

BADANIA OPORU I WŁAŚCIWOŚCI MANEWROWYCH POJAZDU TOYOTA TUNDRA MARINER W WERSJI AMFIBIJNEJ

ZBIGNIEW BURCIU¹, JACEK JACHOWSKI², JAROSŁAW SOLIWODA³
Akademia Morska w Gdyni

Streszczenie

W artykule zostały przedstawione wybrane problemy związane z przebudową samochodu Toyota Tundra na pojazd amfibijny. Pojazd ten został zbudowany jako model funkcjonalny mobilnego systemu dowodzenia, obserwacji, rozpoznania i łączności opracowanego w ramach projektu rozwojowego nr 0008R/T00/2010/11. Omówiono zakres prac konstrukcyjnych związanych z przystosowaniem pojazdu do przebywania i ruchu w wodzie. Prace projektowe obejmowały optymalizację kształtu części zanurzonej pojazdu z uwzględnieniem dopływu wody do pompy strumieniowej – Pump-Jet firmy Schottel jako napędu głównego w wodzie. Optymalizacji dokonano przy pomocy narzędzi komputerowych wykorzystujących numeryczną mechanikę płynów i modelowanie geometrii. Dzięki tym obliczeniom było możliwe uwzględnienie wpływu skomplikowanej geometrii podwozia i komór wypornościowych na charakterystyki statecznościowe, właściwości oporowo-napędowe i układ falowy podczas ruchu w wodzie zamodelowanego wcześniej kształtu. Na podstawie wypracowanego modelu komputerowego wykonano przebudowę pojazdu Toyota Tundra obejmującą dodanie komór wypornościowych oraz zabezpieczenie układów napędowych i kabiny przed dostaniem się wody. W dalszej kolejności przebudowany pojazd poddano próbom manewrowym, prędkości maksymalnej i sprawności napędu wodnego dla weryfikacji obliczeń i przetestowania dokonanej przebudowy.

Słowa kluczowe: amfibia, uciąż na palu, próby oporowo-napędowe, próby manewrowe

1. Wprowadzenie

Przedmiotem analizy była ocena przebudowy samochodu Toyota Tundra jako modelu prototypu pojazdu realizowanego w ramach projektu rozwojowego, przystosowywanego do pływania w wodzie [1].

¹ Akademia Morska w Gdyni, Wydział Nawigacyjny, Katedra Eksploatacji Statku, al. Jana Pawła II, 81-325 Gdynia, e-mail: zbj@am.gdynia.pl, tel. 58 620 11 14

² Akademia Morska w Gdyni, Wydział Nawigacyjny, Katedra Eksploatacji Statku, al. Jana Pawła II, 81-325 Gdynia, e-mail: jjachowski@o2.pl

³ Akademia Morska w Gdyni, Wydział Nawigacyjny, Katedra Eksploatacji Statku, al. Jana Pawła II, 81-325 Gdynia, e-mail: jsoliwoda@wp.pl

Model ten został zbudowany w celu przeprowadzenia testów następujących systemów:

- łączności, rozpoznania i wykrywania,
- napędu wodnego,
- odwadniania, osuszania pojazdu,
- napowietrzania.

Analizie zostały poddane następujące parametry samochodu:

- kształt konieczny do osiągnięcia zadanej prędkości pływania,
- prędkość, jaka może zostać osiągnięta przez pojazd na wodzie z pędnikiem Pump-Jet firmy Schottel,
- układ falowy generowany przy prędkości maksymalnej,
- charakterystyka oporowo-napędowa pojazdu,
- zdolności manewrowe pojazdu z pędnikiem Pump-Jet firmy Schottel,
- „uciąg pojazdu na palu”.

2. Optymalizacja geometrii pojazdu Toyota Tundra ze względu na pływalność, stateczność i właściwości oporowo-napędowe

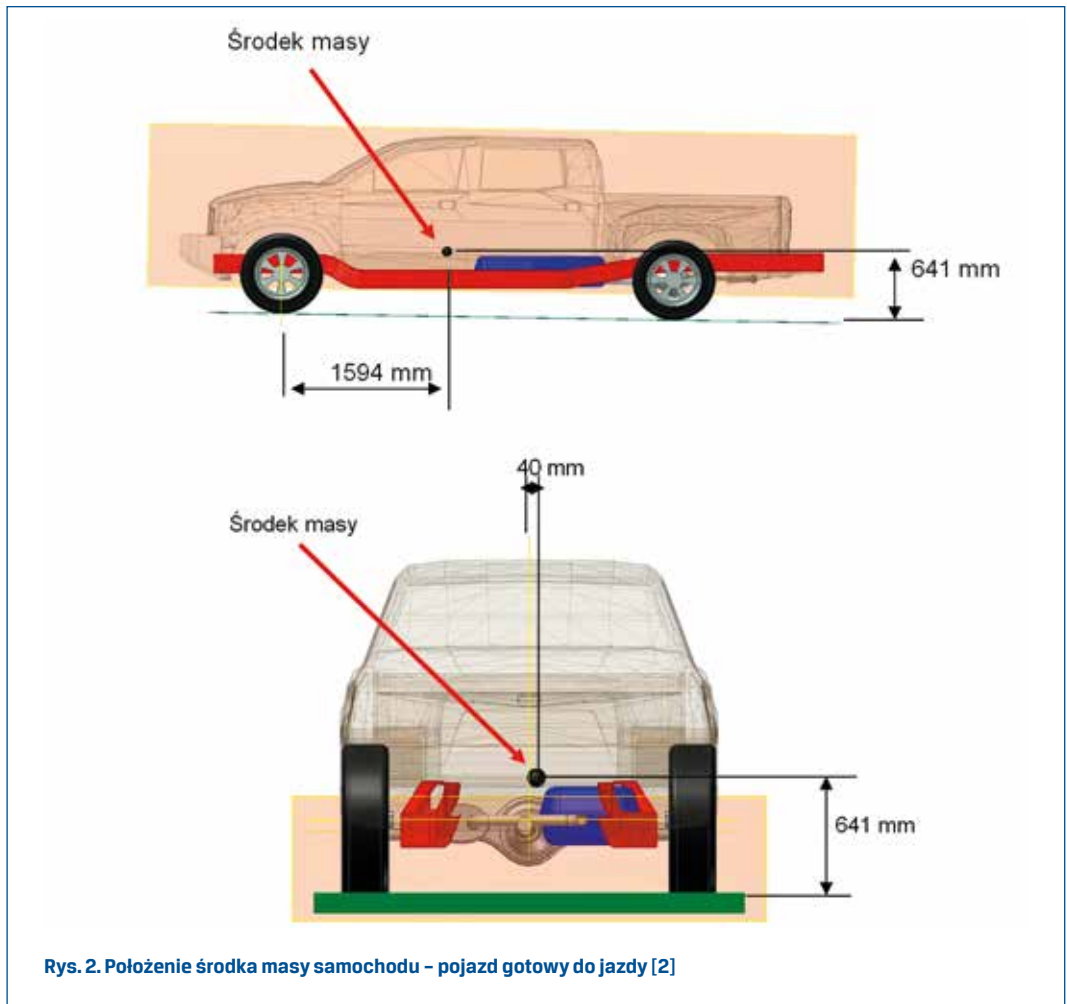
Rysunek 1 przedstawia samochód Toyota Tundra CrewMax przed przebudową. Zapewnienie temu pojazdowi pływalności wymagało korekty rozkładu mas i doboru odpowiednio rozłożonych zbiorników wypornościowych. Rysunek 2 ilustruje położenie środka masy pojazdu w wersji bazowej.

Uwzględniając wstępny kształt pojazdu oraz położenie środka ciężkości, pojazd poddano przebudowie. Przebudowa obejmowała następujący zakres prac mających wpływ na parametry pływania samochodu:

1. Podniesienie nadwozia o 6" (15 cm),
2. Uszczelnienie nadwozia,



Rys. 1. Toyota Tundra przed przebudową. Wyznaczenie położenia środka masy samochodu wykonane w Przemysłowym Instytucie Motoryzacji [2]



Rys. 2. Położenie środka masy samochodu - pojazd gotowy do jazdy [2]

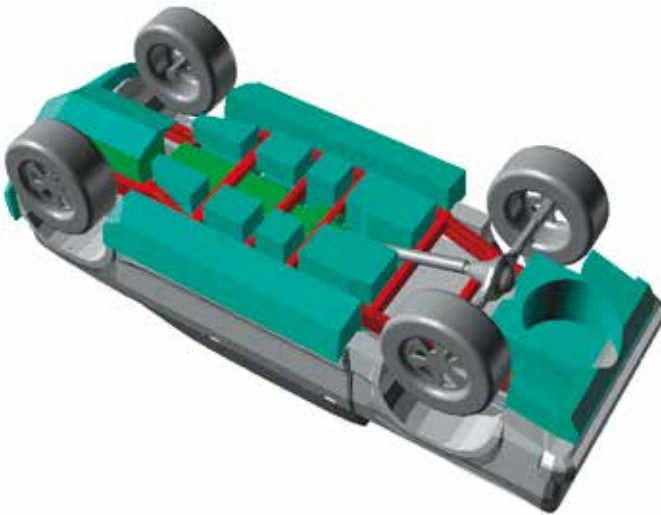
3. Uszczelnienie silnika,
4. Umieszczenie reduktora i montaż przystawki mocy do napędu Schottel,
5. Zamiana standardowych opon,
6. Uszczelnienie przedziału ładunkowego,
7. Zainstalowanie zbiorników wypornościowych,
8. Zainstalowanie przedniego zderzaka wypornościowego,
9. Zainstalowanie tylnego zderzaka wypornościowego,
10. Instalacja pędnika Schottel,
11. Przebudowa wnętrza samochodu,
12. Przeniesienie układu wydechowego,
13. Przeniesienie zbiornika paliwowego do przedziału ładunkowego

Pod względem właściwości oporowo napędowych i manewrowych największe znaczenie miały:

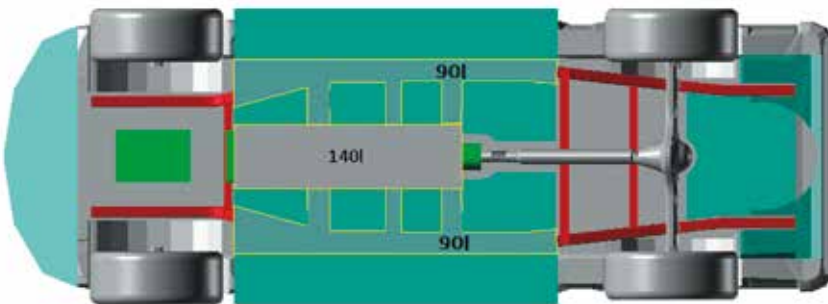
- zabudowa podwozia komorami wypornościowymi zapewniającymi pływalność i zmniejszającymi opór części wystających podwozia;
- umiejscowienie pędnika Schottel w pojeździe;
- zaprojektowanie kształtu części dziobowej.

Optymalizacji kształtu dokonano przy pomocy narzędzi komputerowych.

W końcowym etapie obliczeń ustalono, że dla zapewnienia pływalności potrzebne są komory sięgające 0.15 m poniżej ramy pojazdu (rys.3). Dodatkowo, w celu powiększenia wyporności i zmniejszenia oporu, możliwe jest wypełnienie pustych przestrzeni pomiędzy pływakami (rys. 4).



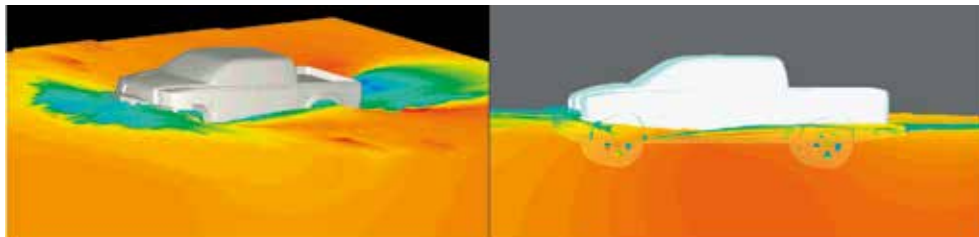
Rys. 3. Rozmieszczenie elementów pływalnościowych pod ramą samochodu



Rys. 4. Wypełnienia wolnej przestrzeni

Kształt części dziobowej ma duże znaczenie dla oporów hydrodynamicznych zarówno w fazie wodowania jak i pływania, dlatego rozpatrzono kilka wersji ukształtowania tej części kadłuba, z których ostatecznie, po symulacjach z zastosowaniem numerycznej mechaniki płynów – rys. 5 wybrano ostateczny kształt przedstawiony na rys. 6.

Jako źródło napędu na wodzie wybrano pędnik Pump-Jet firmy Schottel, który został zainstalowany w pojeździe za tylną osią pojazdu (rys. 7 i 8).



Rys. 5. Obliczenia numeryczne oporu i wizualizacja układu falowego dla końcowej wersji kształtu pojazdu przy prędkości po wodzie $V=2,5\text{m/s}$



Rys. 6. Kształt pojazdu po optymalizacji



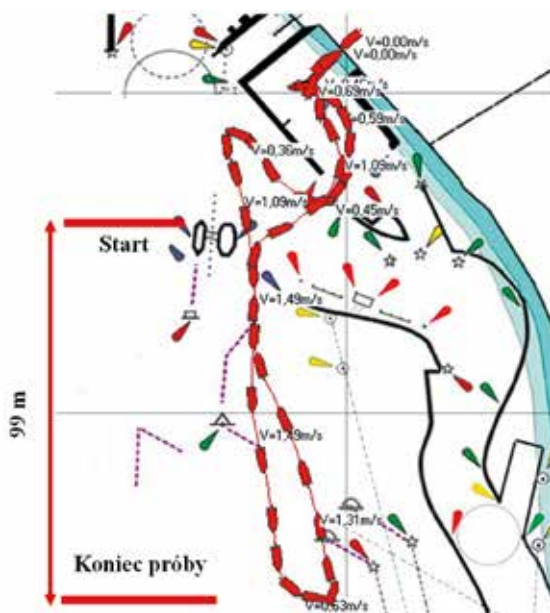
Rys. 7. Pędnik Pump-Jet firmy Schottel – przekrój z kierunkiem przepływu wody [5]



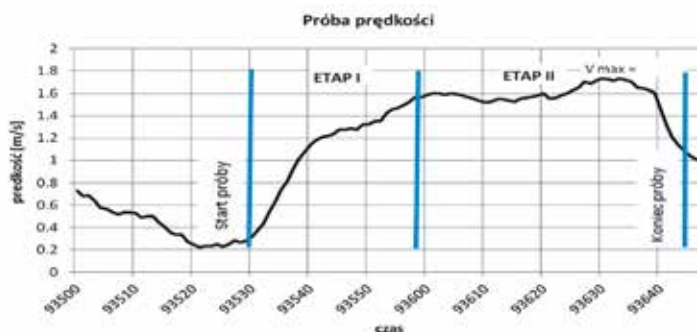
Rys. 8. Pędnik Pump-Jet firmy Schottel zainstalowany w pojeździe za tylną osią

3. Próby na wodzie, próba prędkości

Próba prędkości została przeprowadzona na spokojnej wodzie na jeziorze Silm w Ośrodku Badawczo-Szkoleniowym Manewrowania Statkami Fundacji Bezpieczeństwa Żeglugi i Ochrony Środowiska w Iławie. W samochodzie, w trakcie wykonywania testu, znajdowały



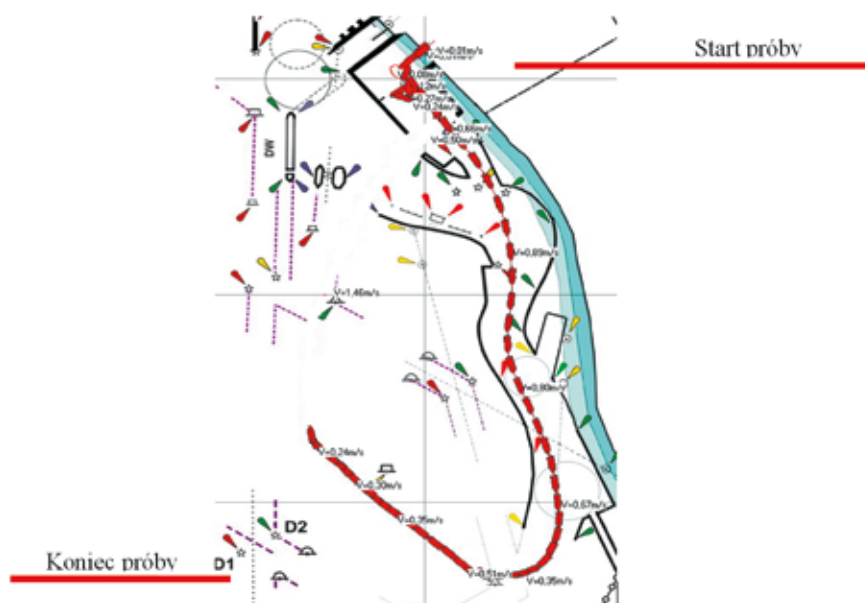
Rys. 9. Trasa pojazdu Toyota Tundra „Mariner” podczas wykonywania próby prędkości – pomiar DGPS, (Iława, Jezioro Silm, Ośrodek Badawczo-Szkoleniowy Fundacji Bezpieczeństwa Żeglugi i Ochrony Środowiska)



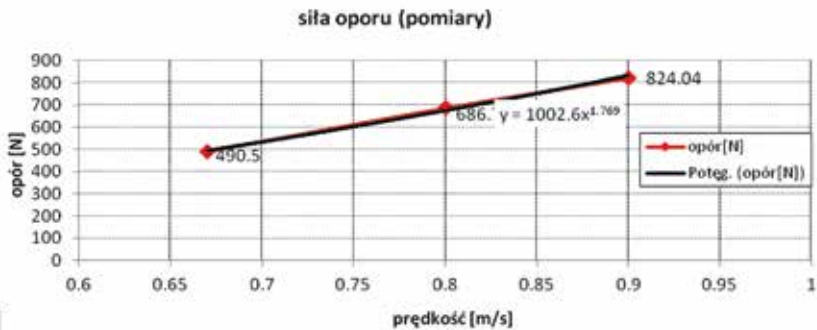
Rys. 10. Wykres zmian prędkości w czasie (odstęp 10 sekundowe)

się 3 osoby. Celem próby było określenie prędkości średniej i maksymalnej pojazdu Toyota Tundra „Mariner” w wodzie. Trasę próby ilustruje rys. 9.

W przeprowadzonej próbie prędkości można wyróżnić dwa etapy (rys. 10). Pierwszy etap (przyśpieszenie) zaczyna się w momencie rozpoczęcia próby i kończy w chwili, gdy prędkość się ustabilizuje. W 30 sekund pojazd rozpędził się z 0,2 m/s do 1,6 m/s, co daje zmianę prędkości o 1,4 m/s na dystansie 35 metrów. Drugi etap (stabilizacja) trwa aż do momentu zakończenia próby. Na dystansie 64 metrów ustaliła się prędkość średnia (1,6 m/s) oraz



Rys. 11. Trasa holowania – pomiar DGPS, (Hława, Jezioro Silm, Ośrodek Badawczo-Szkoleniowy Manewrowania Statkami)



Rys. 12. Wykres zmian siły oporu podczas holowania pojazdu Toyota Tundra

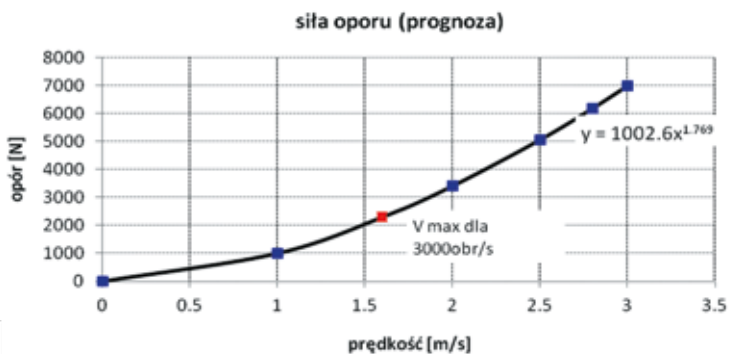
osiągnięta została prędkość maksymalna (1,7 m/s). Zrezygnowano ze zwiększenia prędkości ze względów bezpieczeństwa.

3.1 Próba oporu

Opór pojazdu wyznaczono w próbie holowania przy różnych prędkościach. W trakcie tej próby w pojeździe znajdowały się trzy osoby. Trasa próby pokazana jest na rys. 11.

Siła oporu pojazdu Toyota Tundra została zmierzona za pomocą dynamometru tensometrycznego (dokładność $\pm 0,5\%$) przy zmieniającej się prędkości holowania (rys. 12).

Ze względu na ograniczenia pojazdu holującego, prędkość holowania nie przekraczała 1 m/s. Na podstawie zebranych danych przeprowadzono ekstrapolację zmian siły oporu pojazdu Toyota Tundra przy większych prędkościach holowania – (rys. 13).



Rys. 13. Ekstrapolacja zmian siły oporu wraz ze zmianą prędkości holowania dla Toyoty Tundry



Rys. 14. Próba bollard-pull

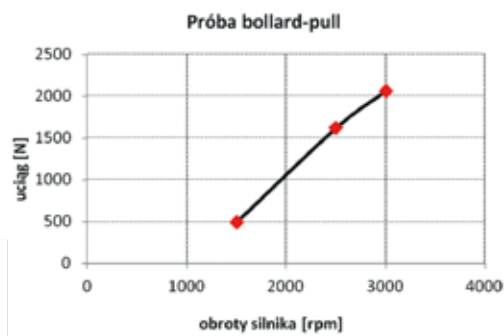
3.2. Siła uciągu na palu

Do badania siły uciągu na palu użyto dynamometru tensometrycznego (dokładność $\pm 0,5\%$) przymocowanego do nieruchomej konstrukcji stalowej. Dynamometr był połączony z pojazdem za pomocą holu.

Siłę uciągu zapisywano w momencie, gdy obroty silnika dochodziły do wartości 1500, 2500 i 3000 rpm (tab. 1 i rys. 15).

Tab. 1. Zmiana siły uciągu w zależności od zadanych obrotów silnika pojazdu holującego

Obroty silnika [rpm]	Siła uciągu [N]
1500	490
2500	1619
3000	2060



Rys. 15. Wykres siły uciągu podczas zmian obrotów silnika



Rys. 16. Przestrzeń manewrowa podczas prób cyrkulacji

3.3. Próba cyrkulacji

Wykonanie próby cyrkulacji miało na celu określenie zdolności manewrowych pojazdu wyposażonego w pędnik Pump-Jet firmy Schottel.

Czas cyrkulacji – zmiany położenia pojazdu o 360° osiągnięty w próbach wyniósł 15 s.

Średnica cyrkulacji – 7 m \approx 1,2 długości pojazdu.

4. Wnioski

W badaniach Toyoty Tundry wyznaczono wartości oporu, pozwalające na oszacowanie wymagań dla napędu podczas pływania [3][4]. Ze względu na to, że podczas badań oporowych Toyoty Tundry nie testowano maksymalnej mocy pędnika, maksymalna prędkość wyniosła 1.7 m/s. Wyniki oporu dla większych prędkości ekstrapolowano przy założeniu, że nie nastąpi znaczna zmiana trymu na dziób. Zestawienie wyników badań oporu pojazdu Toyoty Tundry Mariner przedstawia poniższa tabela.

Tab. 2. Zestawienie wyników z pomiarów oporu Toyoty Tundry Mariner

	Toyota Tundra Mariner
Prędkość [m/s]	Opór [kN]
2.5 m/s	6.7
2.8 m/s	8.2

Dla maksymalnej mocy napędu (110kW) prędkość pojazdu zgodnie z wykonaną prognozą wyniesie około 2.5 m/s (9 km/h). Sprawność układu napędowego, liczona jako stosunek mocy holowania do mocy doprowadzonej do pędnika, wynosi około 14%.

Zastosowanie pędnika Pump-Jet firmy Schottel umożliwia sterowanie wektorem naporu pędnika w zakresie 360°. Umożliwia to precyzyjne manewrowanie pojazdem na przestrzeni manewrowej nie przekraczającej 2 długości pojazdu. Pozwala to na wykorzystanie pojazdu również na małych akwenach, gdyż możliwe staje się dokładne manewrowanie na niewielkiej przestrzeni.

Mimo przeprowadzonych testów i osiągnięcia zamierzonych celów należy stwierdzić, że samochody z silnikiem benzynowym, produkowane seryjnie (mimo że posiadają cechy samochodu brodzącego) są pojazdami, które bardzo trudno dostosować do użytkowania jako pojazd pływający. Jednym z zasadniczych problemów jest uszczelnienie pojazdu oraz jego mechanizmów. Podzespoły mechaniczne są nieodporne na przebywanie w środowisku wodnym, konstrukcja karoserii uniemożliwia pełne uszczelnienie. Drugim problemem pozostaje zapewnienie odpowiedniej pływalności przy założeniu, że nie będzie zmieniana konstrukcja podwozia. Kolejnym problemem staje się transfer mocy do pędnika, który wymaga przebudowy układu napędowego pojazdu.

Przebudowa samochodu seryjnego pozwalająca na pływanie na spokojnej wodzie jest możliwa, ale niesie ze sobą dużo problemów natury technicznej, finansowej oraz bezpieczeństwa operatorów.

Literatura

- [1] BURCIU Z. et al.: *Mobilny system dowodzenia, obserwacji, rozpoznania i łączności*. Projekt rozwojowy 0008R/T00/2010/11.
- [2] JERSAK M., KIDAWSKI A., OGŁAZA J., WŁODARCZYK A.: *Raport z badań nr VIN 5TFDW5F10BX173766*, z dnia 03.03.2011 Zleceniodawca: Laboratorium Hamulców, ul. Obywatelska 85, 93-562 Łódź. Nr identyfikacyjny: 5TFDW5F10BX173766 Nr ewidencyjny PIMOT: BLP006.
- [3] KRASKOWSKI, M.: *Optymalizacja geometrii pojazdu ASD pod kątem pływania*, Raport techniczny Nr RH-2010/T-109, Centrum Techniki Okrętowej S.A., 2010.
- [4] KRASKOWSKI, M.: *Pojazd 'ASD'. Wyniki badań modelowych na wodzie spokojnej*. Model M794., Raport techniczny Nr RH-2011/T-015, Centrum Techniki Okrętowej S.A., 2011.
- [5] www.schottel.nl