

ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCIOWA POPZRZECZNICY MOSTU SKŁADANEGO TYPU DMS – 65

Artur DUCHACZEK*, Zbigniew MAŃKO**

* Wydział Zarządzania, Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych

e-mail: a.duchaczek@wso.wroc.pl

** Centrum Naukowo – Badawcze Rozwoju Budownictwa „MOSTAR”

e-mail: zbigniew.manko@wp.pl

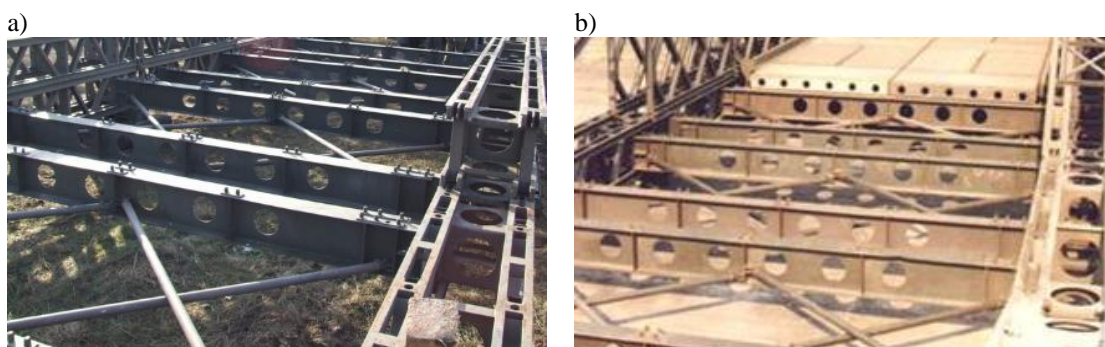
Artykuł wpłynął do redakcji 01.03.2012 r. Zweryfikowaną i poprawioną wersję po recenzjach i korekcie otrzymano w maju 2012 r.

W pracy przeprowadzono analizę wytrzymałościową belki poprzecznej mostu składanego typu DMS – 65 w celu zidentyfikowania najbardziej wyężonych miejsc w jej przekrojach. Analizy dokonano pod kątem uzasadnienia lub wykluczenia potrzeby stosowania wszystkich aktualnie występujących w jej środku otworów konstrukcyjnych.

Słowa kluczowe: most składany, poprzecznicca, otwór konstrukcyjny, analiza wytrzymałościowa, MES

WSTĘP

Obecnie na różnych składowiskach rezerw państwowych znajduje się wiele konstrukcji mostowych przeznaczonych do szybkiej odbudowy szlaków drogowych. Wśród nich jest m.in. drogowy most składany typu DMS – 65 (rys. 1), który w dalszym ciągu znajduje się również na wyposażeniu wojska polskiego.



Rys. 1. Widok na most składany typu DMS – 65 podczas montażu
a) połączenie rusztu pomostu z belkami głównymi złożonymi z kratownic przestrzennych w układzie piętrowym, b) dziób montażowy i przęsło w układzie podstawowym

Źródło: [1]

J. Rymsza w pracy [2] wykorzystując metodę MILORY [3], określił wojskowe klasy obciążenia dla większości składanych konstrukcji mostowych w Polsce. Dla mostu drogowego typu DMS – 65 w układzie podstawowym, w zależności od rozpiętości teoretycznej przęsła i rodzaju obciążenia, klasa MLC waha się między 60 a 80 (tabela 1).

Tabela 1. Zestawienie klas obciążenia MLC dla mostu DMS – 65 przy ruchu jednokierunkowym

Maksymalna rozpiętość teoretyczna przęsła [m]	Pojazdy	
	kołowe	gąsienicowe
30	MLC 80	MLC 80
33	MLC 70	MLC 70
36	MLC 60	MLC 60

Źródło: [2]

W pracy [2] podano również, że ze względu na nośność poszczególnych elementów konstrukcyjnych pomostu, dopuszczalny nacisk pojedynczej osi pojazdu kołowego wynosi 114 kN/oś – dla płyty pomostowej oraz 110 kN/oś – dla belki poprzecznej tego mostu, natomiast dopuszczalny nacisk gąsienicy odpowiada klasie obciążenia typu MLC 100 – ze względu na nośność płyty pomostowej oraz MLC 70 – ze względu na nośność belki poprzecznej. Stąd ostateczna nośność konstrukcji tego mostu składanego uzależniona jest przede wszystkim od nośności poszczególnych części składowych, a więc w tym przypadku pomostu i belki poprzecznej.

a)



b)



Rys. 2. Widok belki poprzecznej

a) z boku, b) od czoła na jej skrajny fragment przeznaczony do montażu z dźwigarem głównym

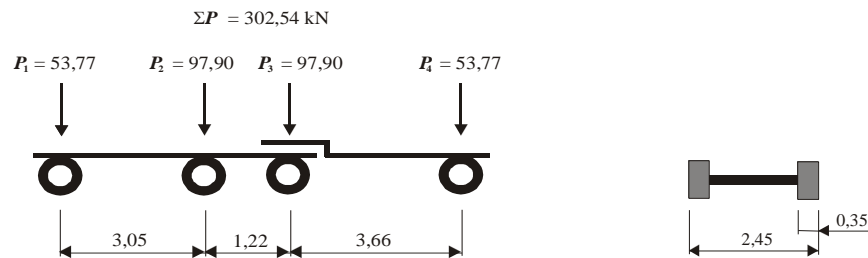
Źródło: [4]

Zasadniczym celem niniejszej pracy jest przeprowadzenie analizy wytrzymałościowej belki poprzecznej mostu składanego DMS – 65 (rys. 2), dla zidentyfikowania najbardziej wyężonych miejsc w jej przekrojach poprzecznych. Analizy dokonano przede wszystkim pod kątem uzasadnienia konieczności stosowania wszystkich aktualnie występujących otworów konstrukcyjnych w jej środku. Wydaje się, że ich dalsze stosowanie (przede wszystkim ze względu na zmniejszenie ciężaru konstrukcji) może być nieuzasadnione, ponieważ w przyszłości w eksploatacji jako tzw. koncentratory naprężeń mogą okazać się podstawowym miejscem inicjacji pęknięć zmęczeniowych w tego typu ustrojach.

