

WYBRANE ELEMENTY METODYKI I METODY PROJEKTOWANIA POJAZDÓW AMFIBIJNYCH RATOWNICTWA POWODZIOWEGO

ZBIGNIEW BURCIU¹, MATEUSZ GERIGK², MIROSLAW KAZIMIERZ GERIGK³

Akademia Morska w Gdyni, Context Office, Politechnika Gdańska

Streszczenie

W artykule została przedstawiona metodyka projektowania pojazdów amfibijnych ratownictwa powodziowego na wstępnym etapie projektowania. Artykuł ten ukierunkowany jest na właściwości wodne tych pojazdów z pominięciem ich właściwości trakcyjnych i drogowych. Założono, że pojazdy amfibijne ratownictwa powodziowego należy projektować w pierwszej kolejności jako jednostki pływające, które jednocześnie posiadają zdolności do poruszania się po drogach publicznych i w terenie. We wstępie został podany krótki opis obecnie stosowanych rozwiązań w zakresie środków transportu ratownictwa powodziowego w Polsce. Następnie opisano metodykę projektowania pojazdów amfibijnych ratownictwa powodziowego. Przedstawiono także elementy metody projektowania pojazdów amfibijnych ratownictwa powodziowego, która to metoda oparta jest najpierw na ocenie osiągnięć i zachowania się pojazdu w wodzie, a następnie na ocenie ryzyka wypadku. W końcowej części artykułu znajdują się uwagi dotyczące modelowania kształtu kadłuba nowoczesnego pojazdu amfibijnego ratownictwa powodziowego na wstępnym etapie jego projektowania. Metodykę opracowano z myślą o kolejnych publikacjach, które będą dotyczyły modeli obliczeniowych do projektowania pojazdów amfibijnych ratownictwa powodziowego.

Słowa kluczowe: pojazd amfibijny ratownictwa powodziowego, projektowanie, metodyka projektowania, metoda.

1. Wstęp

Problematyka poniższego artykułu dotyczy metodyki i metody projektowania pojazdów amfibijnych ratownictwa powodziowego. Znajomość metodyki i metody jest niezbędną

¹ Akademia Morska w Gdyni, Wydział Nawigacyjny, Katedra Eksploatacji Statku, Al. Jana Pawła II 3, 81-325 Gdynia, e-mail: zbj@am.gdynia.pl, tel.: 58 620 11 14

² Biuro architektoniczne Context Office Mateusz Gerigk, ul. Słupecka 17/6, 81-316 Gdynia, e-mail: mateuszgerigk@gmail.com

³ Politechnika Gdańska, Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, e-mail: mger@pg.gda.pl, tel.: 58 347 23 68

przy projektowaniu tego typu pojazdów. Wynika to z faktu, że pojazd taki, by wypełnić stawiane przed nim misje, powinien posiadać trzy podstawowe cechy. Powinien być funkcjonalny, efektywny i bezpieczny.

Z obserwacji sytuacji powodziowych, które miały miejsce w Polsce w latach 1989, 2009 i 2010 wynika, że bezpieczeństwo ludzi, mienia i środowiska naturalnego oraz efektywność akcji ratowniczej w czasie powodzi wymaga zastosowania dużej liczby nowoczesnych pojazdów pływających, w tym amfibijnych.

Pojazdy pływające obecnie stosowane w ratownictwie powodziowym charakteryzują się tym, że z punktu widzenia prowadzenia dobrze zorganizowanej i szybkiej akcji ratowniczej:

1. są mało funkcjonalne,
2. mogą być nieefektywne w trudnych warunkach terenowych i atmosferycznych,
3. są często niebezpieczne w użyciu.

Dotychczasowe metody prowadzenia akcji powodziowej oparte są o następujące jednostki pływające:

1. amfibie pływające, będące na wyposażeniu jednostek Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej (SZ RP), podległych Ministerstwu Obrony Narodowej (MON);
2. jednostki pływające będące na wyposażeniu jednostek podległych Ministerstwu Spraw Wewnętrznych i Administracji (MSWiA);
3. jednostki pływające będące na wyposażeniu innych służb państwowych, takich jak:
 - Państwowa Straż Pożarna;
 - Policja;
4. jednostki pływające będące w dyspozycji społeczności lokalnych i osób fizycznych:
 - łódzie motorowe;
 - ratunkowe łódzie wiosłowe.

2. Elementy metodyki projektowania pojazdów amfibijnych ratownictwa powodziowego

Zakłada się, że pojazdy amfibijne ratownictwa powodziowego należy projektować w pierwszej kolejności jako jednostki pływające, które jednocześnie posiadają zdolności do poruszania się po drogach publicznych i w terenie.

Złożony system techniczny, jakim jest pojazd amfibijny ratownictwa powodziowego, powinien posiadać zbiór cech związanych z:

1. funkcjonalnością,
2. efektywnością
3. bezpieczeństwem pojazdu.

Przed przystąpieniem do procesu projektowania bardzo istotne jest zebranie odpowiednich danych i przeanalizowanie danych technicznych i ekonomicznych, dotyczących pojazdu podobnego lub wzorcowego.

