

<https://doi.org/10.32056/KOMAG2019.2.1>

## Rozwiązanie koncepcyjne platformy podmostowej do prac montażowo-remontowych

Sebastian Janas  
Krzysztof Nieśpiałowski

Concept of the under-bridge platform for assembly and servicing operations

Streszczenie:

Zewnętrzne powierzchnie konstrukcyjne płyt dolnych mostów i wiaduktów oraz prowadzone pod nimi rurociągi i różnego typu przewody (energetyczne, telekomunikacyjne i inne), wymagają podczas budowy obiektu bezpośredniego do nich dostępu, a w późniejszym czasie okresowego serwisowania. Prace te z reguły prowadzone są przy użyciu różnego typu podestów, platform (w tym osadzonych na samochodach), rusztowań czy zwyżek. Alternatywą takiego podejścia może być wykorzystanie podwieszanych platform podmostowych, mocowanych krawędziowo. Urządzenia te mogą być eksploatowane podczas normalnego użytkowania mostu (wiaduktu), bez konieczności ograniczenia na nim, bądź pod nim, ruchu kołowego czy szynowego. W artykule przybliżono rozwiązanie koncepcyjne platformy podmostowej, na której może jednocześnie pracować ośmiu robotników. Przedstawiono również badania symulacyjne metodą MES jej głównych podzespołów, które ułatwiły ocenę poprawności budowy urządzenia.

Słowa kluczowe: platforma podmostowa, rusztowanie, podnośnik

Keywords: under-bridge platform, scaffolding, lift

Abstract:

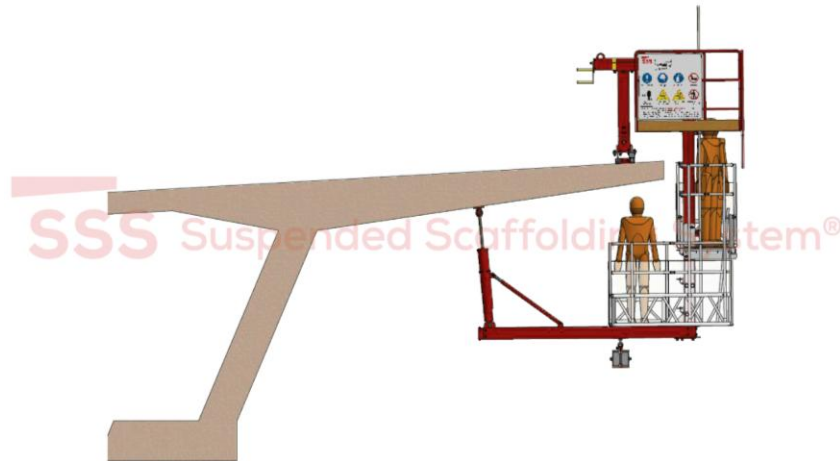
External surfaces of bottom bridges and viaducts plates as well as underlying pipelines and wires (power supply, telecommunication, etc.) require direct access during the construction work and for periodical servicing. Usually, such a work is realized using the different types of platforms (including those installed on trucks), scaffoldings or lifts. Use of suspended edge-mounted under-bridge platforms can be an alternative solution. These devices can be used during normal bridge operation without necessity of traffic limitation on the bridge or under the bridge. The concept of under-bridge platform, on which eight servicemen can work at the same time is described. The simulation tests of its main subassemblies using the FEM method, which enabled assessing the correctness of design are presented.

## 1. Wprowadzenie

Zewnętrzne powierzchnie konstrukcyjne płyt dolnych mostów i wiaduktów oraz prowadzone pod nimi rurociągi i różnego typu przewody (energetyczne, telekomunikacyjne i inne), wymagają podczas budowy obiektu bezpośredniego do nich dostępu, a w późniejszym czasie okresowego serwisowania. Prace te z reguły prowadzone są przy użyciu różnego typu podestów, platform, rusztowań czy zwyżek [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

Alternatywą takiego podejścia może być wykorzystanie podwieszanych platform podmostowych, mocowanych krawędziowo. Urządzenia te mogą być eksploatowane podczas normalnego użytkowania mostu (wiaduktu), bez konieczności ograniczenia na nim, bądź pod nim, ruchu kołowego czy szynowego.

W chwili obecnej na rynku jest kilka sztuk małych platform podmostowych (Suspended Scaffolding System - rys. 1), jednak wyzwaniem jest opracowanie konstrukcji umożliwiającej bezpieczną pracę zespołu 5-8 osobowego z odpowiednim wyposażeniem pod dużymi obiektami mostowymi.



