Projekt i badania wstępne mobilnej modułowej platformy pływającej o regulowanej wyporności

Design and pre-testing of a mobile modular floating platform with adjustable displacement

WIESŁAW KRASOŃ
PAWEŁ SŁAWEK*

DOI: https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.11.185
English version available on: www.mechanik.media.pl

Współczesne systemy przeprawowe stosowane przez wojsko i służby kryzysowe są nieustannie doskonalone i muszą spełniać wiele wymagań. W związku z tym zaproponowano modyfikacje prototypowego segmentu mostu pontono-wego o regulowanej wyporności. Zmieniono system łączenia kaset pływających, uwzględniono dodatkowe moduły wypornościowe oraz szereg rozwiązań obejmujących osprzęt i wyposażenie systemu pływającego. Modyfikacje i opracowane konstrukcje pozwalają na zestawianie nie tylko tradycyjnych mostów wstęgowych, ale także mobilnych platform pływających z własnym napędem. Skupiono się na założeniach i rozwiązaniach zastosowanych w promie budowanym z kaset o regulowanej wyporności. Omówiono także koncepcję promu w podstawowej konfiguracji i wybrane warianty badań wytrzymałości modułu brzegowego takiego promu.
SŁOWA KLUCZOWE: kaseta prototypowa, platforma pływająca, wyporność regulowana, rozwiązania konstrukcyjne innowacyjne, analiza numeryczna

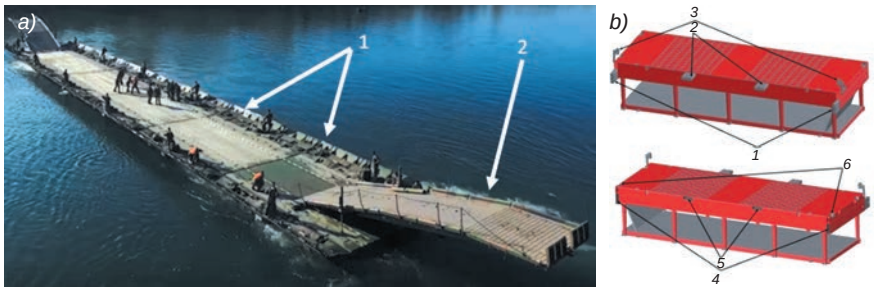
Contemporary emergency crossing systems used by military and crisis service systems are constantly evolving and have to meet many requirements. As a result, modifications to the prototype pontoon bridge segment with adjustable displacement, are proposed. The floating cradle system has been upgraded, additional displacement modules have been supported and a number of solutions including floating equipment and fittings have been added. Modifications and developed constructions allow not only to combine traditional ribbon bridges, but also mobile floating platforms with self propulsion. Assumptions and solutions used in the ferry built from adjustable displacement cassettes, have been focused on. Concept of the ferry in basic configuration and selected variants of strength tests of the shore module of such ferry, is also discussed.
***KEYWORDS: prototype cassette, floating platform, adjustable** displacement, innovative construction solutions, numerical analysis*

Obecnie dostępnych jest wiele rozwiązań systemów pływających, które umożliwiają zestawianie różnych konfiguracji mostów pontonowych i promów. Przykładem może być most pontonowy PFM [1], który pozwala na budowę promów o wyporności 700 kN (rys. 1a). Każdy blok z tego systemu ma 2 silniki zaburtowe o mocy 75 KM oraz system kotwiczący i możliwość łączenia z 2 typami ramp najazdowych. To rozwiązanie znalazło szereg zastosowań, głównie militarnych [1]. W Polsce poza Parkiem Pływającym PP-64, wycofywanym już z wojska, nie ma systemu pływającego, który zapewniłby możliwość budowy mostów i promów o parametrach technicznych i eksploatacyjnych wymaganych przez wojsko lub służby kryzysowe.

Nowatorskim rozwiązaniem wychodzącym naprzeciw tym wyzwaniom jest system pływający opracowany w Wojskowej Akademii Technicznej na bazie prototypowej kasety pływającej o regulowanej wyporności (rys. 1*b*) [2]. Dzięki zastosowaniu wysoko wytrzymałej powłoki elastycznej napełnianej sprężonym powietrzem, umieszczonej wewnątrz metalowej kasety z ruchomym dnem, można regulować siłę wyporu w zależności od typu przeprawy. Otwarcie kasety, rozwinięcie elastycznego pontonu, przemieszczenie dna kasety i zmiana wyporności pojedynczego modułu pływającego następują w wyniku napełnienia pontonu sprężonym powietrzem. Opróżnianie pontonu i zamykanie kasety odbywa się dzięki zastosowaniu 10 teleskopów, w których zabudowano zespoły sprężyn o odpowiedniej sztywności. Teleskopy rozmieszczono symetrycznie po obu stronach kasety (rys. 1*b*).

W stanie zamkniętym, przygotowanym do transportu, pojedyncza kaseta może pływać, ponieważ ma zapas nośności, co umożliwia jej bezpieczny montaż bezpośrednio po zwodowaniu, a nawet użycie przeprawy w ograniczonym zakresie, bez wypełniania pontonów powietrzem. Wyporność użytkowa pojedynczej kasety z zamkniętym dnem wynosi ok. 5 kN. Dodatkowo w części dziobowej kasety zastosowano ruchomą płytę ochronną – deflektor, która automatycznie się pozycjonuje wraz z przemieszczaniem dna i otwieraniem kasety [2]. Jej głównym zadaniem jest zmniejszenie siły naporu nurtu na elastyczny ponton oraz zabezpieczenie go przed uszkodzeniem.

