



Analiza zmodernizowanej nawierzchni mostu składanego DMS-65

JAN MARSZAŁEK, RYSZARD CHMIELEWSKI

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji,
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

Streszczenie. W artykule przedstawiono most składany DMS-65, który może być wykorzystany do budowy objazdów lub przepraw tymczasowych, związanych z usuwaniem skutków klęsk żywiołowych lub działań celowych. Częste wykorzystywanie tych mostów do budowy przepraw w warunkach cywilnych wymaga zwrócenia uwagi na zachowanie podstawowych zasad ekologicznych. W związku z tym zaprezentowano rozwiązania proekologiczne, dotyczące nawierzchni mostu.

Słowa kluczowe: mosty składane, nawierzchnia mostu, przeprawy tymczasowe

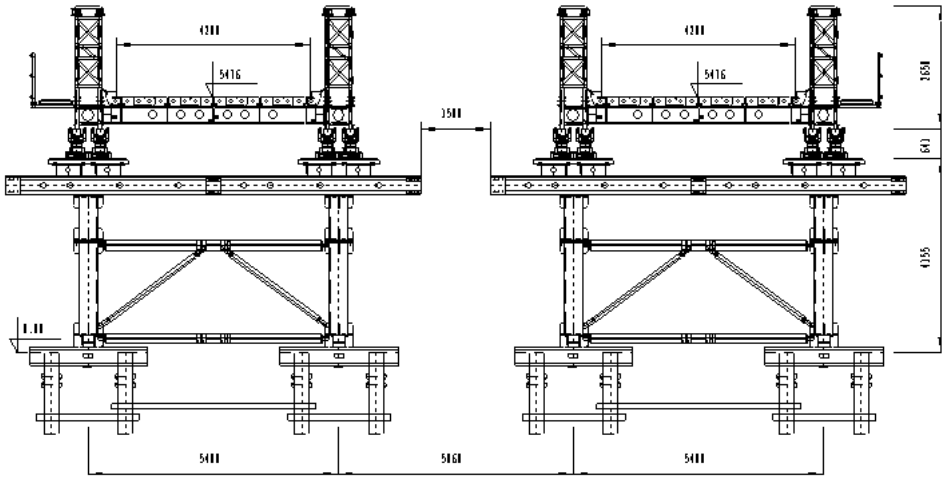
Symbol UKD: 624.21.033

1. Wprowadzenie

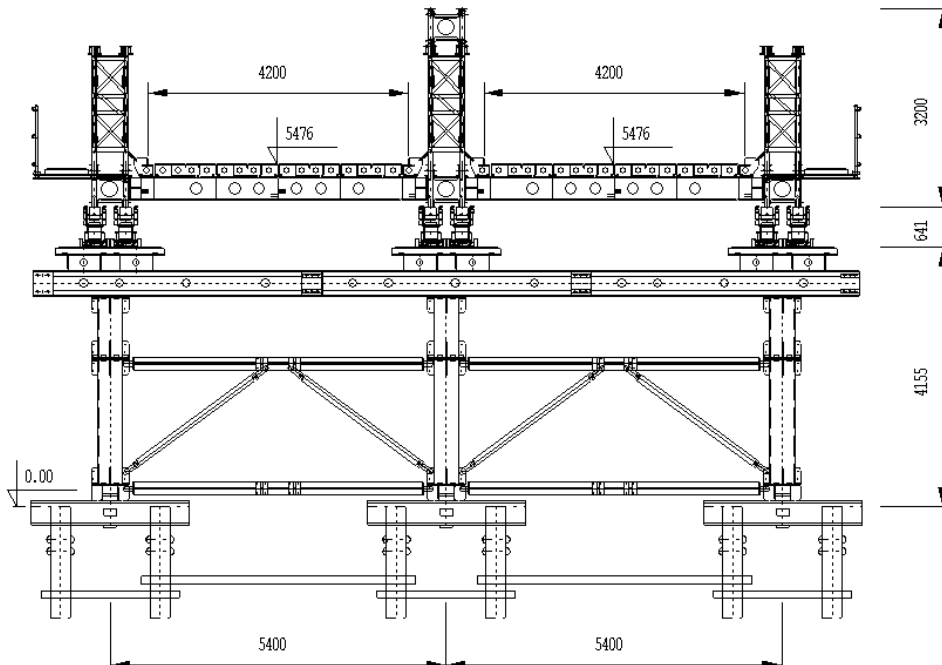
Zmiana doktryny obronnej RP powoduje, że znaczna ilość różnego rodzaju sprzętu wojskowego będzie przekazywana z uzbrojenia do gospodarki narodowej. W tym sprzęcie niemałą część będą stanowić składane konstrukcje mostowe, które do chwili obecnej są magazynowane na różnych składach w rejonach przewidywanych przepraw. Zasadniczy trzon mostów wojskowych stanowi drogowy most składany DMS-65. Powstaje więc problem zagospodarowania tych konstrukcji do budowy obiektów komunikacyjnych o przeznaczeniu cywilnym. Konstrukcje te mogą również znaleźć szerokie zastosowanie do odbudowy lub remontu infrastruktury komunikacyjnej zniszczonej w wyniku klęsk żywiołowych lub innych kataklizmów.

