

Mirosław Gerigk¹

Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa Politechniki Gdańskiej,

Andrzej Majka²

Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej

Koncepcja systemu bezpieczeństwa obiektów WIG wykorzystujących efekt przypowierzchniowy

1. WPROWADZENIE

Eksploatacja złożonych obiektów technicznych, takich jak obiekty WIG (ang. Wing In Ground), wykorzystujących w czasie ruchu nad powierzchnią (wody lub lądu) tak zwany efekt przypowierzchniowy, związana jest z koniecznością bezustannego zarządzania ich bezpieczeństwem obiektu WIG.

Z uwagi na fakt, że obiekty WIG eksploatowane są na granicy dwóch ośrodków, wody i powietrza, przy opracowywaniu koncepcji systemu zarządzania bezpieczeństwem obiektów WIG, wzięto pod uwagę doświadczenia wpływające w tej dziedzinie zarówno z lotnictwa jak i okrętownictwa.

Istnieją też różnice jeśli chodzi o systemy zarządzania bezpieczeństwem obiektów w obu wymienionych dziedzinach transportu.

Różnice w podejściu do zarządzania bezpieczeństwem w obu przypadkach wynikają z wielu źródeł i dotyczą między innymi [2, 4, 7, 9, 14, 16-17]:

- samego obiektu jako systemu technicznego (wewnętrzne podsystemy techniczne);
- właściwości obiektu (osiągi i zachowanie się obiektu);
- środowiska technicznego w jakim przebiega misja obiektu (drogi powietrzne, drogi wodne, zewnętrzne systemy techniczne);
- procedur legislacyjnych (konwencje, przepisy, zalecenia);
- procedur związanych z zarządzaniem obiektem (procedury operacyjne);
- środowiska naturalnego w jakim porusza się obiekt (powietrze - wiatr, mgła, temperatura; woda - falowanie, wiatr, mgła, temperatura);
- czynnika ludzkiego.

2. TYPY OBIEKTÓW WIG

Wyróżnia się 3 typy obiektów WIG. Typ A to jednostki które mogą operować jedynie w oddziaływaniu efektu przypowierzchniowego. Typ B to pojazdy które mają możliwość wzbijania się do wysokości 150m, jednak ich głównym sposobem eksploatacyjnym jest lot, wykorzystujący efektu przypowierzchniowy. Oraz typ C, w zasadzie jednostki samolotowe, które mają możliwość obniżenia swego pułapu, tak by korzystać ze zjawiska przypowierzchniowego. Wśród pojazdów budowanych na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat dominują jednostki należące do typu A lub typu B [5-6].

Jednostki WIG są jednostkami hybrydowymi, które w czasie wykonywania zadań operacyjnych wykorzystują zarówno swoje właściwości aerodynamiczne jak i hydrodynamiczne.

Międzynarodowa Organizacja Lotnictwa Cywilnego ICAO i Międzynarodowa Organizacja Morska IMO porozumiały się w ramach swoich jurysdykcji i uzgodniły, że jednostki typu WIG (Wing in Ground), które w dalszej części opracowania będą określane mianem WISE (Wing in Surface Effect) [5-6].

¹ mger@pg.gda.pl

² andemajk@prz.edu.pl

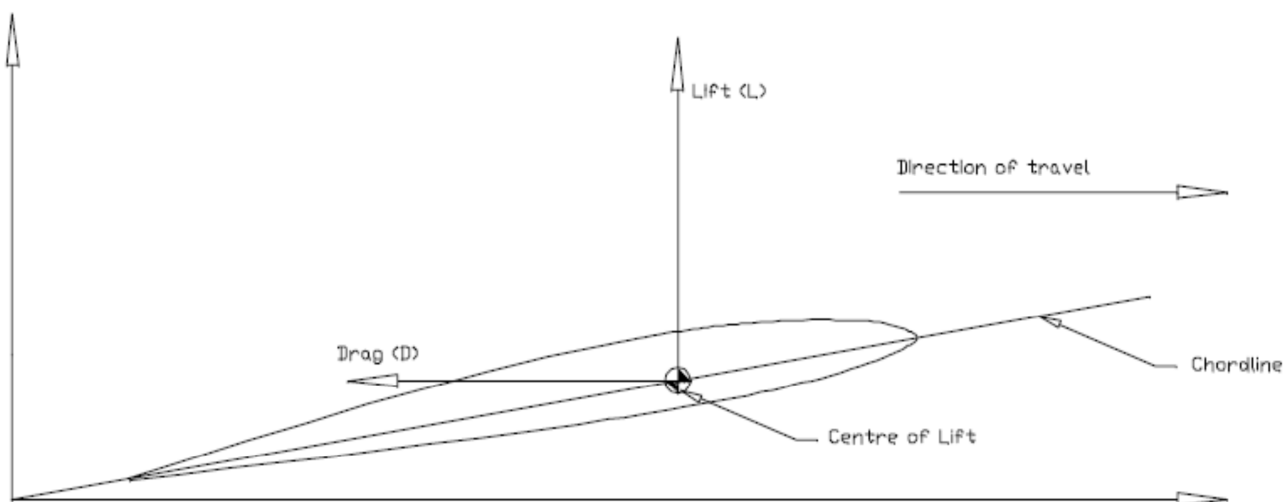
3. PARAMETRY I CHARAKTERYSTYKI OBIEKTÓW WIG

Efekt „Wing in Ground (WIG)” [5-6]. Określenie “wing in ground effect” jest używane w odniesieniu do aerodynamicznych charakterystyk jakie skrzydło posiada poruszając się w pobliżu powierzchni lądu lub swobodnej powierzchni wody.

W czasie ruchu skrzydła w pobliżu powierzchni (swobodnej powierzchni wody) występują dwa zasadnicze zjawiska:

- wpływ rozpiętości skrzydła znajdującego się w pobliżu powierzchni – obniżenie oporu skrzydła D ;
- wpływ cięciwy skrzydła znajdującego się w pobliżu powierzchni – wzrost siły nośnej skrzydła L .

Stosunek L/D określa się mianem efektywności skrzydła. Większa wartość tego stosunku oznacza większą efektywność skrzydła. Można powiedzieć, że skrzydło poruszające się w pobliżu powierzchni (swobodnej powierzchni wody) ma większą (lepszą) efektywność niż skrzydło poruszające się swobodnie (oddalone od powierzchni). Należy pamiętać, że siła oporu D i siła nośna L są składowymi siłami aerodynamicznymi działającymi na skrzydło w czasie ruchu nad powierzchnią. Siła oporu D działa równolegle do kierunku ruchu skrzydła, siła nośna L prostopadle do kierunku ruchu (patrz rys. 1) [1, 3, 8, 10-13, 15].



Rys. 1. Układ sił działających na skrzydło (płat) poruszające się w pobliżu powierzchni (swobodnej powierzchni wody). Oznaczenia: direction of travel - kierunek przepływu, drag - opór, chordline - cięciwa, centre of lift - punkt przyłożenia siły nośnej, lift - siła nośna.

Źródło: [5-6].

Wpływ rozpiętości skrzydła znajdującego się w pobliżu powierzchni [5-6]. Opór skrzydła składa się z dwóch zasadniczych komponentów:

- oporu tarcia i
- oporu indukowanego.

Opór tarcia jest spowodowany tarciem cząsteczek powietrza opływających skrzydło i dlatego zależy od powierzchni skrzydła, chropowatości powierzchni skrzydła i liczby Reynolds'a.

Opór indukowany określa się jako opór powstały na skutek generowania siły nośnej. Obrazując pracę skrzydła w pobliżu powierzchni (swobodnej powierzchni wody) za pomocą obszaru podwyższonego ciśnienia powietrza pod skrzydłem i obszaru obniżonego ciśnienia powietrza nad skrzydłem, ta różnica ciśnień działających na powierzchnię skrzydła powoduje powstanie siły nośnej L . Wskutek poruszania się skrzydła ta różnica ciśnień pod i nad skrzydłem przyczynia się do tworzenia wirów na wierzchołku (krawędzi spływu w pobliżu wierzchołka skrzydła) skrzydła. Energia poświęcona na tworzenie tych wirów jest energią straconą, którą nazywa się oporem indukowanym, czyli powstałym w czasie generowania siły nośnej L . Powstawanie tych wirów zakłóca pracę skrzydła, powodując zmniejszenie efektywności skrzydła poprzez zmniejszenie efektywnej powierzchni skrzydła na której generowana jest siła nośna L .

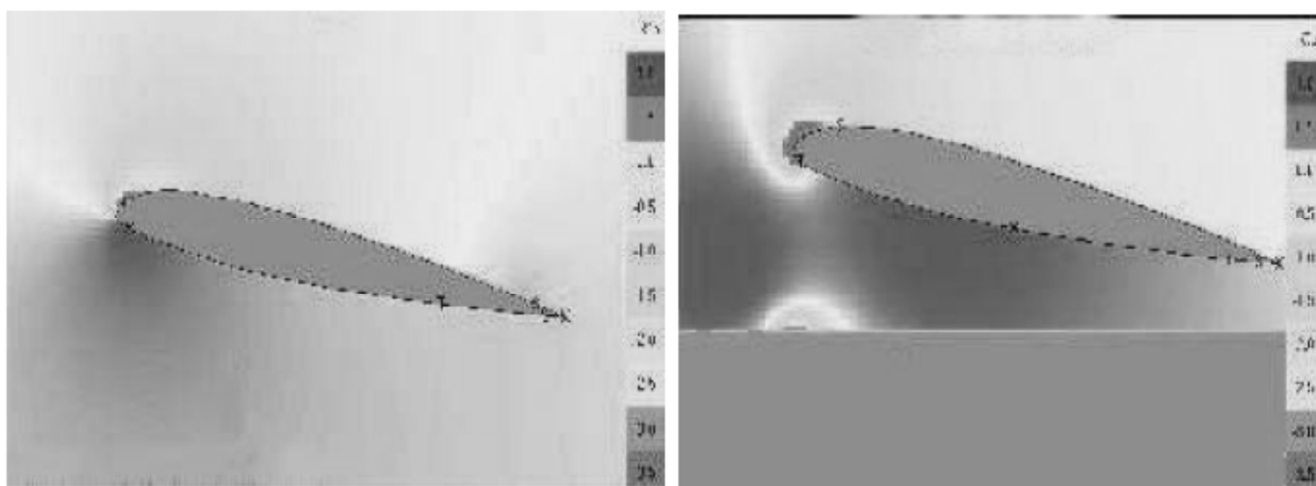
W przypadku, gdy skrzydło porusza się w znacznej odległości od powierzchni, skrzydło pracuje w obszarze przepływu niezakłóconego. W przypadku, gdy skrzydło porusza się w pobliżu powierzchni (swobodnej powierzchni wody) wiry wierzchołkowe nie mogą rozwinąć się do takich rozmiarów jak w przypadku skrzydła poruszającego się w obszarze przepływu niezakłóconego. Wynika to z faktu, że w pobliżu powierzchni skrzydło pracuje w obszarze powietrza ulegającego mniejszym zakłóceniom z uwagi na tworzenie się wirów wierzchołkowych.

Opór indukowany skrzydła poruszającego się w pobliżu powierzchni (swobodnej powierzchni wody) jest mniejszy w stosunku do skrzydła poruszającego się w znacznej odległości od tej powierzchni. Powierzchnia efektywna skrzydła poruszającego się w pobliżu powierzchni jest większa. Siła nośna L indukowana przez to skrzydło jest także większa.

Co więcej, opór indukowany zależy od rozkładu siły nośnej po rozpiętości skrzydła (płata) i wydłużenia skrzydła (płata), zdefiniowanego jako stosunek rozpiętości skrzydła (span) do jego cięciwy (chord): „span/chord”. W przypadku skrzydeł smukłych ten stosunek jest większy. Z kolei efekt oporu indukowanego jest większy (opór indukowany jest większy) w przypadku skrzydeł (płatów) o małym wydłużeniu („span/chord” małe).

I jeszcze jedna uwaga. W przypadku skrzydła poruszającego się w pobliżu powierzchni, wiry wierzchołkowe są fizycznie przesunięte na zewnątrz od wierzchołka skrzydła, co przyczynia się do wzrostu efektywności skrzydła [1, 3, 8, 10-13, 15].

Wpływ cięciwy skrzydła znajdującego się w pobliżu powierzchni [5-6]. Innym zjawiskiem, które należy rozpatrzeć jest wpływ cięciwy skrzydła na zachowanie się skrzydła w pobliżu powierzchni (swobodnej powierzchni wody). Większość ludzi uważa, że wpływ cięciwy skrzydła (płata) poruszającego się w pobliżu powierzchni, na wartość siły nośnej L , jest dominujący. Ogólnie, wpływ cięciwy skrzydła znajdującego się w pobliżu powierzchni jest związany ze zjawiskiem wzrostu siły nośnej na skrzydle (płacie). Pod skrzydłem, formuje się obszar powietrza (objętość) o podniesionej wartości ciśnienia, z uwagi na fakt, że powietrze w tym rejonie płata jest praktycznie wciskane „pod skrzydło” (pod płat). Rośnie napór powietrza na skrzydło od spodu. Zjawisko naporu powietrza od spodu skrzydła nazywa się „efektem spiętrzenia” lub „efektem naporu” (ang. Ram Effect). Przykład naporu powietrza w rejonie „od spodu skrzydła”, w przypadku gdy to samo skrzydło porusza się raz w obszarze niezakłóconym a za drugim razem w pobliżu powierzchni (swobodnej powierzchni wody), przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Napór powietrza w rejonie „od spodu skrzydła”, w przypadku gdy to samo skrzydło porusza się raz w obszarze niezakłóconym (lewa część rysunku) a za drugim razem w pobliżu powierzchni.

Źródło: [5-6].

Obrazy ciśnień przedstawione na rysunku 2, otrzymane za pomocą symulacji komputerowej CFD [5-6], przedstawiają obszary względnie wysokiego ciśnienia. Po prawej stronie rysunku, przedstawiono obszar wysokiego ciśnienia w przypadku tego samego skrzydła, gdy zostało ono usytuowane w pobliżu powierzchni [1, 3, 8, 10-13, 15].

Efekt złożony – zwiększony stosunek L/D (L – siła nośna, D – opór) [5-6]. Wpływ rozpiętości skrzydła znajdującego się w pobliżu powierzchni i wpływ cięciwy skrzydła znajdującego się w pobliżu powierzchni na konfigurację skrzydła jest taki, że należy dążyć do zwiększenia stosunku L/D, gdzie L – siła nośna, D – opór.

Typowy samolot znajduje się w równowadze, jeśli jego ciężar jest równy sile nośnej L a napór na jego pędnikach jest równy oporowi samolotu. Dlatego stosunek L/D jest miarą wartości ciężaru, który może być przeniesiony przez odpowiadającą temu ciężarowi wartość naporu pędników. Im większy jest stosunek L/D tym większa jest efektywność samolotu, skutkująca mniejszym zużyciem paliwa. W przypadku nowoczesnych samolotów komercyjnych, stosunek L/D przyjmuje wartość 20. Natomiast w przypadku małych jednostek typu WIG stosunek ten przyjmuje wartości w zakresie od 25-30.

Jest oczywistym, że efekt oddziaływania powierzchni, w przypadku jednostek typu WIG, zależy od odległości pomiędzy dolną powierzchnią skrzydła a powierzchnią (swobodną powierzchnią wody).

Jak wcześniej wspomniano stosunek L/D można uznać za efektywność jednostki. Zatem, jeśli stosunek $AR = 1$, efektywność jednostki (L/D) gwałtownie maleje, w przypadku gdy stosunek h/c rośnie.

Zatem, przywołując ponownie pojęcie równowagi jednostki, istnieje punkt, w którym efektywność spada do tego stopnia, że zainstalowany napęd jest niewystarczający, by zapewnić poruszanie się jednostki na odpowiedniej wysokości. Inaczej, jednostka (samolot) nie jest zdolna by pokonać wysokość poniżej której występuje wpływ powierzchni (swobodnej powierzchni wody).

W rzeczywistości wpływ powierzchni na jednostkę (samolot) zawsze występuje. Istnieje możliwość oceny, kiedy lot w pobliżu powierzchni jest efektywny a kiedy efektywność takiego lotu jest zbyt niska a samolot powinien się wznieść wyżej. Sytuacja taka może być korzystna dla jednostek typu WIG [1, 3, 8, 10-13, 15].

Warunki równowagi, stateczność poprzeczna i wzdłużna jednostek WIG [5-6]. Problem stateczności poprzecznej a szczególnie stateczności podłużnej, należą do najtrudniejszych problemów związanych z badaniami i projektowaniem jednostek WIG. Przykładowo, problem dotyczący stateczności podłużnej polega głównie na nagłym zwiększaniu się kąta natarcia skrzydła (płata) jednostki WIG po osiągnięciu efektu oddziaływania powierzchni, czyli po wejściu w fazę lotu WIG nad powierzchnią.

W celu uniknięcia problemów związanych z równowagą i zachowaniem się jednostki WIG w różnych etapach i fazach ruchu jednostki typu WIG, należy przeprowadzić badania (parametryczne, systematyczne) dotyczące [1, 3, 8, 10-13, 15]:

- analizy i oceny równowagi trwałej, obojętnej i chwiejnej jednostki WIG;
- analizy i oceny zachowania się jednostki WIG w warunkach operacyjnych.

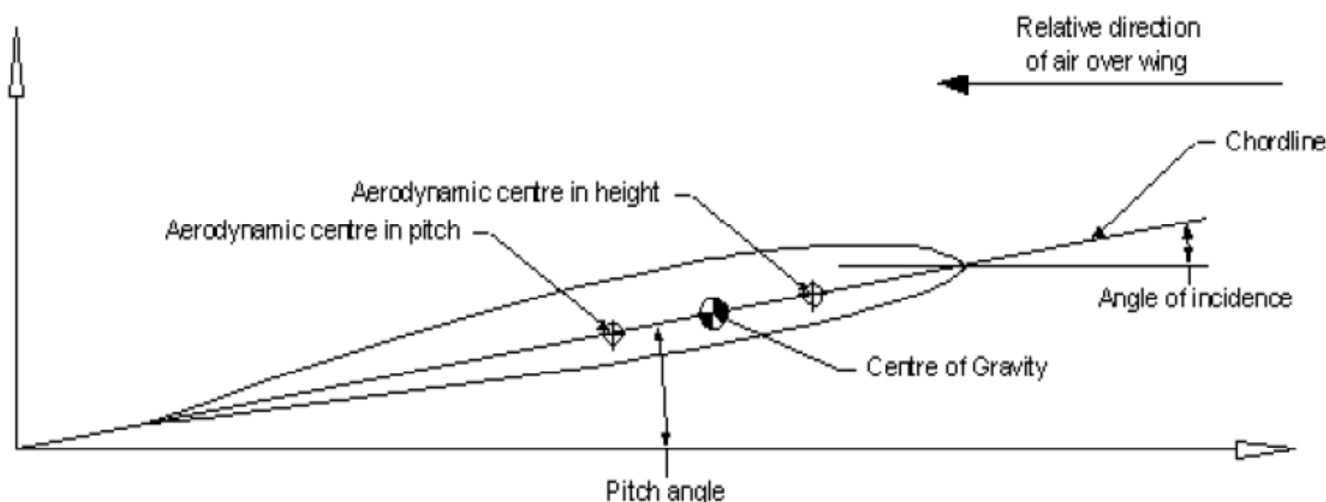
Siły i momenty aero-dynamiczne [5-6]. Badania i projektowanie jednostki typu WIG powinno być związane z wyznaczeniem następujących charakterystyk, sił i momentów aero-dynamicznych:

- siła nośna, L [N];
- opór, D [N];
- kołysania podłużne względem środka ciężkości G, θ [deg];
- moment kołysań podłużnych względem środka ciężkości G, M_θ [N m];
- kołysania poprzeczne względem środka ciężkości G, φ [deg];
- moment kołysań poprzecznych względem środka ciężkości G, M_φ [N m];
- niestacjonarność siły nośnej L i galopowanie pionowe jednostki WIG;
- kąt natarcia, α [deg].

Ponadto, należy wprowadzić następujące punkty odniesienia [1, 3, 8, 10-13, 15]:

- środek ciężkości jednostki WIG (geometryczny środek masy jednostki WIG; punkt obrotu jednostki WIG w czasie ruchu);
- aerodynamiczny środek kołysań podłużnych (punkt w którym przyłożona jest zmienna w czasie siła nośna L; jego położenie i wartość siły nośnej L decyduje o kołysaniach podłużnych jednostki WIG);
- aerodynamiczny środek wysokości (punkt w którym przyłożona jest zmienna w czasie siła nośna L, która powoduje zmianę położenia (wysokości) jednostki WIG względem powierzchni).

Schemat przedstawiający podstawowe elementy niezbędne w badaniach i projektowaniu jednostki WIG (analiza i ocena jednostki WIG w warunkach operacyjnych), przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat przedstawiający podstawowe elementy niezbędne w badaniach i projektowaniu jednostki WIG (analiza i ocena jednostki WIG w warunkach operacyjnych). Oznaczenia: aerodynamic centre of pitch - aerodynamiczny środek kołysań podłużnych, aerodynamic centre in height - aerodynamiczny środek po wysokości, centre of gravity - środek ciężkości, angle of incidence - kąt natarcia, chordline - cięciwa, relative direction of air over wing - względny kierunek opływu powietrza nad płatem.

Źródło: [5-6].

4. SYSTEM BEZPIECZEŃSTWA WIG

Schemat związków występujących pomiędzy poszczególnymi elementami systemu bezpieczeństwa złożonego obiektu technicznego, takiego jak samolot czy statek na morzu, można przedstawić tak jak na rysunku 1. Należy zwrócić uwagę na to, że brak możliwości oddziaływania pozostałych elementów systemu na czynnik środowisko naturalne, co jest zgodne z rzeczywistością.

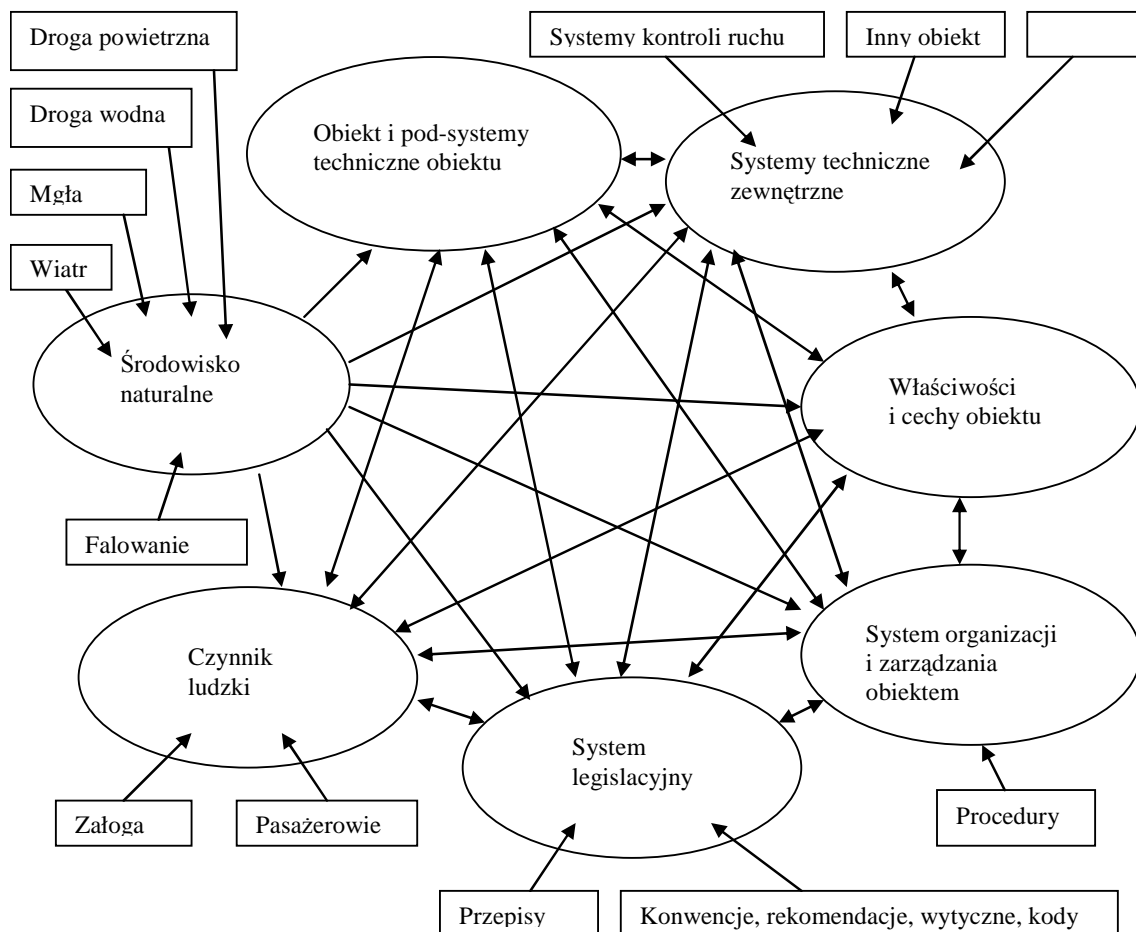
System bezpieczeństwa złożonego obiektu technicznego, przedstawiony na rysunku 4, stanowi podstawę oceny bezpieczeństwa obiektu.

Można wyróżnić grupę czynników wpływających na bezpieczeństwo obiektu, z uwagi na całościowe podejście do bezpieczeństwa, obejmujące cały okres życia obiektu:

- czynnik projektowy - występujący na etapie projektowania obiektu (parametry obiektu, charakterystyki aeromechaniczne lub hydromechaniczne, cechy obiektu);
- czynnik eksploatacyjny - występujący w czasie eksploatacji statku (parametry i charakterystyki operacyjne obiektu: stan załadowania, prędkość, kurs, pułap);
- czynnik związany z organizacją i zarządzaniem obiektem (kultura bezpieczeństwa: zarządzanie w porcie lotniczym, zarządzanie lotem);
- czynnik ludzki.

Ze schematu zamieszczonego na rysunku 4 wynika, że zagrożenia występujące w czasie eksploatacji złożonych obiektów technicznych jakimi są statki powietrzne i morskie, wypływają z interakcji różnych czynników. Do najważniejszych źródeł zagrożeń w lotnictwie zalicza się: człowieka, statek powietrzny, zarządzanie (organizację) zadanie oraz środowisko naturalne i sztuczne [2, 4, 7, 9, 14, 16-17].

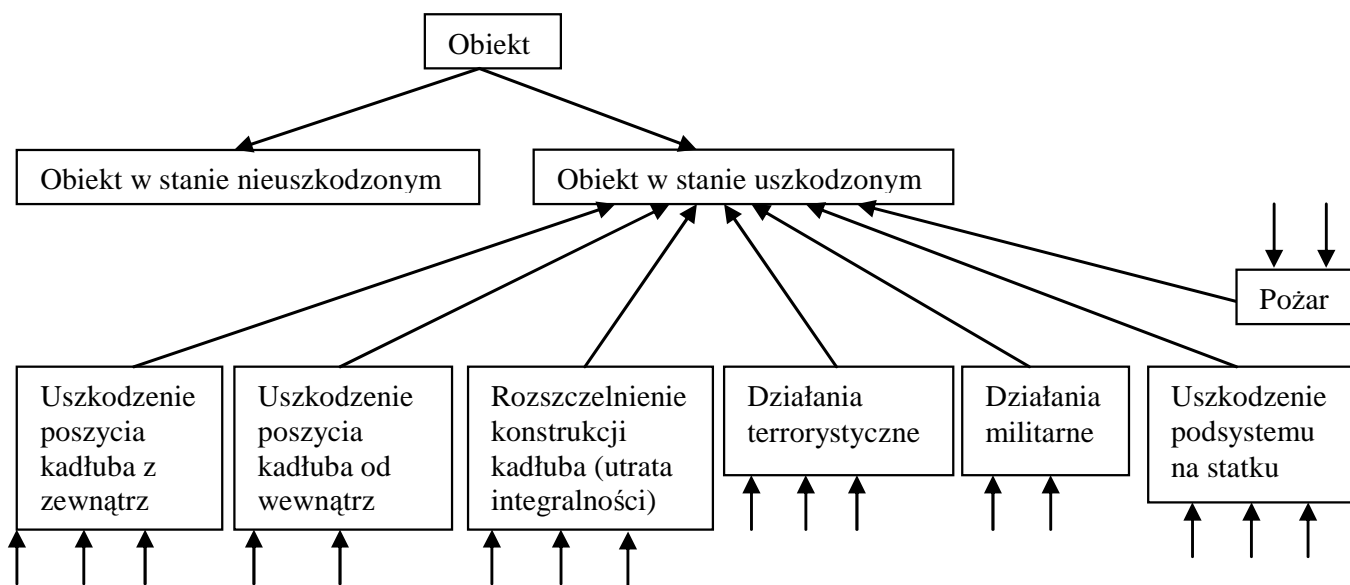
Schemat przedstawiony na rysunku 4 został wcześniej opracowany dla statków morskich [4]. Można stwierdzić, że systemy bezpieczeństwa w przypadku złożonych obiektów technicznych, statków powietrznych i statków morskich, posiadają bardzo podobną strukturę. Oczywiście, mogą się różnić jeśli chodzi o szczegóły.



Rys. 4. Schemat związków występujących pomiędzy poszczególnymi elementami systemu bezpieczeństwa złożonego obiektu technicznego jakim jest samolot lub statek na morzu.

Źródło: opracowanie własne.

W trakcie analizy okazało się, że to podobieństwo dotyczy także systemu czynników w postaci kategorii wypadków, które mogą spowodować, że obiekt (statek powietrzny, statek morski) może znaleźć się w stanie uszkodzonym, co przedstawiono schematycznie na rysunku 5 [4].



Rys. 5. System czynników w postaci kategorii wypadków, które mogą spowodować, że obiekt (statek powietrzny, statek morski) może znaleźć się w stanie uszkodzonym.

5. METODA OCENY BEZPIECZEŃSTWA WIG OPARTA NA OCENIE RYZYKA

Ocena bezpieczeństwa obiektów, powietrznych i morskich, w stanie nieuszkodzonym i uszkodzonym w proponowanej metodzie jest oparta na ocenie zachowania się obiektu i ocenie ryzyka wypadku. Główną cechą metody jest to, że do oceny bezpieczeństwa obiektu zastosowano tak zwane podejście całościowe. Polega ono na tym, że [4]:

- model ryzyka wypadku jest modelem całościowym;
- uwzględniono wpływ na bezpieczeństwo obiektu czynników o charakterze projektowym, eksploatacyjnym i tych związanych z zarządzaniem i czynnikiem ludzkim.

Do oceny zachowania się obiektu można zastosować jedną z dwóch metod:

- badania na modelach fizycznych;
- symulację komputerową.

Ocena zachowania się obiektu zarówno w stanie nieuszkodzonym jaki i uszkodzonym umożliwia przewidywanie możliwych scenariuszy wypadku aż do określenia konsekwencji wypadku łącznie. Ocena zachowania się obiektu stanowi podstawę do budowy drzewa zdarzeń ETA [4].

Ocena ryzyka jest dokonywana najpierw poprzez obliczenia ryzyka, zgodnie z opracowanym drzewem zdarzeń ETA. Do obliczania ryzyka można zastosować model ryzyka, który został przedstawiony poniżej. Oceny ryzyka należy dokonać wykorzystując kryteria oceny ryzyka (ang. RAC - Risk Acceptance Criteria). Do oceny ryzyka w metodzie proponuje się zastosowanie jako kryterium ryzyka: macierz ryzyka lub koncepcję ALARP [4].

Celem w proponowanej metodzie jest osiągnięcie odpowiedniego poziomu ryzyka wypadku. Jest to jednoznaczne z tym, że w metodzie bezpieczeństwo jest traktowane jako cel: projektowy, operacyjny i/lub organizacyjny. Zatem, miarą bezpieczeństwa obiektu w proponowanej metodzie jest poziom ryzyka wypadku.

Proponowaną metodę można zastosować na dowolnym etapie życia obiektu, w tym także do oceny bezpieczeństwa obiektu w czasie katastrofy. Strukturę proponowanej metody przedstawiono na rysunku 6.

6. WYBRANE ELEMENTY MODELU RYZYKA WYPADKU

Ryzyko wypadku w metodzie zostało zdefiniowane jako iloczyn prawdopodobieństwa wystąpienia danego zagrożenia P_i i konsekwencji wypadku C_i [4]:

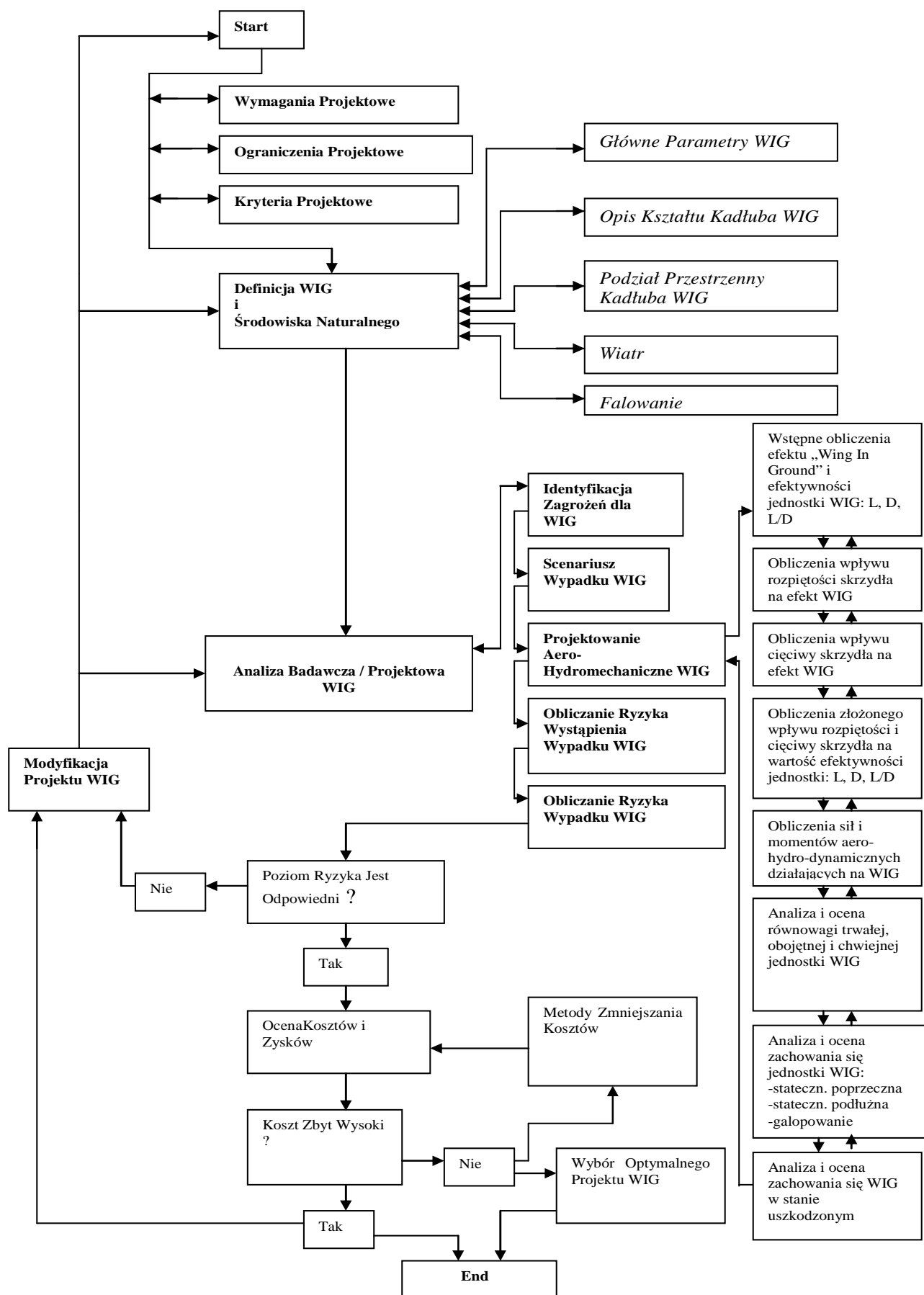
$$R_i = P_i C_i \quad (1)$$

Ryzyko wypadku w metodzie nazwano ryzykiem nieprzetrwania kolizji przez obiekt. Wyznacza się je przy użyciu macierzowego modelu ryzyka. Bez względu na metodę oceny zachowania się obiektu w stanie uszkodzonym (badania na modelu fizycznym czy symulacja komputerowa), ryzyko nieprzetrwania kolizji przez obiekt należy obliczyć w sposób następujący [4]:

$$R = P_C P_{F/C} P_{oC} C_C \quad (2)$$

gdzie:

- P_C - prawdopodobieństwo wystąpienia kolizji,
- $P_{F/C}$ - prawdopodobieństwo zatapiania obiektu po wystąpieniu kolizji,
- P_{oC} - prawdopodobieństwo nieprzetrwania katastrofy przez obiekt,
- C_C - konsekwencje katastrofy szacowane na podstawie analizy zachowania się uszkodzonego obiektu.



Rys. 6. Struktura metody oceny bezpieczeństwa złożonych obiektów technicznych, powietrznych i morskich, oparta na ocenie zachowania się obiektu i ocenie ryzyka wypadku [3].

Źródło: opracowanie własne.

Przy czym prawdopodobieństwo nieprzetrwania kolizji przez obiekt PoC można wyznaczyć za pomocą jednej z pięciu metod [4]: zero-jedynkowej, statycznej, opartej o definicję prawdopodobieństwa zupełnego przetrwania kolizji przez statek A, opartej na ocenie zachowania się statku w stanie uszkodzonym i identyfikacji charakterystyk procesu stochastycznego kołysań bocznych statku w stanie uszkodzonym (metoda własna) oraz metody opartej na zastosowaniu teorii zbiorów rozmytych.

Analiza ryzyka przy użyciu metody opartej na ocenie zachowania się obiektu w stanie uszkodzonym polega najpierw na identyfikacji charakterystyki procesu stochastycznego kołysań obiektu w stanie uszkodzonym. Następnie należy obliczyć prawdopodobieństwa warunkowe, dotyczące zdarzeń inicjujących ZI_i , zdarzeń głównych ZG_j (zagrożenia), zdarzeń pośrednich ZP_k i zdarzeń końcowych ZK_l (konsekwencje w scenariuszu wypadku) [4].

Stopień komplikacji związanych z oceną ryzyka nieprzetrwania katastrofy przez obiekt, przy uwzględnieniu wpływu czynnika ludzkiego, środowiska i zarządzania (podejście całościowe do bezpieczeństwa), przedstawiono w literaturze [4].

7. PROPONOWANA METODA ZARZĄDZANIA RYZYKIEM I BEZPIECZEŃSTWEM WIG

Zarządzanie ryzykiem jest możliwe na podstawie oceny ryzyka i polega na znalezieniu odpowiedzi na następujące pytania [2, 4, 7, 9, 14, 16-17]:

- co można zrobić żeby obniżyć ryzyko?
- jakie pociągnie to za sobą koszty?
- jaki będzie tego wpływ na przyszłe rozwiązania dotyczące bezpieczeństwa?

Zatem, zarządzanie ryzykiem można zdefiniować jako systematyczny i całościowy proces, który umożliwi ilościową ocenę ryzyka i zarządzanie nim, z uwzględnieniem relacji występujących w systemie bezpieczeństwa obiektu.

Jak wcześniej wspomniano, system bezpieczeństwa obejmuje elementy (i związki między nimi), które mają wpływ na bezpieczeństwo obiektu.

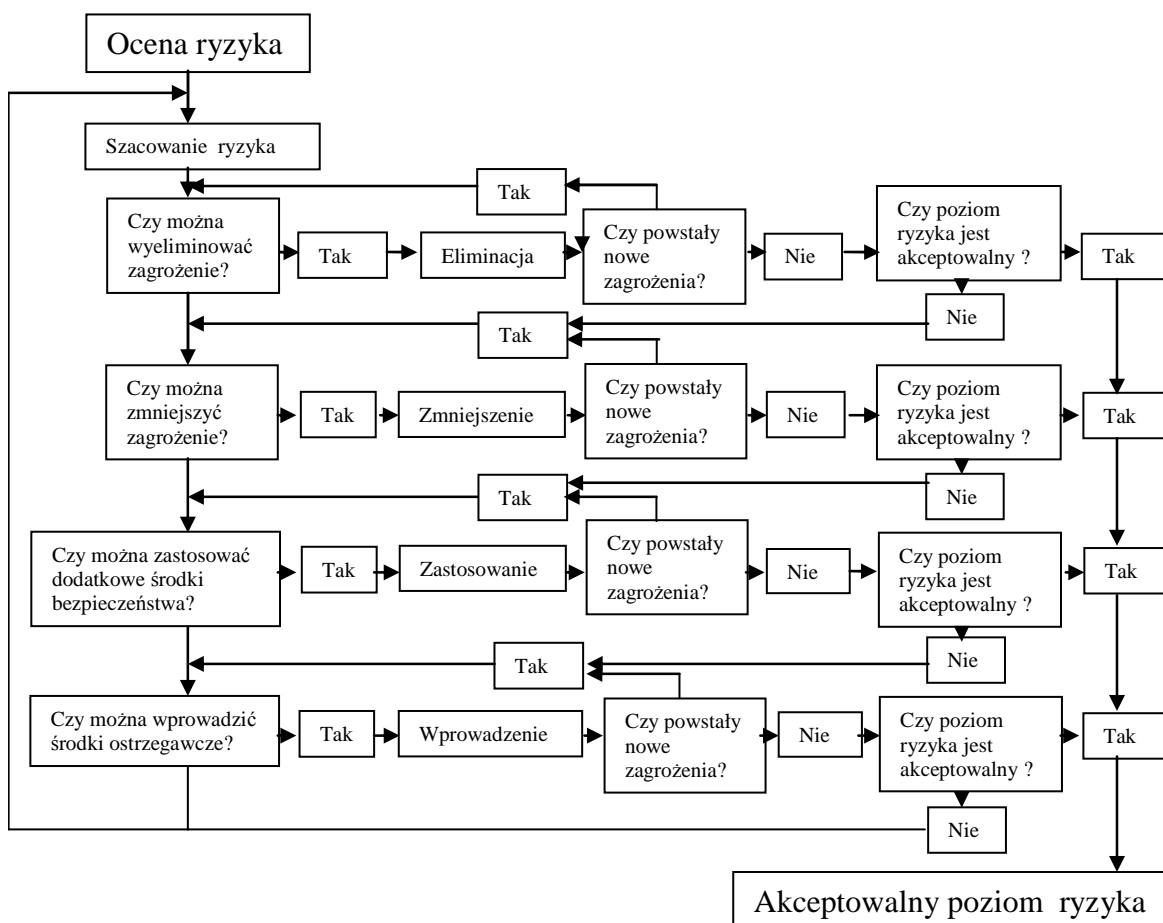
System zarządzania bezpieczeństwem obiektu obejmuje elementy (i związki między nimi), które w czasie eksploatacji i w czasie katastrofy umożliwiają:

- uwzględnienie wpływu na bezpieczeństwo obiektu czynników bezpieczeństwa;
- ocenę ryzyka wypadku;
- zarządzanie ryzykiem.

Zarządzanie ryzykiem w metodzie zarządzania bezpieczeństwem obiektu jest oparte na strategii redukcji ryzyka, która polega na:

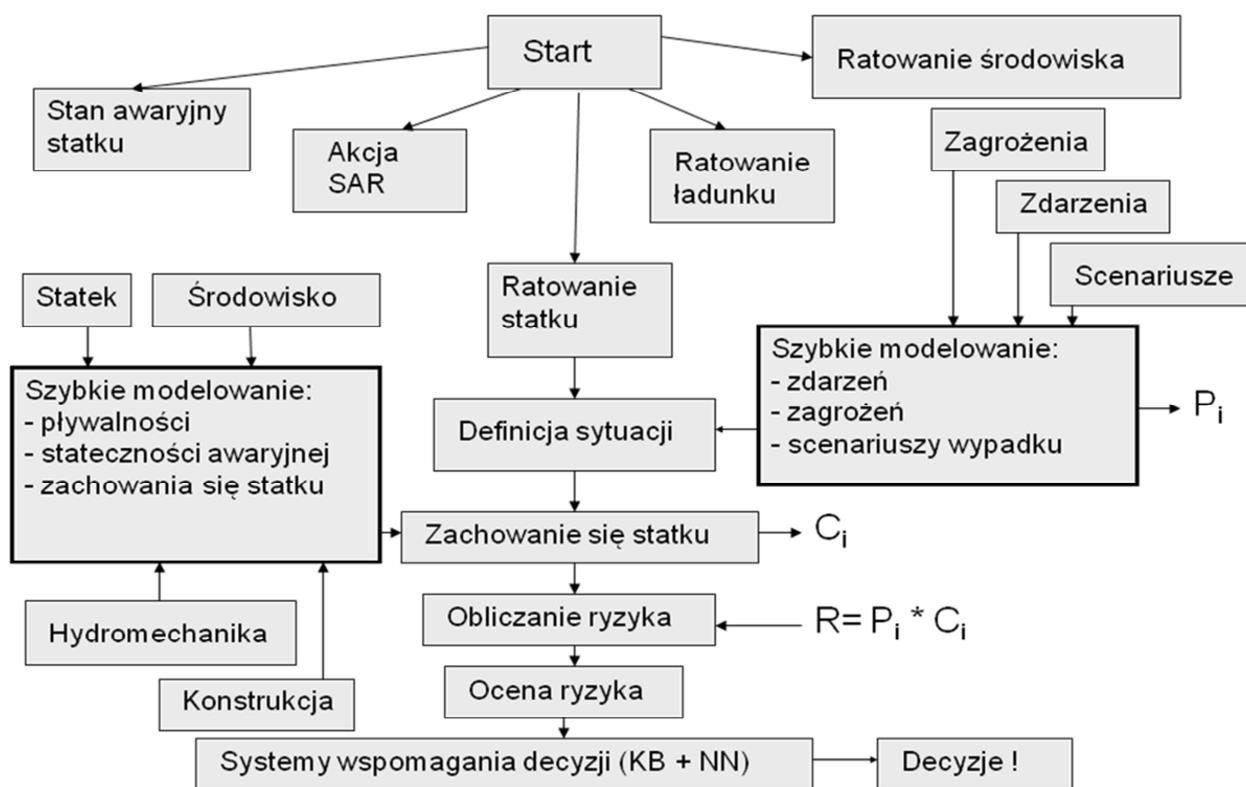
- redukcji prawdopodobieństwa wystąpienia danych zdarzeń, obejmującej:
 - redukcję prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń pośrednich ZP_k ;
 - redukcję prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń dodatkowych ZD_j ;
- redukcji konsekwencji wypadku, obejmującej:
 - redukcję prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń końcowych ZK_l , w przypadku, gdy brak zdarzeń dodatkowych;
 - redukcję prawdopodobieństwa wystąpienia konsekwencji PoC(C_i) w przypadku, gdy występują zdarzenia dodatkowe.

Schemat zarządzania bezpieczeństwem złożonych obiektów technicznych z ukierunkowaniem na zastosowania w lotnictwie i okrętownictwie w proponowanej metodzie, przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Schemat zarządzania bezpieczeństwem złożonych obiektów technicznych.

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 8. System oceny bezpieczeństwa obiektu (statku morskiego) w stanie uszkodzonym w czasie katastrofy.

Źródło: opracowanie własne

Dynamika sytuacji w czasie katastrofy statku na morzu, wymaga szybkiego podejmowania decyzji, dotyczących bezpieczeństwa statku, z ukierunkowaniem na bezpieczeństwo ludzi, mienia i środowiska naturalnego. Szybkie podejmowanie decyzji wymaga zastosowania systemu oceny bezpieczeństwa obiektu (statku morskiego) w stanie uszkodzonym w czasie katastrofy. Schemat takiego systemu przedstawiono na rysunku 8.

8. WNIOSKI

W artykule przedstawiono podstawowe informacje na temat zarządzania bezpieczeństwem obiektów WIG. Przedstawiono koncepcję systemu bezpieczeństwa obiektu WIG. Opisano metodę oceny bezpieczeństwa tych obiektów, opartą na ocenie ryzyka. Przedstawiono wybrane elementy modelu ryzyka wypadku. Opisano proponowaną metodę zarządzania bezpieczeństwem obiektami WIG, z ukierunkowaniem na zastosowania praktyczne.

Cele i kierunki dalszych badań będą dotyczyły modelowania i szacowania wartości prawdopodobieństw warunkowych wystąpienia zagrożeń, zdarzeń pośrednich, zdarzeń dodatkowych i końcowych (konsekwencji), w oparciu o analizę zachowania się danego obiektu WIG. Metoda badań oparta jest na wcześniejszych pracach, związanych z opracowaniem "Kompleksowej metody oceny bezpieczeństwa statku w stanie uszkodzonym z uwzględnieniem analizy ryzyka" [4].

Streszczenie

W artykule przedstawiono koncepcję systemu zarządzania bezpieczeństwem obiektów WIG (Wing in Ground) wykorzystujących w czasie ruchu tak zwany efekt przypowierzchniowy. Przedstawiono definicję obiektów WIG. Podano podstawowe charakterystyki aero- i hydro-dynamiczne obiektów WIG. Opisano metodę oceny zachowania się obiektów WIG w czasie eksploatacji. Przedstawiono koncepcję systemu oceny bezpieczeństwa obiektów WIG opartą na ocenie ryzyka wypadku. Podano strukturę systemu i miary bezpieczeństwa.

Słowa kluczowe: obiekt WIG, charakterystyki aero-hydro-dynamiczne obiektów WIG, ocena zachowania się obiektu WIG, ocena ryzyka, zarządzanie ryzykiem, system bezpieczeństwa.

A concept of the safety system of WIG objects using the wing in ground effect

Abstract

In the paper a concept of the safety system of WIG objects using the wing in ground effect moving above the surface is presented. The WIG definition is introduced. The basic aero-hydro-dynamic characteristics of WIG objects are presented. The method of assessment of the WIG objects performance in operation is described. A concept of the system for assessment of safety of WIG objects based on the risk assessment is presented in the paper. The system structure and safety measures are given.

Keywords: Wing In Ground object (WIG), aero-hydro-dynamic characteristics of WIG objects, assessment of WIG object performance, risk assessment, risk management, safety system.

LITERATURA

- [1] Abramowicz-Gerigk T., Burciu Z, Gerigk M.: Hydrodynamiczne cechy WIG podczas startu i lądowania na swobodnej powierzchni wody. VII Seminarium poświęcone problematyce badawczej i dydaktycznej katedr i zakładów szkół wyższych oraz instytutów naukowo-badawczych o profilu lotniczym, Bezmiechowa, 20-23 czerwca 2012.
- [2] Downarowicz O.: System eksploatacji. Zarządzanie zasobami techniki. Monograficzna seria wydawnicza Biblioteka Problemów Eksploatacji, Gdańsk-Radom 2005.
- [3] Dudziak J. Teoria okrętu. Fundacja Promocji Przemysłu Okrętowego i Gospodarki Morskiej, Gdańsk 2008.
- [4] Gerigk M.: Kompleksowa metoda oceny bezpieczeństwa statku w stanie uszkodzonym z uwzględnieniem analizy ryzyka. Monografie 101, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2010.
- [5] International Maritime Organization.: High Speed Craft Code. IMO 2000.
- [6] International Maritime Organization.: Interim guidelines for Wing-In-Ground (WIG) Craft. IMO MSC/Circ.1054, 16 December 2002.
- [7] Klich E., Szczygieł J.: Bezpieczeństwo lotów w transporcie lotniczym. Monograficzna seria wydawnicza Biblioteka Problemów Eksploatacji, Radom 2010.
- [8] Kornev N., Matveev K.: Complex numerical modeling of dynamics and crashes of wing-in-ground vehicles. University of Rostock, California Institute of Technology in Pasadena.
- [9] Lewitowicz J.: Podstawy eksploatacji statków lotniczych. Systemy eksploatacji statków powietrznych. Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Warszawa 2006.
- [10] Łucjanek W., Sibilski K.: Wstęp do dynamiki lotu śmigłowca. Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Warszawa 2007.
- [11] Majka A.: Koncepcja i projekt aparatu bezzałogowego klasy mikro. VII Seminarium poświęcone problematyce badawczej i dydaktycznej katedr i zakładów szkół wyższych oraz instytutów naukowo-badawczych o profilu lotniczym, Bezmiechowa, 20-23 czerwca 2012.
- [12] Majka A, Szumski M.: Badania mikro-samolotu w tunelu aerodynamicznym. VII Seminarium poświęcone problematyce badawczej i dydaktycznej katedr i zakładów szkół wyższych oraz instytutów naukowo-badawczych o profilu lotniczym, Bezmiechowa, 20-23 czerwca 2012.
- [13] Sibilski K. Modelowanie i symulacja dynamiki ruchu obiektów latających. Oficyna Wydawnicza MH, Biblioteczka Nauka-Innowacje_Technika NIT, Warszawa 2004.
- [14] Smalko Z.: Studium terminologiczne inżynierii bezpieczeństwa transportu. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2010.
- [15] United States Coast Guard.: Wing In Ground WIG craft interim guidance, 2001.
- [16] Wawrzyński W.: Bezpieczeństwo systemów sterowania w transporcie. Monograficzna seria wydawnicza Biblioteka Problemów Eksploatacji, Warszawa-Radom 2004.
- [17] Żurek J.: Modelowanie nadążnych systemów bezpieczeństwa. Monograficzna seria wydawnicza Biblioteka Problemów Eksploatacji, Radom 2010.