

# Właściwości mechaniczne stali S460 M poddanej gięciu na zimno – wybrane wyniki badań



mgr inż.  
**KRZYSZTOF MARCINCZAK**  
Politechnika Wrocławska  
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego  
Katedra Konstrukcji Budowlanych  
ORCID: 0000-0002-8789-5243

W artykule przedstawiono wpływ gięcia na zimno dwuteowników walcowanych ze stali wysokiej wytrzymałości S460 M. Przedstawiono wybrane wyniki badań stali na rozciąganie i ściskanie dla różnych stopni gięcia na zimno. Uzyskane wyniki porównano z wynikami dla próbek pobranych z elementu referencyjnego.

Kształtowniki stalowe poddane gięciu na zimno są szeroko stosowane w budownictwie, np. w konstrukcjach przekryć i elementach mostowych. Gięcie na zimno stosowane jest do nadawania łukowych kształtów elementom oraz do nadawania p. W praktyce najczęściej stosuje się dwie technologie gięcia na zimno – gięcie punktowe i rolkowe [1]. W artykule przedstawiono wybrane wyniki badań właściwości mechanicznych stali S460 M prowadzonych na Politechnice Wrocławskiej. Próbkę do badań zostały pobrane z dwuteowego elementu poddane go rolkowemu gięciu względem silnej osi.

## Przygotowanie elementów badawczych

Elementy badawcze przygotowano w firmie Kersten Europe w Kleszczowie (woj. łódzkie). Kształtownik HEB 320 o długości 12 m wywalcowany ze stali S460 M został poddany gięciu rolkowemu na zimno wg projektu przedstawionego na rys. 1. Zaprojektowano cztery różniące się od siebie promienie gięcia w celu uzyskania różnych poziomów od-

kształcenia stali na zimno. W tabelicy 1. przedstawiono nominalne wymiary badanego przekroju, w tabelicy 2. zestawiono przyjęte parametry gięcia podczas projektu wygięcia elementu wraz z określeniem ilości próbek do badań stali na rozciąganie. Na potrzeby analiz określono parametr DCF (ang. *Degree of Cold Forming*) – stopień odkształcenia na zimno. Początkowy oraz ostatni fragment elementu stanowiły referencyjne odcinki proste. Gięcie zostało wykonane na maszynie typu Roundo Roller R-62-S (rys. 2.). Kolejne etapy gięcia przedstawiono na rysunkach 3. i 4.

Po wykonaniu gięcia element został pocięty na segmenty o długości ok. 2 m, które przetransportowano do Akredytowanego Laboratorium Konstrukcji Budowlanych Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej w celu dalszych badań.

## Badania materiałowe

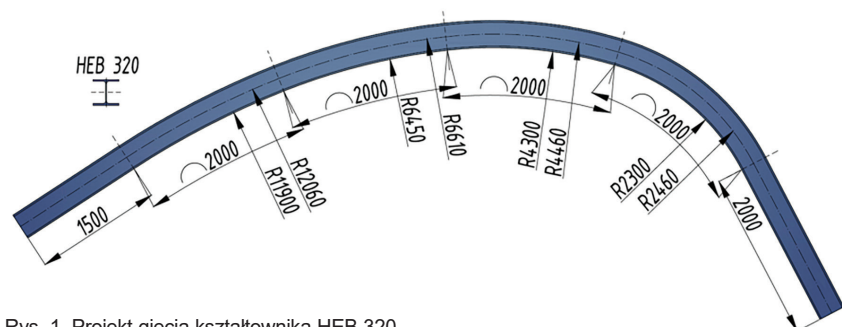
Z każdego segmentu elementu badawczego wycięto próbki do badań właściwości mechanicznych stali konstrukcyjnej. Wykonano próbki do wyznaczenia krzywej  $\sigma$ - $\epsilon$  dla rozciąg-



