

dr inż. Witold Basiński<sup>1)</sup>  
ORCID: 0000-0002-9306-4569

# Parametry wytrzymałościowe pasów stalowych stosowanych w dźwigarach o falistym środniku

## *Parameters of strength properties of steel flanges used in corrugated web girders*

DOI: 10.15199/33.2020.11.01

**Streszczenie.** W artykule omówiono parametry wytrzymałościowe pasów stalowych stosowanych w dźwigarach o falistym środniku na podstawie badań, przeprowadzonych na losowo pobranych próbkach z dwudziestu dźwigarów. Pasy dźwigarów miały grubość 15 mm oraz 20 mm. W wyniku badań oszacowano współczynniki częściowe granicy plastyczności  $\gamma_m$  oraz współczynniki zmienności  $V_{Re}$ . Pokazano uzyskane rozkłady normalne granicy plastyczności. Uzyskane wyniki odniesiono do dostępnych badań blach płaskich i pokazano poziom bezpieczeństwa obliczeń nośności przy zginaniu wynikający ze stosowanych współczynników częściowych granicy plastyczności.

**Słowa kluczowe:** pasy dźwigarów o falistym środniku; współczynnik częściowy granicy plastyczności pasów; rozkład normalny granicy plastyczności.

**Abstract.** The study presents parameters of strength properties of flanges used in corrugated web girders obtained on the basis of tests. The subject tests were carried out on randomly taken samples from twenty investigated corrugated web girders. The girder flanges were 15 mm and 20 mm thick. As a result of the tests, partial yield factors  $\gamma_m$  and coefficients of variation  $V_{Re}$  were estimated. The normal distribution of yield strength obtained are shown. The obtained results were referred to the available flat sheet tests. Based on the conducted tests, the safety level of bending load calculations resulting from the applied partial factors of the yield strength was shown.

**Keywords:** flanges of beams with corrugated web; partial safety factor yield strength of flanges; normal distribution of yield strength.

Dźwigary o falistym środniku typu SIN wykorzystuje się najczęściej w układach konstrukcji jedno- oraz wielonawowych oraz w obiektach kilkukondygnacyjnych. W dostępnych na rynku dźwigarach stosuje się środniki grubości  $t_w = 2,0, 2,5$  i  $3,0$  mm i wysokości 333 – 1500 mm przy maksymalnej długości dźwigarów 20 m. Z kolei na pasy dźwigarów stosuje się blachy uniwersalne grubości 8 – 30 mm ze stali S235JRG2 lub S355J2+N. Pasy można też wykonywać ze stali S275. Łączy się je do środnika na spoiny jednostronne, co nie powoduje wprowadzenia dużej ilości ciepła, które może zmieniać właściwości stali.

Minimum hutnicze dostarczanych blach płaskich wynosi  $R_{emin} = 235, 275$  lub  $355$  MPa [15]. Odpowiada ono gwarantowanej granicy plastyczności pasów. Minimum hutnicze wyznacza się na podstawie badań próbek stali. Odrzuca się blachy o niższej niż minimum hutnicze granicy plastyczności, ale gwaran-

towana granica plastyczności  $R_e$  powinna być mniejsza niż granica plastyczności blach wynikająca z badań cech wytrzymałościowych stali [11, 12].

W artykule przedstawiono badania statystyczne parametrów wytrzymałościowych stali pochodzącej z pasów dźwigarów o falistym środniku. Są one istotne ze względu na ich wpływ na nośność przy zginaniu. Choć większość dostępnych badań odnosi się do problemów związanych z utratą stateczności falistego środnika [ $2 \div 4$  i  $6 \div 8$ ], to jednak w literaturze nie ma odniesienia do losowych parametrów pasów stalowych oraz wynikającego z tego poziomu bezpieczeństwa konstrukcji. Badania wytrzymałości tych pasów przeprowadzono na próbkach pobranych z przebadanych już dwudziestu dźwigarów SIN. Na podstawie tych badań oszacowano parametry wytrzymałościowe, współczynniki częściowe granicy plastyczności  $\gamma_m$  oraz współczynniki zmienności granicy plastyczności  $V_{Re}$  obrazujące wynikający z zastosowanej granicy plastyczności poziom bezpieczeństwa przyporządkowany do obliczania nośności na zginanie. Badania odniesiono do badań blach płaskich [5, 9].