Rys. 1. Platforma podmostowa [8]

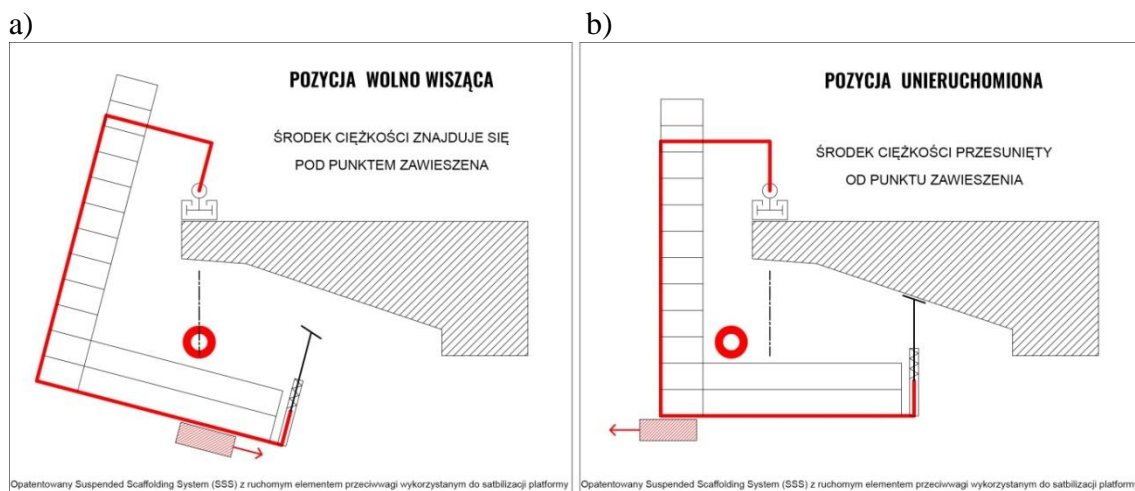
## 2. Platforma podmostowa systemu SSS

Platformy tego typu pozwalają na zmniejszenie kosztów utrzymania i eksploatacji w projektach długofalowych, ponieważ instalacja wymaga bardzo małej powierzchni (mostu). Dzięki temu możliwe są prace serwisowo – remontowe bez konieczności zamykania bądź utrudnień w ruchu na moście. Szerokość przestrzeni (na powierzchni mostu) wymaganej do zainstalowania platformy nie przekracza 1 m.

Największa różnica pomiędzy systemem SSS, a tradycyjnymi rusztowaniami podwieszanymi leży w masie obciążenia, ponieważ stabilność platform wzrasta wraz ze zwiększającą się masą nośną obciążenia. Czyli im cięższy ładunek na platformie tym bezpieczniej jest ona osadzona (platforma staje się stabilniejsza) - w przeciwieństwie do standardowych rozwiązań, gdzie większe obciążenie prowadzi często do utraty stabilności (przechyleń).

Zawieszony, ruchomy element przeciwwagi, służy ustabilizowaniu platformy w oparciu o strukturę mostu. W momencie przesunięcia przeciwwagi do pozycji „otwartej”, stabilizatory platformy zostają uwolnione od konstrukcji mostu, tym samym platforma przechodzi do pozycji „wolno wiszącej” pozwalając na łatwe przesunięcie platformy i tym samym dostęp do kolejnego „fragmentu” mostu [8].

Na rysunku 2 pokazano platformę podmostową w pozycji wolno wiszącej i unieruchomionej.

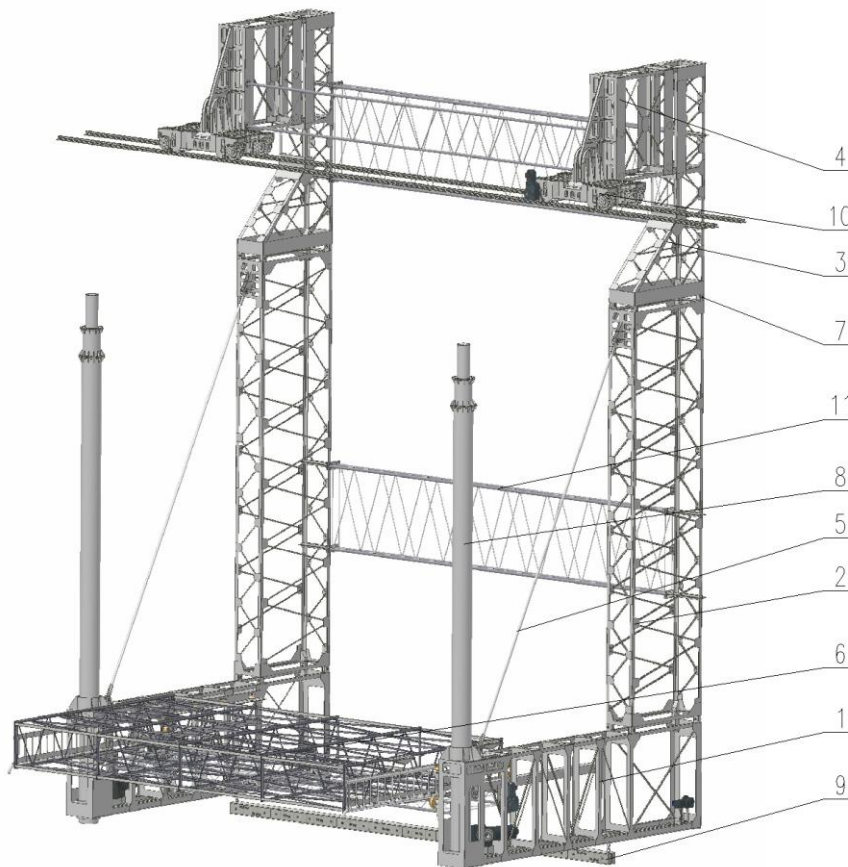


Rys. 2. Platforma podmostowa w pozycji: a) wolno wiszącej, b) unieruchomionej [8]

