

Tomasz SIWOWSKI
Politechnika Rzeszowska
Zakład Dróg i Mostów

PORÓWNANIE NOŚNOŚCI NORMOWEJ I UŻYTKOWEJ TYPOWEGO PRZESŁA MOSTU KRATOWEGO

W Polsce dokonuje się zazwyczaj oceny nośności istniejących mostów według dwóch różnych procedur. Pierwsza z nich ma na celu wyznaczenie tzw. nośności projektowej, określanej na podstawie polskich norm mostowych. Druga procedura prowadzi do wyznaczenia tzw. nośności użytkowej zgodnie z prawem i instrukcją administratora dróg. W obu przypadkach obliczenia są poprzedzone inwentaryzacją geometrii, szczegółowym przeglądem uszkodzeń oraz badaniami materiałowymi. W artykule przedstawiono przykład zastosowania obu procedur do oceny nośności typowego mostu kratowego. Wykazano, że zastosowanie procedury oceny nośności użytkowej, a nie normowej, może w rezultacie prowadzić do uniknięcia zbędnych robót wzmocniających.

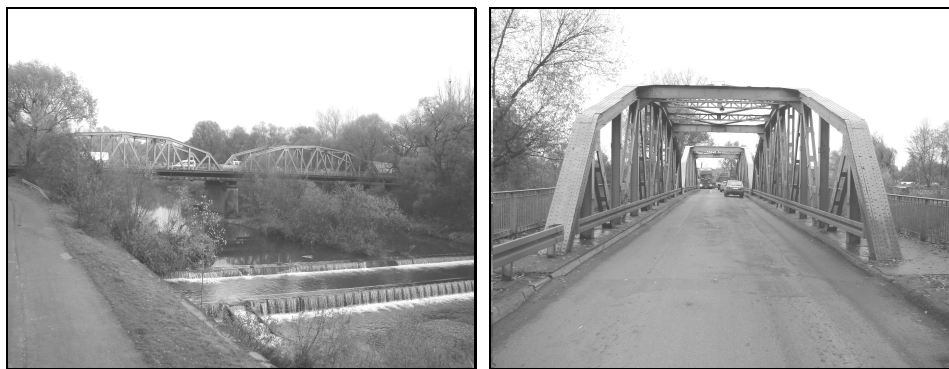
1. Wstęp

Ocena nośności istniejącego mostu jest dla administratora obiektu podstawą do podjęcia decyzji o działaniach związanych z zapewnieniem odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa mostu i jego użytkowników. Przedmiotem takiej oceny są bardzo często typowe, kratowe mosty stalowe z jazdą dołem, jakich bardzo wiele istnieje jeszcze w ciągu dróg publicznych w Polsce. Mosty te zostały zbudowane w latach 30-tych ubiegłego wieku i stanowią obecnie „wąskie gardła” na sieci polskich dróg. Ich przesła są zazwyczaj w złym stanie technicznym (korozja), a skrajnia pozioma i pionowa na moście nie odpowiadają współczesnym wymaganiom w tym zakresie. Jednocześnie ze względu na przewymiarowanie przekrojów prętów i połączeń nitowanych nośność tych konstrukcji jest niejednokrotnie wystarczająca do przenoszenia aktualnych obciążeń. Dlatego administracja drogowa często staje przed dylematem, czy taki obiekt całkowicie przebudować, czy też modernizować istniejącą konstrukcję stalową. Pierwszym krokiem do rozwiązania tego dylematu jest wnikliwa ocena nośności istniejącej konstrukcji stalowej, uwzględniająca jej rzeczywisty stan techniczny po kilkudziesięcioletniej eksploatacji. Wynik takiej oceny daje odpowiedź na pytanie, czy jest możliwa technicznie i opłacalna ekonomicznie modernizacja istniejącego przesła w celu spełnienia współczesnych wymagań.

W ostatnich latach w Polsce ocenę nośności istniejących mostów wykonuje się za pomocą dwóch różnych procedur. Pierwsza z nich ma na celu wyznaczenie tzw. **nośności projektowej**, określanej wg polskich norm mostowych [3, 4, 5]. Druga procedura prowadzi do wyznaczenia tzw. **nośności użytkowej** zgodnie z instrukcją [2]. Obie procedury prowadzą zazwyczaj do różnych wniosków końcowych, co uniemożliwia administracji drogowej podjęcie jednoznacznych decyzji dotyczących dalszej eksploatacji obiektu. W pracy przedstawiono przykład zastosowania obu procedur do oceny nośności typowego, kratowego mostu stalowego. Analizę nośności ograniczono jedynie do przęseł stalowych mostu, nie analizując nośności podpór. Przedstawiono ilościowo różnice w nośności oraz podano wnioski dotyczące stosowania obu procedur w praktyce oceny stanu mostów.

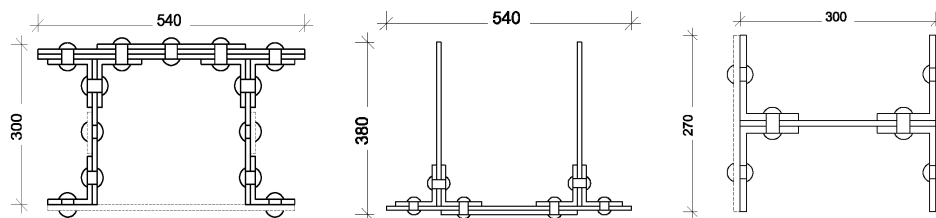
2. Opis przęsła mostu

Most drogowy przez rzekę Skawinka, położony w Skawinie w km 103+183,00 drogi krajowej nr 44 Oświęcim – Kraków, jest obiektem dwuprzęsłowym, składającym się z przęseł swobodnie podpartych o rozpiętości teoretycznej 36,2 m (rys. 1.). Na moście jest jezdnia drogowa o szerokości 5,25 m oraz obustronne chodniki o szerokości 2,55 m, umieszczone wspornikowo poza obrysem dźwigarów głównych. Przęsła mostu mają konstrukcję kratową typu W z dodatkowymi słupkami i wieszakami oraz pomost z jazdą dołem. Pręty główne kratownic mają przekroje otwarte, nitowane i są połączone wzajemnie w nitowanych węzłach. Dźwigary kratowe są stężone wiatrownicami w poziomie pasów górnych i dolnych. Pomost ma konstrukcję rusztową, złożoną z poprzecznic głównych, zamocowanych w węzłach kratownic oraz podłużnic i poprzecznic drugorzędnych. Do pasów górnych elementów rusztu są przynitowane blachy nieckowe. Na blachach nieckowych jest ułożona warstwa betonu, a na niej izolacja i dwie warstwy nawierzchni bitumicznej. W celu ustalenia rzeczywistych wymiarów prętów kratownic wykonano ich szczegółową inwentaryzację