Można uznać, że podobieństwo pojazdu wzorcowego (podobnego) i projektowanego zostało osiągnięte do pewnego stopnia, jeśli poniższe charakterystyki są mniej lub więcej takie same:

1. typ pojazdu, jego wielkość i zastosowanie;
2. wymiary główne (długość, szerokość, wysokość, zanurzenie, wyporność);
3. podział przestrzenny, pomieszczenia załogi;
4. objętość przedziałów wodoszczelnych;
5. właściwości pojazdu w wodzie;
6. konstrukcja pojazdu i materiał, z którego jest wykonany;
7. układ napędowy i prędkość pojazdu;
8. wyposażenie pojazdu.

Można zaznaczyć, że do podstawowych wymagań projektowych pojazdów amfibijnych ratownictwa powodziowego należą:

1. przeznaczenie pojazdu;
2. zastosowane rozwiązania techniczne, materiały i ciężar pojazdu;
3. osiągi pojazdu (wyporność, nośność, prędkość: na drodze, w terenie, w wodzie);
4. ogólnie pojęte właściwości pojazdu (mobilność).

Metodyka projektowania pojazdów amfibijnych ratownictwa powodziowego na etapie projektu wstępnego oparta jest na zastosowaniu podejścia modułowego i dotyczy kolejno:

1. określenia przeznaczenia pojazdu;
2. oszacowania wymiarów głównych pojazdu;
3. określenia konstrukcji pojazdu i materiału, z którego jest wykonany;
4. oszacowania ciężaru pojazdu;
5. oszacowania objętości przestrzeni wewnętrznych (objętości przedziałów) pojazdu;
6. oszacowania mocy układu napędowego;
7. oszacowania pływalności, w tym zapasu pływalności na wypadek uszkodzenia pojazdu;
8. oszacowania stateczności pojazdu;
9. oszacowania zachowania się pojazdu w wodzie, w tym jego dzielności i mobilności;
10. oszacowania kosztu wykonania pojazdu;
11. opracowania dokumentacji technicznej.

Kryteria projektowe powinny dotyczyć osiągnięcia:

1. jak najmniejszego ciężaru pojazdu;
2. jak najnowocześniejszego układu napędowego jednostki;
3. jak najlepszych właściwościach hydromechanicznych pojazdu w wodzie.

Proces projektowania pojazdów amfibijnych ratownictwa powodziowego, z punktu widzenia ich przeznaczenia (pływanie i brodzenie w wodzie), składa się z trzech zasadniczych modułów:

1. moduł A – moduł ogólny;
2. moduł B – moduł związany z rozwiązaniem problemów o charakterze statycznym;
3. moduł C – moduł związany z problemami o charakterze dynamicznym.

Podstawowy podział zagadnień projektowych w poszczególnych modułach jest następujący:

Moduł A – ogólny

1. parametry i wymiary główne pojazdu,
2. kształt pojazdu,
3. podział przestrzenny pojazdu,

Moduł B – statyka

1. kadłub pojazdu (poszycie, podstawowe elementy konstrukcyjne),
2. układ napędowy pojazdu (napęd główny, napędy pomocnicze, wały i osie napędowe),
3. układ jezdy pojazdu (układ kierowniczy, zawieszenie, koła)
4. ciężar pojazdu (pojazd, załoga, paliwo, zapasy, wyposażenie),

Moduł C – dynamika

1. osiągi i mobilność pojazdu na lądzie (na drogach utwardzonych, w terenie),
2. osiągi i zachowanie się jednostki w wodzie.

Powyższe zagadnienia powinny uwzględniać elementy związane z właściwościami trakcyjnymi i drogowymi pojazdów samochodowych [7].