### 3. Rozwiązanie koncepcyjne

W ramach prowadzonych prac brano pod uwagę dwa koncepcyjne rozwiązania konstrukcyjne. Pierwsze z nich, będące urządzeniem zbudowanym w oparciu o przestrzenną konstrukcję skrzynkową (wykonaną z profili stalowych typu C oraz L), odrzucono ze względu na znaczną masę. W drugim (rys. 3) zastąpiono wcześniej zastosowane profile profilami typu O, zamiast drabin zastosowano systemową klatkę schodową, a zawieszenie platformy osadzono na łożyskach wahliwych. Takie podejście korzystnie wpłynęło na funkcjonalność platformy oraz pozwoliło na zmniejszenie jej masy.

W skład platformy wchodzi dwa moduły nośne składające się z podzespołów kratownicowych, tworzących boki platformy. Podzespoły te połączone ze sobą zostały za pomocą sworzni. W bokach platformy umieszczone zostały zespoły napędowe dla pomostu wysuwnego, regulacji wysokości odpór oraz zmiany położenia przeciwwagi. Ze względu na wydłużoną belkę nośną, tworzącą podporę dla pomostu wysuwnego, zastosowane zostało stężenie w postaci pręta. Oba moduły nośne połączone zostały ze sobą za pomocą lekkich konstrukcji kratowych w postaci belek rozporowych. Cały układ, poprzez połączenie sworzniowe, zawieszony został na dwóch wózkach jezdnych, które poruszają się po specjalnie ułożonych na platformie mostowej szynach.



Rys. 3. Platforma podmostowa – rozwiązanie drugie – model 3D [1]:

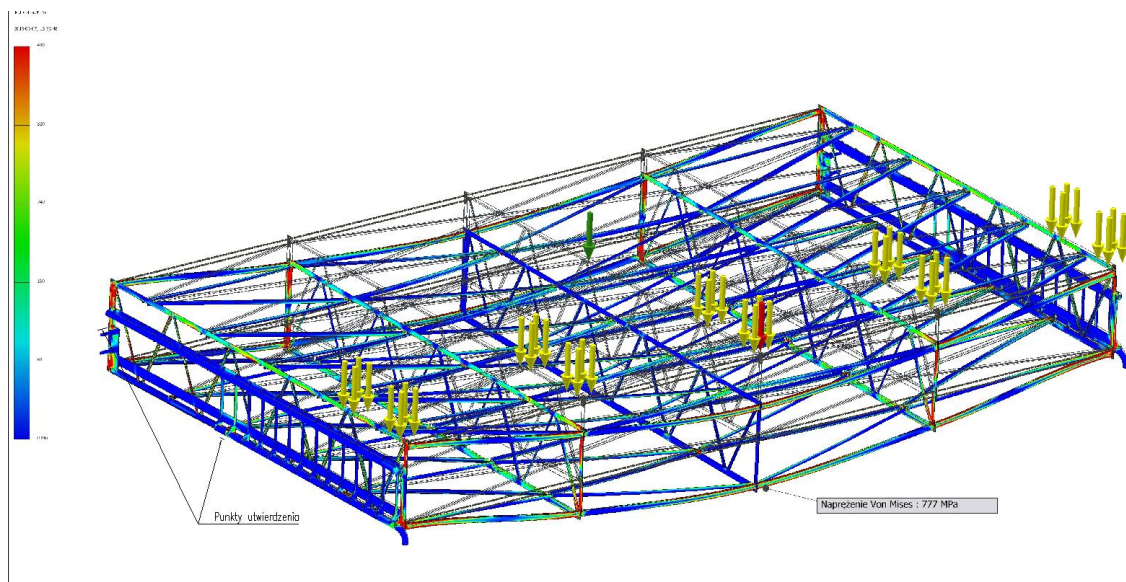
1-4 – podzespoły kratownicowe tworzące boki platformy, 5 – stężenie, 6 – pomost wysuwny, 7 – sworznień,  
8 – odpora, 9 – przeciwwaga, 10 – wózek jezdny, 11 – belka rozporowa

Poprawność założeń projektowych rozwiązania koncepcyjnego projektowanej konstrukcji potwierdzona została na podstawie wytrzymałościowej analizy numerycznej, której poddane zostały trzy kratownicowe podzespoły platformy przenoszące obciążenia:

- pomost wysuwny,
- moduł nośny,
- wózek jezdny.