Prototypowe kasety pływające mogą być łączone w zależności od zapotrzebowania w różne grupy przeprawowe. Odbywa się to z zastosowaniem ruchowych



Rys. 1. System PFM podczas działań na wodzie: *1* – pojedynczy segment systemu PFM [1]; *2* – rampa najazdowa o regulowanym położeniu (*a*). Pojedyncza kaseta prototypowa po otwarciu dna: *1* – trzpienie pionowe; *2* – trzpienie poziome; *3* – ramiona obrotowe; *4* – gniazda mocujące trzpieni pionowych; *5* – gniazda mocujące trzpieni poziomych; *6* – gniazdo mocujące ramion obrotowych [2] (*b*)

* Dr inż. Wiesław Krasoń (wieslaw.krason@wat.edu.pl), mgr inż. Paweł Sławek (pawel.slawek@wat.edu.pl) – Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej, Wydział Mechaniczny Wojskowej Akademii Technicznej

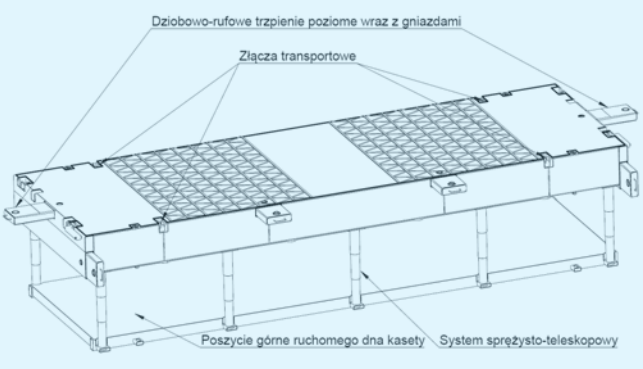
mechanizmów, które stanowią zespół zamków [2] przedstawiony na rys. 1*b*. W grupie złączy zastosowano trzpienie pionowe (*1* na rys. 1*b*) i poziome (*2*) rozmieszczone symetrycznie w części górnej kasety, które podczas transportu są wsunięte w gniazda i blokowane w obrysie kasety. Łączenie kaset następuje przez wsunięcie trzpieni pionowych i poziomych w gniazda mocujące (*4*, *5*) sąsiedniej kasety. Dodatkowo każda kaseta jest wyposażona w 2 ramiona obrotowe (*3*), które podczas transportu są umiejscowione w otworach (*6*) w górnej części kasety (by je zabezpieczyć przed uszkodzeniem). Umożliwiają one ustalenie położenia i połączenie sąsiednich kaset w płaszczyźnie jezdni. Połączenie następuje przez obrót ramion obrotowych, umieszczenie głowic i ich zablokowanie poprzez ryglowanie w gniazdach (*6*) wykonanych w jezdni sąsiedniej kasety.

Przedstawiono modyfikacje konstrukcji pojedynczego segmentu prototypowej kasety pływającej. Modyfikacje – wprowadzone na podstawie założeń wstępnych opisanych szczegółowo w pracy [3] – obejmują zmniejszenie masy całkowitej układu, zwiększenie wyporności, poprawę jego kształtu opływowego oraz przystosowanie konstrukcji kasety do budowy mobilnej modułowej platformy pływającej i różnych układów wstęg pływających. W ramach projektu zaproponowano rozwiązania konstrukcyjne systemu napędowego, kotwiczącego oraz rampy najazdowo-brzegowej opisanych w publikacji [4]. Omówiono wybrane rozwiązania wprowadzone na potrzeby budowy mobilnej platformy pływającej; szczególną uwagę zwrócono na oryginalne, zwiększające wyporność moduły pływające – nakładki oraz rampę najazdowo-brzegową nadającą się do zastosowania zarówno w mobilnych platformach, jak i – w ograniczonym zakresie – w mostach pływających. W ramach prac projektowych wykonano niezbędne badania wytrzymałości rozwiązań konstrukcyjnych. Zastosowano w tym celu metody analityczne i analizę numeryczną. W artykule przedstawiono wybrane warianty badań wytrzymałości modułu brzegowego dla takiego promu z wykorzystaniem analizy numerycznej MES.

Modyfikacje pojedynczej kasety

W celu zmiany systemu łączenia kaset, wprowadzenia szeregu dodatkowych rozwiązań w osprzęcie i wyposażeniu systemu pływającego oraz poprawy pływalności i parametrów techniczno-eksploatacyjnych pojedynczej kasety wprowadzono modyfikacje [3, 4]. Zmiany w konstrukcji pojedynczej kasety pływającej o masie całkowitej wyjściowej 2488 kg obejmowały:

