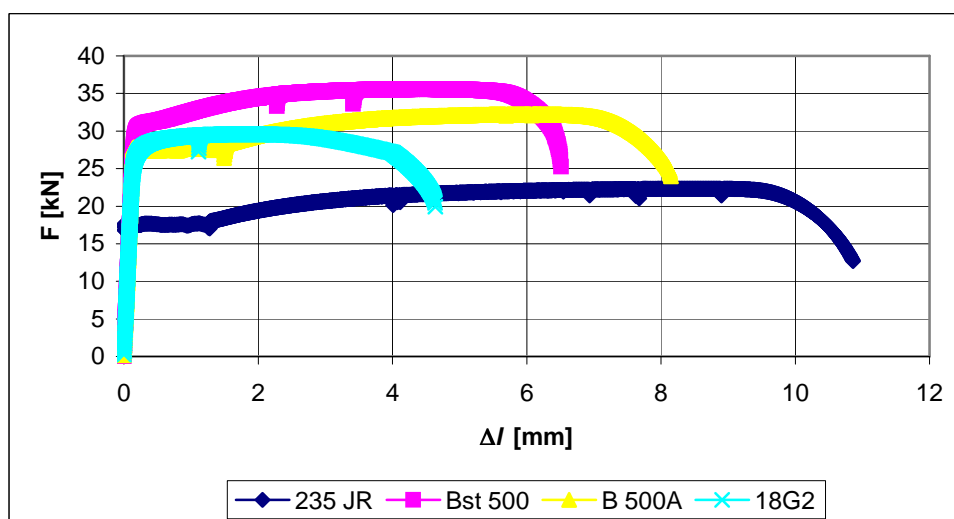
Na rys. 3 przedstawiono zależności siła rozciągająca - wydłużenie dla przykładowo wybranych czterech próbek z każdego gatunku stali.

Tab.1. Zestawienie granicznych naprężeń i odkształceń oraz modułów Younga uzyskanych na podstawie osiowego rozciągania stali

Gatunek stali	Nazwa Próbkki	R _{p02} [MPa]	R _m [MPa]	R _z [MPa]	A _e [%]	A _{gt} [%]	A _t [%]	E [GPa]
BSt 500	15_p1	603,8	690,9	501,0	0,481	6,26	6,74	212,1
BSt 500	15_p2	608,1	702,8	499,2	0,507	8,78	13,02	198,4
BSt 500	14_p2	606,4	711,6	528,7	0,501	9,17	13,6	202,7
Wartości średnie z trzech	Nie ma wyraźnej granicy plastyczności	607,2	701,8	509,6	0,496	8,07	13,3	202,4
B500A	1_p1	571,3	663,2	488	0,491	10,8	14,9	200,0
B500A	1_p2	540,6	637	474,1	0,477	12	16,3	204,2
B500A	2_p1	552,4	641,2	419,6	0,456	11,9	17,9	198,5
Wartości średnie z trzech	Wyraźna granica plastyczności	554,8	647,1	460,6	0,400	11,6	16,4	200,9
18G2	8_p2	542,5	584,7	394,1	0,472	3,53	9,3	197,1
18G2	8_p3	536,9	578,8	393,2	0,481	3,41	9,18	191,4
18G2	8_p4	511,7	554,4	377,4	0,460	2,76	8,83	193,1
Wartości średnie z trzech	Nie ma wyraźnej granicy plastyczności	530,4	572,6	388,2	0,471	3,23	9,10	193,9
S235JR	10_p1	339,5	439,5	250,8	0,372	15,0	19,5	200,6
S235JR	10_p2	338,2	440,5	250,4	0,330	17	23,1	244,5
S235JR	11_p1	348,9	444,5	252,7	0,358	16,9	21,7	219,5
Wartości średnie z trzech	Wyraźna granica plastyczności	342,2	441,5	251,3	0,353	16,3	21,4	221,5
18G2	9_p3	493,0	522,2	382,0	0,49	2,72	4,77	166,1
18G2	9_p4	478,7	510,7	367,3	0,48	2,77	4,9	174,7
18G2	9_p5	505,8	533,0	379,9	0,49	2,01	3,71	177,4
Wartości średnie z trzech	Nie ma wyraźnej granicy plastyczności	492,5	522	376,4	0,486	2,5	4,46	172,7
18G2	7_p1	553,8	649,8	397,2	0,413	6,43	13,97	207,9
18G2	7_p3	559,9	662,0	436,2	0,476	9,12	14,9	202,8
18G2	7_p4	513,3	625,3	401,4	0,453	10,2	16,8	202,8
Wartości średnie z trzech	Wyraźna granica plastyczności	542,3	645,7	411,6	0,447	8,58	15,2	204,5

