

## ANALIZA PŁYWALNOŚCI I STATECZNOŚCI POJAZDU RATOWNICTWA WODNEGO DO PROWADZENIA AKCJI NA AKWENACH ŚRÓDLĄDOWYCH I WODACH PRZYBRZEŻNYCH ORAZ POKRYTYCH LODEM

### Streszczenie

*W artykule przedstawiono wyzwania związane z zastosowaniem małego pojazdu ratownictwa wodnego do prowadzenia akcji na akwenach śródlądowych i wodach przybrzeżnych oraz pokrytych lodem. Przedstawiono koncepcję małego pojazdu ratownictwa wodnego. Opisano wybrane elementy modelowania pływalności i stateczności pojazdu. Przedstawiono podstawowe elementy związane z modelowaniem ruchu i oceną zachowania się obiektu w warunkach operacyjnych. Podano wnioski końcowe dotyczące prowadzonych badań.*

### WSTĘP

W artykule przedstawiono podstawowe informacje na temat badań związanych z opracowaniem koncepcji pojazdu ratownictwa wodnego przeznaczonego do prowadzenia akcji na akwenach pokrytych lodem PRWL. W szczególności podano wybrane informacje na temat analizy pływalności i stateczności pojazdu.

Do podstawowych cech pojazdu można zaliczyć: pływalność, stateczność i mobilność (właściwości oporowo-napędowe i właściwości manewrowe). Pływalność pojazdu jest nierozdzielnie związana ze zdolnością pojazdu do utrzymania się na powierzchni wody wraz z osobą ratowaną na pokładzie pojazdu. Założono, że koncepcja pojazdu PRWL zostanie oparta na koncepcji pojazdu ROV (ang. Remotely Operated Vehicle).

Metoda badawcza została oparta na ocenie osiągow i zachowania się pojazdu PRWL, w różnych etapach i fazach eksploatacji oraz na ocenie ryzyka wypadku.

Przedstawione w artykule informacje stanowią fragment badań wstępnych realizowanych na Wydziale Oceanotechniki i Okrętownictwa Politechniki Gdańskiej w latach 2014-2015.

### 1. KONCEPCJA ZASTOSOWANIA POJAZDU

Problem badawczy polega na opracowaniu modelu funkcjonalnego PRWL na bazie, którego zostanie opracowany demonstrator technologii pojazdu ratownictwa wodnego PRWL przeznaczony do prowadzenia akcji ratunkowej na akwenach pokrytych lodem.

Obecnie brakuje nowoczesnych rozwiązań w zakresie pojazdów, które umożliwiłyby wspomaganie i prowadzenie akcji ratunkowej na akwenach pokrytych lodem, związanych z koniecznością podjęcia osób znajdujących się w wodzie na pograniczu powierzchni zalodzonej akwenu i wody. Osobami, które należy podjąć z wody mogą być zarówno osoby poszkodowane w wyniku wystąpienia zdarzenia lub sekwencji zdarzeń (wypadku) jak i członkowie zespołu ratowniczego. Osobami podejmowanymi z wody w czasie akcji ratowniczej mogą też być osoby postronne, starające się udzielić pomocy poszkodowanym, tuż po wystąpieniu zdarzenia (pęknięcie pokrywy lodowej), a które starały się udzielić pomocy przed przybyciem zespołu ratowniczego.

Zdecydowano się opracować mały pojazd ratowniczy, który powinien posiadać innowacyjne rozwiązania w zakresie kształtu, podziału przestrzennego, konstrukcji i napędu oraz zastosowanych materiałów. Jak już wspomniano pojazd powinien posiadać odpowiednią pływalność i stateczność w wodzie oraz dobrą mobilność

zarówno na powierzchni zalodzonej części akwenu jak i w wodzie (na powierzchni wody).

Założono, że z punktu widzenia sterowania ruchem pojazdu, koncepcja proponowanego małego pojazdu ratowniczego zostanie oparta na koncepcji platformy sterowanej zdalnie ROV (ang. Remotely Operated Vehicle).