### 3.1. Badania symulacyjne pomostu wysuwnego

Poddany analizie numerycznej pomost wysuwny obciążony został siłą (o ciągłym natężeniu), pochodzącą od zabudowanego tam rusztowania budowlanego oraz znajdującej się obsługi wraz z narzędziami i oprzyrządowaniem. Przyjęte utwierdzenie ramy odzwierciedlało położenie wysuniętego maksymalnie pomostu wraz z maksymalnym i najmniej korzystnym układem obciążenia (rys. 4).



Rys. 4. Mapa naprężeń struktury nośnej pomostu wysuwnego [1]

Nadrzędnym celem podczas projektowania przestrzennej konstrukcja kratownicowej pomostu wysuwnego było osiągnięcie minimalnej masy oraz modułowej budowy przy dużych rozmiarach gabarytowych. Zastosowane profile o małych przekrojach pozwoliły na obniżenie masy, a modułowa budowa pozwala na przetransportowanie rozmontowanego pomostu za pomocą jednego środka transportowego. Przyłożone obciążenie składało się z:

- obciążenia o ciągłym natężeniu wynoszącym  $35 \text{ N/mm}^2$  (żółte markery siły), przyłożonego w miejscu zamontowania rusztowania budowlanego,
- siły skupionej pochodzącej od załogi i narzędzi (czerwony marker siły) o wartości  $12,7 \text{ kN}$ . Dla tej siły przyjęto przypadek zejścia się wszystkich pracowników wraz z oprzyrządowaniem na maksymalnie małym obszarze,
- masy pomostu wysuwnego wynoszącej  $16,7 \text{ kN}$  (zielony marker siły).

W wyniku tak przyłożonego obciążenia, w punktach utwierdzenia (które są symetryczne), powstały reakcje oddziaływujące na moduły nośne platformy. Reakcja w rolce podporowej wynosiła  $100 \text{ kN}$ , a reakcja w rolce odciskowej  $65 \text{ kN}$ . Maksymalne wartości naprężeń zredukowanych wynoszą  $777 \text{ MPa}$ , a odkształcenia ramy w maksymalnym punkcie ugięcia osiągają  $648 \text{ mm}$ .

