

Wpływ rodzaju szyny na wartość lokalnych pionowych naprężeń ściskających w środku belki podsuwnicowej

dr inż. Marcin Chybiński, dr inż. Łukasz Polus, Politechnika Poznańska, dr inż. Zdzisław Kurzawa, Akademia Kaliska

1. Wprowadzenie

Lokalne pionowe naprężenia ściskające w środku belki podsuwnicowej nie powinny być bagatelizowane. Ich wartość nie może przekraczać granicy plastyczności materiału środka [1]. Ponadto uwzględnia się te naprężenia w kryterium początku uplastycznienia przekroju w punkcie krytycznym mieszczącym się w środku belki podsuwnicowej pod jej górnym pasem [2–4]:

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)\left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right) + 3\left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2 \leq 1,0 \quad (1)$$

gdzie:

f_y – granica plastyczności,

γ_{M0} – współczynnik częściowy,

$\sigma_{x,Ed}$ – obliczeniowe naprężenia normalne w kierunku podłużnym,

$\sigma_{z,Ed}$ – poprzeczne obliczeniowe naprężenia normalne,

τ_{Ed} – obliczeniowe naprężenia ścinające.

W przypadku środka klasy 4 należy również pamiętać o spełnieniu warunku znanego z prac [5, 6]:

$$\frac{F_{z,Ed}}{(f_y l_{eff} t_w)/\gamma_{M1}} + 0,8 \left(\frac{N_{Ed}}{(f_y A_{eff})/\gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{y,N}}{(f_y W_{y,eff})/\gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{z,N}}{(f_y W_{z,eff})/\gamma_{M0}} \right) \leq 1,4 \quad (2)$$

gdzie:

$F_{z,Ed}$ – wartość obliczeniowa oddziaływania koła,

l_{eff} – efektywna długość strefy docisku,

t_w – grubość środka,

γ_{M1} – współczynnik częściowy,

A_{eff} – suma pola efektywnego przekroju pasa górnego belki oraz pola współpracującej części środka [3],

N_{Ed} – obliczeniowa siła podłużna,

$M_{y,Ed}$ – obliczeniowy moment zginający względem osi y ,

$M_{z,Ed}$ – obliczeniowy moment zginający względem osi z ,

$W_{y,eff}$ – efektywny wskaźnik wytrzymałości przy zginaniu względem osi y ,

$W_{z,eff}$ – efektywny wskaźnik wytrzymałości przy zginaniu względem osi z ,

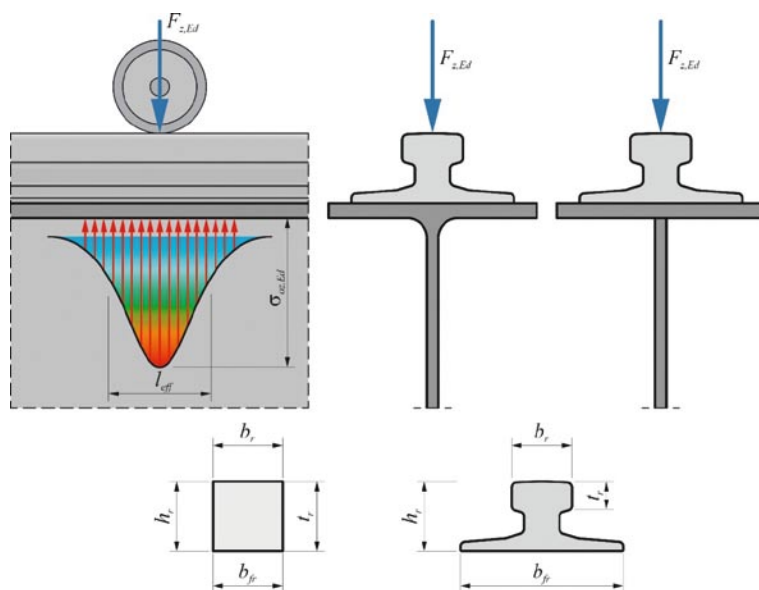
$e_{y,N}$, $e_{z,N}$ – ewentualne przesunięcia środka ciężkości przekroju odpowiednio względem osi środkowych y – y i z – z .

Istotne jest również uwzględnienie lokalnych pionowych naprężeń ściskających w środku belki podsuwnicowej w analizach zmęczeniowych środka [7, 8] oraz spoin łączących środek z pasem [9].