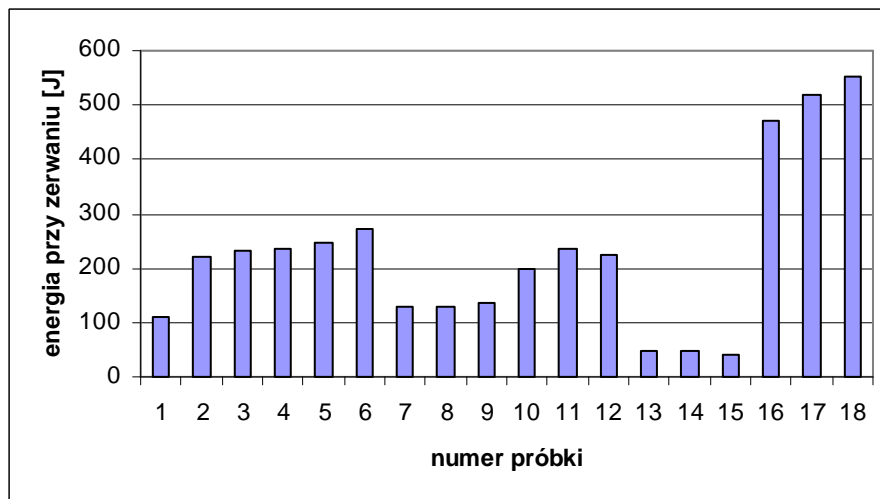


Rys. 2. Próbki po zerwaniu: a) utworzyła się szyjka; materiał ciągliwy, b) nie utworzyła się szyjka; materiał kruchy



Rys. 3. Zależności siła rozciągająca – wydłużenie próbki dla czterech gatunków badanych stali

Na podstawie uzyskanych wykresów obliczono, korzystając z oprogramowania maszyny Instron, energię całkowitą równą pracy siły rozciągającej na przemieszczeniu w kierunku działania tej siły. Energia ta graficznie jest równa polu wykresu pod krzywą $F - \Delta l$ [6]. Uzyskane wyniki zestawiono w tab. 2. Największą wartość W_z osiągnęły próbki ze stali 18G2 o średnicy 7 mm.



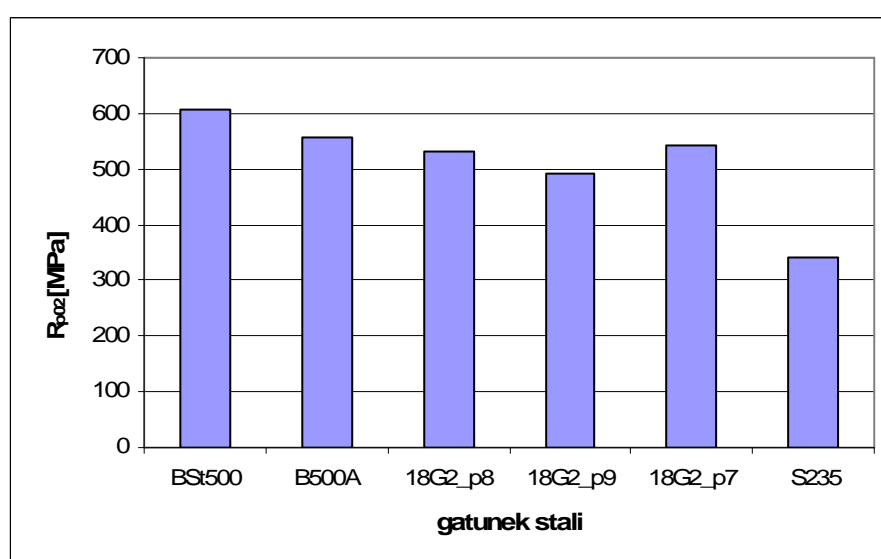
Rys. 4. Energia przy zerwaniu próbek; numery próbek zamieszczono w tab. 2

Tab. 2. Zestawienie wartości: siły zrywającej F_z , wydłużenia przy zerwaniu u_z i energii przy zerwaniu W_z prętów

Numer próbki	Stal Gatunek	Nazwa próbki	F_z [kN]	u_z [mm]	W_z [J]
1	BSt 500	15_p1	25,3	3,4	109,9
2	BSt 500	15_p2	25,3	6,5	219,6
3	BSt 500	14_p2	26,8	6,8	233,5
4	B500A	1_p1	24,7	7,5	234,3
5	B500A	1_p2	24,0	8,1	246,1
6	B500A	2_p1	21,2	9,0	272,4
7	18G2	8_p2	19,9	4,6	129,1
8	18G2	8_p3	19,9	4,6	127,0
9	18G2	8_p4	19,1	4,4	134,4
10	S235JR	10_p1	12,6	9,8	197,8
11	S235JR	10_p2	12,6	11,6	237,2
12	S235JR	11_p1	12,7	10,9	226,3
13	18G2	9_p3	16,35	2,4	49,6
14	18G2	9_p4	15,65	2,5	49,5
15	18G2	9_p5	16,18	1,9	42,1
16	18G2	7_p1	44,9	7,0	472,6
17	18G2	7_p3	49,3	7,5	517,6
18	18G2	7_p4	45,3	8,4	552,7

2.2 Analiza testów rozciągania

Spośród wyników wykonanych testów można wybrać takie, które wykazują wyraźną granicę plastyczności i takie, które jej nie wykazują; posługujemy się wówczas umowną granicą plastyczności. Wyraźną granicę plastyczności mają stale B500A i S235 JR, a nie ma jej stal BSt500. Natomiast w przypadku stali 18G2 przy rozciąganiu prętów o średnicy $d=8\text{mm}$ i $d=9\text{mm}$ nie otrzymano wyraźnej granicy plastyczności, a przy rozciąganiu prętów o średnicy $d=7\text{mm}$ otrzymano wyraźną granicę plastyczności. Na rys. 5 przedstawiono porównanie wartości granic plastyczności badanych stali.