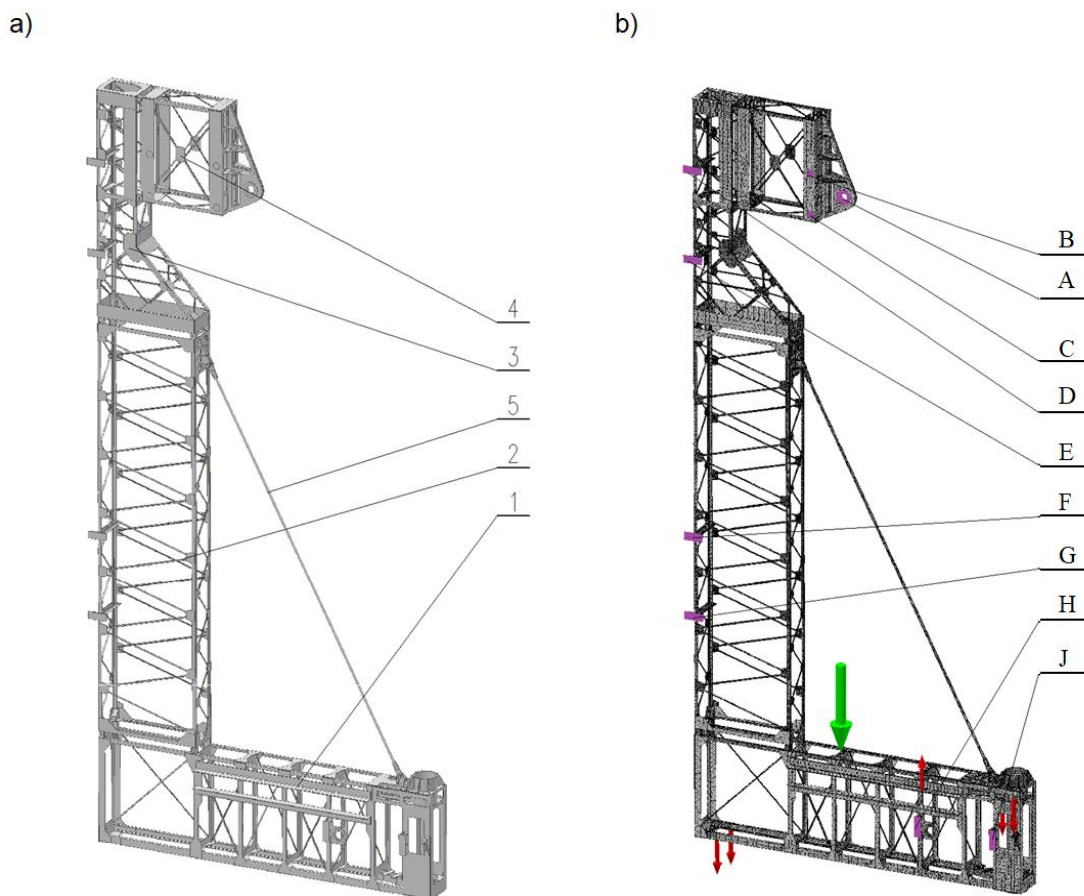


Sytuacja ta jest wynikiem braku dodatkowych stężeń w konstrukcji. Aby zniwelować tak duże odkształcenia, należy wzmocnić połączenia podłużnic wewnętrznymi stężeniami przykręconymi w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku ruchu podestu. Jednocześnie, czoło oraz tył pomostu wysuwnego należy wzmocnić dodatkowymi stężeniami. W tym przypadku, samodzielne rozpory wykonane z profili zamkniętych o przekroju prostokątnym, łączące podłużnice, należałoby zaprojektować jako kratownice płaskie. Elementy te byłyby z jednym lub dwoma stężeniami również wykonanymi z takich samych profili zamkniętych. Wprowadzenie dodatkowych elementów w konstrukcji spowoduje wzrost masy. Aby zniwelować ten przypadek należy również zmniejszyć przekroje zastosowanych profili.

Tak przeprojektowaną konstrukcję pomostu wysuwnego należałoby ponownie przeanalizować pod kątem naprężeń i przemieszczeń.

### 3.2. Badania symulacyjne modułu nośnego

Po określeniu reakcji w podporach pomostu wysuwnego, wykonana została analiza MES modułu nośnego platformy podmostowej (rys. 5). Moduł nośny składa się z pięciu podzespołów, które połączone są ze sobą sworzniami, tak jak to ma miejsce np. w połączeniach konstrukcji żurawi wieżowych. Podzespoły modułu nośnego tworzą kształt litery L. Aby wzmocnić cały układ zastosowano stężenie za pomocą pręta stalowego, umocowanego do belki dolnej oraz do górnego fragmentu dolnej części słupa nośnego.



Rys. 5. Moduł nośny platformy podmostowej: a) model geometryczny, b) model z siatką elementów [1]:  
1 – belka dolna, 2 – słup nośny-część dolna, 3 – słup nośny-część górna, 4 – zawiesie, 5 – stężenie,  
A-J – punkty utwierdzenia

Przeprowadzona analiza MES dotyczyła całego modułu nośnego, jako zasadniczego elementu przenoszącego obciążenie. W zadaniu tym określono trzy podstawowe czynniki decydujące o pracy modułu: utwierdzenie, oddziaływanie sił zewnętrznych oraz masę samego modułu nośnego. W miejscach połączenia modułu nośnego z kratownicami, które łączą oba moduły nośne ze sobą, przyjęto wiązanie beztarciowe, odbierające jeden stopień swobody. Umożliwia to pracę analizowanej struktury, jak dla przypadku układu symetrycznego. Punkty utwierdzeń zobrazowane zostały kolorem fioletowym.

W analizie rozpatrywano przypadek, gdy platforma podmostowa zawieszona jest w pozycji roboczej. Dla takiego przypadku układ sił obejmował:

- masę modułu nośnego wynoszącą 103 kN (zielony marker wektora siły),
- siłę od podparcia pomostu wysuwnego o wartości 100 kN (czerwony marker wektora siły),
- siłę od rolki odciskowej pomostu wysuwnego o wartości 65 kN (czerwony marker wektora siły),
- siłę od odpory stabilizującej pracę platformy podmostowej o wartości 50 kN (czerwony marker wektora siły),
- siłę wywieraną przez przeciwwagę o wartości 50 kN (czerwony marker wektora siły).

W wyniku tak przyłożonych obciążeń, w miejscu utwierdzenia sworzniem pojawiła się reakcja oddziaływająca na wózek jezdny platformy oraz miejsca połączeń modułu nośnego z belkami rozporowymi. Wartości reakcji w poszczególnych miejscach wiązań zestawiono w poniższej tabeli 1.