Powyższe założenie wynika z dwóch powodów. Po pierwsze, źródło zasilania platformy PRWL w energię będzie się znajdowało poza pojazdem, na łodzi lub na pokładzie pojazdu bazowego należącego do zespołu ratowniczego lub innych służb, koordynujących akcję ratowniczą. Ze względów technologicznych i eksploatacyjnych, pojazd będzie wyposażony w napęd elektryczny. Po drugie, sterowanie platformą PRWL zasadniczo będzie się odbywać zdalnie, przy użyciu przenośnego pulpitu sterowniczego (panelu sterowania) połączonego z PRWL wiązką sterującą i łączem energetycznym.

Już na etapie powstawania koncepcji pojazdu PRWL założono, że niezbyt długi etap badań powinien doprowadzić do szybkiego wdrożenia i zastosowania pojazdu w praktyce. Całość projektu podzielono na projekt koncepcyjny, wstępny i techniczny. Opracowanie projektu technicznego powinno zakończyć badania przemysłowe. Wynikiem badań przemysłowych powinna być kompletna dokumentacja techniczna pojazdu PRWL. Wdrożenie powinno rozpocząć się od opracowania projektu wykonawczego i obejmować opracowanie i budowę demonstratora technologii. Prototyp pojazdu PRWL powinien powstać na bazie udoskonalonej wersji demonstratora technologii.

### 2. PODSTAWOWE DANE TECHNICZNE POJAZDU PRWL

Parametry i charakterystyki pojazdu PRWL są ściśle związane z przeznaczeniem pojazdu. Proponowany PRWL posiada następujące parametry główne:

1. Długość operacyjna L: 2,8 m.
2. Szerokość operacyjna B: 1,2 m.
3. Wysokość H: 0,4 m.
4. Masa pojazdu M: 60,0 kg - 120,0 kg (w zależności wersji).
5. Prędkość pojazdu na powierzchni lodu  $v_{pl}$ : max 5 m/s.
6. Prędkość pojazdu na powierzchni wody  $v_{pw}$ : max 2 m/s.

Opracowany kształt i elementy modelu funkcjonalnego PRWL przeznaczonego do prowadzenia akcji ratunkowej na akwenach pokrytych lodem przedstawiono schematycznie na rys. 1.



**Rys. 1.** Koncepcja pojazdu PRWL, kształt i elementy modelu funkcjonalnego, przeznaczonego do prowadzenia akcji ratunkowej na akwenach pokrytych lodem [źródło: M.K. Gerigk, 2014-2015].

### 3. METODA BADAŃ

Problemem Metoda badań oparta jest na ocenie osiągow i zachowania się pojazdu PRWL oraz na ocenie ryzyka wypadku PRWL. W metodzie, zagadnienia typowo projektowe, związane z oceną osiągow i zachowania się pojazdu, zostały zintegrowane z zagadnieniami związanymi z zagadnieniami oceny ryzyka.

Ocena osiągow i zachowania się pojazdu oparta jest głównie na ocenie wpływu stanu załadowania PRWL na pływalność, stateczność i mobilność pojazdu w wodzie, w tym w mieszaniu wody i lodu. Mobilność pojazdu rozumiana jest jako zapewnienie pojazdowi odpowiednich właściwości oporowo-napędowych i manewrowych zarówno na zalodzonej powierzchni akwenu jak i w wodzie. Ocena ryzyka wypadku PRWL oparta jest na zastosowaniu opracowanego modelu ryzyka na podstawie, którego szacuje się ryzyko wypadku dla różnych scenariuszy zdarzeń (scenariusze wypadku). Ocena ryzyka dokonywana jest przy użyciu macierzy ryzyka, w celu określenia poziomów istotności ryzyka.

Główną cechą metody jest to, że do oceny bezpieczeństwa PRWL zastosowano tak zwane podejście całościowe. Polega ono na tym, że model ryzyka wypadku jest modelem całościowym i że uwzględniono wpływ na bezpieczeństwo obiektu czynników o charakterze projektowym, eksploatacyjnym i tych związanych z zarządzaniem i czynnikiem ludzkim.

Do oceny osiągow i zachowania się pojazdu PRWL można zastosować jedną z dwóch metod: badania na modelu fizycznym lub symulację komputerową. Ocena osiągow i zachowania się pojazdu umożliwi przewidywanie możliwych zdarzeń i ich sekwencji (scenariusze wypadku). W związku z tym, ocena osiągow i zachowania się pojazdu stanowi podstawę do budowy drzewa zdarzeń ETA (ang. ETA - Event Tree Analysis). Szacowanie ryzyka jest dokonywane poprzez obliczenie ryzyka, zgodnie z opracowanym drzewem zdarzeń ETA i w oparciu o opracowany macierzowy model ryzyka. Ocenę ryzyka można przeprowadzić wykorzystując kryteria oceny ryzyka (ang. RAC - Risk Acceptance Criteria). Do oceny ryzyka w metodzie proponuje się zastosowanie jako kryterium oceny ryzyka, macierz ryzyka.

**Ocena osiągow i zachowania się pojazdu PRWL.** Do podstawowych zagadnień związanych z oceną osiągow i zachowania się pojazdu należą: pływalność, stateczność i mobilność.

**Materiał, ciężar i położenie środka ciężkości pojazdu.** Kadłub obiektu, w tym pokład zostanie zrobiony z laminatu poliestrowo-szklanego by uzyskać lekką i wytrzymałą konstrukcję. W celu uproszczenia obliczeń przyjęto wszędzie taką samą grubość laminatu równą 10 mm. Masa mat szklanych stanowi około 40% całości masy laminatu użytej na konstrukcję pojazdu. W celu określenia masy usztywnień dokonano przybliżenia i przyjęto że stanowią one 30% masy całkowitej konstrukcji pojazdu.

Masę całkowitą pojazdu należy oszacować według zależności:

$$M_C = M_{\text{Poszycia kadłuba}} + M_{\text{Usztywnień}} + M_{\text{Układu napędowego}} + M_{\text{Wyposażenia}} \quad (1)$$

**Pływalność i stateczność.** Modyfikacja stanu załadowania pojazdu PRWL wynika z szybkiego dostawania się na pojazd (pokład pojazdu) osoby poszkodowanej. Zatem, wyporność pojazdu zwiększa się lub zmniejsza w zależności od czasu trwania etapów i faz akcji ratowniczej. Założono, że osoba podejmowana z wody będzie posiadała masę około 100 kg, i że pojazd będzie posiadał osiem zbiorników (komór balastowych), każdy po około 0.05 m<sup>3</sup>. Zbiorniki te będą mogły być wypełnione wypełniaczami lub pozostawać puste, w różnym stopniu, w zależności od potrzeb operacyjnych. Do korekcy położenia pojazdu względem swobodnej powierzchni wody (w wersji zaawansowanej pojazdu) zdecydowano się użyć podsystemu do szybkiego balastowania pojazdu. Proces balastowania pojazdu, jego zmiana położenia względem swobodnej powierzchni wody, nie powinna trwać dłużej niż 5 sekund. Ten czas warunkuje wydajność małych szybkich pomp balastowych. W czasie balastowania pojazdu, jego stateczność statyczna i dynamiczna będzie podlegała stałej kontroli. Pojazd jest zaprojektowany (zaprogramowany) tak, że posiada wrodzoną pływalność i stateczność. Polega to na tym, że w trakcie balastowania wyznaczane jest aktualne położenie środka ciężkości pojazdu, w kroku czasowym około 0,1 sekundy. Momenty przywracające pojazd do położenia w przybliżeniu wyprostowanego, w płaszczyźnie poprzecznej i podłużnej obiektu, wynikają ze zmian położenia siły ciężkości i siły wyporu obiektu, nawet dla niewielkich zmian kąta przechyłu lub przegiębienia:

$$M_R = M_B + M_W \quad (2)$$

gdzie:

- $M_B$  - moment od działania siły wyporu,  $M_B = V \rho g GZ_{\text{quasi-static}}$ ,
- $V$  - wyporność obiektu,
- $\rho$  - gęstość wody,
- $g$  - przyspieszenie ziemskie,
- $GZ_{\text{quasi-static}}$  - ramię prostujące w warunkach równowagi quasistatycznej w zależności od zmiany wyporności i kroku czasowego,
- $M_B$  - moment od działania siły ciężkości,  $M_W = \sum (\rho g \Delta V_{\pi_i}) r_i$ ,
- $\Delta V_{\pi_i}$  - objętość wody w rozważanym zbiorniku balastowych,
- $r_i$  - ramię przechylające od działania wody w danym zbiorniku balastowych.

Przykładowe elementy analizy pływalności i stateczności pojazdu podobnego w postaci:

- opisu kształtu kadłuba pojazdu,
- charakterystyki statecznościowej  $GZ_{\text{quasi-static}}$  (krzywa ramion prostujących dla położenia środka ciężkości pojazdu KG-0,18 m od płaszczyzny podstawowej pojazdu PP), przedstawiono na rys. 2.

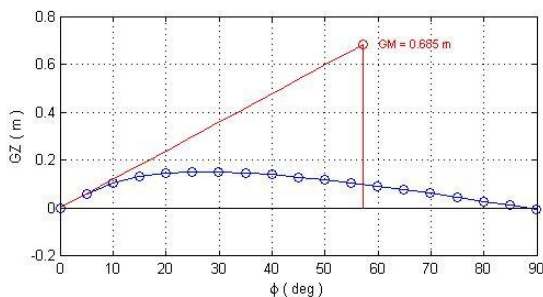
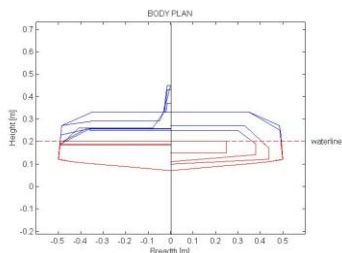
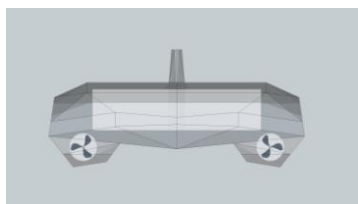
**Modelowanie ruchu i mobilności pojazdu PRWL.** Podczas badań przyjęto, że ogólny układ równań ruchu pojazdu poruszającego się na powierzchni wody, który umożliwia określenie zachowania się pojazdu w warunkach operacyjnych, można zapisać jak poniżej [1, 2, 3, 4, 7, 8]:

$$\sum_{j=2}^6 (M_{ij} + A_{ij}) \ddot{x}_j(t) + B_{ij} \dot{x}_j(t) + C_{ij} x_j(t) = \sum_{j=2}^6 F_{ij}(t) \quad (3)$$

gdzie:

- $i$  - indeks opisujący kolejne składowe ruchu pojazdu ( $i = 2, \dots, 6$ ),
- $j$  - indeks opisujący kolejny stopień swobody pojazdu,
- $M_{ij}$  - macierz mas pojazdu,

- $A_{ij}$  - macierz mas towarzyszących (oddziaływanie hydromechaniczne),
- $B_{ij}$  - macierz współczynników sił tłumienia,
- $C_{ij}$  - macierz współczynników sił przywracających,
- $F_{ij}$  - macierz zewnętrznych sił hydrodynamicznych.



**Rys. 2.** Przykładowe elementy analizy pływalności i stateczności pojazdu podobnego w postaci opisu kształtu kadłuba pojazdu i charakterystyki statecznościowej (krzywa ramion prostujących dla położenia środka ciężkości pojazdu KG-0,18 m od płaszczyzny podstawowej pojazdu PP) [źródło: M.K. Gerigk, 2014-2015].

Rozwiązując powyższy układ równań (3) należy wziąć pod uwagę następujące wymuszenia pochodzące z różnych źródeł:

- Siły grawitacyjne.
- Siły hydrostatyczne (siły przywracające).
- Siły hydrodynamiczne (siły wymuszające Froude'a-Krylov'a, siły wymuszające dyfrakcyjne).
- Siły od przemieszczenia środka ciężkości pojazdu, w tym człowieku i/lub balastu.
- Siły od działania urządzeń napędowych (pędniki, gąsienice).
- Siły będące wynikiem działań czynnika ludzkiego (sterownie obiektem), trudne do określenia.

Obecne badania ruchu oraz osiągnięć i zachowania się pojazdu dotyczą opracowania poprawnie funkcjonującego quasi-dynamicznego modelu ruchu pojazdu.

Modelując ruch pojazdu, osiągi i jego zachowanie, odpowiednie jego stopnie swobody przyjęto nazywać w sposób następujący:

- Kołysania podłużne liniowe pojazdu (ang. surge).
- Kołysania poprzeczne liniowe (ang. sway).

- Kołysania pionowe liniowe (ang. heave).
- Kołysania poprzeczne kątowe (ang. roll).
- Kołysania podłużne kątowe (ang. pitch).
- Kołysania poziome kątowe pojazdu (ang. yaw).

**Ocena ryzyka wypadku pojazdu.** Do podstawowych zagadnień związanych z oceną ryzyka wypadku pojazdu należą: szacowanie ryzyka (obliczanie ryzyka), ocena ryzyka.

**Ryzyko wypadku.** Podstawę analizy ryzyka wypadku w proponowanej metodzie stanowi model ryzyka, który powinien umożliwiać szybkie modelowanie sekwencji zdarzeń zagrażających bezpieczeństwu pojazdu. Zgodnie z definicją ryzyka, podaną w literaturze [1], ryzyko wypadku pojazdu, można przedstawić w sposób następujący [3]:

$$R = P_z P_{ZP/Z} P_{US/ZP/Z} C \quad (3)$$

gdzie:

- $P_z$  - prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia.
- $P_{ZP/Z}$  - prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia zdarzeń pośrednich, na skutek wystąpienia zagrożenia.
- $P_{US/ZP/Z}$  - prawdopodobieństwo warunkowe utraty kontroli nad pojazdem (uszkodzenia pojazdu), na skutek wystąpienia zdarzeń pośrednich, na skutek wystąpienia zagrożenia.
- $C$  - konsekwencje wypadku pojazdu wyrażające: straty w odniesieniu do ludzi (ofiary, ranni), straty materialne (pojazd, inne środki materialne), starty związane z zanieczyszczeniem środowiska naturalnego) czy ogólnie, straty wyrażone w środkach finansowych.

#### 4. PRACE ZWIĄZANE Z OPRACOWANIEM DEMONSTRATORA TECHNOLOGII POJAZDU PRWL

**Metoda badań przemysłowych.** Metoda badawcza polega na ocenie funkcjonalności, efektywności i bezpieczeństwa pojazdu PRWL przy użyciu badań na modelu fizycznym, badań z użyciem modelu funkcjonalnego pojazdu (modelu fizycznego), symulacji komputerowej oraz analizy ryzyka.

Do zasadniczych elementów metody badawczej można zaliczyć:

- Ocenę funkcjonalności pojazdu (przeznaczenie, kształt i podział przestrzenny).
- Oszacowanie masy pojazdu (dobór materiałów, balast, wyposażenie) i położenia jego środka ciężkości.
- Dobór podsystemów pojazdu (napęd, urządzenia sterowe).
- Ocenę efektywności (osiągów i zachowania) pojazdu (pływalność, stateczność, właściwości oporowo-napędowe, właściwości manewrowe).
- Ocenę prędkości, innych osiągnięć i zachowania się pojazdu w warunkach operacyjnych (sterowanie pojazdem), w zależności od stanu załadowania, fazy ruchu, itp.
- Ocenę bezpieczeństwa pojazdu opartą na analizie ryzyka wypadku.

**Zadania badawcze ukierunkowane na opracowanie demonstratora technologii pojazdu PRWL.** Do zasadniczych zadań badawczych związanych z opracowaniem demonstratora pojazdu należy zaliczyć:

- Opracowanie kształtu obiektu, w tym jego podziału przestrzennego.
- Opracowanie konstrukcji obiektu. Dobór urządzeń i podsystemów. Dobór materiałów. Oszacowanie masy obiektu.
- Analiza pływalności i stateczności oraz właściwości oporowo-napędowych i manewrowych obiektu.

- Projekt i budowa demonstratora obiektu.

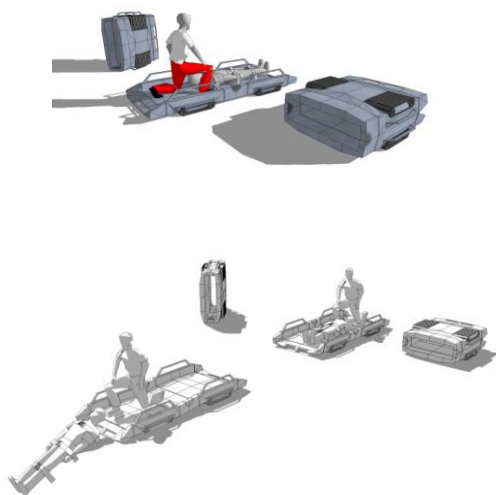
## 5. ZASTOSOWANIE POJAZDU PRWL

Przeznaczeniem pojazdu PRWL jest wspomaganie i przy jego użyciu prowadzenie akcji ratunkowej na akwenach pokrytych lodem, związanych z koniecznością podjęcia osób znajdujących się w wodzie na pograniczu powierzchni zalodzonej akwenu i wody. Osobami, które należy podjąć z wody mogą być zarówno osoby poszkodowane w wyniku wystąpienia zdarzenia lub sekwencji zdarzeń, członkowie zespołu ratowniczego lub osoby postronne, starające się udzielić pomocy poszkodowanym przed przybyciem zespołu ratowniczego.

Do podstawowych cech pojazdu PRWL należy zaliczyć:

- Małe gabaryty pojazdu (wymiary główne), szczególnie w wersji złożonej: 140 cm x 120 cm.
- Stosunkowo lekko konstrukcja (około 100 kg).
- Krótki czas przygotowanie pojazdu do użycia.
- Łatwość transportu (samochód osobowy).
- Możliwość użycia na powierzchni zalodzonej akwenu i na powierzchni wody.
- Duża niezawodność pojazdu w działaniu.
- Stosunkowo niski koszt pozyskania pojazdu.
- Niskie koszty eksploatacji pojazdu.
- Wysoki poziom poczucia bezpieczeństwa przez poszkodowanych.
- Wzrost poczucia sprawności działania i bezpieczeństwa przez zespoły ratownicze.
- Możliwość użycia na dowolnym akwenu, w każdych nawet najtrudniejszych warunkach.

Na rys. 3 przedstawiono koncepcję użycia PRWL w warunkach operacyjnych.



**Rys. 3.** Koncepcja użycia PRWL w warunkach operacyjnych [źródło: M.K. Gerigk, 2014-2015].

## WNIOSKI

Celem artykułu było podstawowych wyników badań związanych z opracowaniem modelu funkcjonalnego PRWL na bazie, którego zostanie opracowany demonstrator technologii pojazdu ratownictwa wodnego przeznaczonego do prowadzenia akcji ratunkowej na akwenach pokrytych lodem.

W artykule opisano kolejno problem badaczy, przedmiot badań - pojazd ratownictwa wodnego i metodę badań oraz elementy analizy

związane z oceną pływalności i stateczności pojazdu. Podano też podstawowe informacje na temat badań ukierunkowanych na opracowanie demonstratora technologii PRWL.

W końcowej części artykułu przedstawione elementy dotyczące zastosowania pojazdu. W przyszłości pojazd PRWL może stać się w pojeździe bazowym do konstrukcji platformy o podwójnym zastosowaniu.

Przedstawione w artykule informacje stanowią elementy prac autorów i wyników wstępnych badań przeprowadzonych na Politechnice Gdańskiej na Wydziale Oceanotechniki i Okrętownictwa Politechniki Gdańskiej w latach 2014-2015.

## BIBLIOGRAFIA

1. Cwojdzński L., Gerigk M.K., Koncepcja pojazdu ratownictwa wodnego do prowadzenia akcji na akwenach śródlądowych i wodach przybrzeżnych oraz pokrytych lodem. Logistyka nr 4/2015.
2. Dudziak J., Teoria okrętu. Fundacja Promocji Przemysłu Okrętowego i Gospodarki Morskiej, Gdańsk 2008.
3. Faltinsen O.M., Sea Loads on Ships and Offshore Structures. Cambridge University Press, 1990.
4. Gerigk M., Kompleksowa metoda oceny bezpieczeństwa statku w stanie uszkodzonym z uwzględnieniem analizy ryzyka, Monografie 101, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2010.
5. Grabowski M., Merrick J. R. W., Harrauld J. R., Mazzuchi T. A., Rene van Dorp J., Risk modeling in distributed, large-scale systems, "IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – part A: Systems and Humans", Vol. 30, No. 6, November 2000.
6. Jasionowski A., Vassalos D., Conceptualising Risk, Proceedings of the 9th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles STAB 2006, Rio de Janeiro, 25-29 September 2006.
7. Krężelewski M., Hydromechanika ogólna i okrętowa, część I. Skrypt Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1977.
8. Krężelewski M., Hydromechanika ogólna i okrętowa, część II. Skrypt Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1982.
9. Pillay A., Wang J., Technology and Safety of Marine Systems, "Elsevier Ocean Engineering Book Series", Volume 7, Elsevier 2003.
10. Sii H.S., Ruxton T., Wang J., Novel risk assessment and decision support techniques for safety management systems, "Journal of Marine Engineering and Technology", No. A1, 2002.
11. Skjong R., Vanem E., Rusas S., Olufsen O., Holistic and Risk Based Approach to Collision Damage Stability of Passenger Ships, Proceedings of the 9th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles STAB 2006, Rio de Janeiro, 25-29 September 2006.
12. Bezzałogowe systemy walki charakterystyka, wybrane problemy użycia i eksploatacji. Str. 174. ISBN 978-83-7938-027-5. Wydawca WAT 2014.

# AN ANALYSIS OF FLOATABILITY AND STABILITY OF AN INLAND WATER RESCUE VEHICLE FOR CONDUCTING THE RESCUE ACTIVITIES ON THE INLAND WATERS COVERED BY ICE

## *Abstract*

*In the paper the basic problems associated with development the concept of an inland water rescue vehicle PRWL which is devoted to perform the rescue activities on the inland waters covered by ice is presented.*

*The research objective, PRWL vehicle, research method and some elements of the research directed towards development of the PRWL vehicle technology demonstrator has been described. Some elements associated with assessment of the vehicle floatability, stability and performance in the water have been presented. Some information on a possible application of the PRWL vehicle have been given.*

*The information presented in the paper are the results of work of the authors and results of research investigations conducted at the Gdańsk University of Technology, Faculty of Ocean Engineering and Ship Technology between 2014 and 2015.*

Autorzy:

**Leszek Cwojdzński**

**Gerigk Mirosław Kazimierz** - Politechnika Gdańska, Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa, Katedra Projektowania Okrętów i Robotyki Podwodnej, 80-233 Gdańsk, ul. G.Narutowicza 11/12,., Tel. +48 58 347 2368, Fax: +48 58 348 6372, [mger@pg.gda.pl](mailto:mger@pg.gda.pl)

**Szulczewski Piotr** - Politechnika Gdańska, Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa, Katedra Projektowania Okrętów i Robotyki Podwodnej, 80-233 Gdańsk, ul. G.Narutowicza 11/12,., Tel. +48 58 347 2368, Fax: +48 58 348 6372, [p\\_szulczewski@yahoo.com](mailto:p_szulczewski@yahoo.com)