Rys. 1. Most przez rz. Skawinkę w Skawinie

geometryczną. Na jej podstawie wyznaczono powierzchnię przekroju osłabionego (netto) i pełnego (brutto) dla czterech typowych prętów kratownicy, tj. pasa górnego, pasa dolnego, krzyżulca i słupka (rys. 2.). Wyniki obliczeń przekrojów poprzecznych netto i brutto zestawiono w tabeli 1. Na podstawie dokumentacji archiwalnej i badań materiałowych określono rodzaj stali konstrukcji przęsła jako odpowiadający gatunkowi St3S wg normy [3].



Rys. 2. Typowe przekroje poprzeczne elementów kratownicy: od lewej pas górny, pas dolny oraz krzyżulec/słupek (przekrój jednakowy)

Tabela 1. Pole powierzchni przekrojów brutto i netto głównych elementów kratownicy

Element	Przekrój brutto [cm ²]	Przekrój netto [cm ²]	Stosunek netto/brutto
Pas górny	280	221	78,9%
Pas dolny	140	120	85,7%
Krzyżulec	110	90	81,8%
Słupek	110	90	81,8%



Rys. 3. Uszkodzenia korozyjne pasa dolnego i elementów pomostu

Stan techniczny mostu po ponad 70-letniej eksploatacji jest zły. Do najpoważniejszych uszkodzeń należy zaawansowana korozja wszystkich elementów stalowych pomostu oraz dolnych elementów dźwigarów głównych, położonych pod pomostem (rys. 3.). Szczegółowe wyniki pomiarów ubytków korozyjnych w stosunku do oryginalnych przekrojów elementów podano w tabeli 2. Powodem takiego stanu jest brak sprawnego odwodnienia jezdni. Zaawansowaną destrukcją są objęte także wszystkie pozostałe elementy wyposażenia pomostu, tj. nawierzchnia, izolacja, przykrycia dylatacyjne, bariery i balustrady itp. Kolejną grupę uszkodzeń stanowią uszkodzenia mechaniczne elementów dźwigarów głównych i stężeń w poziomie pasów górnych. Uszkodzenia te są spowodowane brakiem normatywnych wymiarów skrajni poziomej i pionowej mostu (rys. 4.).

Tabela 2. Ubytek przekroju poprzecznego elementów przęseł na skutek korozji

Lp.	Element	Ubytek przekroju
1	Pas górny kratownicy	0-5%
2	Pas dolny kratownicy	10-20%
3	Krzyżulce	0-10%
4	Słupki/wieszaki	0-10%
5	Wiatrownice	0-15%
6	Poprzecznice	10-20%
7	Podłużnice	10-15%
8	Blachy nieckowe	10-30%



Rys. 4. Uszkodzenia mechaniczne rygli ram portalowych przęseł mostu

3. Procedury oceny nośności przęsła mostu

3.1. Założenia ogólne

Ocenę nośności mostu wykonano za pomocą dwóch różnych procedur, tj. określenia nośności normowej i użytkowej. Nośność normowa mostu to maksymalna klasa normowego obciążenia ruchomego wg normy [4], dla której ocenia-

ny obiekt i poszczególne jego elementy spełniają warunki stanów granicznych nośności i użytkowości zgodne z normą konstrukcyjną [3]. Nośność użytkowa obiektu mostowego to maksymalne zastępcze obciążenie ruchome (pojazd) zgodne z rozporządzeniem [6], dla którego oceniany obiekt i poszczególne jego elementy spełniają warunki stanów granicznych nośności i użytkowości zgodne z normą konstrukcyjną [3].

Zgodnie z instrukcją [2] nośność użytkowa może być wyznaczona jedną z następujących metod:

- a) poprzez wykonanie obliczeń statyczno-wytrzymałościowych na podstawie archiwalnego projektu technicznego lub szczegółowej inwentaryzacji konstrukcji oraz wyników badań diagnostycznych,
- b) poprzez wykonanie próbnego obciążenia mostu,
- c) metodą uproszczoną, zwaną metodą RYM-IBDiM [2].

W przypadku ocenianego mostu nie zastosowano metody uproszczonej, gdyż:

- a) założenia i oprogramowanie do obliczeń metodą uproszczoną nie są przystosowane do analizy pręseł kratowych,
- b) zastępcze obciążenie ruchome podane w instrukcji [2] nie jest zgodne z ostatnią nowelizacją rozporządzenia [6],
- c) instrukcja [2] nie zaleca stosowania tej metody, gdy zachował się projekt archiwalny konstrukcji obiektu; w takim wypadku instrukcja zaleca, aby nośność użytkową określić poprzez wykonanie obliczeń sprawdzających.