### Badania niszczące dźwigarów SIN

Badania wytrzymałości pasów zostały wykonane na przebadanych w badaniach niszczących dźwigarach SIN. W badaniach doświadczalnych wpływu żeber podporowych na postać wytrzymałość krytyczną przy ścinaniu falistego środnika przebadano dwadzieścia dźwigarów o trzech podstawowych typach: z żebrzem podatnym na swobodnym końcu; z żebrzem usztywnionym teornikiem oraz z jednostronnym wspornikiem (tabela 1). Przebadane dźwigary miały schemat statyczny belki swobodnie podpartej oraz belki swobodnie podpartej z jednostronnym wspornikiem (rysunek 1). Dźwigary złożono z trzech elementów wysyłkowych.

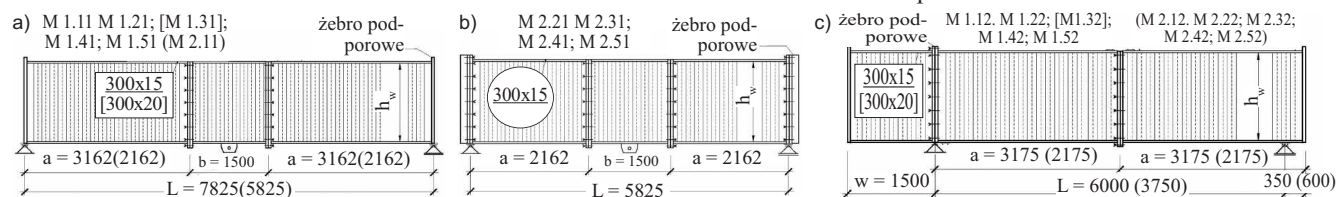
Pasy przebadanych dźwigarów SIN wykonano z blach płaskich o grubości 15 lub 20 mm ze stali S275JRG2, natomiast faliste środniki z blach płaskich gorąco walcowanych grubości 2; 2,5; 3 mm ze stali S235JRG2 [2, 3]. W przebadanej grupie blachownic o falistym środniku występowało osiemnaście dźwigarów o pasach  $300 \times 15$  mm oraz dwa o pasach  $300 \times 20$  mm (tabela 1).

<sup>1)</sup> Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa; witold.basinski@polsl.pl

Tabela 1. Program badań dźwigarów SIN  
Table 1. Program of investigations SIN girders

Dźwigar [mm]	Środek $h_w \times t_w$ [mm]	Pas $b_f \times t_f$ [mm]	Żebro podporowe [mm]	Dźwigar [mm]	Środek $h_w \times t_w$ [mm]	Pas $b_f \times t_f$ [mm]	Żebro podporowe [mm]
M 1.11	500 x 2	300 x 15	25 x 300	M 1.12	500 x 2	300 x 15	2 x 20 x 300
M 1.21	1000 x 2,5	300 x 15	25 x 300	M 1.22	1000 x 2	300 x 15	2 x 25 x 300
M 1.31	1000 x 2,5	300 x 20	25 x 300	M 1.32	1000 x 2,5	300 x 20	2 x 25 x 300
M 1.41	1250 x 2	300 x 15	25 x 300	M 1.42	1250 x 2	300 x 15	2 x 25 x 300
M 1.51	1500 x 2	300 x 15	25 x 300	M 1.52	1500 x 2	300 x 15	2 x 25 x 300
M 2.11	500 x 2,5	300 x 15	25 x 300	M 2.12	500 x 2	300 x 15	2 x 20 x 300
M 2.21	1000 x 2	300 x 15	25 x 300 + teownik	M 2.22	1000 x 2	300 x 15	2 x 25 x 300
M 2.31	1000 x 2,5	300 x 15	25 x 300 + teownik	M 2.32	1000 x 2,5	300 x 15	2 x 25 x 300
M 2.41	1000 x 3	300 x 15	25 x 300 + teownik	M 2.42	1000 x 3	300 x 15	2 x 25 x 300
M 2.51	1500 x 3	300 x 15	25 x 300 + teownik	M 2.52	1500 x 2	300 x 15	2 x 25 x 300