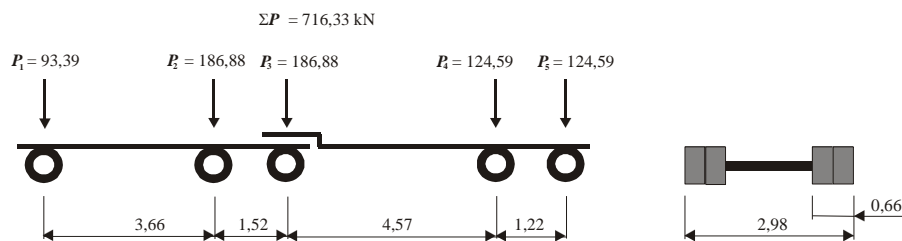
1. ZAŁOŻENIA PRZYJĘTE W OBLICZENIACH

Biorąc pod uwagę dane i parametry techniczne mostu składnego DMS – 65 podane w pracy [2], zdecydowano się przyjąć w obliczeniach i analizach dwa typy obciążenia w postaci pojazdu kołowego typu MLC 30 i MLC 70 (rys. 3) [5]. Pierwsze obciążenie mieści się w zakresie dopuszczalnego nacisku pojedynczej osi pojazdu kołowego dla belki poprzecznej, natomiast drugi typ obciążenia warunkowo tego zdecydowanie nie spełnia. Przedstawienie jednak wyników obliczeń dla tego pojazdu (w którym występuje inny niż przy MLC 30 rozstaw kół oraz tzw. koła bliźniacze), obrazuje w sposób bardziej widoczny miejsca w wysokim stopniu bezpośrednio narażone na uszkodzenia zmęczeniowe, a także na przypuszczalny charakter tych zniszczeń.

a)



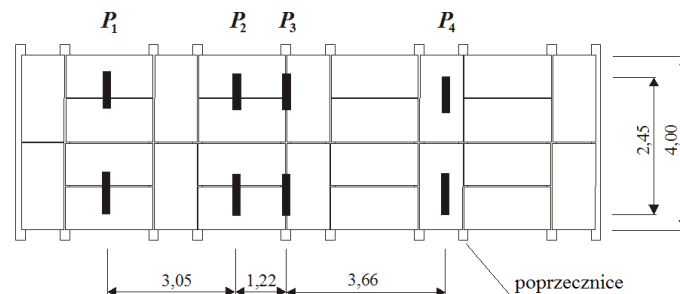
b)



Rys. 3. Schematy obciążeń kołowych typu a) MLC 30, b) MLC 70

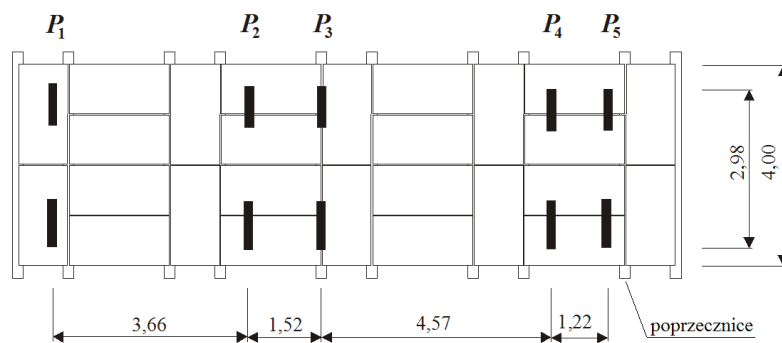
Źródło: [5]

Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono najbardziej niekorzystny schemat rozmieszczenia pojazdów MLC 30 i MLC 70 na długości analizowanego przęsła. Założono, że na pojedynczą belkę poprzeczną w obu schematach obciążenia mogą jednocześnie działać tylko cztery siły, tj. $2 \times P_2 + 2 \times P_3$, pochodzące od drugiej i trzeciej osi rozważanego pojazdu kołowego.



Rys. 4. Widok z góry na schemat najbardziej niekorzystnego rozmieszczenia pojazdu typu MLC 30 na długości przęsła w stosunku do poprzecznic

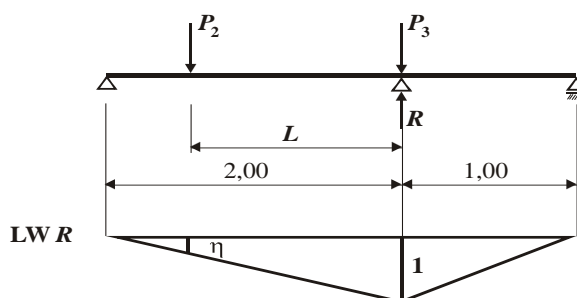
Źródło: Opracowanie własne



Rys. 5. Widok z góry na schemat najbardziej niekorzystnego rozmieszczenia pojazdu typu MLC 70 na długości przęsła w stosunku do położenia poprzecznicy

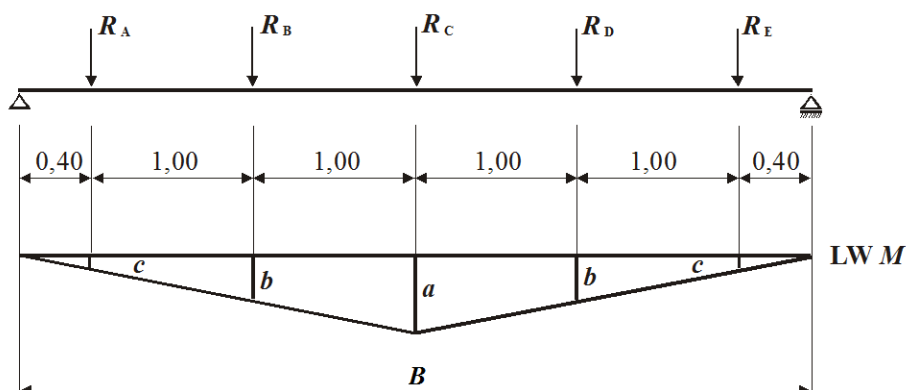
Źródło: Opracowanie własne

Na rysunku 6 przedstawiono linię wpływu reakcji podporowej R odpowiadającej obciążeniu przekazywanemu na belkę poprzeczną pochodzącą z dwóch osi pojazdu kołowego typu MLC 30 i MLC 70, natomiast na rysunku 7 odpowiednią linię wpływu momentu zginającego M w belce poprzecznej od obciążenia przekazywanego przez płyty pomostu.



Rys. 6. Schemat linii wpływu reakcji podporowej R odpowiadającej obciążeniu przekazywanemu na belkę poprzeczną od dwóch osi pojazdów kołowych MLC 30 lub MLC 70