Wartość lokalnych pionowych naprężeń ściskających w środku określana jest wzorem podanym w normie PN-EN 1993-6 [10]:

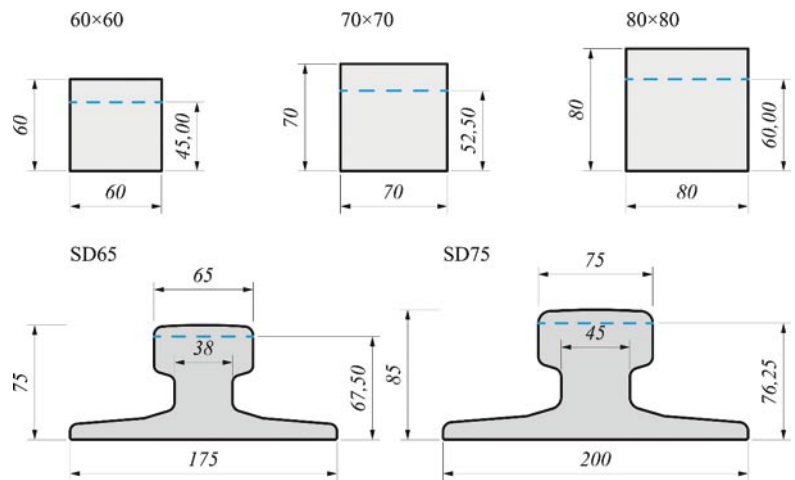
$$\sigma_{oz,Ed} = \frac{F_{z,Ed}}{l_{eff} t_w} \quad (3)$$

Rzeczywistą i efektywną strefę rozkładu naprężeń w środku przedstawiono na rysunku 1. Długość strefy zależy od rodzaju połączenia szyny z pasem belki (podatne czy sztywne), geometrii szyny oraz od tego, czy zastosowano podkładkę elastyczną pod szyną [11]. Podkładka gumowa zastosowana między szyną a belką podsuwnicową może efektywnie zmniejszyć lokalne naprężenia i w konsekwencji ograniczyć negatywne skutki działania obciążenia sku-



Rys. 1. Rozkład lokalnych pionowych naprężeń ściskających w środku belki podsuwnicowej

Rys. 2. Rodzaje szyn dla belek podsuwnicowych przyjęte do analizy w artykule z zaznaczeniem charakterystycznych wymiarów oraz wysokości szyny po redukcji



pionego, ponieważ rozkłada ona obciążenie kołem na dłuższym efektywnym odcinku środnika [12–15]. Wpływ na tę długość ma również zużycie szyny, dlatego zaleca się już na etapie projektowania pomniejszyć w obliczeniach wysokość główki szyny o 25% [16, 17].

Na szyny belek podsuwnicowych stosowane są: kwadratowe i prostokątne kęsy, walcowane przekroje użytkowane w kolejnictwie oraz specjalne przekroje walcowane dla urządzeń dźwigowych (rys. 2) [18]. Dobór szyny powinien wynikać z zaleceń podanych przez producenta suwnicy [19, 20]. Zależy on między innymi od parametrów kół suwnicy [21]. W pracach [16–19] zalecono, aby kwadratowe i prostokątne kęsy stosować tylko w wyjątkowych przypadkach, gdy nie ma możliwości zastosowania innych szyn i tylko dla suwnic o małym udźwigu. Ponadto gdy kęsy są spawane do belki, to oprócz małego udźwigu suwnic istotne jest, aby grupa natężenia ich pracy nie była większa niż A4. W książce [22] zwrócono uwagę na brak płaskiej części główki w szynach kolejowych, co wiąże się ze zmniejszeniem stabilności koła suwnicy w kierunku poprzecznym i może powodować szybsze zużycie obrzeży kół, dlatego tego typu szyny nie są zalecane na tory belek podsuwnicowych. Dla belek podsuwnicowych zaleca się stosowanie szyn specjalnych dla urządzeń dźwigowych (typ SD), które wyróżnia niska wysokość, szeroka podstawa i główka [16–19]. Charakteryzują się one również dużą nośnością na nacisk od koła suwnicy [22]. W sytuacji gdy nie zostało to sprawdzone przez producenta suwnicy, należy sprawdzić, czy naprężenia wywołane naciskiem koła na szynę nie przekraczają wartości dopuszczalnej.