Przebadano łącznie 60 próbek, w tym: 54 próbki (18 dźwigarów x 3 próbki) o nominalnej grubości 15 mm oraz 6 próbek (2 dźwigary x 3 próbki) o nominalnej grubości 20 mm. Badania parametrów wytrzymałościowych pasów wykonano zgodnie z normą [14]. Podczas badania każdej próbki dokonywano pomiaru siły rozciągającej  $F$  oraz wydłużenia  $\Delta L (L_u - L_0)$  na podstawie bazy pomiarowej próbek  $L_0$ . Starano się nie przekraczać prędkości przyrostu naprężeń 8 MPa/s. Wyznaczone na podstawie badań parametry wytrzymałościowe (wartości średnie z trzech próbek pobranych z każdego dźwigara) przedstawiono w tabeli 2.



Rys. 1. Dźwigary SIN, z których pobrano próbki do badań cech wytrzymałościowych stali z pasów: a) z żebrem podatnym; b) z usztywnionym żebrem podporowym; c) z jednostronnym wspornikiem

Fig. 1. SIN girders from which samples were taken for testing the strength properties of steel flanges: a) with a flexible stiffener; b) with a rigid end stiffener; c) cantilever girders

Badania dźwigarów o falistym środku (fotografia 1) prowadzono do osiągnięcia nośności granicznej związanej ze zniszczeniem środka, co powodowało również wytworzenie przegubów plastycznych w pasach części przęsłowej lub wspornikowej. Z części niezniszczonych pasów dźwigarów, które uległy zniszczeniu, pobrano próbki do badań materiałowych.

zonych całe kawałki pasów (fotografia 2a), by w następnym etapie z krawędzi pasów wyciąć żądane próbki do badań zgodnie z normami [10, 14] (fotografia 2b).

**Badania materiałowe pasów dźwigarów SIN**

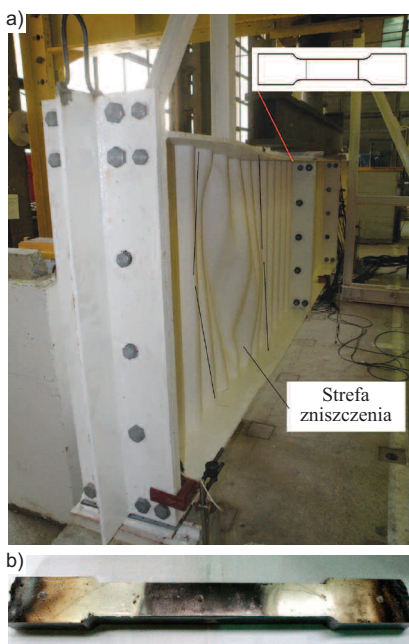
Z każdego przebadanego dźwigara SIN pobrano po trzy próbki z pasów. W pierwszej kolejności wycięto z miejsc niezniszczonych

Na rysunku 2a i 2b zaprezentowano przykładowe wykresy, na których zaznaczono charakterystyczne wartości naprężeń  $\sigma_H$ ,  $\sigma_e$ ,  $\sigma_{eL}$  oraz  $\sigma_{eH}$  i  $\sigma_m$  odpowiadające granicy plastyczności oraz wytrzymałości na rozciąganie. Na wszystkich wykresach występował obszar płynięcia, który rozdzielał dolną i górną granicę plastyczności, czyli krzywe Lüdersa-Czernowa. Uzyskany zakres wydłużalności próbek wynosił 24 – 33%, co potwierdzało prawidłowe właściwości plastyczne stali. Zakres wydłużalności był nieco większy niż w przypadku stali używanej na środkiki faliste [1], gdzie wyniósł 15 – 25%.