3. Metoda projektowania pojazdów amfibijnych ratownictwa powodziowego

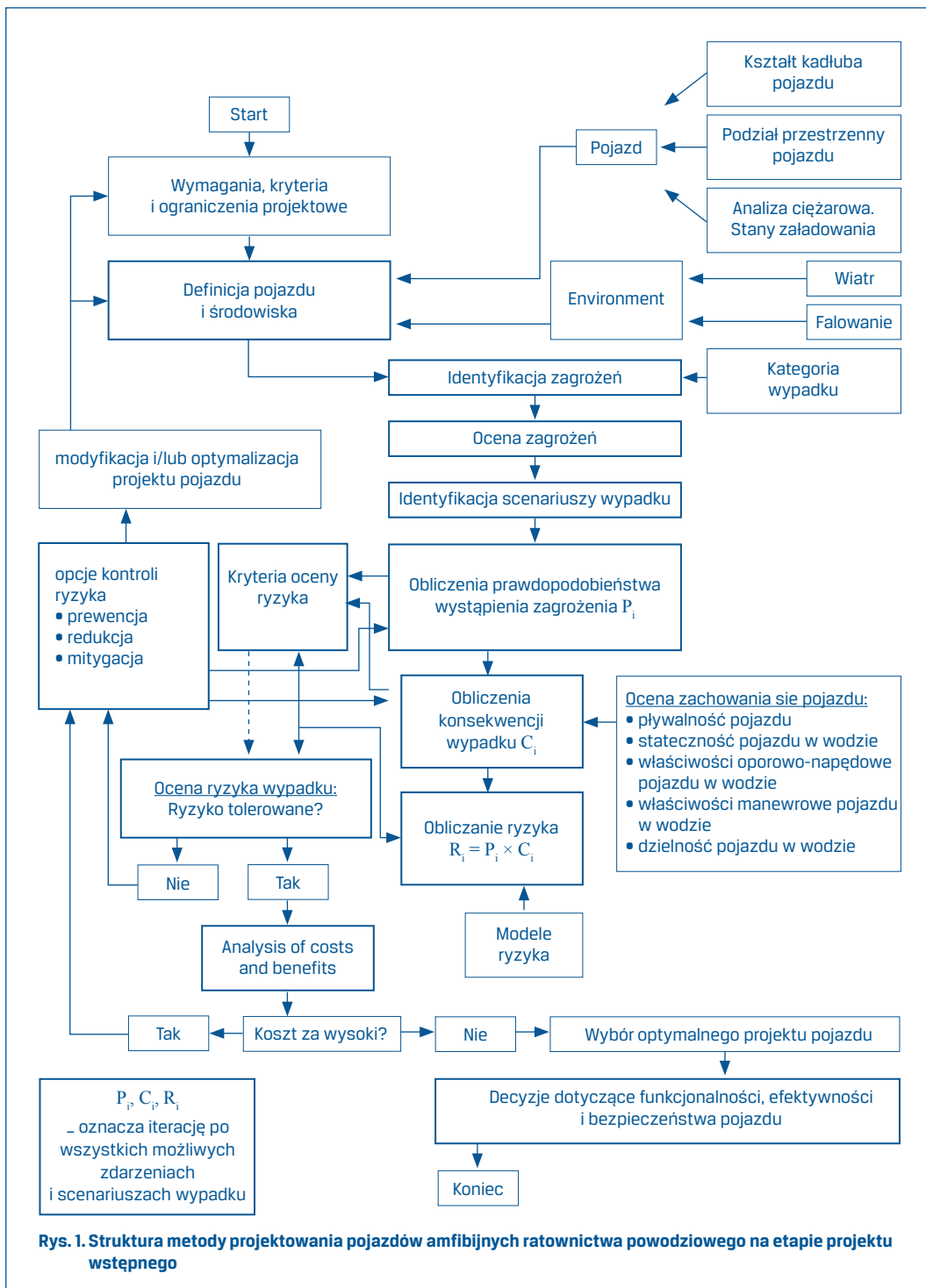
Projektując pojazd amfibijny ratownictwa powodziowego należy zastosować metodę opartą na ocenie osiągow i zachowania się pojazdu oraz ocenie ryzyka wypadku [3,10]. Schemat takiej metody został przedstawiony na rysunku 1.

Ocena osiągow i zachowania się pojazdu wymaga oceny cech i charakterystyk hydro-mechanicznych w danych warunkach eksploatacyjnych, uwzględniających stan pojazdu i stan środowiska (stan wody, ukształtowanie terenu).

Do najistotniejszych problemów związanych z osiągam i zachowaniem się pojazdu amfibijnego w wodzie, które należy rozwiązać na etapie projektu wstępnego, można zaliczyć [2]:

1. pływalność pojazdu (zrównoważenie poprzeczne i podłużne pojazdu),
2. stateczność pojazdu,
3. mobilność pojazdu (właściwości oporowo-napędowe i manewrowe pojazdu),
4. niezatapialność pojazdu (zapas pływalności i stateczność pojazdu w stanie uszkodzonym).

Ocena ryzyka jest sformalizowaną analizą, którą można zastosować do oceny ryzyka na etapie projektowania lub w czasie eksploatacji pojazdu, a która integruje analizę ryzyka z redukcją ryzyka, traktowaną jako cel projektowy, podobnie jak inne cele projektowe czy



operacyjne. W metodzie opartej na ocenie ryzyka (analizie ryzyka), stosuje się tak zwane podejście całościowe, które łączy miary redukcji ryzyka z oceną osiągnięć i zachowania się pojazdu [2]. Analiza ryzyka związana jest z identyfikacją wszystkich możliwych zagrożeń, oceną tych zagrożeń, identyfikacją możliwych scenariuszy wypadku, obliczeniem ryzyka (co związane jest z oszacowaniem prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia i jego konsekwencji) oraz oceną i kontrolą ryzyka. Ocena ryzyka powinna być oparta o kryteria oceny ryzyka. Miary i opcje kontroli ryzyka mogą mieć charakter prewencyjny i/lub redukujący konsekwencje wypadku. Ocena bezpieczeństwa pojazdu w proponowanej metodzie ma charakter jakościowy (bezpieczeństwo jest charakterystyką jakościową) i należy jej dokonać w oparciu o ocenę ryzyka, która ma charakter ilościowy [2].

Zgodnie ze strukturą metody podaną na Rys.1 kluczowym elementem metody jest ocena zachowania się pojazdu dotycząca kolejno:

1. pływalności pojazdu w wodzie;
2. stateczności pojazdu w wodzie;
3. właściwości oporowo-napędowych pojazdu w wodzie;
4. właściwości manewrowych pojazdu w wodzie i
5. dzielności pojazdu w wodzie.

Niemożliwe jest przeprowadzenie analizy projektowej w powyższym zakresie bez dokładnego opisu kształtu kadłuba pojazdu. W związku z tym, w rozdziale 4 zostały przedstawione podstawowe informacje na temat modelowania kształtu kadłuba pojazdu amfibijnego ratownictwa powodziowego w metodzie. Modelowanie to dotyczy elementów metody przedstawionych na Rys.1, które dotyczą definicji pojazdu. W rozdziale 5 zostały przedstawione podstawowe informacje związane z oceną zachowania się pojazdu amfibijnego ratownictwa powodziowego.