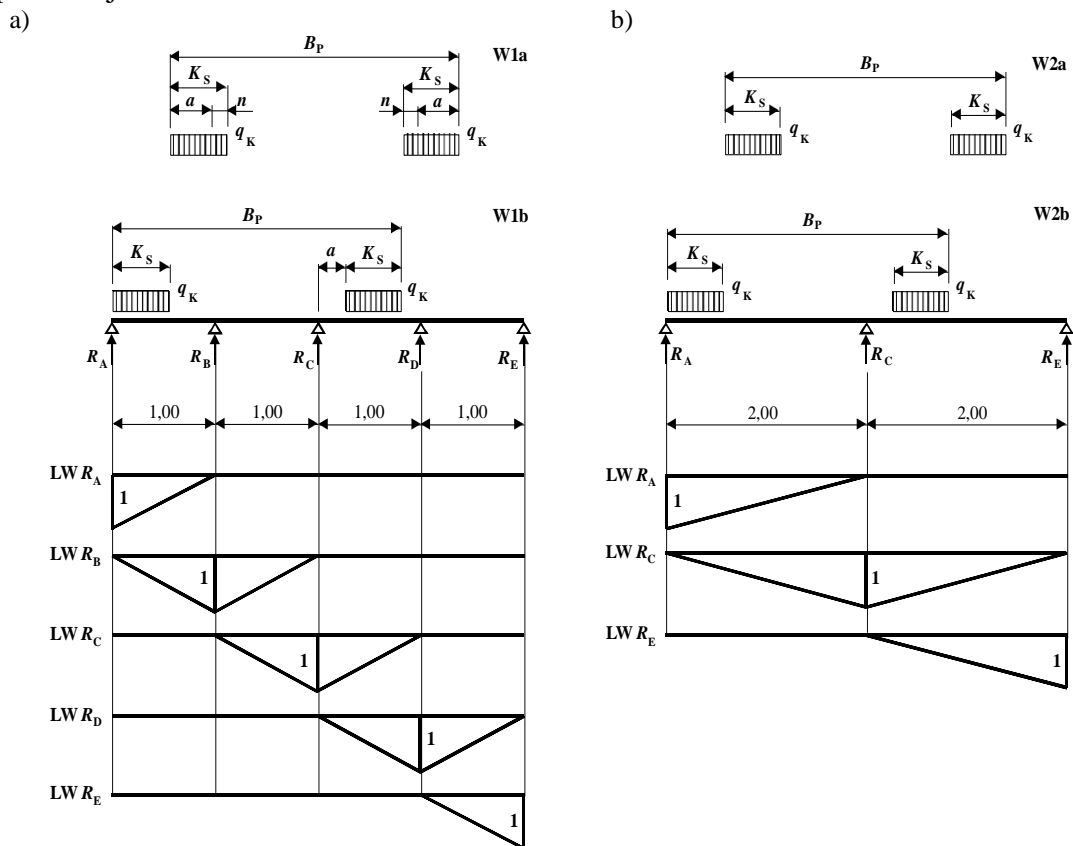
Źródło: Opracowanie własne



Rys. 7. Linia wpływu momentu zginającego M w belce poprzecznej od obciążenia przekazywanego przez płyty pomostu

Źródło: Opracowanie własne

W toku badań przeanalizowano dwa warianty obciążenia belki poprzecznej oznaczone jako W1 i W2 na rysunku 8. W pierwszym przypadku założono, że obciążenie pochodzące od pojazdów kołowych MLC 30 i MLC 70 przekazywane jest przez cztery płyty pomostu (rys. 8a), w drugim tylko przez dwie (rys. 8b), mimo że ten przypadek nie odpowiada obciążeniu przekazywanemu na belkę poprzeczną zaprezentowanemu na rys. 6. W przeprowadzonych analizach przyjęto zarówno symetryczne (W1a i W2a), jak i niesymetryczne (W1b i W2b) ustawienie pojazdu (rys. 8). W przypadku obciążenia niesymetrycznego założono, że obciążenie kołami pojazdu ograniczone zostało tylko do płyt pomostu, tzn., że koła te nie mogą najeżdżać bezpośrednio na krańcówki, ograniczając przez to szerokość jezdni do 4,00 m. Przyjęto również założenie, że przekazywanie obciążenia z płyt pomostu na belkę poprzeczną następuje punktowo, tj. w miejscach występowania trzpieni znajdujących się na górnym pasie belki poprzecznej.

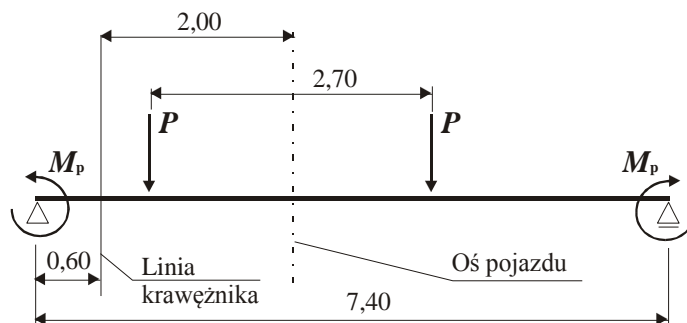


Rys. 8. Linie wpływu reakcji podporowych w miejscu przekazywania obciążenia na belkę poprzeczną przez a) cztery oraz b) dwie płyty pomostu, dla schematu symetrycznego i niesymetrycznego

Źródło: Opracowanie własne

Belka poprzeczna w moście składanym DMS – 65 połączona jest z dźwigarami głównymi, stanowiąc wraz ze słupkami i przeponami ścian dźwigarów głównych tzw. półramę, co powoduje sprężyste utwierdzenie końców poprzecznicy traktowanej jako belka swobodnie podparta [2]. Dlatego też J. Marszałek w pracy [2] zaproponował, aby do szczegółowych obliczeń wartości sił wewnętrznych w tego typu konstrukcjach przyjmować schemat półramy obciążonej, na wysokości pasów ściskanych, siłą odporu.

Takie założenie powoduje przyjęcie uproszczonego modelu obliczeniowego poprzeczniczy w postaci belki swobodnie podpartej, obciążonej dodatkowo na jej końcach momentem podporowym M_p (rys. 9). Moment ten wywołuje w rzeczywistości odciążenie belki poprzecznej w połowie jej długości, co dla poszerzonej jezdni mostu typu DMS – 65, przy skrajnym ustawieniu pojazdu K (PN–85/S–10030. Obiekty mostowe. Obciążenia) zaprezentowano w pracy [2].



Rys. 9. Model obliczeniowy poprzeczniczy

Źródło: [2]

Wielkość momentu odciążającego M_p zależy w dużej mierze od wielkości siły osiowej występującej w pasie ściskanym. W najbardziej niekorzystnym układzie dla belki, tj. bezpośrednio w pobliżu podpór skrajnych, wielkość ta jest stosunkowo nieduża (a w przypadku przęseł wjazdowych nie występuje w ogóle) i nie zawsze powinna być uwzględniana w obliczeniach statyczno – wytrzymałościowych poprzeczniczy. Przyjęcie zaś do obliczeń schematu statycznego poprzeczniczy bez uwzględnienia momentu odciążającego M_p przyczynia się do określenia najbardziej niekorzystnego układu obciążenia w analizach wytrzymałościowych dla przekroju środkowego belki poprzecznej.

W tabeli 2 przedstawiono wielkości obciążeń (sił skupionych) przyjętych w obliczeniach numerycznych, które uzyskano w wyniku przeprowadzonych analiz (rys. 3 – 8).

Tabela 2. Wielkości sił skupionych przyjętych w obliczeniach dla pojazdów MLC 30 i MLC 70

Wyszczególnienie				Siły skupione w [kN]					
MLC	Wariant	Schemat	Symbol	R_a	R_b	R_c	R_d	R_e	Suma
MLC 30	Cztery płyty pomostu	symetryczny	W1a	4,92	61,56	3,04	61,56	4,92	136,00
		niesymetryczny	W1b	56,10	11,90	49,30	18,70	–	136,00
	Dwie płyty pomostu	symetryczny	W2a	35,70	–	64,60	–	35,70	136,00
		niesymetryczny	W2b	62,05	–	64,60	–	9,35	136,00
MLC 70	Cztery płyty pomostu	symetryczny	W1a	21,07	92,40	5,06	92,40	21,07	232,00
		niesymetryczny	W1b	77,72	38,28	40,60	75,40	–	232,00
	Dwie płyty pomostu	symetryczny	W2a	67,28	–	97,44	–	67,28	232,00
		niesymetryczny	W2b	96,86	–	97,44	–	37,70	232,00

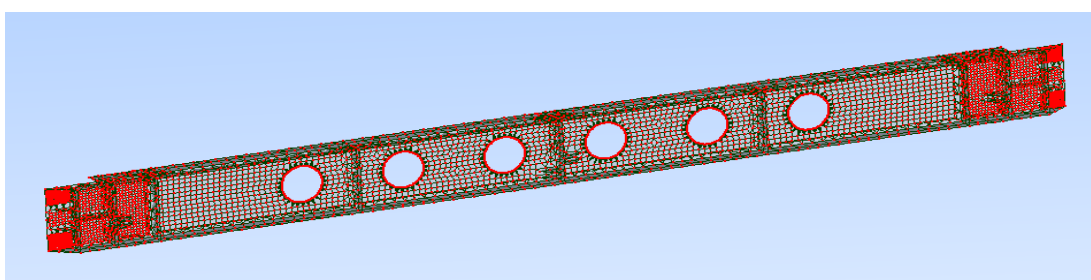
Źródło: Opracowanie własne

2. MODEL OBLICZENIOWY BELKI POPRZECZNEJ

Analizę wytrzymałościową belki poprzecznej mostu DMS – 65 wykonano z zastosowaniem metody elementów skończonych (MES). Poprzecznicza została zamodelo-

wana jako konstrukcja powłokowa (rys. 10). W procesie modelowania wykorzystano czworokątne 4 – węzłowe elementy powierzchniowe. Wymiary do stworzonego modelu komputerowego przyjęto zgodnie z instrukcją mostu [6].

Do analiz przyjęto cztery podstawowe schematy obliczeniowe różniące się sposobem łączenia belki poprzecznej ze słupkami kratownicy przestrzennej mostu. W schemacie I założono, że belka pracuje jako ustrój swobodnie podparty, tzn. nie uwzględniono rzeczywistego jej mocowania z dźwigarami głównymi. Zrealizowano to poprzez przyjęcie „sztucznego podparcia” belki poprzecznej w pasie dolnym kratownicy przestrzennej (w 3 punktach) oraz przy założeniu, że tuleje służące do mocowania belki poprzecznej uniemożliwiają jej ruch jedynie w kierunku podłużnym przęsła (rys. 11a). Przyjęcie takiego schematu umożliwiło określenie największego wyężenia poprzecznic w połowie jej długości.



Rys. 10. Model obliczeniowy poprzecznic przyjęty w analizach numerycznych

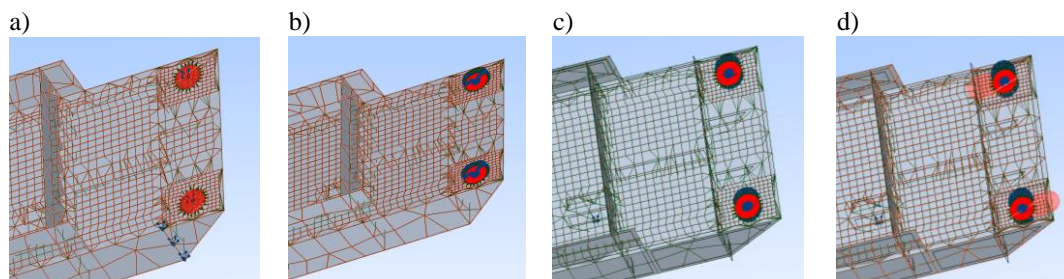
Źródło: Opracowanie własne

W schemacie II założono natomiast, że mocowanie belki poprzecznej do słupków kratownicy przestrzennej odbywa się za pomocą dwóch tulei (i śrub), co powoduje niemal sztywne jej utwierdzenie. Taki schemat zamocowania uzyskano, stosując przeguby umieszczone na powierzchni przekroju poprzecznego tulei mocujących (rys. 11b). Przyjęcie takiego schematu obliczeniowego umożliwiło ocenę największego wyężenia elementu na jego końcach.

Należy mieć także na uwadze fakt, że oba rozpatrywane schematy obliczeniowe poprzecznic odbiegają zasadniczo od schematu statycznego analizowanego elementu konstrukcyjnego podanego przez J. Marszałka i zespół [2], jednak z całą pewnością umożliwiają znacznie lepszą identyfikację najsłabszych, pod względem wytrzymałościowym (a zatem także i zmęczeniowym), punktów krytycznych występujących w belce poprzecznej.

Analizie poddano również schematy obliczeniowe III i IV (rys. 11c,d). W obu tych schematach założono, że mocowanie belki poprzecznej do słupków kratownicy dźwigara głównego odbywa się za pomocą dwóch tulei (i śrub), co powoduje jej częściowe utwierdzenie, tzn. umożliwi ruch belki w kierunku podłużnym środnika. Oba przyjęte schematy obliczeniowe umożliwiły ocenę pracy poprzecznic w sposób bardziej zbliżony do belki swobodnie podpartej (rys. 11c), a jednocześnie stwarzały możliwość przyłożenia momentu odciażającego M_p na jej końcach, w postaci pary sił przyłożonych do powierzchni tulejek (rys. 11d). Analizując przykład obliczeniowy przedstawiony w pracy [2], wykonany dla klasy C obciążenia drogowego, założono z dużym przybliżeniem, że dla obciążenia według klasy MLC 30, wartość siły występujących

w pasach górnych przęśla mostu typu DMS–65 może wynieść około 900 kN, a dla klasy MLC 70 nawet 2010 kN (mając jednocześnie na uwadze fakt, że takiego obciążenia nie przeniesie ani płyta pokładu ani też sama poprzecznicą).

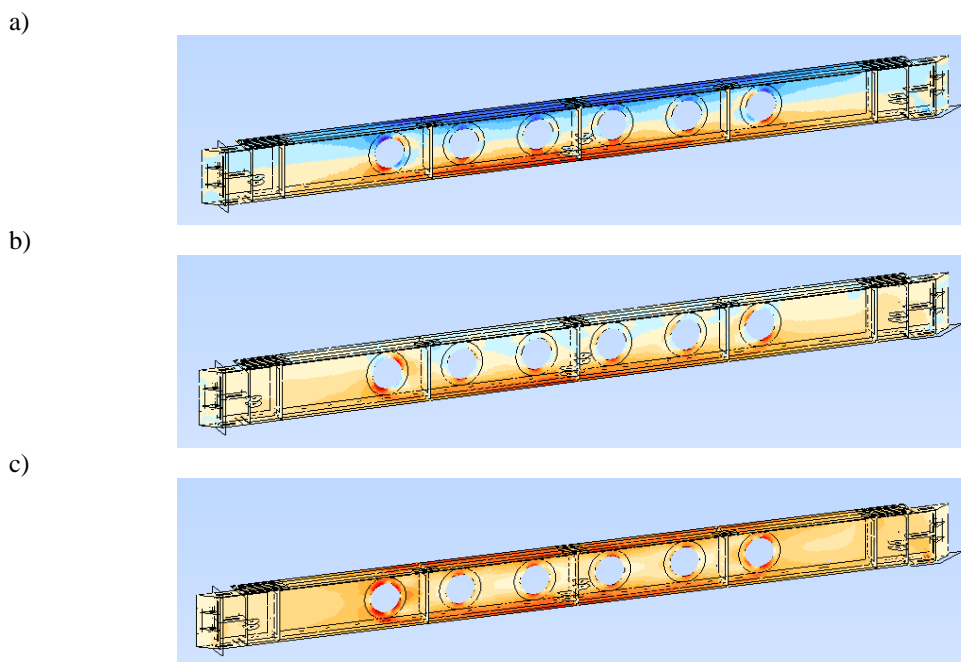


Rys. 11. Model zamocowania belki poprzecznej do słupka kratownicy przestrzennej w schemacie obliczeniowym a) I, b) II, c) III i d) IV

Źródło: Opracowanie własne

3. WYNIKI ANALIZ NUMERYCZNYCH

Wstępna analiza map rozkładów naprężeń normalnych badanej belki poprzecznej (przy przyjęciu schematu belki swobodnie podpartej) wykazała, że największe naprężenia (normalne, główne i zredukowane) występują nie w pasach poprzecznic, ale przede wszystkim w okolicy otworów konstrukcyjnych zlokalizowanych w jej środku (rys. 12 i 13a,b).



Rys. 12. Mapy rozkładów naprężeń w poprzecznicę pochodzących od obciążenia niesymetrycznego według klasy MLC 70

a) normalnych względem osi podłużnej, b) głównych, c) zredukowanych

Źródło: Opracowanie własne

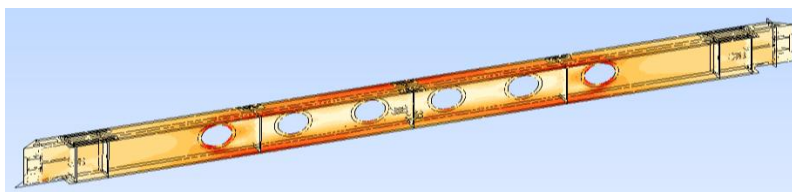
Jest sprawą oczywistą, że wraz ze zmianą schematu statycznego poprzecznic (aż do pełnego jej utwierdzenia na końcach) zaobserwowano również zmianę rozkładów

naprężeń (rys. 13c,d). W tym przypadku, oprócz stosunkowo wysokich wartości naprężeń występujących w obszarze środka w obrębie tulejek mocujących, zaobserwowano również wysokie wartości naprężeń w okolicach otworów konstrukcyjnych zlokalizowanych w jej środku. Stwierdzono zatem, że ze względów wytrzymałościowych miejsca te są newralgicznymi punktami w konstrukcji poprzecznicy.

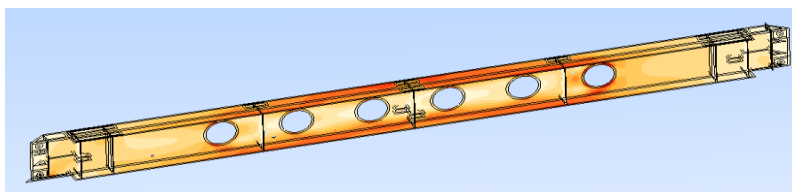
Ze względu na fakt, że zasadniczym celem niniejszej pracy było potwierdzenie czy wszystkie otwory konstrukcyjne zlokalizowane w środku belki poprzecznej są poważnymi koncentratorami naprężeń, stąd w dalszych analizach porównywano wartości maksymalnych naprężeń występujących w jej pasach, jak i w środku rozpatrywanego elementu. Szczegółowe wyniki przeprowadzonych analiz numerycznych poprzecznicy zostały przedstawione w tabelach 3 – 10.

W przypadku środka maksymalne wartości naprężeń były odczytywane w okolicy skrajnych otworów montażowych (rys. 14), natomiast w przypadku pasów na ich zewnętrznej części w okolicy środka rozpiętości belki poprzecznej.

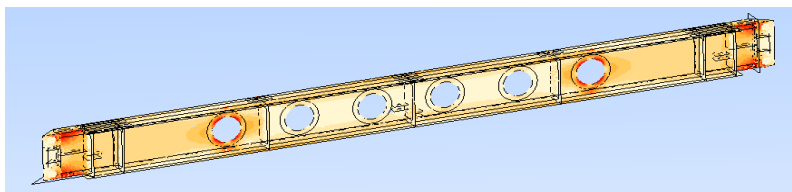
a)



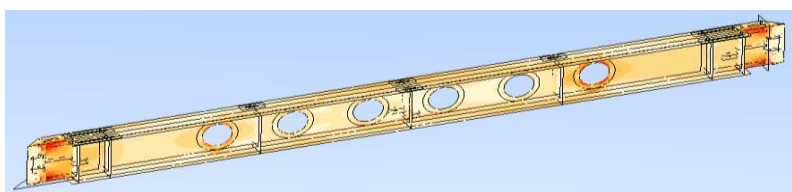
b)



c)



d)



Rys. 13. Mapy rozkładów naprężeń zredukowanych w poprzecznicy od obciążenia symetrycznego (a, c) i niesymetrycznego (b, d) pochodzących od obciążenia według klasy MLC 70 dla schematu statycznego poprzecznicy traktowanej jako belka swobodnie podparta (a, b) i obustronnie utwierdzona (c, d)

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 3. Zestawienie wyników obliczeń od obciążenia według klasy MLC 30, usytuowanego symetrycznie, przy założeniu, że cztery płyty pomostu przenoszą obciążenie na poprzecznice

Schemat obliczeniowy mocowania	Element konstrukcyjny	Wartość naprężeń [MPa]						
		$+\sigma_x$	$-\sigma_x$	$+\sigma_y$	$-\sigma_y$	max σ_1	max σ_2	σ_{zred}
I	Pas górny	1,3	-176,66	17,42	-16,04	17,5	-176,66	171,22
	Środek	201,05	-203,80	135,04	-141,93	232,57	-237,06	220,45
	Pas dolny	175,61	-2,02	19,01	-4,80	175,64	16,07	173,38
II	Pas górny	106,44	-98,78	32,88	-20,08	116,50	-98,78	107,25
	Środek	155,31	-159,37	122,38	-124,23	205,55	206,13	191,15
	Pas dolny	115,73	-102,11	10,06	-38,38	115,78	-108,91	113,00
III	Pas górny	34,69	-144,36	15,98	-13,27	38,22	-144,37	136,68
	Środek	181,48	-185,54	130,37	-137,93	219,09	-220,63	205,08
	Pas dolny	151,75	-39,98	11,27	-9,66	151,80	-43,28	149,38
IV	Pas górny	50,17	-129,48	16,20	-11,89	63,88	-129,48	125,15
	Środek	172,83	-177,07	127,91	-131,88	214,68	-213,39	199,74
	Pas dolny	139,90	-60,81	10,87	-19,22	139,95	-65,28	137,52

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 4. Zestawienie wyników obliczeń od obciążenia według klasy MLC 30, usytuowanego niesymetrycznie, przy założeniu, że cztery płyty pomostu przenoszą obciążenie na poprzecznice

Schemat obliczeniowy mocowania	Element konstrukcyjny	Wartość naprężeń [MPa]						
		$+\sigma_x$	$-\sigma_x$	$+\sigma_y$	$-\sigma_y$	max σ_1	max σ_2	σ_{zred}
I	Pas górny	8,85	-126,80	15,97	-19,59	16,14	-126,97	127,96
	Środek	155,61	-150,62	104,41	-104,57	172,62	-172,79	160,72
	Pas dolny	139,29	-6,74	24,80	-5,32	139,28	14,96	139,04
II	Pas górny	95,81	-64,04	27,39	-15,36	104,07	-64,07	97,62
	Środek	106,26	-108,08	86,67	-87,36	144,54	-143,62	134,41
	Pas dolny	88,16	-80,65	6,27	-23,75	88,16	-84,55	87,60
III	Pas górny	95,78	-87,63	30,41	-16,39	103,75	-87,68	94,55
	Środek	108,12	-146,65	106,29	-103,59	162,93	-183,31	169,58
	Pas dolny	88,78	-109,80	9,48	-36,71	88,78	-115,57	103,62
IV	Pas górny	92,11	-79,63	29,40	-15,82	99,88	-79,68	91,02
	Środek	105,84	-133,38	99,57	-98,12	155,96	-169,90	156,72
	Pas dolny	88,60	-98,26	8,39	-32,33	88,60	-103,36	92,80

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 5. Zestawienie wyników obliczeń od obciążenia według klasy MLC 30, usytuowanego symetrycznie, przy założeniu, że dwie płyty pomostu przenoszą obciążenie na poprzecznice

Schemat obliczeniowy mocowania	Element konstrukcyjny	Wartość naprężeń [MPa]						
		$+\sigma_x$	$-\sigma_x$	$+\sigma_y$	$-\sigma_y$	max σ_1	max σ_2	σ_{zred}
I	Pas górny	1,12	-126,84	16,84	-15,75	16,85	-126,98	128,10
	Środek	156,30	-153,04	83,43	-88,23	167,08	-166,21	156,65
	Pas dolny	132,22	-10,28	17,22	-4,53	132,22	16,67	132,19
II	Pas górny	88,17	-65,58	24,91	-14,94	92,42	-65,61	84,18
	Środek	101,92	-105,12	68,20	-71,81	118,12	-119,41	112,31
	Pas dolny	67,80	-77,29	6,61	-28,11	67,85	-83,16	74,57
III	Pas górny	26,75	-101,17	16,69	-12,86	26,78	-101,32	102,34
	Środek	132,48	-133,57	78,78	-82,84	144,79	-146,56	137,08
	Pas dolny	101,36	-21,72	4,58	-3,21	101,36	-23,81	101,47
IV	Pas górny	50,21	-87,03	16,57	-11,24	51,52	-87,17	88,10
	Środek	120,14	-121,95	74,70	-78,29	132,11	-135,54	126,88
	Pas dolny	87,10	-42,55	3,84	-11,83	87,10	45,82	87,24

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 6. Zestawienie wyników obliczeń od obciążenia według klasy MLC 30, usytuowanego niesymetrycznie, przy założeniu, że dwie płyty pomostu przenoszą obciążenie na poprzecznice

Schemat obliczeniowy mocowania	Element konstrukcyjny	Wartość naprężeń [MPa]						
		$+\sigma_x$	$-\sigma_x$	$+\sigma_y$	$-\sigma_y$	$\max \sigma_1$	$\max \sigma_2$	σ_{zred}
I	Pas górny	8,61	-126,29	16,86	-15,72	16,87	-126,45	128,05
	Środek	162,45	-161,05	91,37	-96,79	176,40	-175,81	165,25
	Pas dolny	131,12	-16,15	22,06	-6,31	131,12	21,68	131,14
II	Pas górny	93,79	-65,10	28,47	-17,21	97,58	-65,14	87,88
	Środek	104,58	-108,83	71,10	-74,86	123,19	-124,60	116,70
	Pas dolny	67,30	-81,97	6,69	-27,34	67,34	-87,43	79,64
III	Pas górny	34,91	-96,15	16,66	-12,30	34,99	9,86	97,35
	Środek	130,86	-131,14	78,45	-82,89	143,24	-144,46	135,38
	Pas dolny	96,87	-30,57	5,56	-4,99	96,83	-32,93	96,97
IV	Pas górny	54,79	-82,94	16,55	-10,78	55,88	-83,12	84,07
	Środek	121,14	-122,21	76,57	-80,91	-134,02	-137,39	128,34
	Pas dolny	84,29	-48,15	4,77	-15,54	84,33	-51,57	84,11

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 7. Zestawienie wyników obliczeń od obciążenia według klasy MLC 70, usytuowanego symetrycznie, przy założeniu, że cztery płyty pomostu przenoszą obciążenie na poprzecznice

Schemat obliczeniowy mocowania	Element konstrukcyjny	Wartość naprężeń [MPa]						
		$+\sigma_x$	$-\sigma_x$	$+\sigma_y$	$-\sigma_y$	$\max \sigma_1$	$\max \sigma_2$	σ_{zred}
I	Pas górny	2,26	-276,11	20,64	-23,36	20,80	-276,11	268,04
	Środek	311,55	-314,36	204,90	-215,58	356,02	-360,70	334,66
	Pas dolny	275,33	-6,01	36,03	-7,67	275,38	28,26	271,89
II	Pas górny	163,43	-152,27	49,08	-26,36	179,27	-152,27	165,17
	Środek	235,19	-239,90	184,38	-186,57	307,70	-310,86	286,30
	Pas dolny	180,25	-158,04	15,07	-57,71	180,33	-168,24	176,55
III	Pas górny	52,64	-224,95	24,05	-20,86	57,92	-224,95	217,66
	Środek	276,45	-282,63	197,64	-206,21	331,44	-335,59	311,06
	Pas dolny	237,33	-58,83	17,62	-11,83	237,40	-63,44	233,62
IV	Pas górny	107,42	-190,23	29,24	-19,69	117,79	-190,22	183,74
	Środek	256,25	-262,84	191,42	-196,75	321,16	-319,27	298,44
	Pas dolny	209,67	-107,43	16,69	-34,12	209,74	-114,78	205,95

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 8. Zestawienie wyników obliczeń od obciążenia według klasy MLC 70, usytuowanego niesymetrycznie, przy założeniu, że cztery płyty pomostu przenoszą obciążenie na poprzecznice

Schemat obliczeniowy mocowania	Element konstrukcyjny	Wartość naprężeń [MPa]						
		$+\sigma_x$	$-\sigma_x$	$+\sigma_y$	$-\sigma_y$	$\max \sigma_1$	$\max \sigma_2$	σ_{zred}
I	Pas górny	12,20	-246,89	18,79	-30,35	21,70	-246,89	239,71
	Środek	289,91	-288,33	203,58	-200,77	335,69	-334,05	311,54
	Pas dolny	246,43	-2,07	37,05	-8,07	246,47	22,55	244,67
II	Pas górny	152,57	-133,22	47,76	-25,29	166,39	-133,22	155,93
	Środek	219,85	-219,39	176,07	-175,37	291,08	-287,00	268,65
	Pas dolny	157,92	-140,96	12,88	-47,68	157,98	-148,79	155,97
III	Pas górny	41,26	-199,25	21,33	-21,43	44,51	-192,95	-199,25
	Środek	254,81	-254,50	189,52	-185,59	305,46	-302,08	286,36
	Pas dolny	211,62	-33,75	14,62	-6,03	211,62	-36,18	209,94
IV	Pas górny	99,54	-166,54	30,98	-18,02	108,70	-164,54	159,66
	Środek	237,06	-237,37	183,65	-181,28	300,54	-291,74	279,34
	Pas dolny	183,97	-90,69	13,69	-27,09	183,97	-95,61	182,22

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 9. Zestawienie wyników obliczeń od obciążenia według klasy MLC 70, usytuowanego symetrycznie, przy założeniu, że dwie płyty pomostu przenoszą obciążenie na poprzecznice

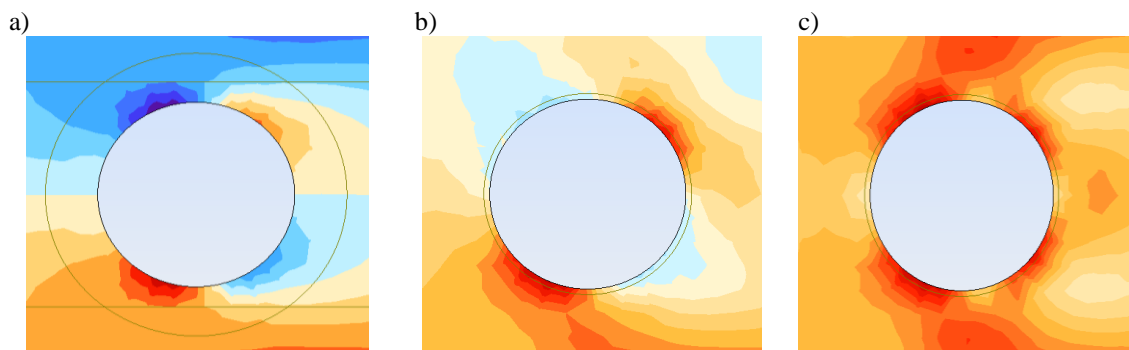
Schemat obliczeniowy mocowania	Element konstrukcyjny	Wartość naprężeń [MPa]						
		$+\sigma_x$	$-\sigma_x$	$+\sigma_y$	$-\sigma_y$	max σ_1	max σ_2	σ_{zred}
I	Pas górny	0,77	-202,51	20,94	-19,96	20,94	-203,10	202,41
	Środek	247,07	-240,28	127,09	-134,42	258,41	-244,01	244,01
	Pas dolny	209,37	-17,63	28,77	-7,76	209,37	27,98	209,37
II	Pas górny	135,56	-101,30	38,67	-20,04	141,92	-101,78	129,02
	Środek	153,51	-157,28	102,88	-108,57	177,39	-183,50	170,64
	Pas dolny	101,74	-121,30	10,39	-43,68	101,74	-130,68	117,35
III	Pas górny	39,72	-155,49	25,14	-19,65	39,72	-155,70	157,26
	Środek	203,65	-205,11	119,83	-126,26	222,31	-224,80	210,21
	Pas dolny	160,31	-32,24	7,41	-4,95	160,31	-35,58	160,39
IV	Pas górny	94,46	-122,49	26,39	-16,25	97,41	-122,70	124,03
	Środek	174,86	-178,00	110,30	-115,66	193,15	-199,01	186,12
	Pas dolny	127,03	-80,84	6,00	-25,17	127,03	-86,92	127,18

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 10. Zestawienie wyników obliczeń od obciążenia według klasy MLC 70, usytuowanego niesymetrycznie, przy założeniu, że dwie płyty pomostu przenoszą obciążenie na poprzecznice

Schemat obliczeniowy mocowania	Element konstrukcyjny	Wartość naprężeń [MPa]						
		$+\sigma_x$	$-\sigma_x$	$+\sigma_y$	$-\sigma_y$	max σ_1	max σ_2	σ_{zred}
I	Pas górny	5,14	-201,88	20,95	-21,52	20,95	-202,52	202,01
	Środek	253,11	-247,45	136,02	-144,11	267,17	-263,99	251,75
	Pas dolny	208,15	-24,21	34,20	-9,75	208,15	33,60	208,11
II	Pas górny	140,46	-100,22	43,14	-22,50	146,44	-100,75	131,89
	Środek	155,72	-160,46	105,86	-111,67	181,17	-188,58	175,36
	Pas dolny	100,66	-126,69	10,37	-42,98	100,74	-135,15	123,08
III	Pas górny	55,09	-148,13	25,09	-18,82	55,26	-148,36	149,90
	Środek	197,91	-198,00	115,99	-122,73	216,00	-217,20	203,00
	Pas dolny	153,53	-48,64	8,73	-4,96	153,53	-52,38	153,64
IV	Pas górny	101,48	-117,31	30,85	-19,18	104,32	-117,54	118,89
	Środek	175,22	-177,15	111,60	-118,11	194,62	-199,82	186,56
	Pas dolny	122,39	-89,65	6,89	-29,28	122,40	-95,87	122,40

Źródło: Opracowanie własne

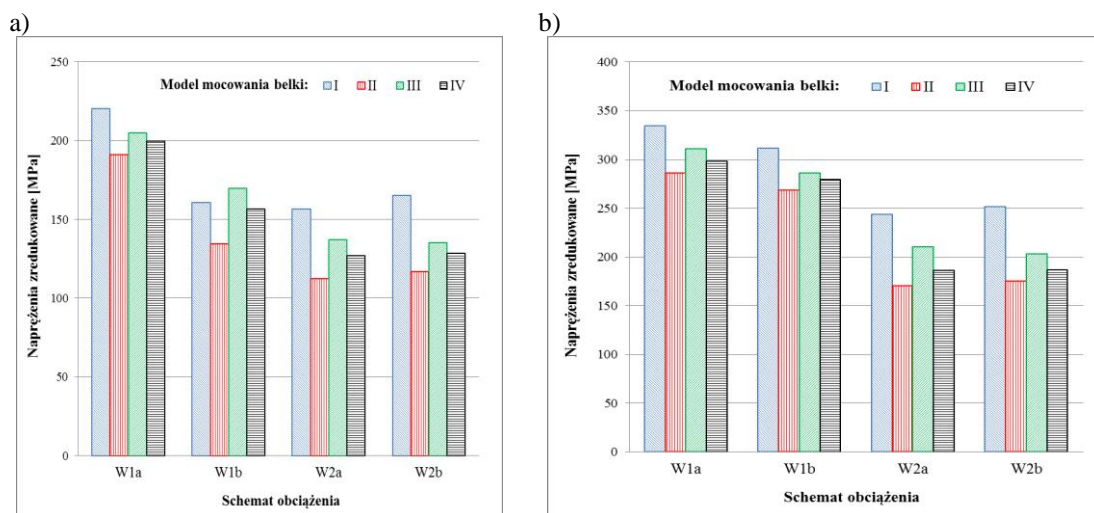


Rys. 14. Mapy rozkładów naprężeń w okolicy skrajnych otworów montażowych pochodzących od obciążenia symetrycznego dla schematu statycznego poprzecznicy traktowanej jako belka swobodnie podparta według klasy MLC 70

a) normalnych, b) głównych i c) zredukowanych

Źródło: Opracowanie własne

Analizując wyniki przedstawione w tabelach 3 – 6, należy stwierdzić, że dla obciążenia klasy MLC 30 obciążenie symetryczne przekazywane na poprzecznice poprzez cztery płyty (schemat obciążenia W1a) powodowało wystąpienie większych naprężeń w obrębie otworów montażowych znajdujących się w środku (tab. 3). Takie same wnioski można wysunąć, analizując wyniki zaprezentowane w tabelach 7 – 10, co przedstawiono na wykresach na rysunku 15. W związku z tym należy stwierdzić, że ze względu na istnienie otworów montażowych ten schemat obciążenia poprzeczniczy mostu DMS – 65 (W1a) powinien być również uwzględniany przy analizach wytrzymałościowych.



Rys. 15. Wielkość naprężeń zredukowanych w obrębie otworów montażowych w zależności od przyjętego schematu obciążenia (rys. 8 i tablica 2) i modelu zamocowania belki (rys. 11), dla obciążenia klasy a) MLC 30 i b) MLC 70

Źródło: Opracowanie własne

PODSUMOWANIE

W wyniku przeprowadzonych obliczeń i analiz wytrzymałościowych wyprowadzono wnioski o charakterze ogólnym, które powinny zostać uwzględnione podczas dalszych rozważań nad ewentualną modernizacją tego podstawowego elementu konstrukcyjnego występującego w mostach typu DMS – 65, a mianowicie:

1. Analizując mapy naprężeń przedstawione na rysunkach 12 – 14 i wyniki obliczeń podane w tabelach 3 – 10, można stwierdzić, że skrajne otwory konstrukcyjne występujące w środku belki poprzecznej mostu są znaczącymi koncentratorami naprężeń, a przez to w przyszłości podczas wieloletniej eksploatacji mogą być głównym miejscem inicjacji pęknięć zmęczeniowych. Wydaje się więc, że korzyść wynikająca ze zmniejszenia ciężaru tych elementów jest nieadekwatna w porównaniu do ewentualnego zmniejszenia trwałości tego elementu konstrukcyjnego, tym bardziej, że masa stali pochodząca z sześciu otworów konstrukcyjnych występujących w belce poprzecznej to około 11 kg, co przy masie pełnego elementu (tj. ok. 290 kg) stanowi zaledwie 3,79%.
2. Przyjęcie schematu obliczeniowego belki poprzecznej jako ustroju swobodnie podpartego (z uwzględnieniem momentów odciążających M_p) jest wystarczające tylko dla ustalenia naprężeń występujących w przekroju w połowie jej rozpiętości teore-

tycznej. Dokonane analizy wykazały jednoznacznie, że istnieje również konieczność przeprowadzania obliczeń (i analiz numerycznych) tego elementu konstrukcyjnego, przy założeniu utwierdzenia jego końców (rys. 13c,d). Taki schemat statyczny hipotetycznie mógłby również wystąpić w rzeczywistych warunkach eksploatacji mostu, zatem również powinien być brany pod uwagę w analizach wytrzymałościowych i zmęczeniowych.

LITERATURA

1. Hołownia K., *Mosty składane. Szybko, łatwo, doraźnie*, [online]. [dostęp: 12.12.2011]. Dostępny w Internecie: <http://www.mostyskładane.ker.pl/galeria.html>.
2. Marszałek J., Jarzyna R., Bryda P., Chmielewski R., Jakubowski G., Marcinkowski R., Rymśza J., *Mosty składane. Projektowanie, budowa i eksploatacja*, GDDKiA, Warszawa 2005.
3. *Zarządzenia Nr 38 Ministra Infrastruktury z dnia 26 października 2010 r. w sprawie wyznaczania wojskowej klasyfikacji obciążenia obiektów mostowych usytuowanych w ciągu dróg publicznych*, Dziennik Urzędowy Ministra Infrastruktury nr 13.
4. *Specyfikacja istotnych warunków zamówienia „Na usługę renowacji (malowania) elementów konstrukcyjnych drogowego mostu składanego (DMS-65)”*. [online]. [dostęp: 12.12.2011]. Dostępny w Internecie: <http://11rbm.wp.mil.pl/przpliki/SIWZ041PN09.pdf>.
5. *Military load classification of bridges, ferries, rafts and vehicles – Stanag 2021*, wersja 6 z dnia 7 września 2006 r.
6. *Drogowy Most Składany DMS–65. Budowa i eksploatacja*. MON, Główne Kwatermistrzostwo WP, Szef. Kom. 135/79, Warszawa 1981.

STRENGTH ANALYSIS OF TRAVERSE IN DMS-65-TYPE ASSEMBLED BRIDGE

Summary

This paper presents the strength analysis of a traverse in a DMS-65-type assembled bridge in order to identify the most strenuous places in sections. The analysis was conducted with the aim of justifying or eliminating the need to use all of the currently existing structural holes in its web.

Keywords: *assembled bridge, traverse, structural holes, strength analysis, FEM*