Fot. 1. Dźwigar M 2.21 (WTA 1000/300x15) z żebrem usztywnionym na stanowisku badawczym

Photo 1. Girder on the test stand: M 2.21 girder (WTA 1000/300x15) with stiffened stiffener



Fot. 2. Dźwigar M 2.41 (WTC 1000/300x15) po zniszczeniu pasów: a) miejsce pobrania próbek do badań; b) wycięta próbka

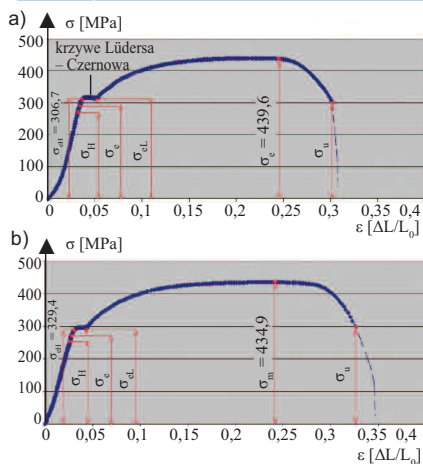
Fig. 4. M 2.41 girder (WTC 1000/300x15) after destruction of flanges: a) place of sampling for tests; b) cut out sample

**Parametry rozkładu normalnego granicy plastyczności pasów dźwigarów**

Gwarantowana przez producenta, będąca zarazem minimum hutniczym, granica plastyczności blach płaskich, z których wykonano pasy dźwigarów, wynosi  $R_{emin} = 275$  MPa. W przypadku przedmiotowych badań wyznaczono parametry rozkładu normalnego granicy plastyczności [12], a mianowicie wariancję  $D^2(R_c)$  i odchylenie standardowe  $D(R_c)$

Tabela 2. Parametry wytrzymałościowe próbek blach pasów dźwigarów SIN  
Table 2. Parameters of strength properties of samples sheet metal flanges from SIN girders