- usunięcie deflektora (płyta ochronna zamontowana tylko w części dziobowej kasety powodowała nierównomierny rozkład masy i przegłębianie tej części segmentu podczas wodowania);
- materiał poszycia górnego ruchomego dna kasety – w rozwiązaniu prototypowym [2], scharakteryzowanym w rozdziale 1. pracy, poszycie (rys. 2) wykonano z arkusza blachy stalowej o wymiarach 5,95 × 1,78 m i grubości 1,5 mm; w proponowanym rozwiązaniu podzespół ten zaleca się wykonać z tworzywa sztucznego PMMA (polimetakrylanu metylu); głównym zadaniem poszycia jest zapewnienie równomiernego rozkładu siły powstałej podczas rozkładania dna kasety oraz zabezpieczenie elastycznej powłoki przed uszkodzeniem;
- uwzględnienie złączy transportowych – w prototypowej wersji kasety pływającej nie projektowano złączy transportowych pozwalających na jej przemieszczanie (głównie w celu załadunku lub rozładunku ze stelaża transportowego lub w operacjach wodowania i podejmowania z wody); w proponowanym rozwiązaniu zastosowano 4 złącza (rys. 2) umieszczone symetrycznie po obu stronach kasety; w każdym z tych złączy dobrano szeklę stalową typu „omega" o dopuszczalnym obciążeniu roboczym do 47,5 kN. Aby zminimalizować przestrzeń ładunkową, liczbę elementów wystających poza obrys kasety oraz prawdopodobieństwo uszkodzenia złączy transportowych, zastosowano szekle z możliwością swobodnego obrotu i umieszczenia w gniazdach poniżej płaszczyzny jezdni;
- dodanie gniazd łączących kasety w części dziobowo-rufowej – zespoły zamków mechanicznych w prototypowej kasecie pływającej (rys. 1*b*) pozwalają tylko na łączenie pojedynczych wstęg o dowolnej długości. Aby umożliwić zestawianie dowolnych konfiguracji zarówno promów, jak i mostów pływających, niezbędne jest utworzenie w części dziobowej i rufowej gniazd stanowiących część bazową dla dodatkowych trzpieni poziomych łączących segmenty kaset (rys. 2). Zastosowano lustrzane odbicie elementów po stronie przeciwnej, co zapewnia uniwersalność obsługi podczas łączenia we wstęgę podwójną i ogranicza manewrowanie kasetą lub zespołem kaset na wodzie. Wprowadzono również dodatkowe zabezpieczenie przed niepożądanym, swobodnym rozłączeniem kaset w postaci dwustronnego łącznika śrubowego;
- system sprężysto-teleskopowy: pojedynczy teleskop (rys. 2) mocujący ruchome dno kasety składa się z 4 cylindrów o różnych średnicach, połączonych kołnierzami i współpracujących z zespołem sprężyn. Zadaniem systemu jest zapewnienie płynnego ruchu dna kasety podczas napełniania powietrzem i opróżniania pontonu elastycznego. Zmiany sprowadzają się do określenia minimalnych, bezpiecznych z punktu widzenia wytrzymałości i eksploatacji grubości ścianek poszczególnych cylindrów bez ingerencji w rozwiązanie konstrukcyjne systemu. Zabieg ten pozwolił na zmniejszenie masy całkowitej systemu sprężysto-teleskopowego.

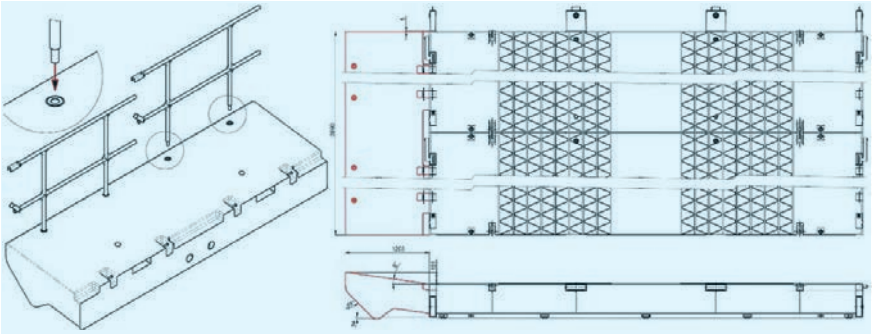


Rys. 2. Rozmieszczenie podzespołów prototypowej kasety pływającej po modyfikacji

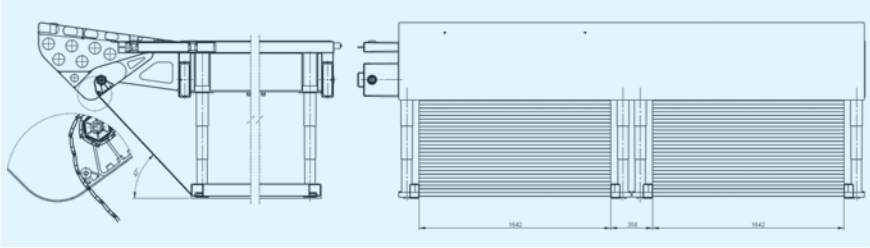
W efekcie zmian konstrukcyjnych masa całkowita pojedynczej kasety pływającej zmniejszyła się o 143 kg i wynosi 2345 kg. Oprócz tego uzyskano m.in. możliwość budowy dowolnych konfiguracji promów i mostów pływających, równomierny rozkład masy systemu oraz łatwy i szybki dostęp do złączy transportowych [3, 4].

Koncepcja modułów dziobowo-rufowych (nakładek)

Nakładki dziobowo-rufowe stanowią oryginalne elementy wyposażenia systemu pływającego. Pełnią rolę deflektorów – zapewniają platformie opływowy kształt i zmniejszają opory ruchu jednostki na wodzie, stanowią też zabezpieczenie załogi oraz zwiększają przestrzeń



Rys. 3. Rysunek poglądowy nakładek dziobowo-rufowych; widok ich mocowania do kaset oraz bariery ochronnej [4]



Rys. 4. Konstrukcja systemu roletowego w module nakładki w wersji podstawowej zamontowanej jednostronnie do 2 kaset pływających [4]

operacyjną systemu rozumianą jako pokład dostępny dla załogi. Od strony napierającej wody powierzchnia nakładki jest ukształtowana pod kątem 45° (rys. 3), co korzystnie kieruje strugi opływające zestaw.

Zastosowanie lekkich materiałów i dodatkowe zamknięte przestrzenie (4 szczelne przedziały) wewnątrz konstrukcji umożliwiają zwiększenie wyporności całego zestawu. Pojedyncza nakładka w wersji podstawowej może być montowana jednocześnie do zestawu 2 kaset ustawionych równolegle obok siebie, a jej długość całkowita wynosi 3990 mm. Moduł nakładki w wersji podstawowej ma wyporność użytkową ok. 18 kN. Rozwiązanie konstrukcyjne tego podzespołu umożliwia połączenie go z dziobem lub rufą kaset i decyduje o zwiększeniu szerokości pokładu zestawu kaset o 1,2 m z każdej strony.

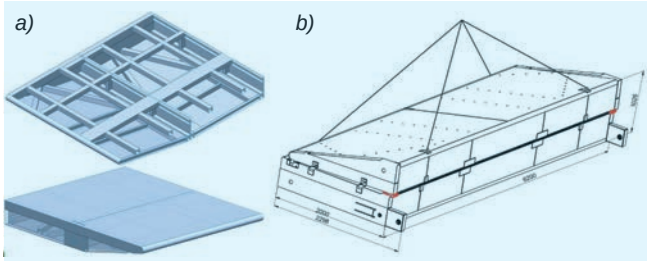
Połączenie z kasetami jest realizowane z wykorzystaniem dziobowo-rufowych złączy poziomych (rys. 2, 3), które przenoszą główne obciążenia działające na te podzespoły. Dodatkowe zabezpieczenie przed rozłączeniem nakładek od pokładu właściwego zestawu stanowią dwustronne łączniki śrubowe i śruby M42 × 50 w trzpieniu poziomym (rys. 3). Powierzchnia górna modułu nakładki (rys. 3) jest nachylona względem powierzchni jezdni kaset o 8°, co może stanowić dodatkowe zabezpieczenie dla załogi mobilnej platformy pływającej i ostrzeżenie, że opuszczając pokład jezdni, jej członkowie znajdują się blisko krawędzi zewnętrznej zestawu pływającego. Konstrukcja nakładek umożliwia montaż barier ochronnych z tworzywa sztucznego, stanowiących ochronę czynną załogi.

Ze względu na usunięcie płyty ochronnej (deflektora) z konstrukcji prototypowej kasety pływającej należy zapewnić ochronę przed uszkodzeniem dla elastycznego pontonu oraz odpowiednie ukierunkowanie opływu strug wody po otwarciu kaset i napełnieniu pontonów. W tym celu wprowadzono w modułach nakładek system rozwijanych rolet – rys. 4.

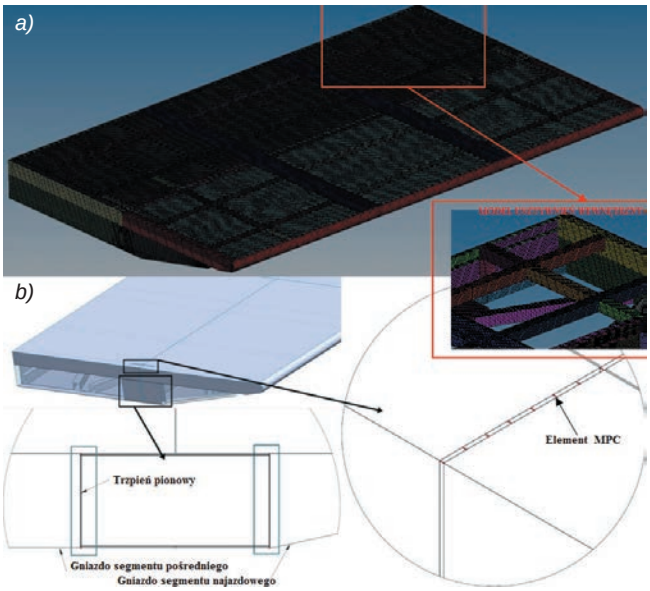
System roletowy zapewnia opływowy kształt zarówno dziobowej, jak i rufowej części segmentu kasety, co znacznie zmniejsza siły oporu powstające podczas ruchu platformy w wodzie. Mechanizm samozwijający umożliwia samoczynne rozwijanie i składanie rolety wraz z ruchem dna kasety. Zaproponowany system roletowy bazuje na dostępnych na rynku podzespołach, standardowo używanych do budowy bram roletowych, m.in.: panelach aluminiowych PE41, mechanizmie samozwijającym, wieszakach zaczepowych czy rurach nawojowych. We wnętrzu nakładki dziobowo-rufowej montowane są 2 systemy roletowe z rolkami prowadzącymi (rys. 4).

Projekt i wyniki badań wytrzymałości rampy najazdowej promu

Ważnym elementem platformy pływającej jest rampa najazdowo-brzegowa. Służy ona do łączenia pokładu platformy – stanowiącego zestaw kaset pływających – z brzegiem. Wykorzystywana jest głównie w fazie załadunku lub rozładunku platformy, ale powinna być tak skonstruowana, aby mogła się przemieszczać razem z platformą. Według założeń projektowych [3] rozwiązanie konstrukcyjne rampy ma pozwolić na jednostronne połączenie z pokładem kaset za pomocą pionowych zamków trzpieniowych (rys. 1*b*) i oparcie całą płaszczyzną dna lub tylko jego częścią swobodnego



Rys. 5. Rampa najazdowo-brzegowa: *a*) model geometryczny połowy rampy, *b*) widok rampy przygotowanej do transportu w stanie złożonym wraz z linami do podnoszenia [4]



Rys. 6. Model MES rampy w położeniu roboczym: *a*) siatka elementów QUAD4 w powłokach zewnętrznych i we fragmencie struktury wewnętrznej; *b*) rozmieszczenie zastosowanych elementów MPC w modelach połączeń odwzorowanych w rampie

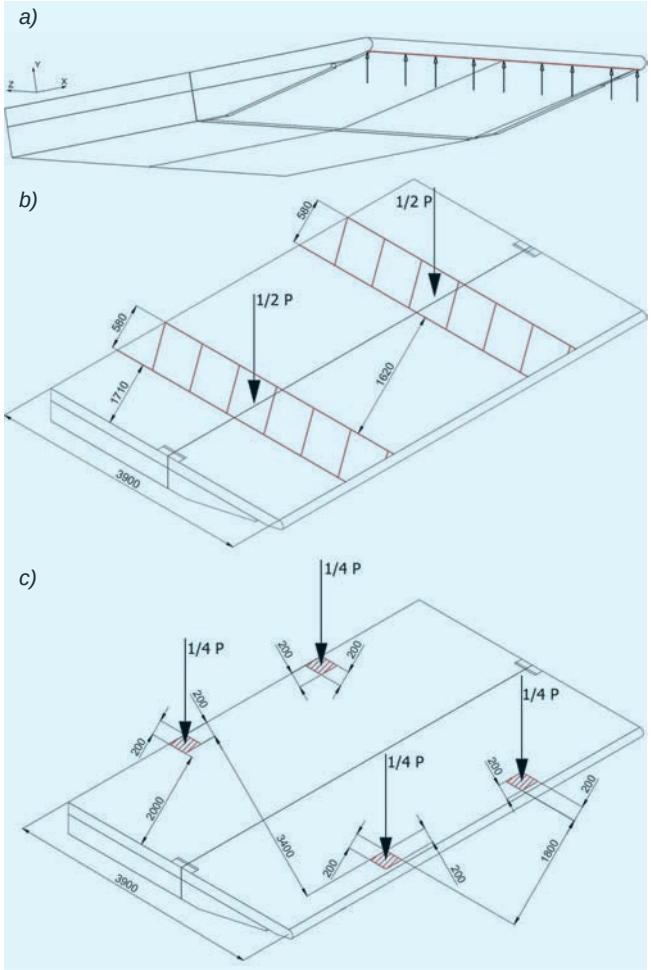
końca rampy o grunt brzegu lub przeszkody. W skład rampy pływającej wchodzą 2 segmenty: rampa najazdowa i zmodyfikowana kaseta z nieruchomym, wzmocnionym dnem – segment pośredni. Oba elementy są wykonane ze stali S355J2 i tworzą szczelne kadłuby spawane, składające się z wewnętrznego szkieletu przestrzennego w postaci profili zimnogiętych oraz poszycia z blachy. Aby zmniejszyć przestrzeń ładunkową podczas transportu, zastosowano wariant składanej rampy z połączeniami sworzniowymi (zawiasami w płaszczyźnie jezdni) pomiędzy segmentami. Takie rozwiązanie umożliwia składanie i rozkładanie rampy najazdowo-brzegowej do położenia transportowego (rys. 5) lub roboczego (rys. 6) [4]. Masa całkowita rampy najazdowej w takim wariancie wynosi ok. 3110 kg.

Badania numeryczne konstrukcji rampy najazdowo-brzegowej przeprowadzono z zastosowaniem modelu powłokowego 3D (rys. 5*a*), który został wykonany w oprogramowaniu Solid Works na podstawie zewnętrznych ścianek rzeczywistych profili. W budowie modelu geometrycznego przyjęto uproszczenia, które nie wpływają w większym stopniu na wyniki, jednakże znacznie skracają czas obliczeń. Ponadto na etapie budowy modelu geometrycznego wykonano tylko połowę rzeczywistej konstrukcji, ponieważ jest ona symetryczna (rys. 5*a*).

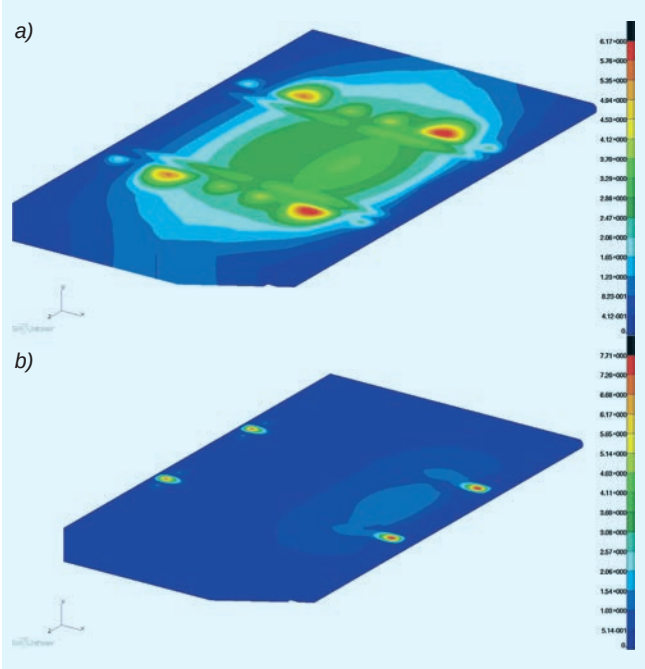
Siatkę elementów modelu MES wykonano w oprogramowaniu Hyper Mesh (rys. 6*a*) [5]. Na wszystkich powierzchniach zastosowano elementy typu QUAD4, które następnie zostały skopiowane z użyciem funkcji lustrzanego odbicia, tak by uzyskać pełny model dyskretny (rys. 6*a*). Po dyskretyzacji wszystkim komponentom nadano właściwości wytrzymałościowe charakterystyczne dla stali S355J2 (18G2A) oraz przyjęto liniowy model materiału. Na tak przygotowany model MES nałożono warunki brzegowe i zamodelowano obciążenia w programie MSC.Patran [6]. Obliczenia przeprowadzono w zakresie liniowej statyki z użyciem MSC.Nastran [6].

W celu odwzorowania połączeń mechanicznych w rozpatrywanych modelach użyto elementów kinematycznych MPC-RBE2 (rys. 6*b*) [6]. Ich zadaniem jest przeniesienie obciążenia z jednej części na drugą, według liniowej zależności łączonych węzłów, poprzez powiązanie ich odpowiednimi stopniami swobody. Zastosowano je do odzwierciedlenia2-stronnegooddziaływaniazgniazdemtrzpienia pionowego, montowanego w profilach ścian bocznych segmentów rampy najazdowo-brzegowej (rys. 6*b*). Dodatkowo użyto ich także do zastąpienia połączeń sworzniowych występujących w płaszczyźnie jezdni konstrukcji. Elementy te pozwoliły odwzorować rzeczywiste warunki pracy badanego modelu [4]. Badania konstrukcji przeprowadzono w 5 wariantach podparcia i obciążenia. Modele więzów i obciążeń zastosowanych w tych wariantach analizy przedstawiono na rys. 7.

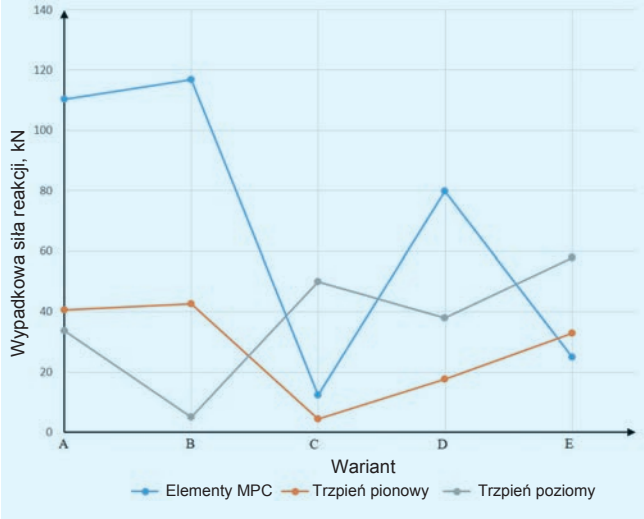
W każdym z rozpatrywanych wariantów analizy numerycznej odzwierciedlono mocowanie brzegowego zestawu pływającego z mobilną platformą pływającą za pomocą trzpieni poziomych i pionowych umieszczonych w gniazdach. W węzłach znajdujących się na zewnętrznych krawędziach gniazd modułu pośredniego odebrano 6 stopni swobody. W wariantach *A*, *B* oraz *C* modelowano podparcie noska przez zastosowanie przegubów kulistych w węzłach na całej długości jego krawędzi (rys. 7*a*), a w wariantach *D* i *E* zastąpiono je podparciem wahaczami pionowymi we wszystkich węzłach powierzchni dolnej rampy o szerokości 1 m od krawędzi noska. Odwzorowano w ten sposób swobodne (bez zjawiska tarcia) oparcie segmentu najazdowego na niepodatnym gruncie i rozłożenie obciążenia na powierzchni fragmentu dna rampy najazdowej.



Rys. 7. Schematy modeli więzów i obciążeń: *a*) schemat podparcia noska rampy w wariantach *A*, *B* i *C*; *b*) schemat obciążenia dla wariantów *A* oraz *D* od pojazdu gąsienicowego o masie 20 t (*P* = 200 kN); *c*) schemat obciążenia dla wariantu *C* od pojazdu kołowego o masie 20 t (*P* = 200 kN)



Rys. 8. Warstwice przemieszczeń wypadkowych: *a*) wariant obliczeniowy *A* – pojazd gąsienicowy; *b*) wariant obliczeniowy *C* – specjalny pojazd kołowy

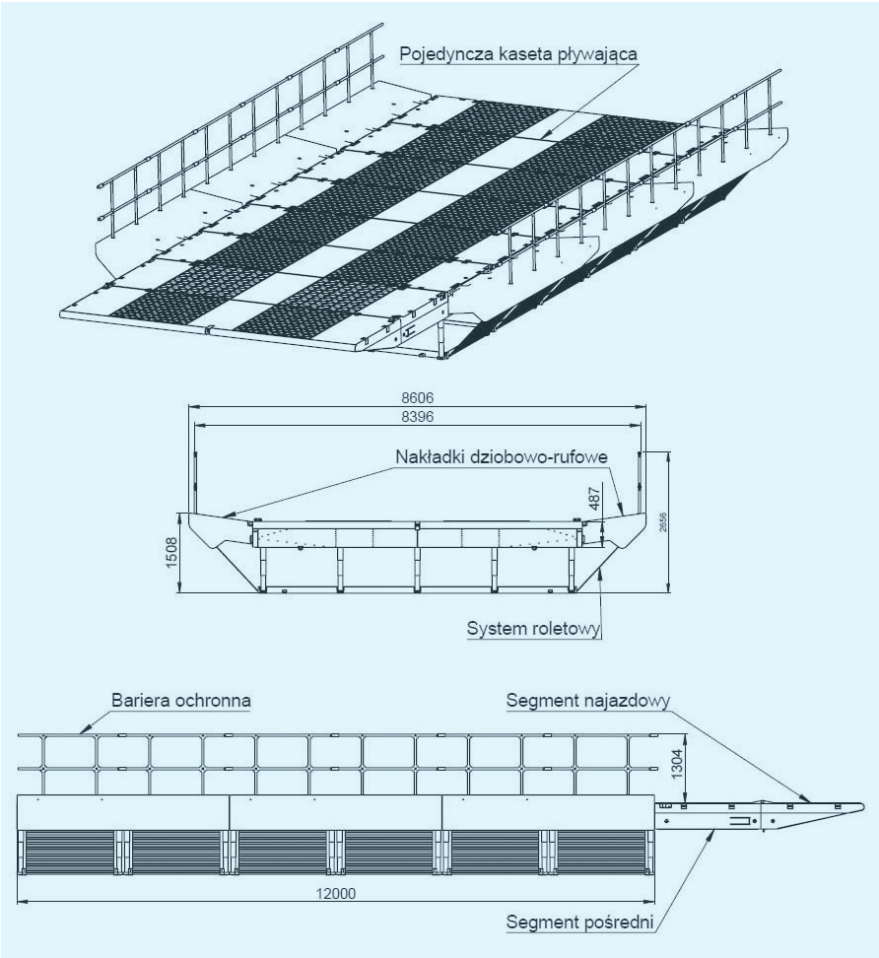


Rys. 9. Wykres zmian maksymalnej wypadkowej siły reakcji w trzpieniu pionowym, poziomym i elementach MPC w funkcji rozpatrywanego wariantu

Do analiz przyjęto 2 główne przypadki obciążenia: od pojazdu gąsienicowego o masie całkowitej 20 t oraz kołowego pojazdu specjalnego straży pożarnej o masie całkowitej 20 t i rozstawie osi charakterystycznym dla samochodu MAN TGL 12.240. Obciążenie zrealizowano poprzez rozłożenie wartości siły wypadkowej ciężaru pojazdu na powierzchnię o wymiarach charakterystycznych dla poszczególnych wariantów przedstawionych schematycznie na rys. 7*b*, *c*.

Analizy MES w zakresie liniowej statyki pozwoliły na uzyskanie warstwic naprężeń zredukowanych HMH oraz warstwic przemieszczeń wypadkowych. Przemieszczenia w wariantach *A* i *C* – odpowiadających obciążeniu pojazdem gąsienicowym i kołowym – porównano na rys. 8. Wyznaczono także wypadkowe siły reakcji w podporach – trzpieniu poziomym i pionowym, jak również wypadkowe siły reakcji w elementach MPC modelujących połączenie sworzniowe (zawiasach w płaszczyźnie jezdni rampy). Zmiany wartości maksymalnych sił reakcji odpowiadające poszczególnym wariantom analizy zamieszczono na wykresach (rys. 9).

Maksymalna wartość siły wypadkowej reakcji połączeń sworzniowych w płaszczyźnie jezdni, wynosząca 116,9 kN, występuje w wariancie *B*, w którym obciążenie jest położone bezpośrednio w miejscu łączenia segmentów brzegowego zestawu pływającego. Następuje wówczas niekorzystne dociążenie podzespołów złączy ze względu na zastosowany wariant zamocowania rampy. Podobnie to wygląda w przypadku trzpieni pionowych, w których maksymalna wartość siły reakcji jest równa 42,6 kN i występuje w wariancie obliczeniowym *B*. W przypadku trzpienia poziomego maksymalna wartość wypadkowej siły reakcji – 57,9 kN – występuje w wariancie *E*, w którym obciążenie od specjalnego pojazdu kołowego jest przyłożone w sposób niesymetryczny, poprzez jego przemieszczenie w kierunku bocznej krawędzi rampy. Powierzchnia styku opony tego pojazdu znajduje się wówczas w obszarze zamocowanej krawędzi połączenia z trzpieniem poziomym.



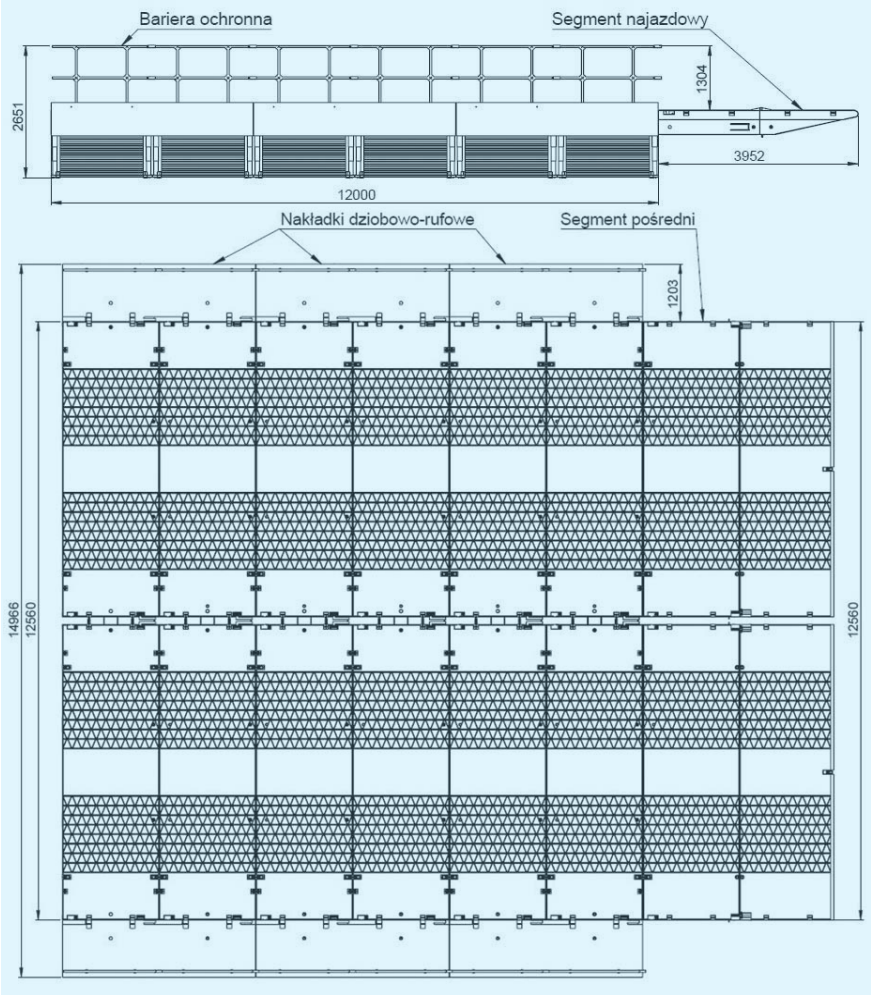
Rys. 10. Mobilna platforma pływająca w wariancie 1 × 6 wraz z nakładkami dziobowo-rufowymi i rampą najazdowo-brzegową w 3 rzutach

Koncepcja mobilnych platform pływających

Omówione modyfikacje konstrukcyjne pojedynczej kasety rozszerzyły m.in. możliwości konfiguracji obiektów pływających budowanych na bazie kaset o regulowanej wyporności. Możliwe jest zestawienie różnych wariantów promów w zależności od wymaganej przestrzeni ładunkowej lub/i nośności. Dzięki zastosowaniu pojedynczego pojazdu, transportującego jednorazowo 6 kaset, możliwe jest utworzenie promów np. w konfiguracjach [3, 4]:

- 1 × 6: 6 kaset połączonych w szeregu, co daje przestrzeń ładunkową o wymiarach 12 × 6,3 m i wyporności do 480 kN,
- 2 × 3: zestawienie 6 kaset, 2 równolegle połączonych ze sobą szeregów po 3 sztuki, co daje przestrzeń ładunkową 12,7 × 6 m o wyporności do 480 kN.