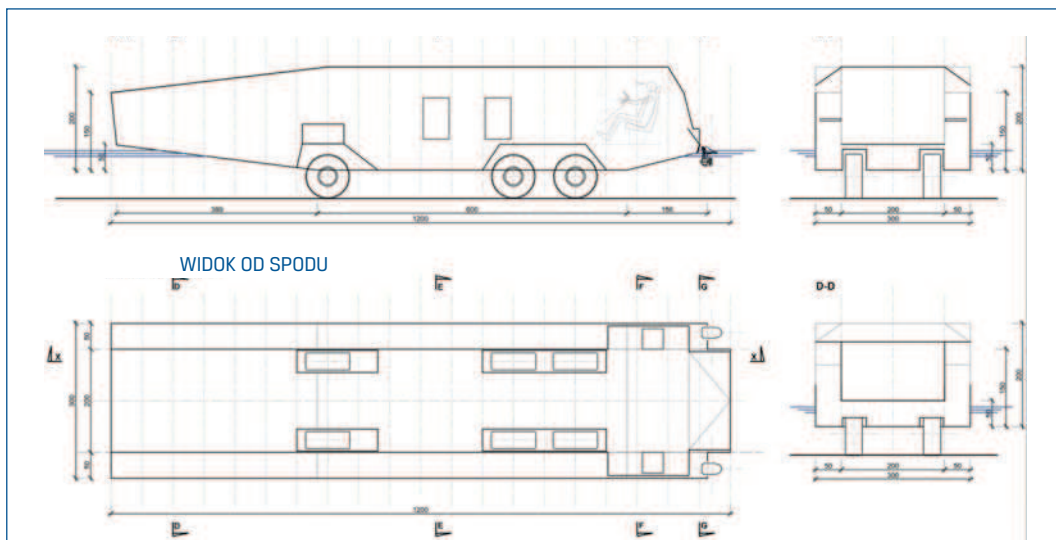
4. Modelowanie kształtu kadłuba pojazdu amfibijnego ratownictwa powodziowego

Metody modelowania

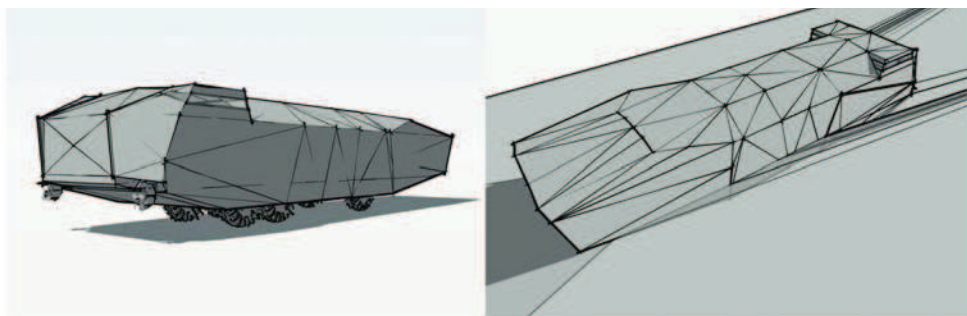
Modelowanie kształtu pojazdu polega na stworzeniu realistycznej wizji pojazdu, który mógłby zostać wdrożony do użytku. Wzornictwo użytkowe projektowanego pojazdu jest procesem, który pozwala począwszy od założeń projektowych, poprzez szkice oraz modelowanie komputerowe (CAD), kończąc na realistycznych wizualizacjach, stworzyć obraz pojazdu będącego wynikiem badań oraz obliczeń inżynierskich [4-7].

Wybrana metoda modelowania

Projektowanie bryły pojazdu amfibijnego jest zadaniem złożonym. Projekt pojazdu powinien spełniać zasady ergonomii względem użytkowników oraz założenia funkcjonalne związane



Rys. 2. Wstępny kształt pojazdu amfibijnego

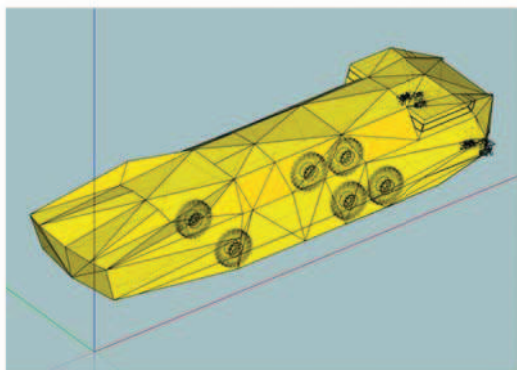


Rys. 3. Szkic pojazdu amfibijnego na lądzie (po lewej) oraz szkic pojazdu amfibijnego na wodzie (po prawej)