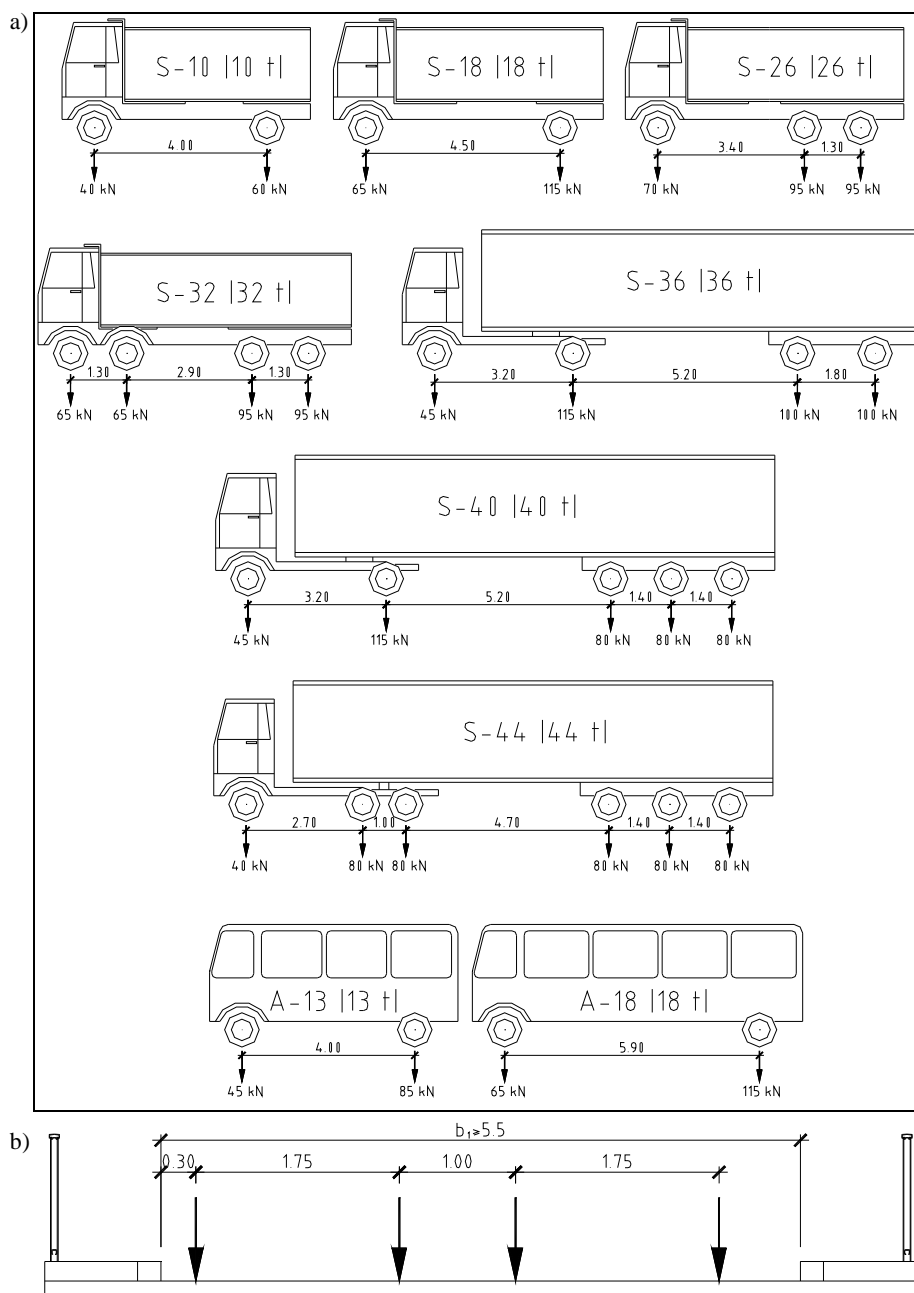
Niezgodność instrukcji [2] z ostatnią nowelizacją rozporządzenia [6] wynika z faktu, że po wejściu do UE Polska udostępniła podstawowe szlaki tranzytowe dla pojazdów spełniających wymagania Dyrektywy 96/53/EC, która dopuszcza do ruchu pojazdy ciężarowe o maksymalnym obciążeniu całkowitym 440 kN i dopuszczalnym obciążeniu na oś 115 kN.

Uwzględniając zróżnicowanie przekrojów prętów występujących w konstrukcji przęsła, uznano za zasadne generalne przyjęcie redukcji przekroju elementów rozciąganych o 20% (tabela 1.). W przypadku prętów ściskanych wpływ osłabienia przekroju pominięto zarówno przy sprawdzaniu wytrzymałości przekroju, jak również przy sprawdzaniu stateczności prętów ściskanych. W obliczeniach nie uwzględniano także dodatkowej sztywności blach węzłowych. Ponadto w obliczeniach nośności uwzględniono osłabienie elementów dźwigarów spowodowane ich korozją. Przyjęto maksymalną redukcję przekroju poprzecznego poszczególnych elementów wg pomiarów zestawionych w tabeli 2.

3.2. Modele obciążeń normowych i użytkowych

Do obliczeń nośności normowej zastosowano schematy obciążenia ruchomego odpowiadające klasom od A do E według normy [4] wraz z odpowiednimi współczynnikami dynamicznymi i obciążeniowym współczynnikiem bezpieczeństwa. Modele zastępczego obciążenia ruchomego do obliczeń nośności użytkowej przyjęto zgodnie ze znowelizowanym rozporządzeniem [6]. Schema-

ty i oznaczenia pojazdów opracowane na podstawie rozporządzenia [6] przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Schematy pojazdów rzeczywistych ustalone wg rozporządzenia [6]: a) geometria pojazdów i naciski na osie, b) rozmieszczenie pojazdów w przekroju poprzecznym przęsła mostu

W obliczeniach nośności użytkowej przęsła obciążano poszczególnymi schematami pojazdów rzeczywistych wg rys. 5., przyjmując następujące założenia:

- a) wariant I (ruch bez ograniczeń): pojazdy występują pojedynczo na każdym pasie ruchu na moście, zajmując położenie najbardziej niekorzystne z punktu widzenia obliczanej wielkości statycznej,
- b) wariant II (ruch wahadłowy): pojazdy występują pojedynczo na moście, zajmując położenie najbardziej niekorzystne z punktu widzenia obliczanej wielkości statycznej,
- c) oprócz pojazdów rzeczywistych jw. na jezdni mostu nie ma żadnych dodatkowych obciążeń ruchomych,
- d) obciążeniowy współczynnik bezpieczeństwa dla pojazdów przyjęto $\gamma_f = 1,5$ zgodnie z normą [4],
- e) współczynnik dynamiczny dla poszczególnych elementów mostu obliczono zgodnie z normą [4].

Najbardziej niekorzystne położenie pojazdu rzeczywistego z punktu widzenia obliczanej wielkości statycznej znajdowano poprzez wykonanie obliczeń dla kolejnych ustawień pojazdów, za każdym razem przesuwając pojazd (lub zespół pojazdów) o 1 m wzdłuż osi pasa ruchu, na którym pojazd się znajdował.

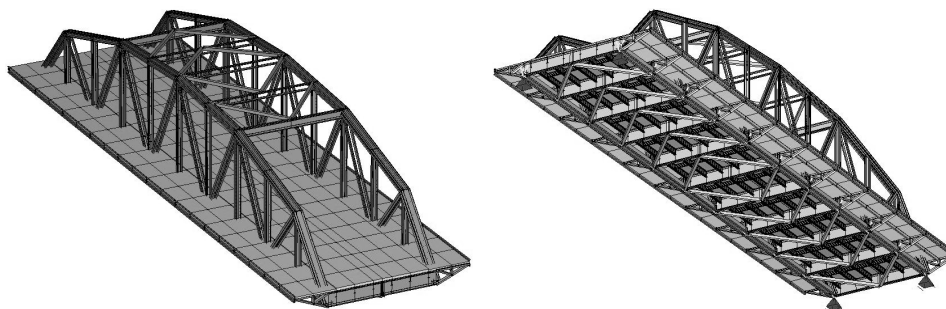
W obu procedurach obliczeniowych uwzględniono obciążenia ciężarem własnym, wyposażeniem oraz tłumem wraz z właściwymi dla nich współczynnikami obciążenia wg normy [4]. Ze względu na typ konstrukcji (konstrukcja nitowana) oraz dużą liczbę występujących w niej elementów dodatkowych (nitów, nakładek, przewiązek oraz blach węzłowych), ciężar własny konstrukcji stalowej przyjęto na podstawie przekrojów poprzecznych prętów netto i powiększono o 20%.

3.3. Metodyka obliczeń nośności przęsła mostu

Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe przęsła wykonano w systemie *Sofistik*, stosując metodę elementów skończonych. Przestrzenny model numeryczny przęsła składał się z 454 węzłów oraz 949 elementów, w tym 320 elementów powłokowych oraz 629 elementów belkowych. Elementy dźwigarów kratowych, stężeń wiatrowych oraz rusztu pomostu zamodelowano za pomocą elementów belkowych. Blachy nieckowe pomostu oraz płyty chodnikowe zamodelowano jako elementy powłokowe. Siatkę elementów modelu numerycznego przęsła pokazano na rys. 6.

W analizie nośności przęsła kratowego dość istotnym problemem jest współpraca elementów pomostu (podłużnice, poprzecznice, blacha nieckowa) z pasami dolnymi dźwigarów głównych. Współpraca ta wynika z relatywnie dużej sztywności na rozciąganie osiowe elementów pomostu, ich położenia w poziomie rozciąganego pasa dolnego, a także ze sztywnych połączeń w węzłach między poprzecznicami i pasami dolnymi kratownic. Dla oceny wpływu

współpracy pomostu na nośność przęsła mostu wykonano dwa modele numeryczne MES: model uwzględniający współpracę pomostu z dźwigarami kratowymi oraz model wyłączający taką współpracę. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki dla modelu bardziej niekorzystnego, tj. z wyłączeniem współpracy pomostu. Przeprowadzono analizę statyczno-wytrzymałościową takich głównych elementów konstrukcyjnych przęsła, jak: pas górny, pas dolny, krzyżulce, słupki i wieszaki, poprzecznice główne, poprzecznice drugorzędne i podłużnice. Obliczenia nośności blach nieckowych oraz ich połączeń przeprowadzono oddzielnie.