Rys. 2. Maszyna użyta do gięcia elementu badawczego



Rys. 3. Prosty element przed gięciem

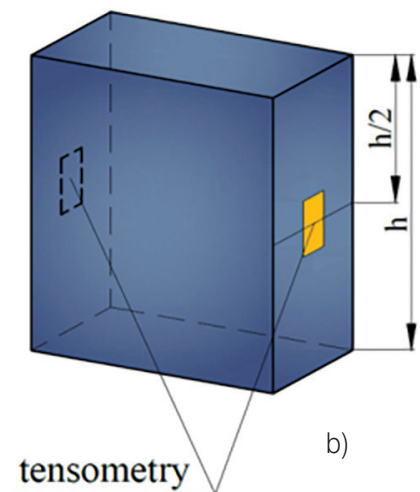
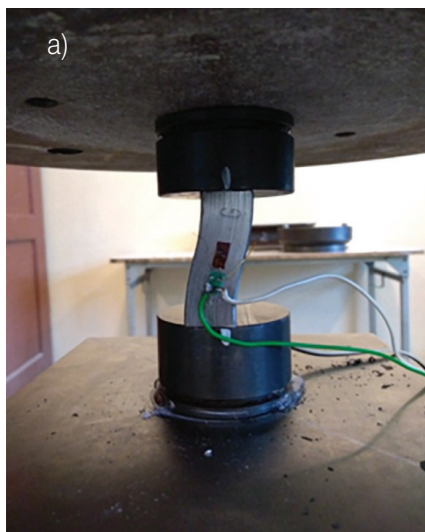


Rys. 1. Projekt gięcia kształtownika HEB 320



Rys. 4. Element badawczy po wygięciu

Rys. arch. outera



Rys. 5. Badanie stali na ścisaniu:  
a) widok próbki podczas ścisania,  
b) szkic próbki z zaznaczonymi miejscami naklejenia tensometrów

gania i ścisania stali. Statyczną próbę rozciągania stali wykonano wg normy PN-EN ISO 6892-1:2010 [2]. Próbkę do wyznaczenia granicy plastyczności stali na ścisaniu wykonano, wzorując się na zaleceniach Ziemianna [3], odkształcenia mierzono dwoma tensometrami naklejonymi po przeciwnych stronach próbki (rys. 5.).

Wyniki badań zestawiono w zależności od miejsca pobrania próbki w przekroju (rys. 6-11). W większości przypadków wyznaczono tzw. umowną granicę plastyczności jako naprężenie, przy którym trwale odkształcenie ekstensometryczne jest równe 0,2%.

Tab. 1. Nominalne wymiary przekroju kształtownika HE B320 [mm]

Profil katalogowy	Wysokość (h) [mm]	Szerokość (b) [mm]	Grubość pasa (tf) [mm]	Grubość środnika (tw) [mm]
HEB 320	320	300	20,5	11,5

Tab. 2. Przyjęte parametry do badań materiałowych

Profil katalogowy	Gatunek stali	Promień gięcia [mm]	Stopień wygięcia R/h [-]	DCF = h/2R [%]	Ilość próbek		
					Pasy	Środek	Suma
HEB 320	S460M	Element referencyjny – prosty	$\infty$	0.00	18	6	24
		2460	7.69	6.50	12	4	16
		4460	13.94	3.59	12	4	16
		6610	20.66	2.42	12	4	16
		12060	37.69	1.33	12	4	16

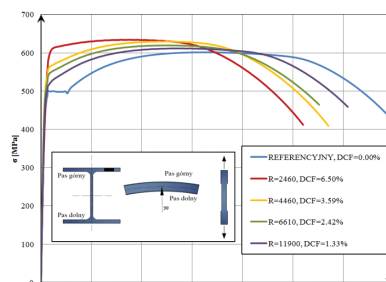
### Podsumowanie i wnioski

W tabelicy 3. zestawiono wyniki otrzymane z badań – granicę plastyczności, wytrzymałość na rozciąganie oraz maksymalne odkształcenie przy zerwaniu. Dla próbek ściskanych określono wyłącznie umowną granicę plastyczności stali. Na podstawie przeprowadzonych badań można wyciągnąć następujące wnioski:

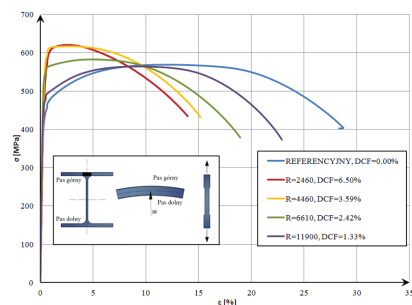
1. Zmiana właściwości mechanicznych stali spowodowanych gięciem na zimno zależy od lokalizacji w przekroju poprzecznym.
2. W próbkach pobranych z pasa górnego (pas rozciągany podczas gięcia na zimno) oraz z pasa dolnego w miejscu połączenia pasa ze środnikiem zaobserwowano wzrost granicy plastyczności oraz wytrzymałości na rozciąganie w stosunku do próbek referencyjnych.
3. W próbkach pobranych z pasa dolnego (pas ściskany podczas gięcia na zimno), oprócz miejsca na łączeniu pasa ze środnikiem, zaobserwowano spadek granicy plastyczności oraz wytrzymałości na rozciąganie.
4. We wszystkich próbkach stali na rozciąganie pobranych z elementów giętych na zimno oraz dla próbek pobranych z pasów z miejsc połączenia ze środnikiem nie zaobserwowano półki plastycznej.
5. Wyniki badań próbek ściskanych wskazują na występowanie efektu Bauschingera – spadek granicy plastyczności podczas ścisania w miejscach wzrostu granicy plastyczności na rozciąganie oraz wzrost granicy plastyczności podczas ścisania w miejscach spadku granicy plastyczności na rozciąganie.
6. Wszystkie zmiany właściwości mechanicznych są ściśle związane ze stopniem odkształcenia na zimno – DCF.
7. W próbkach pobranych z miejsca łączenia pasów ze środnikiem nie zaobserwowano występowania granicy plastyczności również dla elementu referencyjnego. Może to

być spowodowane pewnymi imperfekcjami materiałowymi powstałymi podczas procesu walcowania.

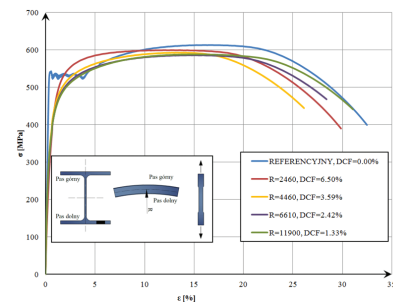
Należy podkreślić, że uzyskano wyni-



Rys. 6. Zestawienie wyników badań na rozciąganie próbek pobranych z 1/6 szerokości pasa górnego

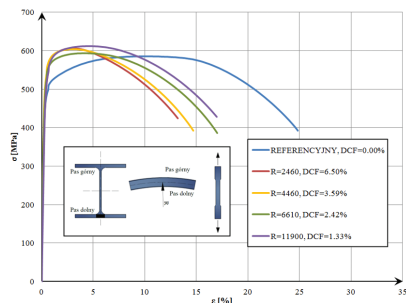


Rys. 7. Zestawienie wyników badań na rozciąganie próbek pobranych z pasa górnego bezpośrednio nad środnikiem

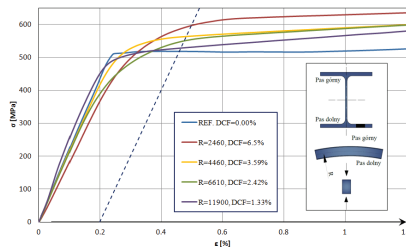


Rys. 8. Zestawienie wyników badań na rozciąganie próbek pobranych z 1/6 szerokości pasa dolnego

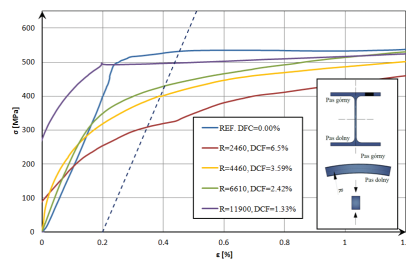
ki zbieżne z badaniami przeprowadzonymi przez Spoorenberga [4] podczas badania dwuteowników giętych na zimno, walcowanych ze stali S235 oraz S355. Podkreślił on fakt, że zmiany we właściwościach mechanicznych stali są uzależnione od gatunku stali – im wyższa pierwotna granica plastyczności stali, tym większy wpływ odkształcenia na zimno na właściwości mechaniczne stali.



Rys. 9. Zestawienie wyników badań na rozciąganie próbek pobranych z pasa dolnego bezpośrednio pod środkiem



Rys. 10. Zestawienie wyników badań na ściskanie próbek pobranych z 1/6 szerokości pasa dolnego



Rys. 11. Zestawienie wyników badań na ściskanie próbek pobranych z 1/6 szerokości pasa górnego

Trwające prace badawcze na Politechnice Wrocławskiej mają na celu głębsze rozeznanie problemu zmian właściwości mechanicznych stali poddanych gięciu na zimno oraz wpływ gięcia na zimno na rozkład naprężeń własnych. Docelowo planuje się zaproponować wytyczne projektowe w celu uwzględnienia konsekwencji gięcia na zimno podczas projektowania konstrukcji.

Tab. 3. Zestawienie wyników

Promień gięcia	$f_y$ [MPa]	$f_u$ [MPa]	$\epsilon_u$ [%]	Lokalizacja pobrania próbki
REF.	494	601	34	
R=2460	545	633	26	
R=4460	535	629	28	
R=6610	519	619	27	
R=11900	497	610	30	
REF.	449	570	28	
R=2460	588	618	13	
R=4460	566	620	15	
R=6610	564	582	18	
R=11900	491	564	22	
REF.	522	613	32	
R=2460	274	599	29	
R=4460	328	585	26	
R=6610	339	593	28	
R=11900	346	587	31	
REF.	480	586	25	
R=2460	534	605	13	
R=4460	542	604	14	
R=6610	550	594	17	
R=11900	566	612	17	
	$f_y$ [MPa]			
REF.	532			
R=2460	308			
R=4460	398			
R=6610	431			
R=11900	497			
REF.	518			
R=2460	601			
R=4460	564			
R=6610	551			
R=11900	530			

#### Literatura:

- [1] Marcinczak Krzysztof, Gięcie na zimno wyrobów gorącowlanych, „Builder” 2017, R. 21, nr 8, s. 84–87
- [2] PN-EN ISO 6892-1:2010; Metale. Próba rozciągania. Metoda badania w temperaturze pokojowej.
- [3] Ziemian RD. Guide to stability design criteria for metal structures. John Wiley & Sons; 2010.
- [4] Spoorenberg R.C., Snijder H.H., Hoenderkamp J.C.D. Mechanical properties of roller bend wide flange sections – Part 1: Experimental investigation, „Journal of Constructional Steel Research” 2012; 68 s. 51–62.

DOI: 10.5604/01.3001.0013.9712

**PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA**  
 Marcinczak Krzysztof, 2020, Właściwości mechaniczne stali S460 M poddanej gięciu na zimno – wybrane wyniki badań. Stal S460 M gięta na zimno, „Builder” 04 (273). DOI: 10.5604/01.3001.0013.9712

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wpływ gięcia na zimno dwuteowników walcowanych ze stali wysokiej wytrzymałości S460 M. Przedstawiono wybrane wyniki badań stali

na rozciąganie i ściskanie dla różnych stopni gięcia na zimno. Uzyskane wyniki porównano z wynikami dla próbek pobranych z elementu referencyjnego.

**Słowa kluczowe:** konstrukcja stalowa, odkształcenia na zimno, stal wysokiej wytrzymałości

**Abstract:** The paper presents the influence of cold bending of I-sections made of S460M steel. Selected results of tensile and compression tests for various degree of cold deformation were presented. The obtained results were compared with the results for samples taken from the reference element.

**Keywords:** steel structure, cold deformation, high strength steel