Rys. 5. Wartości granic plastyczności badanych stali

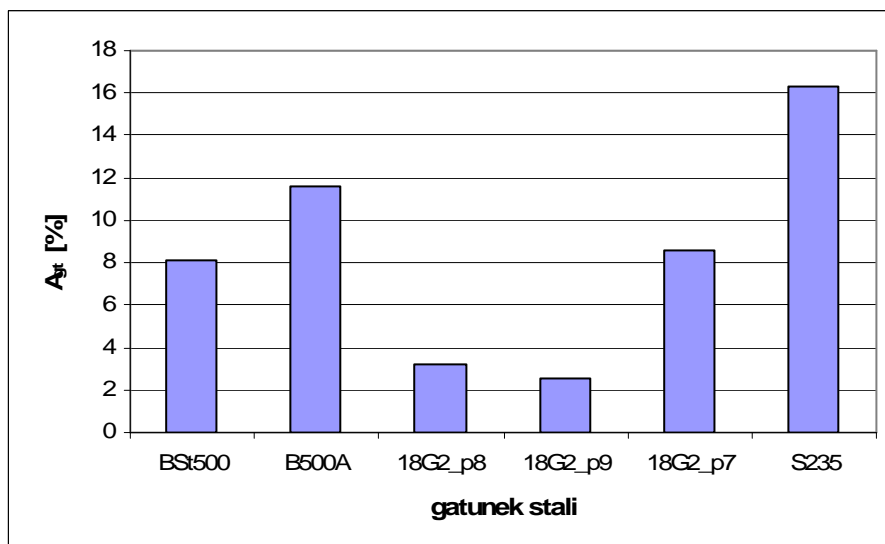
Ważny przy jakościowej ocenie ciągliwości stali zbrojeniowej iloraz wytrzymałości stali na rozciąganie i jej granicy plastyczności został obliczony na podstawie wyników z tab.1. Wartości tego ilorazu są następujące:

1. BSt500 – 1,15,
2. B500 A - 1,17,
3. 18G2_p8 – 1,08,
4. 18G2_p9 – 1,06,
5. 18G2_p7 – 1,19,
6. S235 JR – 1,29.

Najmniejszą ciągliwością charakteryzuje się stal żebrowana 18G2, a największą stal gładka S235 JR i kolejno stal żebrowana BSt500.

Wartości odkształcenia przy wytrzymałości na rozciąganie A_{gt} zestawiono na wykresie rys. 6. W Eurokodzie 2 na wykresach obliczeniowych naprężenie – odkształcenie rozpatruje się tylko fazę narastania odkształceń przy narastającej sile, a tej części wykresów

gdzie odkształcenie narasta przy malejącej sile nie bierze się pod uwagę. Przy czym maksymalna przyjęta wartości odkształcenia przy wytrzymałości na rozciąganie jest 10% [4].



Rys. 6. Wartości odkształcenia przy wytrzymałości na rozciąganie badanych stali

Najmniejszą wartość odkształcenia przy wytrzymałości na rozciąganie osiągnęła stal 18G2, a największą S235 JR i kolejną stal B500A.

3. WNIOSKI

Kontrolowane próby rozciągania przeprowadzone w maszynie wytrzymałościowej Intron wyposażonej w specjalistyczne oprogramowanie dostarczają szczegółowego i pełnego ich opisu. W opracowaniu zestawiono wszystkie charakterystyczne wielkości określone na podstawie tych prób. Dokonano wyboru gatunków stali najlepszych jednocześnie pod względem nośności i odkształcalności, są to stale BSt500 i B500A.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-EN 10002-1. *Metale. Próba rozciągania. Metoda badania w temperaturze otoczenia*. 2004.
- [2] Instron. *Series IX Software: Reference Manual – Software, M12 – 13984 – EN*. Instron Corporation. 2002.
- [3] PN-82. H-93215. *Walcówka i pręty stalowe do zbrojenia betonu*.
- [4] Łapko A.: *Projektowanie konstrukcji żelbetowych*. Arkady. Warszawa 2000.
- [5] Włodarczyk W.: *Konstrukcje stalowe. Cz.1. Podstawy projektowania*. Wydawnictwa Szkole i Pedagogiczne. Warszawa 1997.
- [6] Gawęcki A.: *Mechanika materiałów i konstrukcji prętowych. Tom 1*. Wyd. Politechniki Poznańskiej. 1998.

Praca została wykonana w ramach Projektu Rozwojowego nr NR04000704