#### Wartości sił reakcji w punktach utwierdzenia

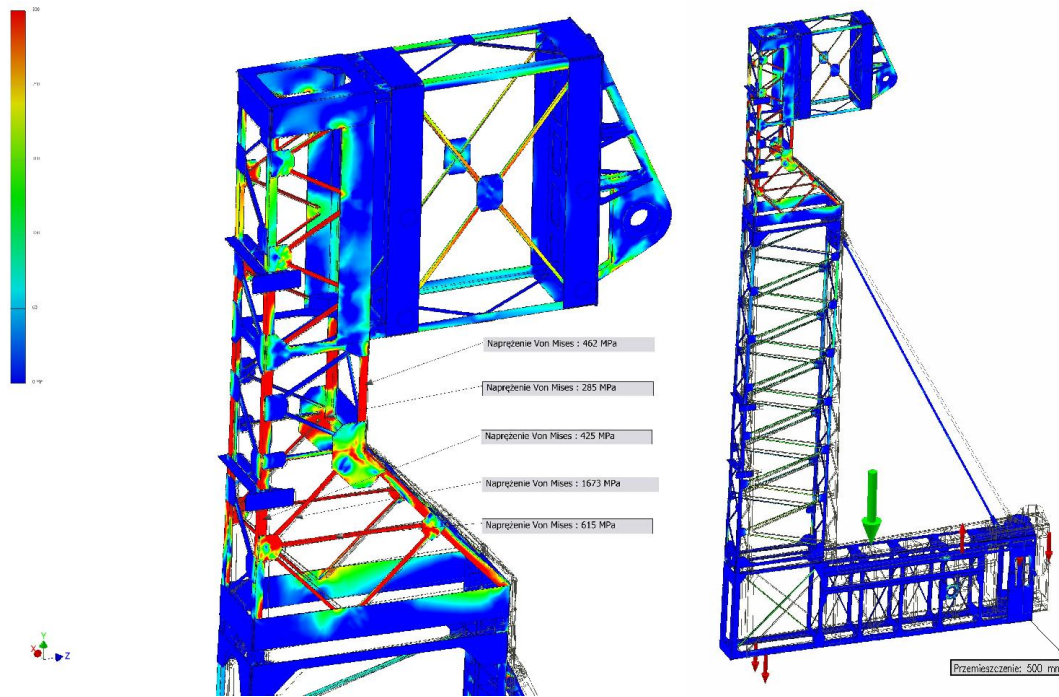
Tabela 1

Punkty utwierdzenia								
A	B	C	D	E	F	G	H	J
Wartości sił reakcji [kN]								
44,280	0,206	1,531	1,321	0,910	1,844	1,678	6,991	9,268

Przeprowadzona analiza MES (wynik symulacji pokazano na rys. 6) wykazała, że część konstrukcji wymaga korekty. Jest to górna część modułu nośnego. W elemencie tym występuje zmniejszenie jego przekroju. Taka sytuacja wymuszona została koniecznością pracy platformy między dwoma ciągami komunikacyjnymi mostu, gdzie między ich krawędziami jest około 1800 mm wolnej przestrzeni. Kinematyka ruchu platformy podczas wychylenia wymaga ponad 2800 mm przestrzeni. Ograniczenie przestrzeni do 1800 mm oraz konieczność wychylania platformy od pionu, wymusiło przyjęcie miejscowo zmniejszonego przekroju modułu nośnego do wymiarów, które umożliwiają pracę platformy w wąskim obszarze.

Z przeprowadzonych badań numerycznych wynika, że w zmniejszonym przekroju modułu nośnego, naprężenia zredukowane przekraczają wartości dopuszczalne dla zastosowanych typowych materiałów konstrukcyjnych. Wymuszona zmiana przekroju niekorzystnie wpływa również na przemieszczenia poszczególnych punktów układu. Tym samym, w obecnym kształcie, przestrzeń zmiany przekroju w konstrukcji modułu nośnego wymaga korekty.

Zmiana przekroju, w postaci jego powiększenia, uniemożliwi pełne wykorzystanie platformy podmostowej, czyli możliwości wychylania się. Optymalnym rozwiązaniem może być nieznaczne zwiększenie przekrojów zastosowanych kształtowników albo zmiana ich typów wraz z zastosowaniem materiałów gatunkowo lepszych.



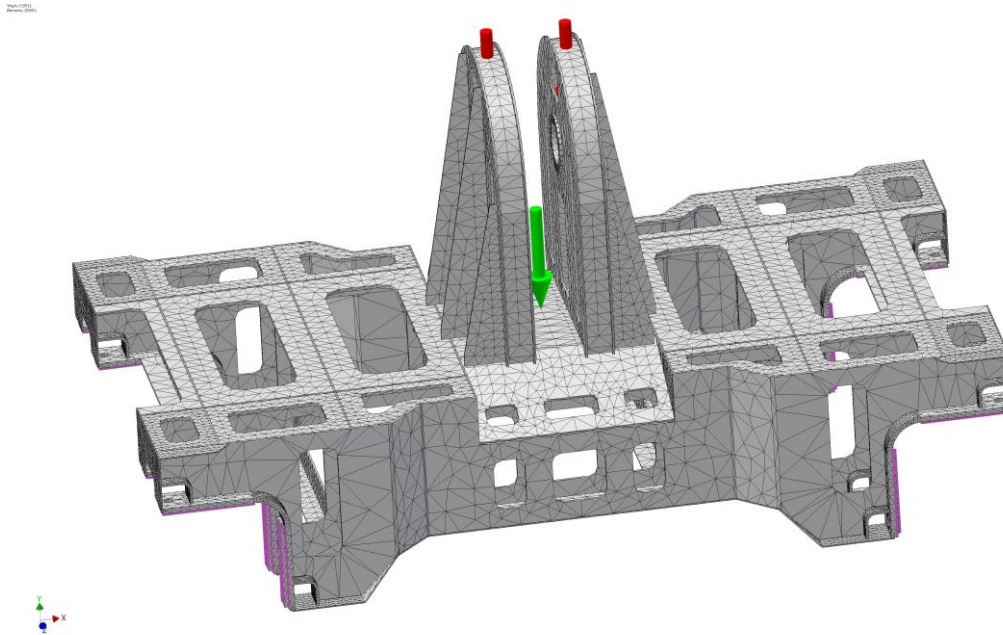
Rys. 6. Rozkład naprężeń zredukowanych modułu nośnego platformy podmostowej w obszarze wymuszonej zmiany przekroju konstrukcji [1]