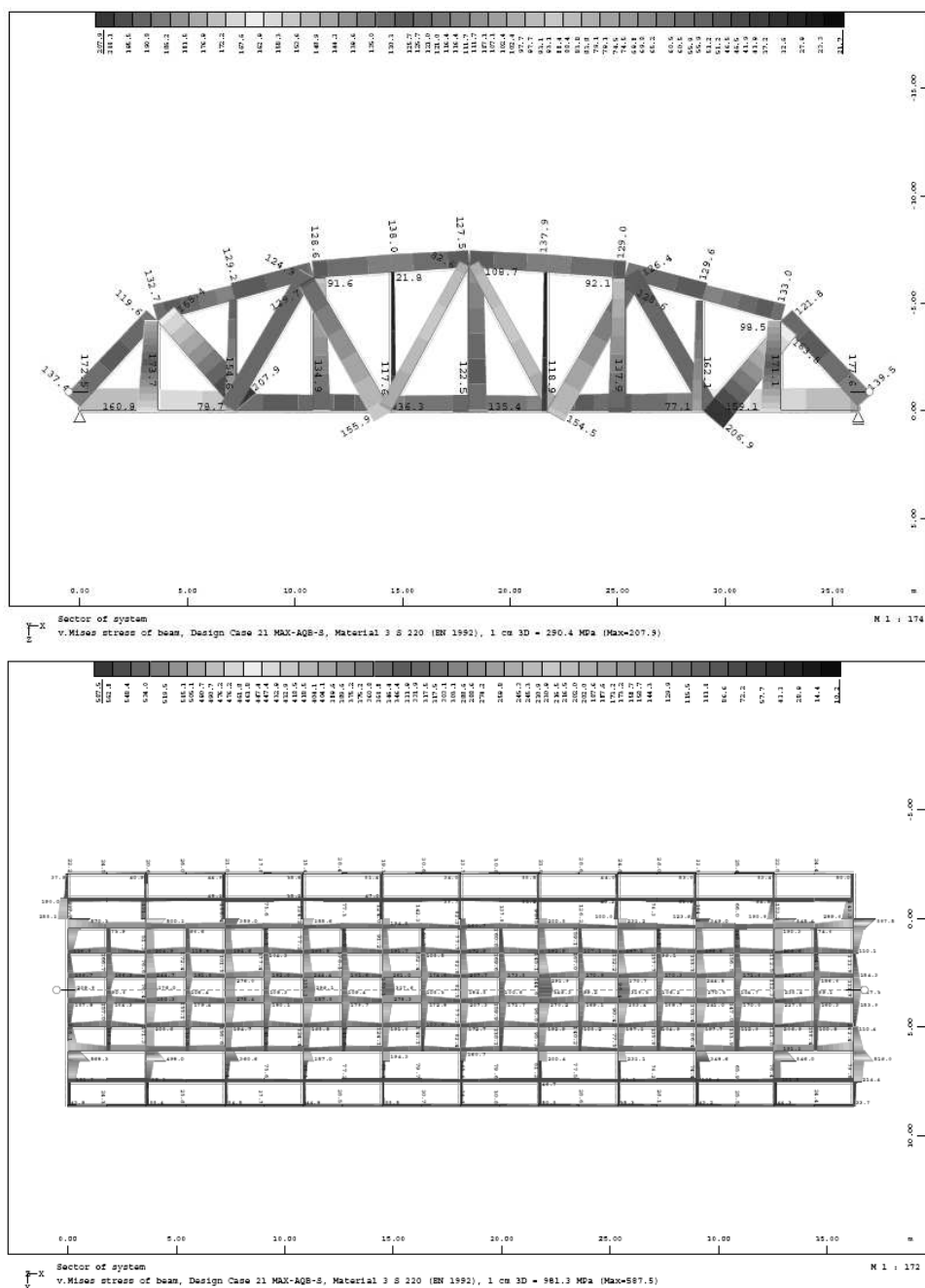


Rys. 6. Model numeryczny MES przęsła mostu

Analizę nośności mostu ograniczono do sprawdzenia stanów granicznych nośności przęsła, tj.: naprężeń w elementach dźwigara kratowego, naprężeń w elementach pomostu, sprawdzenia wybranych węzłów i połączeń nitowanych oraz sprawdzenia stateczności ogólnej przęsła. Maksymalne naprężenia wypadkowe (tzw. naprężenia *von Misesa*) w przekrojach brutto poszczególnych elementów przęsła odczytano wprost z map naprężeń, wygenerowanych w programie *Sofistik* (rys. 7.). Naprężenia te zostały następnie pomnożone przez trzy kolejne współczynniki, tj.:

- współczynnik redukcji przekroju (przekrój netto), uwzględniający osłabienie przekroju otworami na nity (wg tab. 1.),
- współczynnik wyboczeniowy (jedynie dla elementów ściskanych), obliczony zgodnie z normą [3],
- współczynnik korozji, uwzględniający osłabienie przekroju elementu ze względu na jego korozję (wg tab. 2.).

Otrzymane w wyniku zastosowania opisanej procedury tzw. naprężenia miarodajne porównano z wytrzymałością obliczeniową stali, uzyskując stopień wykorzystania nośności elementu (w %). Na podstawie oceny maksymalnego stopnia wykorzystania nośności, obliczonego dla klas od A do E obciążenia normowego wg normy [4] oraz dla poszczególnych typów pojazdów rzeczywistych wg rys. 5., ustalono nośność normową oraz nośność użytkową przęsła mostu.



Rys. 7. Mapy naprężeń wygenerowane w programie *Sofistik* dla elementów dźwigara głównego (górną) oraz elementów pomostu (dół)

Sprawdzono wybrane węzły i połączenia nitowane dla maksymalnych obliczeniowych sił wewnętrznych (N, M) w elementach mostu, odczytanych z programu *Sofistik*. Jako miarodajne przyjęto siły wewnętrzne dla maksymalnego obciążenia normowego i użytkowego, ustalonego na podstawie analizy naprężeń w elementach dźwigara i pomostu. Połączenia nitowane w dźwigarze kratowym sprawdzono wg procedury normowej [3]. Połączenia blach nieckowych sprawdzono, stosując tzw. wzory *Melana* [1].

Sprawdzono stateczność globalną przęsła dla najbardziej niekorzystnego schematu obciążenia, tj. obciążenia ciężarem własnym, ciężarem wyposażenia oraz obciążeniem ruchomym klasy A wg normy [4], z ciągnikiem K ustawionym na środku pomostu. Utratę stateczności przęsła symulowano za pomocą przestrzennego modelu numerycznego przęsła. Wynikiem tej symulacji jest wartość mnożnika do obciążenia podstawowego jw., przy którym następuje sprężysta utrata stateczności przęsła.

4. Wyniki oceny nośności przęsła

4.1. Nośność normowa

W tabelach przedstawiono wyniki obliczeń nośności normowej dla poszczególnych elementów dźwigara (tab. 3.) oraz pomostu (tab. 4.). Przedstawiono jedynie wyniki analizy dla klasy obciążenia normowego, decydującej o nośności dźwigara oraz pomostu. W tabelach podano wartość tzw. naprężenia miarodajnego, uwzględniającego osłabienie przekroju przez korozję, możliwość wyboczenia prętów ściskanych oraz przekrój netto w elementach rozciąganych. Procentowy stopień wykorzystania nośności elementu obliczono przez podzielenie naprężenia miarodajnego przez obliczeniową wytrzymałość stali St3S, przyjętą zgodnie z normą [3].

Tabela 3. Stopień wykorzystania nośności w elementach dźwigara kratowego (**klasa obciążenia normowego C** wg [4])

Lp.	Element dźwigara kratowego	Współczynnik redukcji			Naprężenia miarodajne [MPa]	Stopień wykorzystania nośności [%]
		korozja [%]	statecz.	otwory [%]		
1	Pas górny	5	1,16	78,9	138,35	69
2	Pas dolny	20	1,0	85,7	175,03	88
3	Krzyżulec rozciągany	10	1,0	82	212,60	106
4	Krzyżulec ściskany	10	1,71	82	162,83	81
5	Wieszak/Słupek	10	1,0	82	167,75	84

Tabela 4. Stopień wykorzystania nośności w elementach pomostu (**klasa obciążenia normowego D** wg [4])

Lp.	Element pomostu	Współczynnik redukcji		Napężenia miarodajne [MPa]	Stopień wykorzystania nośności [%]
		korozja [%]	otwory [%]		
1	Poprzecznica	20	85	190,15	95
2	Poprzecznica drugorzędna	15	100	101,76	51
3	Podłużnica	15	100	123,29	62

Maksymalnym obciążeniem normowym, dla którego dźwigar kratowy spełnia oceniany stan graniczny nośności, jest **klasa C** wg normy [4]. Przy tej klasie obciążenia ruchomego napężenia w prawie wszystkich elementach dźwigara kratownicowego, biorąc pod uwagę ich aktualny stan techniczny (korozja), są mniejsze lub równe wytrzymałości obliczeniowej stali. Elementem decydującym jest krzyżulec rozciągany, którego wyężenie dla klasy C wynosi 106% wytrzymałości obliczeniowej stali, natomiast dla klasy B już 129% wytrzymałości obliczeniowej stali. Dopuszczono nieznaczne (6%) przekroczenie tej wytrzymałości, biorąc pod uwagę zapas nośności wynikający ze współpracy pomostu z dźwigarem kratowym.

Maksymalnym obciążeniem normowym, dla którego belkowe elementy pomostu spełniają oceniany stan graniczny nośności, jest **klasa D** wg normy [4]. Przy tej klasie obciążenia napężenia we wszystkich elementach belkowych pomostu, biorąc pod uwagę ich aktualny stan techniczny (korozja), są mniejsze lub równe wytrzymałości obliczeniowej stali. Elementem decydującym o klasie nośności pomostu jest poprzecznica, której wyężenie dla klasy D wynosi 95% wytrzymałości obliczeniowej stali, natomiast dla klasy C już 111% wytrzymałości obliczeniowej stali.

Sprawdzono nośność węzłów i połączeń następujących elementów: połączenia wieszaka/słupka do pasa w węźle (węzeł bez krzyżulców oraz węzeł z krzyżulcami), połączenia krzyżulca do węzła oraz połączenia krawędzi blach nieckowych do belek pomostu. Połączenia nitowane sprawdzono dla maksymalnych sił wewnętrznych, generowanych przez obciążenie klasy C i D, odpowiednio dla dźwigarów i pomostu. Obliczenia wykazały, że wszystkie połączenia nitowane spełniają stany graniczne nośności wg normy [3].

Sprawdzono stateczność ogólną przęsła przez wyznaczenie wartości mnożnika do obciążenia podstawowego, przy którym następuje sprężysta utrata stateczności przęsła. W wyniku przeprowadzonych obliczeń numerycznych ustalono, że utrata stateczności przęsła występuje przy współczynniku równym 14,45, co oznacza, że zniszczenie konstrukcji poprzez sprężystą, globalną utratę stateczności może wystąpić dopiero przy ponad 14-krotnym przekroczeniu wartości obliczeniowych obciążeń normowych. W praktyce oznacza to, że utrata stateczności ogólnej przęsła poprzez globalne wyboczenie jest niemożliwa, ponie-

waż znacznie szybciej nastąpi wyczerpanie nośności przekrojów i/lub lokalna utrata stateczności poszczególnych elementów ściskanych. Zatem stateczność ogólna przeszła jest zapewniona dla obciążeń normowych.

4.2. Nośność użytkowa

W tabelach przedstawiono wyniki obliczeń nośności użytkowej dla poszczególnych elementów dźwigara kratowego (tab. 5. i 6.) oraz pomostu (tab. 7. i 8.) dla obu rozpatrywanych wariantów ustawienia obciążenia, tj. jednego lub dwóch pojazdów na moście. Przedstawiono jedynie tablice zawierające wyniki analizy dla pojazdu rzeczywistego, decydującego o nośności użytkowej dźwigara oraz pomostu. Podobnie jak dla nośności normowej w tabelach podano wartość tzw. naprężenia miarodajnego, uwzględniającego osłabienie przekroju przez korozję, możliwość wyboczenia prętów ściskanych oraz przekrój netto w elementach rozciąganych. Stopień wykorzystania nośności elementu obliczono przez podzielenie naprężenia miarodajnego przez obliczeniową wytrzymałość stali St3S, przyjętą zgodnie z normą [3].

Tabela 5. Stopień wykorzystania nośności w elementach dźwigara kratowego (**wariant I, pojazd S-36** wg [6])

Lp.	Element dźwigara kratowego	Współczynnik redukcji			Naprężenia miarodajne [MPa]	Stopień wykorzystania nośności [%]
		korozja [%]	statecz.	otwory [%]		
1	Pas górny	5	1,16	78,9	140,88	70
2	Pas dolny	20	1	85,7	176,63	88
3	Krzyżulec rozciągany	10	1	82	212,47	106
4	Krzyżulec ściskany	10	1,71	82	163,97	82
5	Wieszak/Słup	10	1	82	158,40	79

Tabela 6. Stopień wykorzystania nośności w elementach dźwigara kratowego (**wariant II, pojazd S-44** wg [6])

Lp.	Element dźwigara kratowego	Współczynnik redukcji			Naprężenia miarodajne [MPa]	Stopień wykorzystania nośności [%]
		korozja [%]	statecz.	otwory [%]		
1	Pas górny	5	1,16	78,9	119,00	60
2	Pas dolny	20	1	85,7	155,48	78
3	Krzyżulec rozciągany	10	1	82	181,44	91
4	Krzyżulec ściskany	10	1,71	82	136,04	68
5	Wieszak/Słup	10	1	82	124,93	62

Tabela 7. Stopień wykorzystania nośności w elementach pomostu (**wariant I, pojazd S-18** wg [6])

Lp.	Element pomostu	Współczynnik redukcji		Napężenia miarodajne [MPa]	Stopień wykorzystania nośności [%]
		korozja [%]	otwory [%]		
1	Poprzecznica	20	85	162,65	81
2	Poprzecznica drugorzędna	15	100	78,24	39
3	Podłużnica	15	100	101,29	51

Tabela 8. Stopień wykorzystania nośności w elementach pomostu (**wariant II, pojazd S-44** wg [6])

Lp.	Element pomostu	Współczynnik redukcji		Napężenia miarodajne [MPa]	Stopień wykorzystania nośności [%]
		korozja [%]	otwory [%]		
1	Poprzecznica	20	85	172,35	86
2	Poprzecznica drugorzędna	15	100	63,76	32
3	Podłużnica	15	100	111,53	56

Maksymalnym obciążeniem użytkowym w przypadku ruchu bez ograniczeń (wariant I), dla którego dźwigar kratowy spełnia oceniany stan graniczny nośności, jest **pojazd S-36** wg rozporządzenia [6]. Przy obciążeniu tym pojazdem naprężenia w prawie wszystkich elementach dźwigara kratownicowego, biorąc pod uwagę ich aktualny stan techniczny (korozja), są mniejsze lub równe wytrzymałości obliczeniowej stali. Elementem decydującym jest krzyżulec rozciągany, którego wyężenie dla pojazdu S-36 wynosi 106% wytrzymałości obliczeniowej stali, natomiast dla pojazdu S-40 już 113% wytrzymałości obliczeniowej stali. Podobnie jak w przypadku nośności normowej, dopuszczono nieznaczne (6%) przekroczenie tej wytrzymałości, biorąc pod uwagę zapas nośności wynikający ze współpracy pomostu z dźwigarami.

Maksymalnym obciążeniem użytkowym w przypadku ruchu wahadłowego (wariant II), dla którego dźwigar kratowy spełnia oceniany stan graniczny nośności, jest **pojazd S-44** wg rozporządzenia [6]. Przy obciążeniu tym pojazdem naprężenia we wszystkich elementach dźwigara kratownicowego są mniejsze od wytrzymałości obliczeniowej stali. Elementem najbardziej obciążonym jest krzyżulec rozciągany, którego wyężenie dla pojazdu S-44 wynosi 91% wytrzymałości obliczeniowej stali. Należy zauważyć, że pojazd S-44 jest najcięższym pojazdem wg rozporządzenia [6]. Można zatem stwierdzić, że w przypadku ograniczenia ruchu na moście do 1 pasa jezdni (ruch wahadłowy) po moście

mogą się poruszać bez ograniczeń wszystkie pojazdy dopuszczone do ruchu na drogach publicznych w Polsce.

Maksymalnym obciążeniem użytkowym w przypadku ruchu bez ograniczeń (wariant I), dla którego belkowe elementy pomostu spełniają oceniany stan graniczny nośności, jest **pojazd S-18** wg rozporządzenia [6]. Przy obciążeniu tym pojazdem naprężenia we wszystkich elementach belkowych pomostu, biorąc pod uwagę ich aktualny stan techniczny (korozja), są mniejsze lub równe wytrzymałości obliczeniowej stali. Elementem decydującym o klasie nośności pomostu jest poprzecznica, której wyężenie dla pojazdu S-18 wynosi 81% wytrzymałości obliczeniowej stali, natomiast dla kolejnego pojazdu S-26 już 113% wytrzymałości obliczeniowej stali.

Maksymalnym obciążeniem użytkowym w przypadku ruchu wahadłowego (wariant II), dla którego belkowe elementy pomostu spełniają oceniany stan graniczny nośności, jest **pojazd S-44** wg rozporządzenia [6]. Przy obciążeniu tym pojazdem naprężenia we wszystkich elementach pomostu są mniejsze od wytrzymałości obliczeniowej stali. Elementem najbardziej obciążonym jest krzyżulec rozciągany, którego wyężenie dla pojazdu S-44 wynosi 86% wytrzymałości obliczeniowej stali. Zatem w przypadku ograniczenia ruchu na moście do 1 pasa jezdni (ruch wahadłowy) również po pomoście mogą się poruszać bez ograniczeń wszystkie pojazdy dopuszczone do ruchu na drogach publicznych w Polsce.

Ponieważ siły wewnętrzne w poszczególnych prętach kratownicy i elementach pomostu generowane przez pojazdy rzeczywiste są mniejsze od sił wywoływanych normowymi klasami obciążenia, nie sprawdzano ponownie połączeń nitowanych. Na podstawie obliczeń przeprowadzonych dla nośności normowej można stwierdzić, że połączenia nitowane mają nośność użytkową nie niższą niż nośność elementów, które łączą.

4.3. Porównanie nośności normowej i użytkowej

Porównanie nośności normowej oraz użytkowej mostu przedstawiono w tabeli 9. Jak wynika z zestawionych wyników obliczeń, w przypadku obciążenia pojazdami obu pasów jezdni na moście nośność normowa jest zbliżona do nośności użytkowej. Potwierdza to ogólnie przyjętą tezę, stosowaną przy wyznaczaniu nośności istniejących mostów na podstawie norm do ich projektowania [3, 4]. Pomimo że oficjalnie tabela 5. w normie [4], podająca całkowite ciężary pojazdów dopuszczonych do eksploatacji w zależności od klasy obciążenia ruchomego, została dawno wycofana, podane w niej wartości są często wykorzystywane do oceny nośności i wprowadzania ograniczeń na istniejących mostach. I jak pokazano w tabeli 9., nie są to wartości bardzo różniące się od nośności użytkowej, wyznaczonej na podstawie rozporządzenia [6].

Nośność normowa jest jednak całkowicie zaniżona w przypadku możliwości wprowadzenia na moście ruchu po jednej jezdni (np. ruchu wahadłowego). Zastosowanie charakterystyk obciążeniowych rzeczywistych pojazdów użytko-

wych zgodnie z rozporządzeniem [6] nie tylko umożliwia sprawdzenie takiej możliwości ograniczenia ruchu, lecz pozwala wykazać znacznie wyższą nośność użytkową mostu, a w analizowanym przypadku brak konieczności wprowadzania jakichkolwiek ograniczeń w ciężarze pojazdów. W rezultacie zastosowania procedury oceny nośności użytkowej jest bardzo prawdopodobne uniknięcie zbędnych robót wzmacniających, np. w przypadku, gdy jest możliwe wprowadzenie (na stałe lub tymczasowo) ograniczeń w organizacji ruchu na moście.

Tabela 9. Porównanie nośności normowej i użytkowej przęsła mostu

Lp.	Element mostu	Nośność normowa wg [4]		Nośność użytkowa wg [6]			
		klasa	ciężar całkowity [t]	Wariant I		Wariant II	
				pojazd	ciężar całkowity [t]	pojazd	ciężar całkowity [t]
1	Dźwigar kratowy	C	30	S-36	36	S-44	44
2	Pomost	D	20	S-18	18	S-44	44

5. Podsumowanie

W świetle opisanej analizy można stwierdzić, że w celu ustalenia rzeczywistej nośności obiektu mostowego znacznie korzystniejsze jest operowanie tzw. nośnością użytkową niż nośnością normową. Nośność użytkowa jest bowiem zazwyczaj wyższa od nośności normowej, odpowiada rzeczywistym pojazdom poruszającym się po drogach publicznych (dodatkowo zunifikowanym w ramach całej UE), a procedura jej wyznaczania umożliwia uwzględnianie różnych wariantów organizacji (ograniczeń) ruchu drogowego. Dodatkowy zapas nośności użytkowej tkwi w kalibracji wartości obciążeniowego współczynnika bezpieczeństwa, który w opisanej analizie przyjęto $\gamma_f = 1,5$, jak dla obciążenia normowego wg [4], co jednak jest wartością znacząco zawyżoną w przypadku pojazdów rzeczywistych.

Z trzech sposobów ustalania nośności użytkowej wg instrukcji [2] wykonanie obliczeń statyczno-wytrzymałościowych na podstawie archiwalnego projektu technicznego lub szczegółowej inwentaryzacji konstrukcji oraz wyników badań diagnostycznych jest metodą najbardziej racjonalną. Sposób uproszczony ma bowiem zbyt duże uogólnienia (np. nie pozwala wyznaczyć elementu/przekroju decydującego o nośności przęsła), a wykonanie próbnego obciążenia jest drogie i czasochłonne. Analiza statyczno-wytrzymałościowa przeprowadzona z wykorzystaniem modelu numerycznego MES pozwala dodatkowo na uwzględnienie w ocenie nośności efektów drugorzędnych (np. współpraca pomostu z dźwigarami kratowymi), których nie bierze się zazwyczaj pod uwagę w typowych obliczeniach projektowych.

Przeprowadzona ocena nośności mostu w Skawinie była podstawą dla administratora obiektu do podjęcia decyzji o dalszych działaniach, związanych

z zapewnieniem odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa mostu i jego użytkownikom. Ponieważ nie jest możliwa natychmiastowa przebudowa obiektu, do wyboru pozostały 3 możliwości:

- a) wprowadzenie ograniczenia nośności mostu do 18 ton bez ograniczeń w organizacji ruchu,
- b) wprowadzenie ograniczenia w organizacji ruchu na moście (ruch wahadłowy) bez ograniczeń nośności mostu,
- c) wzmocnienie krytycznych elementów mostu (krzyżulce rozciągane, poprzecznice) bez ograniczeń nośności mostu.

Ze względu na charakter i natężenie ruchu na drodze krajowej administrator zdecydował się na wzmocnienie obiektu, które zapewni możliwość przejazdu przez most wszystkim pojazdom dopuszczonym do ruchu na drogach publicznych w Polsce, bez ograniczeń w organizacji ruchu. Jednocześnie planuje się wykonanie najważniejszych prac zapewniających bezpieczne i bezawaryjne funkcjonowanie obiektu przez kilka lat, do czasu planowanej jego całkowitej przebudowy.

Piśmiennictwo

- [1] Danielski L.: Mosty metalowe. Wrocław 1983.
- [2] Instrukcja do określania nośności użytkowej drogowych obiektów mostowych. Zarządzenie nr 17 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 1.06.2004 r., Warszawa 2004.
- [3] PN-82/S-10052. Obiekty mostowe. Konstrukcje stalowe. Projektowanie.
- [4] PN-85/S-10030. Obiekty mostowe. Obciążenia.
- [5] PN-91/S-10042. Obiekty mostowe. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Projektowanie.
- [6] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 31 grudnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia (Dz.U. Nr 32, poz. 262, wraz z późniejszymi zmianami).

THE COMPARISON OF CODE AND SERVICE LOAD CAPACITY OF A TYPICAL STEEL TRUSS BRIDGE

S u m m a r y

In Poland the evaluation of a load carrying capacity for a bridge is usually carried out according to two various procedures. The former aims at a calculation of bridge code capacity according to Polish bridge standards. The latter leads to assess so called service carrying capacity according to Polish law and highway administration instructions. In both cases the capacity evaluation is followed by detailed bridge geometry and state of repair inventory as well as material testing. In the paper the application of both procedures for load carrying capacity evaluation of a typical steel truss bridge has been presented. As a result it has been pointed out, that the application of service load capacity evaluation could lead to avoid needless strengthening works on a bridge.

Złożono w redakcji w sierpniu 2008 r.