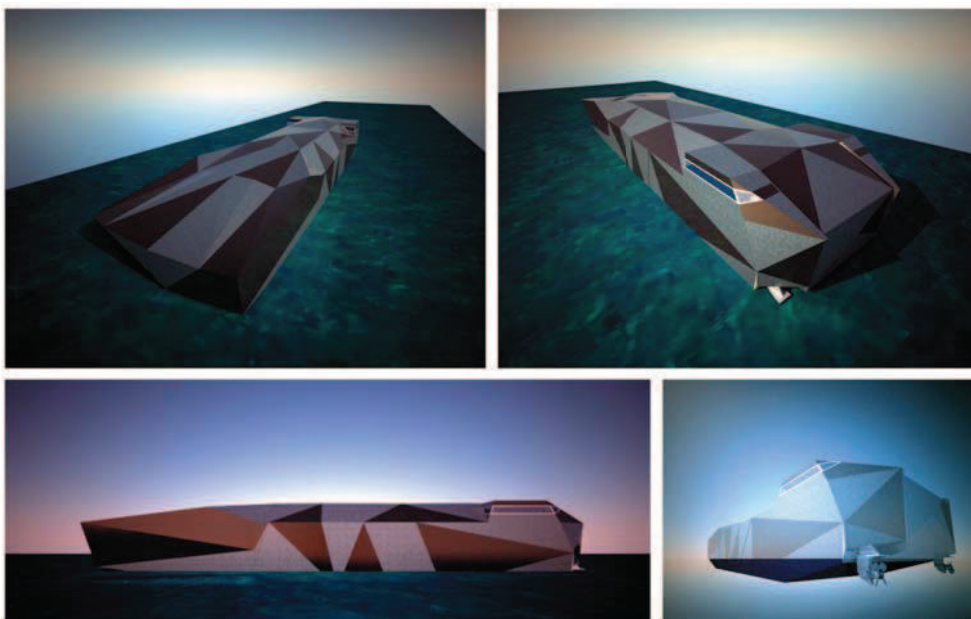
z zastosowaniem pojazdu. Dobranie parametrów wyjściowych pozwala zobrazować wyjściową strukturę obiektu, przedstawioną na rysunku 2.

Po przeanalizowaniu powyższych kryteriów może zostać określona wstępna forma obiektu, którą przedstawiono na rysunku 3.

Wstępna bryła pojazdu ma charakter szkicowy, który w następnej fazie jest poddany analizie oraz dookreśleniu w cyfrowej przestrzeni trójwymiarowej (CAD). Podczas tworzenia struktury geometrii w przestrzeni istnieje możliwość poddania modelu wirtualnym pomiarom oraz uzyskania zoptymalizowanego kształtu wyjściowego, co przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Trójwymiarowy model pojazdu amfibijnego



Rys. 5. Widok pojazdu kolejno od przodu, od tyłu, od lewej i od spodu

Ostateczny wynik procesu projektowego możemy przedstawić przy pomocy realistycznych wizualizacji. Najpierw zostaje stworzona kolorystyka projektowanego pojazdu, następnie pojazd zostaje umieszczony w wirtualnym otoczeniu, co przedstawia rysunek 5.

5. Wybrane zagadnienia związane z oceną zachowania się pojazdu amfibijnego ratownictwa powodziowego w warunkach operacyjnych

Pływalność pojazdu

Spełnienie warunku równowagi trwałej na kierunku pionowym wiąże się ze zrównoważeniem dwóch sił: siły ciężkości P oraz siły wyporu hydrostatycznego D [1,2]:

$$\sum_i \vec{F}_{zi} = \vec{P} + \vec{D} = \mathbf{0} \quad (1)$$

gdzie:

$$\vec{P} = \vec{g} \cdot M_S ;$$

$$\vec{D} = \rho_w \cdot \vec{g} \cdot V ;$$

\vec{g} - przyspieszenie ziemskie [m/s²];

M_S - masa całkowita pojazdu [kg];

ρ_w - gęstość wody [kg/m³];

V - objętość zanurzonej części kadłuba pojazdu [m³].

Zrównoważenie to pozwala na utrzymanie się pojazdu na swobodnej powierzchni wody, czyli na zachowanie pływalności. W przypadku, gdy $\vec{P} > \vec{D}$ pojazd tonie lub zanurza się głębiej jeśli posiada zapas pływalności. Natomiast, gdy $\vec{P} < \vec{D}$ będzie się on wynurzał do chwili zrównoważenia ciężaru pojazdu pomniejszoną wartością siły wyporu.

W praktyce zapewnienie pływalności może odbywać się poprzez użycie pustych zbiorników lub przestrzeni wypełnionych pianą poliuretanową. Zapas pływalności można zwiększyć przy użyciu powietrznych zbiorników elastycznych.

Brak pływalności zapasowej pojazdu może skutkować utratą równowagi trwałej i skróceniem czasu zatapiania pojazdu. Może to uniemożliwić przeprowadzenie skutecznej akcji ratunkowej, gdzie warunkiem koniecznym jest, aby czas potrzebny do przeprowadzenia ewakuacji był krótszy od czasu zatapiania. Można zatem stwierdzić, że zapewnienie odpowiedniego charakteru równowagi na kierunku osi pionowej jest podstawową miarą bezpieczeństwa pojazdu znajdującego się na swobodnej powierzchni wody. Zaleca się, żeby obliczenia czasu zatapiania i czasu ewakuacji stanowiły element procedur projektowych i eksploatacyjnych związanych z oceną bezpieczeństwa. Niestety, zachowanie pływalności może okazać się niewystarczające do zadawalającego zakończenia akcji ratunkowej, ze względu na możliwość wcześniejszej utraty stateczności pojazdu.

Stateczność (stateczność statyczna) pojazdu

Stateczność definiuje się jako zdolność powrotu przechylonego na burtę (na bok) pojazdu do położenia pierwotnego, które pojazd posiadał przed wystąpieniem wymuszenia, które to przechylenie spowodowało.