### 3.3. Badania symulacyjne wózka jezdnego

Wózki jezdne platformy podmostowej są elementami, które wiążą platformę ze stałym podłożem. Przenoszą obciążenie wynikające z pracy platformy, jak i ze swobodnego zwisu podczas jej przemieszczania.

Rama wózka (rys. 7) jest konstrukcją skrzynkową, spawaną z blach. W jej skład wchodzi blachy o grubości 6 mm tworzące podłużnice, do których przyspawane zostały prostopadłe łączniki wykonane z blach o grubości 4 mm. Poszycie górne wykonane zostało z blach o grubości 8 mm i 6 mm. Cała rama ma odpowiednio wycięte otwory, celem zmniejszenia masy zespołu. W ramie przygotowano gniazda służące do mocowania zestawów kołowych. W górnej części ramy wózka znajdują się ucha służące do zawieszenia, poprzez sworznie, platformy podmostowej. Rama wózka jest symetryczna, co ułatwia jej montaż oraz pozwala na równomierne rozłożenie naprężeń.

Celem poprawnego przeprowadzenia analizy MES, przyjęto miejsca utwierdzeń ramy wózka w miejscach mocowania zestawów kołowych. Jedna strona wózka utwierdzona została wiązaniem sztywnym. Po drugiej stronie założone zostały wiązania beztarciowe. Wiązania przedstawione zostały markerami w kolorze fioletowym.

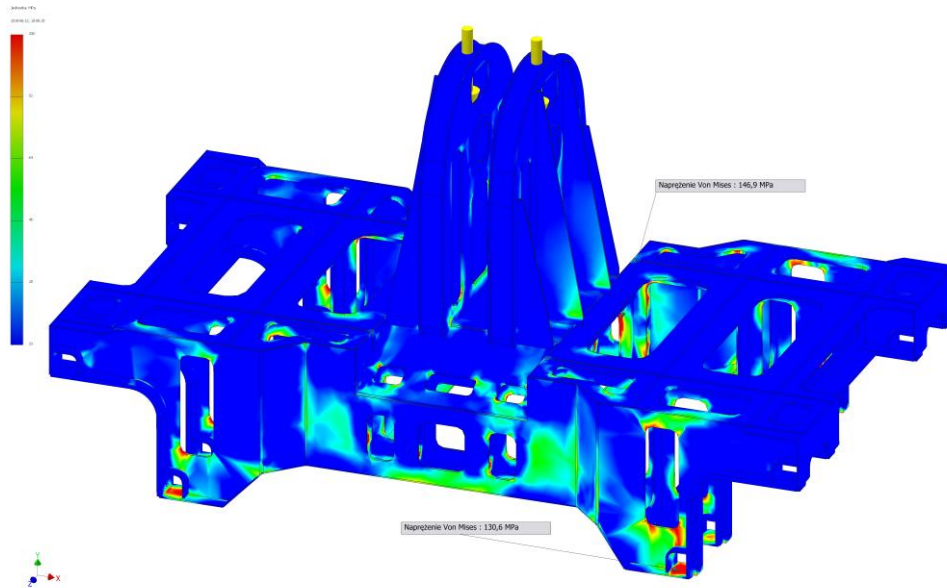


Rys. 7. Model ramy wózka z siatką elementów, z warunkami brzegowymi w postaci czynnych obciążeń zewnętrznych oraz podporami [1]

Rama wózka obciążona została dwoma rodzajami sił. Siłą pochodzącą od masy własnej ramy wynoszącej 5,8 kN (marker wektora siły w kolorze zielonym) oraz siłą wywieraną przez zawieszoną platformę. Siła ta przyłożona została do otworów, w których umieszczony jest sworzeń mocujący platformę do wózka. Obciążenie przypadające na jeden wózek wynosi 250 kN i zostało równomiernie rozłożone na każde z uch (markery wektorów sił w kolorze czerwonym na rys. 7).

Przeprowadzona symulacja określiła wartości reakcji jakie wystąpiły w miejscach utwierdzeń. Z jednej strony wartości reakcji wynoszą po 76,25 kN na jedno podparcie zestawu kołowego, odpowiednio z drugiej strony po 60,3 kN. Przeprowadzona pod kątem naprężeń i przemieszczeń analiza MES wykazała poprawność konstrukcji ramy oraz dobranych grubości blach. Maksymalne naprężenia zredukowane (rys. 8) występujące w ramie osiągają wartość 147 MPa i występują w miejscach promieni w narożach otworów. Maksymalne przemieszczenie występuje w miejscu przyłożenia siły i osiąga wartość 1,011 mm. Tak więc, zastosowane w konstrukcji stале powinny przenieść założone obciążenie. Wskazany jest przeprowadzenie kontrolnego badania MES ramy wózka, po zaprojektowaniu całego modułu nośnego i pomostu wysuwnego.