Dźwigar	$\bar{b}_0$ [mm]	$\bar{a}_0$ [Mm]	$\bar{S}_0$ [mm <sup>2</sup> ]	$\bar{L}_0$ [mm]	$\bar{L}_u$ [mm]	$\bar{A}_{10}$ [%]	$\bar{F}_{eH}$ [kN]	$\bar{F}_{m}$ [kN]	$\bar{R}_e$ [MPa]	$\bar{R}_m$ [MPa]	$\bar{R}/\bar{R}_m$ [MPa]	$\bar{E}$ [GPa]
M 1.11	15,0	24,4	366,5	110,0	142,3	29,4	108,0	166,6	298,2	454,5	1,52	201,6
M 1.21	15,0	24,4	365,5	110,0	142,4	29,4	110,9	177,4	303,4	485,5	1,60	213,2
M 1.41	15,0	24,8	371,5	110,0	143,8	30,7	104,4	164,9	281,2	443,9	1,58	201,9
M 1.51	15,0	24,5	367,0	110,0	141,7	28,8	106,8	165,8	291,1	451,8	1,55	208,3
M 2.11	15,0	24,3	364,0	110,0	141,5	28,7	114,0	176,3	313,3	484,5	1,55	208,4
M 2.21	15,0	24,5	368,0	110,0	136,3	23,9	118,5	171,3	322,0	465,5	1,45	202,4
M 2.31	15,0	25,1	376,5	110,0	137,5	25,0	123,5	175,6	328,0	465,6	1,42	204,4
M 2.41	15,0	25,0	375,0	110,0	137,8	25,3	122,5	174,3	326,7	464,7	1,42	207,3
M 2.51	15,0	24,2	363,0	110,0	143,8	30,7	103,9	154,7	290,3	432,0	1,49	203,5
M 1.12	15,0	24,4	366,5	110,0	143,3	30,3	109,1	162,5	297,5	443,1	1,49	196,3
M 1.22	15,0	24,5	367,0	110,0	144,5	31,4	105,3	164,3	287,2	448,0	1,56	199,8
M 1.42	15,0	25,0	375,5	110,0	143,9	30,8	113,7	165,4	302,8	440,4	1,45	198,5
M 1.52	15,0	24,5	367,5	110,0	143,0	30,0	114,5	163,3	312,5	445,6	1,43	199,9
M 2.12	15,0	24,4	366,5	110,0	143,8	30,8	114,0	174,6	311,2	476,7	1,53	188,1
M 2.22	15,0	26,6	398,5	110,0	142,6	29,6	128,9	183,9	323,5	461,4	1,43	233,8
M 2.32	15,0	24,4	366,5	110,0	145,5	32,3	107,7	162,0	293,9	442,1	1,50	241,4
M 2.42	15,0	26,6	399,5	110,0	140,4	27,7	120,4	175,7	301,5	439,8	1,46	204,7
M 2.52	15,0	24,8	371,5	110,0	141,5	28,6	108,1	158,4	306,7	449,3	1,47	203,5
wartość średnia z próbek o grubości 15 mm:									305,1	455,2	1,49	206,50
M 1.31	20,0	28,3	566,7	140,0	185,0	32,2	167,6	244,3	298,9	435,7	1,46	205,5
M 1.32	20,0	29,1	582,0	140,0	179,1	28,0	153,8	268,2	264,2	460,9	1,74	198,5
wartość średnia z próbek o grubości 20 mm:									281,5	448,3	1,60	202,0
wartość średnia z wszystkich próbek:									287,8	431,8	1,40	206,1



Rys. 2. Wykres  $\sigma - \epsilon$  rozciągania próbek stalowej: a) grubości 20 mm wyciętej z pasa dźwigara M 1.31; b) grubości 15 mm wyciętej z pasa dźwigara M 1.42

Fig. 2.6 Graph  $\sigma - \epsilon$  of the steel sample: a) 20 mm thick cut from the M 1.31 girder flange; b) 15 mm thick cut from the M 1.42 girder flange

granicy plastyczności przebadanych próbek pasów dźwigarów. Na podstawie oszacowanych parametrów rozkładu normalnego granicy plastyczności  $R_e$  wyznaczono wartości charakterystyczne  $R_{ek}$ , czyli kwantyle dolne 5% [12]:

$$R_{ek} = E(R_e)(1 - 1,64^{D(R_e)}/E(R_e)) \quad (1)$$

gdzie:  $E(R_e)$  – wartość średnia granicy plastyczności  $R_e$ .

Z kolei współczynniki zmienności granicy plastyczności pasów oszacowano w dwóch przypadkach jako rzeczywiste  $V_{Re}$  otrzymane na podstawie badań materiałowych, jak również odniesione do minimalnej gwarantowanej przez producenta dźwigarów granicy plastyczności  $R_{emin} = 275$  MPa:

$$V_{Re} = \frac{D(R_e)}{E(R_e)} \quad \text{i} \quad V_{Re275} = \frac{1 - (R_{emin}/E(R_e))}{1,64} \quad (2)$$

Umożliwia to porównanie poziomu bezpieczeństwa ze względu na granicę plastyczności stosowaną do obliczania nośności przy zginaniu. Natomiast współczynniki częściowe granicy plastyczności  $\gamma_m$ , będące stosunkiem wartości charakterystycznej i obliczeniowej granicy plastyczności, oszacowano z równania 3 [5]:

$$\gamma_m = \frac{R_{ek}}{f_y} = \frac{R_{ek}}{E(R_e) - 3,04D(R_e)} \quad (3)$$

gdzie:

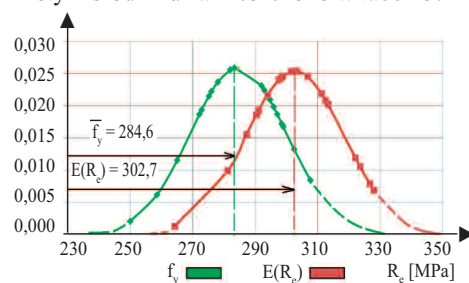
$\gamma_m$  – współczynnik częściowy granicy plastyczności;  $D(R_e)$  – odchylenie standardowe granicy plastyczności;  $R_{ek}$ ;  $f_y$  – odpowiednio charakterystyczna i obliczeniowa granica plastyczności.

Z kolei współczynnik częściowy granicy plastyczności  $\gamma_{m275}$ , odniesiony do minimum gwarantowanego przez pro-

ducenta  $R_{emin} = 275$  MPa, wyznaczono z zależności [5]:

$$\gamma_{m275} = \frac{R_{emin,l}}{E(R_e) - 3,04D(R_e)} \quad (4)$$

Na rysunku 3 pokazano rozkład normalny granicy plastyczności uzyskany z wszystkich próbek wyciętych z pasów dźwigarów o falistych średnicach. Zaznaczono rozkład normalny w przypadku wartości średniej  $E(R_e)$  granicy plastyczności oraz porównawczy w przypadku wartości obliczeniowej granicy plastyczności  $f_y$ . Parametry rozkładu normalnego oraz uzyskane współczynniki częściowe granicy plastyczności próbek blach z pasów z dźwigarów o falistym średnicy zamieszczono w tabeli 3.



Rys. 3. Rozkład normalny granicy plastyczności  $f_y$ ,  $R_e$  próbek stalowych z pasów dźwigarów SIN

Fig. 3. Normal distribution of the yield strength  $f_y$ ,  $R_e$  of steel samples from SIN girder flanges

Średnie współczynniki zmienności  $V_{Re}$  granicy plastyczności oszacowane na podstawie badań materiałowych wyniosły 0,01 – 0,03. Uzyskane wartości świadczą o niewielkim rozrzucie granicy plastyczności w obrębie próbek pobranych z każdego dźwigara. W odniesieniu do granicy plastyczności gwarantowanej przez producenta oszacowane współczynniki zmienności  $V_{Re275}$  są trzykrotnie większe. Uwidacznia to większy rozrzut wartości średniej granicy plastyczności, powodując automatycznie większe różnice nośności przy zginaniu obliczanym w przypadku granicy plastyczności  $R_{emin} = 275$  MPa w stosunku do wartości rzeczywistych.

Na podstawie badań uzyskano współczynniki częściowe granicy plastyczności  $\gamma_m$  o wartości 1,01 – 1,05. Są zatem porównywalne do uzyskiwanych współczynników z badań statystycznych [5, 9]. Natomiast oszacowane w odniesieniu do gwarantowanej przez produ-

Tabela 3. Parametry rozkładu normalnego granicy plastyczności  $R_e$  próbek blach pasów dźwigarów SIN

Table 3. Parameters of normal distribution of yield strength  $R_e$  samples of sheet metal flanges from SIN girders