Podstawową charakterystyką stateczności pojazdu jest wysokość metacentryczna zwana również poprzeczną wysokością metacentryczną h_0 . Jest ona także nazywana miarą początkowej stateczności pojazdu. Można ją zapisać w dwojaki sposób [1,2]:

$$GM_0 = KM - KG = KF + FM - KG \quad (2)$$

lub

$$h_0 = z_M - z_G = z_F + r_0 - z_G \quad (3)$$

gdzie:

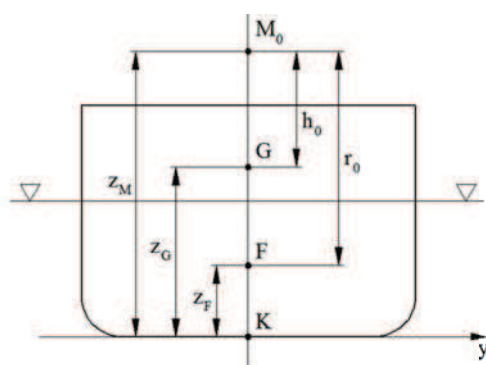
z_M - rzędna metacentrum [m];

z_G - rzędna środka ciężkości okrętu [m];

z_F - rzędna środka wyporu okrętu [m];

r_0 - mały promień metacentryczny [m].

Graficzną interpretację powyższych charakterystyk przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Charakterystyki stateczności statycznej pojazdu

Punkt M_0 nazywamy punktem metacentrycznym lub po prostu metacentrum. Mały promień metacentryczny wyznacza się w sposób następujący:

$$r_0 = J_x / V \quad (4)$$

gdzie:

$J_x = (2 \int y^3 dx) / 3$ - jest momentem bezwładności pola wodnicy pływania pojazdu względem osi wzdłużnej x ;

V - objętość podwodnej części (zanurzonej) kadłuba pojazdu.

Miarą stateczności statycznej jest wielkość momentu prostującego, który po ustaniu działania momentu przechylającego powoduje powrót pojazdu do położenia pierwotnego.

Moment prostujący dla małych kątów przechyłu dany jest zależnością:

$$M_w = -D \times l = -D \times h_0 \times \sin \varphi \quad (5)$$

gdzie:

D – siła wyporu wyznaczona zgodnie z prawem Archimedes'a $D = \gamma \times V$;

γ – ciężar właściwy wody.

Wzór (5) jest zwany wzorem metacentrycznym. Jest to podstawowy wzór służący do rozwiązywania zagadnień statecznościowych przy niewielkich kątach przechyłu pojazdu, ogólnie do 10° .

Właściwości oporowo-napędowe pojazdu

Opór całkowity pojazdu RT można zdefiniować w sposób następujący [1,2]:

$$R_T = R_F + R_W + R_S + R_{App} + R_{AA} \quad (6)$$

gdzie poszczególne składniki oporu to:

R_F – opór tarcia;

R_W – opór falowy;

R_S – opór bryzgowy;

R_{App} – opór części wystających;

R_{AA} – opór powietrza i wiatru.

Dzieląc obie strony równania (6) przez $(1/2 \times \rho \times v^2 \times S)$, gdzie „ ρ ” oznacza gęstość wody „ v ” oznacza prędkość pojazdu w wodzie, a „ S ” oznacza powierzchnię przekroju poprzecznego zanurzonej w wodzie części kadłuba pojazdu – otrzymuje się bezwymiarową postać równania (6) w postaci:

$$c_T = c_F + c_W + c_S + c_{App} + c_{AA} \quad (7)$$

Wartość współczynnika c_{TRZ} (RZ w warunkach rzeczywistych) można wyznaczyć za pomocą badań na modelu fizycznym pojazdu, które przeprowadza się na basenie holowniczym, stosując tak zwaną metodę Froude'a.

Uzyskany z takich badań współczynnik c_{TRZ} dla poszczególnych prędkości pojazdu, umożliwia wyznaczenie odpowiednich wartości oporu pojazdu mnożąc wartość tego współczynnika przez wielkość $(1/2 \times \rho \times v^2 \times S)_{RZ}$, którą wyznacza się także dla warunków rzeczywistych:

$$R_{TRZ} = (1/2 \times \rho \times v^2 \times S)_{RZ} \times c_{TRZ} \quad (8)$$

Ogólnie, mnożąc wartość oporu R_{TRZ} przez odpowiadającą mu prędkość można uzyskać wartość mocy zapotrzebowanej:

$$N_{0RZ} = R_{TRZ} \times v_{RZ} \quad (9)$$

Z praktycznego punktu widzenia najistotniejsza jest znajomość oporu pojazdu przy prędkości eksploatacyjnej, gdyż moc zapotrzebowana odpowiadająca tej prędkości stanowi podstawę doboru (w pierwszej iteracji) mocy napędu głównego pojazdu w wodzie.

Obliczenia oporu R_{TRZ} można także przeprowadzić za pomocą metod numerycznej mechaniki płynów CFD, co nie jest związane z tematyką tej pracy.

Dzielność pojazdu w wodzie

Ocena zachowania się pojazdu wymaga analizy charakterystyk, takich jak: pływalność, stateczność, zachowanie się obiektu pod wpływem wymuszeń wewnętrznych i zewnętrznych.