Rys. 8. Mapa naprężeń zredukowanych ramy wózka jezdnego [1]

#### 4. Podsumowanie

Na rynku urządzeń ułatwiających prace montażowo-serwisowe wykonywane w obszarze płyt nośnych mostów i wiaduktów, istnieje wiele rozwiązań konstrukcyjnych. Niestety, są to urządzenia stacjonarne, które niejednokrotnie wymagają demontażu i ponownego montażu w kolejnych obszarach budowanego (remontowanego \ serwisowanego) obiektu. Co prawda, istnieją również urządzenia przewoźne, jednak te z reguły wymagają właściwego podłoża, niebędącego ciągiem komunikacyjnym.

Rozwiązaniem mogą być urządzenia posiadające ruchomy element przeciwwagi, wykorzystany jako element zawieszono rusztowania / platformy. Takie rozwiązanie zapewnia bezpieczniejszy dostęp do trudno przystępnych miejsc. W chwili obecnej, urządzenia tego typu, przystosowane do niewielkich obciążeń, proponuje firma Ideas - Creative Solutions Ltd, z którą ITG KOMAG podpisał umowę o współpracy. W jej ramach (oraz w wyniku prowadzonych konsultacji), opracowano rozwiązanie koncepcyjne platformy, umożliwiającej równoczesną pracę ośmiu osób wyposażonych w niezbędne narzędzia. Niewątpliwą zaletą rozwiązania jest możliwość dodatkowego obciążenia platformy masą wynoszącą 500 kg (narzędzia, elementy złączne, elementy podlegające montażowi i demontażowi).

Opracowane rozwiązanie koncepcyjne poddano symulacyjnym badaniom MES, ułatwiającym ocenę poprawności budowy urządzenia. I tak, aby zachować pełną funkcjonalność platformy, należy rozważyć przeprowadzenie korekty w obszarze zmiany przekroju w konstrukcji modułu nośnego oraz pomostu wysuwonego. Sposób korekty może obejmować jeden albo nawet kilka możliwości, w których można zmieniać parametry konstrukcyjne urządzenia, co umożliwi jego poprawną pracę. Zmiany obejmować mogą korektę przekrojów kształtowników tworzących kratownicę, zmianę gatunku materiału oraz, ewentualnie, zmianę ustroju kratownicy.

Wózek jezdny platformy podmostowej nie wykazuje nadmiernych naprężeń i odkształceń. Zastosowane blachy i sposób budowy przestrzennej umożliwia konstrukcji wózka przenoszenie istniejących obciążeń od platformy. Liczba otworów, których zadaniem jest zmniejszenie masy, a także wysoki stopień skomplikowania konstrukcji, spowoduje wzrost kosztów wykonania.

Artykuł przedstawia rozwiązanie koncepcyjne najbardziej wrażliwych węzłów urządzenia. W związku z tym, iż badanie symulacyjne MES wykazało nadmierne przekroczenie naprężeń dopuszczalnych niektórych zespołów konstrukcji, koniecznym jest weryfikacja zastosowanych materiałów oraz rozwiązań konstrukcyjnych węzłów w aspekcie uzyskania właściwych parametrów konstrukcji.

## Literatura

- [1] Nieśpiałowski K. i inni: Koncepcja platformy podmostowej z zębatkowym napędem szuflady. ITG KOMAG, Gliwice 2018 (materiały niepublikowane).
- [2] Nieśpiałowski K. i inni: Opracowanie koncepcji platformy podmostowej. ITG KOMAG, Gliwice 2017 (materiały niepublikowane).
- [3] <http://inwestycje-rzeszow.pl/viewtopic.php?f=21&t=3&start=280> (20-12-2018)
- [4] <http://www.lero.com.pl/platforma-podwieszana-z-zaczepami-posrednimi-przejsciowymi.html> (20-12-2017)
- [5] <https://www.peri.com.pl/projekty/building-refurbishment/most-slasko-dabrowski.html> (21-12-2018)
- [6] <http://www.plettac.com.pl/> (04-01-2019)
- [7] <http://www.podnosnikizmijewski.pl/torun/> (20-12-2018)
- [8] <http://www.sss-scaffolding.com> (03-01-2019)
- [9] <http://www.xervon.com.pl/oferta.html> (04-01-2019)

---

*mgr inż. Sebastian Janas*  
[sjanas@komag.eu](mailto:sjanas@komag.eu)

*dr inż. Krzysztof Nieśpiałowski*  
[kniespialowski@komag.eu](mailto:kniespialowski@komag.eu)

*Instytut Techniki Górniczej KOMAG*  
*ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice*