



Doświadczalno-numeryczne badania pływania kołowego transportera opancerzonego

JERZY WALENTYNOWICZ, JACEK MATRACKI,
STANISŁAW WRZESIEN¹*, MICHAŁ FRANT*

Wojskowa Akademia Techniczna,
Wydział Mechaniczny, Instytut Pojazdów Mechanicznych i Transportu,

*Wydział Mechatroniki, Instytut Techniki Lotniczej,
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

Streszczenie. W artykule przedstawiono wybrane wyniki badań pływalności modelu kołowego transportera opancerzonego, wykonane w kanale wodnym i przestrzeni pomiarowej w tunelu aerodynamicznym dla modelu redukcyjnego. Wykonano także symulacyjne badania oporu pływania z wykorzystaniem oprogramowania CFD Fluent. Wykazano możliwości zmniejszenia oporów hydrodynamicznych podczas pływania przez zmianę ukształtowania niektórych elementów pojazdu.

Słowa kluczowe: amfibia, kołowy transporter opancerzony, pływanie, badania doświadczalno-numeryczne

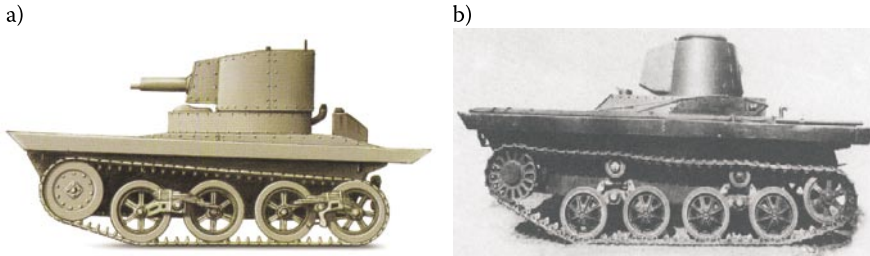
Symbole UKD: 623.438

1. Wstęp

Współczesne armie są wyposażone w dużą ilość kołowych i gąsienicowych pojazdów opancerzonych, które umożliwiają szybkie forsowanie przeszkód wodnych wraz z całą załogą i jej wyposażeniem. Transportery te są ponadto wyposażone w broń pokładową, która umożliwia prowadzenie ognia podczas forsowania przeszkody wodnej. Niszczy ona cele na brzegu zajętych przez przeciwnika, tym samym zwiększając bezpieczeństwo pojazdu i przewożonej załogi.

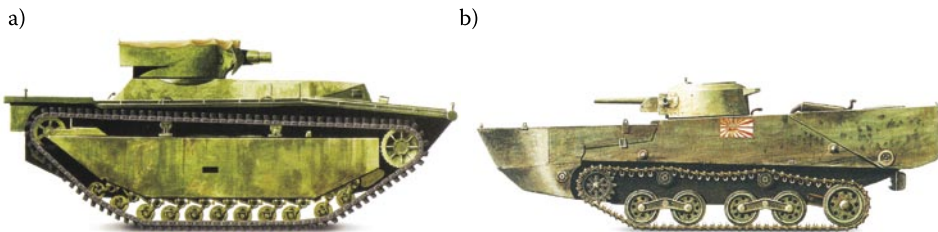
Pływające wozy bojowe powstały przed drugą wojną światową, a pierwszym pojazdem spełniającym zadania pływającego wozu bojowego był czołg Vickers CL Amphibian Tank, opracowany w 1928 roku przez firmę Vickers (rys. 1a).

Miał on szczelny kadłub o odpowiedniej wyporności oraz śrubę napędową ze sterem. W latach trzydziestych czołg pływający PZInż. 130 opracowano także w Polsce (rys. 1b). Wyporność czołgu zwiększały błotniki w kształcie pływaków wypełnionych korkiem. Śruba była umieszczona w osłonie hydrodynamicznej spełniającej zadania steru.



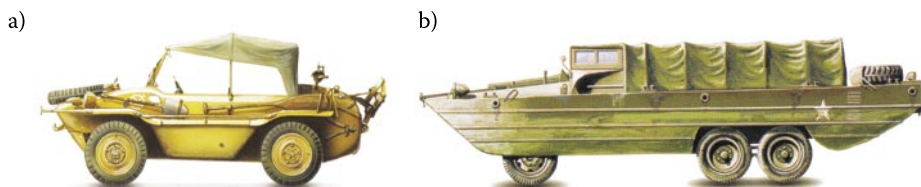
Rys. 1. Czołgi pływające: a) Vickers CL Amphibian Tank; b) PZInż. 130

Intensywny rozwój pojazdów pływających rozpoczął się w czasie II wojny światowej, podczas której wielokrotnie musiano prowadzić operacje desantowe oraz forsować przeszkody pod ostrzałem przeciwnika. Zwykle łodzie były zbyt wrażliwe na ostrzał nieprzyjaciela. Dla piechoty morskiej USA opracowano wtedy całe rodziny amfibii pływających LVA (*Light Vehicle Armored* — lekki pojazd opancerzony) i LVT (*Landing Vehicle Tracked* — gąsienicowy wóz desantowy) (rys. 2a). Również Japończycy mieli czołg pływający 2Kmi, do którego montowano pontony podczas pływania (rys. 2b). Amfibie były produkowane w różnych wersjach, w tym jako pływające czołgi i transportery. Liczna była również grupa kołowych amfibii transportowych, np. Schwimmwagen oraz DUKW (rys. 3).



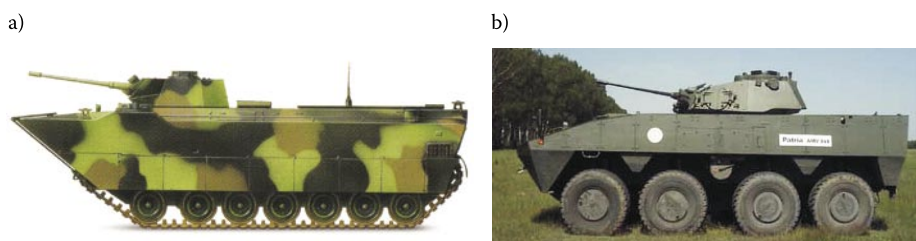
Rys. 2. Czołgi pływające: a) LVT(A); b) typ 2K Mi

Po drugiej wojnie światowej nikt już nie podważał dużego znaczenia amfibii w wojsku. Armie wszystkich państw posiadały dużą liczbę pojazdów pływających, zarówno gąsienicowych wozów bojowych, jak i kołowych opancerzonych pojazdów rozpoznawczych oraz transportowych, przeznaczonych do działania w bliskim



Rys. 3. Amfibie kołowe: a) Schwimmwagen typ 166; b) DUKW-353

kontakcie z przeciwnikiem. Obecnie są to pojazdy o dużej prędkości jazdy po drogach, odporne na ogień broni osobistej przeciwnika i odłamki pocisków, a ich uzbrojenie jest groźne również dla ciężkiego sprzętu pancernego (rys. 4).



Rys. 4. Współczesne amfibie: a) pływający wóz desantowy piechoty morskiej AAV; b) kołowy transporter opancerzony AMV Patria

Zwrotność pojazdów pływających zależy nie tylko od prędkości jazdy po drogach, ale również od prędkości pływania oraz bezpiecznego wjazdu i wyjazdu z wody. Zależy to zarówno od parametrów pędników (śrub) jak również od ukształtowania kadłuba. Często nawet niewielkie zmiany kształtu nadwozia mogą znacznie zmienić opory pływania i poprawić prędkość oraz stateczność pływania. Są to zagadnienia stosunkowo rzadko prezentowane w dostępnej literaturze specjalistycznej. Dlatego podstawowym celem pracy było rozpoznanie zjawisk zachodzących podczas pływania kołowego transportera opancerzonego oraz zaproponowanie ewentualnych zmian konstrukcyjnych nadwozia. Badania eksperymentalne wykonano dla modelu redukcyjnego transportera w kanale wodnym oraz w tunelu aerodynamicznym. Wykonano także badania symulacyjne pływania transportera za pomocą pakietu programu FLUENT, wykorzystującego metodę objętości skończonych.

2. Wybrane zagadnienia pływania pojazdów mechanicznych

Podstawowymi cechami pojazdów pływających są m.in. pływalność, stateczność, prędkość pływania i zwrotność. Pojazdy te muszą ponadto charakteryzować się dużą zdolnością wjazdu i wyjazdu z wody.

Pływalność określa zdolność do utrzymania się na wodzie oraz zachowania dopuszczalnego zanurzenia podczas pływania całkowicie załadowanego pojazdu. Jej miarą jest objętość części zanurzonej w wodzie, zwana również wypornością.

Stateczność jest to zdolność powracania pojazdu do stanu równowagi po ustaniu sił powodujących zachwianie tej równowagi. Stateczność zależy od ukształtowania kadłuba i rozmieszczenia wyposażenia, wpływających na moment prostujący. Tworzy on parę sił przeciwstawiających się przechyłowi, jaki może wystąpić podczas oddziaływania fal, napięcia liny holowniczej lub uderzenia kół o podwodną przeszkodę.

Prędkość pływania i zwrotność pojazdu pływającego zależy od ukształtowania kadłuba i układu jezdnego pojazdu, które wpływają na opory ruchu oraz od parametrów pędników (śrub) napędowych. Opory ruchu są sumą oporów tarcia kadłuba o wodę (zależy od liczby Reynoldsa), oporu falowego spiętrzenia wody przed pojazdem (liczba Frouda) oraz od oporu wirowego, jaki tworzy się w wyniku oddziaływania sił lepkości wody.

Projektowanie i doskonalenie pojazdów pływających prowadzi się zarówno metodami symulacyjnymi, jak również metodami eksperymentalnymi, przy czym podczas tych badań stosowane są metody oparte na teorii podobieństwa, pozwalające na badania modeli redukcyjnych w laboratoriach, a nie całych dużych obiektów technicznych. Teoria ta pokazuje, jak należy dobierać wielkości fizyczne modelu oraz formułuje kryteria podobieństwa, które muszą być spełnione podczas badań takich modeli. Bazuje na trzech prawach: Newtona, Federmana-Bughingorna oraz Kirpiczewa-Guchamana [1, 2].

Podczas prowadzonych badań wykorzystywano następujące liczby podobieństwa:

- liczba Frouda charakteryzuje obraz fal wokół kadłuba i stanowi stosunek sił bezwładności do sił ciężkości

$$Fr = \frac{g l}{w^2} \quad (1)$$

- liczba Reynoldsa charakteryzuje stosunek sił bezwładności do sił lepkości

$$Re = \frac{w l}{\nu}, \quad (2)$$

gdzie: g — przyspieszenie ziemskie [ms^{-2}];

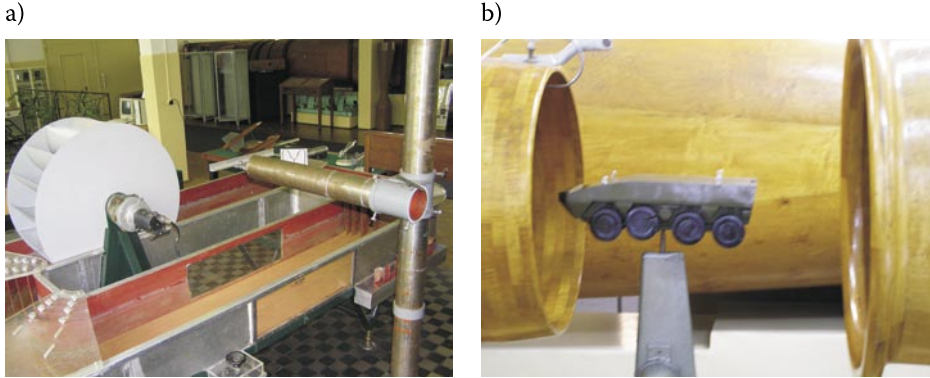
w — prędkość [ms^{-1}];

l — długość [m];

ν — kinematyczny współczynnik lepkości [m^2s^{-1}].

3. Obiekt badań i stanowiska badawcze

Badania modelu transportera opancerzonego wykonano w kanale wodnym i w tunelu aerodynamicznym (rys. 5).



Rys. 5. Stanowiska badawcze: a) kanał wodny; b) tunel aerodynamiczny

Zamknięty obieg wody w kanale wodnym był wymuszony kołem łopatkowym. Model pojazdu został podwieszony do ramienia wysięgnika nad kanałem za pomocą czterech elastycznych żyłek, tak aby część zanurzona w wodzie odpowiadała zanurzonej części pojazdu pełnogabarytowego podczas pływania. Poprzez obrót ramienia można było uzyskać przegłębienie pojazdu na dziób lub rufę, symulując w ten sposób zmianę położenia ładunku (środką ciężkości). Elastyczne zawieszenie umożliwiało lepszą obserwację stateczności modelu opływowego. Do przednich haczyków przymocowano dynamometr, za pomocą którego odczytywano siłę oporu modelu omywanego wodą. W celu lepszej wizualizacji wirów, na powierzchni wody rozsypano proszek aluminiowy.

W tunelu aerodynamicznym model pojazdu zamocowano na specjalnym trzpieniu, tak aby znajdował się w osi tunelu. Siłę działającą na pojazd mierzono za pomocą specjalnej wagi połączonej z komputerem, za pomocą którego obliczono automatycznie współczynnik oporu c_x wyrażony zależnością:

$$c_x = \frac{2P}{\rho S w^2}, \quad (3)$$

gdzie: c_x — współczynnik oporu ruchu;
 P — siła oporu [N];
 ρ — gęstość ośrodka [kgm^{-3}];
 S — pole przekroju poprzecznego [m^2];
 w — prędkość względna modelu względem ośrodka [ms^{-1}].

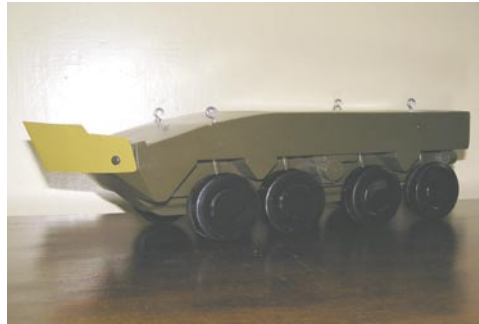
4. Wybrane wyniki badań

Badanie w kanale wodnym wykonano dla modelu kołowego transportera opancerzonego, wykonanego w skali 1:20, z falochronem w kształcie klina zamocowanym w przedniej części transportera (rys. 6). Zarejestrowano siłę oporu opływu oraz rozkład wirów wokół transportera przy prędkości wody 0,5 km/h, 1 km/h, 1,5 km/h, co przy identycznej liczbie Frouda odpowiadało prędkości pływania pojazdu pełnowymiarowego 0,7 km/h, 4,5 km/h, 6,7 km/h.

a)



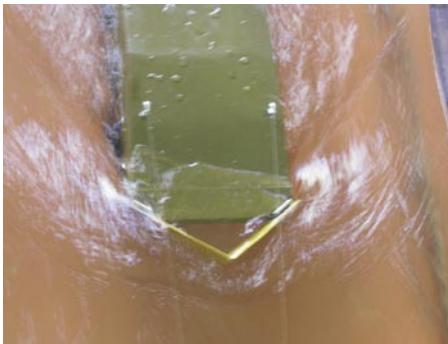
b)



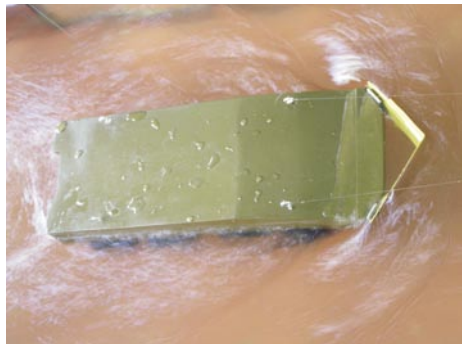
Rys. 6. Widok modelu redukcyjnego transportera z zamocowanym falochronem: a) widok z przodu; b) widok z boku

Przy prędkości wody 1,5 km/h spiętrzenie fali na dziobie było znaczne i zachodziło niewielkie przelewanie się wody przez dziób (rys. 7). Czoło kadłuba było zalewane już w znacznym stopniu, co wywoływało duże kołysania wzdłużne

a)



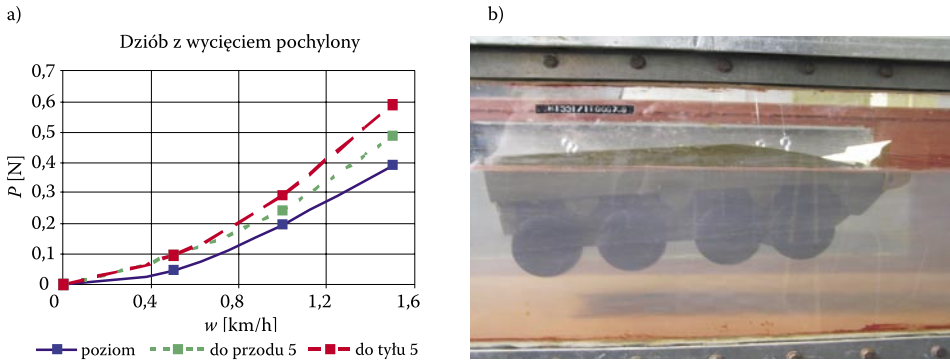
b)



Rys. 7. Widok z góry podczas badania modelu z prędkością 1,5 km/h: a) widoczne spiętrzenie na dziobie i zawirowania; b) burzliwy opływ wzdłuż kadłuba

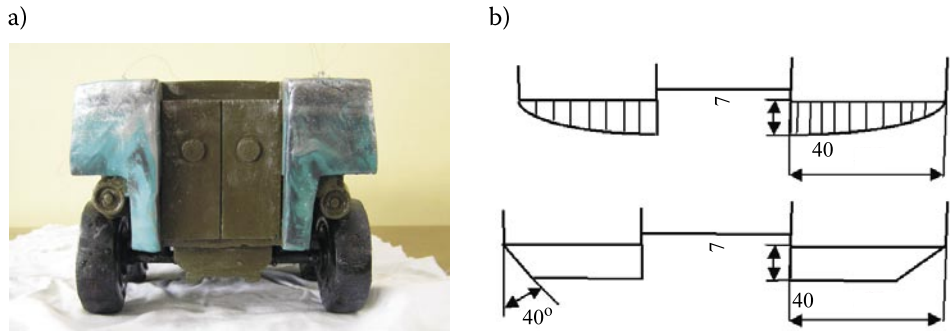
modelu. Tuż przed pierwszą osią kół tworzyły się zawirowania powodujące delikatne wahania kadłuba na boki. Opory ruchu były około 4 razy większe niż przy prędkości 1 km/h. Za kadłubem tworzyły się wiry ukierunkowane w stronę osi symetrii pojazdu (wiry Karmana).

Opory przepływu zwiększały się w funkcji prędkości wody, przy czym pogłębienie pojazdu na rufę powodowało blisko dwukrotnie większy wzrost oporów w stosunku do pogłębienia na dziób (rys. 8a). Najmniejsze były opory pojazdu umieszczonego równoległe do powierzchni wody.



Rys. 8. Badania oporów opływu w funkcji prędkości: a) wykres oporów opływu modelu poziomego i pogłębionego; b) widok pojazdu z pogłębioną rufą

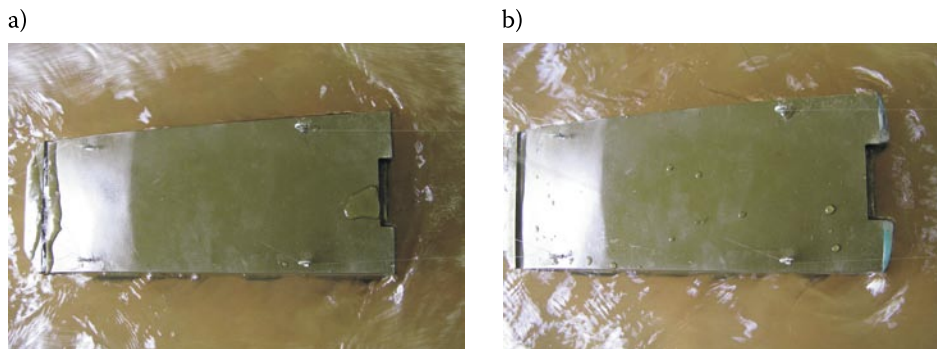
Przy mniejszej prędkości wody malały opory, a strugi opływające transporter przemieszczały się wzdłuż kadłuba. Cała energia spiętrzenia wody była wytracana na falochronie i tylko nieznacznie rosła warstwa wody pokrywającej dziób pojazdu w funkcji wzrostu prędkości opływu



Rys. 9. Widok tylnej ściany pojazdu ze zmianą kształtu: a) widok modelu z nakładką; b) kształty nakładek — zaokrąglona i ścięta

Następnie zbadano opory opływu wody od strony rufy, symulując pływanie pojazdu do tyłu.

Przy prędkości wody $w = 1,5$ km/h opływ był burzliwy. Następowaly uderzenia fali o tylną powierzchnię modelu, powodujące powstanie sporych kołysań wzdłużnych, w wyniku których pojawia się już znaczne zalewanie kadłuba oraz końca pojazdu (rys. 10). Występowały zawirowania na całej długości opływu kadłuba.



Rys. 10. Opływ modelu do tyłu z prędkością 1,5 km/h: a) bez zmiany kształtu tylnej ściany; b) po założeniu nakładek

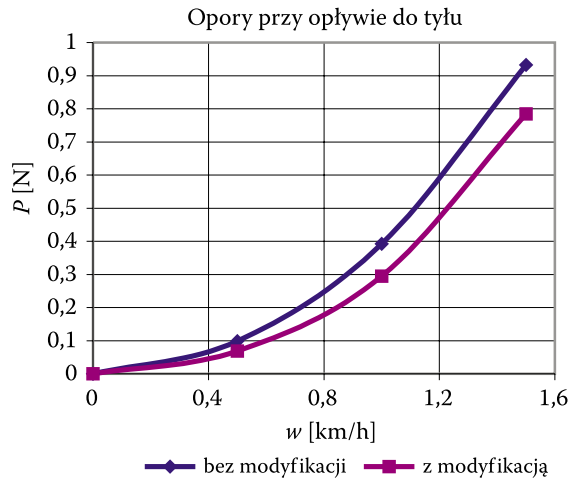
Ponieważ wpływ na taki rozkład wirów ma kształt tylnej ściany pojazdu, zbadano zmianę ukształtowania tylnej ściany na opory opływu przez nowe ukształtowanie tylnej płaszczyzny pojazdu. W tym celu na tył pojazdu naklejono nakładki wykonane z plasteliny, które swym kształtem tworzyły bardziej opływową powierzchnię w porównaniu z wcześniej badaną powierzchnią prostopadłe ustawioną do lustra wody (rys. 9b).

Tylne powierzchnie, pod którymi mieszczą się zbiorniki paliwa, wyprofilowano tak, aby ich płaszczyzny były ścięte w kierunku boków pojazdu i zaokrąglone na końcach. Bez zmiany pozostawiono drzwi desantowe. Badania przeprowadzono dla takich samych warunków jak bez modernizacji tylnej płaszczyzny.

W efekcie uzyskano bardziej łagodny opływ modelu. Nie stwierdzono większego kołysania kadłuba ani zaburzenia stateczności podczas ruchu. Linie prądu wody przemieszają się bliżej kadłuba modelu, fala spiętrzenia jest bardziej zaokrąglona i oddalona od modelu, a obok krawędzi tylnej ściany tworzą się mniejsze zawirowania wody. Wyraźnie — o około 10% — zmniejszyły się opory opływu wody (rys. 11).

Badania w tunelu aerodynamicznym wykazały, że opływ strugi powietrza wzdłuż kadłuba jest stabilny i nie ma żadnych zakłóceń. Świadczy to o dobrym ukształtowaniu bryły kadłuba przez konstruktorów i właściwym nachyleniu płaszczyzn czołowych. Natomiast największe zaburzenia występowały zaraz za pojaz-

dem, gdzie nagłe załamanie zmieniało kierunki opływu wskutek ostrych krawędzi modelu i pojawiały się duże zawirowania przepływu. Szczególnie widoczne to było podczas wizualizacji opływu nitką (rys. 12a).

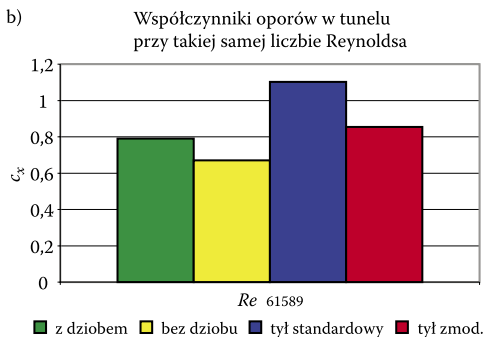


Rys. 11. Opory opływu (pływanie tyłem)

a)



b)



Rys. 12. Wyniki badania modelu w tunelu aerodynamicznym: a) wizualizacja opływu; b) wyniki obliczeń współczynnika oporów przy równej liczbie Reynoldsa

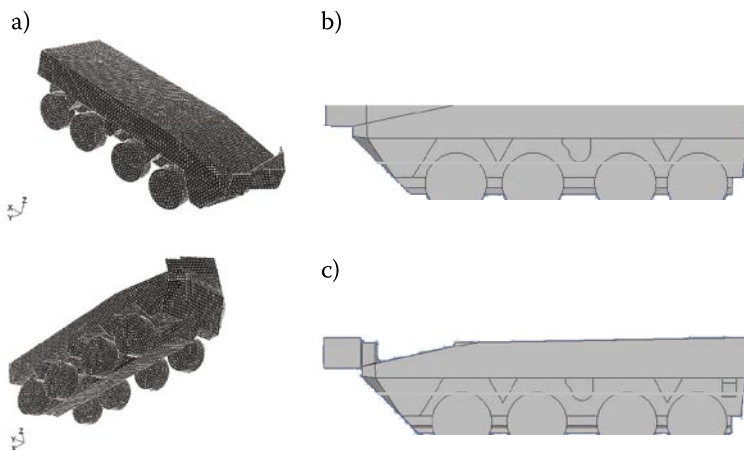
Na podstawie wykonanych pomiarów wyznaczono współczynniki oporów ruchu dla opływu z przodu modelu pojazdu z falochronem i bez falochronu oraz z tyłu pojazdu ze standardową płytą tylną i z płytą ściętą na rogach. Porównując współczynniki oporu dla tych wariantów konstrukcyjnych, stwierdzono, że modyfikacja tylnej płaszczyzny wpływa znacząco na zmniejszenie wartości tego współczynnika w czasie opływu strugi powietrza od strony rufy pojazdu o około 20%. Natomiast większy współczynnik oporu dla modelu z falochronem w porównaniu

z modelem bez falochronu z przodu wynika z zaburzeń opływu na krawędziach dziobu i powstawania nad górną płaszczyznę pojazdu znacznych zawirowań, które były widoczne poprzez ukształtowanie nitki.

Badania symulacyjne pływalności transportera przeprowadzono przy wykorzystaniu pakietu CFD (ang. Computational Fluid Dynamics) FLUENT. Kształt bryły pojazdu zaprojektowano na podstawie wymiarów pojazdu pełnogabarytowego i ukształtowania modelu redukcyjnego pojazdu.

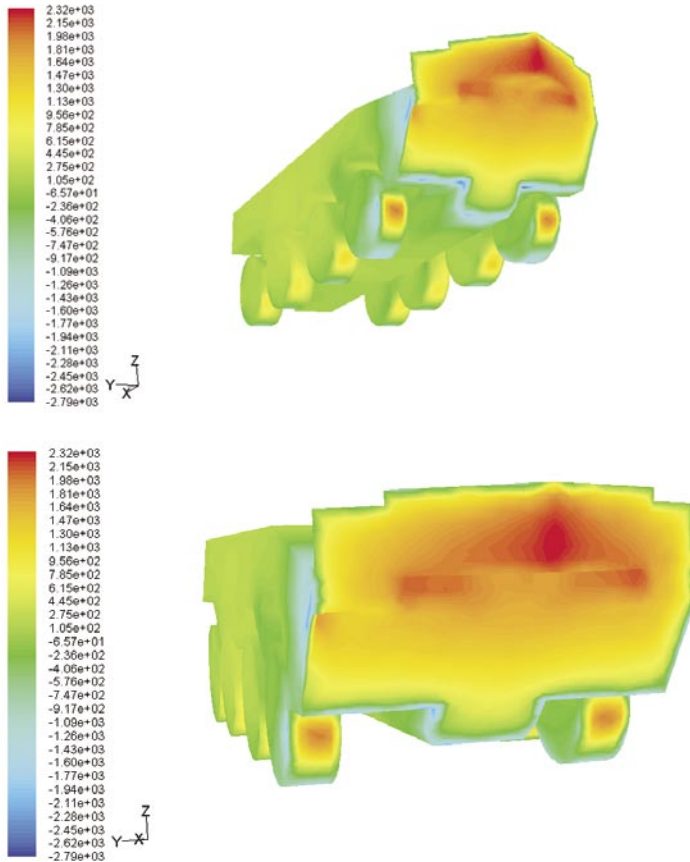
Obliczenia wykonywane z wykorzystaniem pakietu FLUENT bazują na metodzie skończonych objętości. Metoda ta dopuszcza wykorzystywanie niestrukturalnych siatek obliczeniowych. Możliwe jest także przeprowadzanie obliczeń w oparciu o siatki o strukturze blokowej. Model pojazdu do badań symulacyjnych został opracowany w programie SOLID EDGE i następnie poprzez jądro PARSO-LID eksportowany do preprocesora GAMBIT (zawarty w pakiecie FLUENT), gdzie zdyskretyzowano siatką obliczeniową jego powierzchnię (rys. 13a) oraz obszar otaczający go. Ponieważ stworzenie bardzo dokładnej siatki pojazdu rzeczywistego, niezbędnej do uzyskania bardzo dokładnych wyników przekraczało możliwości czasowe pracy, dlatego do badań zastosowano siatkę uproszczoną.

Obliczenia wykonano dla prędkości 1,8; 3,6; 7,2 oraz 10,8 km/h w dwóch wariantach. W pierwszym wariantcie całkowicie zanurzono model w środowisku wodnym bez żadnych zmian w konstrukcji (bryła pełna), co spowodowało zaburzenia strug przy opływie górnej płyty transportera przez wodę i dodatkowe opory ruchu. Natomiast w drugim wariantcie wysokość modelu pojazdu umownie zmniejszono do wymiarów, które obejmowały tylko zanurzoną część podczas pływania, natomiast powyżej linii wodnej model miał płaską powierzchnię (rys. 13b). Przyjęcie takiego



Rys. 13. Modele do obliczeń symulacyjnych: a) siatka do obliczeń; b) bryła objętości zanurzonej i bryła pełna

modelu było spowodowane również faktem, że stworzony program FLUENT był dobrze opanowany dla opływu czynnika jednofazowego (gaz lub ciecz).

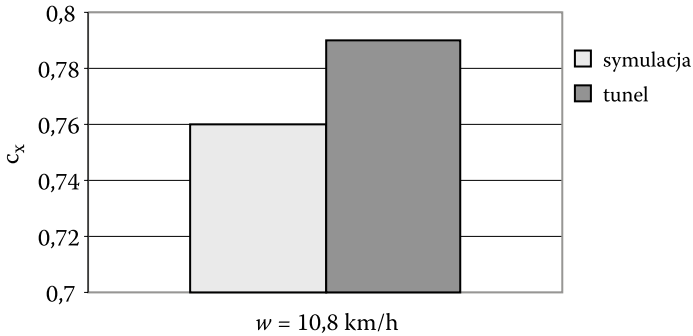


Rys. 14. Rozkłady ciśnienia wokół modelu pojazdu

Badania modelu z płaską płaszczyzną na linii wodnej wykazały, że mimo zastosowania innego rozwiązania konstrukcyjnego, rozkład ciśnienia nie wykazuje znaczących różnic w porównaniu rozkładem ciśnienia modelu bez zmian konstrukcyjnych. Charakter rozkładu ciśnienia na powierzchniach pojazdu zasadniczo nie zmieniał się w miarę wzrostu prędkości opływu. Największe wartości ciśnienia występowały na połączeniu płyt falochronu w jego środkowej części, na płycie czołowej prostopadłej do kierunku pływania oraz na kołach przednich.

Wokół bocznych ścian pojazdu widoczny był spadek ciśnienia z przodu pojazdu i jego wyrównanie się za pierwszym kołem oraz niewielki wzrost ciśnienia na trzecim i czwartym kole pojazdu. Charakter rozkładu ciśnienia w wymienionych

miejscach nie zmienił się istotnie w porównaniu z prędkością 7,2 km/h, natomiast wartość maksymalnego ciśnienia przed dziobem wzrosła od 101 000 do 106 000 Pa (o ok. 5%).



Rys. 15. Porównanie współczynnika oporu opływu w tunelu aerodynamicznym i podczas symulacji

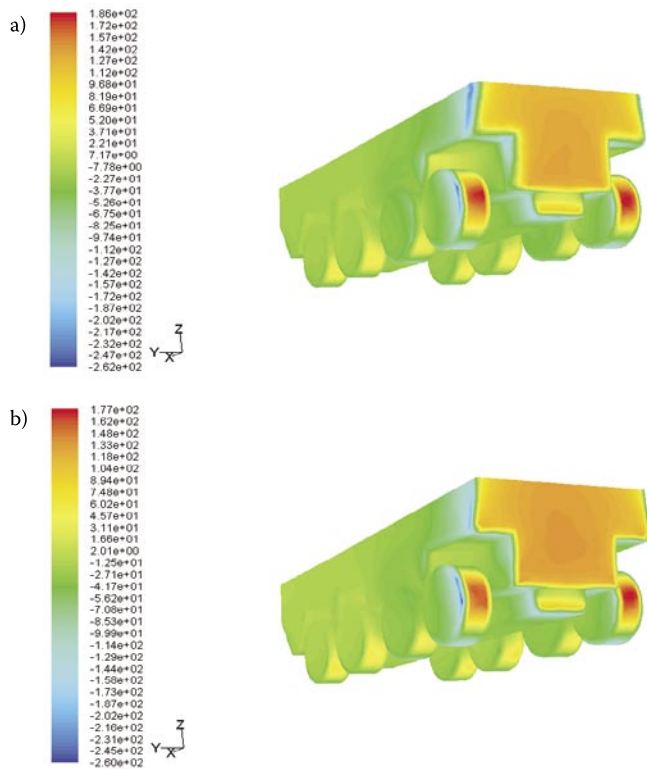
Z porównania współczynników oporów opływu wyznaczonych z badań w tunelu widać, że różnią się one nie więcej niż o 4%, a ich wartości odpowiadają wartościom podawanym w literaturze dla pojazdów z samonośnym nadwoziem (bez mostów), co jest rezultatem w pełni zadowalającym.

Podczas badań symulacyjnych pływania transportera do tyłu wykorzystano dwa modele obliczeniowe tego transportera. W pierwszej wersji był to pojazd ze standardową tylną ścianą kadłuba, natomiast w drugiej wersji zastosowano model pojazdu z zaokrąglonymi krawędziami.

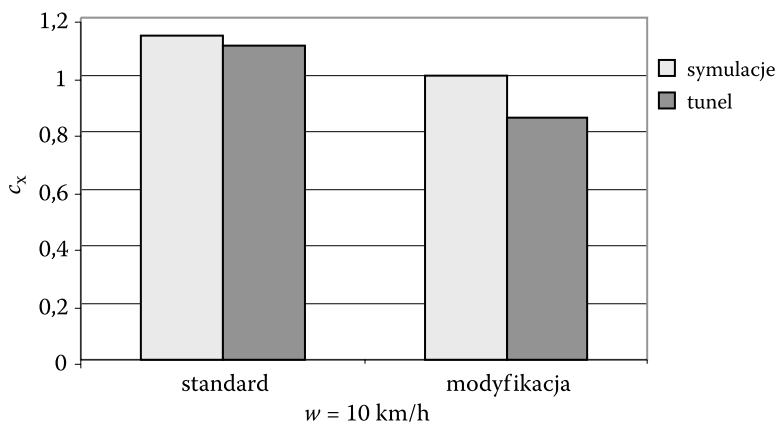
Na podstawie przeprowadzonych badań uzyskano rozkład ciśnienia statycznego na rufie dla dwóch zaproponowanych wersji modelu pojazdu (rys. 16). Wyznaczono także linie ciśnienia wzdłuż kadłuba transportera. Z rozkładu ciśnienia wynika, że dla wersji niezmodyfikowanej, największe obciążenie przypada na centralną część tylnej płaszczyzny pojazdu (drzwi luku desantowego) oraz na koła. Rozkład ciśnienia na tylnej ścianie pojazdu jest w przybliżeniu równomierne, a jedynie przy krawędziach pojazdu ciśnienie to istotnie zmalało. Dość duże ciśnienie wystąpiło także na kołach transportera.

Po zaokrągleniu krawędzi tylnej ściany pojazdu zwiększył się obszar niższego ciśnienia przy bocznych krawędziach tylnej ściany oraz obniżyło się ciśnienie wzdłuż bocznej burty pojazdu. Znacznie niższe było ciśnienie za boczną, pionową krawędzią tylnej ściany pojazdu. Duże ciśnienia wody stwierdzono również na powierzchniach tylnych kół pojazdu (rys. 17).

Zmniejszenie ciśnienia na powierzchni tylnej ściany potwierdzają wartości współczynnika oporów opływu, które zmniejszyły się wyraźnie — o około 14% — po zmianie kształtu tylnej płyty



Rys. 16. Rozkład ciśnienia przy opływie od tyłu: a) wersja z zaokrągleniami; b) wersja bez zaokrąglenia tylnej ścianki



Rys. 17. Porównanie obliczonych oporów opływu od tyłu

5. Wnioski końcowe

1. Przeprowadzone badania modelowe pływalności kołowego transportera opancerzonego, wykonane w kanale wodnym, tunelu aerodynamicznym oraz badania symulacyjne wykonane metodą objętości skończonych przy zastosowaniu programu obliczeniowego FLUENT wykazały dobrą zgodność wyników badań i pełną przydatność zastosowanych metod opartych na kryteriach podobieństwa. Uzyskano zbliżone wartości współczynnika oporów opływu, różniące się na ogół o kilka procent, co przy zastosowaniu niezbyt dokładnej metody pomiarów oporu opływu w kanale wodnym, wynikającej głównie z ograniczonego czasu badań, można uznać jako wynik poprawny.
2. Przy badaniach opływu modelu transportera od przodu dwoma metodami uzyskano średnią wartość współczynnika oporów na poziomie $c_x = 0,78$, co jest wartością zgodną z wartościami podanymi dla tego rodzaju pojazdu pływającego [3].
3. Przegłębienie pojazdu pływającego na dziób lub rufę przy prędkości opływu odpowiadającej prędkości 10 km/h nie wpływa na opory ruchu, jednak przy większej prędkości pływania wpływ zmian położenia transportera względem powierzchni wody jest większy.
4. Przy opływie pojazdu od tyłu wartości współczynnika oporów są dużo większe i osiągają średnie wartości ok. $c_x = 1,1$. Ponieważ przy standardowym ukształtowaniu tylnej ściany pojazdu dominuje opór ciśnieniowy (wynikający ze spiętrzenia płynu) dlatego zaproponowane ścięcia (lub zaokrąglenia) krawędzi tylnej ściany pojazdu powinny zmniejszyć wartość współczynnika oporów przy pływaniu do tyłu o około 10-20%. Powinno to wpłynąć na zwiększenie prędkości pływania transportera do tyłu. Na podstawie wyników badań transportera w kanale wodnym przy zachowaniu odpowiedniej kryterialnej liczby Frouda i badań symulacyjnych stwierdzono, że możliwe byłoby zmniejszenie oporów opływu pojazdu przez nieco inne ukształtowanie falochronu, zmniejszające ciśnienie na krawędzi łączenia płyt i zawirowania wokół burt transportera.
5. Badanie w kanale wodnym wskazuje na podatność transportera do wzdłużnego kołysania się pod wpływem fali.
6. Przeprowadzone badania miały charakter badań rozpoznawczych, które pozwoliły na wstępne rozpoznanie problemów pływalności pojazdów amfibijnych. Uzyskano wiele interesujących wyników i konkretnych propozycji, a także dobrą zgodność zastosowanych metod. Rezultaty mogą być podstawą do kontynuacji badań w tym kierunku. Szczególnie wartościowe mogą być badania symulacyjne prowadzone przy wykorzystaniu pakietu CFD FLUENT. Celowe byłoby dopracowanie modelu bryły pojazdu oraz wprowadzenie dokładnej siatki. Ponadto celowe byłoby uwzględnienie podczas tych badań przepływów strumieni cieczy wywołanych działaniem pedników.

Artykuł wpłynął do redakcji 23.11.2005 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w lipcu 2006 r.

LITERATURA

- [1] A. TROSKOLAŃSKI, *Hydromechanika*, WNT, Warszawa, 1969.
- [2] L. PRANDTL, *Dynamika przepływów*, PWN, Warszawa, 1956.
- [3] L. PROCHOWSKI, *Teoria ruchu i dynamika pojazdów mechanicznych*, cz. II, WAT, Warszawa, 1997.
- [4] FLUENT 6.2 User's Guide, Fluent Inc., January, 2005.
- [5] H. K. VERSTEEG, W. MALASEKERA, *An introduction to Computational Fluid Dynamics – The Finite Volume Method*, Longman Scientific & Technical, England, 1995.
- [6] J. H. FERZIGER, M. PERIC, *Computational Methods for Fluid Dynamics*, Axel Springer Verlag, Berlin, 2002.

J. WALENTYNOWICZ, J. MATRACKI, S. WRZESIEN', M. FRANT

Experimental-numerical research of swimming of wheeled armored vehicle

Abstract. The result of investigations of swimming of wheeled armored vehicle model was presented in this paper. The swimming of reductive model in aqueous channel and wind was investigated as well as drag swimming was analyzed by using software Fluent system. Possibility of resistances decrease during swim back by changing fuel tank form was affirmed.

Keywords: amphibious vehicle, wheeled armored vehicle, swimming, experimental-numerical research

Universal Decimal Classification: 623.438