W przypadku zastosowania 2 pojazdów transportujących jednocześnie 12 kaset liczba dopuszczalnych konfiguracji rośnie. Wśród nich wariant podstawowy, jako fragment wstęgi podwójnej 2 × 6: zestawienie 12 kaset połączonych w 2 szeregi po 6 sztuk, co pozwala na uzyskanie przestrzeni ładunkowej 12,7 × 12 m o wyporności do 960 kN.



Rys. 11. Mobilna platforma pływająca w wariancie 2 × 6 wraz z nakładkami dziobowo-rufowymi i 2 rampami najazdowo-brzegowymi [4]

Dodatkowo, jeśli zastosuje się 2 nakładki dziobowo-rufowe, przestrzeń operacyjna każdego wariantu promu powiększa się – o 2,4 m na szerokości obiektu. W wymienionych konfiguracjach promów nie wliczano wymiarów ramp najazdowych.

Dobór systemu napędowego oraz kotwiczącego przeprowadzono dla promu w konfiguracji 1 × 6 na podstawie obliczeń analitycznych [3, 4, 7]. Po wyznaczeniu siły parcia wody o prędkości nurtu 2,5 m/s działającej na jednostkę pływającą określono wymaganą minimalną nominalną moc silnika napędowego wprowadzającego obiekt w ruch o prędkości 2 m/s. Na tej podstawie dobrano 2 silniki zaburtowe DF80A o mocy 80 KM z wykorzystaniem specyfikacji technicznej producenta silników zaburtowych SUZUKI. System kotwiczący został dobrany również na podstawie siły parcia wody na przyjętą konfigurację promu 1 × 6 oraz z założeniem użycia kotwicy z łapami ruchomymi, której ciężar wynosi ok. 400 N, i liny stalowej o długości 10 m. Przy takich założeniach możliwe jest zastosowanie tylko 1 kotwicy, lecz w przypadku użytkowania promu na nurtach o prędkości ponad 2 m/s możliwe jest zwielokrotnienie kotwic, co wpłynie również na poprawę stateczności platformy pływającej.

Podsumowanie

Obecnie użytkuje się wiele różnych konstrukcji mobilnych platform i promów pływających, jednakże większość z tych jednostek ma duże rozmiary, co powoduje znaczne problemy podczas transportu. Kaseta pływająca o zmiennej wyporności z rozsuwanym dnem dzięki specyfice konstrukcyjnej charakteryzuje się bezkonkurencyjną relacją nośności użytkowej do gabarytów oraz masy. Modyfikacje pojedynczej kasety pływającej pozwalają zmniejszyć masę całkowitą, a także rozszerzają zakres potencjalnych zastosowań systemów pływających budowanych na jej bazie. Zwiększenie tak rozumianej podatności konstrukcji znajduje potwierdzenie np. w możliwości budowania dowolnych konfiguracji promów lub mostów. Opisane nakładki dziobowo-rufowe zwiększają przestrzeń operacyjną dla załogi oraz wyporność całego układu ze względu na swoją konstrukcję, a także zmniejszają opory ruchu na wodzie. Jednocześnie zapewniają łatwy i szybki montaż lub demontaż.

Dodatkową ich zaletą jest możliwość użycia systemu roletowego, który stanowi ochronę balistyczną dla elastycznego pontonu wypełnionego sprężonym powietrzem. System roletowy zapewnia ponadto opływowy kształt obiektu pływającego poniżej nakładek dziobowo-rufowych, tj. w różnych stadiach wypełnienia pontonu elastycznego i stopnia otwarcia dna kasety.

Opracowana konstrukcja rampy najazdowo-brzegowej pozwoli na przeprowadzenie procesu załadunku/ /rozładunku na pokład promu, może również zostać użyta do celów przeprawowych pomiędzy wstęgami mostu a brzegiem. Konstrukcję rampy sprawdzono pod względem wytrzymałości z użyciem metod numerycznych w zakresie bezpiecznego jej wykorzystania w różnych warunkach podparcia i obciążenia. W modelu jezdni rampy nie uwzględniono zewnętrznych usztywnień, co może wpływać na lokalne zwiększenie wytężenia i deformacji w obszarach bezpośredniego kontaktu kół lub gąsienic pojazdów z pasami jezdni.

Pracę wykonano w ramach projektu PBS/WAT-937.

LITERATURA

1. https://cnim.com/en/motorized-floating-bridge-pfm (dostęp: 2017 r.).
2. Chłus K., Derewońko A., Krasoń W. „Experimental and numerical verification of the pontoon bridge section". *Journal of KONES-2013 Powertrain and Transport*. 20, 1 (2013): s. 35–40.
3. Krasoń W. „*Założenia do modyfikacji pojedynczej kasety i budowy promów z napędem własnym na bazie kasety o zmiennej wyporności*". Opracowanie wewnętrzne WAT. Warszawa: Wojskowa Akademia Techniczna, 2016.
4. Sławek P. „*Opracowanie i analiza numeryczna rozwiązań konstrukcyjnych mobilnej modułowej platformy pływającej*". Praca dyplomowa. Warszawa: 2017.
5. Hyper Mesh. „*User's Guide*". Altair Engineering Inc., 2007.
6. MSC.Software. „*MSC.Patran/MSC.Nastran – Reference Manual*". 2005.
7. Bursztynowski Z. „*Mosty wojskowe. Część III: Mosty pływające*". Warszawa: Wydawnictwo WAT, 1970.