W pracy [1] i [2] dokonano analizy teoretycznej i zaproponowano rozwiązania koncepcyjne adaptacji konstrukcji mostu DMS-65 do eksploatacji w warunkach cywilnych. Podstawowym mankamentem typowej konstrukcji DMS-65 jest szerokość jezdni, która wynosi 4,2 m, co sprawia, że most ten może być tylko w układzie

jednokierunkowym. Most jednokierunkowy w zastosowaniach cywilnych jest mało atrakcyjny z uwagi na przewidziany ruch. Przy małym ruchu w układzie dróg gminnych most jednokierunkowy mógłby być stosowany pod warunkiem świetlnego



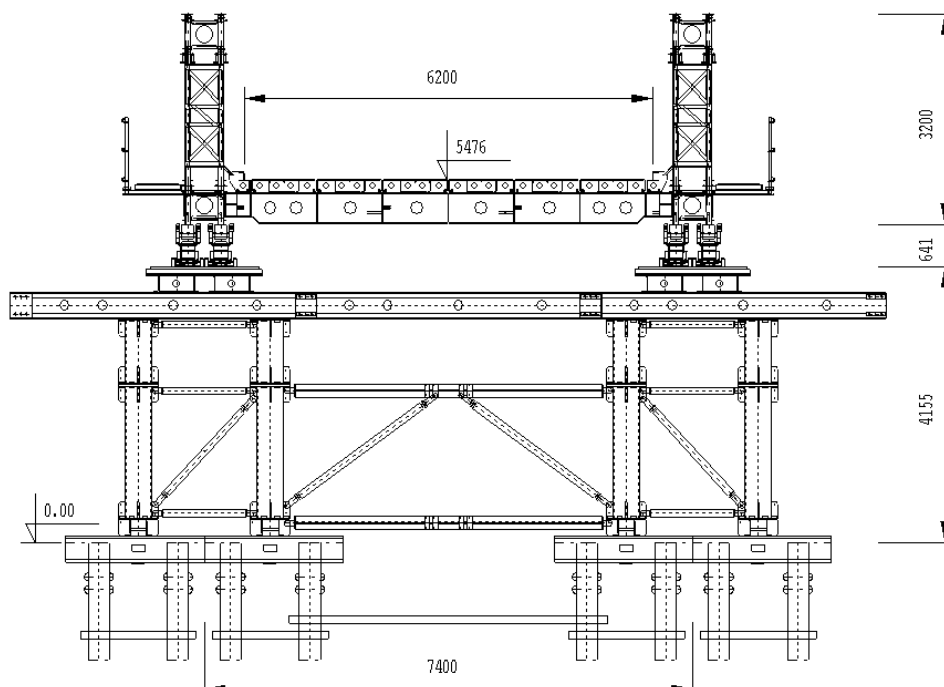
Rys. 1.1. Dwa mosty w układzie podstawowym



Rys. 1.2. Most trzydźwigarowy z dwiema jezdniami

sterowania ruchem. W przypadku dużego ruchu należałoby budować dwa niezależne mosty, każdy na danym kierunku ruchu (rys. 1.1) lub most zespolony z dwoma jezdniami (rys. 1.2), co znacznie zwiększyłoby koszty budowanej przeprawy.

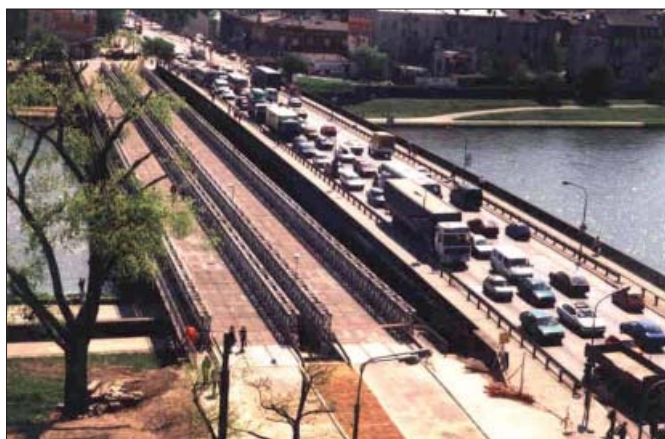
Konstrukcji mostów składanych o szerokości jezdni 6 m (np. MS-54 — most „Syreny” w Warszawie) praktycznie jest już niewiele. Natomiast na składach Ministerstwa Infrastruktury znajdują się duże ilości mostów DMS-65 (ok. 4 km), co w przyszłości będzie stanowić znaczące zaplecze techniczne do budowy przepraw z tych konstrukcji. Biorąc to pod uwagę, w niniejszym artykule zaprezentowano efekty praktyczne, związane z poszerzeniem tego mostu dla celów cywilnych, czyli przejście z układu jednokierunkowego na dwukierunkowy (rys. 1.3).



Rys. 1.3. Most w układzie podstawowym wzmocniony nakładką z przedłużoną belką poprzeczną

Na podstawie wieloletnich doświadczeń w projektowaniu i wykonawstwie różnorodnych obiektów inżynierskich (mostów, wiaduktów, estakad) w prowadzonych pracach uzasadniono potrzebę adaptacji i modernizacji istniejących rozwiązań konstrukcyjno-technologicznych wojskowych konstrukcji składanych (WKS), w tym szczególnie DMS-65.

Przykłady praktycznych zastosowań mostu DMS-65 zaprezentowano na fotografiach nr 1 i 2.



Fot. 1. Dwa mosty objazdowe (układ podstawowy na podporach z rur stalowych) — rz. Wisła, m. Kraków w 1998 r.



Fot. 2. Most objazdowy z konstrukcji DMS-65 (układ podstawowy trzydziźwigarowy na wspólnych podporach z rur stalowych), dźwigary środkowe wzmocnione — rz. Wisła, m. Fordon k. Bydgoszczy w 2001 r.

2. Przesłanki modernizacyjne jezdni mostu DMS-65

2.1. Wady konstrukcji DMS-65 w zastosowaniach cywilnych

Na podstawie obserwacji zachowania się zmodernizowanej konstrukcji DMS-65 w trakcie eksploatacji zaobserwowano następujące wady:

1. Płyty pomostu obciążają belkę poprzeczną niesymetrycznie, co powoduje skręcanie belek poprzecznych i wywołuje przenoszenie dużych obciążeń na

układ węzłów mocujących je, węzły te wbudowane są do kształtowników ceowych słupków pionowych kratownic przestrzennych.

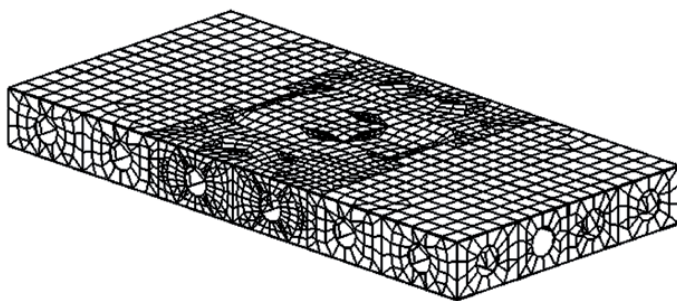
2. Obciążenie ruchome wprowadza płyty pomostu w drgania, co powoduje duży hałas oraz wskutek przemieszczeń pionowych płyty pomostu uwalniają się z gniazd mocujących je z górnym pasem belek poprzecznych.
3. Obecnie eksploatowana nawierzchnia ma nośność w klasie obciążenia C.

W związku z tym podjęto problem takiego zaprojektowania pomostu DMS-65, aby uniknąć bardzo ważnych mankamentów, jakie ma obecna konstrukcja. W wyniku zastosowania proponowanych w niniejszym artykule rozwiązań atrakcyjność zmodernizowanej konstrukcji DMS-65 będzie znacznie wyższa niż konstrukcji będącej w dotychczasowej eksploatacji.

Ponieważ na terenie składowisk komunikacyjnych rezerw państwowych zgrupowana jest znaczna ilość zinwentaryzowanych zestawów konstrukcji mostów drogowych typu DMS-65, poprawienie parametrów techniczno-eksploatacyjnych winno zachęcić zainteresowanych do szerszego wykorzystania zmodernizowanego mostu drogowego DMS-65 o nawierzchni bitumicznej, szerokości 6,20 m [2] i przystosowanego do klasy obciążenia B.

2.2. Ocena nośności obecnej płyty jezdni

Przeprowadzono analizę nośności płyty jezdnej dla przypadku obciążenia w klasie B. W tym celu dokonano analizy komputerowej pracy płyty obciążonej kołem pojazdu normowego, wykorzystując program Robot Millenium (rys. 2.1).



Rys. 2.1. Przestrzenny model płyty ortotropowej mostu DMS-65

Płyta została zamodelowana w postaci przestrzennego układu elementów powłokowych (paneli) i obciążona w środku rozpiętości śladem koła pojazdu normatywnego K. Do obliczeń w klasie B przyjęto następujące obciążenia:

— na ślad koła: $P_K = 115,6 \text{ kN}$,

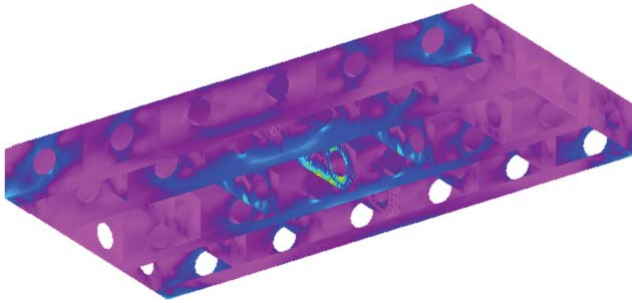
stąd wartość obciążenia jednostkowego na śladzie styku wynosi:

$$q_K = 963 \text{ kPa.}$$

Dodatkowo płytę obciążono ciężarem własnym oraz obciążeniem równomiernym na całej powierzchni pomostu o wartości:

$$q = 3,45 \text{ kPa.}$$

Na podstawie wyników analizy numerycznej opracowanego modelu stwierdzono, że maksymalne naprężenia w dolnej części pasa żebra poprzecznego płyty osiągają maksymalną wartość 356 MPa (rys. 2.2).



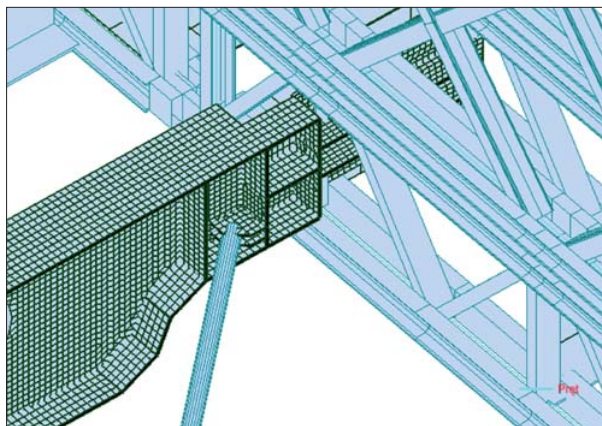
Rys. 2.2. Mapa rozkładu naprężeń w płycie pomostu pod kołem pojazdu K

Łącznie w całej płycie wartości dopuszczalne naprężeń zostały przekroczone w sześciu elementach powłokowych. W wypadku przyjęcia mostu DMS-65 do warunków normalnej eksploatacji w układzie obciążeń podstawowych liczba przeciążonych elementów powłokowych wzrasta do około trzydziestu, tak więc pomost tego typu obiektów umożliwia ich eksploatację tylko pod obciążenia klasy C. Można warunkowo dopuścić krótkotrwałą (maksymalnie do kilku miesięcy) eksploatację pod obciążeniami klasy B tylko w wypadku warunków wyjątkowych, ograniczając prędkość pojazdów na obiekcie.

2.3. Ocena nośności wydłużonej belki poprzecznej

W celu określenia wpływu nieosiowego przekazywania obciążenia z płyt pomostu na belkę poprzeczną opracowano dla niej powłokowy model numeryczny. W modelu uwzględniono zarówno grubości poszczególnych elementów, jak i charakterystykę pracy w gniazdach połączeń z kratownicą przestrzenną oraz w gniazdach wiatrownic.

Dwa powłokowe modele zmodernizowanej belki poprzecznej wstawiono do konstrukcji przęsłowej o rozpiętości 21,0 m, szczegół połączenia zamodelowanej belki poprzecznej z elementami konstrukcji przęsłowej przedstawiono na rysunku 2.3.



Rys. 2.3. Konstrukcja połączenia belki poprzecznej z kratownicą przestrzenną i wiatrownicą w moście DMS-65

W celu określenia deformacji belki przyjęto wartość charakterystyczną obciążenia pojazdem dla klasy C. Siły od tego obciążenia przyłożono w dwóch parach węzłów zlokalizowanych w miejscach występowania gniazd ortotropowych płyt jezdniowych. Wartości sił określono zgodnie z linią wpływu obciążenia dla następujących wariantów:

- koła pojazdu znajdują się na płytach pomiędzy belkami poprzecznymi modułu mostu,
- koła pojazdu znajdują się na płytach w miejscu połączenia modułów,
- dodatkowo w celu określenia wpływu mimośrodowego przekazywania obciążenia wykonano również obliczenia dla wariantu, w którym obciążenia na belkę poprzeczną przekazywane jest osiowo.

We wszystkich powyższych wariantach analizę przeprowadzano zarówno z uwzględnieniem sił hamowania, jak i bez nich.

Na podstawie obliczeń, wykonanych na modelu opisanym powyżej określono wartości deformacji konstrukcji, tj. różnicy przemieszczeń poziomych górnej i dolnej półki oraz kąta obrotu, które zestawiono w tabeli 2.1.

Na podstawie przedstawionych wyników można stwierdzić, że samo mimośrodowe przekazywanie obciążeń powoduje skręcanie belki poprzecznej w zakresie 3,4 cm w warunkach przejazdu obciążenia bez hamowania na obiekcie. Przemieszczenie poziome górnego pasa belki dla tego wariantu wynosi rzędu ~8,2 mm. W wypadku gdyby obciążenie to przekazywane było osiowo, skręcanie belki pod wpływem normalnej eksploatacji praktycznie by nie następowało.

Wartości deformacji belki poprzecznej znacznie rosną w wypadku uwzględnienia całości sił hamowania, w przypadku hamowania pojazdu na pomoście z mimo-

TABELA 2.1

Przemieszczenia pionowe, poziome i kątowne belki poprzecznej pod obciążeniem pojazdem K klasy C obciążeń

	bez sił hamowania		z siłami hamowania	
	obciążenie w gniazdach płyt	obciążenie osiowe	obciążenie w gniazdach płyt	obciążenie osiowe
różnica przemieszczeń [mm]	18,77	0,01	44,84	27,36
zakres pracy belki poprzecznej [mm]	33,92	0,00	78,62	52,15
kąt obrotu [°]	1,85 ÷ – 1,50 3,35	0,01	4,43 ÷ – 3,34 7,79	2,45 ÷ – 2,70 5,16

środkowym przekazywaniem obciążeń maksymalne przemieszczenia poziome górnej półki wynoszą 23,6 mm. Ortotropowe płyty pomostu nie są obecnie mocowane do belek poprzecznych, więc nie stanowią usztywnienia konstrukcji pomostu i pod wpływem obciążeń często wyskakują ze swoich gniazd na belce poprzecznej.

Reasumując, należy stwierdzić, iż celowe jest zaprojektowanie nowej nawierzchni na moście DMS-65, która powinna zapewnić zarówno osiowe przekazywanie obciążeń na poprzecznice, jak i sam ruszt powinien stanowić usztywnienie całego pomostu.

3. Koncepcja nowej nawierzchni

Z analizy przedstawionej w punkcie 2.3 wynika, że bardzo niekorzystnym zjawiskiem jest niesymetryczne obciążenie belek poprzecznych, co powoduje ich skręcanie, a tym samym duże obciążenie na układ wiatrownicowy, przez co następuje szybkie wybijanie się połączeń bolcowych. Powstające luzy w połączeniach wiatrownic powodują zmniejszanie sztywności poziomej mostu oraz tworzą kolejne źródła hałasu.

W związku z tym należy zmienić dotychczasową konstrukcję nawierzchni, wprowadzając belki podłużne, które występują w większości mostów składanych.

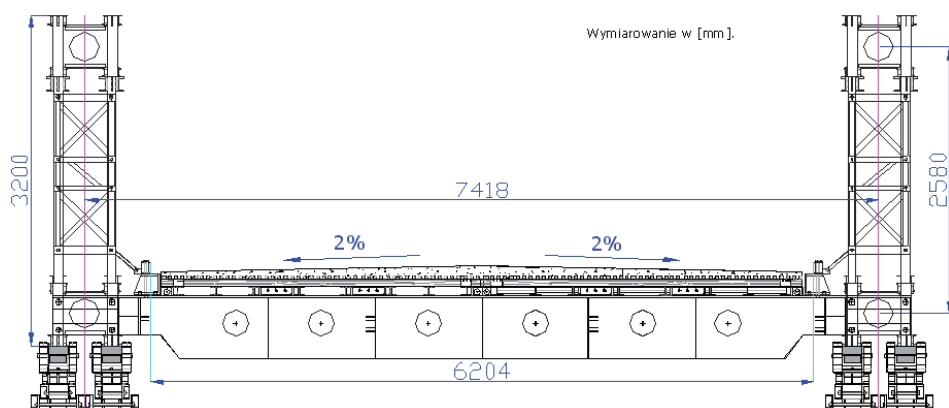
W artykule zaproponowano dwa warianty konstrukcji nawierzchni:

Wariant I — polega na zachowaniu dotychczasowych belek poprzecznych z wprowadzeniem zamiast płyt jezdnych rusztów poziomych z układem podłużnic o wymiarach w planie jak dotychczasowe płyty.

Wariant II — polega na wprowadzeniu rusztu z belek podłużnych ułożonego na poprzecznicach o wymiarach w planie $3 \times 2,8$ m.

3.1. Opis koncepcji

Podstawowym założeniem nowej koncepcji jest całkowita zmiana dotychczasowego pomostu jezdni. Zamiast obecnie stosowanych płyt proponuje się zastosowanie rusztu belek podłużnych mocowanych osiowo do wydłużonych belek poprzecznych. Osiowe przekazywanie obciążeń na poprzecznice wyeliminuje zjawisko ich skręcania. Układ podłużnic pokryty będzie pomostem drewnianym, na którym układa się nawierzchnię bitumiczną. Takiego typu rozwiązanie było wielokrotnie stosowane na mostach innych typów (np. most „Syreny” w Warszawie z konstrukcji MS-54) i praktycznie sprawdziło się. Schemat proponowanego pomostu przedstawiono na rysunku 3.1.



Rys. 3.1. Przekrój poprzeczny zmodernizowanego pomostu z nawierzchnią bitumiczną

3.2. Opis nawierzchni jezdni

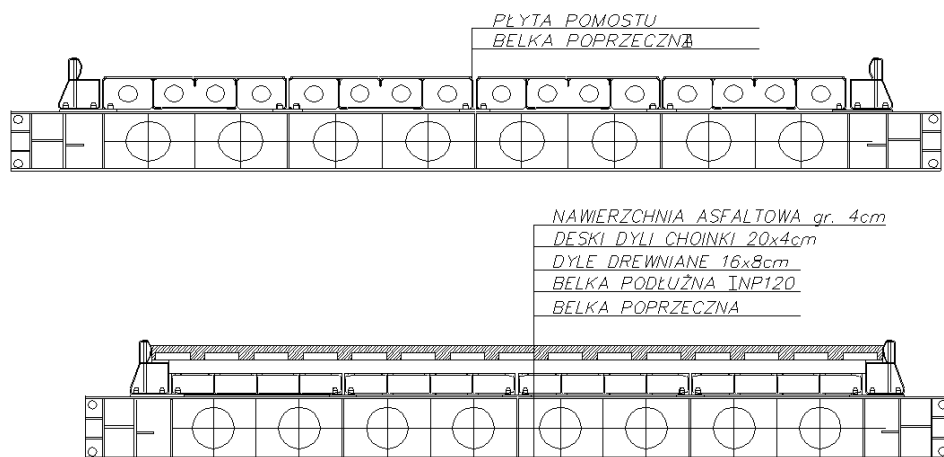
Dylina jezdni zbudowana jest z bali sosnowych zaimpregnowanych, klasa drewna sosnowego C24, wymiary: grubość 8 cm, szerokość 18 cm i długość 300 cm. Szczelina między dylami wynosi 6 mm, tworzona jest grubością stalowych płytek oporników przyspawanych do górnego pasa stalowych skrajnych belek w każdym segmencie rusztu. Na dylinie ułożone zostaną deski „choinki” wykonane z listewek sosnowych o wymiarach 3 × 3 cm.

Na pomoście wykonanym z dyliny wraz z opornikiem w postaci „choinki” wbudowana zostanie bitumiczna warstwa wiążąca z asfaltu lanego na gorąco o grubości od 4 cm na skraju jezdni do 8 cm w osi podłużnej jezdni. Na warstwie wiążącej zostanie ułożona bitumiczna warstwa ścieralna o grubości od 2 cm na skraju jezdni do 4 cm w osi podłużnej jezdni. Nawierzchnia będzie pełniła również funkcję warstwy izolacyjnej dzięki wysokiej szczepności z dyliną drewnianą.

3.3. Opis rusztu podłużnic

Stalowa konstrukcja rusztu przenosi obciążenia (stałe) konstrukcyjne od ciężaru nawierzchni bitumicznej, ciężaru dyliny i od obciążeń ruchomych pojazdami kołowymi w klasie B.

Wariant I — oparty na standardowym rozwiązaniu konstrukcji DMS-65, w którym płyty jezdne zastąpiono rusztami belek podłużnych o wymiarach 2×1 m, tak jak płyty jezdne. Rozwiązanie to przedstawiono na rysunku 3.2.



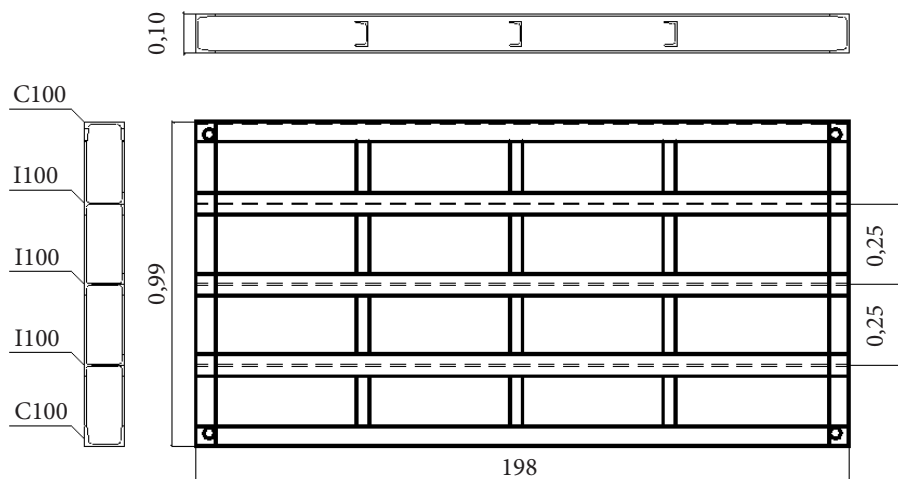
Rys. 3.2. Przekrój poprzeczny nawierzchni mostu DMS-65: a) rozwiązanie tradycyjne; b) wariant po modernizacji nawierzchni

Propozycja modernizacji mostu dla tego wariantu zasadniczo polega na zaprojektowaniu koncepcji układu belek podłużnych, pozwalającej na ułożenie dyli drewnianych i nakładki asfaltowej.

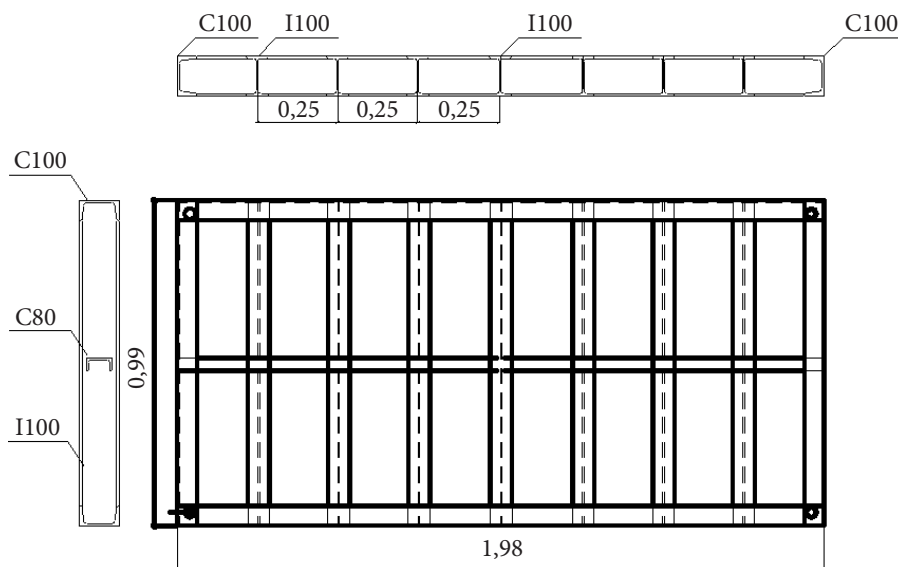
Rozstaw osiowy belek poprzecznych w moście DMS-65 wynosi 1 m i 2 m. W wyniku tak rozmieszczonych belek, pierwsza koncepcja będzie się opierać na wprowadzeniu dwóch rodzajów rusztu, które zostaną ułożone na przemian wzdłuż i w poprzek osi mostu (rys. 3.3, 3.4).

Wariant II — opracowano w pracy dyplomowej [3] pod kierunkiem współautora artykułu w postaci konstrukcji rusztu wykonanej z szerokostopowych dwuteowników pełnościennych ze stali 18G2A typu HEB100, długości 3,00 m każdy, w ilości 8 szt. w 1 zestawie rusztu. Ruszt stalowy oparty jest na 3 dźwigarach poprzecznych i wypełnia powierzchnię $3,00 \times 3,00$ m. W jednym module składanej konstrukcji mostu DMS-65 długości 3,0 m, aby całkowicie wypełnić powierzchnię pomostu, należy wbudować 2 zestawy rusztu, mocując je rozbieralnymi śrubowymi połączeniami szczipnymi z wymiennymi wspornikami łączonymi w otworach technolo-