Ważnym elementem oceny zachowania się pojazdu są zjawiska towarzyszące, których dokładny opis w znacznym stopniu determinuje poprawność obliczeń. Określenie ich wpływu na kołysania pojazdu jest o tyle istotne, że bezpośrednio z nich wynikają wymuszenia, wymienione poniżej jako siły i momenty działające na pojazd [1,2]:

- Siła grawitacji;
- Siły i momenty wywołane działaniem sfalowanej powierzchni wody, która nie jest zakłócona obecnością pojazdu;
- Siły i momenty reakcyjne, dotyczące zakłóceń, jakie kołyszący się pojazd wprowadza do sfalowanej powierzchni wody;
- Siły i momenty wywołane działaniem wiatru i prądu wody;
- Siły i momenty wywołane działaniem wody dostającej się do i wydostającej się na przykład z zatopianego przedziału pojazdu;
- Siły i momenty wywołane działaniem wody znajdującej się wewnątrz kadłuba pojazdu;
- Siły i momenty wywołane zalewaniem powierzchni pojazdu;
- Siły i momenty wywołane przesunięciem osób/ładunku;
- Siły i momenty wywołane działaniem poduszek powietrznych;
- Siły i momenty wywołane działaniem urządzeń napędowych i sterowych obiektu.

Dokładność obliczeń związanych z oceną zachowania się pojazdu wymaga dokładnego zamodelowania wszystkich powyższych oddziaływań.

Do oceny zachowania się pojazdu pod wpływem wymuszeń wewnętrznych (wpływ swobodnych powierzchni wody w zbiornikach i ładowniach, przesunięcie ładunku) i zewnętrznych (falowanie, wiatr, prąd wody), można zastosować hybrydowy model matematyczny, którego podstawowym elementem są równania ruchu pojazdu, w których uwzględniono wpływ czynników wymuszających pochodzących z różnych źródeł. Są to wymienione powyżej czynniki wewnętrzne i zewnętrzne oraz czynniki wynikające z wystąpienia zjawisk, związanych zarówno z procesem zatopiania kadłuba pojazdu jak i kołysaniami pojazdu pod wpływem wymuszeń od fali, wiatru i prądu wody.

Drugi powód, dlaczego proponowany model można uznać za model hybrydowy to fakt, że do opisu zachowania się wody/paliwa w przedziale obiektu, może być zastosowany model quasi-statyczny, quasi-dynamiczny lub dynamiczny.

Model do oceny zachowania się pojazdu zawiera:

- A. elementy ogólne: opis kształtu, podział przestrzenny, charakterystyki hydrostatyczne kształtu kadłuba, charakterystyki geometryczne przedziałów wodoszczelnych obiektu;
- B. elementy związane ze statyką pojazdu - stany załadowania pojazdu w stanie nieuszkodzonym, zrównoważenie poprzeczne i podłużne pojazdu w stanie nieuszkodzonym, definicja uszkodzenia pojazdu, pływalność pojazdu w stanie uszkodzonym, stateczność na poszczególnych etapach;
- C. elementy związane z dynamiką pojazdu, falowanie, równania ruchu, wymuszenia.

Do opisu ruchu pojazdu w różnych stanach można wykorzystać układ sześciu równań różniczkowych bezpośrednio wynikających z zasad dynamiki Newtona. Równania kołysań liniowych środka masy układu zapisuje się w inercyjnym układzie współrzędnych, poruszającym się ze średnią prędkością obiektu, którego oś x ma kierunek wektora prędkości postępowej środka masy obiektu G i przyjmują one postać (patrz Rys. 7) [1,2]:

$$\begin{aligned} m \cdot \ddot{x}_1 &= F_{x1} \\ m \cdot \ddot{y}_1 &= F_{y1} \\ m \cdot \ddot{z}_1 &= F_{z1} \end{aligned} \quad (10)$$

Równania kołysań kątowych natomiast zapisuje się w układzie sztywno związanym z obiektem [1,2]:

$$\begin{aligned} I_{SWx} \cdot \ddot{\Phi} &= M_x \\ I_{SWy} \cdot \ddot{\Theta} + (I_{SWz} - I_{SWx}) \cdot \dot{\Phi} \dot{\Psi} &= M_y \\ I_{SWz} \cdot \ddot{\Psi} + (I_{SWx} - I_{SWy}) \cdot \dot{\Phi} \dot{\Theta} &= M_z \end{aligned} \quad (11)$$

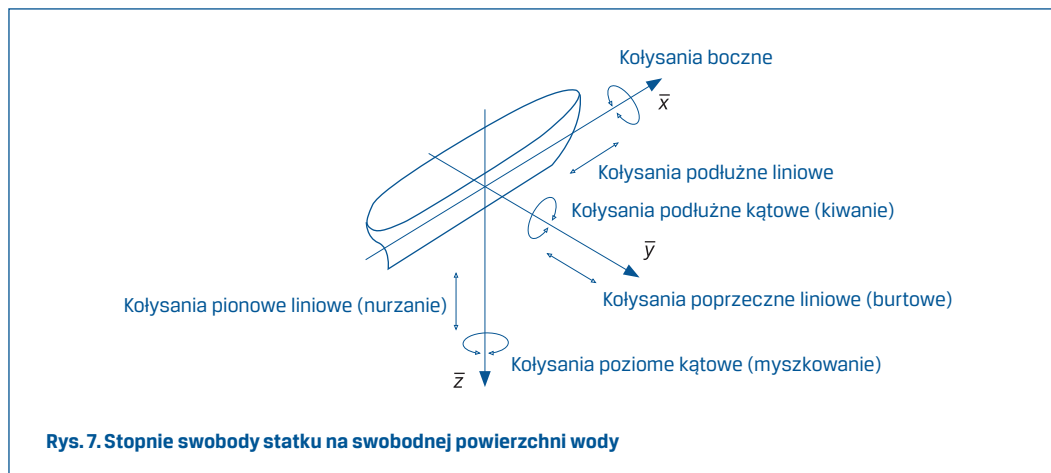
Gdzie:

m - masa statku;