Dźwigar	$E(R_e)$ [MPa]	$R_{ek}$ [MPa]	$f_y$ [MPa]	$D^2(R_e)$	$D(R_e)$	$V_{Re}$	$V_{Re275}$	$\gamma_m$	$\gamma_{m275}$
M 1.11	298,2	290,2	283,4	23,68	4,87	0,016	0,047	1,024	0,970
M 1.21	303,4	299,3	295,8	6,18	2,49	0,008	0,057	1,012	0,930
M 1.41	281,2	269,0	258,5*	55,78	7,47	0,027	0,013	1,040	1,064
M 1.51	291,1	283,0	276,1	24,52	4,95	0,017	0,034	1,025	0,996
M 2.11	313,3	305,3	298,5	23,74	4,87	0,016	0,075	1,023	0,921
M 2.21	322,0	311,4	302,4	41,43	6,44	0,020	0,089	1,030	0,909
M 2.31	328,0	317,0	307,7	44,76	6,69	0,020	0,099	1,030	0,894
M 2.41	326,7	310,7	297,1	94,99	9,75	0,030	0,096	1,046	0,926
M 2.51	290,3	280,5	272,1*	35,70	5,97	0,021	0,032	1,031	1,011
M 1.12	297,5	289,2	282,0	25,94	5,09	0,017	0,046	1,025	0,975
M 1.22	287,2	275,3	265,0*	53,13	7,29	0,025	0,026	1,039	1,038
M 1.42	302,8	287,9	275,1	82,76	9,10	0,030	0,056	1,046	0,999
M 1.52	312,5	301,9	292,9	41,57	6,45	0,021	0,073	1,031	0,939
M 2.12	311,2	302,3	294,7	29,58	5,44	0,017	0,071	1,026	0,933
M 2.22	323,5	310,3	299,0	65,04	8,06	0,025	0,091	1,038	0,920
M 2.32	293,9	282,6	272,9*	47,93	6,92	0,024	0,039	1,036	1,008
M 2.42	301,5	300,0	298,7	0,86	0,93	0,003	0,054	1,004	0,921
M 2.52	306,7	298,7	292,0	23,52	4,85	0,016	0,063	1,023	0,942
Wartość średnia 15 mm	305,1	295,2	286,9	40,06	5,98	0,020	0,059	1,029	0,961
M 1.31	298,9	287,6	278,03	47,11	6,86	0,023	0,049	1,035	0,989
M 1.32	264,2	256,6	250,02*	21,75	4,66	0,018	-0,025	1,026	1,100
Wartość średnia 20 mm	281,6	272,1	264,0	34,43	5,76	0,020	0,011	1,030	1,044
Wartość średnia wszystkie próbki	302,7	292,9	284,6	39,50	5,96	0,020	0,054	1,026	0,969

\* obliczeniowa granica plastyczności pasów mniejsza od deklarowanej przez producenta

centa granicy plastyczności współczynniki częściowe  $\gamma_{m275}$  są w 75% mniejsze od jedności, a więc od wartości zalecanej w EC3 [11, 12, 13] oraz w 25% większe od jedności. Oznacza to, że w przypadku 75% dźwigarów obliczeniowa nośność przy zginaniu jest zawyżona z uwagi na granicę plastyczności i stanowi dodatkowy zapas bezpieczeństwa. Niestety, stosując metodę z EC3, aż w 25% przypadków obliczeniowa granica plastyczności  $f_y$  okazała się mniejsza od deklaracji producenta, co mogłoby z kolei prowadzić do zaniżania nośności dźwigarów przy zginaniu.

### Wnioski

Do produkcji pasów blachownic o falistym średniku używane są stale cechujące się prawidłowymi parametrami wytrzymałościowymi oraz niewielkim rozrzutem właściwości w obrębie pojedynczego wyrobu. Średnia granica plastyczności stali blach płaskich  $E(R_e)$  jest większa od gwarantowanej granicy plastyczności dostarczanych blach

skich, z których wytworzono pasy badanych dźwigarów o falistych średnikach, wynoszącej  $R_{emin} = 275$  MPa. Jest to zgodne z metodą przyjmowania wielkości minimum hutniczego.

Przy podawaniu granicy plastyczności gotowych pasów blachownic o falistym średniku zaleca się stosowanie metody zawartej w normach europejskich, czyli podawanie relacji pomiędzy obliczeniową granicą plastyczności a jej wartością średnią w postaci:

$$f_y = E(R_e) - 3,04D(R_e) \quad (5)$$

Stosując metodę szacowania obliczeniowej granicy plastyczności wg norm europejskich, próbki stali pasów dźwigarów SIN cechowały się w 75% większą wartością granicy plastyczności od deklarowanych przez producenta oraz w 25% mniejszą. Sprzyja to dostarczaniu na plac budowy elementów konstrukcji o różniących się od siebie parametrach wytrzymałościowych. Na nośność przy zginaniu blachownic o falistym średniku ma dodatkowo wpływ kwantyl iloczynny

granicy plastyczności i losowej powierzchni przekroju pasa.

Uzyskane na podstawie przedstawionych badań materiałowych współczynniki granicy plastyczności  $\gamma_m$  znajdują się w przedziale 1,01 – 1,05 i są porównywalne do współczynników z badań statystycznych [5, 9]. Analiza współczynników wskazuje na zasadność zwiększenia współczynnika  $\gamma_m$  w załącznikach krajowych EC3 do wartości 1,1.

### Literatura

- [1] Basiński Witold, Z. Kowal. 2018. „Random strength parameters of steel corrugated webs and their influence on the resistance of SIN plate girders”. *Architecture Civil Engineering, Environment* 11 (3): 65 – 77. DOI: 10.21307/ACEE-2018-039.
- [2] Basiński Witold. 2018. „Shear buckling of plate girders with corrugated web restrained by end stiffeners”. *Periodica Polytechnica Civil Engineering* 62 (3): 757 – 771. DOI: 10.3311/PPci. 11554.
- [3] Basiński Witold. 2019. „Shear buckling resistance of cantilever girders with corrugated web”. *Architecture Civil Engineering, Environment* 12 (1): 63 – 79. DOI: 10.21307/ACEE-2019-006.
- [4] Eldib MEA.-H. 2009. „Shear buckling strength and design of curved corrugated steel webs for bridges”. *Journal of Constructional Steel Research*. 65: 2129 – 2139.
- [5] Gwóźdź M., P. Woźniczka. 2015. „Badania statystyczne losowej zmienności cech wytrzymałościowych stalowych wyrobów hutniczych”. *Przegląd Budowlany* 6: 31 – 37.
- [6] Hassanein M. F., O. F. Kharoob. 2013. „Behavior of bridge girders with corrugated webs: (II) Shear strength and design”. *Engineering Structures* (57): 544 – 553.
- [7] Kowal Z., Witold Basiński. 2007. „Wyznaczenie sztywności obrotowej doczołowych połączeń podatnych na podstawie pomiaru drgań dźwigarów”. *Inżynieria i Budownictwo* 64 (4): 197 – 200.
- [8] Kuchta K. 2004. *Nośność i sztywność dźwigarów z falistym średnikiem*. Praca doktorska. Politechnika Krakowska.
- [9] Profile z falistym średnikiem SIN. 2002. *Zasady wymiarowania*. Politechnika Krakowska. Kraków.
- [10] PN-EN 1993-1-1:2003. *Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków*.
- [11] PN-EN-1990. *Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji*.
- [12] PN-EN 1993-1-5 2008. *Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-5: Blachownice*.
- [13] PN-EN 1993-1-3. 2008. *Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-3: Reguły ogólne. Reguły uzupełniające dla konstrukcji z kształtowników i blach profilowanych na zimno*.
- [14] PN-EN 10002-1:2001. *Wyroby stalowe – Próba rozciągania. Część 1: Metoda badania w temperaturze pokojowej*.
- [15] PN-EN 10025-1:2007. *Wyroby na gorąco ze stali konstrukcyjnych. Część 1: Ogólne warunki techniczne dostawy*.

Przyjęto do druku: 22.06.2020 r.