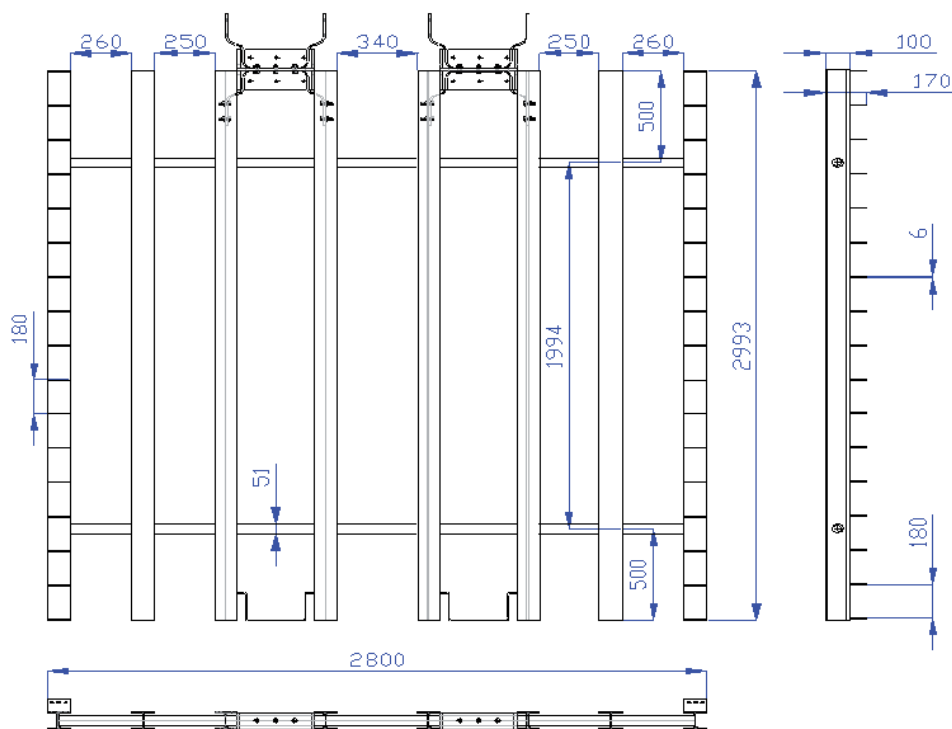
gicznych z górnym pasem belki poprzecznej. Połączenie rusztów realizowane jest w osi podłużnej belki poprzecznej, schemat rozmieszczenia elementów składowych konstrukcji rusztu przedstawiono na rysunku 3.5.



Rys. 3.3. Widok i przekrój belek podłużnych — wariant pierwszy układ podłużny



Rys. 3.4. Widok i przekrój belek podłużnych — wariant pierwszy układ poprzeczny

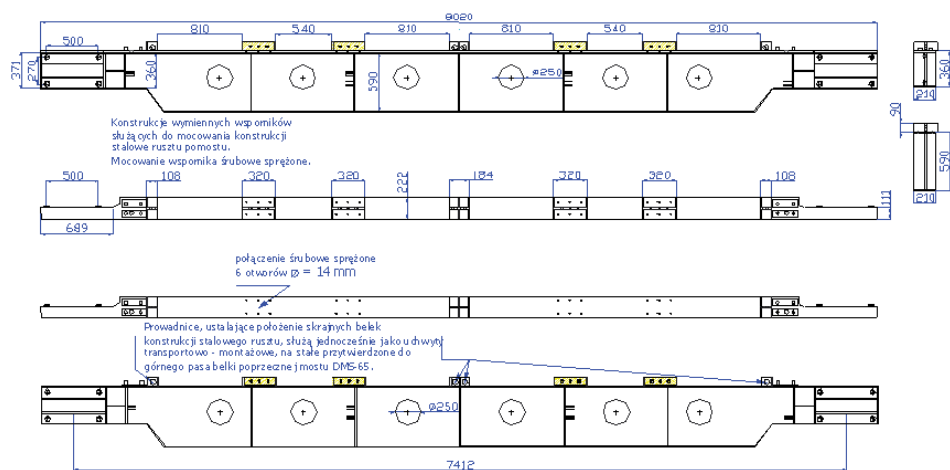


Rys. 3.5. Elementy składowe użyte do budowy konstrukcji rusztu

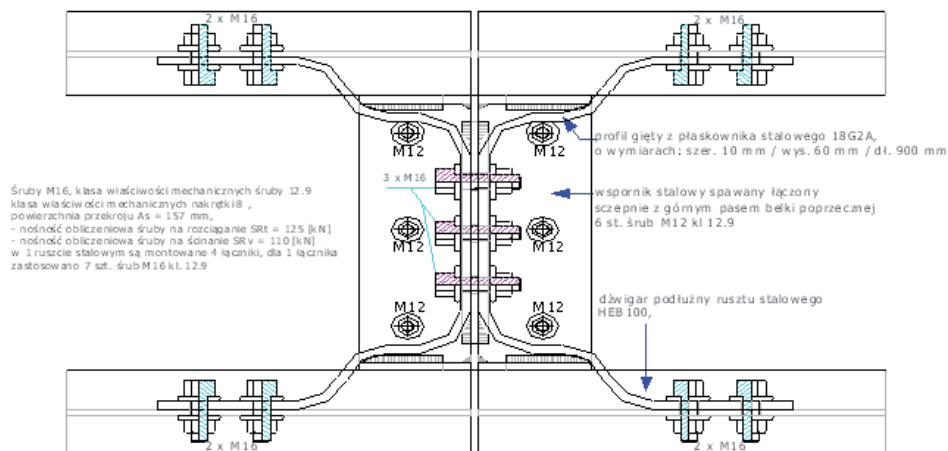
3.4. Opis zmodernizowanej belki poprzecznej

Do nowego typu pomostu w wariantcie II dostosowano zmodernizowaną belkę poprzeczną, umożliwiającą ruch dwukierunkowy na obiekcie. Przekrój poprzeczny belki dwuteowy, o zmiennej wysokości środnika od 0,59 m w środku belki do 0,36 m w jej końcach, schemat zmodernizowanej belki poprzecznej, dostosowanej do nowej nawierzchni przedstawiono na rysunku 3.6.

W końcach belki, wzmocnionych nakładkami i żeberkami, po obu stronach znajdują się cztery tulejki $\varnothing = 46$ mm, które podczas montażu przęsa osadza się w gniazdach montażowych wbudowanych do wewnętrznych słupków kratownicy przestrzennej. Dwie belki poprzeczne w pojedynczym module są montowane w odległości 2 m od siebie i w odległości 0,50 m od krawędzi zewnętrznych pojedynczego modułu. Sztywność wewnętrzną uzyskuje się poprzez montaż sześciu wiatrownic w układzie krzyżowym dla układu dwujezdniowego [2]. W celu zapewnienia skutecznego połączenia nowego rusztu podłużnic z belką poprzeczną, zaprojektowano dodatkowo połączenie śrubowe, którego schemat przedstawiono na rysunku 3.7.



Rys. 3.6. Zmodernizowana belka poprzeczna



Rys. 3.7. Schemat połączeń śrubowych ruszty z belką poprzeczną

4. Podsumowanie

Podsumowanie niniejszego artykułu sprowadzono do dwóch grup wniosków. Pierwsza dotyczy oceny wyników z przeprowadzonych analiz związanych z pracą statyczno-wytrzymałościową nawierzchni mostu, druga natomiast obejmuje propozycje przeprowadzenia gruntownej modernizacji istniejącej nawierzchni mostu.

W pierwszej grupie sformułowano następujące wnioski:

1. Opracowano modele obliczeniowe płyty jezdni i wydłużonej belki poprzecznej do analizy w programie metody elementów skończonych systemu Robot Millenium. Modele te wiernie odzwierciedlają konstrukcje rzeczywiste, co pozwala na szczegółową analizę ich nośności i deformacji.
2. Z analizy płyty pomostu wynika, że w klasie obciążenia C zachowuje ona pełną nośność. Natomiast w klasie B, w której płyta ta często jest eksploatowana, występuje lokalne przekroczenie naprężeń w uźebrowanej powłoce jezdnej. Występują również duże odkształcenia blachy jezdnej między uźebrowaniami, co powoduje, że w powłoce powstają niecki. Występujące znaczne odkształcenia są przyczyną wykruszania się cienkiej nawierzchni ułożonej na płycie.
3. Analiza wydłużonej belki poprzecznej wykazała, że duży wpływ na jej nośność ma mimośrodowe jej obciążenie przekazywane od płyt jezdniowych. Obrót belki wynosi $3,35^\circ$ bez uwzględnienia poziomej siły hamowania taboru do $5,16^\circ$ przy uwzględnieniu tej siły. Skręcanie belki jest bardzo niekorzystne dla jej połączeń z dźwigarami i układem wiatrownicowym mostu.
4. Analiza nośności płyty i belki poprzecznej wskazuje na konieczność podjęcia prac nad modernizacją tego mostu w zakresie nawierzchni. Proponowane rozwiązania w niniejszym artykule uwzględniają te warunki. Wprowadza się nawierzchnię na klasę obciążeń B oraz osiowe przekazywanie obciążenia na belki poprzeczne, przez co wyeliminowane zostanie skręcanie belek.

W zakresie modernizacji zaproponowano:

1. Zaprojektowanie rusztu z belek podłużnych typu HEB 100, w których węzły nie są połączone w sposób sztywny, stąd mogą przyjąć na siebie minimalne przemieszczenia od skręcania i zginania, takie rozwiązanie czyni ruszt konstrukcją elastyczną.
2. Nawierzchnię asfaltową ułożoną na dylach drewnianych wzmocnianych listwami w kształcie choinki.
3. Wprowadzenie spadków poprzecznych, które pozwalają na systemowe odwodnienie jezdni, co jest bardzo ważnym elementem, szczególnie przy eksploatacji w okresie zimowej, gdy stosowane będą środki odladzające.
4. Rozwiązania, które eliminują źródła hałasu, wynikające również z mimośrodowego obciążenia belek poprzecznych powodujących ich skręcanie, wskutek czego znaczne obciążenia oddziałują na układ wiatrowy, gdzie obluźwujące się połączenia powodują hałas.
5. Modernizację konstrukcji mostu DMS-65 umożliwiającą budowę przejść mostowych pod obciążenia klasy B i budowę mostów dwukierunkowych o szerokości jezdni 6,20 m.

Zespół w Katedrze Inżynierii Wojskowej Akademii Technicznej prowadzi dalsze prace nad modernizacją tego mostu, nie tylko w zakresie konstrukcji, lecz także w aspekcie ekologicznym.

Artykuł wpłynął do redakcji 2.03.2009 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w maju 2009 r.

LITERATURA

- [1] T. BIAŁOBRZESKI, *Krajowe konstrukcje mostów składanych. Mosty drogowe*, WAT, Warszawa, 1980.
- [2] J. MARSZAŁEK, J. R. JARZYNA, P. BRYDA, R. CHMIELEWSKI, G. JAKUBOWSKI, R. MARCINKOWSKI, J. RYMSZA, *Mosty składane. Projektowanie budowa i eksploatacja*, GDDKiA, WAT, Warszawa, 2005.
- [3] J. PUTKOWSKI, *Projekt poszerzonego mostu DMS-65 z nową nawierzchnią*, praca magisterska, WAT, Warszawa, 2008.
- [4] Polska Norma PN-85/S-10030, *Obiekty mostowe. Obciążenia*.
- [5] H. CZUDEK, A. WYSZKOWSKI, *Trwałość mostów drogowych*, WKiŁ, Warszawa, 2005.

J. MARSZAŁEK, R. CHMIELEWSKI

Analysis of modernized surface of DMS-65 bridge

Abstract. The DMS-65 built-up bridge is presented, which can be used to build by-pass roads or temporary crossings connected with removing natural disasters' effects or purposeful actions. Because those bridges are often used to crossings' building in civil conditions, the attention should be paid to obey fundamental environmental principles. In this connection, environmental solutions concerning a bridge surface are presented here.

Keywords: built-up bridge, bridge surface, temporary crossings

Universal Decimal Classification: 624.21.033