I_{SWx} , I_{SWy} , I_{SWz} - główne centralne momenty bezwładności statku względem osi wzdużnej, poprzecznej i pionowej (dla jego środka ciężkości) G (x_G , y_G , z_G).

Zdecydowano się jednak na zapisanie tych równań w następującej postaci dla $i = 2, \dots, 6$ [1, 2]:

$$\sum_{j=2}^6 (M_{ij} + A_{ij}) \ddot{x}_j(t) + B_{ij} \dot{x}_j(t) + F_j(t) = F_i^E(t) + F_i^{AC}(t) \quad (12)$$



Rys. 7. Stopnie swobody statku na swobodnej powierzchni wody

where:

M_{ij} – macierz mas;

A_{ij}, B_{ij} – współczynniki związane z promieniem;

F_j – siły przywracające (hydrostatyczne);

F_i^E – obciążenia hydrodynamiczne od fali;

F_i^{AC} – siły od działania wody w zatapianych przedziałach.

Siły hydrostatyczne obliczane są przy użyciu metody całkowania ciśnienia hydrostatycznego w wodzie (ang. pressure integration technique). Współczynnik tłumienia lepkościowego dla kołysań bocznych "roll", jest aproksymowany przy użyciu współczynnika liniowego. Powinno się go wyznaczyć przy użyciu badań modelowych. Zakładając, że ruchy pojazdu nie mają charakteru dynamicznego i że przy wyznaczaniu tego współczynnika nie uwzględnia się obecności fal, można stwierdzić, że tłumienie kołysań nie jest najistotniejszym z czynników wpływających na zachowanie się pojazdu..

6. Wnioski końcowe

W artykule przedstawiono metodykę projektowania pojazdów amfibijnych ratownictwa powodziowego na wstępnym etapie projektowania. Metodyka ta obejmuje dwie grupy zagadnień. Pierwsza grupa obejmuje problemy związane ze zdefiniowaniem cech i charakterystyk decydujących o funkcjonalności, efektywności i bezpieczeństwie pojazdu. Do drugiej grupy należy zaliczyć zagadnienia o charakterze czysto projektowym, które związane są kolejno z definicją kształtu i przedziału przestrzennego pojazdu oraz statyką i dynamiką pojazdu w wodzie. W pracy została przedstawiona metoda projektowania pojazdów amfibijnych ratownictwa powodziowego, której schemat podano na rysunku 1. Zostały również przedstawione elementy związane z modelowaniem kształtu jednego z aktualnie wykonywanych projektów pojazdu ratownictwa powodziowego. Przedstawiono także podstawowe zagadnienia związane z pływalnością, statecznością, właściwościami

oporowo-napędowymi i dzielnością pojazdów amfibijnych ratownictwa powodziowego.

Praca ukierunkowana została na właściwości pojazdów amfibijnych w wodzie, z pominięciem faktu, że pojazdy amfibijne posiadają także zdolności do poruszania się na lądzie.

Literatura

- [1] BERTRAM V.: *Practical Ship Hydromechanics*. Butterworth-Heinemann, 2004.
- [2] DUDZIAK J.: *Teoria okrętu*. Fundacja Promocji Przemysłu Okrętowego i Gospodarki Morskiej, Gdańsk, 2008.
- [3] HAIMES Y. Y.: *Risk Modeling, Assessment, and Management*. John Wiley & Sons, Inc., 2004.
- [4] KRASKOWSKI M.: *Optymalizacja geometrii pojazdu ASD pod kątem pływania*. TRaport techniczny Nr RH-2010/T-109, Centrum Techniki Okrętowej S.A., Gdańsk 2010.
- [5] KRASKOWSKI M.: *Pojazd ASD. Wyniki badań modelowych na wodzie spokojnej. Model M794*. Raport techniczny Nr RH-2011/T-015, Centrum Techniki Okrętowej S.A., Gdańsk 2011.
- [6] KRASKOWSKI M.: *Numeryczna symulacja wodowania pojazdu ASD*. Raport techniczny Nr RH-2010/T-122, Centrum Techniki Okrętowej S.A., Gdańsk 2010.
- [7] KRASKOWSKI M.: *Wyniki badań modelowych wodowania. Model M794*. Raport techniczny Nr RH-2011/T-016, Centrum Techniki Okrętowej S.A., Gdańsk 2011.
- [8] PROCHOWSKI L.: *Pojazdy samochodowe, mechanika ruchu*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2008.
- [9] ROGERS D. F., ADAMS J. S.: *Mathematical Elements for Computer Graphics* (Second Edition). McGraw-Hill Publishing Company, New York, 1989.
- [10] SZOPA T.: *Niezawodność i bezpieczeństwo*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.