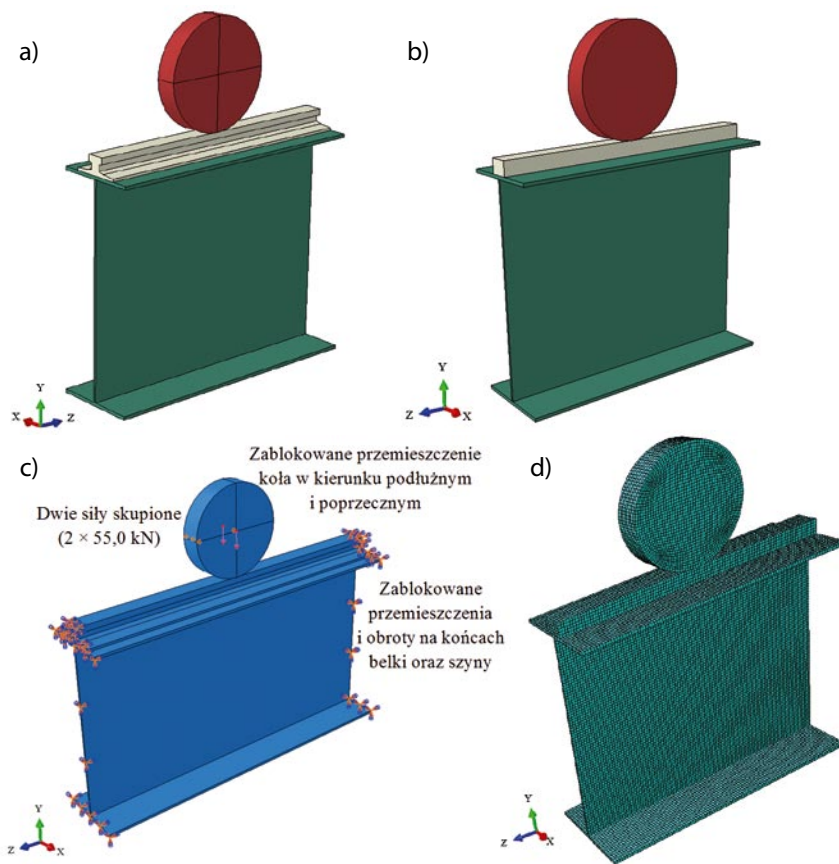
2. Model numeryczny

W celu określenia wpływu rodzaju szyny na rozkład naprężeń w środniku wykonano w programie Abaqus modele numeryczne fragmentów belki podsuwnicowej z szyną. Zamodelowano fragmenty o długości 500, 1000, 1500 oraz 2000 mm, oceniając wrażliwość modelu na długość analizowanego wycinka belki. Dla materiałów, z których zbudowano model, założono model sprężysto-plastyczny ze wzmocnieniem. Parametry wytrzymałościowe stali S235, z której wykonano belkę podsuwnicową, określono według normy [2]. Przyjęto granicę plastyczności $f_y = 235$ MPa oraz wytrzymałość stali na rozciąganie $f_u = 360$ MPa, moduł Younga $E = 210$ GPa oraz współczynnik Poissona $\nu = 0,3$. Kęsy wykonano ze stali S355 o $f_y = 355$ MPa, $f_u = 490$ MPa, $E = 210$ GPa, $\nu = 0,3$ [2]. Przyjęto szyny dźwigowe A65 oraz A75 o wymia-

rach według normy [23] wykonane ze stali o $f_y = 440$ MPa, $f_u = 880$ MPa według katalogów [24, 25]. Założono, że koła wykonane są ze staliwa odpornego na ścieranie L45G, którego granicę plastyczności $f_y = 450$ MPa oraz wytrzymałość na rozciąganie $f_u = 750$ MPa, przyjęto według normy [26]. Przyjęto obciążenie od suwnicy o wartości obliczeniowej 110,0 kN przekazywane za pośrednictwem koła na szynę. Nie uwzględniono ewentualnego mimośrodowego przyłożenia siły nacisku. Podobne założenie przyjęto w pracy [27], w której oceniano wpływ rodzaju styku szyny na rozkład naprężeń w środniku belki podsuwnicowej. Geometrię modelu zastąpiono elementami skończonymi. Koło suwnicy (średnica: 400 mm, grubość w zależności od szerokości główki szyny: 70, 75, 80, 85 lub 90 mm), szynę oraz belkę pionową belki podsuwnicowej (IKS 800-6) zamodelowano przestrzennymi ośmiowęzłowymi prostopadłościennymi elementami skończonymi typu bryłowego o liniowej funkcji kształtu (C3D8R). Przyjęto maksymalny wymiar elementu skończonego równy 10 mm. W dwunastej analizie zagęszczono siatkę w środku belki, przyjmując maksymalny wymiar elementu skończonego 5 mm. W trzynastej analizie zamodelowano środnik belki podsuwnicowej płaskimi elementami czterywęzłowymi typu powłokowego o liniowej funkcji kształtu (S4R) w celu oceny wrażliwości modelu na zastosowany typ elementu skończonego. Założono sztywne połączenie szyny z pasem górnym, które w programie zamodelowano, korzystając z interakcji typu *tie*. Funkcja ta umożliwiła sztywne połączenie wszystkich stopni swobody pomiędzy łączonymi węzłami [28]. Zamodelowano kontakt pomiędzy kołem a szyną, korzystając z interakcji *surface-to-surface contact* oraz przyjmując „*hard contact*” dla oddziaływania na kierunku normalnym oraz tarcie o współczynniku tarcia równym 0,3 na kierunku stycznym. Założone warunki brzegowe przedstawiono na rysunku 3.

W modelu numerycznym uwzględniono zużycie szyny, wprowadzając do programu szynę o zredukowanej o 25% wysokości główki. Wykonano kilka analiz numerycznych, które różniły się rodzajem szyny, długością analizowanego elementu oraz rodzajem i maksymalnym wymiarem ele-

Rys. 3. Model numeryczny belki podsuwnicowej: a) model z szyną dźwigową, b) model z kęsem, c) warunki brzegowe, d) podział na elementy skończone



mentu skończonego (tab. 1). W analizie otrzymano mapy lokalnych pionowych naprężeń ściskających w środku. Wartości ekstremalne naprężeń zostały porównane z tymi obliczonymi według normy PN-EN 1993-6 [10].

3. Wyznaczenie naprężeń według PN-EN 1993-6

Wartość lokalnych pionowych naprężeń ściskających w środku wyznaczono według wzoru (3), przyjmując sztywne połączenie szyny z pasem belki podsuwnicowej i obliczając długość efektywną ze wzoru podanego w normie [10]:

$$l_{eff} = 3,25 [I_{rf} / t_w]^{1/3} \quad (4)$$

gdzie:

I_{rf} – moment bezwładności przekroju złożonego z przekroju szyny i przekroju efektywnego pasa o szerokości b_{eff} obliczany względem własnej osi poziomej, t_w – grubość środnika belki podsuwnicowej. Szerokość przekroju efektywnego pasa ustalono ze wzoru zamieszczonego w normie [10]:

$$b_{eff} = b_{fr} + h_r + t_r, \text{ lecz } b_{eff} \leq b \quad (5)$$

gdzie:

b – szerokość górnego pasa, b_{fr} – szerokość stopki szyny,

h_r – wysokość szyny,

t_r – grubość pasa belki podsuwnicowej.

W obliczeniach, podobnie jak w modelu numerycznym, uwzględniono zużycie szyny, redukując wysokości głowki o 25%. Założono, że belka pionowa belki podsuwnicowej wykonana jest z IKS 800-6. Pas belki ma wymiary 12 x 300 mm, a środnik grubość 8 mm. Wartość obliczeniową nacisku koła przyjęto taką samą jak w analizach numerycznych (110,0 kN). Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 1. Analizy numeryczne przeprowadzone w programie Abaqus

Numer analizy	Maksymalny wymiar elementu skończonego, typ [mm]	Długość analizowanego fragmentu belki [mm]	Szyna	Wysokość głowki przed/ po redukcji t_r [mm]	Szerokość głowki b_r [mm]	Szerokość stopki b_{fr} [mm]	Wysokość szyny h_r [mm]
1	10, C3D8R	500	60 x 60	60,00/45,00	60	60	60
2	10, C3D8R	500	70 x 70	70,00/52,50	70	70	70
3	10, C3D8R	500	80 x 80	80,00/60,00	80	80	80
4	10, C3D8R	500	SD 65	30,00/22,50	65	175	75
5	10, C3D8R	500	SD 75	35,00/26,25	75	200	85
6	10, C3D8R	1000	60 x 60	60,00/45,00	60	60	60
7	10, C3D8R	1000	70 x 70	70,00/52,50	70	70	70
8	10, C3D8R	1000	80 x 80	80,00/60,00	80	80	80
9	10, C3D8R	1000	SD 65	30,00/22,50	65	175	75
10	10, C3D8R	1000	SD 75	35,00/26,25	75	200	85
11	10, C3D8R	2000	SD 75	35,00/26,25	75	200	85
12	10/5, C3D8R	1500	SD 75	35,00/26,25	75	200	85
13	10, S4R (środnik), C3D8R (pozostałe)	1000	SD 75	35,00/26,25	75	200	85

Tabela 2. Wartość lokalnych pionowych naprężeń ściskających wyznaczona według normy [10]

Szyna	Szerokość stopki b_{fr} [mm]	Wysokość szyny przed/po redukcji główki h_r [mm]	Szerokość przekroju efektywnego pasa b_{eff} [mm]	Moment bezwładności przekroju złożonego I_{rt} [cm ⁴]	Efektywna długość strefy docisku l_{eff} [cm]	Lokalne naprężenia w środku $\sigma_{oz,Ed}$ [MPa]
60 × 60	60,0	60,00/45,00	117,00	122,3	17,4	79,1
70 × 70	70,0	70,00/52,50	134,50	203,0	20,6	66,8
80 × 80	80,0	80,00/60,00	152,00	317,5	23,9	57,6
SD 65	175,0	75,00/67,50	254,50	451,4	26,9	51,2
SD 75	200,0	85,00/76,25	288,25	709,3	31,2	44,0

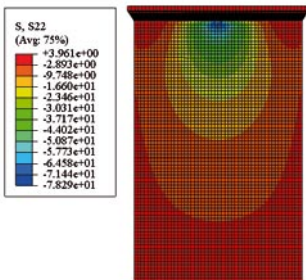
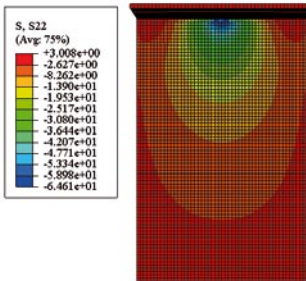
Największe lokalne naprężenia otrzymano dla szyny wykonanej z kęsa 60x60 mm (79,1 MPa). W przypadku zastosowania kęsa 80x80 mm wartość lokalnych pionowych naprężeń w środku zmalała 1,37 razy (do 57,6 MPa), a w przypadku przyjęcia szyny dźwigowej SD 75 zmalała 1,8 razy (do 44,0 MPa). Przeprowadzone obliczenia potwierdziły, że wartość lokalnych pionowych naprężeń w środku znacząco zależy od rodzaju szyny.

4. Porównanie wyników analizy numerycznej z wartościami naprężeń obliczonymi według normy PN-EN 1993-6

Wyniki analiz numerycznych modeli fragmentów belek o długości 500 mm były zbliżone do rezultatów obliczeń

ręcznych (tab. 3). Po wydłużeniu analizowanych fragmentów belek wartości maksymalnych lokalnych pionowych naprężeń w środku wzrosły 1,04–1,19 razy (tab. 4). Maksymalna wartość naprężeń wyznaczona z jedenastej analizy (52,9 MPa), w której analizowany fragment belki miał 2000 mm długości, była porównywalna z wartością otrzymaną z dziesiątej analizy (52,3 MPa), w której analizowany fragment belki miał 1000 mm długości (tab. 5). Wartość naprężeń 53,4 MPa wyznaczona z dwunastej analizy (dla gęstszej siatki elementów skończonych w środku belki) była porównywalna z wartością otrzymaną z dziesiątej analizy (52,3 MPa), w której zastosowano równomierną siatkę o maksymalnym wymiarze elementu skończonego równym 10 mm. Po zastąpieniu elementów bryłowych elementami powłokowymi wartość maksymalnych lokal-

Tabela 3. Porównanie wyników analiz numerycznych 500 mm fragmentów belek podsuwnicowych z wartościami naprężeń obliczonymi według normy [10]

Nr analizy/ szyna	Rozkład naprężeń	Maksymalna wartość lokalnego pionowego naprężenia w środku		$\frac{\sigma_{oz,Ed,a} - \sigma_{oz,Ed,n}}{\sigma_{oz,Ed,n}} \times 10^2$ [%]
		z analizy numerycznej $\sigma_{oz,Ed,a}$ [MPa]	wyznaczone wg normy [10] $\sigma_{oz,Ed,n}$ [MPa]	
1/ 60 × 60		78,3	79,1	-1,0
2/ 70 × 70		64,6	66,8	-3,2

Ciąg dalszy tabeli 3

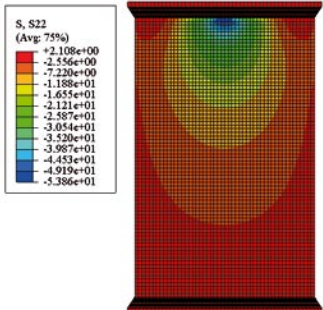
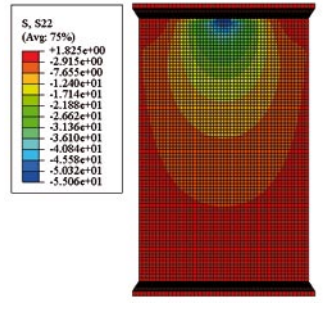
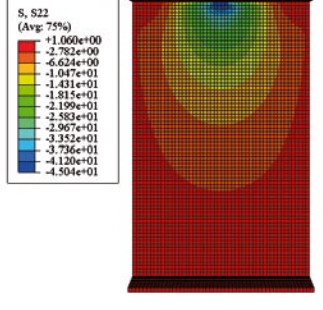
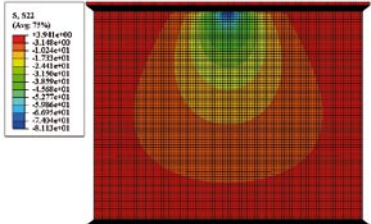
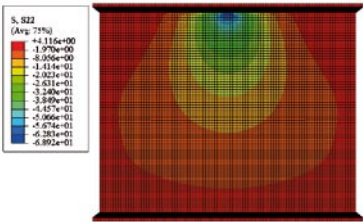
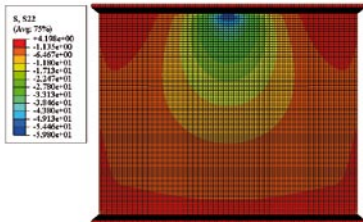
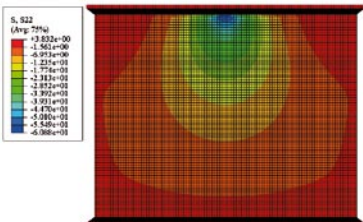
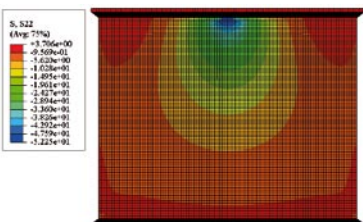
Nr analizy/ szyna	Rozkład naprężeń	Maksymalna wartość lokalnego pionowego naprężenia w śródniku		$\frac{\sigma_{oz,Ed,a} - \sigma_{oz,Ed,n}}{\sigma_{oz,Ed,n}} \times 10^2$ [%]
		z analizy numerycznej $\sigma_{oz,Ed,a}$ [MPa]	wyznaczone wg normy [10] $\sigma_{oz,Ed,n}$ [MPa]	
3/ 80 × 80		53,8	57,6	-6,6
4/ SD 65		55,1	51,2	7,6
5/ SD 75		45,0	44,0	2,2

Tabela 4. Porównanie wyników analiz numerycznych fragmentów belek podsuwnicowych o długości 1000 mm z wartościami naprężeń obliczonymi według normy [10]

Nr analizy/ szyna	Rozkład naprężeń	Maksymalna wartość lokalnego pionowego naprężenia w śródniku		$\frac{\sigma_{oz,Ed,a} - \sigma_{oz,Ed,n}}{\sigma_{oz,Ed,n}} \times 10^2$ [%]
		z analizy numerycznej $\sigma_{oz,Ed,a}$ [MPa]	wyznaczone wg normy [10] $\sigma_{oz,Ed,n}$ [MPa]	
6/ 60 × 60		81,1	79,1	2,5

Ciąg dalszy tabeli 4

Nr analizy/ szyna	Rozkład naprężeń	Maksymalna wartość lokalnego pionowego naprężenia w środku		$\frac{\sigma_{oz,Ed,a} - \sigma_{oz,Ed,n}}{\sigma_{oz,Ed,n}} \times 10^2$ [%]
		z analizy numerycznej $\sigma_{oz,Ed,a}$ [MPa]	wyznaczone wg normy [10] $\sigma_{oz,Ed,n}$ [MPa]	
7/ 70 × 70		68,9	66,8	3,1
8/ 80 × 80		59,8	57,6	3,8
9/ SD 65		60,9	51,2	18,9
10/ SD 75		52,3	44,0	18,9

nych pionowych naprężeń w środku otrzymana w trzynastej analizie (50,7 MPa) zmalała 1,03 razy w porównaniu do wartości naprężeń z dziesiątej analizy (52,3 MPa).

Analizy numeryczne potwierdziły fakt, że wartość lokalnych pionowych naprężeń w środku belki podsunnicowej w sposób znaczący zależy od rodzaju szyny.

5. Podsumowanie

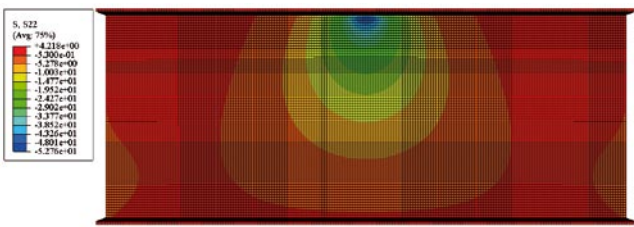
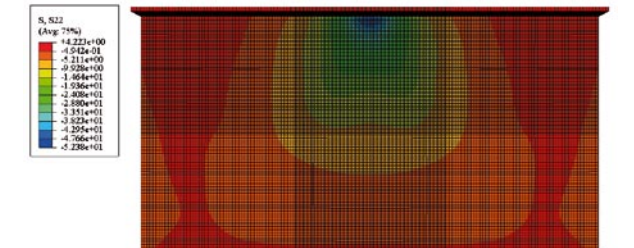
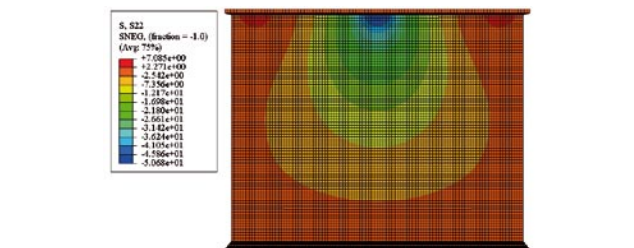
Lokalne pionowe naprężenia ściskające w środku belki podsunnicowej nie mogą być pomijane podczas sprawdzania nośności belki oraz jej analizy zmęczeniowej. Lokalne naprężenia można policzyć, wykorzystując wzory podane w normie PN-EN 1993-6. Wartości naprężeń policzonych ręcznie były podobne do tych uzyskanych z analiz numerycznych. Zarówno obliczenia ręczne, jak i analizy numeryczne potwierdziły, że wartość lokalnych pionowych na-

prężeń w środku belki podsunnicowej w sposób znaczący zależy od rodzaju szyny. Najmniejsze naprężenia otrzymano w przypadku zastosowania szyny dźwigowej SD 75. Przeprowadzone analizy oraz obliczenia wykonano, zakładając sztywne zamocowanie szyny na pasie belki. W kolejnej pracy autorzy zamierzają ocenić wpływ szyn zamocowanych w sposób podatny na wartość lokalnych pionowych naprężeń ściskających w środku belki podsunnicowej.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Kozłowski A., Górski M., Kubiszyn W., Leń D., Pisarek Z., Szczerba R., Słęczka L., Konstrukcje stalowe. Przykłady obliczeń wg PN-EN 1993-1, cz. 3, Hale i wiaty, Wydawnictwo Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2015
- [2] PN-EN 1993-1-1: Eurokod 3, Projektowanie konstrukcji stalowych, cz. 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [3] Kurzawa Z., Rzeszut K., Szumigala M., Stalowe konstrukcje prętowe, cz. 3, Konstrukcje z łukami, elementy cienkościenne, pokrycia membranowe, elementy zespolone, dachy pierścieniowe i belki podsunnicowe, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2017

Tabela 5. Porównanie wyników analiz numerycznych fragmentów belek podsuwnicowych o długości 1000, 1500 i 2000 mm z wartościami naprężeń obliczonymi według normy [10]

Nr analizy/ szyna	Rozkład naprężeń	Maksymalna wartość lokalnego pionowego naprężenia w środku		$\frac{\sigma_{oz,Ed,a} - \sigma_{oz,Ed,n}}{\sigma_{oz,Ed,n}} \times 10^2$ [%]
		z analizy numerycznej $\sigma_{oz,Ed,a}$ [MPa]	wyznaczone wg normy [10] $\sigma_{oz,Ed,n}$ [MPa]	
11/ SD75		52,9	44,0	20,2
12/ SD75		53,4	44,0	21,4
13/ SD75		50,7	44,0	15,2

[4] Żmuda J., Skowrońska J., Wymiarowanie środników klasy 4. belek podsuwnicowych metodą naprężeń zredukowanych, Inżynieria i Budownictwo 8/2012

[5] Żmuda J., Baran W., Respondek R., Nośność blachownicowych belek podsuwnicowych ze środnikiem klasy 4, Inżynieria i Budownictwo 3/2012

[6] PN-EN 1993-1-5: Eurokod 3, Projektowanie konstrukcji stalowych, cz. 1–5: Blachownice

[7] Rykaluk K., Hotała E., Inicjowanie pęknięć zmęczeniowych w blachownicowych belkach podsuwnicowych. Materiały Budowlane 5/2014

[8] Kawecki P., Kawecki W., Łąguna J., Ocena zmęczenia stalowych belek podsuwnicowych na podstawie PN-EN 1993-6 i PN-EN 1993-1-9, Inżynieria i Budownictwo 1/2010

[9] Wichtowski B., Analiza pęknięć zmęczeniowych w belkach podsuwnicowych w świetle badań, XVIII Konferencja Naukowo-Techniczna Awaria Budowlane, Szczecin-Międzyzdroje 19–22 maja 1997

[10] PN-EN 1993-6: Eurokod 3, Projektowanie konstrukcji stalowych, cz. 6: Konstrukcje wsporcze dźwignic

[11] Marcinczak K., Redukcja naprężeń w środniku belki podsuwnicowej, Builder 9/2017

[12] Kurzawa Z., Wpływ tarcia powierzchniowego na cechy sprężyste podkładek pod szyny podsuwnicowe. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. Budownictwo Lądowe 39/1995

[13] Biegus A., Podatne połączenia jezdni podsuwnicowych, Builder 1/2014

[14] Maas G., Investigations concerning craneway girders. Iron and Steel Engineer 3/1972

[15] Biegus A., Elastyczne połączenia konstrukcji wsporczej suwnic, Inżynieria i Budownictwo 6/2013

[16] Jankowiak W., Wybrane konstrukcje stalowe, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1992

[17] Górski S., Kurzawa Z., Murkowski W., Przykłady obliczeń konstrukcji stalowych, cz. 2, Hale przemysłowe, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 1987

[18] Kurzawa Z., Stalowe konstrukcje prętowe, cz. 1, Hale przemysłowe oraz obiekty użyteczności publicznej. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2012

[19] Matysiak A., Grochowska E., Konstrukcje stalowe. Belki podsuwnicowe. Estakady, cz. 1, Belki podsuwnicowe, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra, 2016

[20] Kucharczuk W., Labocha S., Hale o konstrukcji stalowej. Poradnik projektanta, Polskie Wydawnictwo Techniczne, 2012

[21] Żmuda J., Konstrukcje wsporcze dźwignic, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2013

[22] Rykaluk K., Konstrukcje metalowe, cz. 2, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław, 2017

[23] DIN 536-1: Kranschiene, Maße, statische Werte, Stahlsorten für Kranschiene mit Fußflansch Form A.

[24] Emrails: A65 rail

[25] Emrails: A75 rail

[26] PN-88/H-83160: Staliwo odporne na ścieranie

[27] Rykaluk K., Marcinczak K., Rowiński S., Fatigue hazards in welded plate crane runway girders – Locations, causes and calculations, Archives of Civil and Mechanical Engineering 18/2018

[28] Dębski H., Ponieważ G., Różyło P., Wójcik A., Podstawy metody elementów skończonych – przykłady obliczeń numerycznych w programie Abaqus®, Politechnika Lubelska, Lublin, 2015