
ZACHODNIOPOMORSKI UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNY
WYDZIAŁ INFORMATYKI

Praca doktorska

**Model systemu wspomagania decyzji w oparciu
o dane geoprzestrzenne na potrzeby rzeczno-
systemu informacyjnego z wykorzystaniem
dynamicznej domeny 3D**

Autor:
mgr inż. Ireneusz Miciuła

Promotor:
prof. dr hab. inż. Andrzej Stateczny

Szczecin 2010

Spis treści

	Strona
Wstęp	3
Rozdział 1. Podstawy organizacyjno – techniczne rzecznych systemów informacyjnych (RIS)	10
1.1 Uwarunkowania normatywno – technologiczne rzecznych systemów informacyjnych... 10	
1.1.1 Międzynarodowe przepisy dotyczące regulacji funkcjonowania systemów zarządzania ruchem oraz infrastruktury informacji przestrzennej	11
1.1.2 Kształtowanie się systemów zarządzania ruchem statków	17
1.1.3 Obecny rozwój systemów kontroli i zarządzania ruchem	21
1.1.4 Analiza aktualnych rozwiązań stosowanych w europejskich systemach RIS	31
1.2 Źródła danych geoprzestrzennych w procesie wspomaganie decyzji użytkownika RIS.. 37	
1.2.1 Specyfikacja sensorów wykorzystywanych do pozyskiwania informacji geoprzestrzennej	37
1.2.2 Fuzja informacji na stanowisku operatora centrum brzegowego systemu RIS	50
Rozdział 2. Model systemu wspomaganie decyzji operatora/użytkownika RIS	60
2.1 Założenia do modelu	60
2.1.1 Parametry akwenu	62
2.1.2 Parametry jednostek i ich właściwości manewrowe	67
2.1.3 Warunki hydrometeorologiczne ze szczególnym uwzględnieniem poziomu wody.. 71	
2.1.4 Parametry elementów ograniczających ruch	79
2.2 Proces modelowania dynamicznej domeny 3D podczas manewrowania na akwenu ograniczonym	86
2.2.1 Model sytuacji geoprzestrzennej	87
2.2.2 Metody zobrazowania oraz analizy i oceny sytuacji geoprzestrzennej	93
2.2.3 Metoda modelowania dynamicznej domeny 3D	101
2.2.4 Symulacyjny model ruchu jednostki śródlądowej	109
2.3 Propozycja modelu systemu wspomaganie decyzji w zarządzaniu ruchem przy uwzględnieniu poziomu wody	115
2.3.1 Aspekty wspomaganie decyzji użytkownika RIS	115
2.3.2 Baza wiedzy (reguł) w informatycznym systemie ekspertowym	118

2.3.3 Analiza metod pozyskiwania wiedzy	122
2.3.4 Elementy i organizacja systemu	126
Rozdział 3. Implementacja i weryfikacja informatycznego systemu wspomagania	
decyzji.....	130
3.1 Implementacja informatycznego systemu wspomagania decyzji	131
3.2 Kryteria oceny SWD oraz weryfikacja systemu za pomocą symulacji	151
3.3 Zakładane rezultaty i korzyści z wprowadzenia systemu RIS wyposażonego w SWD..	157
Wnioski końcowe	169
Wykaz skrótów i symboli	173
Spis rysunków	175
Spis tabel	177
Bibliografia	178

Wstęp

W coraz większej liczbie rozwijających się państw powstają poważne problemy związane z organizacją transportu. Zjawisko to występuje przede wszystkim w Europie wśród państw należących do Unii Europejskiej. Dlatego też we Wspólnocie powstał projekt, który dzięki olbrzymim możliwościom zjednoczonych państw ma w ciągu kilku lat zrealizować cele rozwiązujące ten problem. Obecnie istniejąca infrastruktura jest oparta głównie na transporcie drogowym, który już nie zapewnia wystarczającej przepustowości masy transportowej. Dodatkowo wykazano również, iż ruch drogowy ma znacznie bardziej negatywny wpływ na życie ludności od innych alternatywnych metod transportu. Emisja spalin i poziom hałasu w transporcie drogowym ciągle się zwiększa, a normy tych niekorzystnych czynników nie są przestrzegane. Komunikacja drogowa nie należy więc do najbardziej ekologicznych, a co ważniejsze i ekonomicznych środków transportu. Także wykazano wyższość innych środków transportu odnośnie bezpieczeństwa oraz ochrony zdrowia i życia ludzkiego. W poniższej tabeli przedstawiono porównanie kosztów transportu towarów trakcją drogową, kolejową oraz statkami śródlądowymi, a także porównano inne czynniki, które mają wpływ na ochronę środowiska oraz poziom bezpieczeństwa przewozów.

Tabela 0.1 Zasadność rozwoju transportu śródlądowego. Porównanie kosztów transportu.

Rodzaj transportu	Koszt transportu w euro na 100 tkm	Zużycie paliwa w litrach oleju napędowego na 100 tkm	Hałas %	Wypadki na 100 drogowych	Wydzielanie CO ₂ w g/tkm	Zanieczyszczenie środowiska
drogowy	2,56	4,1	100,00	100,00	140,8	100,00%
kolejowy	0,59	1,7	13,98	6,74	47,9	80,46%
wodny	0,18	1,3	14,41	0,56	41,2	1,15%

Źródło: (Zhao, Wang, 1993).

W konsekwencji powyższych zalet polityka krajów Unii Europejskiej skupia się na promowaniu innych form transportu. Szczególnie żegluga przybrzeżna i śródlądowa jest postrzegana jako czynnik, który może w znacznym stopniu przyczynić się do rozwiązania problemów transportowych.

Zwiększająca się ilość dostępnych informacji oraz wzrost złożoności stosowanych systemów technicznych sprawiają, że zarządzanie informacją oraz podejmowanie na tej podstawie decyzji zwłaszcza w sytuacjach złożonych, np. awaryjnych może przerastać możliwości decydentów. Jednym ze sposobów rozwiązania tego problemu jest tworzenie

systemów wspomaganie decyzji. Rozwój nowoczesnych technik i technologii informatycznych stwarza odpowiednie możliwości do automatyzacji nawigacji oraz budowy systemów wspomaganie decyzji w sterowaniu statkiem (barką). Rozwiązania proponowane przez te systemy powinny zapewniać bezpieczne wykonywanie manewrów, uwzględniać obowiązujące przepisy w ruchu oraz powinny być racjonalne, czyli stosować kryteria używane i akceptowane przez człowieka. Podstawą do realizacji tego typu systemów jest analiza procesów decyzyjnych w sterowaniu statkiem (barką) realizowanych przez nawigatorów. Opracowanie modelu procesu decyzyjnego stanowi podstawę do projektowania i budowy systemów wspomaganie decyzji nawigatora. Dotychczas publikowane prace nie ujmują kompleksowo zagadnień związanych z modelowaniem sytuacji decyzyjnych i realizacji procesów decyzyjnych w sterowaniu statkiem (barką) na obszarze ograniczonym (śródlądowym).

Analizę literatury przedmiotu należy rozpocząć od momentu nowego podejścia do procesu unikania kolizji przez T. Miloh'a i S.D. Sharma, którzy dla rozwiązania tego problemu zastosowali teorię gier różniczkowych (Miloh, Sharma, 1985). Jednak większość opracowań dotyczących informatycznego wspomaganie decyzji w ruchu statku datuje się na 1995 rok. Wtedy to F.P Coenen przedstawił projekt prototypowego systemu czasu rzeczywistego, który na podstawie bazy wiedzy wspomaga proces unikania kolizji na wodach otwartych i w sytuacji spotkania większej liczby obiektów (Coenen, 1995). Równocześnie włoscy naukowcy M. Piattelli i A. Tiano opracowali sposób wyznaczania manewru optymalnego w sensie minimalizacji straty drogi i ze względu na bezpieczne mijanie statków w sytuacji kolizyjnej (Piattelli, Tiano, 1995). A. Gawrychowski dokonał opracowania założeń i wytycznych projektowych w zakresie obliczania i symulacji manewru antykolizyjnego oraz automatycznego sterowania statkiem po zadanej trajektorii (Gawrychowski i inni, 1995). A.W. Merz i J. Karmarkov przeprowadzili analizę optymalnych manewrów unikających zagrożenia (Merz, Karmarkov, 1996). Następnie H. Sudhendar i M. Grabowski przedstawili kierunki rozwoju i wymagania stawiane inteligentnemu systemowi oraz możliwości opracowania systemu do prowadzenia statku w całkowicie automatyczny sposób, bez obsługi załogi, w połączeniu ze służbami lądowymi (Sudhendar, Grabowski, 1996). Profesor J. Lisowski wraz z zespołem Katedry Automatyki Okrętowej Wyższej Szkoły Morskiej w Gdyni przeprowadził analizę modeli i syntezę wybranych algorytmów sterowania optymalnego. W pracy zostały przedstawione modele procesu unikania kolizji w zależności od stosowanej metody rozwiązania zadania. Przegląd metod unikania kolizji i systemów antykolizyjnych Profesor Lisowski przedstawił w kilku publikacjach na arenie

międzynarodowej (Lisowski, 1997). W celu uwzględnienia subiektywności zachowania się nawigatora podejmującego ostateczną decyzję manewrową wobec własnego statku Pham Ngoc Tiep we współpracy z innymi prowadził badania probabilistyczno – rozmytego procesu bezpiecznego sterowania statkiem w sytuacjach kolizyjnych. W publikacjach wraz z profesorem Lisowskim przedstawili identyfikację modelu właściwości rozmyto-probabilistycznych dla nawigatora podejmującego decyzje manewrowe w procesie zapobiegania kolizjom statków (Pham, 1998). R. Śmierzchalski udowodnił w swojej rozprawie doktorskiej możliwość zastosowania technik komputerowych do wspomaganie decyzji w sytuacji kolizyjnej w czasie zbliżonym do rzeczywistego (Śmierzchalski, 1998). Jednocześnie w dalszej pracy naukowej przeprowadził syntezę metod i algorytmów wspomaganie decyzji nawigatora w sytuacji kolizyjnej na morzu (Śmierzchalski, Michalewicz, 2000), a także sprawdził możliwość zastosowania interaktywnego pakietu podejmowania decyzji DIDAS – N do rozwiązywania procesu unikania kolizji na morzu (Śmierzchalski, 2001). Możliwości unikania kolizji w rejonach o wzmożonym ruchu i z wykorzystaniem badań statystycznych są zawarte w pracach B.A. Colleya. Przedstawiono w nich model manewrowy w postaci domen 2D i tzw. model arenowy spotkania statków (Colley, 1998). Natomiast R.S. Burns w swoich pracach zaproponował rozwiązanie zagadnienia sposobu zachowania się zespołu statków w sytuacji kolizyjnej poprzez zastosowanie rozmytych reguł sterowania (Burns, 1999). M.J. Dove przedstawił koncepcję kierowania statkiem przy jednoczesnym określaniu relacji pozycji statku na trajektorii i czasu oraz system kierowania wzdłuż zadanej trajektorii (Dove, 2001). Próby zastosowania systemów ekspertowych i teorii zbiorów rozmytych w algorytmach sterowania statkiem w sytuacji kolizyjnej przedstawiono w pracach M.K. Jamesa, J. Zha oraz K. Hary (James, 1996, Hara, 1998, Zha, 2002). Y. Iijima i H. Hayashi przedstawili rozwój inteligentnych systemów na statkach w celu oceny sytuacji kolizyjnej, podjęcia decyzji i wydania komendy manewru. Autorzy opracowali komputerowy system ekspertowy prowadzenia nawigacji (Iijima, Hayashi, 2003). Autonomiczny system unikania kolizji S. Hayashiego połączył funkcję mapy elektronicznej z pracą radaru do określania pozycji i oszacowania sytuacji nawigacyjnej. Natomiast profesor A.P. Wierzbicki z Instytutu Informatyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej przeprowadził modelowanie obiektów i ich symulację w symulatorze wraz z działaniem systemu wspomaganie decyzji (Wierzbicki, 2003). Profesor Z. Zwierzewicz opracował teoretyczne podstawy metod matematycznych stosowanych w procesie unikania kolizji oraz sposoby optymalizacji problemów ruchu w nowoczesnej nawigacji przy wykorzystaniu technik komputerowych (Zwierzewicz, Borkowski, 2004, Zwierzewicz, 2005).

Nową dziedzinę pomocną przy rozwiązywaniu wielu problemów wprowadził Profesor Stateczny, który zajmuje się tzw. nawigacją porównawczą pozwalającą na wyznaczenie pozycji obiektu za pomocą porównania dynamicznie rejestrowanego obrazu z mapami. Znaczenie tej problematyki oraz jej możliwości i uznanie potwierdzają liczne publikacje Profesora na arenie międzynarodowej (Stateczny, 2001 – 2004, 2006). Jednocześnie Profesor A. Stateczny opracował koncepcję aktywnego systemu nadzoru ruchu statków na torze wodnym oraz przedstawił możliwości i efekty stosowania nowoczesnych metod nawigacji w żegludze śródlądowej z wykorzystaniem Inland ECDIS. Aktualnie wraz z zespołem badawczym pracuje nad technologią budowy rzeczno systemu informacyjnego (RIS) dla Dolnej Odry (Stateczny i inni, 2009). Opracowana technologia pozwoli na wdrożenie pionierskiego w Polsce systemu RIS oraz przyczyni się do upowszechnienia w Polsce zharmonizowanych usług informacji rzecznej na śródlądowych drogach wodnych. D. Zee opracował algorytm wykrywania sytuacji spotkania (zagrożenia) w czasie rzeczywistym (Zee, 2006). Profesor W. Uchacz opracował metody modelowania oraz optymalizacji w symulacji i sterowaniu w systemach transportu wodnego. Jako przykład zastosowania przeprowadził symulację i optymalizację ruchu obiektów na odcinku Dolnej Odry (Uchacz, 2006). Profesor Z. Pietrzykowski w swoich pracach przedstawił sposoby modelowania (konstrukcji) domeny 2D z zastosowaniem teorii zbiorów rozmytych wraz z określeniem i wyznaczeniem stopnia aktualnego bezpieczeństwa statku (Pietrzykowski, Magaj, Chomski, 2008). Rozwiązania zaproponowane w przytoczonych publikacjach stanowiły podstawę do opracowania przez autora modeli i syntezy dotąd niestosowanych algorytmów wspomaganie decyzji w sytuacjach kolizyjnych w żegludze śródlądowej. Powyższe prace potwierdzają trafność przyjmowanych rozwiązań w zadanej w pracy tematyce. W pracy przedstawiono metody i algorytmy wspomaganie decyzji w sytuacji kolizyjnej, określające bezpieczną trajektorię z uwzględnieniem elementów własności dynamicznych statku własnego, przepisów prawa drogi, ograniczeń nawigacyjnych oraz zmiany strategii zachowania wobec różnych napotkanych obiektów.

Wybrany temat pracy doktorskiej ściśle powiązany jest z geoinformatyką i systemami wspomaganie decyzji dla skomplikowanych procesów, jakim niewątpliwie jest monitorowanie (nadzór) ruchu jednostki śródlądowej i wspomaganie decyzji w celu uniknięcia wszelkich zagrożeń na akwenu śródlądowym. Dla zrealizowania wybranego zagadnienia w niniejszej pracy dąży się do wykorzystania informacji uzyskanych z nowoczesnych urządzeń i produktów technologii informatycznej. Celem tych działań jest podwyższenie poziomu bezpieczeństwa żeglugi poprzez opracowanie systemów

wspomagania decyzji w zakresie planowania manewrów (harmonogram trajektorii) i unikania kolizji. Systemy te stanowiłyby uzupełnienie i rozszerzenie eksploatowanych obecnie na statkach systemów antykolizyjnych, takich jak ARPA, czy AIS w strefie żeglugi śródlądowej. Wyniki działania systemu i ostrzeżenia przed zagrożeniami będą zobrazowane w systemie ECDIS. Proces nawigacji można rozpatrywać jako proces sterowania wieloetapowego. Liczba etapów jest uzależniona od złożoności sytuacji i możliwości zastosowania urządzeń, metod i systemów wspomagających decyzje, które są niezbędne ze względu na ograniczenia percepcyjne decydenta. Rozwiązania stosowane w dotychczas funkcjonujących systemach wspomagania decyzji złożonych procesów potwierdzają trafność przyjmowanych rozwiązań oraz potrzebę ich dalszego rozwoju. W pracy przedstawiono miejsce i zadania tych systemów, które stanowią znaczący element w koncepcji „inteligentnego” systemu transportowego. Jednym z najważniejszych, a zarazem najtrudniejszych zadań, jakie są podejmowane w złożonym procesie konstruowania informatycznego systemu wspomagania decyzji jest tworzenie praw i reguł rządzących opisywanym problemem świata rzeczywistego.

Celem głównym pracy jest opracowanie modelu systemu wspomagania decyzji w oparciu o dane geoprzestrzenne na potrzeby rzeczno systemu informacyjnego (RIS) z wykorzystaniem dynamicznej domeny 3D.

Opracowanie i wykorzystanie przestrzennego modelu dynamicznej domeny 3D pozwoli na planowanie podróży przez akwen ograniczony we wszystkich wymiarach, w tym szczególnie ważnym wymiarze dla zadanego problemu, a więc pod względem głębokości.

Dla zrealizowania celu głównego pracy ustalono następujące cele cząstkowe:

1. Opracować metodę modelowania dynamicznej domeny 3D statku w procesie manewrowania na ograniczonym akwencie,
2. Opracować metodę pozyskiwania wiedzy nawigatorów i wykorzystania jej do systemów wspomagania decyzji dla potrzeb bezpiecznej żeglugi,
3. Zbudować modele procesów decyzyjnych dla systemu wspomagania decyzji w oparciu o dynamiczną domenę 3D,
4. Określić zasady organizacji systemu wspomagania decyzji operatora RIS (automatyzacja procedur),
5. Przeprowadzić implementację i weryfikację opracowanych modeli przez symulację przy zmieniających się warunkach ruchu.

Teza pracy zakłada, że opracowany model systemu wspomagania decyzji zwiększy bezpieczeństwo i wydajność ruchu poprzez możliwość planowania ruchu (obsługa kolejki zdarzeń, szacowanie prawdopodobieństwa wystąpienia zatoru) i ostrzegania o zagrożeniach.

Rozprawa składa się z trzech rozdziałów.

W rozdziale pierwszym uporządkowano i usystematyzowano istniejącą wiedzę z dziedziny systemów kontrolowania i zarządzania ruchem na akwenu śródlądowym oraz wprowadzono w tematykę rzecznych systemów informacyjnych (RIS). Przeprowadzono analizę aktualnych rozwiązań stosowanych w europejskich systemach RIS oraz wyselekcjonowano źródła danych geoprzestrzennych (specyfikacja sensorów) niezbędnych w procesie wspomaganie decyzji użytkownika RIS. Opracowano i przedstawiono w rozdziale sposób fuzji informacji na stanowisku operatora centrum brzegowego systemu RIS.

W rozdziale drugim określono niezbędne założenia do stworzenia modelu systemu wspomaganie decyzji. W celu automatycznego ustalania bezpiecznej przestrzeni wokół statku opracowano algorytm budowy (proces modelowania) dynamicznej domeny 3D podczas manewrowania na ograniczonym akwenu. Określono strukturę systemu oraz zaproponowano sposób realizacji poszczególnych elementów (modułów) systemu z określeniem oceny ich jakości.

W rozdziale trzecim przeprowadzono implementację i weryfikację informatycznego systemu wspomaganie decyzji. Jednocześnie dla ogólnego przeglądu zastosowań ukazano zakładane rezultaty i korzyści z wprowadzenia systemu RIS w rejonie Dolnej Odry.

Tematyka rozprawy ściśle koresponduje z aktualnymi dyrektywami Unii Europejskiej dotyczącymi automatyzacji procedur zarządzania ruchem i budowy „autostrad wodnych”. Obecnie obserwuje się bardzo szybki rozwój systemów nadzoru ruchu statków i barek śródlądowych, co wynika z powszechnej akceptacji wprowadzanych rozwiązań wykorzystujących nowoczesne osiągnięcia techniki. Prowadzi to do zwiększenia możliwości ruchu jednostek pływających na wodach przybrzeżnych i śródlądowych łącznie z poprawą poziomu bezpieczeństwa żeglugi. Aktualnie prowadzone są liczne prace badawcze, które pozwolą na tworzenie regionalnych systemów nadzoru nad żeglugą śródlądową. Wraz ze wzrostem zapotrzebowania na usługi RIS rosną również wymagania jego użytkowników, którzy kładą nacisk zarówno na jakość danych (ich dokładność, wiarygodność i aktualność) jak i na dynamikę ich przetwarzania oraz możliwość analiz w czasie rzeczywistym.

W pracy przedstawiono zagadnienia związane z projektowaniem oraz eksploatacją systemów nadzoru ruchu jednostek pływających w żegludze śródlądowej, łącznie z ukazaniem możliwości i korzyści wynikających z ich wprowadzenia, co między innymi było motywacją podjęcia omawianego tematu. Dla podkreślenia znaczenia tej problematyki przytoczę słowa określające pozytywny wynik tego przedsięwzięcia: „Implikuje to kompletną

rekonfigurację kontynentalnego systemu wymiany towarowej i transportowej” – (EU Vice-President Loyola de Palacio: „Trans - European networks – the way ahead” – 2004).

Podjęmowane działania związane z wprowadzaniem systemów nadzoru ruchu statków i barek pozwolą nie tylko na zwiększenie ruchu i przepustowości porównywalnej z obecnym stanem ruchu drogowego, lecz także spowodują wzrost bezpieczeństwa przez znaczne obniżenie ilości awarii i wypadków oraz przyspieszą przemieszczanie ładunków. Wprowadzenie systemu informacyjnego wymaga objęcia pełnym nadzorem wszystkich etapów przemieszczania się jednostek pływających. Możliwości i korzyści jakie oferuje transport śródlądowy nie są obecnie w pełni wykorzystane. Jednak w celu stworzenia nowych łańcuchów systemu transportu wodnego oraz zapewnienia możliwości ruchu coraz większej liczbie jednostek pływających wymagane jest opracowanie bezpiecznej i sprawnej metody zarządzania ruchem dzięki wykorzystaniu rzecznych systemów informacyjnych (RIS). Niezbędnym elementem RIS są metody prowadzące do zapewnienia bezpieczeństwa ruchu. Zadanie to zrealizuje opracowywany system wspomagania decyzji oparty o dynamiczną domenę 3D.

Rozdział 1

Podstawy organizacyjno – techniczne rzecznych systemów informacyjnych (RIS)

Problematyka systemów związanych ze sterowaniem i zarządzaniem ruchem statków z historycznego punktu widzenia w pierwszym rzędzie dotyczy obszarów śródlądowych, a nie jak mogłoby się wydawać morskich. Usługi związane z regulacją ruchu jednostek śródlądowych mają znacznie dłuższą tradycję. Pierwsze przepisy regulujące ruch barek i statków na wielkich europejskich rzekach, takich jak Ren i Dunaj oraz ich odgałęzienia zostały ustalone w połowie XIX wieku, czyli ponad 150 lat temu. Już wtedy przyjęto przepisy regulujące ruch jednostek na śródlądowych drogach wodnych i stworzono zasady żeglugi, które obowiązują do dnia dzisiejszego. Termin „zasady żeglugi” obejmuje przepisy prawne, wymagania techniczne i zasady bezpieczeństwa dotyczące przewoźników i organizatorów żeglugi śródlądowej.

1.1 Uwarunkowania normatywno – technologiczne rzecznych systemów informacyjnych

Uwarunkowania normatywne, czyli sformułowane w języku prawnym i zapisane w postaci przepisów normy prawne. Pod tym pojęciem kryją się także wszelkie teksty formułujące zasady postępowania w określonej dziedzinie. W rozdziale przedstawiono krajowe i międzynarodowe (akty normatywne Unii Europejskiej) uwarunkowania formalno – prawne, regulujące tematykę związaną z funkcjonowaniem rzecznych systemów informacyjnych (RIS) na śródlądowych drogach wodnych. Ukazano etapy rozwoju kształtowania się systemów zarządzania ruchem statków oraz przeprowadzono analizę aktualnych rozwiązań stosowanych w europejskich systemach RIS.

Uwarunkowania technologiczne wskazują na całokształt wiedzy dotyczącej metody konstrukcji (implementacji) systemu. Standaryzacja i ujednolicenie stosowanych technologii pozwoli na stosowanie jednego systemu na drogach wodnych objętych tymi usługami. Natomiast szczegółowy sposób budowy dla konkretnego obszaru wynika z ogólniejszych (wzorcowych) zaleceń utworzonych na arenie międzynarodowej. Również przedstawiono miejsce i zadania tych systemów w koncepcji inteligentnego systemu transportowego Europy.

1.1.1 Międzynarodowe przepisy dotyczące regulacji funkcjonowania systemów zarządzania ruchem oraz infrastruktury informacji przestrzennej

Na Kongresie Wiedeńskim w 1815 roku w formie aktów prawnych ustanowiono główne zasady dotyczące ruchu na rzekach. Artykuły 55-67 Kongresu Wiedeńskiego zawierały warunki i klauzule o charakterze ogólnym, które dotyczyły stworzenia podstaw do rozwoju dalszych konwencji i porozumień poświęconych zasadom żeglugi na międzynarodowych rzekach. W ramach prac kongresu ustalono, że żegluga na rzece jest otwarta dla potrzeb żeglugi handlowej. W następstwie Traktatu Wersalskiego z roku 1918 na Konwencji Paryskiej w roku 1921 ustanowiono międzynarodowe zasady żeglugi na rzece Dunaj oraz uporządkowano zasady prawne dotyczące systemów kontroli ruchu jednostek prawie na całej długości rzeki Dunaj zgodnie z nowymi podziałami administracyjnymi.

Międzynarodowe konwencje oraz inne uregulowania prawne pozwoliły na tworzenie traktatów rzecznych. Na ich podstawie po zakończeniu II wojny światowej w roku 1952 powołano w Holandii pierwsze śródlądowe centrum kierowania ruchem w Wijk bij Duurstede. Potrzeba ujednoczenia zasad uprawiania żeglugi na europejskich śródlądowych drogach wodnych została jasno sformułowana po raz pierwszy w „Ustawie o bezpieczeństwie i współpracy w Europie” – Helsinki 1975 rok. Państwa uczestniczące w tworzeniu ustawy „zgłosiły potrzebę ograniczenia różnic wynikających z zasad prawnych mających zastosowanie do zasad ruchu na śródlądowych drogach wodnych, które podlegają międzynarodowym konwencjom, a w szczególności, różnic w stosowaniu tych zasad”.

Ujednoczenie prawa drogi w żegludze śródlądowej zostało osiągnięte poprzez zatwierdzenie przez Europejską Komisję Gospodarczą (EKG ONZ) w 1982 roku dokumentu o nazwie „Znaki i sygnały stosowane w żegludze śródlądowej (SIGNI)”, oraz w 1985 roku dokumentu o nazwie „Europejski kodeks dla śródlądowych dróg wodnych (CEVNI)”. Także zalecenia dotyczące wymogów konstrukcyjnych statków żeglugi śródlądowej zostały określone przez EKG ONZ, a Rada Unii Europejskiej na ich podstawie przyjęła dyrektywę dotyczącą „Technicznych wymagań dla statków żeglugi śródlądowej”. W 1992 roku Europejska Komisja Gospodarcza przyjęła rezolucję dotyczącą minimalnych wymagań, które muszą spełniać kapitanowie statków żeglugi śródlądowej. Rezolucja jest wzajemnie honorowana przez wszystkie państwa w żegludze międzynarodowej. Wymienione dokumenty są zaleceniami stworzonymi w ramach działalności Komitetu Transportu Żeglugi Śródlądowej przy EKG ONZ. Wszystkie wyżej wymienione zalecenia są regularnie poprawiane, tak aby na bieżąco uwzględniały one nowe kierunki rozwoju żeglugi śródlądowej.

Jednym z przejawów dynamicznego rozwoju żeglugi śródlądowej było instalowanie wzdłuż najbardziej zatłoczonych torów wodnych w państwach Europy Zachodniej i stosowanie systemów kontroli i sterowania ruchem jednostek śródlądowych, co patrząc obecnie ma miejsce już od ponad 20 lat. Potwierdza to trafność wyboru odpowiedniego kierunku rozwoju i stosowania systemów zarządzania ruchem, które opierają się na złożonych narzędziach i systemach teleinformatycznych. W zależności od usytuowania oraz gęstości ruchu operatorzy systemów przekazują informacje zarówno jednostką śródlądowym, armatorom, dysponentom ładunków jak i operatorom portowym. Z tego powodu konieczne jest wprowadzenie ujednoczonych zasad funkcjonowania tychże systemów na śródlądowych drogach wodnych Europy. Również oprócz istniejących międzynarodowych umów wielostronnych, które dotyczą zasad uprawiania żeglugi na międzynarodowych śródlądowych drogach wodnych funkcjonują także porozumienia dwustronne lub wielostronne, które z kolei dotyczą żeglugi śródlądowej na regionalnych drogach wodnych. Z punktu widzenia prawa publicznego europejskie śródlądowe drogi wodne możemy podzielić na dwie kategorie:

- drogi wodne o znaczeniu międzynarodowym,
- drogi wodne o znaczeniu regionalnym (narodowym).

11 września 1991 roku w Budapeszcie odbyła się Europejska Konferencja poświęcona żegludze śródlądowej. Przedstawiciele 25 krajów europejskich wyrazili wolę współpracy w tworzeniu wspólnej polityki transportowej poprzez wykorzystanie śródlądowych dróg wodnych. Ustalono, że rozwój żeglugi śródlądowej nastąpi poprzez:

- stworzenie w Europie odpowiedniej sieci śródlądowych dróg wodnych o znaczeniu międzynarodowym,
- budowę zintegrowanego systemu żeglugi śródlądowej opartego na zasadach rynkowych,
- harmonizację standardów dotyczących dokumentów statkowych i kwalifikacji załóg.

Powyższe cele są nadal realizowane, między innymi w projektach badawczo-rozwojowych, które zostaną przedstawione w kolejnym podrozdziale rozprawy.

Od 1 stycznia 1995 roku na terytorium państw członkowskich UE wprowadzono swobodę żeglugi. Stawiając czoło różnym regułom dotyczącym zasad ruchu na śródlądowych drogach wodnych w Europie państwa członkowskie Unii Europejskiej zdecydowały się nawiązać współpracę z państwami środkowej i wschodniej Europy, czyli Polską, Słowacją, Republiką Czech i Węgrami. Wynikiem podjętych negocjacji było wspólne porozumienie dotyczące reguł transportu ludzi i towarów śródlądowymi drogami wodnymi obejmującymi

kraje UE i stowarzyszone kraje środkowej Europy. Zasady dotyczące żeglugi i prowadzenia statków na europejskich śródlądowych drogach wodnych są ustanawiane przez władze ustawodawcze państw oraz organizacje międzynarodowe w zakresie wprowadzania przepisów dotyczących: prawa drogi, konstrukcji statków żeglugi śródlądowej, certyfikatów dotyczących kwalifikacji załóg oraz zasad przewozu materiałów niebezpiecznych.

W 1996 roku grupa ekspertów zakończyła kilkuletnie prace nad treścią „Europejskiego porozumienia o głównych śródlądowych drogach wodnych o międzynarodowym znaczeniu” - European Agreement on Main Inland Waterways of International Importance (AGN). Dokument ten wszedł w życie 26 lipca 1999 roku. Jego głównym celem było stworzenie warunków sprzyjających międzynarodowej współpracy w promowaniu, planowaniu i finansowaniu rozwoju śródlądowego transportu wodnego poprzez koordynację rozwoju i budowy w Europie sieci śródlądowych dróg wodnych. Umowa ta, zwana w skrócie AGN, zamyka pakiet powstałych wcześniej umów stworzonych przez EKG ONZ, które niewątpliwie integrują europejską infrastrukturę transportową.

W opracowaniu umowy AGN przyjęto założenie, że w rozwoju transportu drogami wodnymi rola transportu międzynarodowego jest dominująca i dlatego istnieje potrzeba zbudowania w Europie sieci, która powinna być:

- jednorodna, to znaczy odpowiadać parametrom standardowych statków i ich zestawów,
- zintegrowana, czyli łącząca dorzecza rzek poprzez kanały i szlaki przybrzeżne,
- zdolna do przejścia dużych strumieni ładunków w zależności od gęstości sieci dróg wodnych oraz rozwoju sieci we wszystkich krajach europejskich,
- odpowiadać wymaganiom oszczędnego transportu międzynarodowego.

Porozumienie to składa się z 18 artykułów oraz trzech załączników. Załączniki 1 i 2 stanowią wykaz śródlądowych dróg wodnych i portów o znaczeniu międzynarodowym. W załączniku 3 określono charakterystykę techniczną i eksploatacyjną, jakiej muszą odpowiadać drogi wodne włączone w międzynarodową sieć. Zasięg geograficzny sieci dróg wodnych Europy o znaczeniu międzynarodowym (oznaczenie – E) rozciąga się od Atlantyku po Ural i pokrywa Europę w układzie południkowym i równoleżnikowym. Usunięcie „wąskich gardeł” i uzupełnienie brakujących ogniw (np. projekt połączenia kanałem Odry z Dunajem) zapewniłoby żeglugę po całej sieci i dałoby możliwość ruchu wodnego po całej Europie. Na terenie Polski do dróg o znaczeniu międzynarodowym zaliczono trasy (Salmonowicz, 1995):

- E 30 - biegnie od Świnoujścia do Szczecina, dalej rzeką Odrą od Szczecina przez Wrocław do Koźła i Gliwic,

- E 30-01 - Kanał Gliwicki - przedłużeniem tej trasy ma być planowany kanał łączący Odrę z Dunajem w Bratysławie,
- E 31 - biegnie od Szczecina Odrą Zachodnią, a następnie wchodzi w tor wodny Hohensaaten- Friedrichsthaler biegnący równolegle do Odry i kończy się przy wejściu w kanał Odra- Havela na 667 km rzeki Odry,
- E 40 - biegnie Wisłą od Gdańska do Warszawy i dalej Bugiem do Litwy,
- E 60 - biegnie wzdłuż wybrzeża Bałtyku (jest to odcinek trasy żeglugi przybrzeżnej od Gibraltar do Archangielska), z jej odgałęzieniem (E 60-14) ze Stralsundu, przez Peenemunde, Wolgast do Szczecina,
- E 70 - łączy Holandię z Rosją i Łotwą. Biegnie od Europortu Rotterdam do Kłajpedy. Na terytorium Polski przebiega kolejno od wyjścia z kanału Odra – Havela w miejscowości Hohensaaten, dalej Odrą do ujścia Warty w Kostrzynie, Notecią i kanałem Bydgoskim do Wisły, Wisłą na północ i przez Nogat lub Szkarpawę do Elbląga, a następnie przez Zalew Wiślany do Rosji.

W załączniku 2 porozumienia przedstawiono wykaz portów żeglugi śródlądowej o znaczeniu międzynarodowym wraz z ich usytuowaniem i oznaczeniem. Porty oznaczone zostały symbolem „P”. W Polsce do tego typu portów zaliczono (Dz.U. z 2002 r. nr 77, poz. 695):

- P 30-01 – Świnoujście (M. Bałtyckie, ujście rzeki Odry),
- P 30-02 – Szczecin (Odra, 741,0 km),
- P 30-03 – Kostrzyń (Odra, 617,0 km),
- P 30-04 – Wrocław (Odra, 255,0 km),
- P 30-05 – Koźle (Odra, 96,0 km),
- P 30-01-01 – Gliwice (Kanał Gliwicki, 41,0 km),
- P 40-01 – Gdańsk (M. Bałtyckie, ujście rzeki Wisły),
- P 40-02 – Bydgoszcz (Wisła, 772,3 km i Brda, 2,0 km),
- P 40-03 – Warszawa (Wisła, 520,0 km i Kanał Żerański, 2,0 km),
- P 70-15 – Elbląg (Zalew Wiślany).

W załączniku 3 do umowy AGN określono wymagania techniczne stawiane drogom wodnym o znaczeniu międzynarodowym. Dane te przedstawiono w tabeli 1.1.

W klasach I - III znajdują się drogi wodne o znaczeniu regionalnym, klasy IV-VII obejmują drogi o znaczeniu międzynarodowym. Aby więc droga wodna mogła być rozpatrywana jako „E”, powinna odpowiadać co najmniej charakterystyce dróg wodnych klasy IV, tj. być żeglowna dla statków o wymiarach L x B: 85x9,5m.

Przystąpienie Polski do wspólnej europejskiej polityki transportowej oraz znaczne zwiększenie nakładów na modernizację dróg wodnych powinno przynieść wymierne korzyści. Porozumienie AGN jest jednym ze sposobów ujednoczenia żeglugi, gdyż obejmuje wymagania techniczne, bezpieczeństwo żeglugi, prawa ochrony środowiska i zasady rynkowe występujące w Unii Europejskiej. W Polsce nowa „Ustawa o Żegludze Śródlądowej” z dnia 21 marca 2001 roku jest zgodna z standardami obowiązującymi w krajach Unii Europejskiej. Tabela 1.1. Klasy europejskich śródlądowych dróg wodnych o znaczeniu międzynarodowym.

Typ drogi wodnej	Klasa drogi wodnej	Statki o napędzie mechanicznym i barki					Zestawy pchane (konwoje)			
		przeznaczenie	Max. długość L (m)	Max szer. B (m)	Zanu rzenie D (m)	Tonaż T (t)	Długość L (m)	Szer. B (m)	Zanu rzenie D (m)	Tonaż T (t)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
O znaczeniu międzynarodowym	IV	Żegluga międzynarodowa	80-85	9,5	2,50	1,000-1,500	85	9,5	2,50-2,80	1,250-1,450
	Va	Duże statki rzeczne na Renie	95-110	11,4	2,50-2,80	1,500-3,000	95-110	11,4	2,50-4,50	1,600-3,000
	Vb						172-185	11,4	2,50-4,50	3,200-6,000
	VIa						95-110	22,8	2,50-4,50	3,200-6,000
	VIb	Duże statki morsko-rzeczne	140	15,0	3,90		185-195	22,8	2,50-4,50	6,400-12,000
	VIc						195-200	22,8	2,50-4,50	9,600-18,000
	VII						275-285	33,0-34,2	2,50-4,50	14500-27,000

Źródło: (Galor W., Gucma L., 1999).

Zasadniczą przesłanką nakazującą wprowadzenie nowej ustawy o żegludze śródlądowej stanowił fakt, iż regulacje zawarte w Ustawie o Żegludze i Spławie na Śródlądowych Drogach Wodnych z dnia 7 marca 1950 r. (Dz.U. z 1952 r. Nr.26, poz. 182 z późniejszymi zmianami) nie odpowiadały współczesnym stosunkom występującym w żegludze śródlądowej. Ponadto przyjęcie statusu państwa stowarzyszonego z Unią Europejską nakładało na Polskę szereg obowiązków związanych z adaptacją polskiego prawa do standardów zachodnioeuropejskich. Innym czynnikiem ściśle związanym z kształtem nowej ustawy jest stosowana przez kraje zachodnioeuropejskie preferencja tanich środków transportu nie niszczących środowiska naturalnego.

„Ustawa o żegludze śródlądowej” stanowi podstawę dla stosowania reguł obowiązujących w UE. Ustawa ta, wraz z towarzyszącymi jej aktami wykonawczymi, w pełni zharmonizuje prawo polskie z prawem wspólnotowym w obszarze transportu wodnego śródlądowego. Ustawa weszła w życie z dniem 25.04.2001 r. Przepisy prawne dotyczące utrzymania żeglowności rzeki Odry i obowiązek właściwego utrzymania rzeki Odry przez państwo wynika również z przepisów ustawy „Prawo wodne z 1974 roku” oraz zobowiązań międzynarodowych zawartych w umowach bilateralnych (dwustronnych):

- z RFN o żegludze śródlądowej z 1991 r.,
- z RFN i Republiką Czeską o współpracy w dziedzinie gospodarki wodnej na wodach granicznych,
- z postanowień Układu Stowarzyszeniowego Polski z Unią Europejską.

Przywrócenie właściwych warunków żeglugi na Odrze stworzy szansę wzrostu przewozu ładunków w komunikacji międzynarodowej towarów masowych, takich jak: węgiel kamienny, kruszywa, cement, nawozy, i innych: przede wszystkim ładunków ponad gabarytowych oraz przewozów kontenerowych. Umożliwi również efektywne wykorzystanie połączenia Odry z zachodnioeuropejskim systemem dróg wodnych przez kanał Odra - Szprewa i kanał Odra - Hawela. Stanowiąc będzie również podstawę do międzynarodowej wzajemności w korzystaniu z dróg wodnych w Europie i jej perspektywicznego włączenia w Europejski system dróg wodnych, w tym do przyszłej budowy drogi wodnej Odra - Dunaj.

Parlament Europejski i Rada UE przyjęła 7 września 2005 roku dyrektywę 2005/44/WE, która nakłada na państwa członkowskie obowiązek wdrożenia RIS na wszystkich śródlądowych drogach wodnych klasy IV i wyższych, które są połączone z drogami wodnymi co najmniej IV klasy innego państwa członkowskiego. Również ustalono dokładne terminy realizacji tego zobowiązania, a mianowicie:

- w terminie do 30 miesięcy od daty wejścia w życie właściwych wytycznych i specyfikacji technicznych należy wprowadzić w życie przepisy administracyjne i wykonawcze dla RIS,
- do dnia 20 października 2009 r. komisja monitorująca tworzenie RIS we Wspólnocie ma za zadanie złożyć Parlamentowi Europejskiemu i Radzie UE sprawozdanie dotyczące stanu realizacji (wdrażania i funkcjonowania) RIS.

19 marca 2008 roku Rada Ministrów w Polsce przyjęła projekt ustawy o zmianie ustawy o żegludzie śródlądowej, przedłożony przez Ministra Infrastruktury. Zmiany w ustawie z dnia 21 grudnia 2000 r. (Dz. U. Nr 123, poz.857, z późn. zm.) wynikają z konieczności dostosowania przepisów krajowych do przepisów Unii Europejskiej, co umożliwi międzynarodową współpracę, dotyczącą promowania, planowania i finansowania rozwoju transportu śródlądowego, który będzie odgrywał istotną rolę w transporcie międzynarodowym. Prowadzi to do konieczności rozwoju i rozbudowy jednolitego systemu dróg wodnych w Europie.

W Polsce, tak jak w innych krajach Unii Europejskiej, zostanie uruchomiony rzeczny system informacyjny (RIS) dla ruchu śródlądowego. Jego wprowadzenie przyczyni się do poprawy bezpieczeństwa żeglugi oraz podniesie wydajność transportu śródlądowego. Systemem tym zostaną objęte drogi wodne położone w dolnym odcinku Odry, łącznie 97,3 km. Projekt przewiduje utworzenie w Szczecinie całodobowego Centrum RIS, które ma podlegać Ministrowi Infrastruktury. Zadaniem Centrum będzie m.in. podejmowanie działań zapewniających użytkownikom RIS dostęp do elektronicznych map nawigacyjnych, jak również udostępnianie organom administracji publicznej i państwom Unii Europejskiej elektronicznych raportów ze statków. Poprzez wprowadzenie owego systemu użytkownicy będą mogli otrzymywać na bieżąco informacje meteorologiczne, hydrologiczne oraz administracyjne. Całkowity koszt stworzenia systemu RIS oszacowano na ok. 80 mln zł. Przewiduje się, iż system zostanie uruchomiony w 2013 roku. W ciągu pół roku od dnia ogłoszenia ustawy Minister Infrastruktury wyznaczy pełnomocnika do przygotowania RIS i podejmowania działań zmierzających do utworzenia Centrum RIS, które ma powstać do końca 2010 roku. Projekt ustawy dostosowuje prawo krajowe do prawa Unii Europejskiej.

1.1.2 Kształtowanie się Systemów Zarządzania Ruchem Statków

Tradycyjnie kapitan statku odpowiedzialny za kierowanie statkiem zwłaszcza w rejonach intensywnego ruchu oraz na wejściach i wyjściach z portów korzystał z usług pilota. Statki zbliżające się do portu zgłaszały swoje wejście za pomocą flag sygnałowych. Rozwinięcie komunikacyjnej techniki radiowej w ostatnich latach XIX wieku spowodowało

powszechne użycie radiostacji okrętowych, między innymi dla celów meldunkowych, zamawiania pilota oraz przekazywania informacji o kotwiczeniu na redzie (Wawruch, 2002).

Zastosowanie radarów na jednostkach marynarki wojennej w trakcie II wojny światowej spowodowało, po zakończeniu wojny ich powszechne użycie na jednostkach handlowych i rybackich. Rozpoczęto również instalację radarów w brzegowych stacjach monitorujących ruch statków. Pierwszy tego typu radar zainstalowano w Liverpoolu w roku 1948. Jego zadaniem było pomaganie pilotom w odnajdywaniu oczekujących podczas warunków ograniczonej widzialności na redzie statków. Kolejną wprowadzoną w Europie stacją wyposażoną w radar była stacja w porcie Le Havre oddana do użytku w 1954 roku. W Long Beach w Kalifornii w roku 1950 zamontowano pierwszy system stacji radarowych pokrywających znaczny odcinek wybrzeża. Ponadto, co istotne, w skład tego systemu, oprócz radaru wchodziła stacja brzegowa UKF. Umożliwiła ona, oprócz lokalizacji statku również bezpośrednią łączność jednostek pływających z nadzorującym centrum. Pod koniec lat pięćdziesiątych wybudowano łańcuch stacji radarowych w Rotterdamie i początkowo radary wykorzystywano tylko w okresach ograniczonej widzialności. Połączenie możliwości monitorowania określonych obszarów morskich z systemami komunikacyjnymi statek – ląd – statek, polegającymi na przekazywaniu meldunków oraz wiadomości, stworzyło pierwsze formalne systemy zarządzania ruchem statków (Kwiatek, 1998).

Znaczenie VTS dla bezpieczeństwa żeglugi po raz pierwszy zostało usankcjonowane przez organizację IMO w roku 1968. W rezolucji A.158 (ES.IV) „Reccomendation on Port Advisory Systems” przyjęto opracowanie Komitetu Bezpieczeństwa Morskiego zwanego w skrócie MSC (Maritime Safety Committee) zalecenie, aby Rządy Organizacji rozwijały służby poradnictwa w portach i na wodach podejściowych gdzie:

- występuje duże natężenie ruchu,
- istnieją trudne warunki nawigacyjne,
- są przeprowadzane operacje związane z obsługą ładunków niebezpiecznych (między innymi terminale paliwowe).

Od tego czasu nastąpił dynamiczny rozwój brzegowych służb radarowych kontrolujących ruch statków. Pierwsze systemy tworzone były z myślą o usprawnieniu prac portowych i taki też miały zakres obowiązków – podniesienie efektywności i bezpieczeństwa w operacjach związanych z portową obsługą statków. Ich strefą działalności były zwykle akweny podejściowe i znajdujące się wewnątrz portów. Poszerzono też zakres informacji przekazywanych drogą radiową, związanych z prezentowaniem danych o statku, ładunku oraz

kolejnych pozycji. W latach siedemdziesiątych utrwaliła się wspólna nazwa: System Sterowania Ruchem Statków (Vessel Traffic Services – VTS).

W 1985 roku IMO zatwierdziło rezolucję A.578 (14) „Guidelines for Vessel Traffic Services”. Rezolucja zaleca wykorzystywanie systemów VTS w rejonach red portów, kanałach podejściowych do portów oraz w rejonach o dużym natężeniu ruchu. Systemy zarządzania ruchem zgodnie z założeniami tego dokumentu powinny być również ustalane w tak zwanych rejonach trudnych nawigacyjne, wrażliwych na zagrożenia ekologiczne w związku z przewozami ładunków niebezpiecznych. Ustalono również, że w rejonach objętych nadzorem ruchu za decyzje związane z prowadzeniem nawigacji oraz manewrowanie statkiem odpowiada kapitan. Podkreślono znaczenie pilotażu oraz procedur zgłoszeniowych obejmujących wszystkie statki przechodzące przez obszary działania VTS.

Opracowanie i wprowadzenie nowych technologii w produkcji radarowych urządzeń śledzących i antykolizyjnych, udoskonalenie środków radiowej łączności głosowej, prowadzenie komunikacji satelitarnej, rozwój sprzętu i oprogramowania komputerowego oraz szereg innych osiągnięć techniki, pozwoliło na stopniowe poszerzanie możliwości i zakresu zadań nałożonych na VTS. Strefy, w których wprowadzano systemy nadzoru, zaczęły obejmować także akweny śródlądowe oraz przybrzeżne w obrębie wód terytorialnych i międzynarodowych. Wiele z nich, pod wpływem wzrostu natężenia ruchu, czy też wraz z postępem technicznym, ewoluowało z systemów rozgraniczenia ruchu (Traffic Separation Schemes), czy też z systemów meldunkowych do postaci znacznie bardziej rozbudowanych, oferujących szeroki serwis informacyjny. W 1996 na forum Międzynarodowej Organizacji Morskiej (IMO), uznano systemy VTS za pomoc nawigacyjną (Wawruch, 1999).

W związku ze znacznym rozwojem systemów kontroli i zarządzania ruchem w ciągu ostatnich lat oraz poprawą stanu bezpieczeństwa żeglugi w rejonach objętych tymi systemami Komitet Bezpieczeństwa IMO wprowadził w 1997 roku nowe przepisy dotyczące bezpośrednio zasad wdrażania i stosowania tych systemów. Zastosowanie takich systemów zwłaszcza na akwenach o dużym nasileniu ruchu statków przyczynia się do poprawy bezpieczeństwa żeglugi, skuteczności nawigacji oraz ochrony środowiska wodnego i przyległych obszarów lądowych. Natomiast z dniem 1 lipca 1999 roku weszły w życie znowelizowane przepisy dotyczące bezpieczeństwa żeglugi, w których pojawia się pojęcie nakazu, czyli obowiązku poddania się ustalonym zasadom regulacji ruchu statków na określonych akwenach, gdzie występują systemy zarządzania ruchem. Prawidło to dotyczy powszechnie używanych, jak i wchodzących do żeglugi nowych systemów i urządzeń nawigacyjnych. Do urządzeń takich zaliczyć można np. radiotelefony UKF, radary, systemy

GPS, które służą do określania swojej pozycji jak i bezpośredniej komunikacji z systemami w obszarach ich działania. Nowotworzone systemy powinny być skoordynowane z istniejącymi już systemami (np. VTS), bez względu na to, czy znajdują się one na obszarze jednego, czy kilku państw. W tym celu wcześniej powinno się zawrzeć odpowiednie umowy o ich wzajemnej współpracy, tak aby realizowały one jednolite zasady i procedury kierowania ruchem statków i spełniały swój pierwotny cel, czyli podnosiły bezpieczeństwo żeglugi. Na etapie tworzenia i ustanawiania rejonów objętych nadzorem systemu odpowiedzialna za to administracja powinna:

- tak planować system, aby realizował założone cele,
- ustanowić kompetentne władze do zarządzania systemem,
- przyjęte zasady działania systemu powinny być jak najbardziej zbliżone do prawa międzynarodowego i/lub lokalnego,
- określić i ogłosić obszar działania systemu,
- określić typ i poziom świadczonych usług,
- ustalić standardy wyposażenia systemu,
- zapewnić odpowiednie warunki szkolenia i odpowiedni dobór operatorów systemu.

Przez cały czas działania systemu administracja sprawująca nadzór nad usługami związanymi z regulacją ruchu statków (właściwe komórki w Urzędach Morskich) musi kontrolować sprawność działania systemu, za który jest odpowiedzialna.

W ostatnich latach nastąpił szybki rozwój systemów zarządzania ruchem, co w konsekwencji doprowadziło do wzrostu zatrudnienia operatorów tych systemów na całym świecie. Nowy rodzaj usług wymaga odpowiednio przygotowanych operatorów. Dotychczasowe proste przekazy informacji dotyczące poleceń związanych z kotwiczeniem, obsługą pilotową, czy też prezentacją aktualnej i przyszłej prognozy pogody różnią się w sposób zasadniczy od realizowanych serwisów nawigacyjnych i wymiany informacji. Dlatego też istnieje konieczność wyszkolenia i posiadania operatorów o odpowiednich kwalifikacjach. Problem ten znalazł swe odzwierciedlenie na forum IMO, którego Komitet Bezpieczeństwa zatwierdził i opracował zalecenia do rezolucji A.857 (20) – aneks II dotyczące jednolitego systemu rekrutacji, kwalifikacji i szkolenia operatorów VTS. Zalecenia te potwierdziły ważność i cel tworzenia tych systemów, których funkcjonowanie wpływa na poprawę m.in.:

- bezpieczeństwa żeglugi,
- sprawności żeglugi w rejonach o dużym natężeniu ruchu, czy skomplikowanej konfiguracji tras statków,

- ochrony środowiska w rejonach, gdzie przewożona jest duża ilość ładunków niebezpiecznych.

Natomiast samo wprowadzenie do Konwencji SOLAS zasad korzystania z systemów meldunkowych oraz systemów VTS powoduje, że sygnatariusze konwencji są zobligowani do przestrzegania tych zasad.

1.1.3 Obecny rozwój systemów kontroli i zarządzania ruchem

Najnowsze projekty badawcze prowadzone dla rozwoju systemów zarządzania ruchem statków i barek dotyczą rejonów przybrzeżnych, portów i wód śródlądowych. Możliwości rozwojowe wiążą się z wprowadzeniem zaawansowanych technologii, które wspierają podniesienie bezpieczeństwa ruchu jednostek pływających na tym trudnym do przemieszczania się obszarze. Konieczności rozwojowe wiążą się również ze wzrostem ruchu statków, który jest spowodowany dużymi korzyściami wynikającymi z przeniesienia transportu towarów na ten środek lokomocji. Podstawową zaletą są niższe koszty transportu, co skutkuje wyższymi korzyściami ekonomicznymi. Jednak, aby było możliwe przeniesienie znacznego ruchu z transportu samochodowego konieczne są systemy, które zadbają o bezpieczeństwo żeglugi. Spowoduje to znaczne obniżenie kolizyjności statków i barek, a co za tym idzie ochronę wartości materialnych oraz bezpieczeństwo zdrowia i życia ludzkiego. Również dodatkowymi zaletami jest mniejsze zanieczyszczanie środowiska oraz poprawa warunków życia ludności, choćby przez obniżenie hałasu komunikacyjnego.

Wprowadzenie systemu informacyjnego wymaga objęcia pełnym nadzorem wszystkich etapów przemieszczania się jednostek pływających. Żegluga śródlądowa jest postrzegana jako ten obszar na którym istnieje olbrzymia szansa na znaczny rozwój usług transportowych. Obecnie dysponujemy urządzeniami zawierającymi nowoczesne rozwiązania techniczne. Ich wykorzystanie znacznie ułatwi pracę operatorom. Jednak muszą oni posiadać dużą wiedzę i umiejętności w sprawnym posługiwaniu się nowoczesną techniką komputerową.

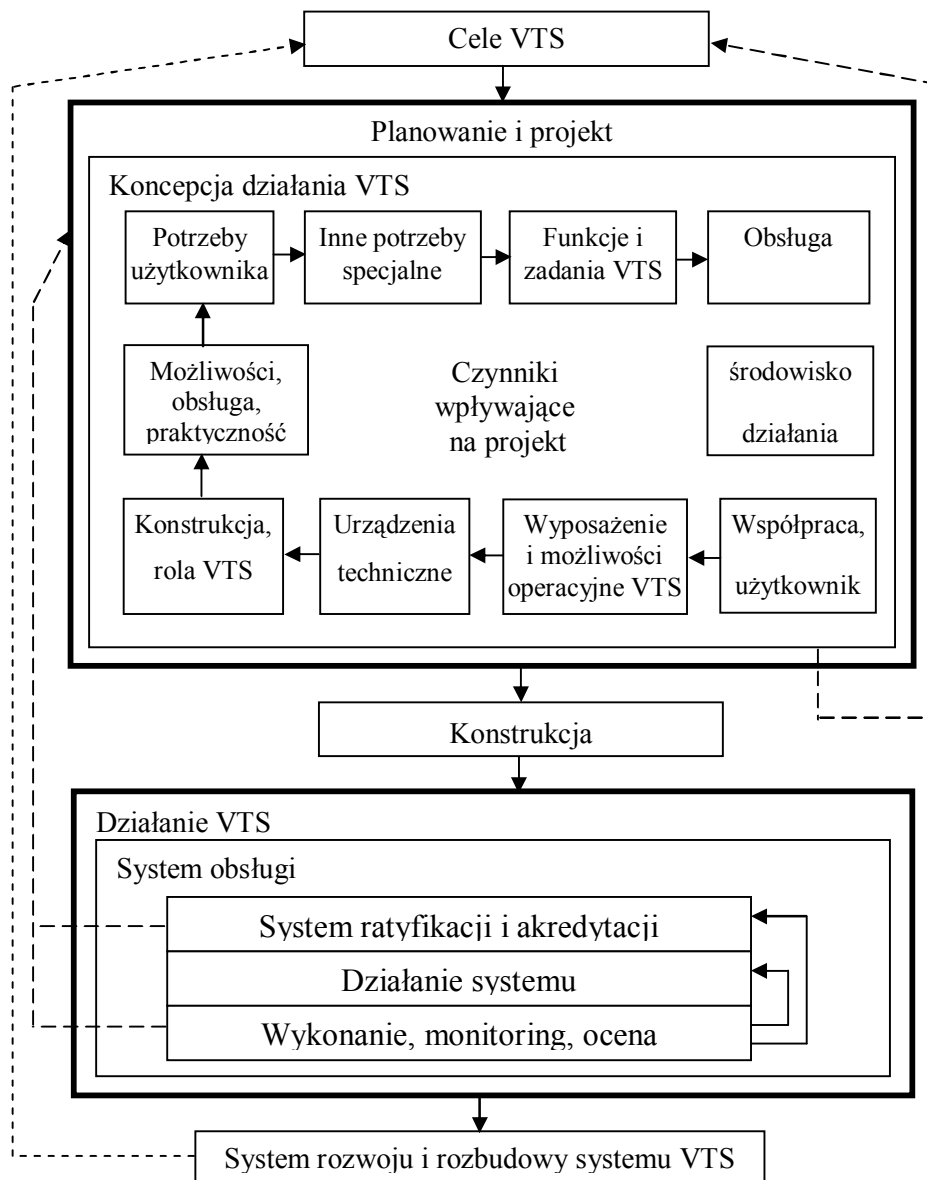
„Celem systemu VTS jest poprawa bezpieczeństwa i sprawności nawigacji, bezpieczeństwa życia oraz ochrona środowiska morskiego i przyległych obszarów brzegowych, siedzib pracy i instalacji przybrzeżnych od niekorzystnych skutków ruchu statków” (Koopmans, 1998). Systemy VTS wprowadzone na obszarach śródlądowych bezpośrednio wpływają na żeglugę i w czasie rzeczywistym odpowiadają na jej zapotrzebowania. Zwiększenia to bezpieczeństwo i efektywności żeglugi. Wyróżnia się trzy systemy VTS (Jurdziński, 1999):

- w pełni operatywne - zapewniają pełny zakres usług, pozwalają na interweniowanie w decyzje podejmowane na statku,
- częściowo operatywne - zapewniają ograniczoną ilość usług w obrębie swojego działania, często ilość dostarczanych usług jest zależna od wyznaczonego obszaru. Zakres usług pozwala interweniować w sytuacjach zagrożenia bezpieczeństwa żeglugi,
- podstawowe - zapewniają jedynie podstawowe informacje.

Usługi oferowane przez VTS mogą być skierowane do wszystkich jednostek żeglugi śródlądowej znajdujących się w rejonie objętym systemem, do pewnych grup statków lub do jednego statku. Działalność tych systemów wspiera działania ośrodków pilotażu i ratownictwa. Ogólnie do usług oferowanych przez tego rodzaju systemy zalicza się:

- serwis informacyjny,
- asystę nawigacyjną,
- serwis wspomagający organizację i zarządzanie ruchem,
- możliwość współpracy z innymi systemami.

W systemie VTS informacje przekazywane są co jakiś czas w określonych porach w ciągu doby lub w ustalonych odstępach czasowych. Choć operator systemu może w dowolnym czasie przekazywać informacje, czy to na życzenie kapitana statku, czy też gdy sam uzna, że występuje pewne zagrożenie. Natomiast nowe systemy proponowane w ramach RIS wprowadzą ciągłą kontrolę przez kapitanów jednostek śródlądowych sytuacji na akwenie. Na monitorach znajdujących się na pokładzie statku będzie stale w czasie rzeczywistym dostarczany obraz ruchu. W systemach VTS operatorzy stacji brzegowych mogą informować jednostki wchodzące do strefy działania systemu między innymi o gęstości ruchu, warunkach pogodowych, niebezpieczeństwach zaistniałych na skutek awarii lub o innych czynnikach, które mają wpływ na sprawność i poziom bezpieczeństwa ruchu. Natomiast kapitanowie statków przekazują do stacji, które są odpowiedzialne za organizację i zarządzanie ruchem informacje między innymi o swojej pozycji, parametrach i rodzaju jednostki, swojej tożsamości i zamiarach uczestniczenia w ruchu. Na rysunku 1.1 zostały przedstawione elementy brane pod uwagę w trakcie projektowania i wdrażania systemu VTS.



Rys. 1.1 Model planowania i działania systemu VTS. Źródło: (Jagniszczak, 2004).

VTMS (Vessel Traffic Management System)

W ostatnich latach rozszerzono usługi oferowane przez system dzięki czemu w wielu rozwiniętych krajach powstały systemy VTMS. Rozwój systemów VTS do Vessel Traffic Management System, czyli systemów zarządzania ruchem statków miał na celu zgodnie z obserwowanym obecnie trendem podniesienie stopnia bezpieczeństwa żeglugi.

Cel ten osiągnięto głównie przez wprowadzenie nowych środków technicznych oraz poszerzenie usługi monitoringu. Równie ważnym elementem polepszenia systemu była prawidłowa i efektywna współpraca statków znajdujących się w rejonie działania systemu ze stacjami brzegowymi kontrolującymi ruch. Nowym elementem w tych systemach dzięki któremu zawdzięcza swoją nazwę jest dodanie funkcji zarządzania portem oraz wymiany

informacji z działającymi w tych rejonach instytucjami np. pilotażowymi, straży pożarnej i innych jednostek ratownictwa. Zatem operatorzy systemów VTMS mają możliwość oddziaływania i reagowania na sytuacje związane z ruchem statków i barek oraz możliwość zarządzania portem. Zakres wymiany oraz dostępu do informacji wynika z opracowanego programu zarządzania w którym należy uwzględnić zasady współpracy między stacjami brzegowymi, a akwenami usytuowanymi wzdłuż rzek i kanałów. Obszary objęte systemami VTMS mogą się mieścić w granicach jednego lub kilku państw. W takim wypadku procedury oraz wymagania powinny być jednolite i tworzyć skoordynowany system kierowania ruchem statków. System VTMS wyróżnia się tym, iż dodatkowo dochodzi tu element organizacji ruchu w system zarządzania. Dzięki temu operator systemu przekazuje odpowiednie informacje dotyczące między innymi pozycji statku, rodzaju ładunku oraz pozycji innych statków i występujących problemów służbą odpowiedzialnym za koordynowanie ruchu statków. Stwarza to obowiązek współuczestniczenia w obsłudze statków przez porty oraz w akcjach ratownictwa mienia i osób w wyniku awarii. Dewizą elementu zarządzania w systemie VTMS jest to, aby w określonym obszarze i okolicznościach w jak największym stopniu zminimalizować zagrożenia dla bezpieczeństwa żeglugi, a jednocześnie maksymalizować efektywność i sprawność transportu śródlądowego.

W rejonie portów Szczecin - Świnoujście od kilku lat z powodzeniem funkcjonuje System Sterowania i Zarządzania Ruchem Statków - Vessel Traffic and Management System - VTMS. System swoim zasięgiem obejmuje rejon Zatoki Pomorskiej, port Świnoujście, tor wodny Szczecin – Świnoujście oraz rejon portu Szczecin. Do publicznego użytku został całkowicie przekazany 25 stycznia 2000 roku (Szymański, 2002).

VTMIS (Vessel Traffic Management and Information System)

Idea rozwoju do systemów VTMIS jest ściśle związana z rozwojem systemów informacyjnych. Nastąpiła przez doskonalenie systemu i odpowiedź na konkretne zapotrzebowania użytkowników co do informacji. W związku z tym należy dokonać oceny zapotrzebowania użytkowników na określone pakiety informacji oraz określić akceptowalność stworzonego serwisu przez jego użytkowników. Należy również uwzględnić w tym względzie aspekty organizacyjne.

System VTMIS w porównaniu do swoich poprzedników charakteryzuje się rozszerzeniem systemu usług, które wynikają z regionalnego poszerzenia obszaru nadzoru. Oferuje usługi na obszarze, w którego skład wchodzi szereg ośrodków VTS. Są one

połączone ze sobą w systemem interakcyjnej informacji na temat ruchu statków i barek, który jako rzeczny system obejmuje obszary rzek, kanałów, wód przybrzeżnych i terytorialnych. Taki obraz ruchu jest oparty na przetwarzaniu informacji przekazywanych przez sąsiednie ośrodki VTS oraz meldunki, które są przekazywane przez statki. Pozwala to na rozszerzenie działalności VTS w kierunku przekazywania pełnego obrazu ruchu statków do sąsiednich ośrodków kierowania ruchem oraz współpracujących z nimi instytucjami. Takie stosowanie systemu VTMISS pozwala na uwolnienie od nadmiaru informacji zarówno służby brzegowe jak i statki (Jacyna, 2009). Do podstawowych celów tworzenie systemów VTMISS zalicza się:

- poprawę bezpieczeństwa żeglugi przez wspomaganie kapitanów jednostek pływających w podejmowaniu odpowiednich decyzji,
- zwiększenie przepustowości ruchu statków i barek, a tym samym większą efektywność tego środka lokomocji,
- obniżenie kosztów rejsu przez dostarczanie informacji o najbardziej efektywnych trasach oraz pomoc w unikaniu nieprzewidzianych zdarzeń awaryjnych, co wszystko razem wpływa na korzyści ekonomiczne,
- łączenie i wspomaganie działania szeregu systemów VTS,
- ratownictwo mienia i osób podczas awarii oraz ochronę środowiska poprzez przekazywanie różnych rodzajów informacji na statki i współpracę z dołączonymi służbami.

Zintegrowany VTMISS charakteryzuje się jako model współpracy pomiędzy systemami VTS, które zarządzają ruchem statków i barek. Pozwala to na przekazywanie informacji pomiędzy sąsiednimi systemami w celu umożliwienia szybszego i bardziej precyzyjnego planowania ruchu. Powoduje to wymianę informacji o jednostce pływającej będącej w trakcie podróży od portu wyjścia przez wszystkie przemierzane systemy nadzoru, aż do portu przeznaczenia. Z tego względu jakość systemu jest uzależniona od jakości oraz niezakłóconego i precyzyjnego przekazu informacji pomiędzy współpracującymi systemami.

System VTMISS ma na celu zapewnienie łatwiejszego i szybszego dostępu do niezbędnych informacji poprzez udzielanie jej wszystkim zainteresowanym użytkownikom na poziomie lokalnym, regionalnym i międzynarodowym. Ważne jest, aby przy wykonywaniu zamierzonych zadań wszyscy usługodawcy byli połączeni obopólną współpracą oraz wzajemną koordynacją wszelkich działań. Właśnie zapotrzebowanie na informacje motywuje istnienie VTMISS. Jest ono rozwiązaniem, które ma celu zintegrować istniejące już źródła informacji, takie jak systemy VTS, meldunki kapitanów statków i barek oraz elementy

informacyjne dotyczące portów. Przez co rejon na którym może funkcjonować system VTMISS jest znaczny, obejmuje swoim działaniem poziom regionalny lub międzynarodowy.

„Wirtualny” VTMISS

Tworzony obraz ruchu statków poprzez wykorzystywanie radaru ARPA oraz transponderów AIS może być nakładany na monitory ECDIS. Dzięki temu każdy uczestnik ruchu ma dostęp do informacji nadawanych przez innych współuczestników ruchu. Powoduje to, że system kontroli ruchu przenosi się bezpośrednio na wszystkie statki, które znajdują się w najbliższym otoczeniu. Do podstawowych informacji należy zaliczyć tożsamość i parametry statku, jego pozycję, kurs, prędkość i zamierzenia co do trasy i manewrowania. Tak realizowany serwis określa się terminem „wirtualnego” VTMISS. Dzięki transponderom AIS ośrodki brzegowe poza granicznym obszarem działania nadal mogą sprawować pewną kontrolę nad statkami, ponieważ będą dysponować informacjami eksploatacyjnymi i dynamicznymi na temat podróżującego statku. Poprawa bezpieczeństwa i wydajności ruchu statków w rejonach śródlądowych jest realizowana poprzez sprawowanie kontroli nad ruchem statków oraz prowadzenie usług w ramach funkcjonujących systemów (Frydecki, 2008). Coraz częstsze łączenie się i współpraca między systemami VTMISS różnych państw dla osiągnięcia wspólnych korzyści przyspiesza inicjatywy zmierzające w kierunku ujednoczenia procedur oraz zasad kierowania ruchem statków.

RIS (River Information Service)

Rzeczny serwis informacyjny jest europejską koncepcją zharmonizowania serwisów informacyjnych dla nadzoru i zarządzania ruchem jednostek śródlądowych. Głównym zadaniem serwisu jest takie zabezpieczenie przepływu informacji, aby w niezakłóconym stanie dotarły do ich użytkowników. Wyróżnia się przepływ informacji pomiędzy stacjami brzegowymi oraz w relacjach statek – statek i statek – ośrodek RIS – statek. Wprowadzenie serwisów RIS jest rekomendowane przez wszystkie instytucje i opisywane w rozprawie projekty badawcze dotyczące żeglugi śródlądowej. Stwierdzono, że wprowadzenie na akwenach rzek i kanałów systemów RIS może przyczynić się do rozwiązania większości problemów żeglugi śródlądowej (Broeke, 2000). Zauważono, że rzeczne systemy oferujące usługi informacyjne RIS przyczyniają się do poprawy bezpieczeństwa żeglugi, zwiększając jej wydajność oraz poziom ochrony pracowników i dóbr materialnych, a także pośrednio wpływają na ochronę środowiska na obszarach rzek o dużej intensywności ruchu. Zharmonizowanie systemów kontroli ruchu statków (VTS) oraz systemów zarządzania ruchem statków (VTMISS), które obejmują większość wód europejskich sprawi, że zwiększy

się poziom bezpieczeństwa żeglugi śródlądowej oraz jej efektywność ekonomiczna. Takie systemy informacyjne pozwolą na podejmowanie decyzji dotyczących prowadzenia nawigacji i taktyki manewrowania jednostkami śródlądowymi na odcinkach rzek, które ze względu na małą ilość miejsca i duże natężenie ruchu sprawiają olbrzymie trudności. Aktualnie w nawigacji pojawiło się wiele nowych rozwiązań elektronicznych, dzięki którym obserwujemy zmiany w kontroli i organizacji ruchu statków. Chociażby należy wymienić:

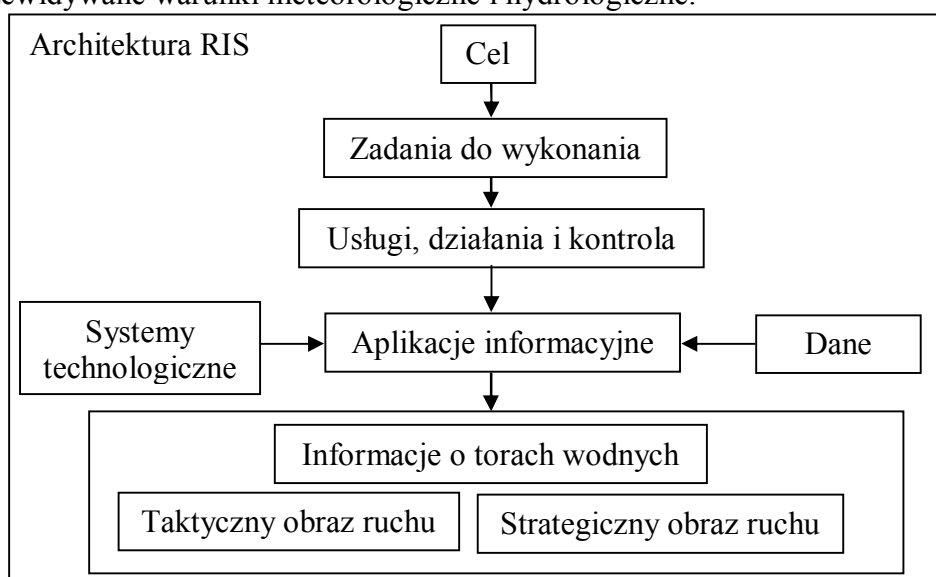
- mapy elektroniczne ECDIS,
- transpondery AIS,
- odbiorniki nawigacyjne DGPS,
- nowoczesne systemy łączności.

Tego rodzaju urządzenia pozwalają kapitanom jednostek na uzyskiwanie wiarygodnych i szybko uaktualnianych informacji dotyczących pozycji, kursu i prędkości jednostki oraz warunków żeglugi. Takimi informacjami dysponują również stacje brzegowe, dzięki czemu występuje większe współdziałanie tych ośrodków z jednostkami będącymi w ruchu. Dlatego utworzenie rzecznych systemów nadzoru i zarządzania wraz z precyzyjnie funkcjonującym rzeczonym serwisem informacyjnym (RIS) ma kolosalne znaczenie dla bezpieczeństwa i wydajności żeglugi śródlądowej (Troegl, 2009). W serwisie informacyjnym należy:

- odpowiednio wykorzystywać dane otrzymane z serwisów informacyjnych i łączyć je w jeden system informacji rzecznej,
- ustalić odpowiedzialność za rzetelność przekazywanych informacji,
- ustalić możliwości jakie występują w zakresie wpuszczania do nadzorowanego obszaru określonego natężenia ruchu, a jego sprawnym zarządzaniem,
- ustalić współzależność pomiędzy bezpieczeństwem, a wydajnością żeglugi,
- stosować transpondery AIS, które pozwalają na prezentację aktualnej sytuacji nawigacyjnej na danym odcinku rzeki w sposób wiarygodny,
- działać w celu powstania pełnej integracji stacji brzegowych i jednostek żeglugi śródlądowej,
- wyposażyć wszystkie jednostki pływające w odbiorniki nawigacyjne systemu DGPS oraz urządzenia AIS, które pozwalają na bezpośrednie przekazywanie danych o pozycji statku oraz parametrach ruchu do stacji brzegowych i innych statków,
- określić wymagania techniczne jakie muszą spełniać urządzenia związane z prowadzeniem nawigacji oraz komunikacji, co powinno doprowadzić do pełnego ujednolicenia wyposażenia wszystkich jednostek żeglugi śródlądowej.

W architekturze RIS (rys. 1.2) można wyróżnić trzy dziedziny informacji:

1. Tactical Traffic Image - Taktyczny obraz ruchu – jest to informacja, która powstaje przez analizę obrazu ruchu. Zalicza się do niej to wszystko, co wynika z obrazu ruchu, a więc między innymi pozycja, kurs i prędkość statków. Informacja ta wpływa na decyzje użytkowników, które bezpośrednio wpływają na bezpieczeństwo żeglugi.
2. Strategic Traffic Image - Strategiczny obraz ruchu – otrzymuje się tutaj informacje dotyczące transportu wodnego, takie jak aktualne pozycje statków, czy natężenie ruchu, które powodują odpowiednie zmiany w decyzjach dotyczących bieżącego planowania ruchu.
3. Fairway Information System - Informacje o torach wodnych – są to informacje, które wiążą się z planowaniem i organizacją ruchu statków. Mówią o warunkach panujących na drogach wodnych, co bezpośrednio wpływa na możliwości realizowania rejsu danymi torami wodnymi. Można do nich zaliczyć informacje na temat aktualnego poziomu wody, występujących prądów, czy stanów zalodzenia oraz przewidywane warunki meteorologiczne i hydrologiczne.



Rys. 1.2 Architektura RIS. Źródło: opracowanie własne na podstawie (Krajewski, 2005).

Wykorzystanie danych prezentowanych na obrazie ruchu pozwoli na poprawę poziomu bezpieczeństwa żeglugi śródlądowej poprzez szybkie dostarczanie informacji, dzięki której możemy natychmiast podjąć decyzję odnośnie dalszej nawigacji. Pozwala to na uniknięcie kolizji oraz innych niebezpieczeństw, na przykład wejście na mieliznę, co jest charakterystyczne na takich akwenach jak rzeki gdzie szybko zmienia się lokalizacja płyczn. Podnoszenie wydajności i sprawności działania transportu rzeczno- i usług logistycznych z nim związanych jest możliwe dzięki szybkiej wymianie informacji na temat bieżącego i planowanego ruchu na danym akwenie. Co usprawnia zarządzanie przepływem jednostek

oraz zmniejsza wydatki związane z kontrolą ruchu statków. Również ważną rolę w podnoszeniu sprawności przepływu odgrywają informacje dotyczące operacji portowych, czy o przewożonych ładunkach i terminalach przeładunkowych. Natomiast dla poprawy sprawności prowadzenia samej nawigacji istotne są informacje nautyczne o akwenie, które dotyczą głównie poziomu wody oraz warunków panujących na danych odcinkach rzek i w portach. Dzięki temu ładunki będą docierały na miejsce przeznaczenia terminowo, nieuszkodzone i po atrakcyjnych cenach przewozu.

W krajach gdzie transport śródlądowy jest dobrze rozwinięty idzie się w kierunku coraz lepszego wyposażania mostków statków żeglugi śródlądowej. Ma to na celu przeniesie pewnych funkcji stacji brzegowych na pokłady statków, dzięki technologiom AIS i ECDIS. Przekazanie kapitanom statków taktycznego obrazu ruchu (Tactical Traffic Image) poprzez zastosowanie transponderów AIS, które pozwolą na identyfikację i prezentację pozycji statków poza zasięgiem radaru spowoduje poprawę poziomu bezpieczeństwa żeglugi oraz możliwości przewozowych. Będzie to możliwe dzięki szybkiemu nawiązaniu kontaktu pomiędzy jednostkami żeglugi śródlądowej, przez co będzie można zachować odpowiednie odległości podczas wyprzedzania, czy mijania statków, a to pozwoli na lepsze wykorzystanie szerokości torów wodnych.

Aktualnie komunikacja pomiędzy jednostkami żeglugi śródlądowej oraz stacjami brzegowymi jest realizowana przez użycie radiotelefonów, telefonów komórkowych oraz innych urządzeń służących do transmisji danych na przykład przy pomocy radiotelefonu UKF, który jest standardem od wielu lat. Informacje związane z bezpieczeństwem żeglugi zawierają małą ilość danych, lecz muszą być przesyłane w czasie rzeczywistym i podlegać szybkiemu uaktualnianiu. W celu prawidłowej wymiany danych niezbędne jest ujednoczenie środków komunikacji, czyli wyposażenia. Dlatego należy określić standardy dotyczące komunikacji, które są konieczne do realizacji postawionych zadań. Uzgodniono, iż takie standardy będą opracowane na szczeblu europejskim, aby wszystkie jednostki żeglugi śródlądowej mogły być wyposażone w jednakowy sprzęt. W planach jest wydanie ustawy: „Europejskie standardy w komunikacji i wymianie danych w żegludze śródlądowej”. Pozwoli to na szybsze i sprawniejsze dostosowanie systemów wielu państw i stworzenie jednego globalnego współgrającego systemu kontroli i zarządzania ruchem jednostek w żegludze śródlądowej. Umożliwi to otrzymywanie wiarygodnych i bardzo szybko uaktualnianych informacji, które dotyczą parametrów ruchu jednostek żeglugi śródlądowej. System RIS umożliwi przekazywanie poprawek dotyczących map elektronicznych ECDIS, których zastosowanie powinno w sposób zasadniczy poprawić prowadzenie nawigacji ze względu na

aktualizację danych, zwłaszcza dotyczących głębokości oraz oznakowania nawigacyjnego. W związku z prowadzeniem nadzoru na stosunkowo dużych akwenach wód śródlądowych prowadzenie monitoringu ruchu jednostek w ramach usług RIS jest niezwykle istotne. Do najważniejszych informacji dostarczanych w ramach serwisu RIS należy zaliczyć:

- znajomość aktualnych pozycji statków i ładunków,
- ułatwienia w prowadzeniu nawigacji,
- ułatwienia w zarządzaniu ruchem jednostek pływających,
- ułatwienia w zarządzaniu i planowaniu pracy śluz i mostów,
- ułatwienia w zarządzaniu pracą terminali ładunkowych,
- ułatwienia powiązań z transportem lądowym,
- koordynację akcji ratowniczych w przypadku katastrof.

Serwis RIS również będzie zawierał komercyjne informacje, użyteczne dla firm usługowych w tej branży. Zalicza się do nich między innymi:

- stawki taryfowe,
- liczbę i rozmiar ładowni,
- rozkład rejsów,
- oferowane przestrzenie ładunkowe,
- warunki przewozu,
- połączenia z innymi środkami transportu.

Wprowadzanie serwisów RIS powinno doprowadzić do:

- podniesienia poziomu bezpieczeństwa nawigacji na drogach śródlądowych,
- promocji wodnego transportu śródlądowego jako możliwości obniżenia kosztów związanych z usługami transportowymi, czyli zwiększenia korzyści ekonomicznych,
- zmniejszenia poziomu emisji spalin i poziomu hałasu, czyli zwiększenia stopnia ochrony środowiska naturalnego,
- zwiększenia stopnia niezawodności wodnego transportu śródlądowego,
- zwiększenia jakości świadczonych usług tym środkiem lokomocji,
- zmniejszenia wydatków związanych z kontrolą ruchu statków,
- zmniejszenia wydatków na ewentualne akcje ratownicze lub strat spowodowanych wypadkami z powodu nieprzewidzianych zdarzeń,
- poprawy efektywności usług transportowych i logistycznych poprzez sprawną wymianę informacji pomiędzy wszystkimi użytkownikami.

Rzeczne serwisy informacyjne (RIS) przyczyniają się do płynnego i bezpiecznego ruchu jednostek po śródlądowych drogach wodnych Europy poprzez dostarczanie odpowiednich pakietów informacji, które pozwalają na podejmowanie właściwych decyzji dotyczących regulacji ruchu, prowadzenia nawigacji i taktyki manewrowania na danym odcinku rzeki.

1.1.4 Analiza aktualnych rozwiązań stosowanych w europejskich systemach RIS

W ramach zakończonego projektu COMPRIS – (Consortium Operational Management Platform for River Information Services) przygotowano nowe oprogramowania systemów, zaproponowano szeroką wymianę informacji oraz zastosowanie nowych urządzeń związanych z monitorowaniem ruchu jednostek śródlądowych. Projekt będzie miał zastosowanie dla wszystkich jednostek pływających po rzekach Europy. Jednym z zadań, aby w praktyce zrealizować główne cele i zamierzenia projektu należało wprowadzić na pokłady jednostek żeglugi śródlądowej nowoczesny sprzęt techniczny np. radary wysokiej klasy, nowoczesne autopiloty, konsole komunikacyjne, mapy elektroniczne ECDIS, czy transpondery systemu AIS, które umożliwiają integrację z brzegowymi stacjami kontrolnymi. Wyposażenie jednostek w tego rodzaju urządzenia pozwala na autonomiczne prowadzenie żeglugi oraz szybką identyfikację i monitorowanie ruchu jednostek. Wprowadzenie takiego sprzętu podniesie jakość komunikacji, bezpieczeństwo nawigacji i dostępność do wszystkich informacji (Willems, 2001).

W ramach poszczególnych projektów najpierw z wykorzystaniem standardu INLAND ECDIS i transponderów AIS nastąpi implementacja RIS w zakresie narodowych projektów, czyli takich które obejmują swym zasięgiem rejon danego kraju. Ze względu na ogromną skalę przedsięwzięcia i początkowo wysokie koszty wiążące się z wprowadzeniem drogi urządzeń na początek chodzi o główne szlaki wodne takie jak np. rzeka Dunaj dla Austrii. Przykładami takich projektów są między innymi GWS, STIS, VNF2000 oraz DORIS, który zostanie opisany w dalszej części pracy. Natomiast ostatnim etapem tego przedsięwzięcia jest implementacja RIS dla całej Europy, czyli połączenie systemów poszczególnych państw biorących udział w projekcie w jeden ujednolicony standard. Takie ustalenie i dostosowanie wspólnych procedur i znaczeń określonych znaków oraz wspólny język funkcjonujący na arenie europejskiej spowoduje optymalne wykorzystanie dróg wodnych obecnie w większości państw europejskich, a w przyszłości wśród coraz to większej liczby rozwijających się państw na świecie. W ramach projektu opracowano:

- zaawansowane urządzenia i narzędzia służące do oceny sytuacji ruchu statków,

- rozwiązania dzięki którym zwiększają się możliwości zarządzania ruchem statków znajdujących się na obszarze działania stacji brzegowych,
- zastosowanie zintegrowanych map elektronicznych Inland ECDIS,
- zastosowanie pełnego i czytelnego obrazu ruchu statków (traffic situation display) na wszystkich akwenach objętych działaniem stacji brzegowych,
- program dalszego rozwoju.

Do stworzenia systemu RIS wymaga się przygotowania odpowiednich pomieszczeń, elementów oraz urządzeń, które będą służyły powołanym do tego instytucjom przy wykonywaniu następujących zadań:

- obserwacja warunków hydrometeorologicznych występujących na akwenie – pozwalają na badanie aktualnie występujących warunków, które mają wpływ na żeglugę i są niezbędne dla zachowania jej bezpieczeństwa. Stosuje się do tego stacje pomiaru poziomu wody, falowania, prądów oraz siły i kierunku wiatru,
- obserwacja ruchu – powołana do stworzenia obrazu ruchu na akwenach przez takie elementy jak kamery przemysłowe, stacje radarowe czy satelity, co pozwoli na dostarczenie obrazu punktom kontrolującym i zarządzającym ruchem jednostek śródlądowych,
- łączność – bardzo istotny element dla wymiany informacji pomiędzy ośrodkami kierowania ruchem statków, a kapitanami jednostek pływających. Elementy przesyłające muszą być w jak najwyższym stopniu niezawodne,
- kontrola ruchu – podstawowym wyposażeniem tych ośrodków są komputery, mapy ECDIS, monitory ruchu itp. Pozwala to na kontrolę i organizację odbywającego się ruchu.

Trzeba również zwrócić szczególną uwagę na urządzenia i całe systemy komunikacyjne, gdyż od nich zależy poziom usług i bezpieczeństwa żeglugi. Także duże znaczenie w tym względzie odgrywa poziom wykszolenia załóg statków i operatorów systemów brzegowych. Wykorzystanie zaawansowanych technologii w żegludze śródlądowej wraz z polepszeniem relacji użytkownik – urządzenie zwiększy efektywność i bezpieczeństwo nawigacji śródlądowej. Ważne jest, aby przed wprowadzaniem nowatorskich zintegrowanych systemów kontroli i sterowania sprawdzić ich działanie poprzez przeprowadzenie symulacji na wielu trudnych odcinkach europejskich rzek i kanałów pozwalających na lepsze zrozumienie problemów i zachowania się różnych rodzajów statków z nowym wyposażeniem. Jak to miało miejsce podczas wprowadzania systemu DORIS, gdzie wykonywano próby działania systemu

na małym wyznaczonym odcinku rzeki Dunaj wykorzystując i kontrolując przy tym cztery testowe statki.

Jednym z pośrednich celów projektu jest określenie standardu w przepływie informacji pomiędzy statkami oraz stacjami brzegowymi oraz stworzenie decydującym przyjaznych aplikacji do pracy w środowisku RIS. Ma to na celu sprawne wykonywanie wielu zadań przed którymi stoi kapitan jednostki śródlądowej. Dlatego należy poprawić zarządzanie przepływem istotnych informacji do których należy zaliczyć parametry pracy statku, dostępne głębokości, cykle śluz oraz ogólnie rozwój sytuacji nawigacyjnej na akwenie. Koncepcją projektu jest określenie:

- rodzaju informacji oraz sposobu jej uzyskania – technologie ARPA, AIS, GSM, DGPS, ECDIS i inne źródła danych.
- systemu baz danych, z którego wszystkie otrzymywane informacje będą dostępne dla wielu aplikacji – np. dystrybucja informacji dla Inland ECDIS
- standardu informacji i aplikacji, które będą używane przy systemach kontroli podróży, unikania zderzeń, informacji taktycznych i strategicznych
- kanałów przepływu informacji między poszczególnymi elementami systemu
- pewnego schematu danych oraz priorytetu przesyłanej informacji
- stopnia wiarygodności źródła danych
- najlepszego sposobu prezentacji danych

Wyzwaniem, jakie stoi przed sektorem śródlądowego transportu wodnego jest zintegrowanie różnych usług i systemów w jedną wspólną koncepcję operacyjną. Obszerny opis wielu istniejących aplikacji krajowych RIS można znaleźć w najnowszym raporcie przygotowanym w ramach zakończonego projektu COMPRIS – piątego programu ramowego w dziedzinie badań i rozwoju technologicznego. Do przykładowych, najbardziej zaawansowanych w rozwoju systemów RIS w Europie należy zaliczyć:

- DoRIS (Austria)
- RIS Hamburg (Niemcy)
- STIS RIS (Holandia)
- RIS Saimaa (Finlandia)

Austria jest pierwszym inicjatorem RIS w Europie. System DoRIS był rozwijany od 2000 roku w powiązaniu z projektami technologicznymi UE i został wprowadzony w dwóch fazach (Hintenaus, 2003):

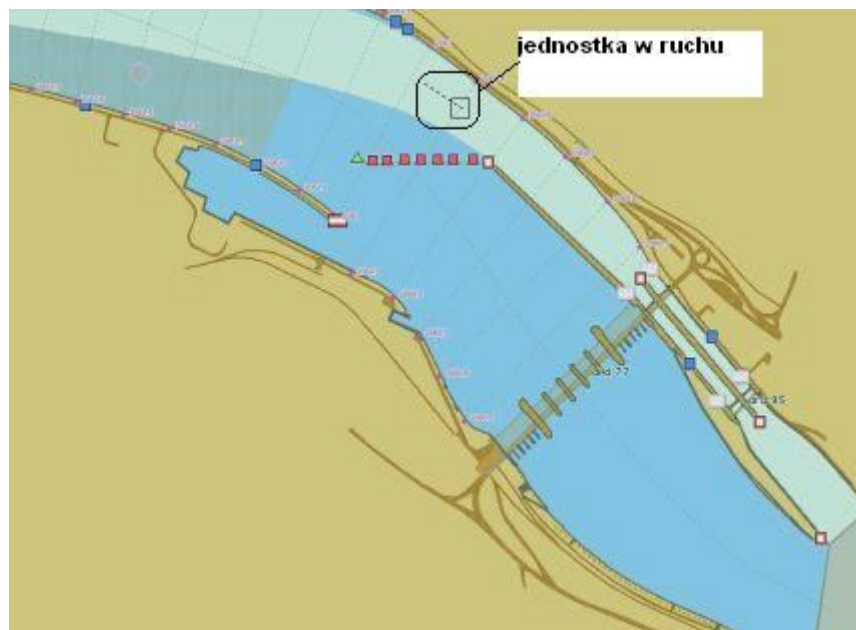
- Najpierw, próbne centrum zostało umieszczone na sekcji Dunaju blisko Wiednia, między Freudenu i Greifenstein. Cztery statki zostały zaopatrzone w transpondery AIS i ekrany Inland ECDIS, by działać w próbnym obszarze, torze o długości 33 km.
- Po intensywnej fazie testowania, DoRIS będzie rozszerzony, by objąć całą trasę Dunaju w Austrii – wprowadzanie rozpoczęło się od roku 2005 i trwa nadal.

DoRIS (Danube River Information Services - RIS dla Dunaju) automatycznie generuje informacje o ruchu rzecznym. Technicznie, taktyczny obraz ruchu jest utworzony przy pomocy satelity pozycjonującego, radiokomunikacji i dostosowanej wizualizacji. Główne elementy (komponenty) systemu DoRIS opierają się na elektronicznej rejestracji pozycji i tożsamości wszystkich statków w systemie za pomocą transponderów AIS i ich reprezentacji na elektronicznym ekranie nawigacyjnym, znanym jako Inland ECDIS.



Rys. 1.3 Źródła danych i komponenty systemu DoRIS. Źródło: (Vorderwinkler, 2003).

System DoRIS daje użytkownikowi dokładny widok aktualnej sytuacji ruchu. Jest to podstawa do skutecznego i bezpiecznego zarządzania ruchem. Statki na mapie cyfrowej są ukazane jako symbol, a związane z nimi dane mogą zostać oglądnięte przez kliknięcie na ikonę, która reprezentuje daną jednostkę (rys. 1.4). Każdy statek wyposażony jest w transponder AIS, który jest zainstalowany trwale lub może być przenośny. Transponder ma przymocowany komputer z monitorem dla pokazywania taktycznego obrazu ruchu. Wzdłuż rzeki na brzegu zainstalowane są transpondery brzegowe, które otrzymują dane o ruchu i korygują je dzięki DGPS. Skorygowane dane wysyłają do wszystkich jednostek umożliwiając tym samym dokładniejszy obraz ruchu.



Rys. 1.4 Taktyczny obraz ruchu na monitorze Inland ECDIS w systemie DoRIS. Źródło: (Hintenaus, Bäck, 2004).

Specjalny radiowy protokół AIS zapewnia, że informacja o pozycji jest podawana i uaktualniana w odstępach 2 sekund z dokładnością pozycji od 0,5 do 4 metrów. Wszystkie dane AIS są również automatycznie wysyłane do regionalnych centrów, które odpowiadają za zarządzanie i planowanie transportu. Dodatkowo z centrów regionalnych dane również w sposób automatyczny są wysyłane do narodowego centrum regulującego, gdzie wszystkie dane systemu DoRIS są gromadzone i przechowywane, dla celów rekonstrukcji zdarzeń w razie wypadku, jak i statystyki. Stosowane transpondery AIS spełniają międzynarodowe normy i są kompatybilne z wyposażeniem wymaganym dla wysokiej klasy nawigacji. Wszystkie podstawowe komponenty systemowe i usługi DoRIS są oparte na normach Unii Europejskiej i dwóch rzecznych komisji - Komisji Dunaju i Centralnej Komisji dla Nawigacji na Renie. DoRIS daje możliwości zarządzania transportem poprzez wspieranie kapitanów w ich decyzjach nawigacyjnych przez dostarczanie danych odnośnie pozycji na elektronicznej mapie nawigacyjnej oraz dostarczanie danych dotyczących przewidywanego czasu przybycia (ETA) w celu planowania harmonogramów przejść przez newralgiczne punkty toru wodnego. Na potrzeby użytkowników komercyjnych przygotowano stronę internetową oraz interfejs XML (rozszerzalny język znaczników) do celów bezpośredniego połączenia autoryzowanych zewnętrznych serwerów logistycznych. Dostęp do danych systemu jest ściśle uregulowany (dostęp modułowy) i monitorowany.

Podobnie wygląda struktura systemu na jeziorze Saimaa (Finlandia), gdzie stosowane aplikacje RIS obejmują kompletny pakiet usług, od informacji o torach wodnych do opłat za

korzystanie z infrastruktury szlaków wodnych. Sieć szlaków wodnych o długości 814 km wyposażona jest w 8 stacji radiowych VHF oraz 8 stacji AIS. Połączone są one z centrum informacji o ruchu, które dostarcza informacji dla statków znajdujących się w sieci. Ruch statków może być monitorowany w czasie rzeczywistym. Centrum kontroli ruchu może także obsługiwać (kontrola zdalna) wszystkie osiem śluz i siedem mostów znajdujących się na całej długości kanału. Oprócz AIS i VHF wykorzystuje on także GPS i ECDIS śródlądowe.

Natomiast RIS Hamburg (Niemcy) składa się z elektronicznej mapy nawigacyjnej (ENC), obrazu radarowego oraz informacji o głębokości wody dla odcinków krytycznych, co pokazuje inne podejście do struktury systemu i wykorzystanie obrazu radarowego, z którego w poprzednich systemach rezygnowano. System dostarcza kapitanom żeglugi śródlądowej dane na temat torów wodnych oraz faktycznych głębokości wody w czasie rzeczywistym przedstawianych na Inland ECDIS. Tak samo jak wcześniej dokładne określenie pozycji statku na obrazie uzyskuje się dzięki DGPS. System ten stosowany jest w żegludze po Renie. Na uwagę zasługuje podejście do użytkowników komercyjnych, dla których utworzono system BIVAS (Binnenvaart Intelligent Vraag en Aanbod Systeem). Jest to interaktywna strona internetowa, na której możliwe jest dopasowanie podaży i popytu na ładunek (zarządzanie ładunkami i flotą). Przedstawia on popyt na transport oraz podaż ładowności statku, a zatem prowadzi do nawiązania kontaktu pomiędzy kapitanem, a nadawcą ładunku. Faktyczne negocjacje pozostawia się stronom potencjalnej umowy. System nie wspiera samego procesu handlowego. Został on już przetestowany, ale nie został jeszcze wdrożony, choć daje o wiele większą funkcjonalność dla użytkowników komercyjnych w porównaniu do systemu DoRIS. Zaś w systemie STIS (Shipping and Transport Information Services - Holandia) poza rozwiązaniami stosowanymi w innych systemach dodatkowo buduje się strukturę, która powinna być używana przez różne aplikacje RIS dla różnych użytkowników. Ma za zadanie dostosowanie licznych samodzielnych aplikacji dostępnych obecnie i w przyszłości. W ramach uniwersalnej struktury systemu planuje się określenie norm komunikacji, protokołów wymiany danych oraz budowę prototypu nautyczno-geograficznej bazy danych Inland ECDIS.

Obecnie projekty PLATINA i IRIS II Europe mają na celu finalizację rozwoju struktury technicznej, organizacyjnej oraz funkcjonalnej dla RIS na poziomie ogólnoeuropejskim, jak również rozwój i ulepszanie dalszych norm i aplikacji do wymiany informacji w celu przygotowania do wdrożenia RIS na najważniejszych europejskich szlakach wodnych. Projekty te powinny być znakiem ostatecznej fazy rozwoju RIS przed jego

wdrożeniem na dużą skalę, zachowując bliskie powiązania z krajowymi projektami oraz inicjatywami RIS.

Równolegle do badań naukowych, podjęto pierwsze kroki w kierunku wdrażania. Niektóre krajowe aplikacje wcześniej wymienione spełniają wymogi dotyczące harmonizacji, ponieważ są one albo bezpośrednim efektem europejskich badań naukowych albo są obecnie przygotowywane z uwzględnieniem wyników badań naukowych. Ponadto ustanowiono Europejską Platformę RIS (ERISP), mającą zapewnić uczestnictwo wszystkich europejskich (będących, jak i nie członkami UE państw) władz krajowych odpowiedzialnych za, a także czynnie zaangażowanych w rozwój i wdrażanie RIS. Celem platformy jest wymiana wiedzy na temat RIS oraz promowanie zharmonizowanego ich rozwoju.

1.2 Źródła danych geoprzestrzennych w procesie wspomaganie decyzji użytkownika RIS

W podrozdziale tym przedstawiono problematykę pozyskiwania i przetwarzania informacji w rzeczonym systemie informacyjnym (RIS). Dokonano analizy i selekcji źródeł informacji w systemie wspomaganie decyzji użytkownika/operatora RIS. Wykonano szczegółową specyfikację i opis sensorów wykorzystywanych do pozyskiwania informacji geoprzestrzennej niezbędnej w systemie wspomaganie decyzji. Jednocześnie opracowano projekt fuzji informacji na stanowisku operatora centrum brzegowego systemu RIS oraz przedstawiono koncepcję funkcjonowania takiego zintegrowanego systemu.

1.2.1 Specyfikacja sensorów wykorzystywanych do pozyskiwania informacji geoprzestrzennej

Ze względu na przeznaczenie w systemie nadzoru ruchu statków można wyróżnić następujące etapy: gromadzenie danych, następnie ich analizowanie, aż w końcu zaprezentowanie informacji w celu podjęcia decyzji. Taki system stanowi podstawę do reagowania na powstające podczas rejsu sytuacje zagrażające bezpieczeństwu. Dlatego musi być dokładny i działać w czasie rzeczywistym, dzięki czemu będzie można w każdym momencie uzyskać informacje na temat rzeczywistego obrazu sytuacji na określonym obszarze. Gromadzenie danych pozwala na tworzenie wizerunku ruchu, aby odpowiednio kontrolować sytuację statków na akwenu i wspomagać decydentów w podejmowaniu decyzji. Oprócz informacji o bieżącej sytuacji ruchu statków ważne jest, aby dysponować danymi na temat typu statku oraz rodzaju przewożonych ładunków. Równie ważne jest posiadanie danych hydrologicznych i meteorologicznych. W sytuacjach wyjątkowych także konieczne mogą okazać się informacje na temat stanu technicznego urządzeń i statków.

Analizowanie danych w coraz większym stopniu odbywa się automatycznie przez specjalne programy. Jednak ostateczną decyzję podejmuje decydent zgodnie z posiadaną wiedzą i doświadczeniem. Choć występują próby, prawie że całkowitej automatyzacji zarówno procesu analizowania, decydowania i podejmowania odpowiednich reakcji, gdzie człowiek pełniłby jedynie funkcję kontrolną. Są to najnowocześniejsze systemy, które w założeniach mają sterować pewnym procesem, czy też środkiem transportu automatycznie bez udziału człowieka. Jednak zauważono, iż ze względu na wiele czynników najlepiej jest połączyć systemy sterowania automatycznego i ręcznego przez człowieka w celu współdziałania, gdyż przy obecnym stanie technologii rozwiązanie to jest najbardziej efektywne i niezawodne. Także wydaje się, że choć należy ostrożnie wypowiadać opinie odnośnie przyszłości nie znając możliwości przyszłej technologii to przy skomplikowanych procesach jakim niewątpliwie jest sterowanie statkiem należy zawsze łączyć techniki automatycznego i ręcznego sterowania, gdyż zarówno urządzenia, jak i ludzie bywają zawodni.

Informacje uzyskane po przetworzeniu danych są wykorzystywane zarówno przez operatorów stacji brzegowych do podejmowania decyzji regulujących ruch statków oraz przez kapitanów jednostek śródlądowych do bezpiecznego i sprawnego poruszania się po akwenie. Konieczne jest, aby informacje były przekazywane prawidłowo bez zakłócających zniekształceń i przekłamań oraz we właściwej kolejności i na czas, czyli w tym przypadku stały podgląd sytuacji na akwenie. W celu zapewnienia jak najwyższego poziomu bezpieczeństwa operatorzy systemu powinni dysponować pełnym przeglądem ruchu statków na kontrolowanym obszarze, przez co obraz ruchu umożliwi prawidłową ocenę sytuacji. Dla uzyskania takiego obrazu ruchu należy dostarczyć informacje na temat:

- pozycji i ruchu statków,
- realizowanej trasy i punkty przeznaczenia rejsu,
- rodzaju jednostek śródlądowych i ich opisu zgodnie z wymaganiami meldunkowymi oraz należy zabezpieczyć możliwość dostarczenia pewnych niestandardowych danych, które będą potrzebne ze względu na nietypowe sytuacje,
- stanu i elementów nadzorowanych torów wodnych takich jak na przykład istniejące na nim znaki nawigacyjne,
- warunków meteorologicznych i hydrologicznych.

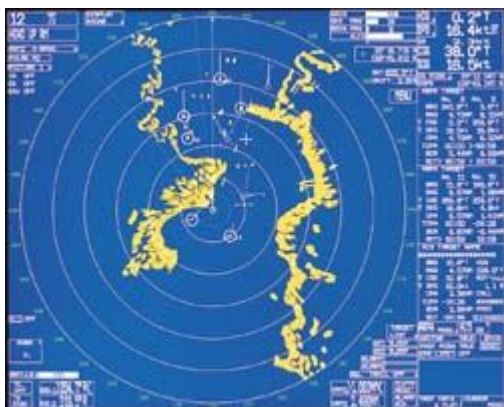
System usług dostarczanych na danym obszarze jest ściśle związany z ustalonym zakresem działalności i potrzeb informacyjnych. Stanowi to podstawę do zapewnienia sprawnego

i bezpiecznego przemieszczania się po wyznaczonych akwenach. Jednak nie wszystkie informacje będą otrzymywane w sposób automatyczny, dlatego również bardzo ważnym elementem będzie treść meldunków statkowych, dzięki którym operator systemu będzie mógł odpowiednio reagować na rozwój sytuacji i przekazywać niezbędne informacje do kapitanów jednostek. Do sensorów pozyskujących informację geoprzestrzenną i wspierających nadzór ruchu na akwenach śródlądowych należą:

- mapy elektroniczne Inland ECDIS,
- radary typu ARPA,
- transpondery AIS,
- odbiorniki nawigacyjne GPS \ DGPS,
- nowoczesne systemy łączności,
- wodowskazy, żyrokompassy, logi,
- oznakowanie dróg wodnych.

Potrzeba przystępnej prezentacji informacji (w sposób graficzny) dotyczącej treści mapy, pozycji, parametrów statku i głębokości doprowadziła do rozwoju map elektronicznych ECDIS (Electronic Chart Display and Information System). Zasadniczą zaletą tych map jest możliwość wspierania treści mapy przez pokrycie jej obrazem radarowym, dzięki czemu uzyskano możliwość prezentowania nawigatorowi na wspólnym ekranie zarówno statycznych elementów mapy, jak i ruchomych obiektów śledzonych przez radar. Mapa ta staje się instrumentem nawigacyjnym nowej postaci, gdyż stanowi podstawę perspektywicznego systemu określania pozycji za pomocą komputerowego porównania rzeczywistego obrazu radarowego z obrazem mapy tej strefy wczytanym do pamięci systemu. Rozwój elektronicznych map nawigacyjnych jest naturalnym następstwem procesu automatyzacji i komputeryzacji prac hydrograficznych i kartograficznych, czyli automatyzacji ich pomiarów, przetwarzania i gromadzenia, co umożliwiło tworzenie i aktualizowanie nawigacyjno – hydrograficznych baz danych. ECDIS – system obrazowania elektronicznych map i informacji nawigacyjnych oznacza nawigacyjny system informacyjny, który dzięki odpowiednim urządzeniom wyświetla wybrane informacje z systemowej elektronicznej mapy nawigacyjnej wraz z informacją pozycyjną pochodzącą z nawigacyjnych czujników pomiarowych oraz przez wyświetlanie dodatkowych informacji związanych z nawigacją, w celu wspierania nawigatora w planowaniu i kontroli trasy rejsu. Taki system może stanowić niezależny układ, który może być uzupełnieniem i rozszerzeniem okrętowego systemu antykolizyjnego lub też może stanowić moduł zintegrowanego systemu nawigacyjnego.

ARPA – Automatic Radar Plotting Aid, zaś polska nazwa przyjęta przez Polski Rejestr Statków brzmi „urządzenie do automatycznego prowadzenia nakresów radarowych”.



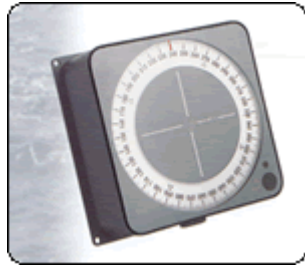
Rys. 1.5 Obraz radarowy oraz nowoczesny radar ARPA. Źródło: (Wawruch, 2002).

Trwający kilka lat proces wprowadzania ich na statki zakończył się około 1990 roku. Statki na których wymagana jest ARPA muszą też być wyposażone w urządzenia do pomiaru drogi i prędkości mierzonych w stosunku do powierzchni wody. Pozwalają na to urządzenia zwane logami. Stworzone przy pomocy najnowszej technologii pozwalają na dokładny pomiar prędkości i przebytej drogi zarówno dla jednostek wolnych jak i bardzo szybkich. Doskonale spisują się na niewielkich kuterach, jak i na największych supertankowcach. Przykładem logu jest NAVIKNOT III (rys. 1.6), który został zatwierdzony między innymi przez BSH (German Federal Maritime and Hydrographic Agency). Modułowa budowa systemu i jednostki sterującej pozwala na szybki i bezproblemowy montaż.



Rys. 1.6 Log NAVIKNOT III. Źródło: www.escort.com.pl.

Oprócz sygnałów z radaru do ARPA należy doprowadzić impulsy z omawianego wcześniej logu oraz żyroskopu (rys. 1.7), który wskazuje kierunek północy geograficznej. Żyroskop używany jest na statkach zamiast kompasu magnetycznego. Jego wskazania są niezależne od zakłócającego pola magnetycznego, zaś błędy powodowane ruchem statku są automatycznie korygowane. Wskazania żyrokompasu są odczytywane ze wskaźników rozmieszczonych w dogodnych miejscach dla nawigatorów.

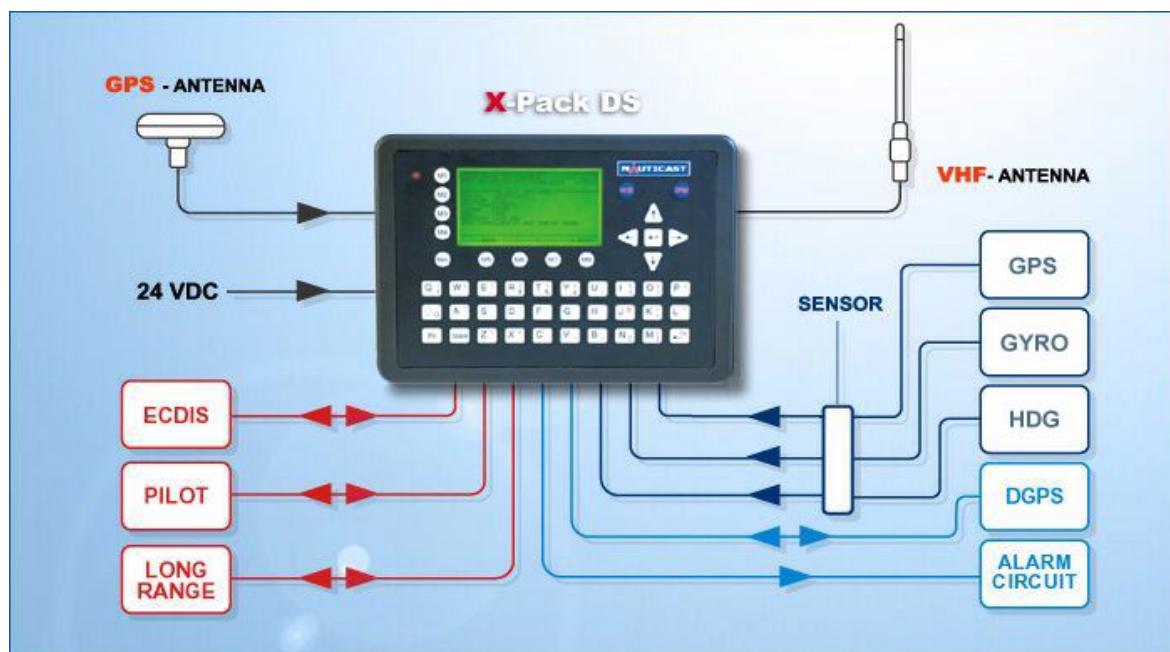


Rys. 1.7 Żyroskop i jego wskaźnik umieszczany w dogodnym miejscu dla nawigatora.
Źródło: www.escort.com.pl.

Każde urządzenie ARPA musi zapewniać możliwość szybkiego określenia namiaru i odległości do dowolnego obiektu widocznego na ekranie. Informacja o parametrach ruchu śledzonych ech powinna być przedstawiona w czasie nie dłuższym niż 1 minuta dla informacji przybliżonej oraz 3 minuty dla już dokładnej informacji. ARPA prezentuje obraz radarowy z nałożonymi na niego symbolami generowanymi przez komputer. Urządzenia te prezentują informacje o przewidywanych parametrach ruchu śledzonych ech za pomocą wektorów wykreślonych z ich aktualnych pozycji, gdzie kierunek wektora wskazuje kurs obiektu, a długość odpowiada jego odległości od naszego statku. Dzięki takiemu zobrazowaniu można łatwo ocenić stopień zagrożenia kolizyjnego stwarzanego przez poszczególne obiekty znajdujące się w pobliżu. Umożliwia to przeprowadzenie analizy rozwoju sytuacji, a w tym ocenę odległości i czasu mijania się z poszczególnymi obiektami. Układ alarmu zagrożenia kolizyjnego działa podobnie we wszystkich ARPA i włącza się automatycznie jeżeli obliczone wartości odległości największego zbliżenia dowolnego obiektu śledzonego i czasu jej osiągnięcia są mniejsze od wartości zadanych przez operatora. Informacja o ryzyku zderzenia jest zwykle akustyczna i optyczna, błyskanie lub rozjaśnienie wektora echa kolizyjnego lub pojawienie się specjalnego symbolu wokół niego oraz podświetlenie lub wyświetlenie odpowiedniego napisu, na przykład „collision warning”. Na wodach ograniczonych w czasie planowania i wykonywania manewru nawigatora interesuje nie tylko sama wielkość manewru w stosunku do obiektu kolizyjnego, ale również pozycja statku własnego w stosunku do otoczenia (ograniczenia głębokościowe, granice toru wodnego itp.). Najbardziej przydatne jest wówczas przedstawienie na ekranie w przyspieszonej skali czasu, rzeczywistego ruchu statku własnego i obiektów śledzonych lub ruchu względnego tych obiektów w czasie wykonywania planowanego manewru. Mapa ta służy do ukazania na ekranie granic torów wodnych przez ukazanie linii brzegowej słabo widocznej na obrazie radarowym oraz pozycji oznakowania nawigacyjnego lub innych niebezpieczeństw.

Podstawowym zadaniem systemów automatycznej identyfikacji (Automatic Identification System – AIS) jest automatyczne przesyłanie i zobrazowanie informacji na

odpowiednio oprogramowanych wskaźnikach (rys. 1.8) w relacjach statek – statek i statek – brzeg – statek. System Automatycznej Identyfikacji (AIS) pozwoli na automatyczne przekazywanie potrzebnych informacji jednocześnie do wszystkich zainteresowanych, czyli: stacji brzegowych, innych statków, czy armatorów. Komitet Bezpieczeństwa IMO zatwierdził w grudniu 1996 roku propozycję wprowadzenia systemu AIS na statki. W uzasadnieniu decyzji podano, iż wpłynie on na poprawę bezpieczeństwa żeglugi. System AIS ma również poprawić skuteczność działania systemów zarządzania ruchem oraz obniżyć koszty utrzymywania stacji radarowych pokrywających obszar działania takich systemów.



Rys. 1.8 System AIS. Źródło: (Lim, Nyberg, 2000).

AIS wprowadza się w celu rozwiązania problemów jakie występują w żegludze z wykorzystaniem radaru, radarowych automatycznych pomocy nakresowych typu ARPA i radiotelefonu UKF, które wynikają z:

- wpływu zakłóceń hydrometeorologicznych i kształtu linii brzegowej na możliwości wykrywcze radarów nawigacyjnych,
- opóźnienia czasowego informacji prezentowanej przez radarowe automatyczne pomoce nakresowe o wektorze ruchu obiektów wykrytych przez radar i przez nie śledzonych, szczególnie istotnego w czasie wykonywania manewrów antykolizyjnych w małych odległościach wzajemnych,
- stosunkowo niskiej dokładności wskazań wymienionych pomocy, szczególnie informacji o odległości mijania zwanej odległością największego zbliżenia,

- wpływu na dokładność wskazań stabilności parametrów ruchu jednostek pływających i wartości ich prędkości,
- braku danych identyfikujących obiekty wykryte przez radar i śledzone przez automatyczne pomoce nakresowe, co utrudnia nawiązanie z nimi łączności za pomocą radiotelefonu UKF, szczególnie w sytuacjach awaryjnych,
- utrudnienia efektywnego wykorzystania układu manewru próbnego i podejmowania decyzji o rodzaju i wielkości manewru antykolizyjnego,
- czasochłonności i zawodności procedur wzajemnej identyfikacji i wymiany informacji w sytuacji kolizyjnej,
- braku informacji o właściwościach dynamicznych obiektów śledzonych przez ARPA.

Jednak wprowadzenie AIS na wyposażenie statków i stacji brzegowych nie spowoduje wyeliminowania urządzeń radarowych i łączności fonicznej w paśmie UKF, gdyż jest mało prawdopodobne, aby wszystkie statki, w tym szczególnie te małe i niekonwencjonalne były wyposażone w AIS. Dlatego radar pozostanie nadal jedynym urządzeniem zdolnym do wykrycia i umożliwienia śledzenia wszystkich obiektów nawodnych, niezależnie od ich wyposażenia nawigacyjnego i radiowego. Podobnie radiotelefon UKF będzie w dalszym ciągu jedynym środkiem łączności radiowej ze statkami nie wyposażonymi w AIS oraz ze wszystkimi jednostkami pływającymi w sytuacjach nadzwyczajnych i awaryjnych. Rola statkowych i brzegowych urządzeń radarowych oraz łączności fonicznej w paśmie UKF będzie zależeć od rejonu ich działania, a w szczególności od natężenia ruchu statków nie wyposażonych w AIS i nie objętych obowiązkowym pilotażem. Natomiast już obecnie są wyznaczane obszary akwenów, po których poruszać się mogą jedynie jednostki wyposażone w urządzenia AIS. Spowoduje to podniesienie bezpieczeństwa żeglugi, tym bardziej że większość nowoczesnych statków będzie miała na swoim mostku nawigacyjnym swoisty zintegrowany system pomocny w nawigacji. Będzie zawierał wiele uzupełniających się, a w niektórych obszarach działalności pokrywających się elementów dzięki czemu nawet w sytuacjach awarii jednych z nich będzie możliwe dalsze bezpieczne prowadzenie nawigacji. Zgodnie z konwencją SOLAS system automatycznej identyfikacji to urządzenie radiowe, które umożliwia:

- automatyczną transmisję do odpowiednio wyposażonych stacji brzegowych i innych jednostek pływających danych, które identyfikują statek:
 - jego typ i związane z tym parametry (np. długość i szerokość),

- aktualna pozycja,
- kurs,
- prędkość,
- status nawigacyjny,
- przewożony ładunek,
- krótka informacja dotycząca bezpieczeństwa.
- automatyczny odbiór takiej samej informacji nadawanej przez tak samo wyposażone statki,
- automatyczne monitorowanie pozycji i śledzenie statków,
- automatyczną wymianę danych z urządzeniami brzegowymi.

Zgodnie z wymaganiami 19 przepisu rozdziału V konwencji SOLAS urządzenia AIS należy instalować na:

- wszystkich statkach pasażerskich niezależnie od wielkości,
- wszystkich innych statkach o pojemności brutto 300 i większej zatrudnionych w podróży międzynarodowych,
- statkach nie zatrudnionych w podróży międzynarodowych:
 - pasażerskie – nie później niż 1 lipca 2003 roku,
 - zbiornikowce – nie później niż do dnia 1 lipca 2004 roku,
 - 50 000 i większej – nie później niż 1 lipca 2005 roku,
 - 10 000 i większej, lecz mniejszej niż 50 000 – nie później niż 1 lipca 2006 r.,
 - 3 000 i większej, lecz mniejszej niż 10 000 – nie później niż 1 lipca 2007 roku,
 - 300 i większej, lecz mniejszej niż 3 000 – nie później niż 1 lipca 2008 roku,
 - statki zbudowane przed 1 lipca 2002 roku – nie później niż 1 lipca 2009 roku.

Jednak ze względu na problemy organizacyjne i finansowe ustalono odrębnym aktem prawnym, iż zakończenie wdrażania AIS w państwach UE nastąpi 01.02.2013 roku.

Również określono obowiązek posiadania ECDIS dla statków pasażerskich oraz tankowców budowanych po 1 lipca 2010, dla starszych statków okres obowiązkowego wyposażenia w ECDIS obejmowałby okres od 1 lipca 2011 do 1 lipca 2013 w zależności od wielkości i typu statku, a pozostałe jednostki w miarę możliwości i rozwoju w danym kraju do 1 lipca 2018 r. Projektodawcy, na podstawie raportu technicznego z badań efektywności stosowania ECDIS dowiedli, iż stosowanie tzw. e-nawigacji jest bardzo ekonomiczne i znacznie zmniejsza ryzyko nawigacyjne. Widać, iż wprowadzenie AIS i ECDIS na jednostki pływające jest nieuniknione. Na jednostkach śródlądowych będzie się wprowadzać AIS o parametrach techniczno – eksploatacyjnych podobnych do AIS klasy A, który składa się z:

- jednego nadajnika pasma UKF,
- dwóch odbiorników pasma UKF zdolnych do odbioru informacji przesyłanych z wykorzystaniem techniki TDMA,
- odbiornika pracującego z wykorzystaniem techniki cyfrowej selektywnego wywoływania (DSC) na kanale 70 UKF,
- odbiornika systemu GNSS do odbioru sygnału czasu oraz mogących służyć jako rezerwowe źródło informacji o pozycji, kącie drogi nad dnem i prędkości nad dnem statku,
- monitora i klawiatury umożliwiającej manualne wprowadzanie danych np. na temat statusu nawigacyjnego jednostki lub dotyczących podróży i prezentację informacji,
- procesora sterującego pracą całego urządzenia, między innymi procesami: doboru ramek czasowych, formatowania wiadomości i przepływu informacji,
- układu testującego integralność pracy całego urządzenia w sensie niezawodności (built in integrity test – BIIT),
- układów podłączeniowych do: statkowego odbiornika systemu GNSS, żyrokompasu, radaru, ARPA, ECDIS, miernika prędkości kątowej zwrotu, urządzeń łączności dużego zasięgu, przenośnego terminalu pilotowego i monitora zewnętrznego AIS.

Informacje w formie meldunków zarówno wysyłane, jak i odbierane zostały podzielone na następujące kategorie (Stupak, Zarzycki, 2001):

1. Informacje statyczne – nadawane co 6 minut oraz na każde żądanie drugiej strony do której odpowiedź jest wysyłana automatycznie zawierają:

- numer IMO oraz nazwę i sygnał wywoławczy statku,
- typ statku, który jest przedstawiany w postaci ustalonego, co do znaczenia dwucyfrowego kodu,
- parametry statku, takie jak długość i szerokość,
- pozycję anteny statkowego odbiornika radionawigacyjnego podłączonego do AIS w stosunku do środka symetrii statku.

Należy podkreślić, że powyższe dane są wprowadzane podczas instalacji urządzenia i jedynie uaktualniane przy zaistniałych zmianach stanu faktycznego.

2. Informacje dynamiczne – nadawane w zależności od prędkości statku i zmian kursu statku zawierają:

- pozycja geograficzna otrzymana ze statkowego odbiornika radionawigacyjnego podłączonego do AIS wraz ze wskazaniem klasy jej dokładności,

- aktualne wartości kąta drogi nad dnem i prędkości nad dnem,
- kurs z żyrokompasu,
- status nawigacyjny statku,
- prędkość kątowna zwrotu.

3. Informacje związane z podróżą – nadawane co 6 minut, kiedy ulegają zmianie oraz na każde żądanie zawierają:

- aktualną wartość zanurzenia statku,
- informacje o przewożonych ładunkach,
- port przeznaczenia i przewidywany czas przybycia statku, zakodowany w formacie ETA,
- planowaną trasę przepływu,
- ilość osób na statku wraz z załogą.

4. Informacje dotyczące bezpieczeństwa – według potrzeb, dotyczą ważnych ostrzeżeń nawigacyjnych i hydrometeorologicznych.

Uczynienie systemu AIS standardem przez trzy organizacje: IMO, ITU-R, IEC stanowi poważny krok na drodze zwiększenia bezpieczeństwa żeglugi. Statki powinny być wyposażone w automatyczny system identyfikacji (AIS), aby automatycznie dostarczyć odpowiednio wyposażonym stacjom brzegowym, innym statkom i armatorom informacje zawierające identyfikację statku, typ statku, pozycję, kurs, prędkość, status nawigacyjny i inne informacje z podobnie wyposażonych statków, aby monitorować i śledzić statki oraz aby wymieniać dane z władzami lądowymi. Ten wymóg nie powinien być stosowany w przypadkach, w których międzynarodowe uzgodnienia, przepisy lub standardy warunkują ochronę informacji nawigacyjnej. Jest rzeczą oczywistą, że przepisy SOLAS w żaden sposób nie zabraniają administracjom krajowym wydawanie stosownych przepisów lokalnych przyspieszających konieczność wyposażenia statków bandery danego kraju w system AIS. Ponadto administracje krajowe mają możliwość w myśl konwencji SOLAS do obniżenia dolnej granicy tonażu statków, które muszą być wyposażone w AIS do następujących wartości:

- statki poniżej nośności 150 GT niezależnie od typu żeglugi,
- statki poniżej nośności 500 GT nie zaangażowane w żeglugę międzynarodową.

Działania takie miałyby na celu, wyposażenie w AIS większą liczbę statków poprzez nałożenie odpowiedniego wymogu na np.: barki o napędzie mechanicznym, pchacze rzeczne, kutry rybackie, holowniki i pogłębiarki. Na zwiększeniu liczby uczestników AIS w żegludze przybrzeżnej oraz żegludze śródlądowej niewątpliwie zyskałoby bezpieczeństwo nawigacji w

danym rejonie. AIS umożliwia przesyłanie raportów statkowych automatycznie, bez opóźnienia czasowego i absorbowania uwagi załogi statku oraz z pominięciem ewentualnych trudności językowych, przyczyniając się tym samym niewątpliwie do podniesienia poziomu bezpieczeństwa żeglugi. Zapewnienie możliwości prezentacji graficznej informacji uzyskanej za pośrednictwem AIS na wskaźnikach radarowych ARPA i ECDIS umożliwi podniesienie poziomu bezpieczeństwa żeglugi oraz zwiększy jej efektywność. Jako źródło uzupełniające zaleca się stosowanie techniki GPS, a w zasadzie jej odmiany różnicowej DGPS. Podstawowym celem technik różnicowych DGPS jest określenie i poprawienie błędów występujących w systemie GPS. Istota działania satelitarnego różnicowego systemu określania pozycji DGPS (Differential Global Positioning System) polega na poprawianiu na bieżąco zmierzonych odległości systemu GPS i przesyłaniu ich do użytkownika. System DGPS zapewnia dokładność określania pozycji od 0,5 do 4 metrów, co w żegludze śródlądowej ma szczególne znaczenie. Przy wykorzystaniu systemów satelitarnych pozycja może być wyznaczana w bardzo krótkich odstępach czasu, rzędu kilku lub kilkunastu sekund. Jednak traktuje się to jako dodatkowe źródło informacji, gdyż opieranie się wyłącznie na systemach satelitarnych niesie zagrożenie możliwości utraty informacji w wypadku awarii, celowego wyłączenia lub zakłócenia systemu oraz ewentualnie zakodowania informacji docierającej do użytkownika. Również występują pewne problemy ze względu na ukształtowanie terenu akwenów śródlądowych. Wynika stąd konieczność dysponowania jeszcze innym, autonomicznym, czyli niezależnym od zewnętrznych źródeł informacji, systemem umożliwiającym określanie pozycji w sposób automatyczny. Pojedyncza stacja dostarcza poprawek ważnych w obszarze o promieniu około 300 km. W praktyce obszar ten jest zazwyczaj mniejszy ze względu na ograniczenia środka transmisji. W Polsce pracują już dwie stacje różnicowe w Dziwnowie (54°1'N, 14°E) na 288 kHz i miejscowości Rozewie (54°49'N, 18°20'E) na 311 kHz oraz w Berlinie pod jurysdykcją niemiecką, co praktycznie daje już pokrycie obszaru Dolnej Odry, na którym zostanie przeprowadzona weryfikacja opracowanego modelu. Również ważną rolę odgrywa system łączności głosowej, który składa się z sieci stacji komunikacyjnych pracujących w paśmie UKF. Anteny stacji powinny być rozlokowane w ten sposób, aby zapewnić pełne pokrycie obszaru na którym działa system. Zastosowanie zróżnicowanych środków łączności pozwala na uzupełnianie danych dotyczących monitoringu ruchu jednostek uzyskiwanych z radarów oraz kamer telewizji przemysłowej. W informacyjnym systemie rzeczonym należy ustalić zasadę prowadzenia stałego nasłuchu na wcześniej ustalonych kanałach UKF, zaś sama komunikacja powinna mieć określone standardy.

Zastosowanie interfejsu graficznego umożliwia szybki dostęp do wielu pomocnych opcji. Jedną z ważniejszych jest możliwość planowania podróży. Kapitan jednostki ma możliwość wcześniejszego zaznajomienia się z danym odcinkiem rzeki, czyli takimi danymi jak jej przebieg, oznaczenia nawigacyjne oraz odpowiednie głębokości. W trakcie podróży otrzymuje wszystkie potrzebne informacje do prowadzenia bezpiecznej żeglugi. Uzyskuje również dane dotyczące otoczenia żeglugowego z możliwością dokładnej informacji o każdym pojedynczym obiekcie poprzez zaznaczenie go kursorem. Prezentacja informacji na monitorze zapewnia:

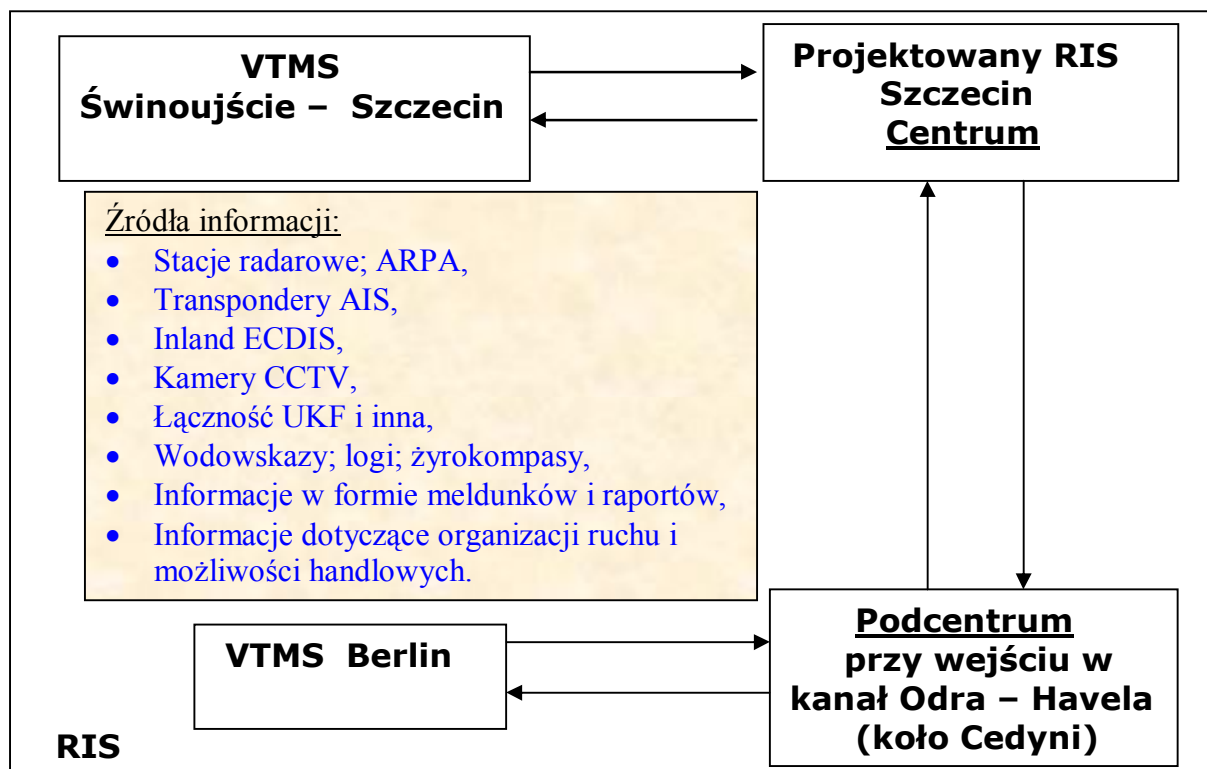
- kontrolę antykolizyjną,
- rozpoznanie sytuacji ruchu wokół jednostki,
- planowanie podróży,
- monitorowanie podróży,
- szybki i łatwy dostęp do parametrów pracy statku i źródeł alarmów.

ECDIS powinien być projektowany z nastawieniem na rozwiązania przyjazne dla użytkownika (tzw. user friendly), które spełniają jego rzeczywiste potrzeby i wymagania. Projektanci powinni wyraźnie rozróżniać informacje niezbędne i priorytetowe z punktu widzenia bezpieczeństwa żeglugi od informacji wspomagających. Tego typu rozeznanie projektanci mogą uzyskać zasięgając rad i opinii nawigatorów statków, którzy posiadają niezbędną wiedzę i praktykę zawodową w pracy z informacyjnymi systemami nawigacyjnymi. ECDIS łączy w jeden wspólny zintegrowany system informacje z mapy nawigacyjnej przedstawianej w formie elektronicznej z informacją o pozycji statku wraz z jego parametrami ruchu o kursie i prędkości oraz innymi informacjami wspomagającymi samą nawigację oraz decyzje dotyczące planowania i zarządzania ruchem. Tego rodzaju informacje pochodzą z echosondy, żyrokompasu, radaru i urządzeń ARPA oraz AIS. Działa to w ten sposób, że na mapę, która musi być prezentowana w odpowiednio dużej skali nakłada się obraz radarowy jako informację zewnętrzną, która dopełnia i integruje system nawigacyjny. Eksploatacja systemów ECDIS na statkach stała się faktem, kiedy to w 1999 roku system map elektronicznych Navi Sailor 2400 firmy Transas Marine jako pierwszy na świecie został oficjalnie uznany za ECDIS, otwierając tym samym drogę do wprowadzania tychże systemów na statki. Wiadomo, że przyjęcie nowego systemu nawigacyjnego w światowej żegludze nie może zostać zrealizowane natychmiast i jednocześnie przez wszystkie państwa uprawiające żeglugę. Wprowadzenie w życie wszystkich aspektów nowego systemu wymaga bowiem wprowadzenia wielu zmian, które są czasochłonne i kosztowne. Chodzi tu

przede wszystkim o zmiany w wyposażeniu technicznym statków, biur hydrograficznych i utworzenie pełnej, ogólnoswiatowej bazy danych na potrzeby systemu ECDIS oraz zmianę i przeprowadzenie pierwszych szkoleń kadry oficerskiej. Obecnie system ECDIS nie jest już uznawany za integratora systemów pracujących na mostku nawigacyjnym. Uważa się go za element większego systemu, zwanego zintegrowanym systemem nawigacyjnym INS (Integrated Navigation System), który z kolei jest częścią systemu mostka zintegrowanego IBS (Integrated Bridge System), który jest integracją takich systemów jak ECDIS, GPS/DGPS, Radar/ARPA, AIS oraz inne systemy wewnętrzne związane z siłownią, kadłubem, pokładem, ładunkiem oraz sprawami administracyjnymi. System IBS spełnia funkcje wielopoziomowego integratora informacji, która powinna być przekazywana w przystępny i prosty sposób.

W systemie RIS ważne jest, aby kontrolując i zarządzając ruchem barek w pełni wykorzystać informacje ze wszystkich czujników, czyli radarów, logów, żyroskopów, kamer telewizyjnych, mierników parametrów pogodowych oraz z takiego wyposażenia jak elektroniczne mapy ECDIS, systemy automatycznej identyfikacji (AIS), czy łączności radiowej. Planowany system powinien całkowicie integrować łączność głosową z podglądem ekranowym oraz powinien zapewnić całkowitą synchronizację cyfrowego zapisu dźwięku, który powinien jednocześnie rejestrować głos, sygnał radarowy i dane o obiektach monitorowanych.

Niektóre założenia i rozwiązania do modelu mają charakter specyficzny dla zadanego obszaru, w którym będzie funkcjonował system zarządzania ruchem. Dla odcinka Dolnej Odry zakłada się, iż system dla sprawnego przepływu informacji powinien składać się z jednego centrum, którego usytuowanie proponuje się na wyspie Zielonej, gdyż dzięki takiemu rozwiązaniu będzie istniało bliskie i dogodne połączenie z centrum VTMS Świnoujście - Szczecin. Również przemawia za tym fakt, iż na wyspie tej znajdują się biura większości armatorów śródlądowych, zainteresowanych współpracą z Centrum Rzeczynem. Natomiast, aby odpowiednio pokryć działaniem systemu cały rejon i usprawnić przepływ informacji zakłada się utworzenie na 667 kilometrze Odry, czyli przy wejściu do kanału Odra – Havela podcentrum, które będzie pełnił funkcję stacji zbiorczej (rys. 1.9). Również rozwiązanie to przyczyni się do sprawniejszego i wygodniejszego połączenia polskiego systemu zarządzania ruchem statków śródlądowych z systemem niemieckim, czyli ze względów odległościowych i praktycznych dotyczących urządzeń podcentrum to będzie pełnił funkcje integracyjne.



Rys. 1.9. Schemat obiegu informacji w projektowanym systemie informacyjnym Dolnej Odry oraz specyfikacja sensorów. Źródło: opracowanie własne.

Aktualnie wyposaża się współczesne statki w nowoczesne urządzenia nawigacyjne, czujniki, komputery oraz systemy komunikacji i przekazu danych, które pozwalają na kontrolę i bezpieczne sterowanie statkami na trudnych do nawigacji obszarach śródlądowych.

1.2.2 Fuzja informacji na stanowisku operatora centrum brzegowego systemu RIS

Dzięki takim usługom jak przekazywanie aktualnych informacji, czy asysta nawigacyjna operator systemu ma możliwość korygowania drogi statku. Można chociażby wymienić takie niezbędne zadania jak wpływ na korekty kursu i prędkości statku oraz doradztwo w jakim pasie ruchu statek powinien utrzymać swój rejs, aby bezpiecznie i sprawnie dotrzeć do swojego punktu przeznaczenia. W serwisie wspomagającym organizację i zarządzanie ruchem podstawową czynnością jest planowanie i reakcja na bieżącą sytuację. Sprawne zarządzanie ruchem musi być wyprzedzone planowaniem wstępnym, w którym wyznacza się trasy i ustala priorytety ruchu. Natomiast podczas samego ruchu należy na bieżąco porządkować ruch statków oraz prowadzić stały nadzór polegający na kontroli prędkości i kursu statków. Serwis organizacji ruchu zapobiega powstawaniu niebezpiecznych sytuacji, które powodują wzrost zagrożenia i zwiększają możliwość wystąpienia wypadków, zwłaszcza na obszarach wysokiego natężenia ruchu oraz uczestniczenia w ruchu nietypowych środków transportu, takich jak jednostki o ograniczonych możliwościach manewrowania, jednostki

przewożące ładunki niebezpieczne oraz holowniki. Głównym celem sprawnego zarządzania ruchem statków oraz prowadzenia planowania wyprzedzającego ruch statków jest chęć osiągnięcia sprawnego poruszania się statków po wyznaczonych obszarach, czyli zapobiegania zatorom na kontrolowanych odcinkach akwenu. Pozwoli to na zwiększenie przepływu jednostek śródlądowych, co wpływa bezpośrednio na ilość przewożonych ładunków i jakość komunikacji tym środkiem lokomocji. Do zadań organizacyjnych i zarządzających zalicza się:

- szczegółowe wyznaczanie trasy statków,
- wyznaczanie limitów prędkości jakimi mogą poruszać się statki na określonych odcinkach trasy,
- ustalanie pozycji i priorytetów przemieszczania się dla określonych grup lub pojedynczych statków,
- ustalanie odcinków na których pozwala się na mijanie i wyprzedzanie,
- informowanie o ustalonych kryteriach ruchu statków,
- ustalanie niebezpiecznych miejsc, w których kapitanowie jednostek mają obowiązek zgłaszania manewrów.

Obszary działania systemów są dzielone na sektory. Ich ilość ze względu na bezpieczeństwo i jakość dostarczanych usług powinna być o ile jest to możliwe minimalizowana, a obszary sąsiednich sektorów powinny na siebie nachodzić. Granice sektorów powinny być wyznaczone w miejscach, gdzie występuje zmiana kursów, krzyżowanie się tras statków, ruch poprzeczny lub łączenie się kursów, czy obszar, w którym wykonuje się skomplikowane manewry. Możliwość współpracy z innymi systemami opiera się głównie na koordynacji przepływu informacji. Ośrodek RIS dba o eliminowanie wielokrotnego przesyłania tych samych informacji oraz o ich przepływ w odpowiednim porządku. Dzięki temu na terenach, gdzie występują jednocześnie różne systemy kapitanowie jednostek są odciążeni od zbędnego przekazywania tych samych informacji, co jest bardzo ważne zwłaszcza w momentach zagrożenia bezpieczeństwa statku. Zwiększa to poziom bezpieczeństwa i efektywność wszelkich usług w rejonie objętym nadzorem. Powoduje to także określenie jednolitego wyposażenia dla ośrodków RIS, które szczególnie dzięki rewolucyjnemu rozwojowi technologii stoją obecnie na możliwie najwyższym dostępnym poziomie technicznym. Doprowadzi to do utworzenia europejskich wodnych dróg śródlądowych ze wspólnymi procedurami i zasadami kierowania ruchem statków. Zakłada się również, iż tak jak ma miejsce ciągle rozszerzanie Unii Europejskiej o nowe państwa tak samo w ramach

dostosowań kolejne kraje będą wprowadzać standardy poruszania się po śródlądowych drogach wodnych. Ze względu na większe korzyści ekonomiczne, środowiskowe oraz na wyższy poziom bezpieczeństwa spowoduje to przeniesienie z transportu drogowego części masy towarowej na śródlądowy transport rzeczny. Konsekwencją będzie zupełna rekonfiguracja kontynentalnego systemu wymiany towarowej i transportowej (Clarke, 2005).

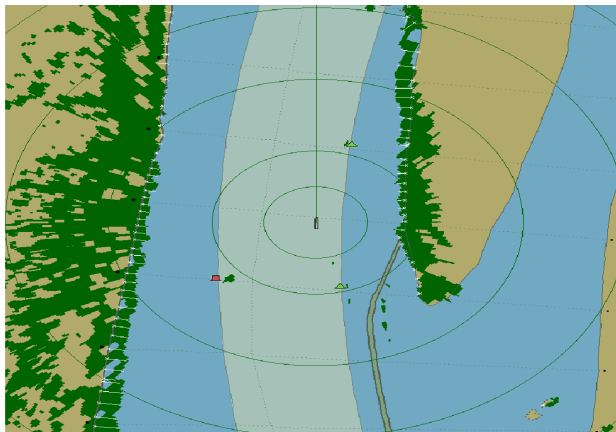
System wspomaganie decyzji operatora rzeczno systemu informacyjnego (RIS) służy do analizy, wizualizacji i zdalnego udostępniania danych o sytuacjach krytycznych na akwenie śródlądowym. W efekcie fuzji informacji z różnych źródeł powstał prototyp w pełni zintegrowanego systemu wspomaganie decyzji operatora RIS, którego elementami są:

- urządzenia Inland ECDIS z elektronicznymi mapami nawigacyjnymi (ENC), które mogą pracować:
 - □ w trybie informacyjnym,
 - □ w trybie nawigacyjnym (z nakładką obrazu radarowego),
- środki cyfrowej łączności radiowo – komputerowej, m.in. sprzęt radiowy do jednoczesnego odbioru przekazów dla żeglugi śródlądowej na dwóch kanałach VHF (statek – statek i statek – brzeg),
- system DGPS – satelitarny system globalnego pozycjonowania (lokalizowania) jednostek; stacja referencyjna jest zlokalizowana w stałym punkcie kontrolnym o znanych współrzędnych i wysyła poprawki do pozycji w formacie RTCM104, co pozwala na wyznaczenie pozycji jednostki śródlądowej metodą różnicową (DGPS)
- system kontroli ruchu statków, taki jak śródlądowy AIS (Automatic Identification System),
- system video monitoringu,
- komputer klasy PC z urządzeniami do komunikacji ruchomej (GSM) wraz z połączeniem internetowym w celu elektronicznego raportowania.

Tego rodzaju wyposażenie umożliwia otrzymywanie wiarygodnych i bardzo szybko uaktualnianych informacji, które dotyczą parametrów ruchu jednostek żeglugi śródlądowej.

Inland ECDIS ułatwia i podnosi bezpieczeństwo żeglugi, ze względu na możliwość przedstawienia na jednym ekranie obrazu sytuacji nawodnej uzyskanej za pomocą radaru, sytuacji topograficznej i batymetrycznej zawartej na mapie oraz informacji pozycyjnej pochodzącej z nawigacyjnych systemów pozycyjnych (Weintrit, Morgaś, 2004). Zasadniczą zaletą tych map jest przystępna prezentacja informacji w sposób graficzny oraz możliwość nałożenia obrazu radarowego, dzięki czemu otrzymano na wspólnym ekranie zarówno

statyczne elementy mapy, jak i ruchome obiekty śledzone przez radar. Mapa ta stanowi podstawę perspektywicznego systemu określania pozycji. Taki system może stanowić niezależny układ, który może być uzupełnieniem i rozszerzeniem okrętowego systemu antykolizyjnego, bądź też może stanowić moduł zintegrowanego systemu nawigacyjnego.



Rys. 1.10 Efekt nałożenia obrazu radarowego na mapę. Źródło: (Jagniszczak, 2001).

Stanowiska operatorów Centrum stanowią zintegrowane moduły do obsługi zarówno informacji fonicznych, jak i obsługi danych cyfrowych wprowadzanych do komputera. Aktualnie komunikacja pomiędzy jednostkami żeglugi śródlądowej oraz stacjami brzegowymi jest realizowana przez użycie radiotelefonów, telefonów komórkowych oraz innych urządzeń służących do transmisji danych, na przykład przy pomocy radiotelefonu UKF, który jest standardem od wielu lat. Informacje związane z bezpieczeństwem żeglugi muszą być przesyłane w czasie rzeczywistym i podlegać szybkiemu uaktualnianiu. Podstawowym zadaniem jakie musi spełniać system łączności radiowo – telefonicznej w Centrum jest niezawodna obsługa połączeń fonicznych pomiędzy operatorami Centrum, a jednostkami śródlądowymi znajdującymi się na torze wodnym, jak również z centrami odpowiednich służb ratowniczych. Zastosowane w systemie rozwiązania techniczno – informatyczne pozwolą także na realizację szeregu dodatkowych zadań, takich jak rejestracja informacji fonicznych, czy identyfikacja rozmówcy. Zintegrowanie systemu łączności zostało rozwiązane przez zastosowanie sterownika sygnału przychodzącego z centrali telefonicznej, który spełnia funkcję interfejsu pomiędzy terminalami, a polem komutacyjnym i układem sygnalizacyjnym (Kwiecień, 2004).

Zastosowanie transponderów AIS, które pozwalają na identyfikację i prezentację pozycji statków poza zasięgiem radaru powoduje poprawę poziomu bezpieczeństwa żeglugi oraz zwiększają tym samym możliwości przewozowe. Będzie to możliwe dzięki szybkiemu nawiązaniu kontaktu pomiędzy jednostkami żeglugi śródlądowej, przez co będzie można zachować odpowiednie odległości podczas wyprzedzania, czy mijania statków, a to pozwoli

na lepsze wykorzystanie szerokości torów wodnych. Odbiorniki nawigacyjne systemu DGPS oraz urządzenia AIS pozwolą na bezpośrednie przekazywanie danych o pozycji statku oraz parametrach jego ruchu do stacji brzegowych i innych jednostek śródlądowych.

W założeniach projektu uwzględniono także możliwość stałego wizyjnego monitorowania wybranych fragmentów (w strategicznych punktach) toru wodnego. Zadanie to w przyjętym rozwiązaniu będzie realizowane przez system video monitoringu. Obraz z kamer będzie widoczny na stanowisku operatora Centrum. Zadaniem internetowego portalu www jest zapewnienie zdalnego dostępu do danych ekonomicznych (np. taryf cenowych) dla klientów. Zaś zwrotny kanał komunikacyjny zapewnia możliwość uwzględniania aktualnych zapotrzebowań i żądań klientów.

Kontrolę nad zintegrowanym systemem monitorowania jednostek śródlądowych pełni komputer na stanowisku operatora w Centrum, w którym istnieje możliwość zlokalizowania miejsca zdarzenia na mapie. Specjalne oprogramowanie pozwala operatorowi wizualizować na mapie położenie wybranych jednostek w czasie rzeczywistym. Komputer stanowi narzędzie, które ukazuje końcowy efekt integracji następujących technik pomiarowo – kontrolnych, do których zalicza się: łączność telekomunikacyjną, ECDIS, AIS, DGPS i video monitoring z systemem informacji przestrzennej. Tego rodzaju urządzenia pozwalają na uzyskiwanie wiarygodnych i szybko uaktualnianych informacji dotyczących pozycji, kursu i prędkości jednostki oraz warunków żeglugowych. Prezentowany system poprzez integrację modułów zaprezentowanych na poniższym schemacie (rys. 1.11) stanowić będzie cenne narzędzie wspomagające realizację procedur związanych z zabezpieczaniem ruchu w transporcie śródlądowym. Dlatego utworzenie rzeczno-serwisu informacyjnego (RIS) ma ogromne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa i poprawy wydajności żeglugi śródlądowej (Willems, 2001, Troegl, 2003). Do zadań systemu należy:

1) gromadzenie, przetwarzanie i udostępnianie informacji, mających wpływ na:

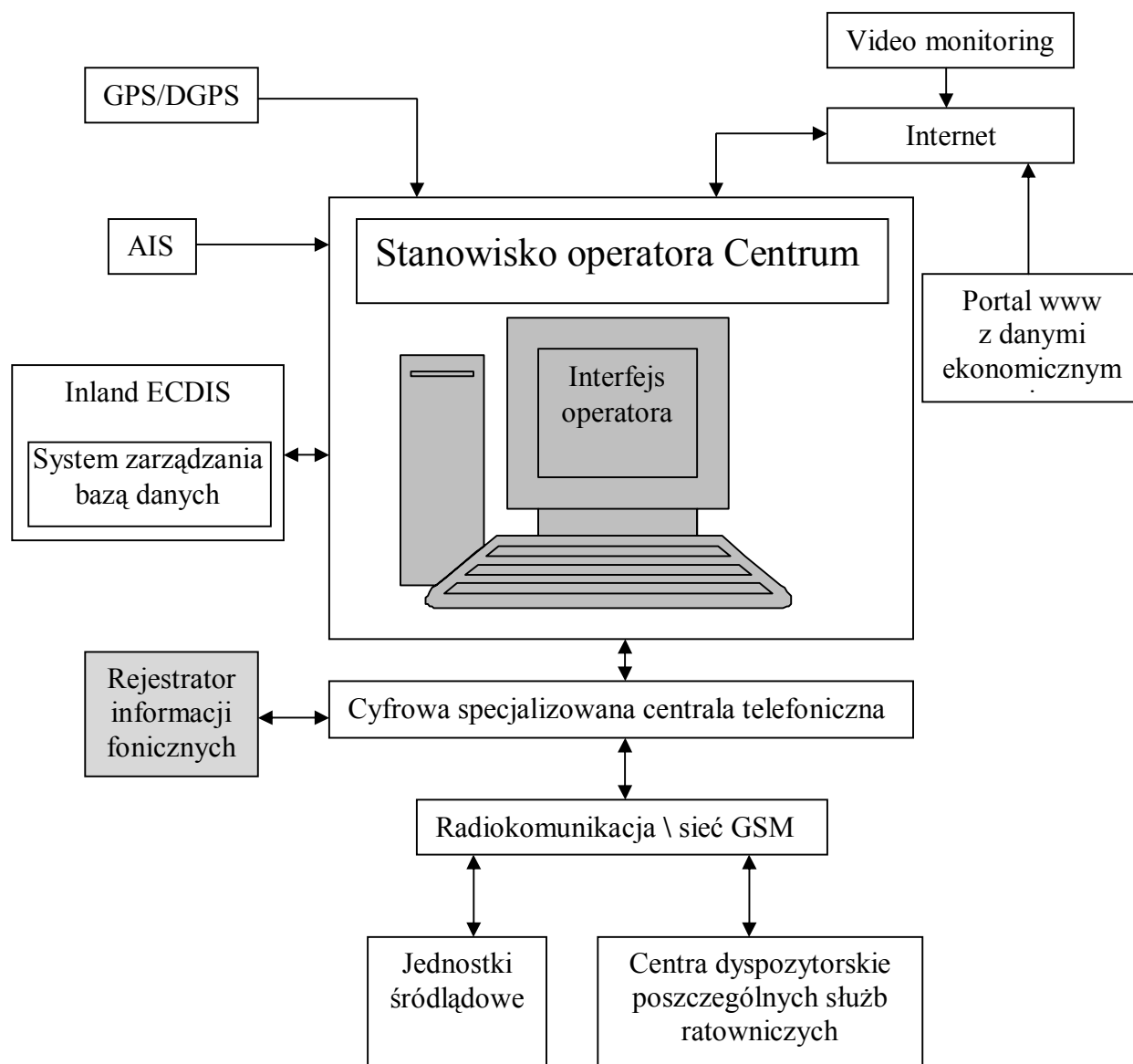
- warunki żeglugowe, w tym informacji geograficznych, hydrologicznych i administracyjnych (informacje o drogach wodnych),
- podejmowanie działań dotyczących aktualnej sytuacji żeglugowej w ruchu lokalnym (taktyczne informacje o ruchu),
- podejmowanie działań średnio i długoterminowych przez użytkowników RIS (strategiczne informacje o ruchu).

2) podejmowanie działań, które umożliwiają:

- użytkownikom RIS dostęp do elektronicznych map nawigacyjnych,

- udostępnianie elektronicznych raportów ze statków, zawierających dane dotyczące statku oraz przewożonych towarów.

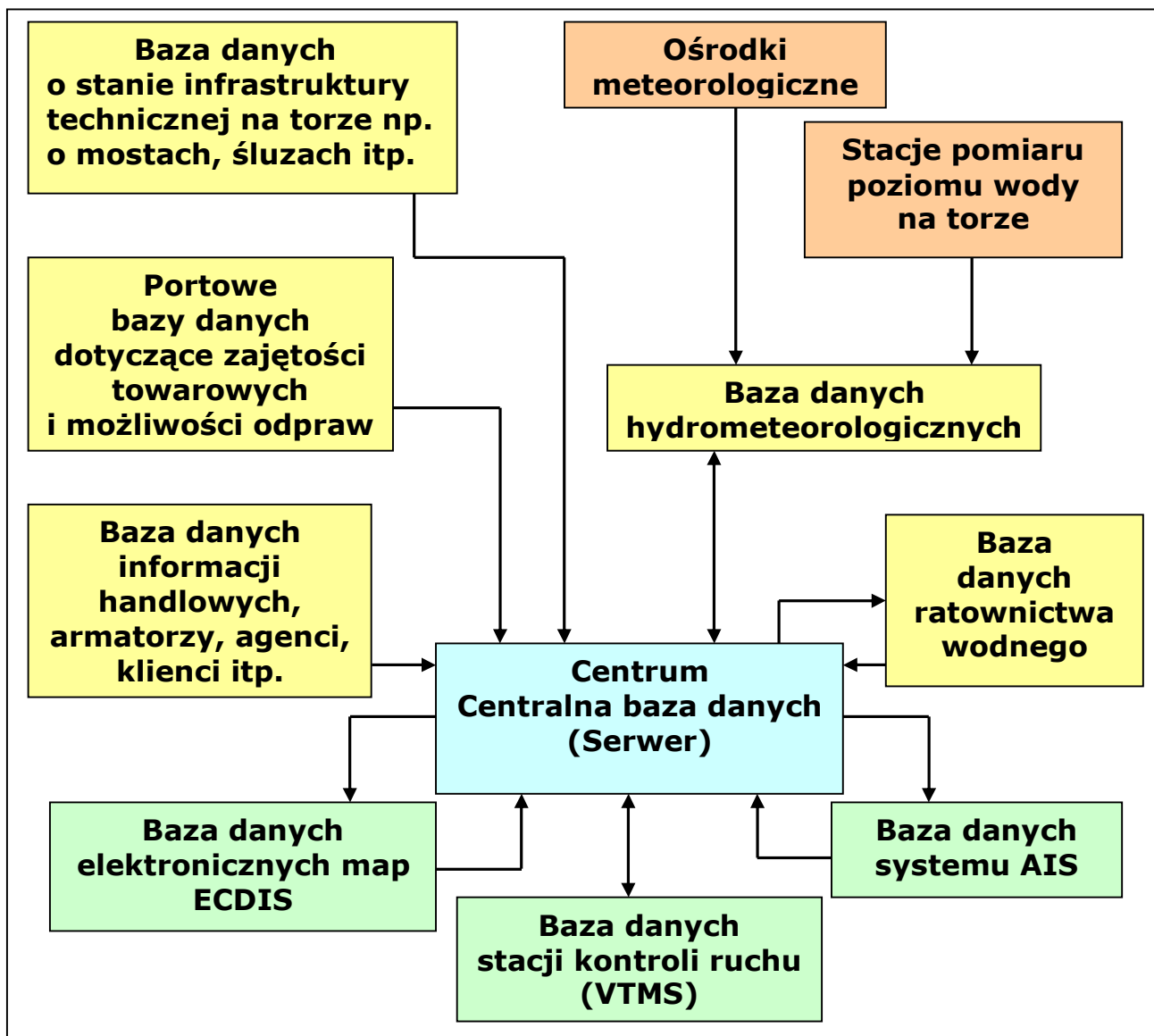
3) podejmowanie działań marketingowych promujących transport śródlądowy, w którym bezpieczeństwo zapewnia korzystanie z RIS.



Rys. 1.11 Ogólna koncepcja integracji informacji w systemie. Źródło: Opracowanie własne. Środowisko systemu jest zorientowane na wspomaganie pracy rozproszonego zespołu ludzkiego do zarządzania transportem śródlądowym. Zasadniczą częścią systemu jest stanowisko operatora Centrum. Jest on odpowiedzialny za analizę i zdalne udostępnianie informacji odpowiednim jednostkom śródlądowym o aktualnej sytuacji na akwenie. System powinien posiadać wygodny i intuicyjny interfejs oraz wielopoziomowy system autoryzacji i kontroli dostępu. Poprzez integrację danych z różnych źródeł o stanie terenu i aktualnego

ruchu możliwe staje się podjęcie odpowiedniej decyzji przez operatora systemu dla uniknięcia kolizji lub innych niebezpiecznych sytuacji.

Efekt integracji systemu łączności radiowo – telekomunikacyjnej, satelitarnego systemu globalnego pozycjonowania (GPS), systemu ECDIS oraz systemu video monitoringu jest widoczny w jednym środowisku komputerowym poprzez interfejs użytkownika na stanowisku operatora Centrum. Interfejs użytkownika umożliwia wybór sposobu wyświetlania informacji z różnych źródeł danych dostępnych w systemie. Przedstawiony system wspomagania decyzji jest jednym z przejawów nowego kierunku rozwoju systemów informacji przestrzennej, jakim jest telegeoprocessing. Moduł zarządzania bazą danych (rys. 1.12) odpowiedzialny jest za przechowywanie, utrzymanie i aktualizowanie różnego rodzaju danych, stanowiąc interfejs pomiędzy bazą danych, a pozostałymi modułami systemu.



Rys.1.12 Przedstawia strukturę baz danych rzeczno systemu informacyjnego. Źródło: opracowanie własne.

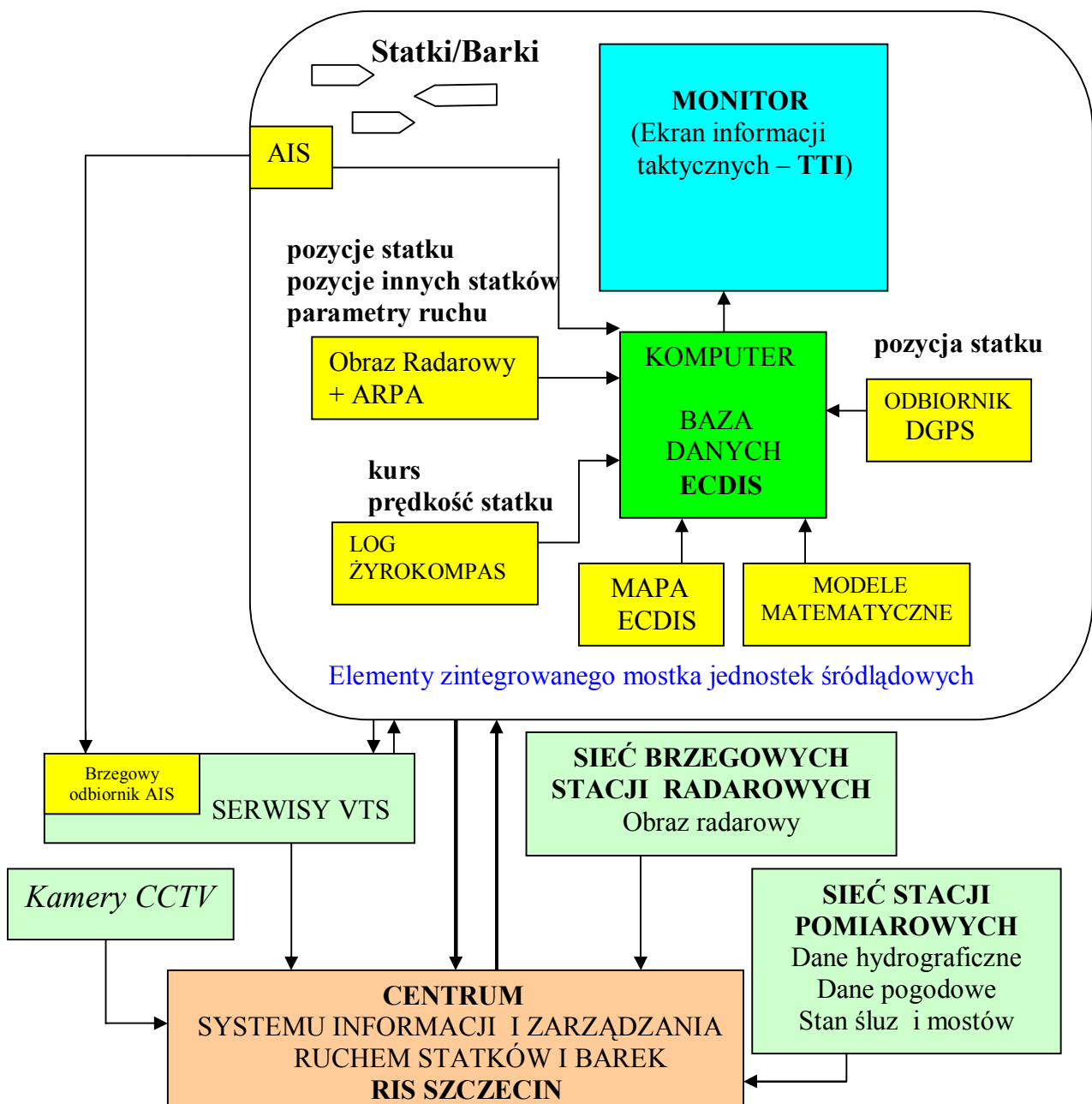
W warunkach szybkiego rozwoju technik informatycznych pojawiają się nowe możliwości wykorzystania tych systemów jako narzędzie wspomagające działania z zakresu różnych dziedzin życia. Uruchomienie systemu powinno doprowadzić do:

- podniesienia poziomu bezpieczeństwa nawigacji na drogach śródlądowych,
- promocji wodnego transportu śródlądowego jako możliwości obniżenia kosztów związanych z usługami transportowymi, czyli zwiększenia korzyści ekonomicznych,
- zmniejszenia poziomu emisji spalin i poziomu hałasu, czyli zwiększenia stopnia ochrony środowiska naturalnego,
- zwiększenia stopnia niezawodności wodnego transportu śródlądowego,
- zmniejszenia wydatków związanych z kontrolą ruchu statków,
- zmniejszenia wydatków na ewentualne akcje ratownicze lub strat spowodowanych wypadkami z powodu nieprzewidzianych zdarzeń,
- poprawy efektywności usług transportowych i logistycznych poprzez sprawną wymianę informacji pomiędzy wszystkimi użytkownikami.

Poprzez integrację źródeł danych o aktualnej sytuacji na akwenu i zdalnego udostępniania informacji, system ten będzie stanowić bezcenne narzędzie wspomagające realizację procedur zabezpieczania przed ewentualnymi zagrożeniami występującymi na torze wodnym. System pozwoli na podejmowanie właściwych decyzji dotyczących regulacji ruchu, prowadzenia nawigacji i taktyki manewrowania na danym odcinku rzeki. Taka integracja systemów nawigacji, komunikacji oraz przepływu informacji wpłynie na:

1. Poprawę bezpieczeństwa żeglugi poprzez:
 - wykorzystanie możliwości określania pozycji, kursu i prędkości jednostek śródlądowych,
 - wykorzystanie przekazu pozycji statku określonej systemem DGPS i przekazywanej za pomocą transponderów AIS, co pozwala na dokonywanie odpowiednich korekt trajektorii drogi statku,
 - zastosowanie wyświetlaczy informacji pozwala na otrzymywanie ważnych informacji, ostrzeżeń i alarmów w czasie rzeczywistym,
 - przekazywanie większej ilości informacji wpływa na poszerzenie wiedzy o aktualnym otoczeniu.
2. Odciążenie pracy nawigatora związanej z kierowaniem jednostką oraz prowadzeniem uważnej obserwacji i komunikacji z innymi uczestnikami ruchu poprzez:
 - integrację informacji pozwalającej na zautomatyzowanie wielu zadań,

- ergonomiczną budowę mostka statku i takie rozmieszczenie urządzeń, które pozwoli na łatwy dostęp do narzędzi egzekucji poleceń i wizualizację potrzebnych informacji,
 - wprowadzenie nowego systemu szkolenia i kursów, podnoszących kwalifikacje i umiejętności zatrudnionego personelu.
3. Poprawę zabezpieczenia logistycznego i zwiększenia zysków poprzez:
- integrację informacji pozwalającej na optymalizację kosztów, czasu i wypracowania korzystniejszego rachunku ekonomicznego,
 - wykorzystanie dokładniejszej i obszerniejszej informacji pozwalającej na wydajniejsze kierowanie zapleczem logistycznym.



Rys. 1.13 Schemat modelu rzecznoego systemu informacyjnego. Źródło: opracowanie własne.

Należy zwrócić uwagę, iż wiele z opisywanych rozwiązań już dziś znajduje zastosowanie i jest powszechnie wprowadzane w życie przyczyniając się do poprawy konkurencyjności i niezawodności tej formy transportu w całej Europie. Wyposażenie jednostek w tego rodzaju urządzenia pozwala na autonomiczne prowadzenie żeglugi oraz szybką identyfikację i monitorowanie ruchu jednostek. Wprowadzenie takiego sprzętu podniesie zdecydowanie jakość komunikacji, bezpieczeństwo nawigacji i dostępność do wszystkich informacji. Niewątpliwie możliwości rozwojowe wiążą się z wprowadzeniem zaawansowanych technologii, które wspierają podniesienie bezpieczeństwa ruchu jednostek pływających na tym trudnym do przemieszczania się obszarze. Konieczności rozwojowe wiążą się również ze wzrostem ruchu statków, który jest spowodowany dużymi korzyściami wynikającymi z przeniesienia transportu towarów na ten środek lokomocji. Podstawową zaletą są niższe koszty transportu, co skutkuje wyższymi korzyściami ekonomicznymi. Jednak, aby było możliwe przeniesienie znacznego ruchu towarowego konieczne są systemy, które zadbają o bezpieczeństwo żeglugi. Spowoduje to znaczne obniżenie kolizyjności statków i barek, a co za tym idzie ochronę wartości materialnych oraz bezpieczeństwo zdrowia i życia ludzkiego. Również dodatkowymi zaletami jest mniejsze zanieczyszczanie środowiska oraz poprawa warunków życia ludności, choćby przez obniżenie hałasu komunikacyjnego. Wprowadzenie systemu informacyjnego wymaga objęcia pełnym nadzorem wszystkich etapów przemieszczania się jednostek pływających. Aktualnie żegluga śródlądowa jest postrzegana jako ten obszar, przed którym istnieje olbrzymia szansa na znaczny rozwój usług transportowych. Obecne urządzenia teleinformatyczne stosowane w żegludze śródlądowej zawierają nowoczesne rozwiązania techniczne i wprowadzają nowe możliwości podnoszenia bezpieczeństwa jednostki śródlądowej na akwenie. Ich wykorzystanie znacznie ułatwi pracę operatorom nowoczesnych systemów kontroli i zarządzania ruchem, takich jak RIS. Jednak operatorzy tych systemów będą musieli posiadać dużą wiedzę i umiejętności w sprawnym posługiwaniu się nowoczesną techniką komputerową, na której będą opierały się rzeczne systemy informacyjne (RIS).

Rozdział 2

Model systemu wspomagania decyzji operatora/użytkownika RIS

Ochrona ludności i przewożonych towarów przed różnego rodzaju zagrożeniami w żegludze śródlądowej wymaga obecnie podejmowania zdecydowanych i skutecznych działań. Powstające zaawansowane technologicznie narzędzia z dziedziny technologii informacyjnych i komunikacyjnych coraz skuteczniej pomagają przewidywać możliwość wystąpienia zagrożeń oraz wspomagają podejmowanie działań, które pozwolą na ich unikanie lub minimalizację ich ewentualnych skutków. W chwili obecnej faktem jest rozwój żeglugi śródlądowej (Broeke, 2002). Jednak, aby w pełni wykorzystać ten rodzaj transportu, jak ma to miejsce w państwach Europy Zachodniej należy stworzyć ku temu odpowiednie warunki. Należy rozbudować i zmodernizować istniejącą infrastrukturę oraz poprawić warunki hydrologiczne, w tym dostosować głębokość żeglugową. Innym równie istotnym i bezsprzecznym warunkiem koniecznym do rozwoju żeglugi śródlądowej jest wprowadzenie (uruchomienie) rzeczno systemu informacyjnego (RIS), obecnie dla rejonu Dolnej Odry (Dz.U. z 2001 r. nr 98, poz. 1067). W związku z potrzebą podniesienia stanu bezpieczeństwa żeglugi śródlądowej powstała idea zbudowania systemu bezpieczeństwa RIS w oparciu o istniejącą mapę numeryczną terenu integrując ją z nowoczesnymi środkami cyfrowej łączności radiowej i telekomunikacyjnej, satelitarnym systemem globalnego pozycjonowania GPS/DGPS oraz systemem video monitoringu. Technologia ta przyczynia się do usprawnienia łączności oraz dostarczenia wszystkich niezbędnych informacji potrzebnych w procesie zarządzania ruchem. Operator Centrum rzeczno systemu informacyjnego (RIS) zapewnia koordynację w planowaniu i zarządzaniu ruchem na torze wodnym, a gdy zajdzie taka potrzeba również koordynację poszczególnych służb ratowniczych. Do zadań projektu RIS należy opracowanie technologii integrującej system informacji przestrzennej z systemem telekomunikacyjnym oraz zautomatyzowanie procesu śledzenia i zarządzania ruchem jednostek śródlądowych. Niewątpliwie do realizacji tych zadań spełniając wszelkie założenia i cele doskonale nadaje się system wspomagania decyzji operatora/użytkownika RIS.

2.1 Założenia do modelu

Rzeczywistość jest bardzo złożona i skomplikowana. Ogromna liczba zdarzeń oraz czynników, które ją kształtują jak również tempo zmian i konieczność podejmowania bardzo

różnorodnych decyzji sprawia, że bezpośrednio wyciąganie wniosków i badanie na tej podstawie zależności jest silnie utrudnione lub wręcz niemożliwe. Dlatego też istnieje konieczność odwoływania się do modeli. Narzędziem umożliwiającym stworzenie syntetycznego obrazu zjawisk zachodzących w rzeczywistości jest model matematyczny. Po przyjęciu niezbędnych założeń upraszczających rzeczywistość można zbudować model i analizować zachodzące w nim powiązania pomiędzy zmiennymi. Z charakteru tych powiązań oraz występujących między nimi prawidłowości można wnioskować o zachowaniu obiektu w rzeczywistości. Ogromną korzyścią jest możliwość dokonywania eksperymentów bez zbędnych kosztów.

Model jest uproszczonym wyjaśnieniem jak dany obiekt badań lub też jego fragment funkcjonuje lub funkcjonowałby w określonych warunkach. Modele są odzwierciedleniem tego, co ważne i główne, z pominięciem tego co mniej istotne lub przypadkowe (uboczne). Powtarzalna rzeczywistość weryfikuje teorie, gdyż dobra teoria to nic innego jak zestaw praw i prawidłowości służących do oceny, czy wyjaśniania zaobserwowanych zjawisk. Model przedstawia następującą wiedzę:

- strukturę obiektu badań,
- wartości parametrów, które mają wpływ na obiekt,
- stan układu w pewnej chwili t.

Do etapów budowy modelu zalicza się:

- określenie parametrów opisujących obiekt badań,
- określenie ograniczeń (warunków ograniczających) narzuconych na wielkości, które charakteryzują obiekt badań,
- określenie matematycznego modelu lub funkcji obiektu badań,
- określenie funkcji celu lub kryterium optymalizacji.

W kontekście utworzenia systemu RIS wartościową pomocą są wszelkiego rodzaju, oparte na zaawansowanych technologiach, narzędzia do szczegółowego monitorowania aktualnych zagrożeń, analizowania i przewidywania sytuacji oraz szybkiego (efektywnego) udostępniania otrzymywanych wyników odpowiednim jednostkom śródlądowym. Zadania takie spełniają systemy wspomaganie decyzji, które dzięki takiej funkcjonalności odpowiadają za bezpieczeństwo ruchu na torze wodnym. Aby systemy te odpowiednio realizowały swoje zadania niezbędnym ich elementem jest moduł bazy wiedzy, który określa procesy decyzyjne, czyli wnioski z analizowanej aktualnie sytuacji nawigacyjnej panującej na akwenu. Dlatego w celu zbudowania systemu wspomaganie decyzji niezbędne jest w pierwszej kolejności ustalenie zasad analizy, pomiaru i oceny zaistniałej sytuacji, która w

ciągły sposób ulega zmianie. W pracy zasady oceny sytuacji geoprzestrzennej oparto na koncepcji dynamicznej, czyli zmiennej w czasie domeny trójwymiarowej. Na jej podstawie określono metody identyfikacji zagrożenia dla jednostki śródlądowej manewrującej na akwenu ograniczonym w trzech wymiarach.

Identyfikacja parametrów modelu:

- a) Parametry akwenu (długość i szerokość odcinka toru – dla długości podział drogi wodnej na jednakowe, co do parametrów odcinki toru, np. na odcinku Szczecin – Świnoujście wyznaczono 13 odcinków toru o zmieniających się parametrach, które mają wpływ na warunki ruchu, a dla szerokości ograniczenie brzegiem lub wyznaczonym pasem ruchu. Innym bardzo ważnym parametrem w innej płaszczyźnie jest poziom wody (głębokość) w danym rejonie (izobaty)),
- b) Parametry jednostki (długość, szerokość, wysokość, zanurzenie) – są istotnym (podstawowym) czynnikiem uwzględnianym w ocenie sytuacji nawigacyjnej na akwenu ograniczonym,
- c) Możliwości manewrowe jednostki (prędkość, zwrotność, stateczność, akceleracja i hamowanie),
- d) Parametry systemu określania pozycji (pozycja, kurs, prędkość oraz wzajemne położenie pomiędzy jednostkami (odległość pomiędzy jednostką własną, a obiektem obcym – inną jednostką, mostem, płycizną itd.),
- e) Parametry obiektu obcego (długość, szerokość, zanurzenie -> dla jednostki; wysokość, prześwit -> dla mostu; zajmowany obszar (izobaty) -> dla płycizny),
- f) Warunki hydrologiczne ze szczególnym uwzględnieniem poziomu wody (stan wody, prądy, izobaty, falowanie, zalodzenie, przeszkody nawigacyjne)
- g) Warunki meteorologiczne (wiatr, widzialność, itp., w systemie można zastosować zbiory rozmyte do określania warunków dla ruchu, a następnie przeprowadzić kodowanie wniosków ze skrajnymi ocenami – warunki niekorzystne – 1 (wstrzymać ruch), warunki korzystne – 0 (bez przeciwwskazań)).

2.1.1 Parametry akwenu

Na bezpieczeństwo nawigacji mają wpływ ograniczenia akwenu zarówno w płaszczyźnie pionowej jak i poziomej. Ograniczenia akwenu w płaszczyźnie pionowej i poziomej:

- **w płaszczyźnie pionowej**

- głębokość (wahania poziomu wody, aktualny poziom wody w momencie czasu t),

- wysokość, gdy występuje ograniczenie przez obiekt obcy np. most.

Na akwenach dostępnych dla żeglugi statków oraz barek ograniczenia pionowe są prezentowane w postaci zbiorów głębokości H . Akwen będzie przedstawiony w postaci zbioru głębokości w momencie t w kartezjańskim układzie współrzędnych.

$$h(x, y, t) \in H(t) \quad (2.1)$$

gdzie:

- x, y – współrzędne
- t – moment czasu
- $h(x, y, t)$ – aktualna głębokość akwenu w miejscu o współrzędnych x, y
i w momencie czasu t
- $H(t)$ – zbiór głębokości akwenu w momencie czasu t

Podstawowym problemem wynikającym z prowadzenia bezpiecznej żeglugi na akwenach ograniczonych jest zachowanie przez jednostki pływalskiej swobodnej, czyli braku zetknięcia kadłuba jednostki z dnem. W związku z tym musi być zachowany warunek, że zanurzenie statku T [m] musi być mniejsze od głębokości akwenu. Aby statek był w stanie pływalskiej swobodnej (brak zetknięcia z dnem) musi być spełniony następujący warunek:

$$\text{dla każdego } t \Rightarrow T(x, y, t) < h(x, y, t) \quad (2.2)$$

gdzie:

$T(x, y, t)$ – zanurzenie statku w punkcie x, y w momencie czasu t .

Jednak spełnienie warunku pływalskiej swobodnej nie jest jednoznaczne z spełnieniem warunku bezpieczeństwa nawigacji w płaszczyźnie pionowej akwenu. W celu bezpiecznego prowadzenia statku na danym akwenu musi być spełniony warunek bezpiecznej głębokości, czyli muszą być spełnione następujące warunki:

$$\text{dla każdego } t \Rightarrow T(x, y, t) < h(x, y, t) \quad (1) \text{ – jako warunek konieczny} \quad (2.3)$$

oraz

$$h(x, y, t) \geq T(x, y, t) + \Delta(x, y, t) \quad (2) \text{ – jako warunek wystarczający} \quad (2.4)$$

gdzie:

- $\Delta(x, y, t)$ – oznacza rezerwę wody pod stępką

Rezerwę wody pod stępką można obliczyć dla stanów przeszłych, ale również należy prognozować na podstawie aktualnej głębokości akwenu i przewidywanego zanurzenia jednostki na podstawie jej parametrów i doświadczenia.

$$h(x, y, t) - T(x, y, t) = \Delta(x, y, t) \quad (2.5)$$

$$\Delta(x, y, t) > 0$$

Dzięki badaniu warunku rezerwy wody pod stępką większej od zera będzie można wyznaczać obszar akwenu dostępnego dla danego typu jednostek. Szczegółowiej rezerwę wody pod stępką można podzielić na dwie części składowe, a mianowicie na rezerwę statyczną i rezerwę dynamiczną, co w konsekwencji daje równanie na bezpieczną głębokość akwenu:

$$h(x, y, t) \geq T(x, y, t) + \Delta_s(x, y, t) + \Delta_d(x, y, t) \quad (2.6)$$

gdzie:

- $\Delta_s(x, y, t)$ – statyczna rezerwa wody pod stępką [m], na którą składa się:
 - ⇒ rezerwa wody na błąd sondażu, zależna od głębokości akwenu. Przyjmuje się, że jej wartość dla głębokości akwenu do 4m wynosi 0,1m, a od głębokości 4 – 10m wynosi 0,15m (Jagniszczak, 2001).
 - ⇒ rezerwa nawigacyjna, spowodowana nieciągłością sondażu danych dotyczących głębokości i czystości dna. Zależy od rodzaju dna, gęstości i typu sondażu.

Tabela 2.1 Rezerwa nawigacyjna wody.

Lp.	Rodzaj akwenu i sondażu	Rodzaj dna	Rezerwa wody [m]
1	trałowany tor wodny	nie zależy	0,0
2	tor wodny i akwenu portowe, często wykonywane sondáže.	miękkie twarde	0,2 0,3
3	tory wodne i akwenu portowe, pozostałe przypadki sondáže.	miękkie twarde	0,3 0,4
4	podejścia do portów, zależy od gęstości sondáže.	miękkie twarde	0,5-0,8 0,7-1,0

Zródło: (Jagniszczak, 2001).

- ⇒ rezerwa na zamulenie, zależna od akwenu pływania oraz częstotliwości wykonywania sondáže. Wartość rezerwy mieści się w granicach 0,1 – 0,3m. Innym czynnikiem wpływającym na jej wartość jest gęstość mułu. Ustalono, że do gęstości 1,2 t/m³ powinna być podawana głębokość na mapach nawigacyjnych (Galor, 1999).
- ⇒ rezerwa wody na błąd określania wysokości pływu dotyczy rejonów występowania zjawiska pływów i wynosi 0,1m.
- ⇒ rezerwa na błąd określania stanu wody, spowodowana wahaniami poziomu wody, w żegludze śródlądowej odgrywa istotną rolę w ocenie poziomu bezpieczeństwa żeglugi.

Decydujący wpływ na wahania poziomu wody w kanałach i rzekach mają spiętrzenia powodziowe, występujące silne wiatry oraz okresy bezopadowe. Poziomy wody mogą się

różnic w granicach $\pm 2,0\text{m}$. Na kanałach i rzekach wyposażonych w systemy pomiaru poziomu wody rezerwa na błąd określenia stanu wody jest określana przez instytucje kontrolujące. W zależności od wahań poziomu wody przyjmuje się następujące wartości rezerwy na błąd określania poziomu wody:

- na akwenach o małych wahaniami poziomu wody - 0,1m,
- na akwenach o dużych wahaniami poziomu wody przy prognozach co 4 h – 0,2m
- na akwenach o dużych wahaniami poziomu wody przy prognozach co 24 h – od 0,2m do 0,5m.

⇒ rezerwa na błąd oceny przechyłu statku wynika z nieprawidłowego załadowania statku/barkii oraz z trudności utrzymania statku w linii pionu w czasie zmiany kursu. Wielkość rezerwy można obliczyć wykorzystując następujące równanie (Guddal, 1996):

$$\Delta_{s(ps)} = 0,00875 \cdot B \cdot \alpha \quad (2.7)$$

gdzie: $\Delta_{s(ps)}$ – rezerwa na błąd oceny przechyłu statku [m],

B – szerokość statku [m],

α – kąt przechyłu [°].

- $\Delta_d(x, y, t)$ – dynamiczna rezerwa wody pod stępką [m], która jest zmienna i zależy od parametrów akwenu i jednostki oraz warunków pogodowych, dzieli się na dwie składowe:

⇒ rezerwa wody na osiadanie statku/barkii uzależniona od prędkości i zanurzenia jednostki oraz głębokości akwenu jest określana wieloma metodami. Na rzekach i kanałach ograniczonych z obu burt wartość osiadania określa się metodą Barrasa:

$$\Delta_{d(os)} = 0,02 \cdot V^2 \cdot \beta \text{ [m]} \quad (2.8)$$

gdzie: $\Delta_{d(os)}$ – rezerwa na osiadanie statku w ruchu,

V – prędkość statku/barkii [węzły],

β – współczynnik pełnotliwości owręża.

Zakres stosowania tego równania limitują dwa warunki (Łubczonek, 2004):

$$h(x, y, t) \setminus T(x, y, t) \geq 1,2 \quad (2.9)$$

$$0,06 \leq F_8 \setminus F_k \leq 0,3 \quad (2.10)$$

gdzie: F_8 – powierzchnia przekroju owręża zanurzonej części kadłuba [m],

F_k – powierzchnia przekroju podwodnej części rzeki, kanału [m].

⇒ rezerwa związana z zjawiskiem falowania zależy od parametrów:

- falowania (wysokość i długość fali oraz kąta nabiegania fali),

- jednostki ruchu (długość, szerokość i prędkość).

Wartość rezerwy dla statku nieruchomego można obliczyć wykorzystując równanie:

$$\Delta_{d(f)} = k \cdot h_f \quad [\text{m}] \quad (2.11)$$

gdzie: $\Delta_{d(f)}$ – rezerwa wody na falowanie,

h_f – wysokość fali [m],

k – współczynnik, który zależy od stosunku szerokości i długości statku do długości i kąta kursowego nabiegania fali. Współczynnik ten przybiera wartości w granicach 0,33 – 0,66.

- **w płaszczyźnie poziomej**

- szerokość akwenu – jako szerokość bezpiecznego obszaru manewrowego

- rozkład głębokości w płaszczyźnie poziomej (izobaty)

- kształt dostępnego akwenu

Statek może bezpiecznie manewrować jedynie na akwenu, który w każdym punkcie spełnia warunek wymaganej głębokości (płaszczyzna pionowa). Akwen taki nazywany jest dostępnym akwenu żegludowym. Natomiast, aby wyznaczyć tzw. bezpieczny akwen manewrowy muszą być spełnione dodatkowo warunki w płaszczyźnie poziomej. Chodzi tu o obszar zajmowany przez kolejne położenia statku na akwenu. Wielkość tego obszaru ma charakter losowy i zależy od wielu różnorodnych czynników, do których zalicza się: parametry statku, zbiór dostępnych rodzajów manewrów i panujące aktualnie warunki hydrometeorologiczne. Na tym obszarze statki mogą wykonywać bezpiecznie manewry. W żegludzie śródlądowej prowadzonej głównie na rzekach, jeziorach i kanałach podstawowym kryterium oceny bezpieczeństwa ruchu w tej płaszczyźnie jest określenie szerokości pasa ruchu. Jest to odległość pomiędzy maksymalnymi odchyleniami skrajnych punktów statku od zaplanowanej drogi. W związku z tym szerokość toru wodnego powinna być równa lub większa od pasa ruchu zapewniającego bezpieczny ruch jednostek. Najpopularniejszą metodą wyznaczania bezpiecznej szerokości toru dla ruchu jest metoda PIANC (Permanent International Association of Navigation Congresses) (Jurdziński, 1999):

$$d = d_m + \sum d_i + d_{rz} + d_{rc} \quad (2.12)$$

gdzie:

d_m – podstawowa szerokość manewrowa pasa ruchu [m],

d_i – dodatkowe poprawki szerokości pasa ruchu ze względu na:

$i = 1$ – prędkość statku, $i = 2$ – wiatr poprzeczny, $i = 3$ – prąd poprzeczny, $i = 4$ – prąd wzdłużny, $i = 5$ – wysokość i długość fali, $i = 6$ – rodzaju dna, $i = 7$ – stosunku głębokości do zanurzenia statku, $i = 8$ – systemu regulacji ruchu i oznakowania, $i = 9$ – rodzaj ładunku.

d_{rz} – rezerwa szerokości pasa ruchu po stronie lewej (czerwonej) [m],

d_{rc} – rezerwa szerokości pasa ruchu po stronie prawej (zielonej) [m].

Podstawowa szerokość manewrowa pasa ruchu określana jest w zależności od sterowności statku:

$d_m = 1,3 B$ przy bardzo dobrej sterowności,

$d_m = 1,5 B$ przy dobrej sterowności,

$d_m = 1,8 B$ przy słabej sterowności.

Dodatkowe poprawki szerokości pasa ruchu są wyznaczane doświadczalnie, a ich wartości są określone w zależności do szerokości statku. Natomiast rezerwa szerokości pasa ruchu zależy od prędkości statku i wynosi dla $V < 12 \text{ w} \rightarrow 0,3 B$, a dla $V > 12 \text{ w} \rightarrow 0,5 B$.

2.1.2 Parametry jednostek i ich właściwości manewrowe

Na bezpieczeństwo ruchu niewątpliwie mają wpływ parametry i właściwości manewrowe statku. Do parametrów jednostki zalicza się jej wielkość, która nie jest pojęciem jednowymiarowym i może być określana wieloma parametrami. W systemach sterowania i zarządzania ruchem statków w rejonach przybrzeżnych oraz żegludze śródlądowej najczęściej wielkość statku/barki jest określana następującymi parametrami jednostek ruchu:

- długość (L),
- szerokość (B),
- zanurzenie (T),
- wysokość statku ponad poziom wody (H_s),
- powierzchnie nawiewu (nadwodne),
- powierzchnie opływu (podwodne),
- wyporność, nośność (DWT),
- pojemność brutto (GT), pojemność netto (NT).

Długość statku (L) decyduje o wielkości bezpiecznego akwenu manewrowego szczególnie na zakolach torów wodnych, obrotnicach, kotwiczowiskach i wejściach do portu. Z długością również ściśle związane są charakterystyki manewrowe statku. Podobne znaczenie dla wielkości bezpiecznych akwenów manewrowych i właściwości manewrowych statku ma jego szerokość konstrukcyjna (B). Oba te parametry bezpośrednio wpływają na ograniczenia akwenu w płaszczyźnie poziomej i wymiarze określającym długość toru wodnego. Zanurzenie statku (T), czyli aktualne zanurzenie jednostki w czasie t decyduje o spełnieniu podstawowego warunku bezpieczeństwa na akwenach ograniczonych w płaszczyźnie

pionowej. Do określenia całości płaszczyzny pionowej należy jeszcze uwzględnić wysokość statku ponad poziom wody, co warunkuje bezpieczne przejście jednostki pod takimi konstrukcjami jak mosty, czy linie wysokiego napięcia. Warunki do spełnienia są takie same jak przy zanurzeniu i głębokości, z tym że funkcje te analogicznie spełnia wysokość i prześwit pod odpowiednimi konstrukcjami. Natomiast powierzchnie nawiewu (nadwodne) i opływu (podwodne) warunkują bezpieczeństwo ze względu występowania różnych warunków hydrometeorologicznych. Powierzchnie nadwodne, czołowa i boczna wpływa na ruch w przypadku działania na statek wiatru, który powoduje jego dryf i przechył. Wielkość tych zjawisk zależy od prędkości wiatru, kąta nawiewu i wielkości omawianych powierzchni. Zjawiska te mają wpływ na wielkość bezpiecznego akwenu manewrowego oraz na zapas wody pod stępką. Powierzchnie podwodne mają takie same znaczenie, ale w przypadku występowania prądów wodnych. Wyporność, nośność i pojemność są ze sobą związane i charakteryzują wielkość różnych typów statków. Wyporność określa jaka masa wody została wyparta przez kadłub statku i przez to bezpośrednio wpływa na charakterystyki manewrowe, takie jak hamowanie i akceleracja. Pojemność netto (NT) jest miarą pojemności użytkowej, zaś pojemność brutto (GT) jest miarą całkowitej wielkości statku.

W celu określenia właściwości manewrowych statku oraz jego dynamiki ruchu należy wykorzystać zarówno jego wymiary jak i konstrukcję oraz wyposażenie. Do podstawowych właściwości manewrowych jednostek stosowanych na akwenach ograniczonych zalicza się:

- prędkość (V),
- zwrotność statku,
- stateczność kursową statku,
- akcelerację i hamowanie.

Prędkość statku lub barki na torze podlega ograniczeniom:

$$V_{s \min} \leq V_s \leq V_{s \max} \quad (2.13)$$

gdzie:

V_s – prędkość statku na torze wodnym [w],

$V_{s \min}$ – minimalna manewrowa prędkość statku [w],

$V_{s \max}$ – maksymalna dopuszczalna prędkość statku [w].

Prędkość minimalna odpowiada prędkości, którą statek porusza się przy minimalnych obrotach silnika. Natomiast minimalna prędkość manewrowa (sterowna) dotyczy prędkości, przy której statek jeszcze reaguje na wychylenie płetwy sterowej. Maksymalna dopuszczalna prędkość statku na torach wodnych wynika z zasad sprawowania nadzoru nad ruchem statków

i na ogół jest określana odpowiednimi przepisami administracyjnymi w zależności od wymiarów statku, jego zanurzenia maksymalnego, pory dnia, widzialności, aktualnych warunków hydrometeorologicznych, czy rodzaju ładunku.

Ustalenie maksymalnej dopuszczalnej prędkości statku wynika z parametrów toru wodnego i w większości wypadków jest to wartość zmienna odpowiadająca wyznaczonym odcinkom torów. Dla każdego akwenu żeglugi odpowiedzialne władze administracyjne wyznaczają parametry „statku maksymalnego”. Jest to taki statek, którego co najmniej jeden parametr osiąga wartość maksymalną w danych warunkach nawigacyjnych. Dla celów implementacji budowanego modelu systemu wspomaganie decyzji na potrzeby RIS część parametrów charakterystycznych zostanie określona przez wartości rzeczywiste występujące na danym akwenu. Jako akwen testowy do weryfikacji zbudowanego modelu zostanie wykorzystany rejon Dolnej Odry. Na poszczególnych odcinkach dróg wodnych w tym rejonie dopuszcza się do żeglugi statki i zestawy, które nie mogą przekraczać określonych wymiarów.

Tabela 2.2 Maksymalne wymiary statków i zestawów dopuszczonych do ruchu w rejonie Dolnej Odry.

Lp.	Odcinek drogi wodnej	L _{max} m	B _{max} m	T _{max} M
1.	Rzeka Odra Wschodnia			
1.1.	Od km 704,1 do km 730,5			
	-statki	82	11,45	3,50
	-zestawy (pchane i sprzężone)	156	11,45	3,50
		137	18	3,50
2.	Rzeka Regalica			
2.1.	Od km 730,5 do km 733,5			
	-statki	82	11,45	4,00
	-zestawy (pchane i sprzężone)	156	11,45	4,00
		137	18	4,00
2.2.	Od km 733,5 do km 735,65			
	-statki	82	11,45	4,00
	-zestawy (pchane i sprzężone)	137	11,45	4,00
2.3.	Od km 735,65 do Jeziora Dąbie			
	-statki	82	11,45	4,00
	-zestawy(pchane i sprzężone)	156	11,45	4,00
		137	18	4,00
3.	Jezioro Dąbie – szlak główny			
	-statki	82	11,45	2,50
	-zestawy (pchane i sprzężone)	156	11,45	2,50
		137	18	2,50
4.	Rzeka Odra Zachodnia			
4.1.	Od km 17,1 do km 33.35			

4.2.	-statki	82	11,45	4,00
	-zestawy (pchane i sprzężone)	156	11,45	4,00
	Od km 33.35 do granicy morskich wód wewnętrznych	137	18	4,00
4.2.	-statki	82	10,00	4,00
	-zestawy (pchane i sprzężone)	125	10,00	4,00
5.	Rzeka Parnica i Przekop Parnicki			
	-statki	82	10,00	4,00
6.	-zestawy (pchane i sprzężone)	125	10,00	4,00
	Przekop Klucz –Ustowo			
6.	-statki	82	11,45	2,50
	-zestawy (pchane i sprzężone)	125	10,00	2,50

Źródło: www.rzgw.szczecin.pl.

Tabor towarowy barek eksploatowany jest niejako według dwóch systemów:

1. pchania (zestawy pchane):
 - Pchacz – 25m.
 - Zestaw pchacz + barka – 82m.
 - Zestaw pchacz + barka + barka – 144m.
2. barek z własnym napędem mechanicznym:
 - Barka motorowa – 57m.

Dopuszczalna prędkość statków w odniesieniu do brzegu drogi wodnej w tym rejonie nie może przekraczać:

- 1) na rzece Odrze Zachodniej, Przekopie Klucz-Ustowo i Przekopie Parnickim – 10 km/h,
- 2) na pozostałych drogach wodnych wymienionych powyżej i w § 1 ust 1 - 15 km/h.

Akceleracja, hamowanie swobodne i aktywne określają zarówno czas, jak i drogę potrzebną do osiągnięcia prędkości żądanej nastawy. Zwrotność ocenia się na podstawie czasu obrotu statku od 0° do 60° na lewą i prawą burtę, zaś stateczność kursową określa się za pomocą próby wężowej i spiralnej. Charakterystyki manewrowe wpływają na bezpieczeństwo ruchu i determinują wielkość wyznaczanych bezpiecznych akwenów manewrowych.

2.1.3 Warunki hydrometeorologiczne ze szczególnym uwzględnieniem poziomu wody

Zmienne warunki hydrologiczne oraz meteorologiczne powodują ograniczenia akwenu dostępnego dla żeglugi. Poziom bezpieczeństwa nawigacji na akwenach ograniczonych jest zależny od:

- stanu wody,
- kierunku i szybkości wiatru,
- kierunku i prędkości prądu,
- kierunku i wysokości falowania,
- stanu zalodzenia,
- zakresu widzialności.

Powyższe czynniki determinują wielkość bezpiecznego akwenu manewrowego. W żegludze śródlądowej i przybrzeżnej decydującym czynnikiem, który wpływa na możliwość ruchu jest bezpieczna głębokość wynikająca z poziomu wody. W wielu przypadkach niewystarczający zapas wody powoduje wstrzymanie żeglugi na pewien okres. Wahania poziomu wody mogą wynikać z wielu przyczyn, do których zalicza się zjawisko pływów, długotrwałe wiatry, które powodują spiętrzenie lub obniżenie poziomu wody oraz długotrwałe opady, które powodują wzrost stanu wody i wielkości prądu. Z powodu tych zjawisk stan wody prognozowany jest z wyprzedzeniem i na jego podstawie wyznacza się dostępny akwen żeglugowy (spełnia warunek bezpiecznej głębokości w czasie t) oraz procedury ruchu spełniające warunki bezpiecznej nawigacji na danym torze wodnym.

Na akwenach ograniczonych bardzo dużą rolę odgrywa również oddziaływanie wiatru, zwłaszcza na obszarach odsłoniętych oraz charakteryzujących się zmienną wysokością brzegu. Działając na nadwodną część jednostki śródlądowej wiatr determinuje obszary na których bezpiecznie można wykonywać różnego rodzaju manewry. Na obszar bezpiecznego prowadzenia jednostki mają wpływ następujące parametry wiatru:

- prędkość wiatru,
- kierunek wiatru w stosunku do kursu statku,
- rozkład prędkości wiatru: ciągły, zmienny, zawirowania,
- zanurzenie jednostki oraz jej powierzchnia boczna nawiewu.

Natomiast w części podwodnej statku o jego bezpieczeństwie prowadzenia decyduje zjawisko występowania prądów. Można wyróżnić wiele typów prądów, ale na akwencie ograniczonym największego znaczenia nabierają prądy stałe, zmienne pływowe, rzeczne oraz wiatrowe. Jednakże zarówno prądy stałe jak i regularnie zmienne w czasie (pływowe) można

prognozować z dosyć dużą dokładnością. Natomiast wielkość prądów rzecznych może być przekazywana poprzez wykorzystanie danych pomiarowych z stacji monitorujących oraz z specjalnych czujników statkowych. Zaś wartość prądów wiatrowych jest oceniana przez kapitanów oraz operatorów systemów sterowania ruchem w sposób przybliżony. Wyznaczenie takich parametrów jak prędkość i kierunek prądu oraz jego pionowy i poziomy rozkład pozwala na określenie bezpiecznego obszaru manewrowego dla jednostki. Dla prądów rzecznych i wiatrowych wyznacza się granice ich prędkości przy których możliwe jest wykonanie określonego manewru, zaś prądy pływowe, tam gdzie występują, decydują o taktyce manewrowania na tym odcinku toru.

Kolejnym ważnym czynnikiem dla bezpieczeństwa ruchu jest falowanie. Na akwenach ograniczonych fala ulega różnym deformacjom powodując jej refrakcję, dyfrakcję, czy powstawanie tzw. fali stojącej w wyniku jej odbijania się od brzegu rzeki lub budowli hydrotechnicznych. Dlatego tak trudno określić takie parametry jak wysokość, długość i okres fali, co tworzy bardzo złożony obraz falowania na akwenach ograniczonych i przez to trudny do analitycznego uwzględnienia. Występowanie zalodzenia na akwenach decyduje o wyborze techniki manewrowania statkiem o ile ruch będzie w ogóle możliwy. W przypadku występowania lodu pływającego ograniczenie ruchu wynika z rodzaju kry lodowej, jej grubości oraz prędkości i kierunku jej przemieszczania, zaś na akwenach pokrytych stałą warstwą lodu na ogół do ruchu są dopuszczone statki i barki, które posiadają wzmocnienia lodowe i to w asyście holowników oraz lodołamaczy. Na ograniczenie obszaru bezpiecznego akwenu dla żeglugi ma także wpływ zakres widzialności zarówno w porze dziennej jak i nocnej. W dzień utrudnienia w ruchu mogą wynikać z takich zjawisk jak mgły itp., a w porze nocnej uprawianie żeglugi może odbywać się wyłącznie na drogach, na których oznakowanie szlaku żeglownego zostało odpowiednio przygotowane do żeglugi nocnej. Zakres widzialności wpływa również na skuteczność i wybór systemu określania pozycji. Oczywiście jest, że do warunków pogorszonej widzialności należy dostosować prędkość jednostki, aby móc zachować dostateczną wielkość bezpiecznego akwenu manewrowego. Wszystkie wyżej wymienione warunki hydrometeorologiczne są uwzględniane już na etapie projektowania dróg wodnych i wyznaczania procedur ich eksploatacji. Jednakże, aby posiadać na bieżąco informacje o zmiennych warunkach hydrometeorologicznych, które niewątpliwie mają ogromny wpływ na bezpieczeństwo ruchu, należy zapewnić tzw. osłonę hydrometeorologiczną.

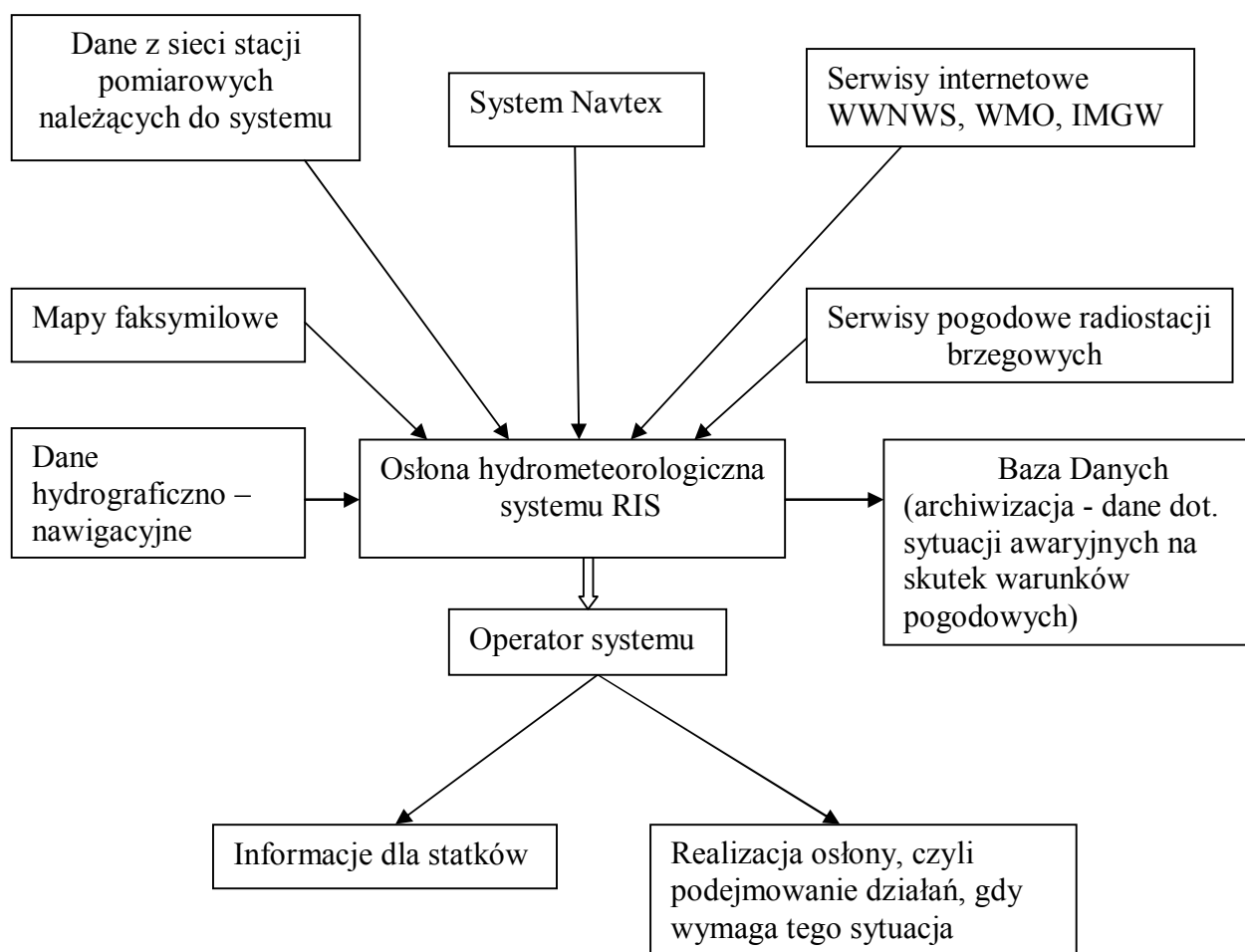
Osłona hydrometeorologiczna to sieć stacji pomiarowych, które mierzą określone warunki pogodowe. Informacje te po przetworzeniu i często uzupełnieniu z innych źródeł są

przesyłane na jednostki biorące udział w ruchu jako część serwisu informacyjnego, a przez operatorów systemu są wykorzystywane do planowania ruchu. Pomiary są dokonywane przez stacje zautomatyzowane. Jednakże równocześnie dla potwierdzenia i uzupełnienia prowadzone są pomiary przy współudziale człowieka, na przykład obserwacja wzrokowa, radarowa, czy też wykonywanie zdjęć lotniczych. W obecnie działających systemach nadzoru ruchu prognozy pogody centra zarządzania otrzymują od wyspecjalizowanych stacji meteorologicznych w postaci map faksymilowych oraz komunikatów radiowych. Natomiast bieżące dane na temat warunków hydrologiczno – meteorologicznych centra zarządzania uzyskują z zainstalowanych na obszarze nadzoru czujników i mierników. Do podstawowych urządzeń pozyskiwania tych danych należy zaliczyć automatyczną stację pogodową (kierunek i prędkość wiatru, widzialność, temperatura i ciśnienie atmosferyczne) oraz automatyczną stację do pomiaru prądu (kierunek i siła) oraz poziomu wody. Informacje te zapewniają prowadzenie stałego serwisu informacyjnego na temat warunków pogodowych i hydrometeorologicznych panujących na torze wodnym objętym nadzorem. Jednak, aby zapewnić użytkownikom systemu dokładne i aktualne informacje na ten temat nie wystarczy własna sieć stacji pomiarowych. Dlatego należy uzyskiwać informacje z innych źródeł, które uwzględniają więcej danych i obejmują swym zasięgiem większe obszary. Należy więc wypracować zasady i procedury integracji informacji pogodowych pochodzących z różnych źródeł (rys. 2.1). Integracja informacji będzie odbywać się na stanowisku operatora, gdzie wszystkie dane będą przysyłane. Należy wypracować takie procedury, aby owa integracja odbywała się w wysokim stopniu automatycznie, tak jak sam przesył do wszystkich zewnętrznych użytkowników systemu. Jest to istotne ze względu na szybkość dostarczania niezbędnych informacji, jak również, by nie obciążać niepotrzebnie operatora systemu, który będzie reagował w sytuacjach występowania niebezpieczeństwa. Operator systemu będzie dysponował programem do symulacji oddziaływania istniejących i prognozowanych warunków pogodowych na ruch statków. Określenie wpływu zmiennych warunków pogodowych na ruch ma istotne znaczenie w rejonie zwożeń torów wodnych, odcinków krzywoliniowych, czy na akwenach płytkich i w momencie występowania zjawisk lodowych. Aby opracować taki program (bazę reguł i wnioskowania) należy wykorzystać doświadczenie praktyków oraz poddawać analizie sytuacje awaryjne, które miały miejsce w wyniku oddziaływania niekorzystnych warunków pogodowych. Dlatego dla umożliwienia tej procedury, należy utworzyć bazę danych, w której będą archiwizowane tego typu informacje. Pozwoli to na późniejszą analizę i doskonalenie automatycznych systemów ostrzeżeń oraz na wzrost doświadczenia operatorów, który będzie skutkowało podejmowaniem bardziej

bezpiecznych decyzji w stosunku do organizacji i regulacji ruchu w rejonie nadzoru. Do dodatkowych źródeł informacji o warunkach hydrometeorologicznych należy zaliczyć:

- serwisy pogodowe radiostacji brzegowych
- mapy faksymilowe
- informacje z systemu Navtex (dotyczą głównie akwenów przybrzeżnych)
- ostrzeżenia nawigacyjne średniego i dalekiego zasięgu, które są nadawane przez główne stacje danego akwenu
- informacje z serwisów internetowych, takich organizacji jak: WNWNS (World Wide Navigational Weather Service), WMO (World Meteorological Organization), IMGW (Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej)

Dublowanie i sprawdzanie informacji pogodowych z różnych źródeł jest także ważne ze względu na to, iż procesy pogodowe są bardzo skomplikowane i zależą od bardzo wielu czynników. Dlatego ważne jest, aby zwiększać stopień prawdopodobieństwa prognozy i nie ignorować wszelkich ostrzeżeń, choćby pochodziły tylko z jednego źródła.



Rys. 2.1 Schemat osłony hydrometeorologicznej systemu RIS. Źródło: opracowanie własne.

W obecnie użytkowanym systemie VTMS Szczecin – Świnoujście osłona hydrometeorologiczna z powodzeniem działa wykorzystując większość wymienionych źródeł informacji, a mianowicie: własną sieć pomiarową, serwis Navtex, serwisy internetowe WVNWS i IMGW oraz mapy faksymilowe. Obecna sieć pomiarowa systemu składa się z 5 stacji:

1. PO Świnoujścia
2. Karsiboru
3. I Bramy Torowej
4. Polic
5. Szczecina (Kapitanat Portu)

Proces pomiarów i przesyłania ich do centrum jest całkowicie zautomatyzowany. Następnie dane z pomiarów są prezentowane na monitorach operatorów centrum. Po przetworzeniu i opracowaniu danych przez operatorów systemu, odpowiednie informacje pogodowe są przesyłane na statki.

Obecnie działające stacje (SAP – system automatycznych pomiarów) mierzą następujące parametry:

- kierunek i prędkość prądu
- kierunek i prędkość wiatru
- poziom wody
- temperaturę i ciśnienie atmosferyczne
- wilgotność powietrza
- stan morza (PO Świnoujście)

Biuro prognoz meteorologicznych w Szczecinie swoim obszarem działania pokrywa całe województwo Zachodniopomorskie i w IMGW jest to I – wszy rejon osłony meteorologicznej. Informacje hydrologiczne na obszarze przewidywanego systemu są aktualnie uzyskiwane z biura prognoz hydrologicznych w Poznaniu i biura prognoz w Gdyni. Proponuje się, by we współpracy z Niemcami otworzyć ośrodek prognoz hydrologicznych, który byłby zorientowany głównie na obszar systemu po obu stronach granicy. Dałoby to wymierne korzyści w postaci większej ilości informacji o obszarze objętym systemem, a także odciążąłoby ośrodki, którym podlega ten teren, gdyż biuro w Poznaniu obejmuje zbyt znaczny obszar, a biuro w Gdyni jest głównie zorientowane na prognozy morskie. Do zadań biur prognoz hydrologicznych zalicza się:

- prowadzenie operacyjnej osłony hydrologicznej na wyznaczonym obszarze, na przykład dla ośrodka w Poznaniu jest to obszar III rejonu hydrologicznego - zlewni Odry od Profilu Słubice do Profilu Gryfino,
- współpraca z Wojewódzkimi Centrami Zarządzania Kryzysowego i Ośrodkami Koordynacyjno Informacyjnymi Regionalnych Zarządów Gospodarki Wodnej oraz innymi instytucjami uczestniczącymi w ochronie przeciwpowodziowej na obszarze zlewni Warty i dolnej Odry,
- opracowywanie i wydawanie bieżącej informacji hydrologicznej w postaci: prognoz, ostrzeżeń, komunikatów i meldunków z punktów obserwacyjnych,
- współpraca z użytkownikami prognoz i odbiorcami ostrzeżeń i informacji hydrologicznych,
- współpraca ze stacjami zbiorczymi oraz ich nadzór merytoryczny w systemie osłony,
- osłona hydrologiczna zbiorników retencyjnych,
- analiza sprawności funkcjonowania systemu osłony i sprawdzalności prognoz hydrologicznych,
- opracowywanie i weryfikacja hydrologicznych modeli prognostycznych zlewni Warty i dolnej Odry,
- prowadzenie prac wdrożeniowych w zakresie ochrony przeciwpowodziowej, hydrologii i gospodarki wodnej.

Niektóre dane z automatycznych stacji pomiarów mogą być przekazywane bezpośrednio do statków, czyli uczestników ruchu. DCM (Doppler Current Meters) – Dopplerowskie mierniki prądu umieszczane na dnie morza lub rzeki, które pełnią rolę stacji pomiarów parametrów prądu i poziomu wody. Mierniki mogą być instalowane do głębokości 60 m i dokonywać pomiarów falowania lub poziomu wody do 10 m. Zakres pomiaru kierunku wynosi 360 stopni, a maksymalna mierzalna prędkość to 10 w. Wyniki z miernika są przekazywane drogą radiową do centrum zarządzania w czasie rzeczywistym. Mierniki te zostały opracowane przez norweską firmę Aanderaa Instruments.

W okresie występowania zjawisk lodowych centrum przekazuje informacje, które prezentują aktualną sytuację zalodzenia oraz ruch kry lodowej i inne jej parametry. Operatorzy centrum otrzymują te dane z wyspecjalizowanych stacji meteorologicznych lub statków przebywających w tym obszarze dla zbierania tych danych. Ośrodki RIS będą również współpracować z wyspecjalizowanymi firmami prowadzącymi akcje lodowe w zakresie organizacji i poradnictwa. Stowarzyszenie IALA oraz WMO wspólnie ustanowiły grupę ROSE (Radar Ocean Sensing Group) w celu poszerzenia zastosowania brzegowych

radarów jako pomocy w dostarczaniu bieżących informacji meteorologicznych i hydrograficznych. Obraz radarowy jest przetwarzany w postać cyfrową, aby umożliwić odczytanie komponentów falowania, takich jak wysokość, częstotliwość, okres i kierunek. Radary PD w stosunku do tradycyjnych oferują następujące korzyści:

- mogą monitorować duże obszary,
- umożliwiają zdalne pomiary na terenach, gdzie występuje skomplikowany kształt wybrzeża,
- krótki czas pomiaru, który wynosi około 15 minut,
- w trakcie pomiarów na bieżąco można prowadzić monitoring ruchu statków,
- zmienne częstotliwości pracy – od 100 MHz do 25 MHz, których zasięg wynosi odpowiednio do 5 i do 50 km.

Radary PD pozwalają na dokonywanie pomiarów prądów powierzchniowych, parametrów falowania i poziomu morza. W związku ze znacznym wzrostem ruchu statków brzegowe systemy radarowe należy usytuować na podejściach do portów, zaś wewnątrz portu informacje hydrograficzne i pogodowe powinny być pozyskiwane z lokalnych przyrządów pomiarowych. Pomiary będą automatycznie przekazywane do centrum operacyjnego, gdzie będą podlegały dalszej obróbce. Następnie po wyświetleniu danych na monitorach i ich uzupełnieniu z innych źródeł będą przekazywane do odpowiednich odbiorców. Wprowadzenie stałego monitoringu brzegowych stacji radarowych w celu otrzymywania aktualnych danych hydrologicznych i meteorologicznych zdecydowanie poprawi poziom bezpieczeństwa ruchu statków i będzie stanowić przydatne narzędzie dla operatora systemu RIS. Tabela 2.3 Aktualnie istniejąca sieć wodowskazów dla rejonu Dolnej Odry.

Lp.	Wodowskaz	Rzeka	Km rzeki	Rzędna „0”	Stany		Różnica w ciągu 24h	Stan WWŻ	Kierunek i siła wiatru
					O	Al.			
1.	Bielinek	Odra	672,5	-1,09	292	460	0	600	-
2.	Widuchowa	Odra	701,8	-5,16	552	520	-20	660	SW 5,5
3.	Gryfino	Wsch.	718,5	-5,11	545	570	-22	610	-
4.	Szczecin Podjuchy	Regalica	734,0	-5,09	548	580	-24	610	SW 2,8
5.	Gryfino	Zach.	14,4	-5,11	-	-	-	-	-
6.	Szczecin Most Długi	Odra Zach.	36,0	-5,12	560	580	-	590	-

Poz. 5, 6 – RZGW Szczecin, pozostałe – IMGW. Źródło: www.rzgw.szczecin.pl.

Lokalizacja instalacji wodowskazu winna spełniać następujące warunki:

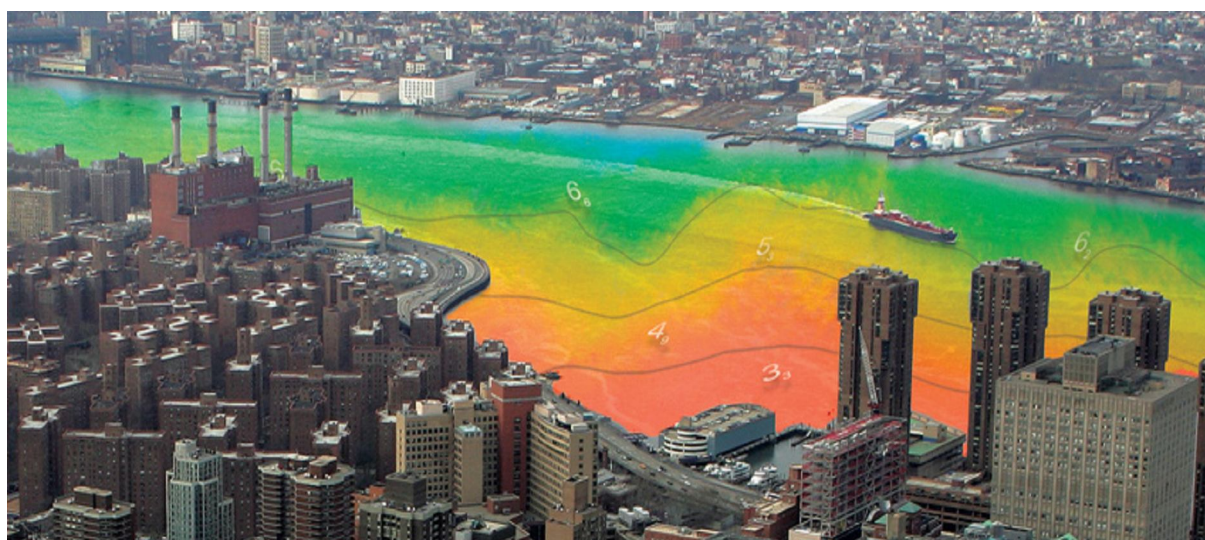
- koryto rzeki w profilu wodowskazowym powinno być zwarte, jednolite i mieścić (w miarę możliwości) cały przepływ rzeki,
- zwierciadło wody w profilu wodowskazowym powinno być swobodne – nie powinno znajdować się pod wpływem spiętrzeń i depresji,
- dno rzeki nie powinno ulegać zmianom (erozji lub akumulacji), jak również nie powinno zarastać roślinnością rzeczną,
- profil musi być tak dobrany, aby zapewnić dobrą ochronę wodowskazu przed uszkodzeniami,
- wodowskaz musi być łatwo dostępny dla obserwatora

Jako alternatywę lub uzupełnienie pomiarów z wodowskazów poleca się zastosowanie limnimetru, czyli przyrządu do rejestracji zmian stanu wody w czasie. Przyrząd ten składa się z urządzenia pomiarowego i urządzenia rejestrującego, dzięki czemu uzyskuje się ciągłą rejestrację stanu i zmian poziomu wody (aktualnie takie urządzenie zamontowane w specjalnej budce wprowadza się w rejonie Widuchowej). Urządzenie, które w sposób graficzny rejestruje zmiany stanu wody w czasie nazywa się limnigrafem. Również jako przyszłościowe rozwiązanie do pomiaru poziomu wody i jej wahań poleca się stosowanie sondy ultradźwiękowej, czyli czujnik, który wysyła wiązkę fali ultradźwiękowej, która po odbiciu wraca do czujnika i na podstawie czasu przebiegu tej fali określa się odległość zwierciadła wody od czujnika i zarazem stan wody. Zaletą urządzenia jest możliwość montażu nad ciekim, czyli np. przymocowania do mostu, gdzie ma pojawić się również więcej innych czujników i urządzeń. Dodatkowo system ECDIS wyróżnia na ekranie monitora trzy nowe elementy związane z bezpieczeństwem żeglugi, a mianowicie:

- izobatę bezpieczeństwa statku
- bezpieczną głębokość
- odosobnione niebezpieczeństwo

Izobata bezpieczeństwa statku – przedstawiana jest grubą linią oraz widoczną zmianą odcieni głębokości co ma pomóc w rozróżnianiu obszarów niebezpiecznych od obszarów żeglownych dla danego typu statku oraz generować alarm ostrzegawczy przed wejściem na mieliznę. W zależności od rodzaju statku, który charakteryzuje się różnymi parametrami determinujący rejony w których może bezpiecznie pływać taka izobata jest wybierana przez użytkownika systemu ECDIS spośród zbioru izobat znajdujących się w systemowej elektronicznej mapie nawigacyjnej SENC. W razie gdy wybrana przez decydenta wartość izobaty nie istnieje w bazie danych, system wybierze najbliższą izobatę o większej głębokości i poinformuje o tym

użytkownika. Głębokość bezpieczna statku własnego – jest to głębokość zdefiniowana przez użytkownika systemu w celu wyróżnienia sondaży głębokości równych i mniejszych od tej wartości. Takie głębokości są zaznaczane na ekranie zwykle przez ich wytłuszczenie, dzięki czemu rejony tych niebezpiecznych głębokości dla danego typu statku są na ekranie bardziej wyraźne i lepiej rzucają się w oczy. Odosobnione niebezpieczeństwa do których zalicza się takie obiekty jak skały, wraki i inne przeszkody nawigacyjne. Do oznakowania tego typu elementów stosuje się specjalne symbole. Cechą wyróżniającą ECDIS od dotychczas stosowanych metod w nawigacji jest ciągle zobrazowanie ruchu statku względem wprowadzonych do systemu głębokości, przeszkód nawigacyjnych, zdefiniowanych stref i obszarów o szczególnym znaczeniu dla bezpieczeństwa żeglugi oraz generowanie alarmów i komunikatów ostrzegawczych. Proces automatycznej detekcji niebezpieczeństw w ECDIS dzieli się na wykrywanie obszarów o głębokości niebezpiecznej dla żeglugi i wykrywanie odosobnionych niebezpieczeństw nawigacyjnych.



Rys. 2.2 Izobaty bezpieczeństwa statku. Źródło: www.caris.com.

2.1.4 Parametry elementów ograniczających ruch

Do elementów ograniczających ruch zalicza się w pierwszej kolejności przeszkody w postaci konstrukcji nawodnych, takie jak mosty, które determinują możliwe wymiary jednostek śródlądowych. W oparciu o ich parametry można wyprowadzić maksymalną dopuszczalną wysokość H_{\max} nierozbieralnej konstrukcji jednostki pływającej na ustalonej trasie.

Kryteria oceny bezpiecznego przejścia statku w świetle konstrukcji tzw. „air draft”
(wysokość nadwodna statku):

$$h_{\text{św}} \geq H_{\text{max}} + \Delta_{\text{św}} \quad (2.14)$$

$$h_{\text{św}} / H_{\text{max}} \geq 1,2 \quad (2.15)$$

$$b_{\text{św}} \geq 2B + \Delta_{\text{rb}} \quad (2.16)$$

gdzie:

$h_{\text{św}}$ – wysokość pionowa w świetle konstrukcji [m],

H_{max} – wysokość maksymalna do nierozbieralnej konstrukcji statku [m],

$b_{\text{św}}$ - szerokość pozioma w świetle konstrukcji [m],

B - szerokość statku [m],

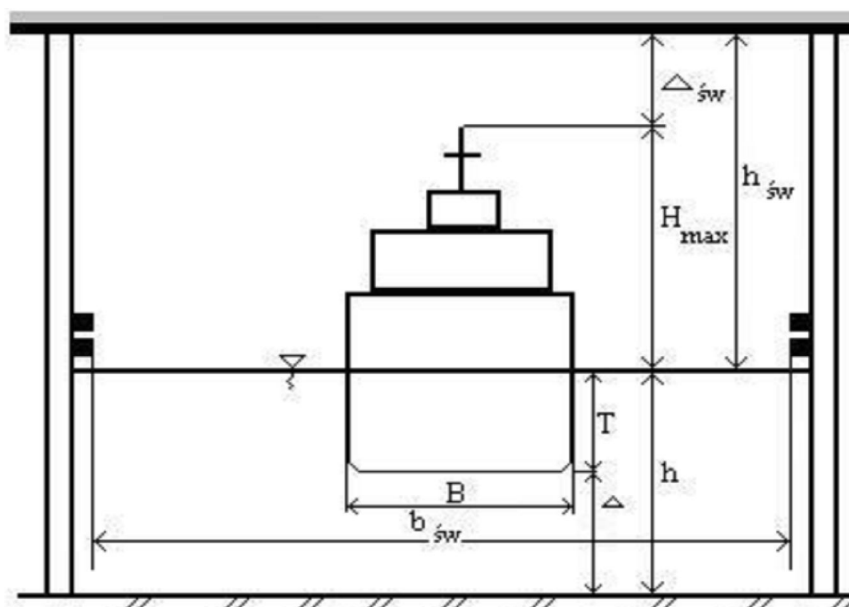
T – zanurzenie [m],

Δ – rezerwa wody pod stępką,

$\Delta_{\text{św}}$ - rezerwa wysokości w świetle konstrukcji,

Δ_{rb} - rezerwa szerokości w świetle konstrukcji.

Zastosowanie powyższych warunków jest nieodzowne dla zachowania bezpieczeństwa nawigacji w przejściu pod konstrukcją nawodną dla wyliczonego „największego statku”.



Rys. 2.3 Kryteria oceny bezpieczeństwa w płaszczyźnie pionowej. Źródło: (Undro, 2008).

Tabela 2.4 Parametry mostów w rejonie Dolnej Odry.

Lp.	Rzeka Miejscowość	Kilo- metr rzeki	Rodzaj mostu konstrukcja	Szerokość prześła żeglugowego		Prześwit pionowy nad poziom. wody		Stan oznakowania nawigacyjnego
				całkowita	szlak żegl.	SW	WWŻ	
1.	KRAJNIK DOLNY	690,5	Drogowy	99,86	50	6,69	5,55	Całodobowe
2.	GRYFINO	718,2	drogowy	100,5	50	6,05	5,27	całodobowe
3.	RADZISZEWO	728,0	drogowy	95,55	50	12,15	11,30	dzienne
4.	PODJUCHY	733,7	kolejowy zwodzony	Stale 68,93 podn. 12,73	Stale 50 podn. 12,73	3,94 7,18	3,06 6,30	całodobowe
5.	PODJUCHY Szosa Poznańska	734,6	kolejowo- drogowy	45,10 44,50	35	6,94	6,06	całodobowe
6.	PODJUCHY Cłowy	737,6	drogowy	74,83	50	6,41	5,53	całodobowe
7.	MASZALIN	14,7	drogowy	54,57	30	6,35	5,47	całodobowe
8.	KOLBASKOWO	25,4	drogowy	80,05	50	12,20	11,32	dzienne
9.	POMORZANY Szosa Poznańska	31,2	kolejowo- drogowy	79,77	50	12,64	11,76	całodobowe
10.	SZCZECIN Dworzec PKP	35,6	kolejowy	prawe 11,9 lewe 12,25	Prawe 11,9 lewe 12,25	4,57	3,69	dzienne
11.	SZCZECIN Most Długi	36,0	drogowy podnoszony	17,50	17,50	4,56	3,68	dzienne
12.	SZCZECIN Trasa Zamkowa	36,5	drogowy	118,49	50	12,24	11,36	dzienne

Źródło: Opracowanie własne na podstawie materiałów wewnętrznych ODGW.

Zgodnie z rozporządzeniem Rady Ministrów w sprawie klasyfikacji śródlądowych dróg wodnych (Dz.U. z 2002 r., Nr 77, poz. 695) dla klasy III drogi wodnej o znaczeniu regionalnym minimalny prześwit pionowy powinien wynosić 4,0 m ponad poziom WWŻ.

Zgodnie z wymaganiami IV klasy międzynarodowej dróg wodnych dla przewozu kontenerów w dwóch warstwach prześwit pionowy powinien wynosić 5,25 m, a dla przewozu w trzech warstwach – 7,00 m.

W samym Szczecinie największym utrudnieniem dla żeglugi są trzy mosty:

- Most kolejowy przy dworcu PKP o prześwicie 3,69 m nad poziom wysokiej wody żeglownej (WWŻ) i dwóch przesłach żeglownych o szerokości 11,9m i 12,25m
- Most drogowy „Długi” o prześwicie pionowym 3,68 m nad poziom WWŻ i poziomym wynoszącym 17,5m
- Most kolejowy którego przesło stałe ma wysokość 3,06 m nad poziom WWŻ, a po podniesieniu przesła 6,30 m nad poziom WWŻ natomiast szerokość tego przesła wynosi 12,73m

Parametry mostów oraz aktualne poziomy wody determinują wymiary jednostek (statków i zestawów barkowych), które mogą przechodzić torem wodnym. Ich wartości dla rejonu Dolnej Odry zostały podane w podrozdziale 2.1.2.

Klasy dróg wodnych i ograniczenia parametrów szlaku żeglownego:

1) Rzeka Odra Wschodnia od km 704,1 do 730,5, jako droga wodna klasy Vb, posiada następujące ograniczenia parametrów szlaku żeglownego:

Parametr	Wymagania przy Vb klasie żeglowności	Stan istniejący
Minimalny prześwit pod mostami ponad WWŻ	5,25 m	5,17 m most drogowy w Gryfinie (km 718,18 rz. Odry Wschodniej)

2) Rzeka Regalica od km 730,5 (Przekop Klucz-Ustowo) do km 741,6 (ujście do j. Dąbie), jako droga wodna klasy Vb, posiada następujące ograniczenia parametrów szlaku żeglownego:

Parametr	Wymagania przy Vb klasie żeglowności	Stan istniejący
Szerokość szlaku żeglownego	50 m	12,73 m przesło zwodzone mostu kolejowego w Szczecinie-Podjuchach, km 733,7 rz. Regalicy
		35 m prawe i lewe przesło mostu kolejowo-drogowego w Szczecinie-Podjuchach, km 734,6 rz. Regalicy

Minimalny prześwit pod mostami ponad WWŻ	5,25 m	2,96 m prześło stałe mostu kolejowego w Szczecinie-Podjuchach, km 733,7 rz. Regalicy
--	---------------	--

3) Jezioro Dąbie, szlak główny od ujścia rzeki Regalicy do granicy morskich wód wewnętrznych na przesmyku „Babina”, jako droga wodna klasy Vb, posiada następujące ograniczenia parametrów szlaku żeglownego:

Parametr	Wymagania dla Vb klasy żeglowności	Stan istniejący
Głębokość tranzytowa	2,80 m	2,50 m

4) Przekop Klucz-Ustowo, łączący rzekę Odrę Wschodnią (km 730,5) z rzeką Odrą Zachodnią (km 29,8), jako droga wodna klasy Vb, posiada następujące ograniczenia parametrów szlaku żeglownego:

Parametr	Wymagania przy Vb klasie żeglowności	Stan istniejący
Głębokość tranzytowa	2,80 m	2,50 m

5) Rzeka Odra Zachodnia od km 3,0 do km 36,55 (granica morskich wód wewnętrznych), jako droga wodna klasy Vb posiada następujące ograniczenia parametrów szlaku żeglownego:

Parametr	Wymagania przy Vb klasie żeglowności	Stan istniejący
Szerokość szlaku żeglownego	50 m	30 m most drogowy Gryfino - Mescherin, km 14,65
		12,25 m lewe prześło mostu kolejowego w Szczecinie, km 35,59
		11,91m prawe prześło mostu kolejowego w Szczecinie, km 35,59
		17,50 m most drogowy w Szczecinie, km 35,95 (na całej szerokości łukowego prześła)
Minimalny prześwit pod mostami ponad WWŻ	5,25	3,79 m lewe i prawe prześło mostu kolejowego w Szczecinie, km 35,59

		<p>3,40 m most drogowy w Szczecinie, km 35,95 (w najniższym miejscu łukowego przęsła, na całej jego szerokości)</p> <p>3,78 m w środku przęsła na szerokości 12,6 m</p>
--	--	---

6) Rzeka Parnica od km 4,0 (granica morskich wód wewnętrznych) do km 5,6 i dalej jako Przekop Parnicki do rzeki Odry Zachodniej, jako droga wodna klasy Vb, posiada następujące ograniczenia parametrów szlaku żeglownego:

Parametr	Wymagania przy Vb klasie żeglowności	Stan istniejący
Szerokość szlaku żeglownego	50 m	<p>12,15 m lewe przęsło mostu kolejowego w Szczecinie, km 4,45 rz. Parnicy</p>
		<p>11,85 m prawe przęsło mostu kolejowego w Szczecinie, km 4,45 rz. Parnicy</p>
		<p>20,6 m przęsło mostu drogowego w Szczecinie, km 4,00 rz. Parnicy</p>
Minimalny prześwit pod mostami ponad WWŻ	5,25 m	<p>1,89 m lewe i prawe przęsło mostu kolejowego w Szczecinie, km 4,45 rz. Parnicy</p>
		<p>3,82 m most drogowy w Szczecinie, km 4,00 rz. Parnicy</p>

7) Rzeka Warta od km 0,0 do 68,2, jako droga wodna klasy II, posiada następujące ograniczenia parametrów szlaku żeglownego:

Parametr	Wymagania przy II klasie żeglowności	Stan istniejący
Szerokość szlaku żeglownego	30 m	<p>20 m most kolejowy w Kostrzynie/O km 2,25 rz. Warty</p>

		26 m most drogowy w Kostrzynie/O km 2,45 rz. Warty
		21 m most drogowy w Gorzowie Wlkp. km 56,35 rz. Warty
Promień łuku osi szlaku żeglownego	300 m	275 m km 29,35 –29,70 rz. Warty

W celu zapewnienia bezpieczeństwa żeglugi przy podwyższonych stanach wody ustala się odczyty na wodowskazach podanych w tabeli, po przekroczeniu których obowiązuje całkowity zakaz uprawiania żeglugi.

Odcinek drogi wodnej	Stan WWŻ cm	Wodowskaz	Limitujący prześwit pionowy prześła żeglownego mostu w odniesieniu do stanu WWŻ Cm
Rzeka Odra Wschodnia od jazu w Widuchowej (km 704,1) do Przekopu Klucz-Ustowo (km 730,5)	610	Gryfino	Most drogowy w Gryfinie (km 718,18) - prześwit pionowy – 517
Rzeka Regalica od Przekopu Klucz-Ustowo (km 730,5) do ujścia do jeziora Dąbie (km 741,6)	610	Szczecin - Podjuchy	Most kolejowy w Podjuchach (km 733,7) - przesła stałe – 296 - przesła zwodzone – 620 Most kolejowo-drogowy w Podjuchach (km 734,6) - prześwit pionowy – 596
Rzeka Odra Zachodnia od km 17,10 (koniec odcinka granicznego) do km 36,55 (granica wewnętrznych wód morskich)	590	Szczecin Most - Długi	Most drogowy „Długi” (km 35,95) z łukowym spodem konstrukcji - prześwit pionowy na całej szerokości przesła – 340 - prześwit pionowy w środku przesła – 378
Rzeka Warta od km 0,0 do km 68,2	500 500	Kostrzyn n/O Gorzów Wlkp.	Most drogowy w Gorzowie Wlkp. w km 56,35 -prześwit pionowy – 350

Miejsca uciążliwe dla żeglugi znajdują się w szczególności w:

- 1) rejonie km 733,7 rzeki Regalicy (okolice mostu kolejowego, zwodzonego) i km 739,6 (skrzyżowanie dróg wodnych w rejonie ujścia rzeki Parnicy),
- 2) rejonie km 35,59 - 36,55 rzeki Odry Zachodniej (mosty: kolejowy i drogowy, zmiana organizacji ruchu na ruch lewostronny),
- 3) rejonie połączenia dróg wodnych rzeki Odry Wschodniej, rzeki Regalicy i rzeki Odry Zachodniej z Przekopem Klucz – Ustowo,

- 4) rejonie km 4,45 rzeki Parnicy (most kolejowy),
- 5) rejonie km 29,35-30,65 rzeki Warty (dwa zakola o małym promieniu łuku) i w rejonie km 56,3-58,0 rzeki Warty (zakole o małym promieniu łuku i mosty).

Do innych ograniczeń nawigacyjnych na badanym odcinku Odry należy zaliczyć:

- zalodzenia drogi wodnej,
- stany za niskich lub za wysokich poziomów wody,
- brak możliwości na żeglugę w porze nocnej.

Z wieloletnich obserwacji wynika, że zalodzenie na badanym odcinku Odry występuje prawie corocznie, średnio przez okres od półtora do dwóch miesięcy, co wraz ze stanami wysokiej lub niskiej wody powoduje skrócenie czasu trwania okresu nawigacyjnego średnio do ok. 290 dni w roku. Stany wysokiej wody uniemożliwiają transport lub stanowią istotne utrudnienie dla żeglugi, spowodowane mniejszymi możliwościami manewrowymi statku oraz mniejszymi prześwitami pionowymi pod mostami. Natomiast brak zezwolenia na żeglugę w porze nocnej wynika z nieprzystosowania oznakowania nawigacyjnego dróg wodnych do pory nocnej oraz z braku odpowiedniego systemu kontroli ruchu i wyposażenia statków. Oznakowanie drogi wodnej budzi wiele zastrzeżeń przez co żegluga jest otwarta tylko w porze dziennej w dobrych warunkach widzialności. Obecnie prowadzi się starania, aby zmienić ten stan rzeczy i dopuścić żeglugę nocną. Aby znieść część ograniczeń lub dopuścić do żeglugi z zachowaniem odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa należy wykorzystać zwiększającą się ilość dostępnych informacji o warunkach i parametrach ruchu. Wzrost złożoności systemów informatycznych pozwala na zastosowanie ich w celu podniesienia poziomu bezpieczeństwa jednostki śródlądowej w ruchu. Dodatkowo nowo rozwijane urządzenia i metody intensyfikują (wspierają) proces podnoszenia bezpieczeństwa żeglugi śródlądowej, a tym samym wpływają na jej wydajność i efektywność. Przykładem takiej metody jest proces modelowania dynamicznej domeny 3D.

2.2 Proces modelowania dynamicznej domeny 3D podczas manewrowania na akwencie ograniczonym

W podrozdziale przedstawiono sposób modelowania przestrzeni trójwymiarowej wokół obiektu jakim jest statek, która jest niezbędna dla zachowania jego bezpieczeństwa podczas manewrowania na akwenach ograniczonych (śródlądowych). Istotą proponowanych w pracy metod jest systemowe ujęcie eksploatacji statku w aspekcie oceny jego bezpieczeństwa podczas manewrowania na ograniczonych akwenach. Szczegółowo opisano koncepcję

dynamicznej domeny 3D statku oraz przedstawiono metodę jej tworzenia (konstrukcji) dla jednostek śródlądowych.

2.2.1 Model sytuacji geoprzestrzennej

Model można postrzegać jako wybiórczą aproksymację (przybliżanie), która poprzez eliminowanie przypadkowych szczegółów, pozwala na wyłonienie się lub sprawdzenie i przetestowanie pewnych fundamentalnych aspektów świata rzeczywistego. Model poprzez uproszczone przedstawienie rzeczywistości pozwala na symulację jakiegoś procesu, a przez to na analizowanie, zrozumienie i przewidywanie jakiegoś problemu.

Informacja geoprzestrzenna, często określana również jako przestrzenna lub geograficzna, jest informacją w sensie zdefiniowanym przez informatykę. Cechą wyróżniającą ją od innych rodzajów informacji jest to, że jest odniesiona do określonego miejsca względem Ziemi. Z tego powodu jej niezbędnymi atrybutami są dane określające położenie względem Ziemi wyrażone w zdefiniowanym i przeliczalnym układzie współrzędnych (geograficznym, kartograficznym lub geodezyjnym). Takie odniesienie nazywane jest odniesieniem bezpośrednim, ale określenie położenia może być także w formie odniesienia pośredniego, np. jako adres pocztowy. Odniesienie pośrednie musi być jednak jednoznaczne i zamienialne na bezpośrednie.

Geoinformatyka (geomatyka) jest dyscypliną zajmującą się podstawowymi problemami dotyczącymi informacji geoprzestrzennej. Geoinformatyka jest ściśle powiązana z informatyką, szczególnie w aspekcie technicznym i technologicznym – systemy informacji geoprzestrzennej są systemami informatycznymi i do ich projektowania i realizacji wykorzystuje się cały aparat metodyczny, jaki jest tworzony i stosowany w informatyce (Radosiński, 2001). W rezultacie w interoperacyjności systemów geoinformacyjnych stosuje się olbrzymią liczbę różnych standardów, ale są to standardy wyłącznie czysto informatyczne. Gdy w informatyce prawie wszystko jest już objęte uznanymi powszechnie standardami, to w zakresie interoperacyjności dla informacji geoprzestrzennej zagadnienia standaryzacji są ciągle w znacznym stopniu białą plamą. Jest to sytuacja szczególna, zwłaszcza, że około 80% wszelkiej informacji zawiera elementy geoprzestrzenne (Gutenbaum, 2002), czyli może być traktowana jako informacja geoprzestrzenna. Na szczęście w ostatnich latach podjęto wiele prac w tej problematyce i już obecnie prace te zaowocowały roboczymi wersjami specyfikacji i norm dotyczących interoperacyjności. Umożliwiło to podjęcie w wielu ośrodkach prac nad zastosowaniem tych standardów w praktyce. Warunkiem koniecznym do szerokiego wprowadzenia interoperacyjności w zakresie informacji geoprzestrzennej jest standaryzacja.

Wynika to z faktu, że standaryzacja jest niezbędnym warunkiem w komunikowaniu się bez względu na to, między czym to komunikowanie się odbywa i czego dotyczy. Komunikowanie to może odbywać się pomiędzy dwoma systemami lub podsystemami, pomiędzy człowiekiem i systemem, a także pomiędzy ludźmi, np. projektant przekazuje programiście szczegółowy schemat systemu. W odniesieniu do informacji geoprzestrzennej różnica polega jedynie na specyficznej (geoprzestrzennej) treści przesyłanych komunikatów. Z tego względu konieczne jest dokładne sprecyzowanie obszaru zagadnień, jakie mają być objęte standaryzacją. Obszar ten nie może „zachodzić” na inne sąsiednie obszary objęte innymi standardami. Komunikowanie się w systemach jest określone poprzez serwisy (usługi) i realizowane w postaci interfejsów. Oba te składniki systemów są głównymi obszarami standaryzacji w geoinformatyce. Ponieważ poprzez interfejsy są między innymi przesyłane dane, to standaryzacja w GIS dotyczy również danych geoprzestrzennych. Nie obejmuje to jednak bezpośrednio samych modeli danych, które mogą być bardzo różne w różnych zastosowaniach. W tym przypadku standaryzacja dotyczy elementarnych fragmentów (atomów) informacji geoprzestrzennej nazywanych wyróżnieniami, które mogą stanowić składniki różnych modeli danych i w dodatku jedynie w aspekcie ich atrybutów geoprzestrzennych (geometrycznych i topologicznych). Inne atrybuty tzw. tematyczne, które są związane z daną dziedziną i są określone geoprzestrzennie są związane z nią i mogą nie być objęte standaryzacją lub mogą odnosić się do nich jakieś inne standardy, np. z danej dziedziny.

Pojęcie „Śródlądowej Informacji Geoprzestrzennej” (Inland Geospatial Information), może być rozumiane jako zestaw danych, określających wszystkie charakterystyki, opisujące stan szeroko rozumianego środowiska śródlądowego, w którym odbywa się działalność człowieka. Zawiera się tu nie tylko charakterystyka warunków nawigacyjnych i hydrograficznych na akwenach, ale także wszelkie dane związane z działalnością na akwenie śródlądowym, sytuacją lądową, zarówno w zakresie warunków naturalnych, jak i stworzonych przez człowieka organizacyjnych i technicznych warunków prowadzenia tej działalności. Wreszcie, informacja geoprzestrzenna obejmuje także cały zestaw danych meteorologicznych oraz hydrograficznych (często nazywanych też hydrometeorologicznymi), panujących na akwenach, zarówno tych bieżących, historycznych (statystycznych) i prognozowanych. W zakresie informacji związanej z procesem prowadzenia nawigacji i nawigacyjnego zabezpieczenia działań opisywane są wszystkie elementy środowiska, wpływające na bezpieczeństwo i efektywność działań na akwenie. Określenie „śródlądowa”

wskazuje, w tym rozumieniu, raczej na przeznaczenie informacji (to jest jej wykorzystywanie do zabezpieczenia działań na akwenu śródlądowym), niż jej pochodzenie.

Niezależnie od rodzaju źródłowego składnika środowiska (dno, atmosfera, ląd, wody), całość informacji o środowisku nawigacji śródlądowej dzieli się zwykle na trzy podstawowe rodzaje:

1) Informację geograficzną – zawierającą szereg różnorodnych zestawów danych, opisujących środowiskowe warunki akwenu działań, zarówno te naturalne, wynikające z położenia geograficznego i fizyczno – geograficznych właściwości akwenów i stref przybrzeżnych, jak i wytworzone przez człowieka dodatkowe cechy nawigacyjne akwenu.

Można tu wymienić następujące zestawy danych:

- dane o właściwościach hydrologicznych akwenu,
- dane meteorologiczne,
- dane hydrograficzne (położenie i ukształtowanie poszczególnych akwenów i elementów strefy brzegowej, rozkład głębokości, charakterystyka dna, położenie i rodzaj niebezpieczeństw nawigacyjnych i innych obiektów na dnie, itp.),
- dane o infrastrukturze nawigacyjnej akwenu (charakterystyka i możliwości systemów oznakowania nawigacyjnego rozwiniętych na akwenu),
- dane o aktualnym i prognozowanym stanie pogody i akwenu.

2) Informację operacyjną – obejmującą zestawy danych, opisujących warunki techniczne i organizacyjne, panujące na akwenach działań. Ten zestaw danych obejmuje m.in.:

- dane o ruchu i działaniach innych jednostek na akwenu,
- informacje na temat sposobów i procedur wykorzystania istniejącej infrastruktury,
- dane o działaniu systemów zabezpieczenia i zarządzania ruchem,
- dane o zasadach korzystania z portów i baz przeładunkowych,
- dane o zmianach środowiskowej sytuacji operacyjnej w czasie działań na akwenu.

3) Informację prawną – obejmującą podstawowe regulacje prawa związane z procesem prowadzenia nawigacji, główne konwencje oraz inne przepisy, związane z bezpieczeństwem procesu nawigacji, zarówno międzynarodowe (np. rezolucje IMO i Unii Europejskiej) jak i przepisy narodowe w tym zakresie.

Natomiast biorąc pod uwagę podstawowe przeznaczenie informacji geoprzestrzennej, można wydzielić dwa jej podstawowe rodzaje:

1) Standardowa śródlądowa informacja geoprzestrzenna – jest podstawowym zasobem danych, które są niezbędne dla zapewnienia bezpieczeństwa żeglugi i jest wykorzystywana

przy każdym rodzaju działalności na akwencie. Stanowi ona bazę informacyjną dla każdego użytkownika, a wymagania co do jej zakresu, dokładności i sposobów obrazowania, wynikają z międzynarodowych i krajowych uregulowań dla bezpieczeństwa żeglugi. Informacja tego rodzaju jest zbierana, opracowywana przez krajowe serwisy (służby) hydrograficzne. Użytkownik otrzymuje ją w formie oficjalnych map i wydawnictw nawigacyjnych, wraz z produktami niezbędnymi dla zapewnienia ich aktualizacji. Ze swej istoty, informacja standardowa powinna być ogólnie dostępna, dla wszystkich użytkowników na akwencie. Na polskich obszarach informacja ta jest przygotowywana i rozpowszechniana przez Biuro Hydrograficzne Marynarki Wojennej (BHMW), które spełnia rolę państwowej służby hydrografii i kartografii.

2) Specjalna śródlądowa informacja geoprzestrzenna – obejmuje wszelkie inne, dodatkowe informacje geoprzestrzenne, niezbędne dla zabezpieczenia innych („nienawigacyjnych”) potrzeb różnorodnych użytkowników. Zakres i formy tej dodatkowej informacji oraz wszelkie inne wymagania jej dotyczące, zależą przede wszystkim od potrzeb poszczególnych użytkowników.

Dla określenia poziomu bezpieczeństwa należy przyjąć wiele wskaźników liczbowych, które będą stanowiły kryteria jej oceny na badanym akwencie. Obecnie brakuje szczegółowych uregulowań prawnych, dotyczących bezpieczeństwa jednostek manewrujących na akwenach ograniczonych oraz precyzyjnie określonych kryteriów, które powinno stosować się do takiej oceny. Model danych to abstrakcyjny obraz świata rzeczywistego, który obejmuje tylko te własności jakie uważane są za konieczne do wykorzystania w danej aplikacji. Model danych definiuje konkretne obiekty, jak też ich atrybuty i relacje pomiędzy nimi. Model danych jest niezależny od systemu komputerowego i związanych z nim struktur danych. Mapa jest jednym z przykładów analogowego modelu danych. Model geoprzestrzenny to współrzędne opisujące położenie przestrzenne obiektów i ich wzajemne położenie (relacje) względem siebie. Model sytuacji geoprzestrzennej przedstawia założenia i zależności, które pozwalają opisać i przedstawić (zobrazować) w przybliżony sposób istniejącą rzeczywistość. Taki sposób opisu pozwala na zobrazowanie sytuacji i daje możliwość jego doświadczalnego sprawdzenia.

Bezpieczeństwo to stan systemu (modelu), w którym żaden z jego składników nie zagraża dowolnemu innemu składnikowi tego systemu (modelu) (Bargielski, 1992). W modelu analizowanym w pracy występuje interakcja pomiędzy jednostką (statkiem), a otoczeniem w aspekcie możliwości zderzenia z różnymi obiektami. Aktualne bezpieczeństwo można wyrazić za pomocą funkcji, która opisuje czynniki (kryteria) od których zależy

bezpieczeństwo obiektu (jednostki) i jego możliwości manewrowe na akwenu. Wskaźnik ten określa ilościowo stopień (poziom) bezpieczeństwa obiektu na akwenu w danym momencie czasu t . Obecnie na świecie prowadzone są badania, które zmierzają do uniwersalizacji (ujednolicenia) tego wskaźnika dla akwenów ograniczonych (www.euro-compris.org).

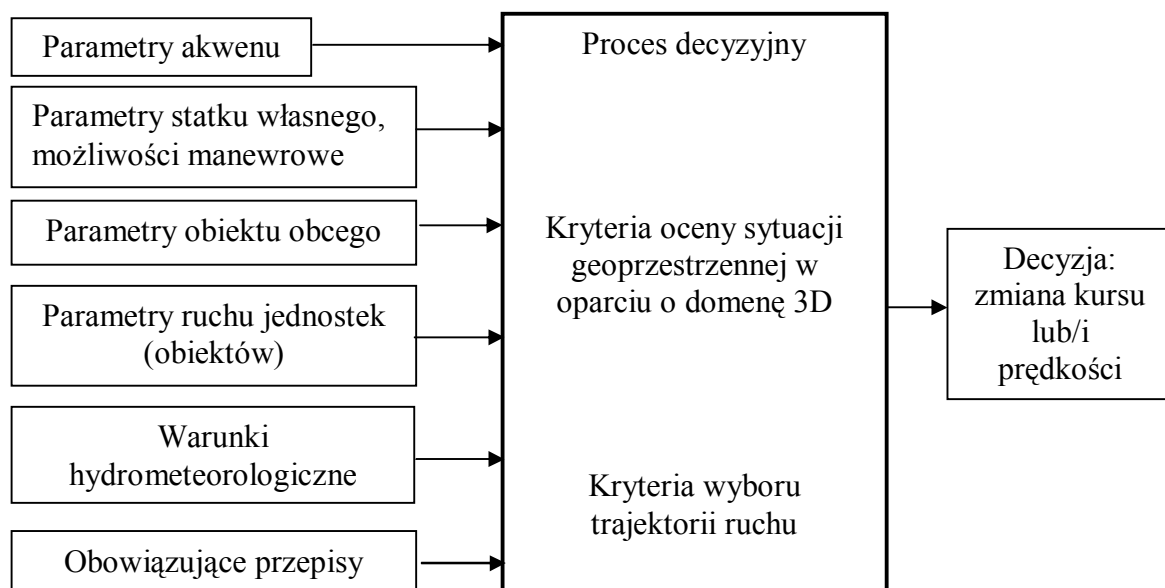
Identyfikacja sytuacji niebezpiecznej:

$$I = f(A, PW, MM, PO, S, WH, WM)$$

gdzie:

I – oznacza wartość poziomu bezpieczeństwa (wartość liczbowa) – jego wartość jest funkcją zależną od następujących zmiennych:

- A – parametry akwenu (długość, szerokość, poziom wody (głębokość) w danym rejonie (izobaty)),
- PW – parametry jednostki własnej (długość, szerokość, wysokość, zanurzenie),
- MM – możliwości manewrowe jednostki własnej (prędkość, zwrotność, hamowanie),
- PO – parametry obiektu obcego (długość, szerokość, zanurzenie -> dla jednostki; szerokość, prześwit -> dla mostu, zajmowany obszar (izobaty) -> dla płycizny, przeszkody nawigacyjne),
- S – parametry systemu określania pozycji (pozycja, kurs, prędkość oraz wzajemne położenie pomiędzy jednostkami (odległość między jednostką własną, a obiektem obcym – inną jednostką, mostem, płycizną itd.),
- WH – warunki hydrologiczne ze szczególnym uwzględnieniem poziomu wody (izobaty, falowanie, prądy, zalodzenia),
- WM – warunki meteorologiczne (wiatr, widzialność, aura, itp.).



Rys. 2.4 Model sytuacji geoprzestrzennej. Źródło: opracowanie własne.

Szczegółowo do parametrów, które pozwalają zobrazować sytuację na akwenu oraz na ich podstawie wspomagać decyzję, co do dalszego ruchu zalicza się:

- parametry akwenu:
 - długość i szerokość akwenu,
 - głębokość (rozkład głębokości – izobaty) i kształt dostępnego akwenu.
- parametry jednostki własnej (statku):
 - długość – L [m],
 - szerokość – B [m],
 - zanurzenie – T [m],
 - wysokość ponad poziom wody – W [m].
- możliwości manewrowe jednostki własnej (statku):
 - prędkość [m/s, w],
 - zwrotność, stateczność,
 - wyporność,
 - powierzchnia nawiewu i opływu,
 - akceleracja i hamowanie.
- parametry obiektu obcego:
 - dla jednostki – parametry jak dla jednostki własnej,
 - dla innych obiektów ograniczających np. mosty (szerokość, prześwit pod mostem), śluzy (długość, szerokość), dla płycizn (rozkład izobat), a dla pozostałych zagrożeń nawigacyjnych – ogólnie pozycja i wymiary.
- parametry ruchu jednostek (systemu określania pozycji):
 - dokładność określania pozycji,
 - aktualna pozycja, kurs i prędkość.
- warunki hydrologiczne:
 - stan (poziom) wody,
 - kierunek i prędkość prądów wodnych,
 - falowanie (wysokość, długość i okres fali, kierunek i rozkłady fali),
 - zalodzenie.
- warunki meteorologiczne:
 - kierunek i prędkość wiatru,
 - widzialność,
 - warunki atmosferyczne.

2.2.2 Metody zobrazowania oraz analizy i oceny sytuacji geoprzestrzennej

Informacja geograficzna i hydrograficzna musi być aktualna i pełna, dlatego niezbędna jest integracja danych i systemów różnych instytucji i służb, przez co konieczne staje się zapewnienie interoperacyjności. Interoperacyjność jest terminem informatycznym i dotyczy współdziałania różnych systemów informatycznych w celu wspólnego wykonania określonych zadań z zakresu przetwarzania lub przesyłania informacji. Niekiedy potrzebna jest dużo szersza, dokładniejsza, a niekiedy, nietypowa i niestandardowa informacja środowiskowa. Jest ona wykorzystywana zarówno bezpośrednio na jednostkach śródlądowych, jak i w różnorodnych, brzegowych systemach nadzoru. Wartość tej informacji w ostatnich latach znacząco rośnie, ze względu na wzrost zapotrzebowania na efektywne i pełne wsparcie geograficzne dla łańcucha ruchu na akwenie. Dzięki dużemu rozwojowi technologii informatycznych dla pozyskiwania i obrazowania danych geoprzestrzennych, rozwijana jest koncepcja kompleksowego wsparcia geograficznego, w której ważne znaczenie odgrywają nowoczesne produkty cyfrowe, zapewniające wymaganą informację geoprzestrzenną. Aby informacja była przydatna, musi spełnić kilka podstawowych warunków. Oprócz swojej zasadniczej zawartości merytorycznej, informacja musi posiadać pewne cechy, ułatwiające jej zweryfikowanie (ocenie wiarygodności), oraz prawidłowe wykorzystanie, poprzez np. jednoznaczne zidentyfikowanie czasu i miejsca, do którego się ona odnosi. A więc, każdy element informacji musi posiadać niezbędne atrybuty, dzięki którym informacja ta będzie użyteczna. Jako przykład takich atrybutów, szczególnie ważnych dla informacji nawigacyjnej, można wymienić: współrzędne w przestrzeni, czy czas pozyskania i ważności. Ponadto, informacja powinna spełniać określone ogólne wymagania, wynikające z potrzeb użytkowników. Dla spełnienia tych wymagań informacja powinna być:

- adekwatna – powinna obejmować te dane, które zostały zapotrzebowane i które są niezbędne do wykonania zadania,
- pełna – powinna kompleksowo opisywać dane zjawisko, zawierać cały zestaw informacji o nim,
- dostępna – powinna w łatwy sposób docierać do końcowego użytkownika,
- terminowa – powinna być dostępna w odpowiednim czasie, wynikającym z potrzeb użytkownika,
- aktualna – powinna zawierać najnowsze dane, z wszystkimi bieżącymi zmianami,
- łatwa do wykorzystania (zobrazowania) – powinna być wyrażona w zrozumiałej, łatwej do interpretacji formie,

- łatwa do magazynowania,
- korektowalna – formy zobrazowania informacji muszą umożliwiać wprowadzanie poprawek.

Dotychczas przeważające były „klasyczne” formy papierowe. W zakresie standardowej informacji środowiskowej są to przede wszystkim oficjalne, papierowe mapy oraz inne publikacje nautyczne (locje, spisy świateł, spisy radiosygnatów, tablice pływów oraz publikacje do ich korektowania), a także wszelkie wydawnictwa oficjalne i dokumenty, zawierające prawne uregulowania oraz opisy procedur nawigacyjnych na akwenie i zasady działania systemów nadzoru ruchu. Jednakże, w ostatnich latach szczególnego znaczenia nabrały cyfrowe produkty, w tym także cyfrowe produkty hydrograficzne, zawierające informację o środowisku nawigacji śródlądowej. Znaczenie takich cyfrowych pomocy znacznie wzrasta w przypadku, gdy na pokładach współczesnych jednostek oraz na brzegowych stanowiskach dowodzenia, powszechnie są rozbudowane, zautomatyzowane systemy zobrazowania sytuacji, łączności i dowodzenia. Duże znaczenie dla końcowego rezultatu działań systemów nadzoru i zarządzania ruchem ma dostęp do wiarygodnych i pełnych danych geograficznych, nawigacyjno – hydrograficznych i meteorologicznych, które nazywane wspólnie danymi środowiskowymi, opisują środowisko nawigacji śródlądowej. Prowadzi to do zrealizowania nowoczesnych, zautomatyzowanych i zintegrowanych systemów nadzoru i zarządzania ruchem.

Elektroniczne Mapy Nawigacyjne (ENC – Electronic Navigational Chart) są obecnie najbardziej popularnym i szybko rozwijanym cyfrowym produktem hydrograficznym, zawierającym podstawowy zasób danych standardowej informacji o środowisku nawigacji, przede wszystkim zaś informacji nazywanej informacją o środowisku geograficznym. Są one tworzone przez wiele państwowych agencji i służb, odpowiedzialnych za hydrografię i kartografię (w Polsce rolę taką pełni Biuro Hydrograficzne Marynarki Wojennej). Oficjalne ENC są obecnie jedynymi mapami elektronicznymi, które, po zastosowaniu ich w certyfikowanych urządzeniach ECDIS, dają prawną możliwość przejścia do nawigacji „bezpapierowej” (to jest nawigacji prowadzonej w oparciu o elektroniczne urządzenia i systemy nawigacyjne, bez konieczności równoległego jej prowadzenia na mapach papierowych). Mają określony format i standard wymiany danych, z wolna tworzona jest też światowa baza danych tych map, przeznaczona dla użytkowników komercyjnych. Coraz powszechniej też mapy te stanowią tło nawigacyjne w wielu różnorodnych systemach zobrazowania geoprzestrzennego. Niewątpliwie jest to podstawowy produkt cyfrowy dla informacji środowiskowej, który winien znaleźć zastosowanie, poza okrętowymi systemami

zobrazowania map elektronicznych ECDIS, także we wszystkich systemach monitorowania i zarządzania ruchem.

Od niedawna upowszechniana jest koncepcja zintegrowanych produktów zobrazowania środowiska REP (Recognized Environmental Picture). Są one określane jako produkt, zawierający określony zestaw danych środowiskowych do zabezpieczenia określonej operacji lub działań połączonych, wydzielony z całego zestawu informacji środowiskowej, dostępny poprzez bezpieczne sieci systemów dowodzenia, niezbędny w procesie planowania i podejmowania decyzji przez dowódców oraz zapewniający niezbędną informację. W praktyce oznacza to konieczność połączenia wielu różnorodnych danych, zawartych dotąd na różnorodnych produktach zobrazowania i w różnorodnych formatach cyfrowych, w jeden, zintegrowany produkt, zobrazujący całość danych i pełną informację środowiskową. Jest to bezpośrednia odpowiedź na wysokie wymagania współczesnej żeglugi, podczas której występuje coraz większe zapotrzebowanie na dane o środowisku, do których zapewniony będzie dostęp w krótkim czasie i w łatwy sposób. Zapewnienie takich produktów stanowi obecnie duże wyzwanie dla geograficznych i hydrograficznych służb zabezpieczenia. Muszą one wziąć pod uwagę i rozwiązać wiele trudności, wynikających przede wszystkim z następujących, istniejących uwarunkowań:

- jednoczesne występowanie danych analogowych i cyfrowych,
- różnorodne systemy odniesienia,
- różnorodne formaty danych,
- różne wymagania systemów użytkowników,
- osobne systemy zbierania i udostępniania danych.

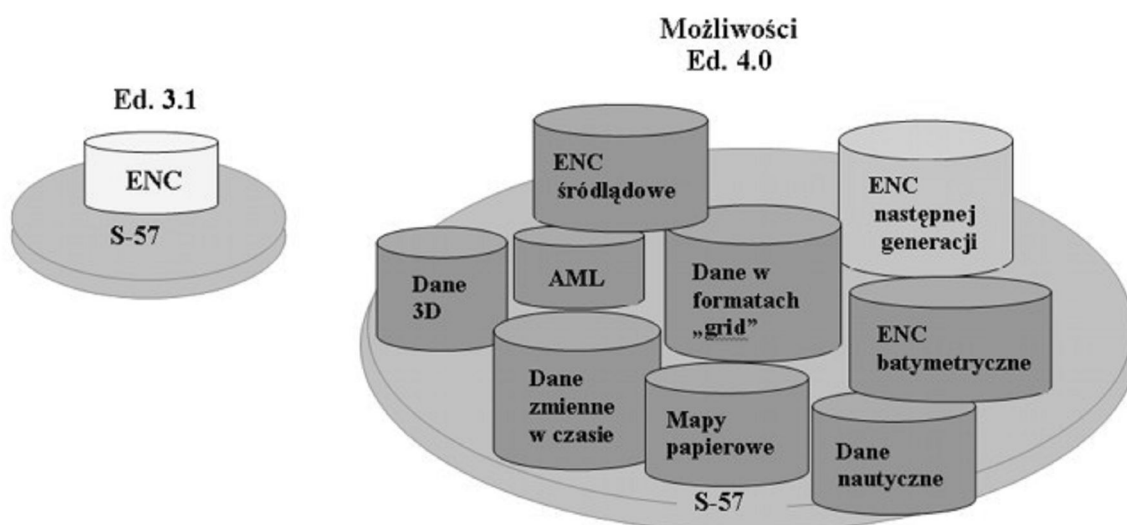
Te uwarunkowania powodują konieczność dokonania głębszych zmian w strukturach, wyposażeniu i procedurach, zarówno służb odpowiedzialnych za gromadzenie, opracowywanie i rozpowszechnianie danych środowiskowych, jak i użytkowników wykorzystujących te dane w procesie prowadzenia jednostki śródlądowej. Produkt ten wyróżnił się jako odpowiedź na zapotrzebowanie danych geoprzestrzennych, w szczególności zaś na informację hydrograficzną i meteorologiczną, które są niezbędne dla zabezpieczenia nawigacyjno – hydrograficznego ruchu na akwenie. Koncepcja ta została opracowana jako element nowych wymagań, wynikających z konieczności dopasowania systemów nawigacji i produktów zabezpieczenia nawigacyjno-hydrograficznego, a szerzej – systemów dowodzenia i zawartej w nich informacji środowiskowej, do potrzeb współczesnego, „elektronicznego” zarządzania ruchem na akwenie. Celem podstawowym tej koncepcji jest zapewnienie

użytkownikowi wszystkich wymaganych przez niego danych, w standaryzowanych produktach, możliwych do zastosowania w istniejących i planowanych systemach okrętowych i systemach dowodzenia, przy zachowaniu zasady minimalizowania powtarzania się informacji.

Do tego celu prowadzi trwający od lat osiemdziesiątych proces rozwoju elektronicznych map nawigacyjnych i nawigacji „bezpapierowej”, prowadzonej przede wszystkim z wykorzystaniem urządzeń ECDIS. Standardy dla tych map oraz urządzeń zostały opracowane przez Międzynarodową Organizację Morską (IMO) oraz Międzynarodową Organizację Hydrograficzną (IHO). Informacje hydrograficzne niesione przez standardowe mapy elektroniczne i bieżące dane z innych urządzeń oraz z własnych pomiarów są przydatnym i niezbędnym elementem zabezpieczenia nawigacyjno-hydrograficznego ruchu na akwenie. Obecna sytuacja, w której zapotrzebowanie na dane środowiskowe, jest zaspokajane poprzez różnorodne formy i zestawy danych oraz rozproszone informacje i różnorodne systemy użytkowników, powinna być zmieniona poprzez utworzenie jednolitego, zintegrowanego systemu informacji geoprzestrzennej. System taki winien operować pełnym zestawem, wiarygodnych, systematycznie aktualizowanych danych, które winny być dostarczone do użytkownika w czytelnych formach i jednolitych standardach. Aktualnie pełne pokrycie w oficjalne mapy wektorowe w standardzie S-57 uzyskały wszystkie polskie obszary morskie.

Standard S-57 (Transfer Standard for Digital Hydrographic Data) pozwala w jednolity i spójny sposób przysyłać dane hydrograficzne. Obecnie S-57 jest wykorzystywany do kodowania i wymiany Elektronicznych Map Nawigacyjnych (ENC) przeznaczonych głównie jako podstawowe mapy nawigacyjne dla systemów ECDIS. W założeniach S-57 jest przeznaczony do wymiany wszystkich typów danych hydrograficznych, jednakże aby to było możliwe należy gruntownie przebudować obecne wersje 3.0/3.1. Wstępne założenia nowej wersji 4.0 zostały opracowane w listopadzie 2006 r. przez grupę roboczą IHO TSMAD (Transfer Standard Maintenance and Application Development). Głównym celem edycji 4.0 jest stworzenie możliwości wymiany, poprzez ten standard, większej liczby źródłowych danych oraz produktów hydrograficznych.

W praktyce standard S-57 w wersji 4.0 pozwala dodatkowo na obsługę danych matrycowych, rastrowych, 3-D, danych zmiennych w czasie (x, y, z, czas) oraz nowych zastosowań, które wychodzą poza zakres tradycyjnej hydrografii (np. batymetria wysokiej rozdzielczości, czy klasyfikacje dna). Ma on również umożliwić wykorzystanie serwisów internetowych do wyszukiwania, przeglądania, analizy i transmisji danych hydrograficznych.



Rys. 2.5 Możliwości standardu S-57 – edycja 4.0. Źródło: (Pietrzak, 2008).

Dla opisywanego w pracy tematu niewątpliwie najważniejsze jest utworzenie śródlądowego ENC (Inland ENC), które będzie spełniać specyficzne wymagania informacyjne żeglugi śródlądowej. Równie istotna dla koncepcji domeny 3D jest także obsługa danych 3D oraz zmiennych w czasie (x, y, z, czas), co pozwoli na implementację i obsługę systemu w ściśle określonym standardzie. Mapa wektorowa przeznaczona do wykorzystania w elektronicznych systemach zobrazowania map i informacji nawigacyjnej (ECDIS) umożliwi aktywne korzystanie z mapy, m.in. pozwala wyznaczyć w nawigacji najkrótszą drogę pomiędzy punktami zwrotnymi trasy, wyszukać obszary o wymaganej minimalnej głębokości, izobatę bezpieczeństwa, informacje o płyciznach, skałach, wrakach, itp. System może odczytywać z mapy wektorowej wszelkie informacje dotyczące charakterystyk świateł, znaków i sygnałów nawigacyjnych. Mapa wektorowa umożliwia nie tylko powiększenie obrazu, ale i uzyskanie, poprzez zastosowanie skali minimalnej, większej szczegółowości (w miarę powiększania pojawiają się nowe elementy).

Wszystkie standardy dotyczące informacji geograficznej rozwijane przez ISO/TC211 zostały zaliczone do serii ISO 19100. Standardy te, dla wszystkich form informacji geoprzestrzennej, określają metody, narzędzia i serwisy:

- zarządzania danymi (włączając w to definicje i opisy),
- gromadzenia, przetwarzania, analizy, dostępności oraz prezentacji danych,
- transmisji danych w formie elektronicznej między różnymi użytkownikami i systemami.

Najbardziej charakterystycznym aspektem zbieżności nowej edycji S-57 z ISO TC/211 jest wprowadzenie pojęcia „archiwum”, w którym może znajdować się jedna lub więcej

„kartotek”. Archiwum jest to cały system informatyczny (wraz z lokalizacją), w którym umieszczony jest zbiór kartotek. W przypadku S-57 4.0 archiwum (pomieszczenia, sprzęt komputerowy, oprogramowanie itd.) pozwoli na przechowywanie różnych kartotek zawierających informacje związane z szeroko pojętą hydrografią. Kartoteki te będą zawierały katalogi obiektów i atrybutów, meta dane i listy kodów (na przykład kody pionowych układów odniesienia). Do najważniejszych kartotek, które planuje się utworzyć należą:

- śródlądowe ENC (INLAND ENC),
- informacja hydrograficzna (HYDRO),
- ENC batymetryczne,
- dane 3D i zmienne w czasie (x, y, z, czas)
- dynamicznie zmieniające się obszary pokryte lodem (ICE),
- dodatkowe warstwy wojskowe (AML).

Pozostałe rodzaje informacji, które nie będzie można zakwalifikować do żadnej z kartotek zostaną umieszczone w kartotece Open ECDIS Forum (OEF). Za zawartość, aktualizację i utrzymanie poszczególnych kartotek będą odpowiedzialne odpowiednie organizacje. Największą zaletą koncepcji „kartotek” jest ich elastyczność. Różnorodne wersje obiektów i atrybutów opisujących podobne elementy świata rzeczywistego będą mogły być jednoznacznie zidentyfikowane i sklasyfikowane. Standard S-57 został zaprojektowany w celu umożliwienia przesyłania danych hydrograficznych opisujących świat rzeczywisty. Rzeczywistość jest zbyt skomplikowana dla jej całościowego opisu na użytek praktyczny, a co za tym idzie, należy stosować uproszczony, wyspecyfikowany obraz tej rzeczywistości. Jednostkowe elementy rzeczywistości są definiowane za pomocą obiektów przestrzennych. Obiekt definiuje się jako identyfikowalny zbiór informacji, który może posiadać swoje atrybuty i może być odnoszony do innych obiektów. Zatem ENC jest zbiorem obiektów o określonych parametrach (atrybutach), znajdujących się w określonej pozycji względem ustalonego układu odniesienia. ENC zawiera wszelkie dane zawarte na mapie, spisie świateł i sygnałów nawigacyjnych oraz radiostacji nautycznych, a także może zawierać informacje uzupełniające (np. z locji), które mogą być uznane za niezbędne dla prowadzenia bezpiecznej nawigacji. Jej zaletą jest bardzo precyzyjne zdefiniowanie wszystkich obiektów, opisujących je atrybutów oraz ich wzajemnych relacji. Przewiduje się następujące korzyści wynikające z wprowadzenia S-57 4.0:

- poprzez wykorzystanie opracowanych przez ISO schematów standaryzacyjnych i terminologii zwiększy się wykorzystanie S-57 w różnych zastosowaniach oraz zmniejszy się koszt implementacji tego standardu,
- zgodność z standardami ISO TC/211 pozwoli na większe wykorzystanie powszechnie używanych aplikacji do obsługi produktów powstałych na bazie S-57,
- nowe komponenty S-57 nie będą rozwijane w oderwaniu od innych społeczności zajmujących się informacją geoprzestrzenną,
- poszerzy się grono potencjalnych odbiorców produktów opartych o S-57,
- zwiększą się możliwości wykorzystania przez Biura Hydrograficzne danych geoprzestrzennych z innych źródeł (np. danych topograficznych).

IHO podjęło decyzję, że do końca 2012 roku S-57 ed. 4.0 zostanie wprowadzona do użytku jako obowiązujący standard wymiany danych. Społeczność hydrograficzna uznała, że nazwanie nowego standardu kolejną czwartą edycją S-57 było decyzją niefortunną prowadzącą do wielu nieporozumień, co zmusiło IHO do zmiany nazwy standardu S-57 4.0, który po zatwierdzeniu zmieni dotychczasową nazwę z S-57 na S-100. Wynika to z faktu, iż S-57 4.0 nie będzie nową bardziej udoskonaloną wersją edycji 3.1, ale nowym standardem, który będzie zawierał zarówno dodatkowe schematy danych, jak i nowe formaty wymiany danych. Standard S-100 będzie kompatybilny z standardami ISO serii 19100, co znacznie zwiększy możliwości wykorzystania produktów powstałych na bazie tego standardu, który zapewni dokładne zobrazowanie śródlądowej informacji geoprzestrzennej.

Do metod analizy i oceny sytuacji na wyżej opisanych produktach obrazowania i rozpowszechniania śródlądowej informacji geoprzestrzennej zalicza się:

1. Obliczanie odległości euklidesowych pomiędzy obiektami, przy znanych współrzędnych pobranych z systemu określania pozycji.

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (2.17)$$

- x_1, y_1 – współrzędne (pozycja) obiektu pierwszego,
- x_2, y_2 – współrzędne (pozycja) obiektu drugiego.

2. Obliczanie odległości największego zbliżenia (najmniejsza odległość mijania) (CPA).

$$CPA = |(Y_0 * V_{wz\ x} - X_0 * V_{wz\ y}) / V_{wz\ o}| \quad (2.18)$$

- X_0, Y_0 – współrzędne względne obiektu obcego w układzie współrzędnych obiektu własnego,
- $V_{wz\ x}, V_{wz\ y}$ – składowe prędkości względnej (przesunięcie pozycji obiektu w trakcie jednego obrotu anteny radaru),

- $V_{wz o}$ – prędkość względna obiektu, $V_{wz o} = \sqrt{V_{wz x}^2 + V_{wz y}^2}$.

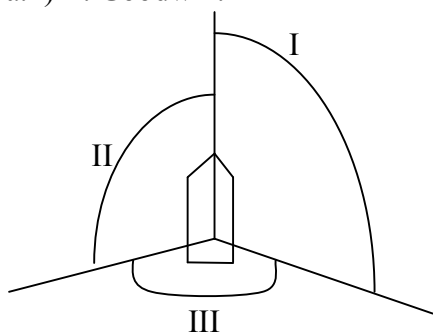
Dla bezpieczeństwa wyznacza się również czas (TCPA) i odległość (DCPA) do osiągnięcia punktu największego zbliżenia. Pozwala to na podejmowanie precyzyjnych (bezpiecznych) i zarazem optymalnych decyzji w celu uniknięcia zagrożenia i kontynuowania ruchu po wyznaczonym torze.

3. W celu podejmowania precyzyjnych decyzji odnoszących się do unikania zagrożenia aktualnie stosuje się i dużego tempa rozwoju nabierają miary związane z modelami geometrycznymi, w postaci generowania stref buforowych, obliczania powierzchni i obwodów obszarów:

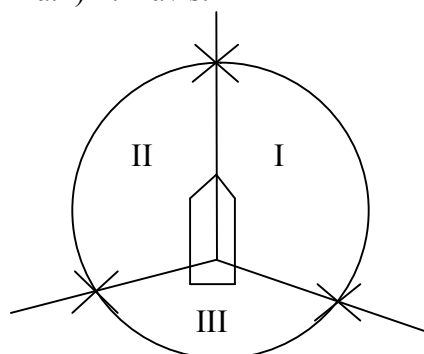
a) domena w płaszczyźnie (dwuwymiarowa - 2D):

- domeny obiektów według:

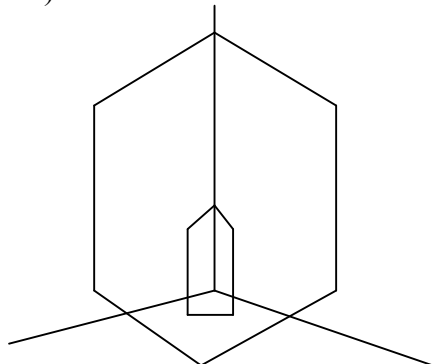
a.1) E. Goodwin:



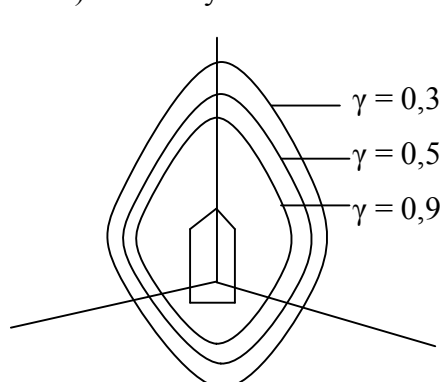
a.2) P. Davis:



a.3) R. Śmierchalski:



a.4) Z. Pietrzykowski:



Rys. 2.6 Szkic poglądowy metod budowy domeny 2D. Źródło: opracowanie własne na podstawie (Goodwin, 1998; Davis, 2000; Śmierchalski, 2005; Pietrzykowski, 2007).

E. Goodwin przedstawił metodę wyznaczania obszaru niebezpiecznego na podstawie analizy danych statystycznych, w której sugerując się przepisami wyznaczył sektory występowania obiektów określone wartością namiaru na ten obiekt. Sektor I z prawej burty zawiera się od 0° do $112,5^\circ$, sektor II z lewej burty od 247° do 360° , a sektor III rufowy od $112,5^\circ$ do $247,5^\circ$. Rozmiary domen dla konkretnych statków określa się na podstawie badań statystycznych.

Przykładową domenę tego typu przedstawia (rys. 2.6 - a.1). Zmodyfikowaną postać domeny, ułatwiającą modelowanie tego obszaru zaproponował P. Davis, który proponuje opisać obszar niebezpieczny wokół obiektu za pomocą koła (rys. 2.6 – a.2). W metodzie Śmierchalskiego obszar wyznacza figura w kształcie sześciokąta (rys. 2.6 – a.3), a wymiary tego obszaru są dobierane doświadczalnie. Jeden ze sposobów wyznaczania obszaru niebezpiecznego wokół statku polega na wykorzystaniu zasięgu słyszalności okrętowych środków sygnalizacji. Kształt domeny został zaprojektowany w taki sposób, by w trakcie wyboru trajektorii optymalnej możliwe było uwzględnienie poruszającego się obszaru, który reprezentuje dany obiekt. Z. Pietrzykowski zastosował teorię zbiorów rozmytych w metodzie wyznaczania optymalnego obszaru domeny dla zadanych jednostek i wymaganego poziomu bezpieczeństwa (rys. 2.6 – a.4). Wprowadził przez to pojęcie domeny rozmytej, w której granice domeny są wyznaczone dla różnych wartości poziomu bezpieczeństwa (γ), który jest kodowany do przedziału $\langle 0, 1 \rangle$ (0 – sytuacja bardzo bezpieczna, 1 – sytuacja bardzo niebezpieczna – kolizja). Kształt i wielkość domeny są uzależnione od wielu czynników. Obecnie najczęściej wykorzystywanym w praktyce kształtem domeny dwuwymiarowej jest koło. Dotyczy to zwłaszcza systemów antykolizyjnych, gdzie jej promień równy jest CPA o środku utożsamianym z pozycją statku. Innymi występującymi kształtami mogą być: prostokąt, elipsa, wielokąt i inne figury płaskie. Domenę mogą stanowić również części tych figur, ustalone przez nawigatora w zakresie kątów kursowych, gdzie występuje duża dynamika zmian sytuacji geoprzestrzennej. Wynika to z faktu występowania dużych wartości prędkości względnych pomiędzy statkiem, a innymi obiektami. Tworzone są wówczas tzw. strefy ochronne (ang. guard zones). Ich przeznaczeniem jest wczesne wykrywanie potencjalnych sytuacji kolizyjnych.

- b) domena w przestrzeni (trójwymiarowa - 3D) – jest autorską koncepcją przedstawioną w kolejnym podrozdziale pracy.

2.2.3 Metoda modelowania dynamicznej domeny 3D

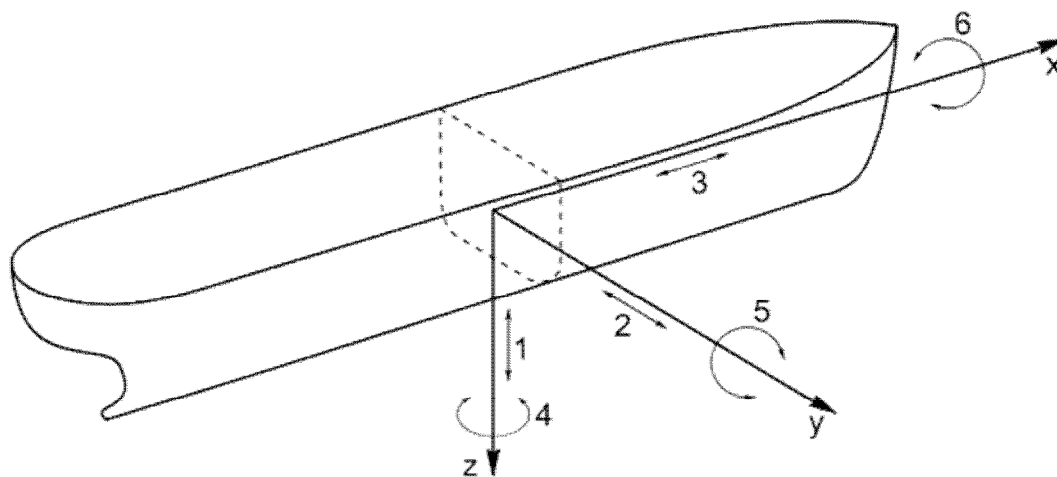
Bezpieczne prowadzenie statku wymaga ciągłej identyfikacji i oceny sytuacji nawigacyjnej. Ocena bezpieczeństwa statku własnego sprowadzana jest często do ustalenia i obserwacji stref wokół statku. Pojawienie się obiektów obcych w tych strefach powoduje powstanie zagrożenia w tych strefach i wymaga jego oszacowania oraz podjęcia odpowiednich przeciwdziałań.

Pojęciem domena statku nazywa się pewien obszar (domena dwuwymiarowa) lub pewną część przestrzeni (domena trójwymiarowa) wokół rozpatrywanego obiektu (statku -

jednostki śródlądowej rys. 2.8), która w sposób obrazowy pozwoli ocenić bezpieczeństwo statku oraz umożliwi określenie ryzyka nawigacyjnego (ruchu). Oznacza to, że pojawienie się dowolnej przeszkody (intruza) wewnątrz domeny statku (czyli obszaru jego „wyłączności”), gwałtownie zwiększy ryzyko dla ruchu statku i może w efekcie prowadzić do nieuchronnej kolizji. A zatem tak długo można będzie uznać statek za bezpieczny, jak długo pozostanie on jedynym obiektem ruchomym lub stałym w obrębie tej przestrzeni. Domena to obszar wokół statku, który dla bezpieczeństwa powinien być wolny od innych jednostek, czy innego rodzaju obiektów.

System informatyczny tworzony jest na podstawie wytworzonego w procesie analizy modelu analitycznego. Model taki jest pośrednikiem między rzeczywistością a systemem informatycznym. Zadaniem modeli analitycznych jest tworzenie systemów informatycznych na podstawie tylko tych elementów, które są niezbędne do ich wytworzenia. Model analityczny w oparciu o domenę 3D tworzy przestrzeń trójwymiarową określoną w trzech płaszczyznach:

- wektor X – długość statku (ma znaczenie przy podchodzeniu do niewralgicznych punktów toru wodnego i manewrach statku przy zakolach itp.),
- wektor Y – szerokość akwenu, statku,
- wektor Z – określa wysokość i zanurzenie statku, głębokości akwenu.



Rys. 2.7 Układ współrzędnych w przestrzeni trójwymiarowej. Źródło: (Montewka, 2005).

Powstające zaawansowane technologicznie narzędzia z dziedziny technologii informacyjnych i komunikacyjnych coraz skuteczniej pomagają przewidywać możliwość wystąpienia zagrożeń oraz wspomagają podejmowanie działań, które pozwolą na ich unikanie lub minimalizację ich ewentualnych skutków. Dzięki domenie trójwymiarowej wirtualnie

otaczającej statek będzie wyznaczony bezpieczny obszar manewrowy dla jednostki śródlądowej. Także zapewni ona dostarczanie w czasie rzeczywistym niezbędnych informacji ostrzegających przed różnego rodzaju zagrożeniami w żegludze śródlądowej, co zapewni ochronę dla przewożonej ludności i towarów.

W kontekście utworzenia systemu RIS (River Information Services) wartościową pomocą są wszelkiego rodzaju, oparte na zaawansowanych technologiach, narzędzia do szczegółowego monitorowania aktualnych zagrożeń, analizowania i przewidywania sytuacji oraz szybkiego (efektywnego) udostępniania otrzymywanych wyników odpowiednim jednostkom śródlądowym. Zasady oceny sytuacji geoprzestrzennej oparto na koncepcji dynamicznej, czyli zmiennej w czasie domeny trójwymiarowej. Na jej podstawie określono metody identyfikacji zagrożenia dla jednostki śródlądowej manewrującej na akwencie ograniczonym w trzech wymiarach. Kształt i wielkość domeny może być różny w zależności od dobieranych i uwzględnianych czynników. Wielkość (rozpiętość) obszaru domeny określa się w zależności od:

- parametrów jednostki (długość, szerokość, wysokość, zanurzenie),
- możliwości manewrowych jednostki (prędkość, zwrotność, hamowanie),
- parametrów akwenu (długość, szerokość, głębokość),
- uwzględnienia newralgicznych punktów toru np. mosty (wysokość, prześwit),
- warunków hydrometeorologicznych.

Bezpieczny akwen manewrowy określa się poprzez wyznaczenie współrzędnych najbardziej znaczących skrajnych punktów obwiedni kadłuba statku oraz pozycji anteny, która będzie pozycją odniesienia dla wizualizacji w układzie współrzędnych. Następnie nakreśla się maksymalnie możliwe odległości kadłuba statku w prawo i lewo od osi toru wodnego, dla których nie występuje zagrożenie kolizji i możliwy jest w tym obszarze ruch. Jest to znany w literaturze algorytm wyznaczania szerokości bezpiecznego akwenu manewrowego. Aby bezpieczeństwo żeglugi mogło być wyznaczone w trzech wymiarach należy wyznaczyć i wizualizować obszary bezpiecznej głębokości.

Zastosowanie domeny 3D umożliwia modelowanie i wizualizację informacji zależnej od zjawisk zmieniających się dynamicznie, takich jak wahanie głębokości wód. Obszar bezpiecznych głębokości jest zależny m.in. od prędkości statku. Taki rodzaj informacji będzie stanowić bezcenne uzupełnienie treści map nawigacyjnych. Obecnie wyznaczanie obszarów bezpiecznej głębokości opiera się na analizie zawartych na mapach informacji batymetrycznych w postaci izobat i sondaży. W mapach cyfrowych w dalszym ciągu

informacje o głębokości akwenu są obrazowane w postaci zbioru izobat i sondaży. Pewnym ułatwieniem jest wprowadzenie funkcji umożliwiających automatyczny wybór odpowiedniej izobaty bezpieczeństwa statku, selekcji głębokości (sondaży), czy monitoring głębokości. Dodatkowo możliwość trójwymiarowej wizualizacji powierzchni dna pozwoli na lepszą analizę informacji batymetrycznej podczas prowadzenia statku. Pomimo generowania izobaty bezpieczeństwa dla ustalonej głębokości bezpiecznej niezbędna jest również wizualizacja danych związanych ze zjawiskami hydrodynamicznymi, które występują podczas prowadzenia statku na akwenach ograniczonych. Zmiana prędkości statku umożliwia dostosowanie zapasu wody pod stępką do aktualnej głębokości akwenu, co pozwala na uniknięcie wejścia statku na mieliznę. Zależność osiadania od prędkości statku powoduje dynamiczną zmianę obszaru bezpiecznych głębokości w granicach, dla których przy danych parametrach statku i zadanej prędkości będzie możliwe wykonywanie planowanych manewrów. Bezpieczna głębokość akwenu (H) zabezpiecza statek przed wejściem na mieliznę lub uderzeniem kadłuba w dno. Jej wartość powinna być równa lub większa od sumy zanurzenia statku (T) i zapasu wody pod stępką (Δ). Elementem, który w sposób dynamiczny wpływa na wartość zapasu wody pod stępką jest osiadanie, które jest połączonym efektem obniżenia lustra wody i dodatkowego trymu podczas ruchu statku.

Głównym czynnikiem, który ma wpływ na osiadanie statku jest jego prędkość. Większa prędkość powoduje wzrost osiadania, co zwiększa wymagany zapas wody pod stępką. Obecnie istnieje wiele różnych metod do obliczania osiadania, odpowiednich dla określonego typu akwenu i określonego typu statku. Jednak stosowane są one dla stałych warunków, na przykład dla niezmiennej geometrii toru wodnego, dla stałych głębokości, czy stałych prędkości statku. Dlatego pomimo stosowania tych metod, przy nagłych zmianach głębokości, co jest charakterystyczne na akwenach ograniczonych, może dojść do wystąpienia miejscowego efektu osiadania, a w konsekwencji do wejścia na mieliznę lub kolizji z dnem. Zastosowanie dynamicznej domeny 3D umożliwi lepsze zobrazowanie informacji, doda możliwość jej modelowania na całej długości odcinka ruchu z uwzględnieniem jego nieregularności. Jedną z takich niezbędnych informacji będzie zobrazowanie wahań poziomu wód w postaci obszaru bezpiecznych głębokości, którego aktualna rozpiętość będzie zależna od prędkości statku. Informacja przedstawiona w takiej formie umożliwi podjęcie decyzji w zakresie doboru odpowiedniej prędkości dla konkretnego akwenu i aktualnej sytuacji podczas planowania drogi na akwenach ograniczonych oraz pozwoli precyzyjniej wyznaczać granice bezpiecznego akwenu manewrowego.

Warunkiem uniknięcia kolizji z dnem akwenu jest nawigowanie na akwenu o głębokościach większych lub równych głębokości bezpiecznej. Aby wyznaczyć takie obszary należy dokonać selekcji punktów (węzłów) według następującego warunku:

$$h(i) \geq H$$

Obecnie na mapach elektronicznych można wyznaczać obszary, których granice stanowi wybrana izobata bezpieczeństwa. Jednak taka metoda powoduje zwiększony zapas bezpieczeństwa, ponieważ w standardach map dostępny jest ograniczony zbiór izobat i dla wprowadzonych wartości zapasu wody pod stępką i zanurzenia wybierana jest najbliższa izobata o głębokości mniejszej od (H) bezpiecznej głębokości akwenu. Stosując zaś dynamiczną domenę 3D można precyzyjniej wyznaczyć obszar bezpiecznej głębokości. W ten sposób utworzy się zbiór punktów z głębokościami większymi lub równymi głębokości bezpiecznej akwenu (H). Następnie należy dokonać wizualizacji tych punktów, przez co uzyskuje się bezpieczny akwen manewrowy pod względem głębokości – (Y). Wizualizacja obszarów bezpiecznej głębokości w formie dynamicznej, czyli zmiennych w czasie, co jest spowodowane choćby zmianą prędkości przez statek powoduje konieczność wyznaczania na bieżąco nowych obszarów bezpiecznej głębokości na akwenu. Algorytm wyznaczania obszarów bezpiecznej głębokości:

1. Oblicz osiadanie statku w ruchu dla założonej prędkości – można zastosować jedną z szeregu znanych metod, np. według ogólnego wzoru Barrasa oblicza się następująco:

$$S = 0,01 * V^2 * \delta \text{ [m]} \quad (2.19)$$

gdzie: V – prędkość statku [w], δ – współczynnik pełnotliwości podwodzia.

Natomiast dla ograniczonych torów wodnych wartości osiadania są dwukrotnie większe i wzór Barrasa przyjmuje postać:

$$S = 0,02 * V^2 * \delta \text{ [m]} \quad (2.20)$$

Dodatkowo zakres stosowalności wzoru jest ograniczony przez dwa następujące warunki:

$$1) h / T \geq 1,2 \quad (2.21)$$

$$2) 0,06 \leq F_s / F_k \leq 0,3 \quad (2.22)$$

gdzie: F_s – powierzchnia przekroju zanurzonej części kadłuba [m³], F_k – powierzchnia przekroju podwodnej części kanału [m³].

Pierwszy warunek określa, że zapas wody pod stępką nie przekracza 20% zanurzenia.

2. Oblicz wymagany zapas wody pod stępką – Δ .
3. Oblicz wymaganą głębokość bezpieczną – $H = T + \Delta$.

4. Jeżeli dla zadanego statku i określonej prędkości warunek bezpiecznej głębokości jest spełniony to dodaj określony punkt (węzeł) do zbioru Q.
5. Dokonaj wizualizacji obszaru bezpiecznej głębokości (Q).
6. Obszar bezpiecznej głębokości zostaje nałożony na batymetrię danego akwenu i tam gdzie warunek 3 nie jest spełniony rysowany jest obszar czerwony (brak możliwości przejścia statku przy zadanych parametrach).

Wizualizacja informacji o głębokościach w tej postaci pozwala precyzyjniej określić obszary z bezpieczną głębokością oraz oszacować m.in. prędkość statku, która zapewni mu utrzymanie wymaganego zapasu wody pod stępką. Dodatkowo daje również możliwość wybrania tej części toru, który można pokonać przy zachowaniu stałej prędkości statku, co ma duże znaczenie z ekonomicznego punktu widzenia – koszt transportu. Informacje te niewątpliwie można również wykorzystać przy projektowaniu dróg wodnych, szczególnie tych ze zmienną batymetrią dna. Dla określenia poziomu bezpieczeństwa należy przyjąć wiele wskaźników liczbowych, które będą stanowiły kryteria jej oceny na badanym akwenu. Obecnie brakuje szczegółowych uregulowań prawnych, dotyczących bezpieczeństwa jednostek manewrujących na akwenach ograniczonych oraz precyzyjnie określonych kryteriów, które powinny stosować się do takiej oceny.

Bezpieczeństwo jednostki wymaga ciągłej identyfikacji i oceny sytuacji geoprzestrzennej. Ocena dokonywana jest na podstawie zdefiniowanych (przyjętych) kryteriów. Kryteria te warunkują przynależność danej sytuacji do wzorca sytuacji bezpiecznej lub niebezpiecznej. Często miarą bezpieczeństwa nawigacyjnego jest odległość do niebezpieczeństwa. Tym niebezpieczeństwem może być inny statek lub przeszkoda (mielizna, przęsła mostu itd.). Odległości minimalne – dopuszczalne, dla wszystkich kątów kursowych statku określają strefę bezpieczeństwa wokół niego, którą nawigator będzie chciał utrzymać wolną od innych obiektów. Utrzymanie manewrującego statku w obrębie takiej strefy zapewni bezpieczną nawigację.

Dostępny akwen żegludowy dla danego typu jednostki będzie przedstawiony w postaci obszaru zbioru punktów, które spełniają wymagane kryteria i ograniczenia nałożone w momencie czasu t . Przestrzeń trójwymiarowa (domena 3D) będzie stanowić zmieniającą się dynamicznie bryłę geometryczną, która powstanie z połączenia zamodelowanych punktów wyznaczonych przez warunki ograniczające. Przykładowy szkic przestrzennego modelu domeny statku z wyszczególnieniem jej głębokości (G_d), wysokości (W_d), szerokości (S_d) i długości (D_d) został zilustrowany na rys. 2.15. Sposób wyznaczenia tych parametrów domeny opisują wzory:

$$W_d(x, y, t) = H_{\max} + \Delta_{\text{św}}(x, y, t) \quad (2.23)$$

$$G_d(x, y, t) = T(x, y, t) + \Delta_s(x, y, t) + \Delta_d(x, y, t) \quad (2.24)$$

$$S_d(x, y, t) = d_m(x, y, t) + d_{rz}(x, y, t) + d_{rc}(x, y, t) + \Sigma d_i(x, y, t) \quad (2.25)$$

$$D_d(x, y, t) = L + 0,15 * L + L_{Dm}(x, y, t) \quad (2.26)$$

Do ograniczeń w modelu zalicza się następujące równania:

$$1) \quad h(x, y, t) \geq T(x, y, t) + \Delta_s(x, y, t) + \Delta_d(x, y, t)$$

$$2) \quad \Delta_s(x, y, t) + \Delta_d(x, y, t) = \Delta(x, y, t) > 0$$

$$3) \quad h_{\text{św}}(x, y, t) \geq H_{\max} + \Delta_{\text{św}}(x, y, t)$$

$$4) \quad h_{\text{św}} / H_{\max} \geq 1,2$$

$$5) \quad b_{\text{św}} \geq 2B + \Delta_{rb}$$

$$6) \quad V_{s \min} \leq V_s(x, y, t) \leq V_{s \max}$$

gdzie:

- x, y – współrzędne, t – moment czasu, $h(x, y, t)$ – aktualna głębokość akwenu w miejscu o współrzędnych x, y i w momencie czasu t ,

$\Delta_s(x, y, t)$ – statyczna rezerwa wody pod stępką [m],

$\Delta_d(x, y, t)$ – dynamiczna rezerwa wody pod stępką [m],

$h_{\text{św}}$ – wysokość pionowa w świetle konstrukcji [m],

H_{\max} – wysokość maksymalna do nierozbieralnej konstrukcji statku [m],

$b_{\text{św}}$ - szerokość pozioma w świetle konstrukcji [m],

B - szerokość statku [m], T – zanurzenie [m], L – długość całkowita statku [m],

L_{Dm} – długość domeny statku przed dziobem w zależności od jego możliwości manewrowych,

Δ – rezerwa wody pod stępką,

$\Delta_{\text{św}}$ - rezerwa wysokości w świetle konstrukcji,

Δ_{rb} - rezerwa szerokości w świetle konstrukcji,

d_m – podstawowa szerokość manewrowa pasa ruchu [m], d_i – dodatkowe poprawki na szerokość pasa ruchu [m], d_{rz} – rezerwa szerokości pasa ruchu po stronie lewej (czerwonej) [m], d_{rc} – rezerwa szerokości pasa ruchu po stronie prawej (zielonej) [m].

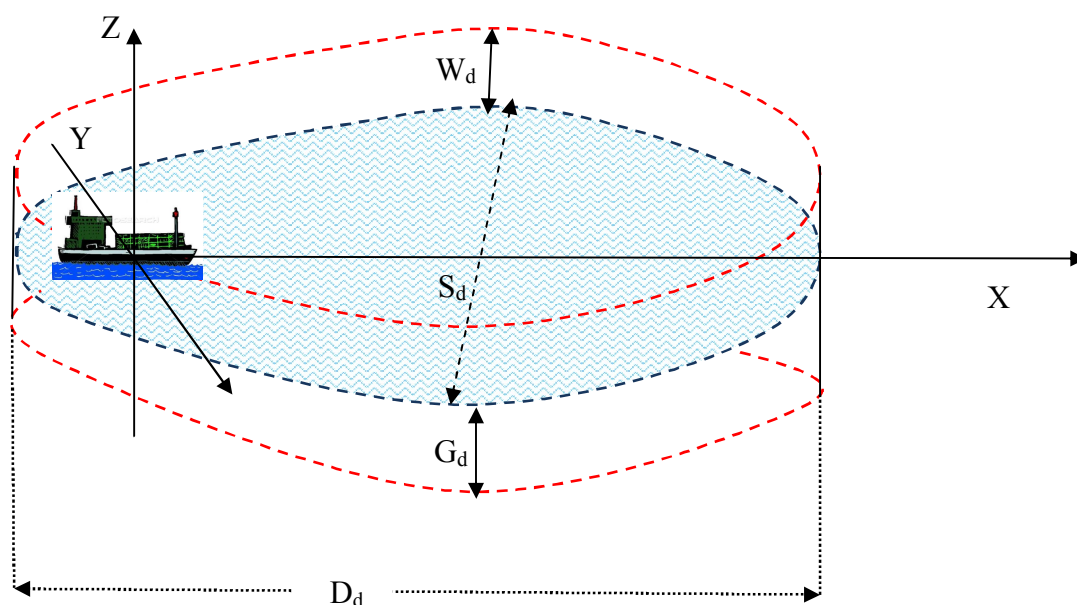
V_s – prędkość statku na torze wodnym [w], podlega ograniczeniom: $V_{s \min}$ – minimalna manewrowa prędkość statku [w], $V_{s \max}$ – maksymalna dopuszczalna prędkość statku [w].

G_d – głębokość domeny liczona od linii zanurzenia statku w dół [m],

W_d – wysokość domeny liczona od linii zanurzenia statku w górę [m],

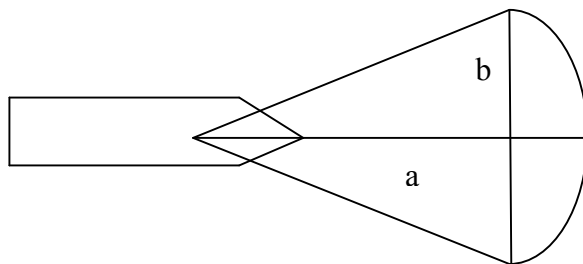
S_d – szerokość domeny statku liczona od wzdłużnej osi symetrii do jej granic na lewej i prawej burcie [m],

D_d – długość domeny statku liczona od jej granicy za rufą do jej granicy przed dziobem [m].



Rys. 2.8 Schemat przestrzennego modelu domeny. Źródło: opracowanie własne.

Koncepcję zmieniającej się w czasie (dynamicznej) przestrzeni trójwymiarowej wokół statku stosuje się jako sposób oceny zachowania bezpieczeństwa podczas manewrowania na akwenach ograniczonych. Dotychczas wykorzystanie takiej domeny mogło stwarzać pewne utrudnienia ze względu na brak bieżącej informacji o sytuacji na akwenu, np. o cechach manewrowych nowo wykrytych obiektów. Stąd brak możliwości w ustaleniu jej rozmiarów. Spowodowało to pojawienie się pojęcia domeny niemożności decyzyjnej operatora, która określa pewien obszar, gdzie może znajdować się przeszkoda, lecz z braku informacji rzeczywistej o jego wektorze prędkości nie ma możliwości podjęcia odpowiedniej decyzji. Taka domena zorientowana jest zgodnie z kierunkiem ruchu statku. Stanowi ona wycinek koła o promieniu a i szerokości wyznaczonej przez cięciwę b (rys. 2.9). Długość promienia domeny jest głównie uzależniona od prędkości statku, a jej szerokość od charakterystyki manewrowej statku.



Rys. 2.9 Obszar niemożności decyzyjnej operatora. Źródło: opracowanie własne na podstawie (Kostępski, 2005).

Podobną strefę można utworzyć wokół innego dowolnego obiektu, który zostanie uznany za niebezpieczny dla żeglugi. Wtedy nawigator będzie się starał nie dopuścić do wejścia statku własnego w taką strefę. Aktualnie informacje te mogą być przekazywane przez system AIS i podawane bezpośrednio do systemów zarządzania ruchem.

Przedstawiona domena 3D statku pozwala na dokonywanie oceny sytuacji geoprzestrzennej. Taka domena przemieszcza się w przestrzeni wraz ze statkiem. Jej zakłócenie spowoduje wzrost niebezpieczeństwa i konieczność podjęcia odpowiedniego działania. Dzięki domenie trójwymiarowej wirtualnie otaczającej statek będzie wyznaczony bezpieczny obszar manewrowy dla jednostki śródlądowej. Zapewni ona dostarczanie w czasie rzeczywistym niezbędnych informacji ostrzegających przed różnego rodzaju zagrożeniami w żegludze śródlądowej, co zapewni ochronę dla przewożonej ludności i towarów. Koncepcja dynamicznej domeny 3D udostępnia wszelkie informacje niezbędne do unikania sytuacji niebezpiecznych w przestrzeni (3D), czyli wraz z uwzględnieniem poziomu wody i jej wahań. Również umożliwia automatyczne wyznaczanie optymalnego manewru i trajektorii ruchu w sytuacjach kolizyjnych. Metoda konstrukcji dynamicznej domeny 3D ma na celu wyznaczenie parametrów bezpiecznego obszaru manewrowego i umożliwienie określenia na podstawie zbiorów rozmytych stopnia bezpieczeństwa nawigacji na akwencie ograniczonym.

Do etapów modelowania matematycznego zalicza się (Kisielnicki, 1999):

- sformułowanie celów modelowania,
- wybór kategorii modelu i określenie jego struktury,
- identyfikację parametrów modelu i ich zależności,
- utworzenie zbioru procesów decyzyjnych,
- algorytmizację obliczeń,
- oprogramowanie,
- weryfikację modelu.

Kolejnym etapem będzie utworzenie zbioru procesów decyzyjnych i algorytmizacja obliczeń.

2.2.4 Symulacyjny model ruchu jednostki śródlądowej

Zastosowanie symulatora ruchu statku w badaniach pozwala na wnikliwą analizę sytuacji na akwencie i skutków (efektów) wspomaganie decyzji na temat obranej trajektorii ruchu przez system. W celu ustalenia relacji zachodzących w układzie nawigator – statek – środowisko wykorzystywane są powszechnie metody symulacyjne, oparte na matematycznych modelach ruchu statku. Metody symulacyjne funkcjonują w oparciu

o modele matematyczne ruchu statku. Komputer o odpowiednich parametrach będzie wyposażony w specjalistyczne moduły m.in. zobrazowania informacji i sterowania ruchem statku, który będzie działał w oparciu o model symulacyjny ruchu statku na akwenu. Ze względu na istniejące zapotrzebowanie posunięto się do daleko idących uproszeń matematycznie – fizycznych i zwrócono uwagę na najważniejsze aspekty ruchu i zjawisk im towarzyszących. Celem modelu symulacyjnego ruchu jest jak najwierniejsze odzwierciedlenie aspektów samego ruchu statku i jego reakcji na sterowanie. Model pozbawiony jest modułów szczególnie opisujących hydrodynamikę obiektu, lecz otwarta struktura modelu umożliwia dodanie danego (żądanego, potrzebnego) komponentu na dowolnym etapie projektowania modelu. Jednak już w chwili obecnej model może służyć jako narzędzie do badania skutków wspomagania podejmowania decyzji o trajektorii ruchu w celu uniknięcia wszelkich zagrożeń i bezpiecznego dotarcia do wyznaczonego celu. Ze względu na budowę modelu można przyjąć następującą systematykę podziału modeli (Płodzień, Stemposz, 2003):

- modele analityczne – zbudowane są zazwyczaj w oparciu o pierwszą metodę rozwiązywania równań ruchu statku i opierają się na formalnym przedstawieniu teorii,
- modele eksperymentalne – to typowo numeryczne modele przyczynowo – skutkowe opracowane w oparciu o szczegółowe wyniki badań eksperymentalnych konkretnego statku,
- modele analityczno – eksperymentalne – oparte na rozwiązaniu drugiej metody równań ruchu, są to modele, które są kombinacją opisu matematycznego i empirycznej obserwacji.

Opisywany model należy zaklasyfikować do trzeciej z wymienionych grup, gdyż utworzony opis matematyczny problemu będzie podlegał eksperymentalnej weryfikacji. Matematyczne modele ruchu statku przedstawiane są w postaci równań ruchu. Ogólnie równania ruchu statku w sześciu stopniach swobody można przedstawić za pomocą sześciu równań różniczkowych (Dudziak, 1988). Jednak przy założeniu, że ruch statku odbywa się w trzech stopniach swobody, przemieszczających się wraz ze statkiem w dowolnym czasie t i kącie wychylenia steru δ , a wektory prędkości wynoszą odpowiednio $V = (v_x, v_y, 0)$ i $\Omega = (0, 0, \omega_z = \dot{\Psi} = d\Psi/dt)$ to wektor stanu statku jest określony przez jego pozycję, prędkość (V), kurs i kąt dryfu, a równania ruchu statku upraszczają się do postaci (Domachowski, Ghaemi, 2009):

$$m_x (dv_x / dt) - m_y * V_y (d\Psi / dt) = F_{xh} + \Sigma F_x \quad (2.27)$$

$$m_y (dv_y / dt) - m_x * V_x (d\Psi / dt) = F_{yh} + \Sigma F_y \quad (2.28)$$

$$J_z (d^2\Psi / dt^2) = M_{zh} + \Sigma M_z \quad (2.29)$$

gdzie:

m_x – masa statku i wody towarzyszącej w kierunku osi x,

m_y – masa statku i wody towarzyszącej w kierunku osi y,

J_z – moment bezwładności statku i wody towarzyszącej w kierunku osi z,

Ψ – kurs statku,

F_{xh}, F_{yh}, M_{zh} – składowe sił i momentu hydrodynamicznego,

$\Sigma F_x, \Sigma F_y, \Sigma M_z$ – suma składowych sił i momentów innych sił działających na statek.

Składowe prędkości wypadkowej V wynoszą:

$$V_x = V * \cos\beta \quad (2.30)$$

$$V_y = V * \sin\beta \quad (2.31)$$

$$V = \text{sqrt}(V_x^2 + V_y^2) \quad (2.32)$$

Prędkość kątowna obliczana jest z zależności: $\omega = d\Psi / dt$.

Przy obecnym stanie wiedzy określenie powyższych zależności metodami teoretycznymi nie jest możliwe, w związku z czym do budowy modeli wykorzystuje się badania modelowe. Pozwalają one budować ogólne modele matematyczne, a siły wyrażać jako funkcję długości, szerokości, zanurzenia i współczynnika pełnotliwości kadłuba statku (c_b) (Kijama i in., 1993; Yanheng, 1996). W rezultacie otrzymuje się zależność: $F_{xh}, F_{yh}, M_{zh} = f(L, B, T, c_b)$. Metody symulacji ruchu statku są obecnie powszechnie wykorzystywane do badań bezpieczeństwa ruchu statków na akwenach ograniczonych (Iribarren, 1999; Galor, 2002) ze względu na następujące zalety:

- wysoki stopień zgodności z rzeczywistością,
- niskie nakłady finansowe w stosunku do nakładów na metody modelowania fizycznego,
- możliwość realizacji celów bez konieczności tworzenia systemu rzeczywistego, czyli możliwość badania nieistniejących systemów,
- możliwość symulowania procesów losowych,
- uzyskują dobre wyniki weryfikacji nawet w przypadku skomplikowanych manewrów,
- pozwalają na uwzględnienie kwalifikacji nawigatora i jego zmienności w procesie kierowania statkiem,
- możliwość określenia parametrów bezpieczeństwa i prawdopodobieństwa wystąpienia awarii,

- możliwość budowy symulacyjnych metod optymalizacji parametrów ruchu, dopuszczalnych warunków nawigacyjnych i wyboru najkorzystniejszej taktyki manewrowania.

Powyższe zalety metod symulacji komputerowej ruchu statku w czasie rzeczywistym sprawiają, że modele te są obecnie najważniejszym narzędziem badawczym pomimo ich wady jaką jest stosunkowo duża czasochłonność pracy.

Dynamiczne pozycjonowanie statku polega na komputerowym wspomaganie decyzji dotyczących ruchu, co pozwala na bardzo dokładne manewrowanie statkiem. Statek może utrzymywać swoją pozycję lub przesuwać się zgodnie z zamierzeniami operatora, z dokładnością do kilku metrów (w zależności od użytego systemu referencyjnego i pogody). Opisywany model symulacyjny jest w zamyśle wprowadzeniem do systemów wspomaganie decyzji dotyczących pozycjonowania statku. Dlatego też możliwe było zastosowanie uproszczeń matematyczno – fizycznych w zjawiskach wpływających na ruch statku. Podstawową funkcją modelu będzie system pozycjonowania jednostki w ruchu dla zachowania bezpieczeństwa wyznaczonego przez domenę 3D. Na podstawie pozycji obserwowanej wyrażonej w globalnym układzie współrzędnych oraz pomiarze przyspieszeń i prędkości kątowych system będzie wyznaczał konieczną pozycję dla zachowania wymaganego bezpieczeństwa. Zaistnieje więc możliwość porównania wyników i wyciągnięcia wniosków dotyczących dokładności oraz możliwości zastosowania systemu wspomaganie decyzji. W trakcie realizacji modelu kolejne moduły będą sukcesywnie analizowane i dostosowywane do potrzeb omawianego systemu.

Działanie opisywanego modelu polega na ciągłym obliczaniu danych zmiennych wejściowych (nastaw i zakłóceń) sił i momentów działających na statek, w funkcji których określone są chwilowe przyspieszenia i prędkości ruchu wzdłużnego, boczno i obrotowego. Model matematyczny ruchu statku doczekał się wielu uaktualnień szczególnie w zakresie obliczania sił i momentów oddziałujących na statek. Wypadkowe siły obliczane są według następujących zależności (Rutkowski, 2008):

$$F_x = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \cos \gamma_i, \quad (2.33)$$

$$F_y = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \sin \gamma_i, \quad (2.34)$$

$$M_z = (\sum_{i=1}^n P_i \cdot \sin \gamma_i x_i) + (\sum_{i=1}^n P_i \cdot \cos \gamma_i y_i). \quad (2.35)$$

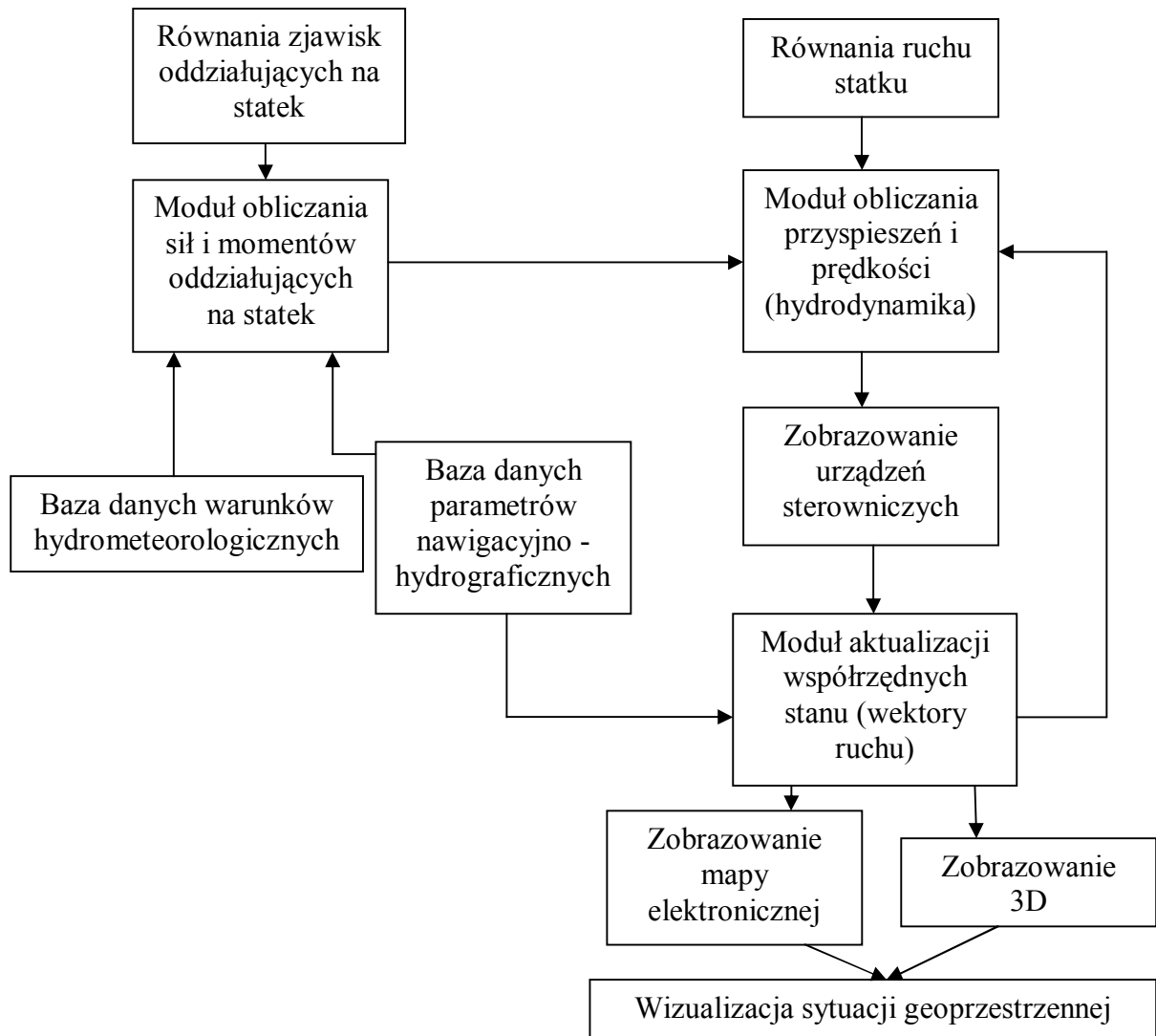
gdzie:

F_x , F_y , M_z – wypadkowe siły wzdłużnej, poprzecznej i momentu obrotowego w układzie związanym ze statkiem,

P_i – siły składowe działające na statek,

x_i, y_i – punkty przyłożenia powyższych sił w stosunku do środka ciężkości statku,

γ_i – kąt działania poszczególnych sił w stosunku do osi statku.



Rys. 2.10 Schemat funkcyjny modelu symulacyjnego ruchu statków. Źródło: opracowanie własne.

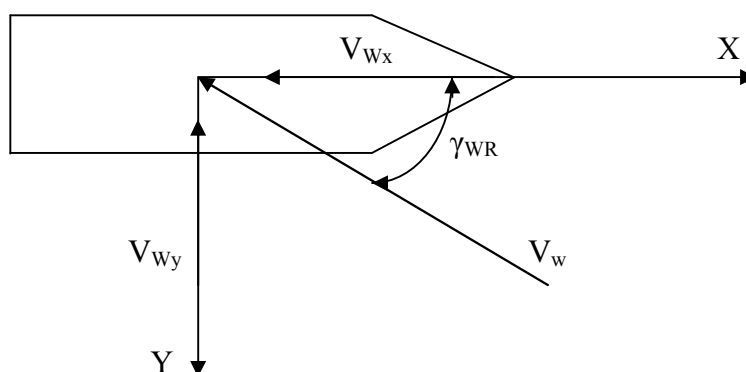
Sternik utrzymuje statek na kursie, powodując wychylenia steru o wielkości zależne przede wszystkim od odchylenia statku od kursu, przy czym kąty wychylenia steru nie są dokładnie proporcjonalne do kątów odchylenia statku od kursu. Utrzymanie statku na kursie nie jest równoznaczne z utrzymaniem jednostki na zadanej trajektorii. W sytuacji gdy statek poddawany jest zakłóceniom zewnętrznym lub wewnętrznym (rys. 2.12), kurs rzeczywisty nie będzie pokrywał się z kątem drogi nad dnem, za co odpowiedzialne są m.in. takie zjawiska jak dryf i znos. Ich przyczynami są zaburzenia o charakterze ciągłym lub doraźnym (zakłócenia ruchu), do których zalicza się:

- działanie wiatru – pod naporem bocznego wiatru statek w zależności od konstrukcji – położenia nadbudówki, rozmieszczenia urządzeń pokładowych itd. wykazuje tendencje do odchylenia się od kursu. Wpływ wiatru jest tym większy, im statek ma mniejszą prędkość i mniejsze zanurzenie. Stwierdzono, iż moment działający na statek na skutek oddziaływania wiatru bywa tak duży, że dla jego zrównoważenia potrzebne jest wychylenie steru nawet o ponad 10° (Montewka, 2002). Siły i momenty oddziałujące na statek, wywołane wiatrem, zależą od prędkości wiatru i stanowią proces stochastyczny.

$$V_{WR} = \text{sqrt}(V_{WRx}^2 + V_{WRy}^2); \quad \gamma_{WR} = \text{arctg}(V_{WRy} / V_{WRx}); \quad (2.36)$$

$$V_{WRx} = V_w * \cos \gamma_{WR} - V_x + V_{cx}; \quad V_{WRy} = V_w * \sin \gamma_{WR} - V_y + V_{cy}; \quad (2.37)$$

gdzie: V_w – prędkość wiatru, V_x , V_y – składowe prędkości statku, V_{cx} , V_{cy} – składowe prądu rzecznoego.



Rys. 2.11 Szkic składowych prędkości wiatru. Źródło: opracowanie własne.

- oddziaływanie prądów rzecznych, które są wywoływane wiatrem (prądy powierzchniowe), wymianą ciepła, zmianami zasolenia, czy przez siłę Coriolisa lub siłami grawitacyjnymi. W układzie współrzędnych związanym z ustalonym punktem statku:

$$V_{cx} = V_c * \cos(\beta - \Psi); \quad V_{cy} = V_c * \sin(\beta - \Psi); \quad (2.38)$$

gdzie: V_c – średnia prędkość prądu, β – kąt określający kierunek prądu.

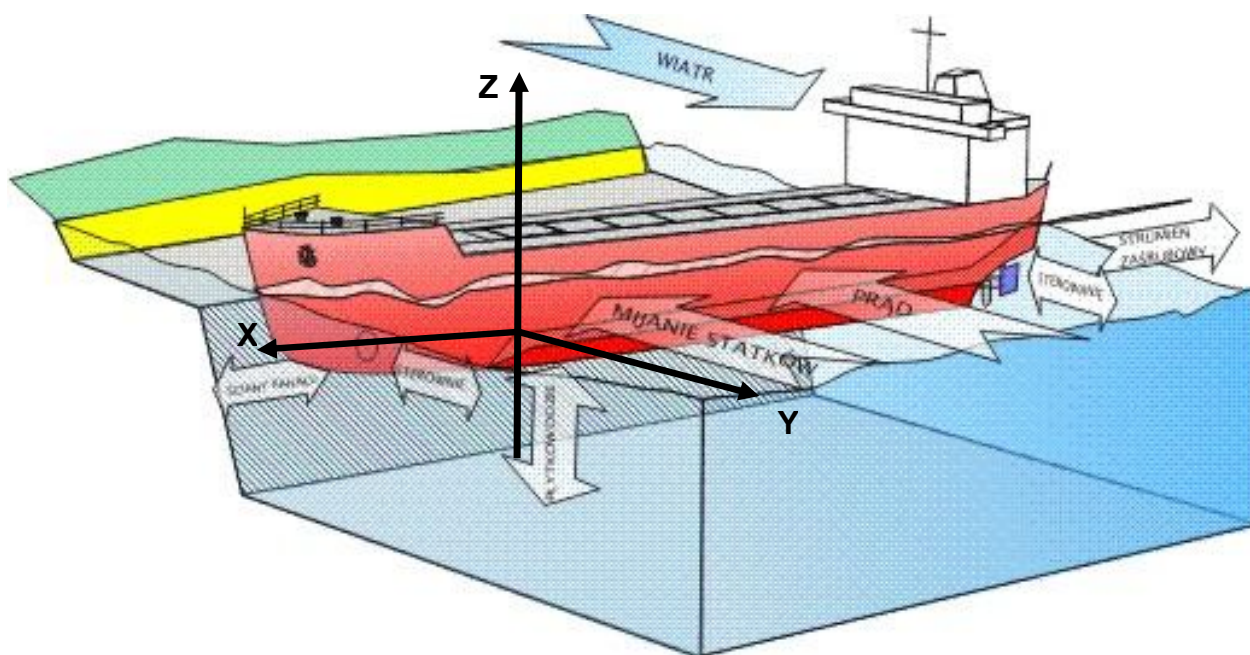
- oddziaływanie fali na statek – przejawia się w uderzeniach fali o burty statku powodując doraźne odchylenia statku w obydwu kierunkach, zwane potocznie myszkowaniem statku. Przy różnych kątach ułożenia kadłuba statku w stosunku do fali, zmienia się amplituda i częstotliwość siły wymuszającej myszkowanie.

$$\text{Liniowy model fali (opis deterministyczny): } \xi(x, t) = \sum A_i * \cos(\omega_i * t - k_i * x + \varphi_i); \quad (2.39)$$

gdzie: $\xi(x, t)$ – wzniesienie fali, ω_i – pulsacja i-tej składowej, A_i – amplituda i-tej składowej, k_i – liczba falowa, φ_i – kąt przesunięcia fazowego. Z teorii ruchu falowego (Holiday, 2000):

$$c = \lambda / T = \omega / k; \quad k = 2 \Pi / \lambda; \quad \omega_i^2 = k_i * g * \text{tg} h(k_i * d); \quad (2.40)$$

gdzie: c – prędkość wzdłuż fali, g – przyspieszenie ziemskie, d – głębokość wody.



Rys. 2.12 Przedstawia zakłócenia (zaburzenia) ruchu wpływające na statek. Źródło: www.astor.com.pl.

2.3 Propozycja modelu systemu wspomaganie decyzji w zarządzaniu ruchem przy uwzględnieniu poziomu wody

Oryginalne modele i algorytmy obliczeniowe, wykorzystujące wiedzę nawigatorów, umożliwiają budowę systemu wspomaganie decyzji nawigatora. Uwzględniają one zarówno bezpieczeństwo nawigacyjne jak i aspekt ekonomiczny realizacji zadania transportowego. Prezentowany model będzie stanowić cenne narzędzie wspomagające podejmowanie decyzji niezbędnych do uniknięcia zagrożenia oraz dostarczy wszystkich potrzebnych informacji do zarządzania ruchem jednostek śródlądowych.

2.3.1 Aspekty wspomaganie decyzji użytkownika RIS

Zasadniczym narzędziem informatycznym umożliwiającym efektywne korzystanie z informacji jest system informacyjny (Bargielski, 1992), który umożliwia gromadzenie danych i ich przetworzenie do postaci łatwo czytelnej. System informacyjny to celowe zestawienie ludzi, danych, procesów, sposobów komunikacji, infrastruktury sieciowej i urządzeń komputerowych, które to elementy współdziałają ze sobą w celu zapewnienia ciągłego funkcjonowania (przetwarzania danych), jak również dla wspierania rozwiązywania problemów i podejmowania decyzji (usługi informacyjne) (Beyon – Davies 1998). Dość często, acz niesłusznie, terminu system informatyczny używa się jako synonimu. System informacyjny może składać się z więcej niż jednego systemu informatycznego. Wynika z

tego, iż system informatyczny stanowi podzbiór systemu informacyjnego, czyli jest częścią systemu informacyjnego i realizuje przetwarzanie informacji za pomocą systemów komputerowych (Kaczorek, 1999). Natomiast system komputerowy to nic innego jak sprzęt komputerowy (hardware) i oprogramowanie (software). Przy czym sam poziom informatyzacji systemu może być różny. Choć współcześnie, w erze informacyjnej trudno wyobrazić sobie system informacyjny, który w znacznej mierze nie opierałby się na systemie skomputeryzowanym.

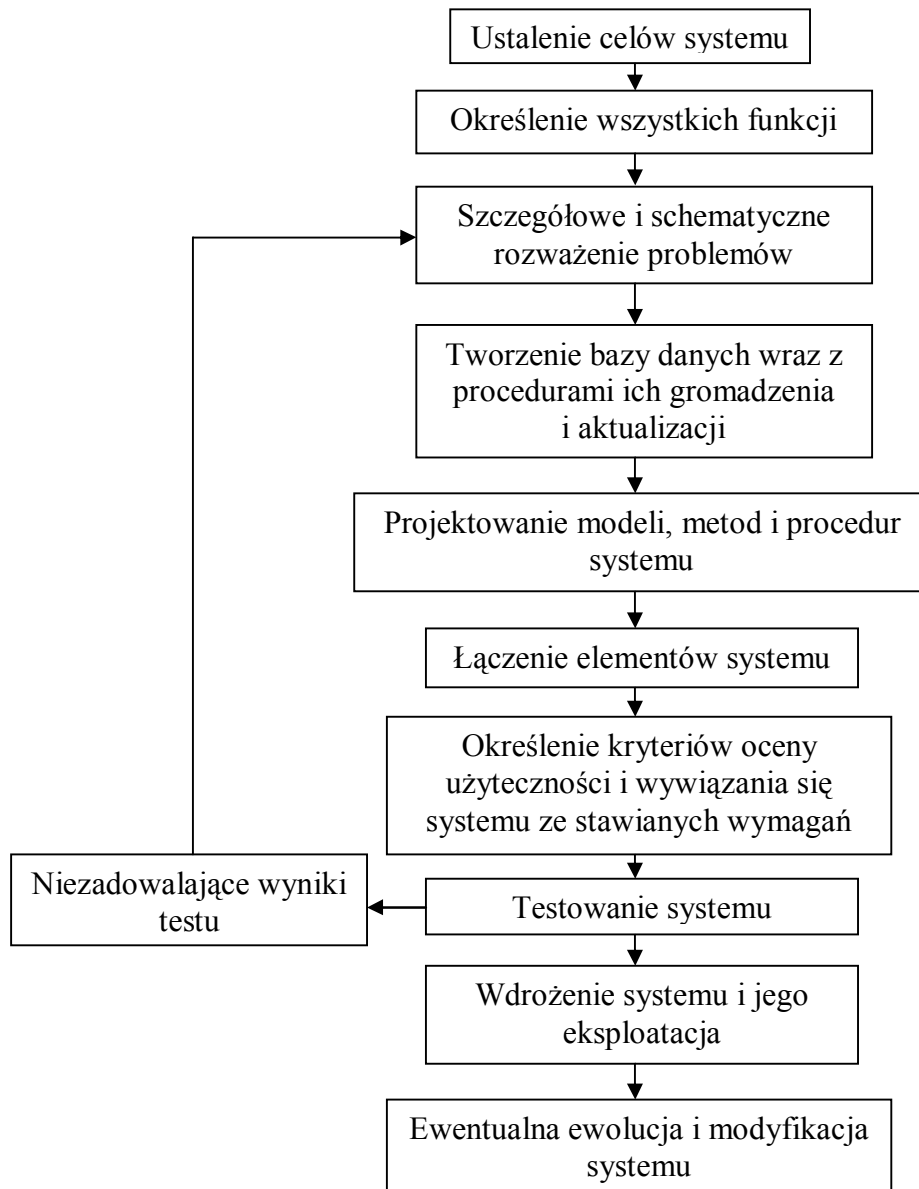
Wyspecjalizowane systemy informacyjne, generujące informacje przydatne przy podejmowaniu decyzji w konkretnych przypadkach wraz z prezentacją w formie ułatwiającej ich zastosowanie (np. przez podanie gamy rozwiązań ze wskazaniem rozwiązania najlepszego pod względem określonych kryteriów), noszą nazwę systemów wspomaganie decyzji (ang. DSS – Decision Support System). Systemy wspomaganie decyzji powinny:

- być projektowane w taki sposób (rys. 2.13), aby ułatwić procesy decyzyjne,
- skupiać uwagę na wspomaganie decyzji, a nie na jej automatyzowaniu,
- być w stanie reagować na szybko zachodzące zmiany w potrzebach decydenta.

Dzięki tego typu systemom w praktyce wykorzystuje się osiągnięcia badań operacyjnych i analizy systemowej. Podejście systemowe dąży do traktowania obiektu badań jako jednorodnego, celowego systemu składającego się z wzajemnie powiązanych części. Zamiast zajmowania się każdą z części odrębnie, podejście systemowe umożliwia spojrzenie na obiekt jako na całość, a zarazem na część szerszego środowiska zewnętrznego. W ten sposób teoria systemów wskazuje, że działania każdej części pewnego obiektu badań wpływają na działania wszystkich pozostałych części. Podejście systemowe kładzie nacisk na wzajemne związki między tymi częściami. Analiza systemowa polega na opisanie obiektu badań przy pomocy modeli, na których będą prowadzone eksperymenty. Model taki imituje cechy rzeczywiste obiektu, istotne dla przyjętych kryteriów czy celów decyzyjnych. Podejście systemowe wyklucza atomizację badanych zjawisk i rzeczy. Istotą tej analizy jest zbudowanie i badanie uproszczonego modelu sytuacji rzeczywistej, przy czym model może przyjmować formę symulacji, gry operacyjnej czy słownego scenariusza.

Systemy wspomaganie decyzji (SWD) są przeznaczone do:

- rozwiązywania problemów niezestrukturizowanych lub tylko częściowo zestrukturizowanych,
- podnoszenia skuteczności procesów decyzyjnych,
- wspierania, a nie eliminowania rozumowania decydenta.



Rys. 2.13 Etapy projektowania SWD. Źródło: opracowanie własne.

Do najczęściej stosowanych zbiorów informacji w SWD zalicza się:

- Dane – niezbędne dla użytkownika, aby nie musiał absorbować własnej pamięci do ich przechowywania,
- Tekst – czyli słowne informacje dotyczące danego problemu,
- Zmienne – nazwy zmiennych używanych w równaniach,
- Modele – opisują zmienne, które należy brać pod uwagę, ich relacje i strukturę matematyczną,
- Obrazy – obrazy graficzne zawierają znaczną ilość wiedzy i są łatwiejsze w percepcji,
- Reguły – różne metody reprezentacji wiedzy lub opisu obiektów, które są bardzo przydatne dla przedstawienia wiedzy w postaci symbolicznej.

Koncepcja SWD polega przede wszystkim na obliczeniach numerycznych, które są prowadzone w modelach oraz na dostępie do informacji i ich prezentacji na monitorze. W systemie tym komputer jest udostępniony decydentowi po to, aby mógł wykorzystać dane i modele dla rozpoznania i zrozumienia problemu oraz wykorzystania analitycznych porad dla oceny wariantów rozwiązań i na tej podstawie podjąć decyzję. Dlatego w opracowywanym projekcie zostanie zastosowany informacyjny system wspomaganie decyzji, gdyż jego elementy i sposób działania najlepiej nadają się do rozwiązania postawionego zadania. Cele SWD (systemu wspomaganie decyzji) dla potrzeb RIS:

- sygnalizowanie sytuacji niebezpiecznych oraz aktualnego stanu bezpieczeństwa,
- automatyczne wyznaczanie optymalnego manewru i trajektorii ruchu w sytuacjach kolizyjnych,
- realizacja zadań cząstkowych systemu poprzez autonomiczne moduły sprzętowo – programowe,
- działanie w celu usprawnienia wymiany informacji i kooperacji,
- wspomaganie pracy operatorów i użytkowników.

Podstawową zaletą systemu RIS jest wykorzystanie precyzyjnej informacji oraz wizualizacja śledzonych przez system obiektów na przestrzennej mapie numerycznej, co umożliwia precyzyjne (bezpieczne) sterowanie ruchem. Wykorzystanie systemu wspomaganie decyzji:

- zminimalizuje ryzyko wystąpienia błędów ludzkich podczas prowadzenia nawigacji,
- przyspieszy dostęp do niezbędnych informacji (automatyzacja procedur),
- zwiększy możliwości transportowe na akwenach śródlądowych (skuteczniejsze planowanie przepływu jednostek, optymalizacja),
- podniesie bezpieczeństwo, co przełoży się na korzyści ekonomiczne i ekologiczne oraz ochronę zdrowia i życia ludzi pracujących w tej branży.

2.3.2 Baza wiedzy (reguł) w informatycznym systemie ekspertowym

System „inteligentny” jest to określenie stosowane do systemu, który przejawia zdolność uczenia się i podejmowania decyzji na bazie informacji z otoczenia. Na podstawie reguł i zależności potrafią podjąć i zastosować decyzję lub wybraną decyzję przedstawić jego użytkownikowi. Przez podejmowanie decyzji należy rozumieć proces polegający na zidentyfikowaniu alternatywnych metod działania i wyborze między nimi. Zaś mówiąc o informacjach sprawczych uwzględnia się decyzje przy pomocy których realizuje się procesy sterowania. Wiedza jest kluczowym elementem systemu ekspertowego, ponieważ to ona

decyduje o jego jakości i wiarygodności. Jest zbiorem wiadomości z określonej dziedziny składających się z opisów, relacji i procedur, zapisanych za pomocą języka reprezentacji wiedzy i utrzymywanym jako składnik systemu oddzielony od programu kontrolnego. Baza wiedzy powinna zawierać fakty i reguły umożliwiające rozwiązywanie problemów z danej dziedziny. Fakty to zdania oznajmujące ukazujące pewną zależność między obiektami i charakteryzujące cechy tych obiektów. Baza wiedzy jest specyficznym elementem, który odnosi się do konkretnej dziedziny o której zawiera informacje posiadane przez jej ekspertów. W bazie wiedzy znajduje się opis obiektów przy pomocy zaimplementowanych atrybutów oraz występujących pomiędzy nimi zależności.

Systemy ekspertowe to programy komputerowe, które rozwiązują specjalistyczne problemy z pewnej dziedziny, zastępując eksperta-człowieka. Na podstawie zgromadzonej wiedzy potrafią również wnioskować i podejmować decyzje. Ogólnie zalicza się je do dziedziny zwanej „sztuczną inteligencją”. Podział systemów ekspertowych (ze względu na możliwość ingerencji człowieka w produkowane przez system rozwiązanie):

- systemy doradcze – podpowiadają rozwiązanie pomagając podjąć decyzję człowiekowi – prezentują rozwiązanie jakiegoś problemu, ale do użytkownika należy jego ocena, oraz to czy je zaakceptuje, czy odrzuci,
- podejmujące decyzję bez ingerencji i kontroli człowieka – stosowane do sterowania skomplikowanymi urządzeniami w warunkach wykluczających lub mocno ograniczających możliwości człowieka,
- systemy krytykujące – dokonują analizy pewnego problemu i jego rozwiązania, a następnie komentują to rozwiązanie.

Drugi podział (ze względu na złożoność):

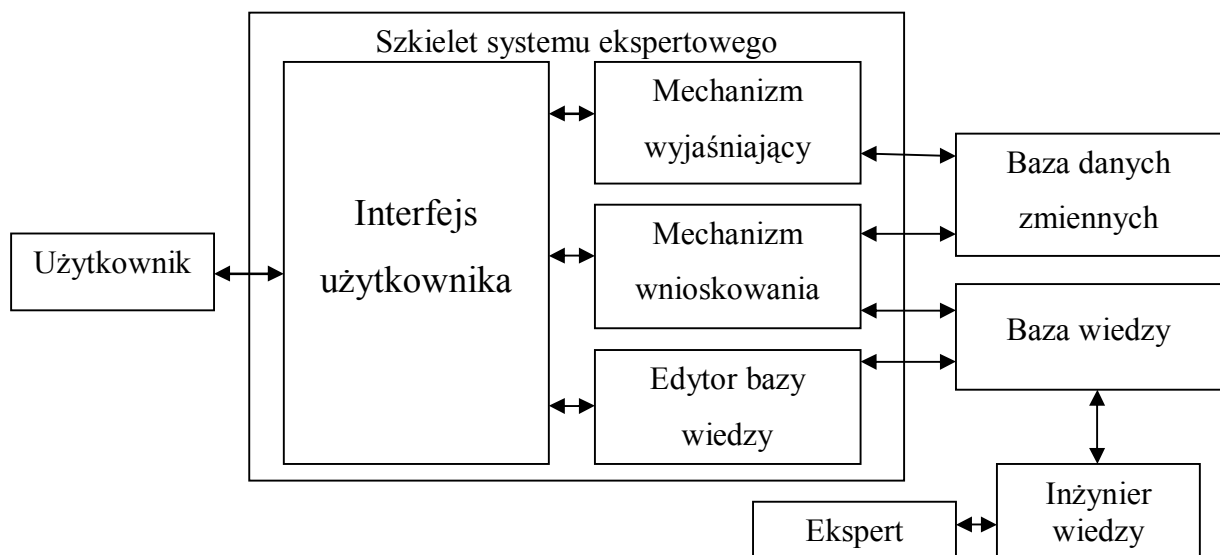
- płytkie – korzystają tylko z informacji zgromadzonych w bazie wiedzy,
- głębokie – wyposażone w moduły pozwalające na samodoskonalenie się – potrafią rekomendować decyzję w sytuacjach nieznanach.

Warunkiem poprawności działania SE jest poprawna konstrukcja bazy wiedzy. Wymaga to wyboru odpowiednich faktów z dziedziny działania systemu, unikania błędów i wybrania odpowiedniej struktury. System ekspertowy składa się z następujących, niezależnych fizycznie, lecz współpracujących ze sobą, elementów:

- baza wiedzy – znajdują się w niej wszelkie informacje z zakresu wybranej dziedziny: wiedza faktograficzna (fakty), wiedza o wnioskowaniu (zbiór reguł), wiedza o sposobach rozwiązywania problemu (meta-wiedza). Wiedza musi być

zapisana w postaci sformalizowanej, zrozumiałej dla mechanizmu wnioskującego i pozwalającej na prześledzenie sposobu dojścia systemu do rozwiązania,

- maszyna wnioskująca – na podstawie zgromadzonej wiedzy wyszukuje rozwiązanie postawionego problemu – jest ona oddzielona od bazy wiedzy, dzięki czemu działa tak samo w systemach ekspertowych dla dowolnej dziedziny jak i w szkieletowych systemach ekspertowych. Algorytm wyszukiwania zawiera szereg strategii przeszukiwań, heurystyk i metod wnioskowania – strategie wyznaczają kolejne kroki przeszukiwań, heurystyki pomagają zoptymalizować przestrzeń poszukiwań, a metody decydują w jaki sposób zachodzi proces myślenia (wnioskowane wstecz, w przód, czy inne),
- procedury objaśniania – objaśniają strategię wnioskowania, sposób dojścia do rozwiązania i pokazują dokładniejsze dane o rozwiązaniu,
- interfejs do porozumiewania się z użytkownikiem – umożliwia komunikację człowieka z systemem (pracę interaktywną) i służy do zasięgnięcia informacji u użytkownika, przedstawiania wygenerowanego wyniku oraz udzielania wyjaśnień na temat procesu wnioskowania. Konstrukcja i wygląd interfejsu zależy od języka programowania, za pomocą którego stworzono system ekspertowy oraz systemu operacyjnego, w którym on działa,
- moduły zdobywania i modyfikacji wiedzy – pozyskiwanie wiedzy pozwala na automatyczne ulepszanie systemu.



Rys. 2.14 Schemat systemu ekspertowego. Źródło: opracowanie własne na podstawie (Jaskiewicz, 1999).

Systemy z bazami wiedzy wydzielonymi od pozostałych modułów programu nazywamy systemami opartymi na bazie wiedzy (ang. knowledge based systems). Systemy takie często są wykorzystywane jako systemy wspomagające podejmowanie decyzji. System ekspertowy podczas swego działania korzysta z bazy wiedzy. Podstawowe zagadnienia w systemach opartych na bazie wiedzy wynikają z konieczności pozyskiwania, reprezentacji i sposobu użycia wiedzy oraz jej objaśniania i ponownego uczenia się. Ze względu na metodę prowadzenia procesu wnioskowania systemy ekspertowe (SE) dzieli się na te:

- z logiką dwuwartościową (Boole'a),
- z logiką wielowartościową,
- z logiką rozmytą.

Natomiast ze względu na rodzaj przetwarzanej informacji SE dzielą się na dwie grupy:

- systemy z wiedzą pewną, czyli zdeterminowaną,
- systemy z wiedzą niepewną, w przetwarzaniu której wykorzystuje się przede wszystkim aparat probabilistyczny.

W omawianym modelu proces wnioskowania jest oparty o logikę rozmytą, dzięki której będzie można wyznaczyć różne poziomy bezpieczeństwa i stosować według potrzeb (np. zachować wyższy poziom bezpieczeństwa dla jednostki przewożącej materiały niebezpieczne). Domena może mieć granicę „ostrą” tzn. jednostopniową, gdzie jej przekroczenie spowoduje zmianę stanu sytuacji z bezpiecznej na niebezpieczną. Także może mieć granice wielostopniowe, których wielkość i kształt uzależnione są od przyjętego poziomu bezpieczeństwa i ze specyfiki problemu do rozwiązania. Domenę tę, do której wykorzystuje się prawa logiki rozmytej nazywa się rozmytą domeną statku. Na podstawie praw logiki rozmytej można ustalić strefy, którym odpowiadają różne poziomy bezpieczeństwa. W takiej sytuacji nawigator i operator systemu będą dysponowali dodatkowo informacją o aktualnym poziomie bezpieczeństwa i tendencji jego zmiany. Stosowanie stref bezpieczeństwa (domen) w zintegrowanych systemach i ośrodkach kontroli ruchu niewątpliwie podniesie poziom bezpieczeństwa żeglugi (Banachowicz, Uriasz 2006). Ruch statku szczególnie na akwenu ograniczonym obarczony jest ryzykiem, ze względu na ograniczenia przestrzeni, natężenie ruchu oraz zjawiska meteorologiczne i hydrodynamiczne. Coraz częściej zastosowanie znajdują metody oparte na komputerowym wspomaganie decyzji. Umożliwiają one pozyskanie wiedzy eksperckiej i na jej podstawie ustalenie kształtu i rozmiaru domeny bezpiecznej statku. Dzięki określeniu wielkości domeny oraz metody wyliczania odległości istnieje możliwość wyznaczania tabel decyzyjnych, które będą

określały manewry sterem i/lub napędem w celu zachowania „czystej” domeny statku. Daje to możliwość tworzenia baz wiedzy.

Tabela 2.5 Tworzenie reguł wnioskowania na podstawie tabeli decyzyjnej, przykład poglądowy:

Odległość od obiektu obcego	Prędkość, $V = 10$ [w]	Wniosek
Bardzo blisko	Bardzo niebezpiecznie	Natychmiast zmniejszyć prędkość, zmienić kurs o x stopni
Blisko	Ryzyko zderzenia	Zachować szczególną ostrożność, zmniejszyć prędkość
Daleko	Bezpiecznie	Zachować dotychczasowy kurs bez zmian

Źródło : Opracowanie własne

„Wiedza eksperta jest kluczem do systemu, podczas gdy reprezentacja wiedzy i schematy wnioskowania dostarczają mechanizmów do jej użycia.” (Kisielnicki, Sroka 1999). Dla ułatwienia procesu algorytmizacji stosuje się tzw. wektory wiedzy, które są pewnego rodzaju uogólnieniem reguł, w wyniku którego otrzymuje się zapis w postaci wektorowej. W podejściu tym najpierw zapisuje się daną bazę reguł w tradycyjny sposób, przy czym poszczególne reguły powinny zawierać jednakową liczbę warunków i wniosków. Następnie dokonuje się kodowania poszczególnych członów reguł z wykorzystaniem symboli. W rezultacie zamiast pisać pełną reprezentację poszczególnych reguł, otrzymuje się bardzo zwarty opis w postaci wektorów, zawierających symbole. Mając postać wektorową, łatwo można przejść na opis zawierający pełną treść reguł. W wektorze wiedzy może być zestaw wszystkich pytań (warunków) jak w regule złożonej. Wektory wiedzy są wygodne do weryfikacji poprawności bazy wiedzy. Maszyna wnioskująca składa się z procedur przeszukiwania i wnioskowania, co służy znalezieniu rozwiązania i jego uzasadnienia. Wnioskowanie to umiejętność podejmowania decyzji w oparciu o posiadaną wiedzę. W przypadku systemów ekspertowych jest to wyznaczanie nowych faktów na podstawie bazy wiedzy i zbioru faktów początkowych, zadeklarowanych przez użytkownika.

2.3.3 Analiza metod pozyskiwania wiedzy

Aby system ekspertowy działał poprawnie i efektywnie, baza wiedzy musi być poprawnie skonstruowana oraz musi być odpowiedniej jakości. Mechanizmy umiejętności uczenia się powinny realizować następujące zadania: formułowanie nowych pojęć, wykrywanie nowych prawidłowości w danych, tworzenie reguł decyzyjnych, przyswajanie

nowych pojęć, modyfikowanie i uogólnianie oraz precyzowanie danych, a także zdobywanie wiedzy przez dialog z człowiekiem i generowanie wiedzy zrozumiałej dla człowieka. Do strategii uczenia systemów zalicza się:

- bezpośrednie zapisanie wiedzy – system nie musi wnioskować i przekształcać wiedzy, uczy się jej „na pamięć”. System uczy się przez zaprogramowanie lub przez zapamiętywanie określonych stwierdzeń stosowanych w prostych bazach wiedzy,
- pozyskanie wiedzy na podstawie instrukcji – system wykorzystuje źródła wiedzy i akceptuje ją w swoim (zrozumiałym przez system) języku, następnie jest dokonywana agregacja pozyskanej wiedzy z wiedzą posiadaną. Ważną rolę odgrywa tutaj źródło wiedzy, które przedstawiając wiedzę w odpowiedni sposób umożliwia dołączenie jej do już istniejącej wiedzy,
- pozyskiwanie wiedzy na podstawie analogii – polega na przekształceniu wiedzy w taki sposób, aby mogła ona być użyteczna do opisania faktów podobnych do już wcześniej zawartych w bazie wiedzy. System pozyskując nową informację przeszukuje swoją bazę wiedzy i odnajduje podobną, na podstawie starych zachowań systemu podejmuje działanie – jeśli przyniesie ono niewłaściwe skutki, system powinien zreorganizować zawartość pamięci,
- pozyskiwanie wiedzy na podstawie przykładów – generowany jest ogólny zapis pojęć (klas) na podstawie zbioru przykładów i/lub kontrprzykładów obiektów reprezentujących te pojęcia. Przykłady można podzielić na pozytywne (fakty będące przykładami dla danej klasy lub koncepcji) i negatywne (kontrprzykłady klasy). Przykłady pozyskiwane mogą być od eksperta, generowane przez programy symulacyjne, czy pobierane z baz danych,
- pozyskiwanie wiedzy na podstawie obserwacji – stosowane w technikach grupowania i rozpoznawania obrazów. Istnieją obserwacje bierne (obserwator uczy się i klasyfikuje różne obserwacje pochodzące z otoczenia) i czynne (czyli eksperymentowanie – w trakcie obserwacji uczący się wpływa na zmiany w otoczeniu i obserwuje skutki tych zmian),
- pozyskiwanie wiedzy na podstawie obserwacji i grupowania pojęć – stanowi rozszerzenie pozyskiwania za pomocą przykładów – przykłady i pojęcia reprezentowane przez te przykłady są dostarczane przez nauczyciela, natomiast obserwacje system przeprowadza samodzielnie.

Proces pozyskiwania wiedzy dzieli się na etapy:

- Identyfikacja – określenie charakterystyki problemu do rozwiązania i ustalenie granic obszaru poszukiwań wiedzy. W tym etapie ekspert i inżynier wiedzy określają problem do rozwiązania i jego zakres,
- Reprezentacja – znalezienie sposobu reprezentacji wiedzy. Ekspert i inżynier wiedzy przedstawiają kluczowe koncepcje, relacje i charakterystykę przepływu informacji, a także określają strategie i trudności w rozwiązywaniu zagadnień. Kolejnym etapem jest zbieranie informacji, danych i heurystyk na podstawie których otrzymuje się pewną wiedzę,
- Formalizacja – zaprojektowanie struktur reprezentujących wiedzę. Przełożenie kluczowych koncepcji, reguł i relacji na język formalny – inżynier wiedzy projektuje syntaktykę i semantykę tego języka, następnie z ekspertem ustala podstawowe pojęcia i relacje niezbędne do rozwiązania danego problemu,
- Implementacja – sformułowanie reguł lub ram zawierających wiedzę, którą się łączy i reorganizuje w sformalizowaną wiedzę tak, aby stała się zgodna z charakterystyką przepływu informacji danego problemu,
- Testowanie – sprawdzenie zastosowanych w systemie reguł lub ram. Reguły i relacje są sprawdzane pod kątem generowania przez nie odpowiedzi zgodnych z wymaganiami eksperta.

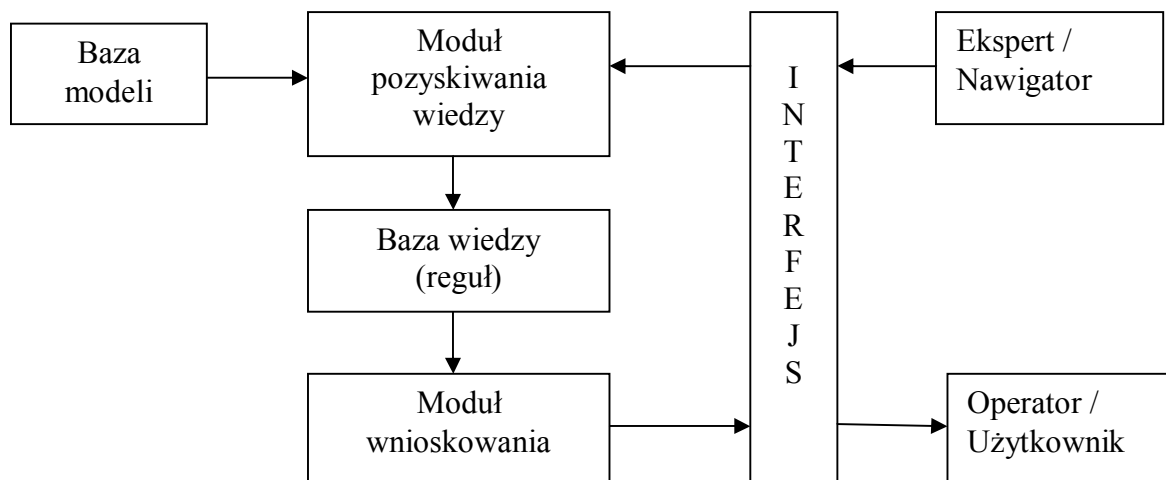
Istotnym zagadnieniem w czasie tworzenia bazy wiedzy jest zbieranie informacji i danych, które można uzyskiwać poprzez zbieranie danych za pomocą eksperymentów, konsultacje z ekspertami, na które składają się następujące techniki:

- obserwacja – inżynier wiedzy obserwuje eksperta w miejscu pracy,
- dyskusja inżyniera wiedzy z ekspertem,
- opisywanie problemu – ekspert opisuje problem dla każdej kategorii danych wejściowych,
- analizowanie problemu – inżynier wiedzy stawia ekspertowi szereg problemów do rozwiązania i analizuje sposób rozumowania eksperta w trakcie ich rozwiązywania,
- udoskonalanie systemu – ekspert zadaje inżynierowi wiedzy problemy do rozwiązania i sprawdza, czy rozwiązania są adekwatne do tej wiedzy jaką przekazał inżynierowi – jest to jakby sprzężenie zwrotne między inżynierem wiedzy, a ekspertem,
- testowanie – ekspert testuje i wydaje opinię o każdej regule w systemie ekspertowym, ocenia też strategię stosowaną do wyboru reguł,

- legalizacja – prototyp systemu jest udostępniany innym ekspertom w celu oceny poprawności działania i krytyki systemu.

Domena 3D pozwala na określenie bezpiecznego obszaru manewrowego, który ma wpływ na wyznaczanie dozwolonych manewrów oraz dostępnego toru ruchu dla danej jednostki śródlądowej w ruchu. Natomiast precyzyjne wyznaczanie pozycji oraz kursu statku pozwoli na efektywne i ekonomiczne zarządzanie ruchem po akwenu. Do budowy i oceny bezpiecznego akwenu manewrowego z zastosowaniem dynamicznej domeny 3D można stosować różne rozwiązania, zaś w pracy zostanie przedstawiona metoda oparta o wiedzę nawigatorów (ekspertów) z wykorzystaniem systemu wspomaganie decyzji o logice rozmytej. Metoda ta polega na wyznaczeniu poziomu bezpieczeństwa nawigacyjnego dla dowolnej, mogącej wystąpić sytuacji nawigacyjnej na podstawie wiedzy nawigatorów. Należy przeprowadzić badania ekspertowe, które będą polegać na rejestracji ocen sytuacji nawigacyjnych przez nawigatorów w czasie symulacji ruchu statku. Należy określić skalę ocen np. od 1 do 5, którą nawigatorzy (eksperti) będą się posługiwać w ocenie kolejnych sytuacji na akwenu. Na podstawie tak przeprowadzonych badań tworzy się dane dla systemu z logiką rozmytą. Dane wejściowe stanowić będą niezbędne do oceny sytuacji parametry statków (np. długość, szerokość, zanurzenie, itd.) i wektory ich ruchu (kierunek, zwrot, prędkość) oraz niezbędne parametry obiektów obcych, jak i elementy ułatwiające ocenę (np. odległość od obiektu obcego – przeszkody). Odpowiadające określonym sytuacjom nawigacyjnym oceny, które zostaną znormalizowane do przedziału $<0,1>$ będą stanowić funkcje przynależności do określonych warunków i parametrów ruchu. System ten będzie stanowić narzędzie wyznaczające poziom bezpieczeństwa nawigacyjnego dla dowolnych, możliwych do wystąpienia parametrów wejściowych. Wartości wyjściowe będą natomiast miarą oceny bezpieczeństwa na akwenu w danym momencie czasu oraz będą wspomagać decyzje niezbędne dla uniknięcia kolizji. Obszary o danym poziomie bezpieczeństwa będą wyznaczone jako domena wokół statku i będą zawierać różne wartości bezpieczeństwa jak ma to miejsce przy mapie różnych głębokości (izobat). Dzięki zastosowaniu logiki rozmytej metoda umożliwia ocenę sytuacji według kryteriów stosowanych przez nawigatorów (ekspertów). Dlatego mimo, iż w pierwszym kroku metoda ta wymaga wykonania dużej liczby badań ekspertowych – symulacyjnych i ankietowych to wydaje się dobrym i efektywnym rozwiązaniem. Szczególnie ze względu na to, iż pozwala na gromadzenie i przetwarzanie dużej ilości danych, stosowanie różnorodnych modeli oraz analogii i metod bliskich sposobowi myślenia człowieka, co ma duże znaczenie przy tak skomplikowanym procesie, jakim jest nadzór i zarządzanie ruchem na akwenu śródlądowym.

Podstawą do realizacji SWD jest analiza procesów decyzyjnych realizowanych w sterowaniu jednostką. Na ich podstawie moduł pozyskiwania wiedzy, który będzie opierał się na jak najdokładniejszym modelu rzeczywistości będzie tworzył reguły, na których będzie oparty system wspomagania decyzji (rys. 2.9).



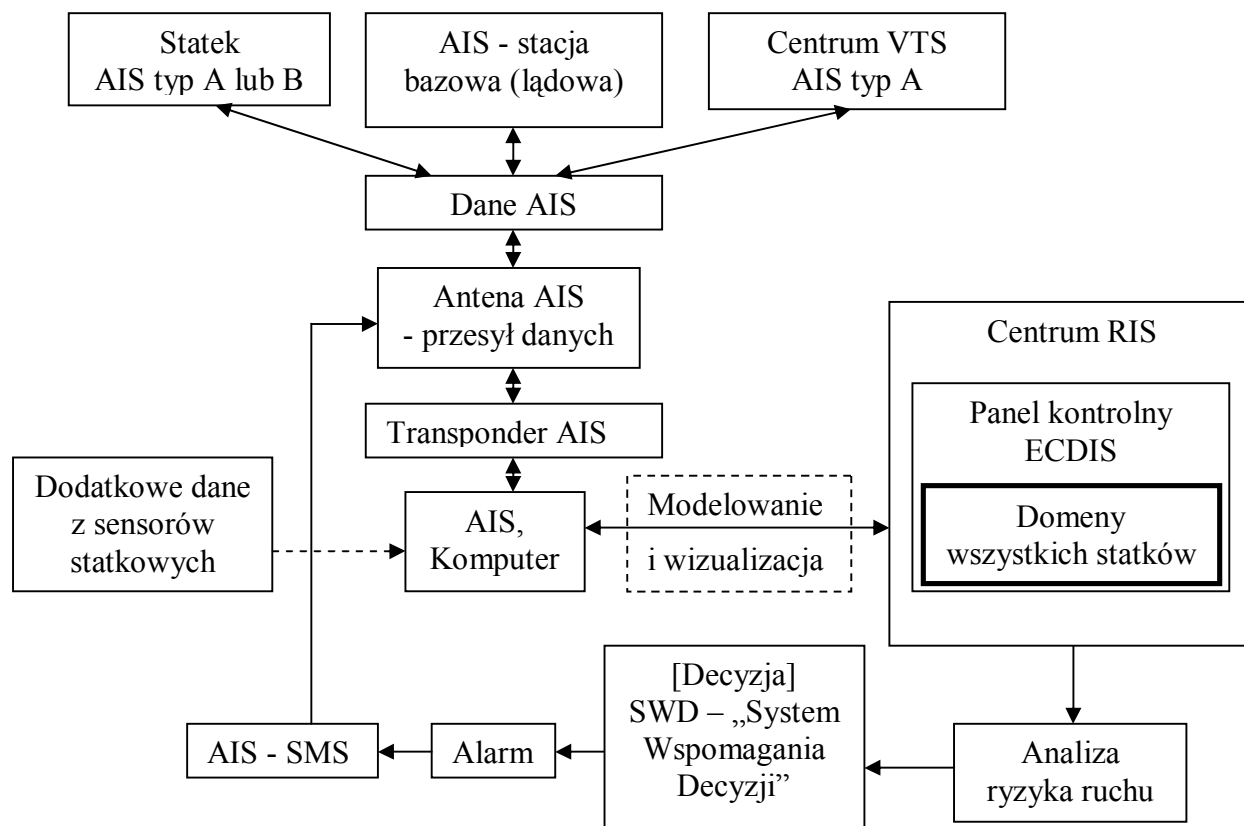
Rys. 2.15 Schemat tworzenia systemu wspomagania decyzji. Źródło: opracowanie własne.

Współczesny rozwój technologiczny pozwala na dostęp do informacji, dzięki której możliwe staje się wyznaczanie i wyświetlanie dynamicznej domeny trójwymiarowej wokół statku. Natomiast w oparciu o jej parametry wnioskowanie i wspomaganie podejmowania decyzji przez systemy ekspertowe jest wysoce precyzyjne i niezawodne.

2.3.4 Elementy i organizacja systemu

Tworzenie domeny 3D jest możliwe m.in. dzięki wykorzystaniu informacji z technologii AIS i systemu ECDIS. Informacje z AIS są wykorzystywane do modelowania domeny statku i alarmowania, gdy występuje ryzyko zderzenia. Za pośrednictwem urządzenia AIS rozpowszechniane są informacje niezbędne do utworzenia obrazu domen wszystkich obiektów w pobliżu i ich wizualizacji w systemie ECDIS. Dane AIS wzbogacone o dodatkowe informacje z sensorów statkowych są przekazywane do komputera (obsługującego ECDIS) centrum RIS. Po obróbce cyfrowej i modelowaniu zobrazowana sytuacja jest przedstawiana na ekranie monitora. Panel kontrolny sygnalizuje moment zagrożenia statku, który za pomocą ECDIS i sygnalizacji dźwiękowo – wizualnej alarmuje o zagrożeniu, a w postaci krótkiej wiadomości SMS automatycznie zostaje wysłany poprzez AIS do jednostki, której domena została naruszona. Taki sposób kształtowania domen nie wymaga dużych zmian w systemie AIS, a jedynie wzbogacenia informacji przesyłanych przez AIS o dodatkowe parametry oraz integracji AIS z ECDIS za pomocą odpowiedniego oprogramowania. Dzięki takiemu rozwiązaniu domena 3D określonego statku tworzona jest

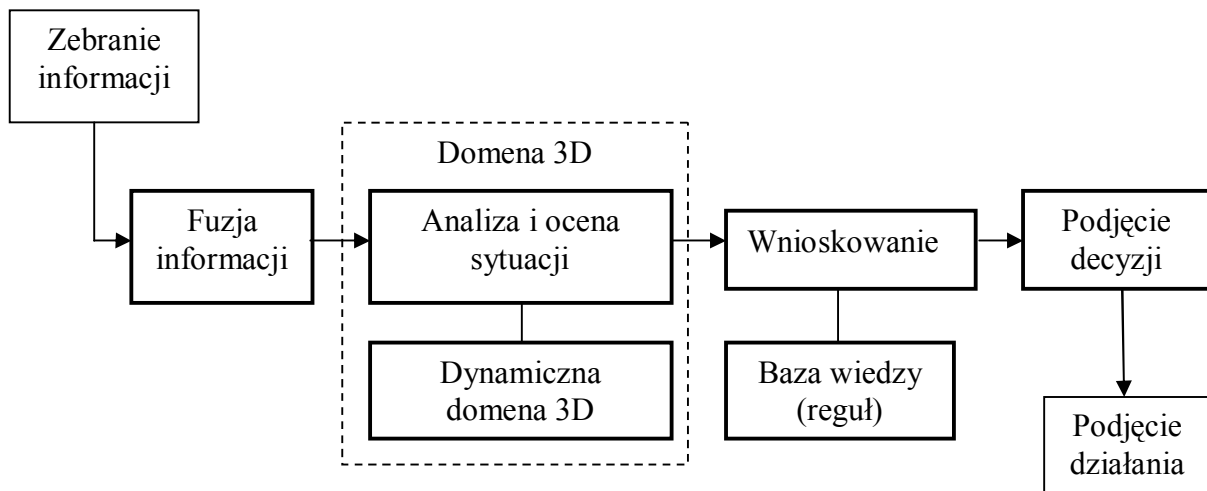
przez system informatyczny oparty na ECDIS i wyświetlana na ekranie monitora. Działanie takiego systemu przedstawia poniższy schemat:



Rys. 2.16 Schemat tworzenia domen przez system informatyczny z wykorzystaniem danych AIS i ECDIS. Źródło: opracowanie własne na podstawie (Kosteński, Rutkowski, 2006).

Dzięki takiemu rozwiązaniu, w którym stanowisko w centrum RIS kontroluje tworzenie domen obiektów i ich wyświetlanie wyklucza się możliwe problemy spowodowane różnicą oprogramowania, zaokrąglenia, czy nawet sposobem liczenia takiej domeny. Prowadzi to do jednoznacznej kontroli sytuacji na akwenu przez centrum RIS. Jednocześnie stworzoną domenę 3D za pomocą technologii AIS i systemu ECDIS wykorzystuje się do analizy ryzyka nawigacyjnego i wyznaczenia bezpiecznej trajektorii ruchu. Obecnie system ECDIS zapewnia już prezentację tworzonych za pomocą ARPA domen wokół statków, czy innych obiektów (guard rings, guard vectors), a także alarmuje o sytuacjach niebezpiecznych za pomocą wskaźników CPA i TCPA. Jednak takie zabezpieczenia dla żeglugi śródlądowej są niedostateczne, gdyż w wąskich przejściach, czy podejściach do portów zdarzają się sytuacje niebezpieczne (kolizyjne) nie tylko z jednym obiektem (statkiem), ale z kilkoma, czy nawet kilkunastoma jednocześnie. Dlatego stosowane w tym rozwiązaniu parametry są niewystarczające i nie dają dostatecznej informacji do podjęcia prawidłowej decyzji. Powoduje to konieczność stosowania innych rozwiązań, między innymi zaproponowaną metodę dynamicznej domeny 3D, w której rozszerzenie informacji o nowe parametry pozwoli

na poprawę bezpieczeństwa jednostek śródlądowych oraz przyczyni się do zmniejszenia ryzyka zderzenia. Poniższy schemat (rys. 2.17) prezentuje kolejne etapy realizacji procesu decyzyjnego:



Rys. 2. 17 Schemat blokowy działania systemu. Źródło: opracowanie własne.

Poprawność podejmowanych decyzji jest w pierwszym rzędzie uwarunkowana zakresem i jakością dostępnych informacji. Bardzo dużo zależy od jakości informacji. Bowiem nie wszystkie informacje zmniejszają niepewność, gdyż czasami wzrost ilości informacji zwiększa współczynnik niepewności. Wynika z tego, iż nie wszystkie informacje są ważne i potrzebne. Człowiek może być przeciążony informacjami co prowadzi do tego, iż im więcej informacji tym mniejsza efektywność w podejmowaniu decyzji. Wartość informacji zależy od jej:

- jakości – wyższa jakość informacji oznacza, że jest ona dokładniejsza. Dlatego oceniając jej jakość należy porównywać podane fakty z rzeczywistością. Jednak często koszt uzyskania dokładniejszej informacji jest wyższy,
- aktualności – czyli informacja musi być dostarczana przez system informacyjny w takim czasie, który umożliwi podjęcie działania, gdyż później będzie już niepotrzebna,
- ilości – nie jest możliwe, aby podejmować odpowiednie decyzje jeśli nie dysponuje się dostatecznymi informacjami. Jednak często zdarza się, że posiadamy za dużo nieistotnych, czyli bezużytecznych informacji, które doprowadzają do przeoczenia ważnych informacji, co może mieć tragiczne skutki na podejmowane decyzje,
- powiązania z zadaniami użytkownika – czyli informacje powinny dotyczyć obowiązków i zadań jakie do wykonania ma decydent.

Dlatego ważnym etapem jest fuzja informacji (opracowana w podrozdziale 1.2.2), dzięki której bierze się pod uwagę tylko niezbędne informacje do rozwiązania zadanego problemu.

Taka integracja informacji oraz analiza sytuacji w oparciu o wyznaczone parametry domeny 3D pozwala na wypracowanie korzystniejszego rachunku ekonomicznego (optymalizacja kosztów i czasu) przez podjęcie odpowiedniej decyzji, co do trajektorii ruchu jednostki śródlądowej.

Domena jest elastyczną miarą tzn. można korzystać z niej w powiązaniu z dowolną zadaną jednostką. Pozwala na monitorowanie w czasie rzeczywistym jednostek żeglugi śródlądowej oraz zmieniających się warunków na trasie, co przyczynia się do lepszego zarządzania flotą. Powoduje to optymalne rozmieszczenie personelu oraz floty w oparciu o aktualne informacje, które pozwalają na bardziej szczegółowe i efektywne planowanie rejsu. Informacje przekazywane w czasie rzeczywistym można wykorzystać do planowania rejsu już w trakcie dokonywania załadunku statków z uwzględnieniem bieżących warunków żeglugi. Jednakże planowanie rejsu wymaga rzetelnych informacji i prognoz na temat poziomów wody i prądów na całej trasie, które obecnie nie są dostępne nawet dla rejsów międzynarodowych, np. między Renem i Dunajem. Koncepcja dynamicznej domeny 3D spełnia potrzeby informacyjne współczesnego zarządzania łańcuchem dostaw, ponieważ umożliwia unikanie wszelkiego rodzaju zagrożeń oraz optymalne wykorzystanie możliwości dla elastycznego reagowania w przypadku jakichkolwiek odchyień od pierwotnego planu rejsu. Model identyfikacji zagrożeń w czasie rzeczywistym udostępnia aktualne informacje o warunkach panujących na torze wodnym, w tym także monitoruje i kontroluje zanurzenie jednostki, co ma szczególnie znaczenie na akwenach ograniczonych pod względem szerokości i głębokości. Wprowadzenie systemu automatycznej identyfikacji zagrożeń (SAIN) opartego o domenę 3D znacząco wpłynie na poprawę:

- bezpieczeństwa ruchu jednostek śródlądowych,
- płynności ruchu jednostek śródlądowych,
- operatywności portu,
- pracy służb ratowniczych,
- ochrony środowiska,
- aspektu ekonomicznego realizacji zadania transportowego.

Prezentowany model będzie stanowić cenne narzędzie wspomagające realizację procedur zabezpieczania przed ewentualnymi zagrożeniami występującymi na torze wodnym oraz pozwoli na podejmowanie właściwych decyzji dotyczących regulacji ruchu podczas prowadzenia nawigacji i taktyki manewrowania na danym odcinku rzeki.

Rozdział 3

Implementacja i weryfikacja informatycznego systemu wspomaganie decyzji

Celem systemów wspomaganie decyzji (SWD, ang. Decision Support Systems – DSS) jest zapewnienie wsparcia decydentom w trakcie procesu podejmowania decyzji. Ogólnie rzecz ujmując, przed podjęciem decyzji o jak najlepszych rezultatach, należy dysponować odpowiednimi informacjami, na których tę decyzję można oprzeć. Czasem więc podejmując decyzję można się oprzeć na danych historycznych, o ile takie są odpowiednie i dostępne, lecz czasem trzeba do tego celu dane zebrać. Wykorzystywana informacja może przybierać postać faktów, liczb, wykresów, rysunków bądź obrazów ruchomych. Pochodzi ona z różnych źródeł, jest zbierana w jednym miejscu i łączona (fuzja). Proces organizowania i badania informacji możliwej do wykorzystania przy rozpatrywaniu różnych opcji podejmowanej decyzji, jest nazywany w tej dziedzinie procesem modelowania. Modele tworzy się więc po to, by pomagać decydentom w zrozumieniu konsekwencji możliwych do wyboru opcji. Jakość podejmowanej decyzji zależy od jakości dostępnej informacji, jej trafności, ilości opcji oraz odpowiedniego modelowania, jakie jest możliwe do podjęcia w czasie wystąpienia problemu decyzyjnego. W tym miejscu warto zaznaczyć, że to nie ilość dostępnej informacji jest ważna, ale właśnie jej stosowalność względem rozpatrywanego problemu. Tak więc, aby polepszyć mechanizm podejmowania decyzji, polepszyć należy proces gromadzenia informacji oraz jej analiz. Jednym ze sposobów osiągnięcia tego celu jest zastosowanie systemów wspomaganie decyzji. DSS to system komputerowy, który zbiera dane pochodzące z różnych źródeł, pomaga w organizowaniu i analizie zawartych w nich informacji i ułatwia ocenę założeń leżących u podstaw użycia odpowiednich modeli. Systemy wspomaganie decyzji pozwalają więc decydentom na dostęp do wielu danych oraz na ich analizę, w sposób przydatny dla rozwiązania konkretnego problemu. Skoro więc obecność DSS zapewnia możliwość zwiększenia wydajności procesu zbierania danych i ich analizy, to zwiększa także jakość i elastyczność podejmowanych decyzji. Systemy wspomaganie decyzji najbardziej są przydatne wtedy, gdy nie jest oczywiste jaką informację należy dostarczyć, jakie modele zastosować, a nawet jakie kryteria są najodpowiedniejsze. Innymi słowy wtedy, gdy nie jest wiadomo a priori jaki wybór należy podjąć. W niniejszym rozdziale rozprawy przedstawiono implementację pogładową systemu oraz weryfikację zaproponowanych metod wspomaganie

decyzji. Zastosowanie domeny 3D umożliwia modelowanie informacji zależnej od zjawisk zmieniających się dynamicznie, np. wizualizacja obszaru bezpiecznych głębokości zależnych od parametrów i prędkości statku. Daje to nowe możliwości zastosowania nowoczesnych zdobyczy technologii informatycznej oraz wymierne wsparcie bezpieczeństwa jednostki śródlądowej w ruchu po nowo powstających „inteligentnych” korytarzach transportowych.

3.1 Implementacja informatycznego systemu wspomaganie decyzji

Istnienie bazy wiedzy w SWD wprowadza do niego element decyzyjny, wzbogaca możliwości systemu i pozwala na przeprowadzenie pełniejszego procesu podejmowania decyzji. Umieszczenie w schemacie SWD symbolu bazy wiedzy wraz z modułem potrafiącym ją wykorzystać jest pewnym uproszczeniem. W najprostszych przypadkach na bazie wiedzy operuje moduł zarządzania bazą danych, częściej jednak w skład SWD wchodzi system ekspertowy ze wszystkimi swoimi pozostałymi elementami. System ekspertowy to program komputerowy posiadający wiadomości w formie bazy wiedzy i przeprowadzający wnioskowanie z możliwością rozwiązywania problemów i doradztwa poprzez posiadanie i prezentację pewnego stopnia doświadczenia w rozwiązywaniu problemów w pewnej ściśle określonej dziedzinie porównywalnego do wiedzy eksperta (Kwiatkowska, 2007). System ekspertowy dysponując zapisaną (zakodowaną) wiedzą może jej używać wielokrotnie, w sposób efektywny. Dodatkowo ma umiejętność przeprowadzania wnioskowania na podstawie wiedzy, dochodzenia do konkluzji, do wyniku. Najczęściej wniosek nie wynika jednoznacznie ze zgromadzonej wiedzy, a znalezienie odpowiedzi na zadane pytanie może być wynikiem całego łańcucha wnioskowań. Tworzenie systemów ekspertowych polega, między innymi, na odtworzeniu ścieżki rozumowania, jaką często podświadomie posługuje się ekspert i zapisaniu jej w strukturach bazy wiedzy. Systemy ekspertowe to systemy informatyczne, które wspomagają decyzje stosując symboliczną reprezentację wiedzy i procedury wnioskowania w celu rozwiązywania skomplikowanych problemów z określonej dziedziny. Systemy te wymagają komputerów o bardzo dużej mocy oraz języków zbliżonych do naturalnych. Ekspertowe systemy samouczące się to rozbudowane bazy danych ze sztuczną inteligencją, która umożliwia zadawanie im pytań w języku naturalnym i uzyskiwanie w tym samym języku odpowiedzi. Dokonują inteligentnej analizy danych generując wiedzę. Jednak metody te są skuteczne w świecie gier, zaś zawodzą przy rozwiązywaniu niepewnych problemów świata rzeczywistego. Wynika to z faktu, iż większość trudnych problemów nie posiada prostych rozwiązań algorytmicznych.

Natomiast rodzina systemów opierające swoje działanie na modelu matematycznym dostarcza informacji, ale w postaci, która daje większe możliwości przetwarzania informacji poprzez symulację (na wejście systemu podajemy propozycje decyzji, a system analizuje ich skutki), symulację odwrotną (system znajduje taką decyzję, która daje założone skutki), czy optymalizację (z szeregu potencjalnych decyzji system wybiera taką, która da najlepszy skutek, bowiem podstawową zaletą modelu jest możliwość określania skutków decyzji). Model jest bardzo cennym narzędziem w procesie podejmowania decyzji, ponieważ ścisła analiza rezultatów decyzji daje dokładniejszą ocenę sytuacji niż domysły i zgadywanie (Klimasara i inni 2005). Mogą zawierać wiele modeli zjawisk i procesów zachodzących podczas ruchu po akwenu, np. model ruchu jednostki, model zjawisk zakłócających ruch (np. falowania, wiatru, czy prądów rzecznych), model prognostyczny (prognozujący przemieszczanie się wody, a tym samym dostępną głębokość), modele klimatyczne, czy modele określające wpływ określonych zabiegów na środowisko itd. Dzięki matematycznemu opisowi decyzji i jej skutków komputer umożliwia wybór opcji (spośród ogromnej liczby możliwych) o wysokiej jakości, do jakiej człowiek nie jest w stanie dojść w dostatecznie krótkim czasie. Często jakość tę można przełożyć na wymierne korzyści, czy oszczędności finansowe.

Inteligentne systemy wsparcia decyzyjnego (IDSS – Intelligent Decision Support Systems), od lat 90. XX wieku są w stanie ciągłego rozwoju szczególnie w dziedzinach tzw. wysokiego ryzyka. Takie systemy wymagają współpracy zespołów interdyscyplinarnych, wielu organizacji i zaawansowanych technologii systemowych, informatycznych, sztucznej inteligencji i modeli. Na uwagę zasługują należące do tej grupy tzw. systemy monitoringu. Monitorowanie polega na jak najszybszym poinformowaniu decydenta o możliwych zagrożeniach i zmuszeniu go do interwencji zanim pojawią się jakieś straty. Właśnie na takiej idei opiera się działanie systemu wspomaganie decyzji decydenta ruchu jednostki śródlądowej na akwenu z wykorzystaniem dynamicznej domeny 3D.

Łącząc najważniejsze elementy systemów modelowych, ekspertowych i wspomaganie decyzji wyodrębnia się tzw. systemy zintegrowane, które poprzez wydobywanie i stosowanie zalet każdego z uwzględnionych systemów prowadzą najefektywniej do uzyskania najlepszych wyników w rozwiązywaniu skomplikowanych problemów. Zintegrowane systemy są następnym krokiem w rozwoju systemów wspomaganie decyzji i stanowią najczęściej połączenie wielu modułów opracowanych niezależnie, tak jak w modelu przedstawionym w niniejszej pracy. W komputerach gromadzi się specjalnie zapisaną wiedzę i na jej podstawie programy wnioskuje, znajdując odpowiedzi na napotkane problemy świata

rzeczywistego. Czasem, aby rozwiązanie zostało znalezione musi odbyć się rozumowanie wykorzystujące wiele przesłanek i pośrednich wniosków. Narzędziami sztucznej inteligencji wykorzystującymi algorytmy wnioskowania są systemy ekspertowe. Wyznaczanie decyzji w systemach regulacji ruchu jest skomplikowanym zadaniem, szczególnie przy wymaganiach natychmiastowego rozwiązania, czyli w czasie rzeczywistym. Systemy dedykowane, czyli systemy z zaszytą w nich wiedzą są tworzone dla rozwiązywania problemów w konkretnej dziedzinie. Bardzo istotnym problemem jest pozyskanie i zapisanie wiedzy w programach komputerowych. W klasycznym podejściu wyróżnia się dwa rodzaje wiedzy, wiedza a priori, czyli są to reguły i fakty dotyczące danej dziedziny oraz tzw. wiedza wnoszona, która dotyczy konkretnego przypadku, który pojawia się w trakcie pracy systemu, najczęściej nabywana podczas procesu podejmowania decyzji. Do zadań metod pozyskiwania wiedzy należy:

- formułowanie nowych pojęć,
- wykrywanie prawidłowości w danych (data mining),
- tworzenie reguł decyzyjnych,
- uogólnianie i precyzowanie pojęć i reguł,
- stosowanie analogii, uogólnianie wyników pomiarów,
- generowanie wiedzy w sposób zrozumiały dla człowieka.

Analiza i ocena sytuacji nawigacyjnej oparta o przyjęte kryteria oceny ma istotne znaczenie dla procesu podejmowania decyzji. Zdania logiczne i sieci semantyczne tworzą system reguł, który określa zależności pomiędzy jednostką śródlądową w ruchu, a występującymi ograniczeniami na torze. Popularny sposób reprezentacji faktów i reguł, a szczególnie tych zawartych w wiedzy wnoszonej to reprezentacja przez trójkę OAW, czyli obiekt – atrybut – wartość (OAV object – attribute – value). Wartość nie musi być wyrażana w liczbach, mogą to być wyrażenia lingwistyczne (słowne). W ten sposób uzyskuje się stwierdzenia przybliżone (rozmyte). Stosuje się je, gdy zbiór stwierdzeń (faktów i reguł) nie jest wystarczający do opisanego rozpatrywanej, złożonej dziedziny wiedzy. Pozwala to na reprezentację wiedzy w oparciu o rozmyte systemy reguł. W niektórych złożonych systemach stwierdzenia są rozbudowywane do uporządkowanej czwórki (obiekt – atrybut – wartość – stopień pewności). Zaś sam system działa na zasadzie analizy i wnioskowania przeprowadzonego w czterech kolejnych etapach, które skrótowo określa się jako: przesłanka – wartość – konkluzja – stopień pewności. System sprawdza, czy prawdziwa jest relacja atrybut – wartość (np. długość statku > 10 m), w przypadku konkluzji powinno nastąpić podstawienie. Konkluzja jest wnioskiem, jakie działania (decyzje) należy podjąć w wyniku spełnienia konkretnych

zależności. Podana ogólna postać reguły zakłada istnienie wielu wejść i jedno wyjście. Możliwe jest zbudowanie reguły, w wyniku której należy podjąć kilka działań. System reguł tworzy bazę danych (wiedzy), który jest zapisany w tabelach wraz z dodatkowymi informacjami potrzebnymi w procesie wnioskowania. Z atrybutami i wartościami używanymi w przesłankach związane są zbiory właściwości, które powinny być uwzględniane w trakcie tworzenia systemu oraz w czasie pracy z nim.

Zadaniem modułu wnioskowania jest poszukiwanie rozwiązań. Jest to część systemu uznawana wraz z samą bazą wiedzy za jego najważniejszą część. Jej efektywność i szybkość ma największy wpływ na jakość i szybkość systemu ekspertowego. Wnioskowanie w systemie jest procesem wyszukania konkluzji końcowej (wniosku) przy wykorzystaniu zbioru reguł i faktów w konkretnej sytuacji, w określonych warunkach. Wnioskowanie w klasycznych systemach ekspertowych oparte jest na matematycznej logice dwuwartościowej. Natomiast systemy przeznaczone do rozwiązywania złożonych (skomplikowanych) problemów opierają się na logice wielowymiarowej, w której skomplikowane zależności świata zewnętrznego zostają uwzględnione w celu przedstawienia jak najpewniejszego wyniku (wniosku). Algorytm wnioskowania do przodu i wnioskowania wstecz tworzy tzw. wnioskowanie mieszane. Nie zawsze zastosowanie tylko jednego rodzaju wnioskowania doprowadzi do rozwiązania. Wnioskowanie mieszane polega na wykorzystaniu obu algorytmów. W systemie istnieją metareguły, w których zawarte są wskazania dotyczące wyboru sposobu wnioskowania. Reguły w bazie wiedzy są przeznaczone do wykorzystania w jednym lub drugim algorytmie, jednak to przyporządkowanie nie jest stałe. Wnioskowanie mieszane wyżywa się pewnych wad obu algorytmów działających pojedynczo, na przykład nie generuje tak dużej bazy reguł i faktów. Wnioskowanie wstecz łatwo się programuje, gdyż jest to typowa sytuacja, w której można zastosować rekurencję. W wyniku tego wnioskowania generowana jest mniejsza liczba faktów niż w przypadku wnioskowania do przodu, co może być zaletą ze względu na zajętość pamięci komputera, ale czasem wygenerowane fakty mogą być przydatne w dalszym wnioskowaniu, co może ten proces przyspieszyć. Ze względu na łatwość programowania, szybkość i efektywność rozumowanie wstecz jest powszechnie wykorzystywane. Natomiast wnioskowanie mieszane jest konieczne do wykorzystywania w rozwiązywaniu bardzo skomplikowanych problemów, wymagających bardzo złożonej sieci zależności reguł, z którą mamy doczynienia w przypadku rozwiązywanego problemu. Wymaga to jednak dodatkowo istnienia w systemie dodatkowych metareguł określających sposób użycia wnioskowania oraz implementacji obu sposobów wnioskowania. Realizacja przebiegu rozumowania wymaga istnienia odpowiednich procedur.

W różny sposób są realizowane algorytmy zapamiętywania i odtwarzania łańcuchów rozumowań. Realizowanie procedur rozumowania w czasie rzeczywistym wymaga dodatkowej pamięci, ale pozwala na uzyskanie na bieżąco odpowiedzi na zadany problem w razie takiego żądania. Należy przez analizowanie konkretnych przykładów dążyć do wyznaczenia i zapamiętywania podstawowych cech rządzących danym zjawiskiem, a później przeprowadzać proces uogólniania zdobytej wiedzy.

Algorytm Quinlana jest pomocny przy budowaniu drzew decyzyjnych, z których następnie tworzone są reguły. Stosowany jest wówczas, gdy do dyspozycji są dane na podstawie których należy stworzyć reguły. Dane (obserwacje) są jedynym znanym elementem. Reguły rządzące danymi nie są znane. Budowanie drzewa decyzyjnego na podstawie danych może prowadzić do bardzo rozbudowanych drzew, a co za tym idzie do skomplikowanych, rozbudowanych reguł, nie dających efektów w procesie wnioskowania, gdyż często bezpośrednio z danych nie widać, że z obecności jakiejś cechy lub jej braku wynika natychmiastowy wniosek. Dzięki algorytmowi Quinlana można określić kolejność atrybutów dobieranych przy budowie drzewa decyzyjnego. Algorytm może być zastosowany wówczas, gdy każdy z obiektów, z których składają się dane jest charakteryzowany zbiorem atrybutów i może należeć do jednej z klas. Obiekty mogą należeć do jednej z klas, które oznaczają ich przydatność lub nie do pewnych zadań w systemie. Algorytm Quinlana jest jednym ze sposobów przeszukiwania danych i pozwala odkrywać reguły rządzące danym procesem (problemem). Rzadko w życiu ma się do czynienia z dwoma identycznymi sytuacjami (przypadkami). Dokładnie taka sytuacja występuje w żegludze po akwenie, gdzie mamy do czynienia z różnymi, zmiennymi sytuacjami ze względu na proces zmiany środowiska naturalnego. Dlatego, tak jak w życiu i w tym skomplikowanym problemie regulacji ruchu należy poznawać świat dzięki skojarzeniom i podobieństwom jednych sytuacji do innych. Rozmyte systemy ekspertowe zapewnią odpowiedni zakres ostrzegania przed niebezpieczeństwami przez dostosowanie się do podejmowania decyzji w warunkach niepewności.

W procesie sterowania statkiem nawigatorzy posługują się pojęciami nieostryimi typu – odległość bezpieczna, czy odległość niebezpieczna. Na posługiwanie się tego typu ocenami w języku informatycznym pozwala teoria zbiorów rozmytych, której twórcą jest Profesor Zadeh. Celowość jej stosowania i przydatność potwierdzają praktyczne implementacje systemów i urządzeń wyposażonych w układy regulacji oparte na logice rozmytej, która pozwala na podejmowanie decyzji w warunkach niepewnych, za pomocą pojęć nieprecyzyjnych. Ten brak precyzji w omawianym problemie może być odzwierciedlony

przez zbiory rozmyte i logikę rozmytą. Stosowanie tych zbiorów pozwala na rozwiązywania przez systemy wspomaganie decyzji problemów niestrukturalnych. Powoduje to rozwiązywanie problemów podejmowania decyzji przez systemy inteligentne, łączące w sobie kilka technik. Każdemu z przedziałów przyporządkowuje się liczbę odpowiadającą liczbie takich wartości, które występują w tym przedziale, a następnie dzieląc przez maksymalną liczbę możliwych odpowiedzi, co do wartości, otrzymujemy w ten sposób liczbę wyrażającą stopień przynależności do zbioru. Pojęcia, którymi ludzie się posługują nie są precyzyjne i nie tak samo rozumiane. Dlatego, aby przekazać komputerom wiedzę nieprecyzyjną należy wykorzystać zbiory rozmyte i związaną z nimi logikę rozmytą. Niepewność zawarta w danych może być różnorodna, a do najważniejszych należy:

- niepewność stochastyczna, związana z prawdopodobieństwem wystąpienia określonego zdarzenia, występuje na przykład przy ocenianiu ryzyka wystąpienia wypadku. Aby móc zarządzać taką niepewnością lub podejmować na jej podstawie decyzje stosuje się rachunek prawdopodobieństwa,
- niepewność pomiarowa występuje, gdy mamy do czynienia z danymi pomiarowymi obciążonymi błędem. Przy tych danych wykorzystuje się statystykę.
- niepewność lingwistyczna (małe, duże) najlepiej poddaje się metodom zbiorów i logiki rozmytej.

Zbiorem rozmytym A w przestrzeni X nazywa się zbiór uporządkowanych par:

$$A = \{(x, \mu_A(x)), x \in X\}$$

Liczba $\mu_A(x)$ nazywana jest funkcją przynależności wartości x do zbioru A . Określa ona, w jakim stopniu x należy do zbioru rozmytego A . W logice klasycznej element należy do zbioru, albo nie. W logice rozmytej istnieje możliwość określenia stopnia, w jakim element należy do danego zbioru. Wartość funkcji przynależności zawarta jest między 0, a 1. $\mu_A(x) = 0$ oznacza, że x nie należy do zbioru, a $\mu_A(x) = 1$ oznacza, że x na pewno, w każdym przypadku należy do zbioru. Operacje na zbiorach rozmytych są formułowane przez definicję funkcji przynależności, a podstawowe operacje na zbiorach rozmytych w najprostszej postaci zostały przedstawione przez Zadeha już w 1965 roku (Kwiatkowska, 2007). Jednym z podstawowych narzędzi logiki rozmytej są zmienne lingwistyczne. Zmienne te są próbą przełożenia nieprecyzyjności na język matematyki. Ich wartościami nie są liczby, a słowa, zwane wartościami lingwistycznymi (Zimmermann, 1993). Zmienne lingwistyczne są reprezentowane przez czwórkę danych: $(x, T(x), U, M)$, gdzie x – jest nazwą zmiennej, $T(x)$ – zbiór wartości zmiennej, U – uniwersum, czyli wartości klasyczne jakie może przyjmować zmienna, M – reguła przyporządkowania zmiennej do zbioru rozmytego. W przypadku

zbiorów rozmytych możliwe jest wchodzenie w relację w stopniu określonym przez funkcję przynależności. Dla skutecznej i efektywnej realizacji zadań przez system w skład modułów SWD wchodzi rozmyty system ekspertowy regulacji ruchu. Połączenie logiki i zbiorów rozmytych dało możliwość prowadzenia wnioskowania i sterowania na danych niepewnych, czy nieokreślonych. Podobnie, jak w przypadku klasycznych systemów ekspertowych, występuje tu baza wiedzy z regułami rozmytymi i moduł wnioskujący. Jednak sam przebieg wnioskowania jest odmienny od algorytmów klasycznych, czyli takich, które nie posługują się wiedzą rozmytą. Wnioskowanie rozmyte wymaga przejścia kilku etapów. Często dane, dla których ma być przeprowadzane wnioskowanie są liczbami, na przykład wynikami pomiarów, czy obserwacji, a reguły oparte na wartościach rozmytych, czy lingwistycznych. Dlatego na ogół pierwszym etapem wnioskowania jest fuzyfikacja. Do etapów tworzenia i korzystania z rozmytego systemu ekspertowego zalicza się:

1. Definiowanie zbiorów rozmytych i zmiennych lingwistycznych,
2. Fuzyfikacja (rozmywanie) – wartości pomiarów, czy obserwacji,
3. Definicja reguł rozmytych,
4. Wnioskowanie (inferencja) - wartościowanie dla danego przypadku (rozmyty moduł wnioskujący) – fakty to konkretne wartości np. głębokość – 3 m. Odpala się te reguły, których przesłanki są prawdziwe w określonym stopniu przynależności. Algorytm wnioskowania dla konkretnych faktów składa się z następujących kroków:
 - a) obliczenie stopnia spełniania przesłanek w regułach,
 - b) obliczenie stopnia spełniania aktywizacji każdej reguły,
 - c) obliczenie stopnia funkcji przynależności konkluzji odpalonych reguł. Tworzą one sumę rozwiązania, więc do policzenia jednej, wspólnej wartości należy zastosować operatory t – normy, s – normy, lub inne modyfikacje np. operator Mamdaniego, dzięki któremu otrzymuje się tzw. regułę wnioskowania max – min:

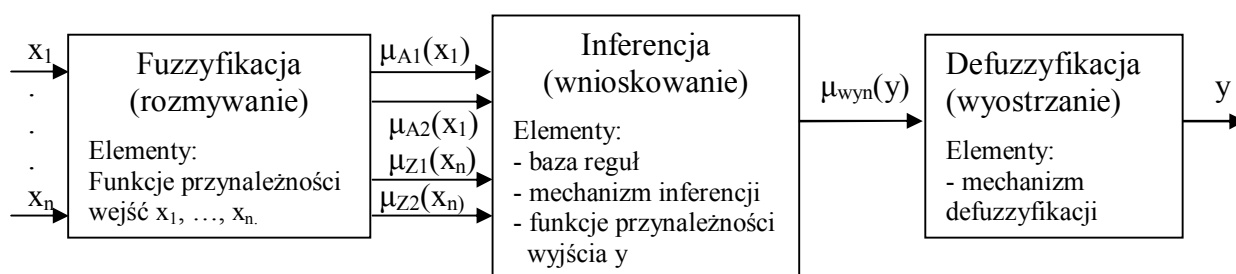
$$\mu_{\text{wynik}} = \max_{1 < i < k} [\min(\mu_{A_i}(x), \mu_{B_i}(x))], \text{ gdzie } k - \text{to liczba odpalonych reguł.}$$

5. Defuzyfikacja (wyostrzanie), czyli powrót do klasyki. System rozmyty działa na liczbach rozmytych, korzystając z twierdzeń i praw logiki rozmytej. Jednak ostateczna odpowiedź musi być konkretem, liczbą, stwierdzeniem. Podobnie jak w omawianym problemie, choć istnienie konkretnego może nie być do końca uświadomione, na przykład przy ruchu statku, gdy nawigator musi wykonać manewr: „skręć trochę w lewo” to wykonuje to polecenie i skręca o pewien konkretny kąt. Nie uświadamia sobie tego, choć ten kąt istnieje, został zastosowany. Tak więc systemy rozmyte muszą mieć możliwość podania odpowiedzi w postaci konkretnego. W celu powrotu do świata

klasycznego stosuje się defuzyfikację, czyli wyostrzenie. Defuzyfikacja stosowana jest najczęściej wówczas, gdy system daje kilka odpowiedzi z różnymi wartościami funkcji przynależności. Dzięki metodom defuzyfikacji wyliczana jest jedna wartość. Istnieje kilka różnych metod przeprowadzania defuzyfikacji danych. Do najprostszych należą:

- reguła maksimum – wybierana jest wartość z największą funkcją przynależności,
- reguła środka obszaru – $y_k = \frac{\sum_{i=1}^n y_i * \mu_i(y_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_i(y_i)}$, gdzie y_k to wartość końcowa, a n – to liczba próbek.

W wyniku defuzyfikacji obszaru rozmytego otrzymywana jest jedna konkretna wartość, będąca odpowiedzią systemu.



Rys. 3.1 Schemat działania rozmytego systemu ekspertowego. Źródło: (Piegat, 2003).

Możliwość ruchu na obszarach ograniczonych wymaga prawidłowej interpretacji i oceny bezpieczeństwa statku w trakcie jego realizacji. Nawigacja prowadzona na tych akwenach wiąże się z obniżeniem poziomu bezpieczeństwa, dlatego konieczne staje się uwzględnienie istniejących ograniczeń i czynników wpływających na bezpieczeństwo, takich jak wymiary statku i jego właściwości manewrowe, parametry toru i obiektów obcych oraz warunków hydrometeorologicznych, a także innego istotnego składnika jakim jest czynnik ludzki. Nieuwzględnienie tych ograniczeń może prowadzić do zagrożenia bezpieczeństwa ruchu, a tym samym może przyczynić się do kolizji lub chociażby strat finansowych związanych z nieefektywnością ruchu. Na statkach stosuje się systemy wspomaganie nawigacji. Powszechnie używanym jest ARPA, system służący do planowania i oceny manewrów antykolizyjnych. Jeśli jednak odległość pomiędzy statkami jest rzędu kilku długości statku własnego, nawigator podejmuje decyzję tylko na podstawie obserwacji wzrokowej kierując się zasadami „dobrej praktyki”, własnym doświadczeniem, a wskazania systemu antykolizyjnego w tym momencie nie są użyteczne. Problem podejmowania decyzji w warunkach niepewności sytuacji wiąże się z oceną gotowości systemu do podjęcia działania. Systemy wspomaganie decyzji powinny w odpowiednich momentach czasowych

informować decydenta o konieczności przystąpienia do realizacji zadań mających na celu uniknięcie zagrożenia. System człowiek – statek w sytuacji „nadmiernego zbliżenia” na torze wodnym powinien przystąpić do realizacji zadania uniknięcia kolizji, co oznacza realizację manewru antykolizyjnego na obszarze ograniczonym. Miarą gotowości systemu wspomagania i decydenta jest prawdopodobieństwo iloczynu zdarzeń polegających na tym, że system będzie w stałej gotowości, przystąpi do oceny sytuacji i odpowiednio wcześniej poinformuje o zagrożeniu, a człowiek nie utraci zdolności do działania. Na gotowość reakcji, oprócz czynników technicznych i parametrów otoczenia, wpływa podjęcie przez nawigatora decyzji o manewrze antykolizyjnym - rodzaj i moment wykonania działania. Aby system poprawnie realizował powierzone mu zadania należy określić moment informowania decydenta o zagrożeniu. Wyznaczanie wartości funkcji zmiennej w czasie, która będzie informować w odpowiednim momencie czasu o występującym zagrożeniu odbywa się poprzez określoną wokół statku domenę 3D. Wiąże się to z uwzględnieniem następujących czynników ograniczających, które wyznaczają bezpieczną przestrzeń manewrową:

a) czynniki zewnętrzne

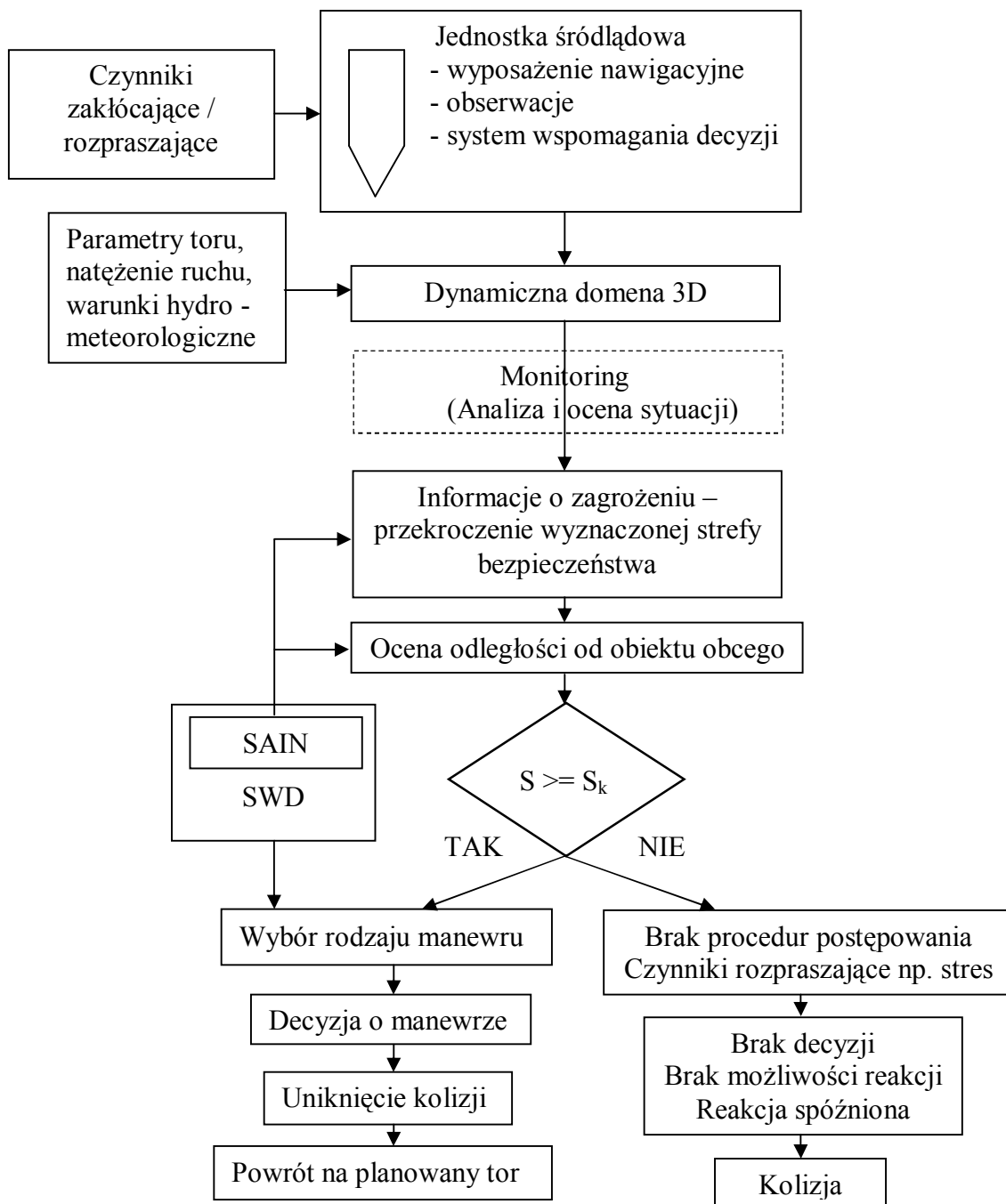
- natężenie ruchu statków, rozkład występowania statków różnych typów i wielkości,
- prędkości statków poruszających się na torze wodnym,
- parametry toru wodnego (szerokość, głębokość, długość),
- parametry obiektu obcego (innego statku, mostu, płycizny, itd.)
- warunki hydro-meteorologiczne (działanie wiatru, prądu i fali oraz ogólna aura),
- pora dnia (widzialność),

b) czynniki wewnętrzne:

- statek własny (charakterystyki manewrowe, wielkość jednostki – długość, szerokość, zanurzenie, prędkość, stan załadowania),
- wyposażenie nawigacyjne statku własnego,
- czynnik osoby wykonującej manewr: jego doświadczenie, wykształcenie i wiedza oraz takie elementy jak stres, czy czas pracy – przemęczenie.

Biorąc pod uwagę czynniki wewnętrzne należy dla określonej jednostki wyznaczyć minimalną odległość rozpoczęcia wykonania manewru, a także wartość wychylenia płetwy steru wymaganą dla odchylenia, czyli zmiany kursu dla uniknięcia pojawiającego się zagrożenia. Będzie wymagało to od nawigatora podejmowania takich działań, aby statek, w wyniku zmian swojego kursu, uniknął kolizji. Drzewo zdarzeń dla wykonania określonych działań przedstawia istotny problem jakim jest ocena odległości (S) rozpoczęcia manewru. Przekroczenie odległości krytycznej (S_k), decyzja podjęta z opóźnieniem, jest równoznaczna z

niewykonaniem manewru antykolizyjnego. Każde działanie podjęte po osiągnięciu tej wartości zakończy się zderzeniem z obiektem obcym. Działanie zakończone sukcesem w tym wypadku nie jest możliwe. Określenie tej dopuszczalnej odległości pozwala nawigatorowi na podjęcie decyzji o wykonaniu poprawnego i przede wszystkim skutecznego manewru antykolizyjnego. Odległość dla której decydent będzie miał jeszcze czas na wykonanie działań (manewrów), aby nie doszło do zderzenia, wyznaczy granica domeny 3D, która również uwzględnia wysokość i co ważniejsze głębokość (zanurzenie) na akwencie.


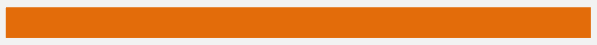



Rys. 3.2 Drzewo zdarzeń działania z SWD w przypadku wystąpienia sytuacji kolizyjnej. Źródło: opracowanie własne.

Wystąpienie zdarzenia losowego „możliwość kolizji” jest sygnalizowane na statku dzięki ARPA. Nawigator dokonuje subiektywnej oceny odległości oraz momentu podjęcia decyzji o manewrze w oparciu o własną wiedzę, doświadczenie oraz czynniki zakłócające i parametry toru wodnego. Działania podjęte przez nawigatora po wystąpieniu niebezpieczeństwa mają bezpośredni wpływ na efekt końcowy przeprowadzonego manewru i uniknięcie zderzenia. Ze względu na brak dostatecznej i precyzyjnej informacji z urządzeń wspomagających (ARPA) człowieka na statku w podejmowaniu decyzji na obszarach ograniczonych, działania antykolizyjne powinny być wspomagane przez inne systemy doradcze przedstawiające obszar krytyczny wokół obiektu, którego przekroczenie, w wyniku nie podjęcia manewru lub podjęcia manewrów zabronionych (np. wychylenie steru o wartość niedopuszczalną) prowadzi do wypadku. Dlatego tak istotny na obszarze śródlądowym jest informacyjny system wspomagania decyzji dla nawigatora.

Statek będąc w ruchu na akwencie ograniczonym znajduje się w stałej gotowości do podjęcia manewrów zapewniających bezpieczne przejście danej trasy. Można wyróżnić następujące stany występujące w kolejnych przedziałach czasowych:

- T1 – czas przebywania systemu w stanie stałej gotowości podczas żeglugi w razie wystąpienia zdarzenia „sytuacja kolizyjna”, czyli tzw. monitoring (analiza i ocena sytuacji),
- T2 – okres (przedział czasowy) od wystąpienia zdarzenia „możliwość kolizji” do podjęcia manewru,
- T3 – czas realizacji manewru mającego na celu uniknięcie kolizji.

T1	T2	T3
		
Światło zielone – czas ruchu, podczas którego system jest w stanie stałej gotowości – monitoruje sytuację – domena 3D wyznacza bezpieczny obszar manewrowy, w którym nie ma obiektów obcych.	Światło pomarańczowe – system wykrywa sytuację kolizyjną – strefa bezpieczeństwa wyznaczona przez domenę 3D zostaje przekroczona. SWD informuje o zagrożeniu dzięki temu odległość od obiektu obcego jest większa od odległości krytycznej. W kolejnej fazie SWD pomaga wybrać rodzaj manewru. Decydent przy pomocy systemu podejmuje decyzję o wykonaniu konkretnego manewru.	Światło czerwone - czas realizacji manewru w celu uniknięcia kolizji. Powrót na planowy tor ruchu.

Rys. 3.3 Etapy wykonywania zadania transportowego z wykorzystaniem SWD. Źródło: opracowanie własne.

Wystąpienie zdarzenia losowego – kolizja z innym obiektem, determinuje podjęcie decyzji, co do wykonania manewru (system przebywa w czasie T2). Decyzja ta powinna skutkować ominięciem obiektu obcego i utrzymaniem się statku na torze. Istotnym elementem dla manewru jest przedział czasowy od wystąpienia zdarzenia losowego jakim jest możliwość kolizji do momentu podjęcia decyzji o manewrze. W tym przedziale czasowym nawigator ma zdecydować o działaniu pozwalającym na bezpieczne przejście statku. Wyznaczenie dozwolonego obszaru manewrowego (zależnego od odległości krytycznej) pozwoli na bezpieczne uniknięcie zagrożenia na torze wodnym. Obszar ten będzie również informował nawigatora o tym na jaką minimalną odległość może się zbliżyć tak, by wykonać manewr, przy uwzględnieniu parametrów ograniczających. Pozwoli to na bezpieczne i efektywne wykonywanie manewrów antykolizyjnych, co przełoży się również na wybór efektywnej trajektorii ruchu.

Żegluga statkiem na akwenach ograniczonych jest związana z dużym ryzykiem, co jest wynikiem przede wszystkim zredukowanej przestrzeni manewrowej. Złożoność nawigacji w żegludze śródlądowej zwiększa poziom zagrożenia statku. Błędna ocena momentu rozpoczęcia manewru wyprzedzania oraz nieuwzględnienie ograniczeń może prowadzić do kolizji. W pracy przedstawiono czynniki wpływające na możliwość wykonywania manewrów antykolizyjnych na obszarach o ograniczonej przestrzeni manewrowej. Stanowią one parametry funkcji zmiennych, które będą decydowały o bezpiecznej odległości rozpoczęcia wykonywania manewru. Aby statek mógł bezpiecznie ominąć pojawiające się na torze zagrożenie, należy określić minimalną odległość rozpoczęcia wykonania tego manewru, a także wartość wychylenia płetwy steru wymaganą dla odpowiedniego odchylenia (zmiany kursu). Możliwość wykonania manewru antykolizyjnego determinują głównie czynniki zewnętrzne – parametry toru wodnego (długość, szerokość, głębokość) oraz wewnętrzne – parametry jednostki ruchu (długość, szerokość, wysokość i zanurzenie), jak i elementy czynnika „ludzkiego”, czyli doświadczenie i umiejętności decydenta, także na sytuacje kolizyjne (stresowe). Dla poprawy możliwości wykonywania manewrów antykolizyjnych stosuje się nowoczesne urządzenia nawigacyjne i system informatyczne, w tym systemy wspomaganie decyzji, które poprawiają lub nawet umożliwiają większe możliwości percepcyjne, które dają niezbędny czas do podjęcia prawidłowych decyzji.

System wspomaganie decyzji będzie opierał się na dwóch osobno działających metodach. Pierwszą będzie deterministyczny model matematyczny, który zgodnie z wzorami z tabeli 3.1 wyznaczy odległości w przestrzeni trójwymiarowej, których przekroczenie spowoduje alarm o zagrożeniu. Druga metoda w SWD opiera się o wiedzę nawigatorów (ekspertów) z

wykorzystaniem logiki rozmytej. Wystarczy, że jedna z metod uzna sytuację za zagrożenie, aby system alarmował o sytuacji kolizyjnej. Ostateczną decyzję o ewentualnych ruchach antykolizyjnych podejmuje decydent na statku, a odpowiednio wcześniejsze alarmowanie wpływa na bezpieczeństwo jednostki i większe możliwości wyboru manewrów.

1. Deterministyczny model matematyczny

Tabela 3.1 Wzory i warunki ograniczające w modelu wraz z wyliczeniem przykładów.

	Wzór matematyczny	Warunki ograniczające	Przykład nr 1	Przykład nr 2
1-wszy wymiar – długość (L)	$D_d = L + 0,15 * L + L_{Dm}$	$L_A \geq D_d$	$L_T = 2,30$ m $L_P = 6,90$ m $D_d = 41,8$ m	$L_T = 1,20$ m $L_P = 3,10$ m $D_d = 13,90$ m
2 – gi wymiar – szerokość (B)	$S_d = d_m + d_{rz} + d_{rc} + \sum d_i$	$b_{\text{sw}} \geq 2B + \Delta_{rb}$	$S_d = 10,5$ m	$S_d = 6,21$ m
3 – ci wymiar – wysokość (W) i głębokość (T)	$W_d = H_{\text{max}} + \Delta_{\text{sw}}$ $G_d = T(x, y, t) + \Delta_s(x, y, t) + \Delta_d(x, y, t);$	$h_{\text{sw}} \geq H_{\text{max}} + \Delta_{\text{sw}}$ $h_{\text{sw}} / H_{\text{max}} \geq 1,2$ $h(x, y, t) \geq T(x, y, t) + \Delta_s(x, y, t) + \Delta_d(x, y, t);$ $\Delta_s(x, y, t) + \Delta_d(x, y, t) = \Delta(x, y, t) > 0;$ $h(x, y, t) / T(x, y, t) \geq 1,2$	$W_d = 2,10$ m $G_d = 1,13$ m warunki ograniczające – spełnione	$W_d = 3,41$ m $G_d = 1$ m warunki ograniczające – spełnione

Źródło: opracowanie własne.

Oznaczenia występujące w tabeli 3.1:

$h(x, y, t)$ – aktualna głębokość akwenu [m],

h_{sw} – wysokość pionowa w świetle konstrukcji [m],

H_{max} – wysokość maksymalna do nierozbieralnej konstrukcji statku [m],

b_{sw} - szerokość pozioma w świetle konstrukcji [m],

$\Delta(x, y, t)$ – rezerwa wody pod stępką,

Δ_{sw} - rezerwa wysokości w świetle konstrukcji,

Δ_{rb} - rezerwa szerokości w świetle konstrukcji,

$\Delta_s(x, y, t)$ – statyczna rezerwa wody pod stępką [m],

$\Delta_d(x, y, t)$ – dynamiczna rezerwa wody pod stępką [m],

d_m – podstawowa szerokość manewrowa pasa ruchu [m],

d_i – dodatkowe poprawki na szerokość pasa ruchu [m],

d_{rz} – rezerwa szerokości pasa ruchu po stronie lewej (czerwonej) [m],

d_{rc} – rezerwa szerokości pasa ruchu po stronie prawej (zielonej) [m].

G_d – głębokość domeny liczona od linii zanurzenia statku w dół [m],

W_d – wysokość domeny liczona od linii zanurzenia statku w górę [m],

S_d – szerokość domeny statku liczona od wzdłużnej osi symetrii do granic na lewej i prawej burcie [m], L_T – długość domeny za rufą, L_P – długość domeny przed dziobem,

D_d – długość domeny statku liczona od granicy za rufą do granicy przed dziobem [m],

L_A – długość toru ruchu od aktualnych współrzędnych jednostki,

L_{Dm} – długość domeny statku przed dziobem w zależności od jego możliwości manewrowych.

Wyliczone parametry domeny w przykładzie nr 1 dotyczą barki otwarto pokładowej – BA-STOCIN-1 o wymiarach: długość całkowita jednostki – $L = 33,93$ m, szerokość – $B = 6,50$ m, zanurzenie maksymalne $T = 0,930$ m. Natomiast przykład nr 2 dotyczy łodzi motorowej ŁM-STOCIN-1 o wymiarach: długość całkowita jednostki – $L = 8,49$ m, szerokość – $B = 3,21$ m, zanurzenie maksymalne $T = 0,77$ m, wysokość $1,61$ m. Dla wszystkich przykładów ograniczenia w świetle konstrukcji były badane dla mostu o wymiarach: szerokość – $17,5$ m, prześwit pionowy nad poziom wody przy tzw. wysokiej wodzie żeglownej (WWŻ) – $3,68$ m, które posiada most „Długi” w Szczecinie. Przykład nr 3 dla jednostki Bunkier – STOCIN-1, o wymiarach: $L = 33,83$ m, $B = 9,20$ m, $T = 1,85$ m, który służy do przewozu paliw płynnych, przedstawia się następująco: $L_T = 2,10$ m, $L_P = 6,80$ m, $D_d = 40,8$ m, $S_d = 13,5$ m, $G_d = 2,05$ m. W tym przypadku nie wszystkie warunki ograniczające są spełnione, np. $b_{sw} \geq 2B + \Delta_{rb}$, co powoduje powiadomienie przez system o niebezpieczeństwie, a kierujący jednostką podejmuje decyzję o środkach zapobiegawczych i specjalnym zachowaniu ostrożnościowym, np. w tej sytuacji o ruchu jednostronnym. Natomiast dla zanurzenia jednostki wartości głębokości, które nie spełniają wymagań będą wizualizowane żółtym i czerwonym kolorem, zaś tor ruchu dostępny dla określonego zanurzenia kolorem niebieskim i będzie wyznaczał obszary bezpiecznej głębokości dla danego typu jednostki. Aktualnie zagrożenia głębokościowe są oznaczane przez izobaty, czyli obszary które wskazują miejsca o tej samej głębokości. Dodatkowo w modelu do wyznaczenia obszaru bezpieczeństwa zalicza się równania, które uwzględniają warunki hydrometeorologiczne panujące na torze oraz prędkość jednostki. Dla niekorzystnych warunków hydrometeorologicznych i / lub prędkości powyżej 10 węzłów wprowadza się dodatkowe poprawki:

- dla długości: $L = L + 0,05 L$, dla szerokości: $B = B + 0,15 B$, dla głębokości: $G = G + 0,1 G$. Jednak poprawki te nie oddadzą wszelkich zależności, które wpływają na bezpieczeństwo jednostki w ruchu podczas skomplikowanych zjawisk hydrometeorologicznych i zmiennych warunków na torze. Dlatego potrzebna jest inna metoda analizy i oceny sytuacji na torze, która będzie uwzględniać niepewność danych i złożoność zachodzących zjawisk. Zadania te spełni system ekspertowy z logiką rozmytą.

Synergia i współdziałanie różnych metod pozwala na wykorzystanie ich zalet z jednoczesnym niwelowaniem ich ograniczeń i niedoskonałości. Obliczanie parametrów i metoda wyliczania dynamicznej domeny 3D pozwoli na zapewnienie wzrostu bezpieczeństwa jednostkom na akwenu oraz usprawni nadzór ruchu i możliwość planowania trasy przepływu. Dostosowanie techniczne odcinka Dolnej Odry do parametrów IV klasy drogi wodnej pozwoli na ruch jednostkom o wymiarach maksymalnych: długość $L = 85$ m, szerokość $B = 9,5$ m i co najważniejsze zanurzenie $T = 2,5$ m. Metoda modelowania (konstrukcji) dynamicznej domeny 3D pozwoli na wyznaczanie w czasie rzeczywistym obszaru, który dla zachowania określonego stopnia bezpieczeństwa powinien zostać nienaruszony przez inne obiekty obce. Dzięki wykorzystaniu tej metody na wyjściu deterministycznego modelu matematycznego uzyskuje się odległość od obiektu obcego lub mielizny oraz możliwość ciągłego ostrzegania o wystąpieniu ewentualnego zagrożenia. Dodatkowo dla pewności wyników i wyznaczania odpowiedniego momentu informującego o zagrożeniu zastosowano system ekspercki z logiką rozmytą, który umożliwi lepsze uwzględnienie skomplikowanych zjawisk zachodzących wokół jednostki oraz niepewności i niejednoznaczności występujących podczas ruchu danych.

2. Metodę opartą o wiedzę ekspertów z logiką rozmytą – określić można jako układ do automatycznego wykrywania obiektywnie niebezpiecznych sytuacji nawigacyjnych na torze wodnym, grożących wejściem na mieliznę lub uderzeniem w obiekt obcy, uzyskanych na podstawie wiedzy eksperckiej i/lub analizy konkretnych decyzji eksperckich. W metodzie tej wykorzystuje się zbiory rozmyte do oceny bezpieczeństwa na akwenu ograniczonym.

Definiowanie zbiorów rozmytych i zmiennych lingwistycznych, czyli ocena lingwistyczna wartości lub wariantów dostosowana do konkretnego obszaru, w tym przypadku Dolnej Odry stanowi fazę przeddecyzyjną. Kolejnym krokiem jest fuzyfikacja, czyli rozmywanie wartości pomiarów, czy obserwacji za pomocą określania funkcji przynależności dla wartości wejściowych.

Tabela 3.2 Parametry jednostki własnej (lub statku obcego) – długość (L) [m].

Lp.	Zakres wartości [m]	Ocena lingwistyczna	Zakodowanie
1	do 10 m	bardzo mała	BM
2	od 8 do 20 m	Mała	M
3	od 18 do 38 m	Średnia	S
4	od 35 do 58 m	Duża	D
5	od 55 do 78 m	bardzo duża	BD
6	powyżej 75 m	Ogromna	OD

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3.3 Parametry jednostki własnej (lub statku obcego) – szerokość (B) [m].

Lp.	Zakres wartości [m]	Ocena lingwistyczna	Zakodowanie
1	do 5 m	Mała	M _s
2	od 4 do 9 m	Średnia	S _s
3	od 8 do 15 m	Duża	D _s
4	Powyżej 14 m	bardzo duża	BD _s

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3.4 Parametry jednostki własnej (lub statku obcego) – wysokość (W) [m].

Lp.	Zakres wartości [m]	Ocena lingwistyczna	Zakodowanie
1	do 0,9 m	bardzo niska	BN
2	od 0,8 do 1,5 m	Niska	N
3	od 1,4 do 2,1 m	Średnia	SW
4	od 2,0 m do 2,9 m	Wysoka	W
5	od 2,8 do 3,6 m	bardzo wysoka	BW
6	powyżej 3,5 m	Niebezpieczna	NW

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3.5 Parametry jednostki własnej (lub statku obcego) – głębokość, zanurzenie (T) [m].

Lp.	Zakres wartości [m]	Ocena lingwistyczna	Zakodowanie
1	do 0,8 m	Nikłe	Z
2	od 0,7 do 1,2 m	Małe	MZ
3	od 1,1 do 1,6 m	Średnie	SZ
4	od 1,5 m do 2,1 m	Duże	DZ
5	od 2,0 do 2,6 m	bardzo duże	BDZ
6	powyżej 2,5 m	Niebezpieczne	NZ

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3.6 Warunki meteorologiczne – widzialność (przejrzystość).

Lp.	Zakres wartości [m]	Ocena lingwistyczna	Zakodowanie
1	powyżej 500 m	Korzystna	KW
2	od 440 do 510 m	Dobra	DW
3	od 240 do 450 m	Umiarkowana	UW
4	od 140 do 250 m	Zła	ZW
5	do 150 m	Niekorzystna	NKW

Źródło: opracowanie własne na podstawie skali widzialności wykorzystywanej w komunikatach i biuletynach.

Tabela 3.7 Parametry jednostki własnej (lub statku obcego) – prędkość (V) [w].

Lp.	Zakres wartości [w]	Ocena lingwistyczna	Zakodowanie
1	do 3 w	bardzo wolno	BW
2	od 2 do 5 w	Wolno	W
3	od 4 do 9 w	Umiarkowanie	U
4	od 8 do 12 w	Średnio	SP
5	od 10 do 15 w	Szybko	SZ
6	powyżej 14 w	bardzo szybko	BSZ

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3.8 Definicja reguł rozmytych dla przykładowych jednostek.

Lp.	L	B	W	T	Widzialność	V	Odległość [m]	Stopień zagrożenia
1	S	S _s	N	MZ	KW	BW	10	1
2	S	S _s	N	MZ	KW	SP	20	2
3	S	S _s	N	MZ	KW	BSZ	30	3
4	S	S _s	N	MZ	DW	U	10	2
5	S	S _s	N	MZ	DW	SZ	20	2
6	S	S _s	N	MZ	DW	BSZ	30	4
7	S	S _s	N	MZ	UW	W	10	3
8	S	S _s	N	MZ	UW	U	20	3
9	S	S _s	N	MZ	UW	SP	30	4
10	S	S _s	N	MZ	ZW	BW	20	3
11	S	S _s	N	MZ	ZW	U	30	4
12	S	S _s	N	MZ	NKW	SZ	30	5
13	M	M _s	SW	Z	KW	BW	5	2
14	M	M _s	SW	Z	KW	SP	10	3
15	M	M _s	SW	Z	KW	BSZ	20	4
16	M	M _s	SW	Z	DW	U	5	3
17	M	M _s	SW	Z	DW	SZ	10	4
18	M	M _s	SW	Z	DW	BSZ	20	4
19	M	M _s	SW	Z	UW	W	5	4
20	M	M _s	SW	Z	UW	U	10	3
21	M	M _s	SW	Z	UW	SP	20	3
22	M	M _s	SW	Z	ZW	W	10	4
23	M	M _s	SW	Z	ZW	U	20	4
24	M	M _s	SW	Z	NKW	BSZ	20	5
25	S	D _s	W	DZ	KW	BW	10	1
26	S	D _s	W	DZ	KW	SP	20	3
27	S	D _s	W	DZ	KW	BSZ	30	4
28	S	D _s	W	DZ	DW	U	10	3
29	S	D _s	W	DZ	DW	SZ	20	3
30	S	D _s	W	DZ	DW	BSZ	30	4
31	S	D _s	W	DZ	UW	W	10	3
32	S	D _s	W	DZ	UW	U	20	3
33	S	D _s	W	DZ	UW	SP	30	4
34	S	D _s	W	DZ	ZW	W	20	4
35	S	D _s	W	DZ	ZW	BW	30	3
36	S	D _s	W	DZ	NKW	U	30	5

Źródło: opracowanie własne.

Na akwenach trudnych nawigacyjnie nie można przyjmować, iż jednostka w ruchu jest punktem materialnym, gdyż w tej sytuacji ważne są także jego parametry geometryczne oraz położenie względem niebezpieczeństw. Przez ocenę parametrów opisujących wielkość jednostek i akwenu system informuje o zagrożeniu oraz pozwala wyznaczyć bezpieczne manewry w celu ominięcia zagrożenia. Strefy bezpieczeństwa pozwalają dokonać oceny sytuacji na akwenu. Przy ustalaniu wielkości i kształtów stref bezpieczeństwa możliwe jest zastosowanie praw logiki rozmytej i na ich podstawie ustalane są różne poziomy bezpieczeństwa. Skala ocen stopnia zagrożenia zawiera się od 0 do 5, gdzie 0 oznacza sytuację bardzo bezpieczną, w której naszej jednostce nic nie zagraża, zaś 5 opisuje sytuację bardzo niebezpieczną, inaczej ostatni moment, w którym trzeba podjąć decyzję i wykonać manewr antykolizyjny. W tej sytuacji nawigator będzie dysponował dodatkowo informacją o aktualnym poziomie bezpieczeństwa i tendencji jego zmiany. Zastosowanie stref bezpieczeństwa statku w systemach zintegrowanego wspomaganie decyzji i ośrodkach kontroli ruchu niewątpliwie podniesie poziom bezpieczeństwa żeglugi. W metodzie deterministycznej występuje skala zero – jedynkowa, w której 0 oznacza brak zagrożenia, a 1 wystąpienie zagrożenia, czyli naruszenie domeny 3D. Wartości funkcji przynależności danych wejściowych wynikają z tabel 3.2 – 3.7. Przykład definiowania reguł rozmytych przeprowadzono dla trzech jednostek: barki otwarto pokładowej BA-STOCIN-1, łodzi motorowej ŁM-STOCIN-1 oraz jednostki do przewozu paliw płynnych Bunkier – STOCIN-1, których charakterystyka i wymiary zostały przedstawione wcześniej przy wyliczaniu przykładu dla deterministycznego modelu matematycznego.

Warunki hydrometeorologiczne do których zaliczamy przede wszystkim takie zjawiska zakłócające ruch jak: prądy rzeczne, fale, wiatry itp. są uwzględniane w modelu ruchu statku, na który wpływa model zakłóceń opisujący złożone zjawiska środowiska występujące na torze ruchu. Możliwości manewrowe jednostki, takie jak zwrotność, stateczność, czy hamowanie w znacznej mierze będą wynikały z określonych w tabelach parametrów oraz przez uwzględnienie ich w modelu ruchu statku. W danych wejściowych systemu ekspertowego występuje także odległość między jednostką własną, a obiektem obcym (np. pomiędzy jednostkami). W metodzie deterministycznego modelu matematycznego będą obliczane parametry takie jak odległość od obiektu obcego, zajmowany obszar przez płycizny itd., zaś metoda ekspercka ma pomagać w analizowaniu i przewidywaniu złożonych zjawisk, które nie da się łatwo lub w ogóle sparametryzować. Do zjawisk tych należą warunki hydrometeorologiczne, elementy związane z czynnikiem ludzkim, a także opis niepewnych danych, czy informacji. Połączenie obu metod daje

olbrzymie korzyści dla skuteczności i efektywności działania całości systemu wspomaganie decyzji.

Obecnie zauważa się, iż łączenie ze sobą różnych metod przetwarzania, wnioskowania i poszukiwania wiedzy w jeden spójny hybrydowy system doradczy staje się kierunkiem rozwoju wzmacniającym ISWD w rozwiązywaniu złożonych problemów (procesów) świata rzeczywistego. Obie metody pracują równolegle, a synergia ich wyników daje lepsze efekty, które wpływają na wzrost bezpieczeństwa jednostki w ruchu. Zastosowanie systemu wspomaganie decyzji do oceny i sterowania poziomem bezpieczeństwa złożonego obiektu technicznego, jakim niewątpliwie jest statek wpływa jednocześnie na eliminowanie błędów ludzkich w trakcie ruchu, które według badań stanowią aż 72% wszystkich przyczyn wypadków w strefach przybrzeżnych (Dove, Burns, 2001).

Szczególne zagrożenie kolizyjne występuje przede wszystkim w rejonach wzmoczonego ruchu, strefie przybrzeżnej oraz na torach wodnych z wąskimi przejściami, gdzie występują znaczne ograniczenia nawigacyjne. Dodatkowym czynnikiem powodującym potencjalny wzrost zagrożenia kolizją w strefie przybrzeżnej jest ograniczenie widzialności. Odpowiedzią na te czynniki, które wpływają na wzrost zagrożenia są systemy wspomaganie decyzji, a w przyszłości nawet systemy automatycznego kierowania statkiem, które umożliwią bezpieczny ruch w rejonach o wysokim stopniu zagrożenia kolizyjnego, również w niekorzystnych warunkach pogodowych. Współczesne tendencje w dziedzinie automatyzacji prowadzenia statku zmierzają w kierunku wykorzystania technik komputerowych do wyznaczania manewru lub trajektorii unikania kolizji.

Istotne jest wyznaczenie zakresu dopuszczalnych manewrów i momentu ich wykonania. Przeprowadzone badania rzeczywiste w Akademii Morskiej w Gdyni na modelach redukcyjnych (rys. 3.4) pozwoliły na wyznaczenie odległości krytycznej od obiektu obcego, kiedy decyzja o manewrze pozwoli na uniknięcie kolizji. Dzięki przeprowadzonym badaniom uzyskano wyniki prezentujące w jaki sposób odległość rozpoczęcia manewru S zależy od wychylenia płetwy steru. Otrzymane wyniki pozwalają na wyznaczenie zabronionego obszaru, którego przekroczenie spowoduje, iż na reakcję będzie za późno i dojdzie do zderzenia (kolizji). Wielkość tego obszaru, a tym samym odległość krytyczna rozpoczęcia manewru będzie zależała przede wszystkim od prędkości względnej rozpatrywanych jednostek oraz rodzaju manewru do wykonania (stopień konieczności wychylenia płetwy sterownej). Na podstawie otrzymanych wyników manewr wyprzedzania można opisać w postaci modelu wielomianowego (Lizakowski i inni, 2008):

$$d = 0,001\alpha (83,6721 + 3,69\alpha) - 0,6075S + 1,4726$$

Wzór przedstawia w jaki sposób odległość boczna od obiektów obcych (d) zależy od kąta wychylenia steru (α) i odległości rozpoczęcia manewru (S – w długościach L statku). Daje to możliwość wyznaczenia dozwolonego obszaru, którego nieprzekroczenie pozwoli na bezpieczne ominięcie obiektu obcego znajdującego się na torze wodnym. Obszar ten będzie również informował nawigatora o tym, na jaką minimalną odległość może się zbliżyć tak, by wykonać manewr wyprzedzania, przy uwzględnieniu parametrów ograniczających. Zaprezentowany model opisujący odległość boczną (d) mijania przeszkód pozwala na dobór odległości (S) i wychylenia steru o kąt α , by bezpiecznie wykonać manewr uniknięcia kolizji.



Rys. 3.4 Model redukcyjny biorący udział w badaniach rzeczywistych wyznaczania w jaki sposób odległość boczna od obiektów obcych zależy od odległości rozpoczęcia manewru i kąta wychylenia płetwy sterowej. Źródło: (Lizakowski, 2008).

Na wyjściu informatycznego systemu wspomaganie decyzji uzyskamy w czasie rzeczywistym informacje o ewentualnym zagrożeniu wraz z oceną poziomu bezpieczeństwa, która będzie realizowana przez moduł SAIN (System Automatycznej Identyfikacji Niebezpieczeństw) oraz pomoc przy wyborze optymalnego manewru uniknięcia zagrożenia. Podsumowując system wspomaganie decyzji oparty na opisanych wyżej metodach wspiera:

- określenie bezpiecznego obszaru manewrowego z wykorzystaniem domeny 3D,
- sygnalizowanie sytuacji niebezpiecznych oraz aktualnego stanu bezpieczeństwa,
- wyznaczanie optymalnego manewru i trajektorii ruchu w sytuacjach kolizyjnych.

3.2 Kryteria oceny SWD oraz weryfikacja systemu za pomocą symulacji

Przy ocenie systemu należy wziąć pod uwagę przede wszystkim jakość udzielanych odpowiedzi i szybkość, z jaką się to dzieje. Należy zbadać dokładność podawanych rozwiązań i formę, w jakiej są przekazywane. W niektórych dziedzinach życia i nauki, w tym także w rozpatrywanym problemie, dane zmieniają się tak szybko, że niezbędna jest możliwość modyfikacji bazy wiedzy. Należy pamiętać, że podstawowym zadaniem systemu jest ulepszenie procesu podejmowania decyzji i tę cechę należy przede wszystkim ocenić. System powinien spełniać kilka najważniejszych kryteriów:

- dostosować się do przewidzianych zadań – funkcjonalność,
- powinien zawierać spójne i kompletne reguły w bazie wiedzy,
- powinien odznaczać się stabilną i niezawodną pracą.

Należy spojrzeć na system z punktu widzenia potrzeb i odpowiedzieć na pytanie, czy system daje odpowiedź na istniejące problemy i czy istnieją techniki, które lepiej lub szybciej rozwiążą wskazany problem. W celu zbadania spójności i kompletności bazy wiedzy stosuje się metodę budowania tabeli zależności reguł lub sieć (drzewo) powiązań. Optymalizacja czasu pracy systemu, jak i metod wnioskowania jest skomplikowana. Zadaniem interpretera reguł jest znalezienie i uaktywnienie reguł odpowiednich do zaobserwowanych faktów. Oczywiście jest, że jeżeli rozmiar bazy reguł wzrasta, to i czas szukania reguł przez interpreter się zwiększa. Aby temu zapobiec należy stosować grupowanie reguł (aglomeracje) w bazach wiedzy i wnioskowanie na grupach (skupieniach) reguł. Analiza skupień (grupowanie) ma skrócić w sposób istotny czas wnioskowania. Sprawdzanie kompletności bazy reguł odbywa się poprzez tzw. grupowanie reguł, czyli umieszczanie obok siebie reguł, które kończą się taką samą konkluzją, co daje możliwość przesłania przesłanek (reguł), które prowadzą do tego samego wniosku. Uporządkowanie grup, gdzie najważniejsze są grupy zawierające konkluzje końcowe pozwala stwierdzić, czy reguły stanowią spójną logiczną całość. Również innym sposobem jest tworzenie sieci zależności i jej analiza zasadności i efektywności. Dodatkowo do kryteriów oceny systemów wspomaganie decyzji zalicza się:

- odpowiedni dobór metod wnioskowania – zastosowanie najbardziej odpowiednich metod do rozwiązania zadanego problemu, w naszym przypadku deterministyczny model matematyczny i system ekspertowy z logiką rozmytą,
- sposób i jakość zobrazowania sytuacji geoprzestrzennej – w opracowanej koncepcji zobrazowanie 3D, które umożliwia badania i analizy obiektów w przestrzeni trójwymiarowej, czyli badanie wszelkich zależności wysokościowych. Natomiast

obecnie niejako w fazie przejściowej przed wprowadzeniem pełnego zobrazowania 3D programy posługują się zobrazowaniem 2D+, które jest połączeniem baz 2D i 3D. Obok płaskiej, dwuwymiarowej bazy geometrycznej funkcjonuje dodatkowo numeryczny model terenu. Najczęściej występuje w systemach informacji przestrzennej,

- dostęp do informacji – określa ilość i jakość możliwych rozwiązań w systemie, przykładowo w rozwiązywanym problemie ważne jest, czy system rozpatruje wszystkie możliwe sytuacje spotkania, takie jak: jednostka obca (statek) w ruchu, obiekty stałe, np. budowle hydrotechniczne, przeszkody i oznakowania nawigacyjne, czy ograniczenia głębokościowe. Dzięki opisanym w pierwszym rozdziale rozprawy źródłom informacji wszystkie te sytuacje są rozpatrywane,
- rodzaj i zakres decyzji – określa w jakim zakresie użytkownicy są wspomagani przez system (konkretnie zdefiniowane wyjście systemu),
- gwarantowany stopień bezpieczeństwa, wydajność pracy oraz zależność bezpieczeństwa, a wydajność,
- możliwość optymalizacji badanego systemu.

Metodami analitycznymi można wyliczać prawdopodobieństwa zdarzeń występujących w procesie ruchu strumieni jednostek. Niestety ograniczeniem rozwoju tych metod stały się komplikacje obliczeniowe – nieproporcjonalnie duży wzrost równań przy rozbudowie modelu i ograniczenia w stosowaniu dowolnych typów rozkładów prawdopodobieństwa. Dlatego do identyfikacji zjawisk i oceny parametrów procesu ruchu bliższa rzeczywistości i efektywniejsza jest metoda symulacji. Metody symulacji komputerowej pozwalają na identyfikację zjawisk w procesach ruchu jednostek na akwenach ograniczonych trudno identyfikowalnych innymi metodami oraz na zdefiniowanie i określenie wartości miar przepustowości i bezpieczeństwa mających istotne odniesienie do praktyki, bardziej adekwatne do rzeczywistości niż wartości innych metod. Rozwój komputerowych metod obliczeniowych spowodował, że obecnie szczególnym znaczeniem do opisu złożonych systemów odznaczają się metody symulacji komputerowej. Polegają one na syntezie algorytmu symulującego funkcjonowanie danego systemu. Wielokrotna komputerowa realizacja procesu z użyciem algorytmu pozwala na znalezienie interesujących współzależności i przebiegu wartości miar opisujących dany proces. Metody symulacyjne stanowią efektywną metodę analizy złożonych systemów o dowolnej strukturze, danych

wejściowych i złożonych zasadach funkcjonowania. Pozwalają na identyfikację zjawisk i ocenę parametrów procesu ruchu. Badania symulacyjne pozwalają na:

- obserwowanie efektów zwiększania intensywności strumienia wejściowego,
- badanie możliwości i skutków nadmiernego zbliżenia pomiędzy jednostkami,
- rejestrowanie czasów opóźnień występujących na podejściu do toru wodnego,
- obliczanie wskaźników intensywności ruchu i jednostek oczekujących wejścia na tor.

Duże i nadal rosnące natężenie ruchu jednostek pływających na akwenach ograniczonych stwarza istotne problemy dotyczące bezpieczeństwa i przepustowości ruchu. Dlatego tworzy się symulacyjne badania przepustowości i bezpieczeństwa ruchu strumieni jednostek w warunkach probabilistyki zjawisk zgłoszeń i prędkości. Założenia do modelu:

- przypadkowość momentu podchodzenia statków do obszaru wejścia na tor ruchu,
- operowanie na wartościach średnich procesu ruchu jednostek.

Metoda deterministyczna badania ruchu strumieni jednostek na torze wodnym określona jest zależnością (Majzner, Piszczek, 2004):

$$\mu_{\text{nom}} = V_{\text{sr}} / \Delta l + l_s$$

gdzie: μ_{nom} - przepustowość nominalna,

V_{sr} – prędkość średnia jednostek,

Δl – minimalna dopuszczalna odległość między jednostkami,

l_s – długość statku.

W koncepcji domeny 3D zależność ta upraszcza się do następującego równania:

$$\mu_{\text{nom}} = V_{\text{sr}} / D_d$$

D_d – długość domeny statku liczona od jej granicy za rufą do jej granicy przed dziobem [m].

Model strumienia danych o jednostkach na potrzeby określenia prawdopodobieństwa wystąpienia zatoru określa zależność:

$$t_{\text{we}} = 0,5 * (1 - \mu_{\text{nom}} / \lambda_{\text{we}}) * T_s$$

t_{we} – czas opóźnień przypadający na jednostkę oczekującą na wejście na tor ruchu,

λ_{we} – wejściowy strumień jednostek,

T_s – okres pojawiania się jednostek na wejściu na tor (zmienna losowa).

Zastosowanie symulacji do oceny ryzyka zaistnienia zatoru przy zmieniających się warunkach ruchu pozwala na identyfikację i określenie bezpieczeństwa w określonej sytuacji.

Optymalizacja badanego systemu w aspekcie wydajności ruchu pozwala na określenie parametrów przepustowości. Natomiast przepustowość rzeczywistą określa się jako wartość intensywności strumienia wyjściowego.

Na podejmowaną decyzję ma wpływ wiele czynników, a ich znajomość pozwoli na:

- planowanie przejścia statku,
- sterowanie ruchem zgodnie z planem przejścia,
- określenie pozycji statku i jego położenia w stosunku do planowanej trajektorii,
- korygowanie trajektorii i wektora ruchu,
- zapobieganie kolizjom i sytuacjom nadmiernego zbliżenia,
- unikanie zagrożeń ze strony niesprzyjających warunków hydrometeorologicznych.

Dzięki wyżej wymienionym możliwościom opracowany model systemu wspomagania decyzji zwiększy bezpieczeństwo i wydajność ruchu poprzez możliwość planowania ruchu (obsługa kolejki zdarzeń, szacowanie prawdopodobieństwa wystąpienia zatoru) i ostrzegania o zagrożeniach. Dodatkowo informacje dostarczane przez rzeczny system informacyjny (RIS) umożliwią określenie takich parametrów, jak:

- możliwości transportowe (określenie zmian poziomu wody, warunków pogodowych oraz natężenia ruchu i ewentualnych zdarzeń losowych, np. wypadków),
- czasy przejścia obiektów w newralgicznych (strategicznych dla planowania ruchu) punktach toru wodnego np. pod mostem (punkt kontrolny w łańcuchu ruchu),
- wpływ rozkładu i natężenia ruchu na funkcjonowanie systemu,
- wpływ typów jednostek (rodzaje zestawów barkowych, statków) na ruch (jego możliwości, natężenie, itp.),
- wpływ parametrów ograniczających np. głębokości, czy wysokości prześwitu pod mostami w zależności od zmieniającego się poziomu wody na możliwości i natężenie ruchu.

RIS pozwala na monitorowanie w czasie rzeczywistym floty żeglugi śródlądowej oraz zmieniających się warunków na trasie. Pozwala to na lepsze zarządzanie flotą, optymalne rozmieszczenie personelu oraz floty w oparciu o aktualne informacje, jak też bardziej szczegółowe planowanie rejsu i kontrolę zanurzenia w oparciu o aktualne informacje o warunkach na szlakach wodnych. Informacje przekazywane w czasie rzeczywistym można wykorzystać dokonując załadunku statków z uwzględnieniem bieżących warunków żeglugi. Dodatkowo szczególną uwagę zwraca się na transport materiałów niebezpiecznych, który planuje i odbywa się ze szczególną uwagą w systemie (centrum RIS) oraz zapewnia się (wymaga się administracyjnie, ustawowo) dodatkowe usługi, np. pilotaż. Dodatkowo dla jednostek przewożących materiały niebezpieczne zapewnia się pierwszeństwo ruchu oraz bezpieczny przepływ przy małym natężeniu ruchu. Oczywiście dba się o możliwie najwyższą

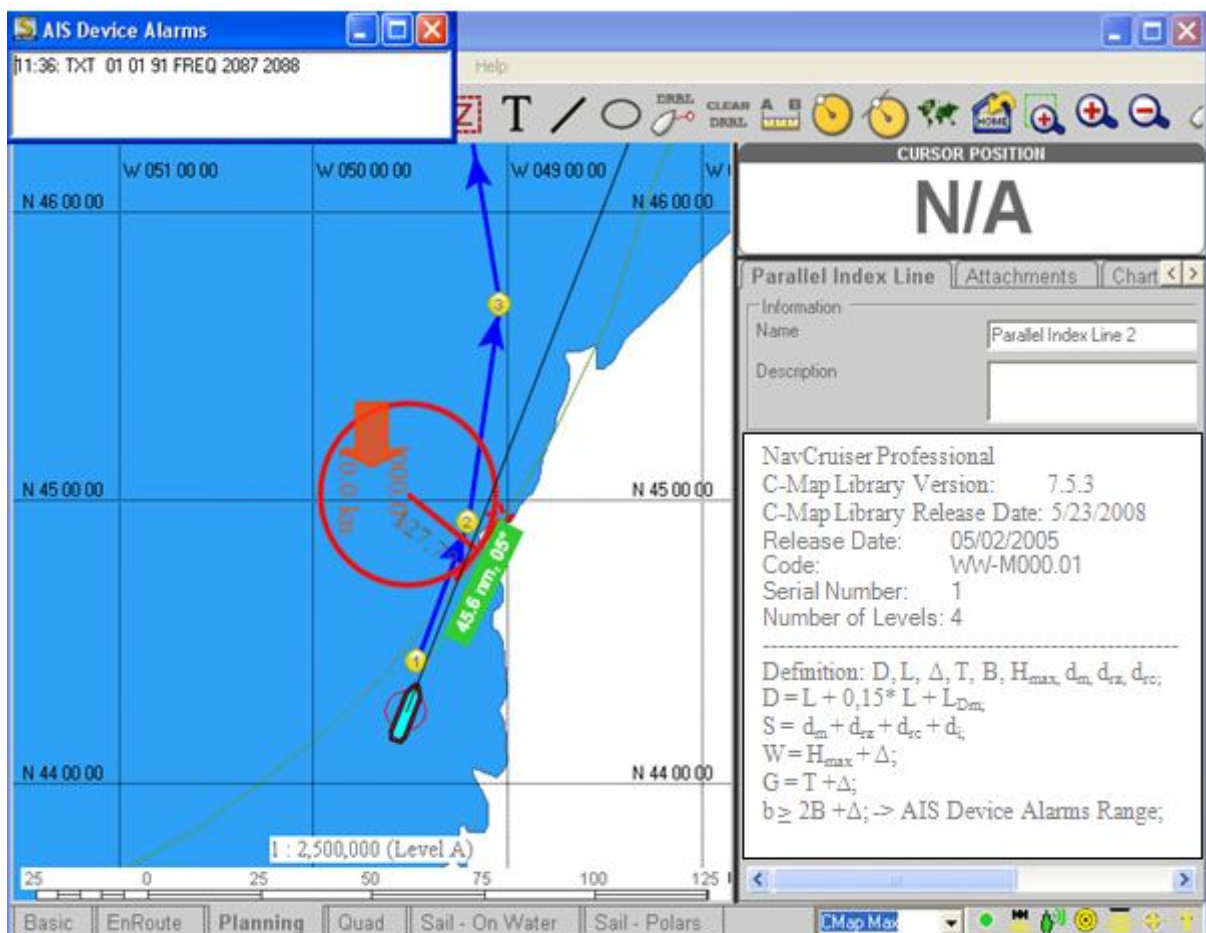
efektywność transportu (przepustowość toru), ale jedynie wtedy, gdy możliwe jest stosowanie się do zasad optymalnego ruchu z jednoczesnym zapewnieniem odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa. Dla transportu materiałów niebezpiecznych SWD wyznaczy domenę 3D z wyższym poziomem bezpieczeństwa, a dodatkowo ruch jednostek przewożących materiały niebezpieczne planuje się bardzo szczegółowo i wprowadza na tor w sprzyjających dla bezpieczeństwa godzinach.

Informacje mają dla człowieka coraz większe znaczenie, a posiadanie tych właściwych we właściwym czasie przynosi korzyści nie do przecenienia. W dzisiejszej dobie rozwoju technologii informatycznych dostęp do nowych, niezmiernie cennych informacji staje się możliwy, ale w ich gąszczu łatwo się zagubić i często wyszukiwanie tych właściwych może zająć wiele bardzo cennego czasu. Źródłem informacji przestrzennej, a więc informacji o otaczającym nas świecie są systemy informacji przestrzennej (SIP), które definiuje się jako systemy pozyskiwania, przetwarzania i udostępniania danych zawierających informacje przestrzenne oraz towarzyszące im informacje opisowe o obiektach wyróżnionych w części przestrzeni objętej działaniem systemu (Gaździcki, 1990).

Dzisiejsza powszechność komputerów, a w szczególności notebooków sprawia, że zadania nawigacyjne oraz ochrona jednostki przed kolizjami mogą stać się łatwiejsze oraz tańsze, a co za tym idzie - przystępniejsze. Duża moc obliczeniowa, łatwa dostępność zasobów pamięci, mobilność, energooszczędność, serwisowalność oraz łatwość instalacji stawia maszyny typu PC na czele pomocy nawigacyjnych. Aby jednak wykorzystać w pełni posiadany sprzęt, należy zaopatrzyć go w oprogramowanie pozwalające na zarządzanie urządzeniami nawigacyjnymi i prezentujące ich wskazania na zintegrowanym stanowisku dowodzenia.

Zadaniem oprogramowania jest udzielanie oficerom szybkiej i bezbłędnej informacji o sytuacji wokół własnego statku w odniesieniu do aktualnej pozycji i prezentacji graficznej na tle mapy nawigacyjnej. Przeznaczeniem programów jest ułatwienie podejmowania decyzji związanych z bezpieczeństwem żeglugi, poprzez prezentację podstawowych danych o nautycznej sytuacji własnej (pozycja, prędkość, kurs, kierunek wiatru) oraz o parametrach ruchu jednostek znajdujących się w pobliżu. Wszystkie dane obrazowane są na tle mapy nawigacyjnej. Obecnie programy umożliwiają obrazowanie elektronicznych map nautycznych w technologii 2D+, ale docelowo dąży się do technologii 3D. Aby prezentować w czasie rzeczywistym sytuację wokół jednostki programy obsługują wszystkie podstawowe urządzenia nawigacyjne pracujące w standardzie NMEA0183, takie jak odbiorniki GPS, AIS, radary ARPA, echosondy, wiatromierze, czy żyroskopy. Takie oprogramowanie odpowiada

na potrzeby prowadzenia bezpiecznej żeglugi, pozwalając na ocenę zarówno aktualnej jak i przyszłej sytuacji. Wykorzystane w pracy oprogramowanie serii Cruiser jest jednym z nielicznych w tym segmencie rynku zintegrowanym oprogramowaniem, w którym wszystkie moduły tworzą całość. Dodatkowo, system pozwala współdziałać w grupie. Zaprojektowane mechanizmy wymiany informacji sprawiają, że skipperzy, kapitanowie lub nawigatorzy mogą w łatwy sposób wymieniać między sobą informacje nawigacyjne. Specjalna konstrukcja programów pozwala na ich rozbudowę wraz z postępem technologicznym. Bogata funkcjonalność programu oparta o konfigurator umożliwia ich dostosowanie do indywidualnych potrzeb i przyzwyczajzeń każdego nawigatora i jednostki. Programy NavSim serii Cruiser, to obecnie jeden z najbardziej zaawansowanych technologicznie dostępnych programów na rynku.



Rys. 3.5 Przykładowa symulacja ruchu statku uwzględniająca weryfikację reguł przyjętych w modelu systemu wspomaganie decyzji. Źródło: opracowanie własne przy pomocy oprogramowania NavCruiser Professional.

Program NavCruiser Professional pozwala na zdefiniowanie zmiennych, które określają istotne parametry dla użytkownika. Dzięki temu istnieje możliwość sprawdzenia przez symulację ruchu poprawności działania reguł (równań i ograniczeń) przyjętych w modelu.

3.3 Zakładane rezultaty i korzyści z wprowadzenia systemu RIS wyposażonego w SWD

Unia Europejska od dawna poszukuje nowych rozwiązań, umożliwiających rozwijanie coraz silniejszego wzrostu gospodarczego, przy zachowaniu efektywnego systemu transportowego, pozwalającego na osiągnięcie dużych korzyści z wymiany towarowej. Rozwiązania te mają na celu sukcesywne zmniejszanie roli transportu drogowego i promocji alternatywnych środków transportu, takich jak transport kolejowy, lotniczy, czy wodny (morski i śródlądowy). Podobna polityka powinna być wdrażana również w naszym kraju. Wzrost dynamiki przewozów transportem śródlądowym poza doskonaleniem infrastruktury i informatycznych systemów zarządzania ruchem (bezpieczeństwa) uzależniony jest także od działań zmierzających do opracowania programu rozwoju przewozów intermodalnych i budowy centrów logistycznych, w tym także w Szczecinie. Skoordynowanie łańcucha logistycznego i przyspieszenie procesu transportowego można uzyskać poprzez wprowadzenie jednolitego systemu kontroli i zarządzania ruchem. System ten pozwoli na planowanie i śledzenie trasy przewozu ładunku oraz przekazywanie niezbędnych danych o przewozie (EDI) i sytuacji na akwencie zarówno operatorom, jak i uczestnikom przewozów. Oczekuje się, że RIS przyniesie cztery rodzaje korzyści strategicznych:

- wzrost konkurencyjności żeglugi śródlądowej, jako środka transportu,
- poprawę bezpieczeństwa jednostki śródlądowej w ruchu,
- optymalizację wykorzystania infrastruktury,
- poprawę ochrony środowiska naturalnego.

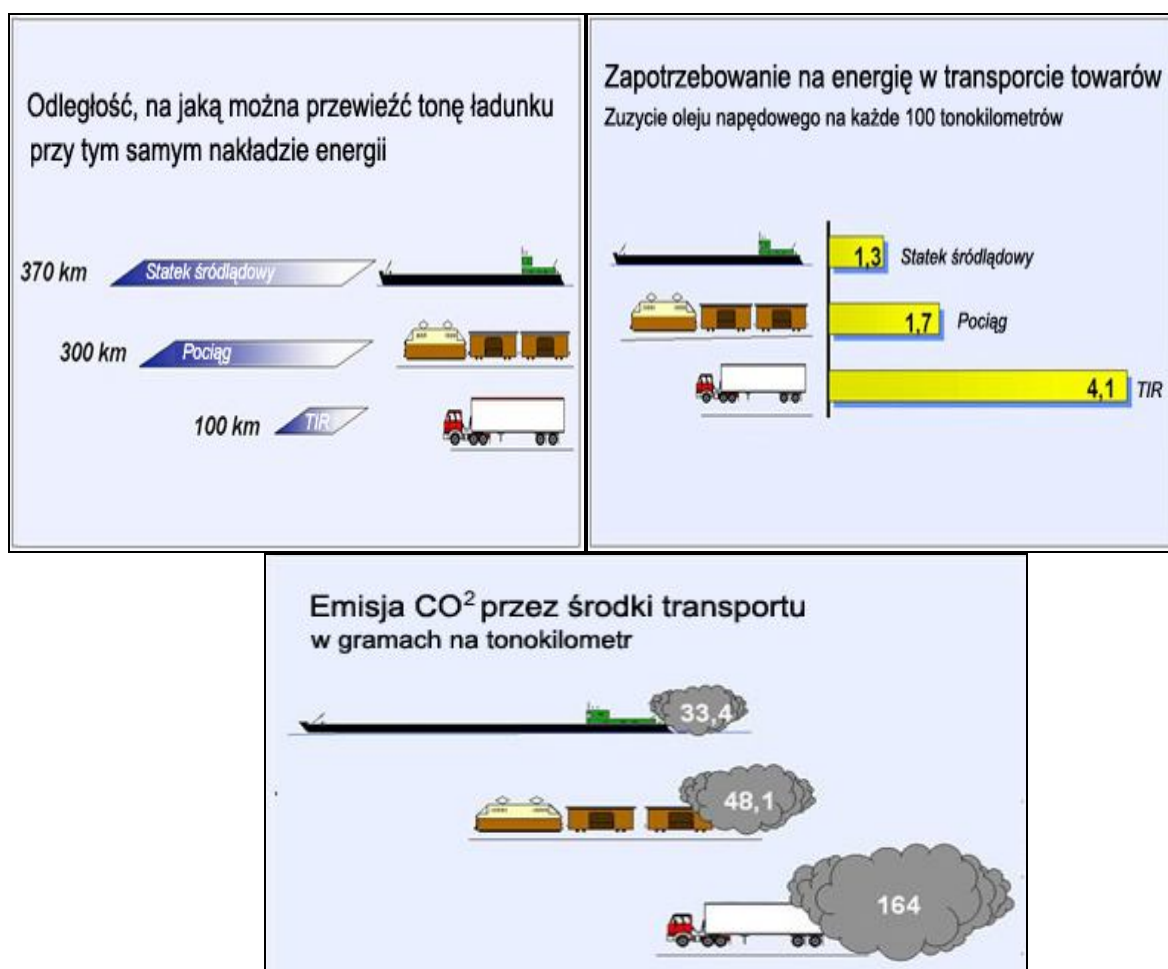
RIS pozwoli na wzrost konkurencyjności żeglugi śródlądowej jako środka transportu wśród innych możliwości przewozowych. Dostarczanie aktualnych informacji spowoduje, że będzie można je wykorzystać do planowania rejsu i obliczania bardziej wiarygodnych harmonogramów. W oparciu o bieżące i przewidywane dane dotyczące pozycji różnych statków, przemieszczających się po szlakach wodnych, operatorzy śluz/mostów/terminali mogą obliczać i przekazywać poszczególnym kapitanom wymagany czas przybycia (ETA). Przy zbliżaniu się do śluzy/terminalu kapitan może podjąć decyzję o dostosowaniu prędkości rejsowej (bardziej jednolite prędkości), co w rezultacie przyczynia się do skrócenia czasu oczekiwania przy śluzach i terminalach. Dlatego też RIS spełnia potrzeby informacyjne współczesnego zarządzania łańcuchem dostaw, ponieważ umożliwia optymalne wykorzystanie oraz monitoring zasobów i możliwości dla elastycznego reagowania w przypadku jakichkolwiek odchyłeń od pierwotnego planu. Po drugie, RIS przede wszystkim dostarcza interfejsom informacyjnym dane o wszystkich uczestnikach łańcucha dostaw oraz

innych rodzajach transportu. Interfejsy te, które eliminują przerwy w łańcuchu informacji, pozwalają integrować żeglugę śródlądową z intermodalnymi łańcuchami dostaw. Po trzecie, RIS pozwala na monitorowanie w czasie rzeczywistym floty żeglugi śródlądowej oraz zmieniających się warunków na trasie. Pozwala to na lepsze zarządzanie flotą, optymalne rozmieszczenie personelu oraz floty w oparciu o aktualne informacje, jak też bardziej szczegółowe planowanie rejsu i kontrolę zanurzenia w oparciu o aktualne informacje o warunkach na szlakach wodnych. Informacje przekazywane w czasie rzeczywistym można wykorzystać dokonując załadunku statków z uwzględnieniem bieżących warunków żeglugi.

Wprowadzenie RIS podwyższy bezpieczeństwo ruchu przez udostępnienie kapitanom możliwości otrzymywania aktualnych i kompletnych obrazów sytuacji w ruchu. Pozwoli to im na podejmowanie świadomych decyzji nawigacyjnych, co w rezultacie doprowadzi do zmniejszenia liczby wypadków oraz obrażeń i/lub ofiar śmiertelnych. Dawniej kapitanowie statków musieli opierać się na informacjach pochodzących z odczytu radaru oraz informacjach przekazywanych ustnie przez centra informacji o ruchu statków (VTS) przy podejmowaniu decyzji nawigacyjnych. Wprowadzenie RIS znacznie poprawi tę sytuację, gdyż kapitanowie będą korzystać z map elektronicznych, które będą uaktualniane, będą uzyskiwać dokładne informacje na temat pozycji zbliżających się statków oraz elektroniczne informacje o bieżących warunkach na szlaku wodnym i warunkach pogodowych. Ponadto, RIS umożliwi dokładny monitoring transportu ładunków niebezpiecznych, przyczyniając się w ten sposób do zapobiegania wypadkom. Te i inne dane pozwalają na bezpieczną żeglugę. RIS przyczynia się także do przejrzystości transportu ładunków. Przejrzystość jest najważniejszym warunkiem poprawy bezpieczeństwa działań transportowych. Wymaga on ciągłego przepływu informacji, który przyspiesza i/lub towarzyszy procesowi fizycznemu. Przez opracowywanie zharmonizowanych interfejsów, RIS przyczyni się do generowania kompleksowych i przejrzystych procesów informacyjnych oraz bezproblemowej wymiany danych (oświadczenia składane z wyprzedzeniem, wymiana danych na temat ładunku/kontenerów) pomiędzy wszystkimi odpowiednimi partnerami łańcucha transportowego.

Operatorzy terminali i śluz są w stanie lepiej planować wykorzystanie infrastruktury, w tym zasobów terminali dzięki otrzymywaniu informacji o przewidywanym czasie przybycia (ETA) oraz dodatkowych informacji (np. planów załadunku, wymiarów statku) na temat zbliżających się statków. Te przekazane z wyprzedzeniem dane umożliwiają aktywne podejście do opracowywania harmonogramu dla terminali i śluz. Zanim statek wpłynie do portu lub śluzy, operator może przygotować i zaplanować odpowiednie działania. Dla

kapitanów oznacza to skrócenie czasu oczekiwania oraz optymalizację łańcucha procesów dla całego rejsu. Dla publicznej infrastruktury przekazywane z wyprzedzeniem dane oznaczają lepsze wskaźniki wykorzystania. Ponadto, RIS umożliwia zautomatyzowane gromadzenie danych statystycznych i celnych, co upraszcza procedury administracyjne, które wpływają na szybkość dostępu i wykorzystania infrastruktury śródlądowej. Dawniej pochłaniało to mnóstwo czasu i w nadmiarze nieuporządkowanej informacji łatwo było popełnić błąd. Natomiast RIS będzie umożliwiał automatyczne gromadzenie wymaganych danych w sposób efektywny, co w konsekwencji przyczyni się do zmniejszenia wydatków i wzrostu możliwości przewozowych.



Rys. 3.6 Analiza kosztów i korzyści z danego rodzaju transportu. Źródło: Niemiecki Instytut Energii i Środowiska.

Nowoczesny statek rzeczny jest ekologicznie najmniej szkodliwy ze wszystkich środków transportu towarów i żaden inny pojazd o tej samej mocy przewozowej oraz mocy zainwestowanej nie jest w stanie mu dorównać. Statek żeglugi śródlądowej jest obszerny i łatwy w za- i wyładunku, może zabierać ładunki wielkogabarytowe i nietypowe, które często nie mogą zostać przetransportowane innym środkiem transportu. Jak widać z porównania na

rys. 3.6 jednostki żeglugi śródlądowej mają bardzo korzystny stosunek mocy wykorzystanej do całkowitej, generują stosunkowo niskie koszty oraz zużywają relatywnie mało energii na przewóz towaru. Ten rodzaj przewozu jest przyjazny środowisku, a możliwość zastosowania obecnie nowoczesnych urządzeń i systemów teleinformatycznych pozwoli na podniesienie bezpieczeństwa przewozu, nawet przy dużym natężeniu ruchu. Stosowanie systemu wspomagania decyzji z wyznaczaniem stopnia bezpieczeństwa pozwoli na przewóz niebezpiecznych materiałów w wymaganych warunkach bezpieczeństwa ruchu. Także choć żegluga rzeczna ma w porównaniu z innymi środkami przewozu mniejszą sieć dostępnych dróg do przewozu, nie należy tego transportu nie doceniać, gdyż jego globalny udział to ok. 25% całkowitych przewozów w krajach z dobrze rozwiniętą gałęzią żeglugi śródlądowej. Stale wzrasta ilość i rodzaj ładunków, które są przewożone rzekami i kanałami, co wpływa pozytywnie na rozwój tej gałęzi transportu w zgodzie z otoczeniem.

Jednocześnie RIS prowadzi do obniżenia zużycia paliwa na skutek lepszego planowania rejsu oraz bardziej wiarygodnego harmonogramu. Ponadto, RIS przyczynia się do modalnego przesunięcia transportu ładunku z dróg na szlaki wodne, co prowadzi do redukcji emisji (CO₂ i NO_x) oraz natężenia hałasu. RIS zatem wspiera redukcję emisji gazów pochodzących z działalności transportowej, zarówno w sposób bezpośredni jak i pośredni. Na koniec, RIS daje możliwość monitorowania transportu niebezpiecznych towarów. Pozwala to na reagowanie w porę, jeśli dojdzie do wypadku i potencjalnej klęski środowiskowej. Ponieważ dane dotyczące ruchu statków można przechowywać w bazie, rekonstrukcja wypadku może okazać się przydatna w analizie jego przyczyn. Podsumowując, wszystko to przyczynia się to do ochrony środowiska i rozwoju żeglugi śródlądowej. Dodatkowo system informatyczny umożliwiający monitorowanie przewozów i wspierający (ostrzegający i wspomagający decyzje w razie wystąpienia zagrożenia) bezpieczeństwo ruchu umożliwia zwiększenie częstotliwości kursowania jednostek śródlądowych oraz wyższą efektywność ekonomiczną przewozu.

Wejście Polski do Unii Europejskiej przyczyniło się do wielu wyzwań i zarazem wielu możliwości dla naszej żeglugi śródlądowej oraz spowodowało konieczność dostosowywania się do standardów transportu panujących w krajach Europy Zachodniej. Od zachodu dochodzą do Odry dwa kanały, a mianowicie:

- Kanał Odra– Havela stanowiący połączenie Szczecin- Berlin,
- Kanał Odra – Szprewa łączący Śląsk z Berlinem.

Owe kanały łączą Odrę z systemem śródlądowych dróg wodnych państw Europy Zachodniej i Wschodniej. Zapewnia to połączenie z drogami wodnymi Francji, Luksemburga, Szwajcarii,

Belgii, Holandii i Niemiec. Natomiast poprzez Wartę i Kanał Bydgoski Odra łączy się z systemem dróg wodnych dorzecza Wisły, a dalej z drogami wodnymi Rosji i Ukrainy, zaś poprzez Zalew Wiślany istnieje połączenie z portem Kaliningrad oraz drogami wodnymi Litwy i Białorusi. Widać więc, iż z rejonu Dolnej Odry posiadamy sieć śródlądowych dróg wodnych zarówno w układzie północ - południe, jak i wschód - zachód. W związku z tym powinniśmy się włączyć w europejski system dróg śródlądowych jako kraj tranzytowy, co przyniesie wiele wymiernych korzyści. Jednak w najbliższym okresie ze względu na ograniczenia żeglugowe na innych odcinkach wodnych i strategiczne znaczenie w pierwszym rządzie rejonu Dolnej Odry, to właśnie tam planuje się dostosowanie torów wodnych do IV klasy i wprowadzenie systemu RIS.

W Niemczech udział transportu śródlądowego w całości przewozów towarów wynosi około 20%, a dodatkowo do 2011 roku planują zwiększenie masy towarowej, transportowanej przez żeglugę śródlądową o kolejne 55% z już obsługiwanej (Woś, 2008). W Polsce udział ten między innymi ze względu na ograniczenia żeglugowe i brak wystarczającej liczby inwestycji wynosi zaledwie 1,8%. Jednak konieczność dostosowania dróg wodnych do parametrów zachodnioeuropejskich i wprowadzenie zgodnie z podpisanymi ustawami systemu RIS wymusza niezbędne inwestycje, które przyczynią się do planowanego zwiększenia przewozów. Realizacja tych zamierzeń spowoduje rozwój dróg wodnych w Polsce, a szczególnie w rejonie Dolnej Odry.

Już obecnie przewozy zagraniczne realizowane są głównie z portów Dolnej Odry. Aktualnie przewozy zagraniczne stanowią już ponad 43,7% całości ładunków, co świadczy o tym, że polska żegluga śródlądowa w sposób trwały uczestniczy już w przewozach po wodach Europy Zachodniej, dysponując coraz większym kapitałem doświadczeń w sferze działania wolnej konkurencji. W miarę wzrostu przewożonej masy towarowej jednocześnie skraca się średnia odległość przewozu, gdyż zwiększa się wolumen ładunków przewożonych do Niemiec, głównie do Berlina, kosztem przewozów do portów Europy Zachodniej. Zgodnie z opiniami berlińskich kół przemysłowych należy spodziewać się dalszego wzrostu przewozu towarów na odcinku Szczecin – Berlin w granicach 20 – 30% rocznie (Frydecki, 2008). W związku z powyższym natężenie ruchu barek i statków typu sea – river będzie szybko rosło, a dostosowanie odcinka Dolnej Odry do standardów dróg międzynarodowych oraz wprowadzenie systemu RIS powinno spowodować „boom” na przewożenie towarów tym środkiem lokomocji. Poprawa warunków żeglugi w dolnym biegu Odry zwłaszcza na odcinku Kanał Havela – Szczecin stworzy szansę wzrostu przewozów w relacjach międzynarodowych

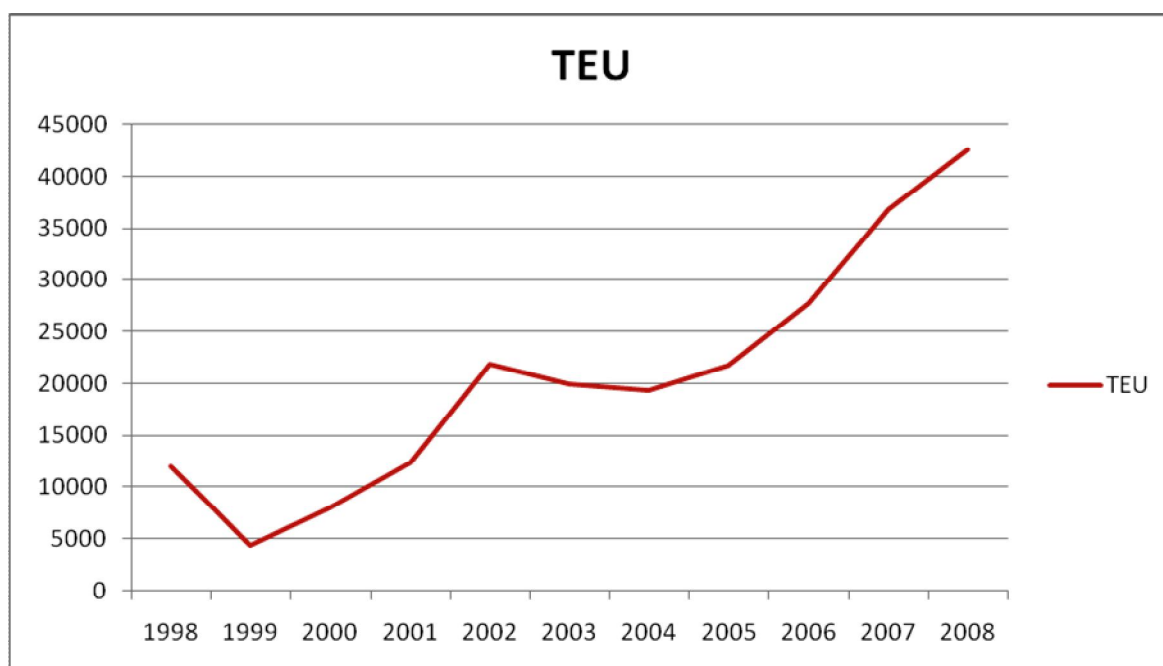
ładunków masowych, takich jak: węgiel kamienny, kruszywa, cement i nawozy, a przede wszystkim ładunków ponad gabarytowych oraz przewozów kontenerowych.

Rozwój kontenerowych przewozów intermodalnych w relacjach lądowo – morskich można przeanalizować na podstawie wielkości przeładunków kontenerów w portach. Przeładunki te w latach 1998 – 2008 charakteryzowały się stabilnym 10% rocznym wzrostem. Gwałtowniejszy 27% wzrost nastąpił głównie w związku z przystąpieniem Polski do UE. W kolejnych latach odnotowuje się kilkunastoprocentowy wzrost liczby przeładunków, a ich znaczny wzrost jest oczekiwany ze względu na wprowadzenie systemu RIS, który spowoduje omińnięcie ograniczeń i ożywienie wymiany towarowo – pasażerskiej z rejonem Berlina. Dodatkowo budowa nowego terminalu w Szczecinie niewątpliwie wpłynie na zwiększenie udziału tego portu w obrotach kontenerowych. Terminal kontenerowy na Ostrowie Grabowskim w porcie Szczecin pozwoli na obsługę 80 tys. TEU rocznie (Chwesiuk, 2008).

Tabela 3.9 Przeładunki kontenerów w portach Szczecin – Świnoujście w TEU w latach 1998 – 2008.

Lata	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
TEU	12016	4381	7949	12420	21856	19960	19360	21680	27680	36752	42542

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Roczniki Główne Urzędu Statystycznego. Transport. Wyniki działalności: 2000, 2002, 2004, 2006, 2008.



Rys. 3.7 Wykres przeładunków kontenerów w portach Szczecin – Świnoujście w TEU w latach 1998 – 2008. Źródło: opracowanie własne.

Połączenie kompleksu portowego Szczecin – Świnoujście z systemem śródlądowych dróg wodnych zachodniej Europy, a szczególnie z Berlinem pozwoli na zwiększenie ilości ładunków transportowanych drogą morską oraz śródlądową.

W najbliższych latach przewiduje się wzrost gospodarki rejonu Berlina, co potwierdzają przyjmowane akty prawne UE oraz podejmowane inwestycje w infrastrukturę transportową przez stronę niemiecką, a także choć w chwili obecnej w mniejszym stopniu przez stronę polską. Obie strony wykazują chęć współpracy przy inwestycjach, które przyniosą obopólną korzyść. Z powodu przeciążenia innych środków transportu (np. samochodowego) nastąpi znaczne zapotrzebowanie na transport towarów wodną drogą śródlądową pomiędzy polskimi portami Świnoujście i Szczecin, a śródlądowymi portami berlińskimi. W związku z powyższym nastąpi zdecydowany wzrost natężenia ruchu barek i statków typu rzeczno – morskiego (sea and river) w rejonie Dolnej Odry na odcinku Port Szczecin wejście do kanału Odra – Havela. Modernizacja dolnego odcinka Odry przyczyni się do:

- stworzenia międzynarodowych wzajemności w korzystaniu z dróg wodnych,
- poprawy parametrów drogi wodnej, aby odpowiadały wymogom międzynarodowym,
- poprawy warunków nawigacyjnych,
- poprawy funkcji transportowych poprzez wydłużenie dróg wodnych wykorzystywanych zarówno w przewozach krajowych jak i międzynarodowych oraz funkcjonowania stoczni i portów rzecznych.

Dodatkowym atutem odrzańskiej drogi wodnej jest możliwość przewożenia ładunków ponad gabarytowych i ładunków płynnych chemiczne. Żegluga śródlądowa w przewozie elementów wielkogabarytowych jest w wielu przypadkach jedynym możliwym środkiem transportu (np. elementy konstrukcji wielkogabarytowych dla przemysłu, generatory energetyczne dużej mocy). Drogi wodne stwarzają idealne możliwości przemieszczania obiektów specjalnych – wielkogabarytowych, których transport koleją lub samochodami jest wykluczony. Obecnie projektowana jest barka do przewozu ciężkich wielkogabarytowych ładunków na bazie barki pchanej typu BP-800 (Frydecki, 2008). W przypadku Odry pozostaje jeszcze jedna grupa ładunków, których transport tą drogą wodną będzie korzystny. Wzdłuż Odry zlokalizowanych jest kilka dużych przedsiębiorstw chemicznych (Zakłady Chemiczne Police, Rokita Brzeg Dolny, Azoty Kędzierzyn). Zakłady te są producentami wyrobów chemicznych często niebezpiecznych dla otoczenia i mieszkańców. Ich transport wymaga specjalnych zabezpieczeń i stwarza duże zagrożenie zanieczyszczenia środowiska w przypadku awarii środka transportu.

Transport śródlądowy, który sam w sobie wykazuje niski wskaźnik awaryjności to dzięki wykorzystaniu nowoczesnych narzędzi informatycznych dodatkowo znacznie ogranicza prawdopodobieństwo wystąpienia awarii i powstania zagrożenia dla ludzi i otoczenia. Zalety i

ogromne korzyści z wprowadzenia systemu ukazują funkcjonujący na odcinku Szczecin-Świnoujście system regulacji ruchu statków VTS. Teraz brakuje systemu, który będzie obejmował wody śródlądowe Dolnej Odry od portu w Szczecinie w górę rzeki. Ustanowienie systemu pozwoli na:

- wprowadzenie kontroli ruchu jednostek oraz poprawę bezpieczeństwa żeglugi,
- zwiększenie ilości towarów transportowanych odrzańską drogą wodną zarówno w przewozach krajowych, międzynarodowych, jak i tranzytowych,
- włączenie naszego kraju w europejski wodny system transportowy,
- zwiększenie możliwości przeładunkowych portów Szczecina, Świnoujścia i Berlina.

Tabela 3.10 Prognoza przewozów żeglugi śródlądowej w Polsce do roku 2016 dla wariantu bazowego oraz dla wariantu przewidującego realizację Programu dla Odry 2006.

		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Scenariusz bazowy	mln ton	7,1	7,5	7,6	7,8	7,8	8,0	8,2	8,2
	mln tonokm	1181	1203	1224	1247	1269	1292	1315	1339
Wariant realizacji Programu dla Odry 2006	mln ton	-	12,1	13,2	14,4	16,2	18,3	18,7	19,1
	mln tonokm	-	2495	2711	2923	3338	3448	3556	3866

Źródło: Wstępne studium wykonalności Programu dla Odry 2006.

Tabela 3.11 Prognoza zapotrzebowania na przewozy żeglugi śródlądowej w Polsce do roku 2020, wariant minimum i maksimum (mln ton).

		2009	2010	2015	2020
Wariant minimum	przewozy krajowe	5,4	5,4	5,6	5,8
	przewozy phz (eksport + import)	3,1	3,3	4,4	5,9
	RAZEM	8,5	8,7	10,0	11,7
Wariant maksimum	przewozy krajowe	6,2	6,3	7,3	8,4
	przewozy phz (eksport + import)	3,5	3,7	8,5	10,1
	RAZEM	9,7	10,0	15,8	18,5

Źródło: Prognoza zapotrzebowania na transport w Polsce do 2015 i 2020 roku, (Burniewicz, 2008).

Tabela 3.10 przedstawia wyniki prognozy przewozowej opracowanej na potrzeby studium wykonalności Programu dla Odry 2006. Prognoza dzieli się na dwa warianty: bazowy, zakładający zaniechania realizacji Programu oraz rozwojowy, związany z konsekwentną realizacją zapisanych zadań. Scenariusz bazowy przewiduje stagnację

przewozów transportu wodnego śródlądowego w Polsce w latach 2009 – 2016, natomiast według scenariusza rozwojowego wielkość przewozów osiągnie 19,1 mln ton w roku 2016. Zgodnie z prognozą w wariantcie rozwojowym średnia odległość przewozu 1 tony będzie znacząco wzrastać, co wynika z przeniesienia większości przewozów polskiej żeglugi śródlądowej za granicę, ponieważ długodystansowe przewozy na Odrze nadal nie będą możliwe. Druga z przytoczonych prognoz (tabela 3.11) również składa się z dwóch wariantów – minimalnego i maksymalnego. Zgodnie z nimi, w roku 2020 przewozy żeglugi śródlądowej kształtować się będą w przedziale od 11,7 mln ton (wzrost o 37,5% w porównaniu z rokiem 2009) do 18,5 mln ton (wzrost o 117,6% w porównaniu z rokiem 2009), przy czym trzeba nadmienić, iż prognoza nie uwzględnia przewozów wykonywanych przez polskich armatorów między portami zagranicznymi, ani też w tranzycie. W prognozie profesora J. Burnewicza zwraca uwagę fakt, że przewiduje on dynamiczny wzrost przewozów polskiego handlu zagranicznego wykonywanych żeglugą śródlądową, przy nieznacznym jedynie zwiększeniu się przewozów krajowych, co jest logiczne analizując rejon wprowadzenia systemu RIS (Dolna Odra), który powoduje otwarcie żeglugi na rejon Berlina, a przez niego na dalsze rozwinięte kraje Europy zachodniej.

Możliwość aktywizacji działalności żeglugi śródlądowej w rejonie ujścia Odry uzależniona jest od:

- technicznego, organizacyjno-prawnego i ekonomicznego dostosowania warunków funkcjonowania żeglugi śródlądowej do wymogów współczesnego rynku,
- zwiększenia dostępności portów i przeładowni ujścia Odry dla żeglugi śródlądowej,
- poprawy warunków planowania i obsługi wodnego taboru śródlądowego przez wykorzystanie centrum informatycznego RIS.

Poprawa warunków funkcjonowania żeglugi śródlądowej uzależniona jest od wprowadzenia postępu technicznego, głównie dzięki nowoczesnym technologiom telekomunikacyjnym i informatycznym. W równie dużym stopniu rozwój żeglugi śródlądowej zależy od poprawy parametrów eksploatacyjnych polskich dróg wodnych oraz wymiany starzejącego się taboru pływającego na nowy. Pozwoli to na wykonywanie intermodalnych przewozów w ramach zintegrowanych łańcuchów transportowych. Dostosowanie parametrów torów wodnych do standardów zachodnioeuropejskich oraz wprowadzenie systemu RIS jest nieuniknione, ze względu na akty prawne UE, które nakładają obowiązek wywiązania się z podpisanych umów między państwowych, które rząd polski podpisał i popiera.

Rozwój żeglugi śródlądowej na Odrze może przebiegać intensywniej pod warunkiem ograniczenia kosztów transportu wodnego poprzez działania techniczne i organizacyjne.

Efektom działań technicznych powinno być:

- wprowadzenie informatycznego systemu sterowania i organizacji ruchu jednostek śródlądowych, w obecnym stadium rozwoju – rzeczno-informacyjnego (RIS),
- wprowadzenie nowych generacji statków śródlądowych posiadających zwiększoną ładowność, poprzez zwiększenie wymiarów poziomych statku, czyli długości i szerokości,
- zmniejszenie oporu ruchu, ograniczające koszty paliwa.

W ramach V Badawczego Programu Ramowego UE zgłoszono projekt INBAT – Innovative Barge Trains for Effective Transport on Inland Shallow Waters, dotyczący nowej generacji zestawów pchanych przystosowanych do eksploatacji na wodach bardzo płytkich. Projekt został zgłoszony przez konsorcjum niemiecko-polskie w którego skład wchodzi instytucje badawcze, projektowe, armatorzy i stocznie rzeczne. Projekt zakłada redukcję ciężaru konstrukcji o około 20%, wzrost sprawności układu napędowego o około 10% i wzrost wskaźnika efektywności transportu śródlądowego (kWh/tkm) w granicach 15-20% (Reuve, 2008). Efektem końcowym realizacji programu będą wzorce nowej generacji floty śródlądowej przystosowane do projektowanych parametrów Odry. Przewiduje się opracowanie wielu typów statków o różnym przeznaczeniu (statki do transportu kontenerów, ładunków płynnych i systemu RO-RO).

Od kilku lat przewozy ładunków drogami wodnymi w tym rejonie utrzymują się na stałym poziomie 7 – 8 mln ton rocznie, co dobitnie ukazuje niewykorzystane możliwości transportowe nawet obecnie istniejącego taboru pływającego. Bardzo istotnym elementem organizacyjnym żeglugi śródlądowej w rejonie Dolnej Odry jest konieczność podniesienia głębokości tranzytowej torów wodnych, co wpłynie na wydłużenie okresu trwania nawigacji. W zamierzeniach dąży się do tego, aby zapewnienie odpowiednich warunków nawigacyjnych i organizacji pracy załóg umożliwiło żeglugę całodobową. Należy bowiem pamiętać, że Polska jest krajem o niskich zasobach wodnych i dlatego woda powinna być magazynowana, celem wykorzystania jej w okresie niskich stanów wody. Zbiorniki retencyjne powinny umożliwiać uzyskiwanie wymaganej głębokości tranzytowej w czasie niskich stanów wody. Ograniczenie to powoduje, iż cała flota jest wykorzystywana tylko przez dwa miesiące, a dodatkowo często armatorzy muszą rezygnować z przewozu ładunków na Odrze, tylko z powodu niskich stanów wody. Przywrócenie i utrzymanie wymaganej głębokości tranzytowej obecnie możliwe jest właśnie na odcinku Dolnej Odry. Jest to odcinek drogi wodnej od Szczecina do Cedyni (km 667,0 Odry), która wchodzi w skład trasy Szczecin – Berlin i

obecnie ma parametry IV klasy. Istnieje możliwość uzyskania parametrów klasy Vb poprzez niewielką przebudowę stopnia piętrzącego w rejonie miejscowości Piasek (km 681,5).

Wprowadzenie systemu poprzez objęcie nadzorem wszystkich jednostek pozwala na regulację ruchu, co w rezultacie podnosi poziomu bezpieczeństwa żeglugi. W realizowanym projekcie systemu RIS uwzględniono możliwość wspólnego użytkowania systemu przez stronę polską oraz niemiecką z możliwością przedłużenia systemu kontroli od Kanału Havela do Berlina. Powstające zaawansowane technologicznie narzędzia z dziedziny technologii informacyjnych i komunikacyjnych coraz skuteczniej pomagają przewidywać możliwość wystąpienia zagrożeń oraz wspomagają podejmowanie działań, które pozwolą na ich unikanie lub minimalizację ich ewentualnych skutków.

19 marca 2008 roku Rada Ministrów przyjęła projekt ustawy o zmianie ustawy o żegludze śródlądowej, przedłożony przez Ministra Infrastruktury (ustawa z dnia 19/03/2008). Zmiany w ustawie z dnia 21 grudnia 2000 r. wynikają z konieczności dostosowania przepisów krajowych do przepisów Unii Europejskiej, co umożliwi międzynarodową współpracę, dotyczącą promowania, planowania i finansowania rozwoju transportu śródlądowego, który będzie odgrywał istotną rolę w transporcie międzynarodowym (opinia Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego, 2006). Prowadzi to do konieczności rozwoju i rozbudowy jednolitego systemu dróg wodnych w Europie.

W Polsce, tak jak w innych krajach Unii Europejskiej, zostanie uruchomiony rzeczny system informacyjny (RIS) dla ruchu śródlądowego. Jego wprowadzenie przyczyni się do poprawy bezpieczeństwa żeglugi oraz podniesie wydajność transportu śródlądowego. Systemem tym zostaną objęte drogi wodne położone w dolnym odcinku Odry, łącznie 97,3 km. Projekt przewiduje utworzenie w Szczecinie całodobowego Centrum RIS, które ma podlegać Ministrowi Infrastruktury. Zadaniem Centrum będzie m.in. podejmowanie działań zapewniających użytkownikom RIS dostęp do elektronicznych map nawigacyjnych, jak również udostępnianie organom administracji publicznej i państwom Unii Europejskiej elektronicznych raportów ze statków. Poprzez wprowadzenie systemu RIS możliwe będzie otrzymywanie na bieżąco informacji meteorologicznych, hydrologicznych i administracyjnych. Całkowity koszt utworzenia systemu RIS oszacowano na ok. 80 mln zł. Przewiduje się, iż system zostanie uruchomiony w 2013 r. Wprowadzenie systemu znacząco wpłynie na poprawę:

- bezpieczeństwa jednostki w ruchu,
- płynności i intensywności ruchu statków (barek),
- operatywności portu,

- ochrony środowiska,
- pracy służb celnych i granicznych,
- pracy służb ratowniczych,
- możliwości handlowych.

System wspomagania decyzji operatora rzeczno systemu informacyjnego (RIS) służy do analizy, wizualizacji i zdalnego udostępniania danych o sytuacjach krytycznych na akwenie śródlądowym. System pozwoli na podejmowanie właściwych decyzji dotyczących regulacji ruchu, prowadzenia nawigacji i taktyki manewrowania na danym odcinku rzeki. Dodatkowo integracja systemu informacji przestrzennej z łącznością umożliwi współdziałanie pomiędzy jednostkami różnych transportów (transport intermodalny).

W europejskiej żegludze śródlądowej informatyka i telematyka jest stosowana już od 20 lat. Jest to odpowiedni i sprawdzony kierunek rozwoju w krajach Zachodniej Europy, czego niewątpliwym dowodem są akty prawne i rozporządzenia Rady Europy (np. „o konieczności dostosowania infrastruktury transportowej”), z realizacji których trzeba się wywiązywać na arenie międzynarodowej. Dodatkowo należy zauważyć, iż w rozwiniętych krajach Europy Zachodniej prowadzone są dalsze badania i inwestycje zmierzające do coraz większego wykorzystania transportu śródlądowego w przewozie towarów. Przykładem może być przyjęta w Holandii na początku 2005 roku koncepcja "Distriavaart", która zakłada wykorzystanie w logistyce miejskiej żeglugi śródlądowej. Do ruchu ma być wprowadzony nowy typ statku zdolnego do nawigacji na wszystkich rodzajach dróg wodnych, poczynając od II klasy. Statek „River Hopper” przystosowany został specjalnie do przewozu palet lub kontenerów. Natomiast w Paryżu flota żeglugi śródlądowej wykorzystywana jest do obsługi miasta, m.in. do wywozu ziemi i zaopatrzenia budów miejskich. Kontener Ven IX Box (1,70 m x 0,95 m x 1,10 m) pozwala na optymalne wykorzystanie nowego typu jednostki w dostawach dla centrów miast. Dlatego już aktualnie transport śródlądowy pozwala na osiągnięcie wymiernych korzyści ekonomicznych, ekologicznych oraz wpływa na podniesienie poziomu bezpieczeństwa życia i mienia podczas transportu. Wprowadzenie systemu RIS, który opiera się na nowoczesnych technologiach informatycznych niewątpliwie przyczyni się do rozwoju gospodarczego regionu Dolnej Odry. Nastąpi to dzięki uaktywnieniu regionu do współpracy transportowej z najbliższymi sąsiadami przez co otworzy się nitka transportowa na główne szlaki Europy.

Wnioski końcowe

Teoria decyzji to wspólny obszar zainteresowań wielu różnych dziedzin nauki, obejmujący analizę i wspomaganie procesu podejmowania decyzji, który jest próbą wyznaczenia rozwiązania najlepszego przy danym zasobie wiedzy i informacji o możliwych konsekwencjach. Metody teorii decyzji wykorzystuje się wszędzie tam, gdzie podjęcie decyzji jest z pewnych powodów trudne. Przykładowo przyczynami może być skomplikowana sytuacja decyzyjna, czy podejmowanie jej w warunkach ryzyka. Gwałtowny rozwój technologii informatycznych spowodował, że systemy komputerowe zaczęły pełnić istotną rolę w procesach decyzyjnych, szczególnie tam, gdzie do podjęcia decyzji konieczne jest szybkie przetworzenie ogromnych ilości danych lub gdzie charakterystyka sytuacji decyzyjnej wymaga zastosowania skomplikowanych obliczeniowo modeli.

Inteligentne systemy wspomaganie decyzji (ISWD) to systemy, które łączą w sobie możliwości gromadzenia i przetwarzania dużej ilości danych, wykorzystywania różnorodnych modeli i inteligentnego posługiwania się zgromadzonymi danymi oraz wiedzą. Dzięki temu możliwa jest analiza danych i wyciąganie wniosków w sposób bliski sposobowi myślenia człowieka przy wykorzystaniu systemu ekspertowego z zastosowaniem zbiorów rozmytych. Systemy wspomaganie decyzji znajdują coraz szersze zastosowanie w wielu dziedzinach życia, szczególnie w rozwiązywaniu problemów, dla których nie istnieją rozwiązania algorytmiczne. ISWD są nowoczesnymi narzędziami informatycznymi, które dostarczają wiarygodnych informacji, zarówno na poziomie strategicznym, jak i operacyjnym. Użytkownicy systemu otrzymują instrumenty, które w krótkim czasie pomagają przekształcić dane rozproszone w różnorodnych systemach informatycznych w spójne informacje. Systemy tej klasy umożliwiają monitorowanie i wczesne wykrywanie potencjalnych zagrożeń, a także prognozowanie możliwych scenariuszy rozwoju sytuacji.

Opracowane wyniki naukowe dotyczą jednego z najistotniejszych nurtów informatyki jakim jest wspomaganie decyzji, czyli wspieranie procesów informacyjnych za pomocą narzędzi informatycznych. Specyfika projektu polega na tym, że proponuje się rozwiązania dla problemów decyzyjnych z wieloma konfliktowymi kryteriami, przy uwzględnieniu możliwych niedoskonałości informacji, jak niepewność i niedokładność. Opracowana metodyka komputerowego wspomaganie decyzji opiera się na twórczej syntezie badań operacyjnych, sztucznej inteligencji i teorii obliczeń. Szczegółowe wyniki obejmują:

- zastosowanie metod zbiorów przybliżonych w odkrywaniu wiedzy dla szerokiej klasy problemów decyzyjnych, obejmujących m.in. uwzględnienie struktury zbioru atrybutów i kryteriów oraz porządków przedziałowych w ocenach obiektów,

- opracowanie algorytmów indukcji różnego typu reguł decyzyjnych i eksploatacji ich zastosowania na zbiorze obiektów,
- propozycję modelowania preferencji decydentów w postaci zbioru reguł decyzyjnych wyindukowanych z danych,
- określenie regułowego modelu preferencji i udowodnienie formalnej nadrzędności tego modelu w stosunku do tradycyjnych modeli preferencji w postaci funkcji użyteczności i relacji przewyższania, tak w przypadku deterministycznym, jak w przypadku podejmowania decyzji w warunkach niepewności,
- opracowanie algorytmów konstruktywnej indukcji cech z informacji obrazowej przy wykorzystaniu zaawansowanych technologii informatycznych,
- wykazanie, że w kontekście modelowania preferencji teoria zbiorów rozmytych uwzględnia różne formy "niedoskonałości" danych,
- opracowanie oryginalnej metodyki oceny zbiorów rozwiązań w wielowymiarowej przestrzeni kryteriów bazującej na realistycznych założeniach wobec preferencji decydenta.

Wyznaczona dynamiczna domena 3D ma zdecydowaną przewagę nad tradycyjnymi technologiami. Pozwala skuteczniej i klarowniej zobrazować sytuację wokół jednostki oraz dostarczyć i w efektywny sposób wybrać najistotniejsze informacje, które są kluczowe dla sukcesów dalszych etapów w systemie. Dynamiczna domena 3D wyznaczona przedstawionymi w rozprawie metodami jest następnie stosowana w systemie wspomaganie decyzji do monitorowania i ostrzegania o występujących zagrożeniach oraz do wspomaganie decyzji w ramach uniknięcia kolizji z obiektem obcym, czy mielizną. Opracowany przestrzenny model domeny 3D pozwala na planowanie podróży przez akwen ograniczony we wszystkich wymiarach, w tym szczególnie ważnym wymiarze dla zadanego problemu, a więc pod względem głębokości. Dowodem na to, iż opracowany w pracy model systemu wspomaganie decyzji nawigatora nadaje się doskonale do realizowania zadań unikania zagrożenia i wyznaczania bezpiecznej trajektorii ruchu są przeprowadzone w podrozdziale 3.2 wstępne analizy i symulacje ukazujące skuteczność oraz efektywność zastosowanych metod.

Zastosowane w pracy metody badawcze, takie jak konstrukcja logiczna, modelowanie matematyczne, czy eksperyment numeryczny i symulacyjny potwierdzają tezę pracy, iż opracowany model systemu wspomaganie decyzji pozwoli na zwiększenie bezpieczeństwa i wydajności ruchu poprzez możliwość planowania ruchu i ostrzegania o zagrożeniach.

Podstawową zaletą systemu jest wykorzystanie precyzyjnej informacji oraz wizualizacja śledzonych przez system obiektów na przestrzennej mapie numerycznej, co umożliwia precyzyjne (bezpieczne) sterowanie ruchem. Wykorzystanie systemu wspomaganie decyzji:

- zminimalizuje ryzyko wystąpienia błędów ludzkich podczas prowadzenia nawigacji,
- przyspieszy dostęp do niezbędnych informacji (automatyzacja procedur),
- zwiększy możliwości transportowe na akwenach śródlądowych (skuteczniejsze planowanie przepływu jednostek, optymalizacja),
- podniesie bezpieczeństwo, co przełoży się na korzyści ekonomiczne i ekologiczne oraz ochronę zdrowia i życia ludzi pracujących w tej branży.

Integracja metod w ramach spójnego systemu tworzy swoistą hybrydę komputerową, czyli połączenie tylko pozornie nie współgrających ze sobą metod w jeden współdziałający układ wspomagający proces podejmowania decyzji. Układ ten stanowi element nowoczesnego rzeczno systemu informacyjnego – RIS. Przedmiotem badań były metody i algorytmy dla systemu wspomaganie decyzji w złożonym procesie ruchu jednostki śródlądowej. Eksperymentalnie potwierdzono, że zaproponowane w pracy podejście oraz wprowadzone mechanizmy mają znaczący wpływ na poprawę bezpieczeństwa jednostki w ruchu na akwencie ograniczonym.

Aby osiągnąć założony w pracy cel oraz udowodnić postawioną tezę, zrealizowano następujące cele cząstkowe:

- opracowano metodę modelowania (konstrukcji) dynamicznej domeny 3D w procesie manewrowania na ograniczonym akwencie,
- opracowano metodę pozyskiwania wiedzy nawigatorów i wykorzystania jej do systemów wspomaganie decyzji dla potrzeb bezpiecznej żeglugi,
- zbudowano modele procesów decyzyjnych dla jednostki korzystającej z domeny 3D,
- zbudowano hybrydowy system wspomaganie decyzji oparty o dwie metody – deterministyczny model matematyczny i system ekspertowy z logiką rozmytą,
- określono zasady organizacji systemu wspomaganie decyzji (automatyzacja procedur) oraz opracowano koncepcję funkcjonowania zintegrowanego systemu wspomaganie decyzji operatora RIS na drogę wodną Bałtyk – Berlin (Dolna Odra),
- przedstawiono miejsce i zadania tych systemów w koncepcji inteligentnego systemu transportowego,
- przeprowadzono implementację i weryfikację opracowanego modelu przez symulację.

W celu dalszego rozwoju (kontynuacji) autorskiej koncepcji budowy hybrydowego systemu wspomaganie decyzji niewątpliwie należy zaimplementować wszystkie moduły wchodzące w skład całego systemu informacyjnego (ruch statku, wpływ zjawisk zakłócających), co stworzy swoisty symulator i pozwoli na szeroki zakres badań. Szczególnie pozwoli na analizę i weryfikację poprawności zachowania się systemu wspomaganie decyzji, co daje możliwość dalszego doskonalenia metod wnioskowania. Obecnie ciekawym zakresem badań byłaby weryfikacja możliwości zastosowania sztucznych sieci neuronowych do rozwiązania zadane w pracy problemu. W wyniku analizy szeregu wariantów zaproponowano architekturę systemu, która jest możliwa dzięki nowoczesnym technologiom telekomunikacyjnym i informatycznym, a odpowiada nowoczesnym zastosowaniom. Modułowa budowa systemu pozwala doskonalić i wymieniać poszczególne elementy całości, co jest istotne dla dalszego rozwoju i szerokich możliwości zastosowań. Przykładem może być stosowanie takich systemów w symulatorach najwyższej jakości. Aktualnie do października 2010 roku (Zalewski, 2010) ma powstać centrum symulacyjne dla statków typu LNG w Akademii Morskiej w Szczecinie w celu szkolenia przyszłych pracowników dla mającego powstać do 2014 roku gazoportu w Świnoujściu.

Postęp technologiczny już obecnie pozwala uzyskać szczegółowy numeryczny model terenu DTM (Digital Terrain Model) i trójwymiarowy obraz. Dlatego opracowywana mapa 3DNC (Three Dimensional Nautical Chart) będzie następnym krokiem w rozwoju elektronicznych map nawigacyjnych. Pozwoli to na całkowitą implementację i stosowanie opracowanej koncepcji rzeczno systemu informacyjnego (RIS) wraz z SWD opartym na dynamicznej domenie 3D.

Wykaz skrótów i symboli

- A1 - alarmowy stan wody,
AGN - European Agreement on Main Inland Waterways of International Importance,
AIS - Automatic Identification System (system automatycznej identyfikacji),
ARPA - Automatic Radar Plotting Aids,
CCTV - Closed Circuit Tele Vision,
COMPRIS – Consortium Operational Management Platform for River Information Services,
DCM – Doppler Current Meters,
DGPS – Differential Global Positioning System,
DORIS – Donau River Information System,
DSC - Digital Selective Calling
ECDIS - Electronic Charts Display Information System,
EDI - Electronic Data Interchange,
ENC - Electronic Navigational Chart,
EPTO - European Permanent Traffic Observatory,
ETA - Expected Time of Arrival,
FIS - Fairway Information System (informacje o torach wodnych),
GNSS - Global Navigational Satellite System,
GPS - Global Positioning System,
GT - Gross Tonnage,
IMGW - Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej,
IMO - International Maritime Organization,
INCARNATION - Efficient Inland Navigation Information System,
INDRIS - Inland Navigation Demonstrators of the River Information Service,
ODW - Odrzańska Droga Wodna,
PHICS - Pomeranian Harbour Information and Control System,
PIANC - Permanent International Association of Navigation Congresses,
RINAC - River-based Information, Navigation and Communication,
RIS - River Information Service,
RTI - Regional Traffic Image,
SI - System informacyjny,
SOLAS - Convention for the Safety of Life at Sea. 1974,

STI - Strategic Traffic Image (strategiczny obraz ruchu),
SWD - Systemy wspomagania decyzji,
TDMA - Time Division Multiple Access,
TSD - Traffic Situation Display,
TTI - Tactical Traffic Information,
UHF - Ultra High Frequency,
VTS - Vessel Traffic System,
VTMS - Vessel Traffic and Management Service,
VTMIS - Vessel Traffic Management and Information Service,

Δ – rezerwa wody pod stępką,
 $\Delta_s(x, y, t)$ – statyczna rezerwa wody pod stępką,
 $\Delta_d(x, y, t)$ – dynamiczna rezerwa wody pod stępką,
 $\Delta_{\text{św}}$ - rezerwa wysokości w świetle konstrukcji,
 Δ_{rb} - rezerwa szerokości w świetle konstrukcji,
 $b_{\text{św}}$ - szerokość pozioma w świetle konstrukcji,
B - szerokość statku,
 d_m – podstawowa szerokość manewrowa pasa ruchu,
 d_i – dodatkowe poprawki na szerokość pasa ruchu,
 d_{rz} – rezerwa szerokości pasa ruchu po stronie lewej (czerwonej),
 d_{rc} – rezerwa szerokości pasa ruchu po stronie prawej (zielonej),
 D_d – długość domeny statku liczona od jej granicy za rufą do jej granicy przed dziobem,
 G_d – głębokość domeny liczona od linii zanurzenia statku w dół,
 $h(x, y, t)$ – głębokość akwenu w miejscu o współrzędnych x, y i w momencie czasu t ,
 $h_{\text{św}}$ – wysokość pionowa w świetle konstrukcji,
 H_{max} – wysokość maksymalna do nierozbieralnej konstrukcji statku,
L – długość całkowita statku,
 L_{Dm} – długość domeny statku przed dziobem w zależności od jego możliwości manewrowych,
 S_d – szerokość domeny statku liczona od wzdłużnej osi symetrii do granic na lewej i prawej burcie,
T – zanurzenie,
 W_d – wysokość domeny liczona od linii zanurzenia statku w górę.

Spis rysunków

	Strona
Rys. 1.1 Model planowania i działania systemu VTS.....	23
Rys. 1.2 Architektura RIS.....	28
Rys. 1.3 Źródła danych i komponenty systemu DoRIS.....	34
Rys. 1.4 Taktyczny obraz ruchu na monitorze Inland ECDIS w systemie DoRIS.....	35
Rys. 1.5 Obraz radarowy oraz nowoczesny radar ARPA.....	40
Rys. 1.6 Log NAVIKNOT III.....	40
Rys. 1.7 Żyroskop i jego wskaźnik umieszczany w dogodnym miejscu dla nawigatora.....	41
Rys. 1.8 System AIS.....	42
Rys. 1.9 Schemat obiegu informacji w projektowanym systemie informacyjnym Dolnej Odry oraz specyfikacja sensorów.....	50
Rys. 1.10 Efekt nałożenia obrazu radarowego na mapę.....	53
Rys. 1.11 Ogólna koncepcja integracji informacji w systemie.....	55
Rys. 1.12 Struktura baz danych rzeczno systemu informacyjnego.....	56
Rys. 1.13 Schemat modelu rzeczno systemu informacyjnego.....	58
Rys. 2.1 Schemat osłony hydrometeorologicznej systemu RIS.....	74
Rys. 2.2 Izobaty bezpieczeństwa statku.....	79
Rys. 2.3 Kryteria oceny bezpieczeństwa w płaszczyźnie pionowej.....	80
Rys. 2.4 Model sytuacji geoprzestrzennej.....	91
Rys. 2.5 Możliwości standardu S-57 – edycja 4.0.....	97
Rys. 2.6 Szkic poglądowy metod budowy domeny 2D.....	100
Rys. 2.7 Układ współrzędnych w przestrzeni trójwymiarowej.....	102
Rys. 2.8 Schemat przestrzennego modelu domeny.....	108
Rys. 2.9 Obszar niemożności decyzyjnej operatora.....	108
Rys. 2.10 Schemat funkcyjny modelu symulacyjnego ruchu statków.....	113
Rys. 2.11 Szkic składowych prędkości wiatru.....	114
Rys. 2.12 Zakłócenia (zaburzenia) ruchu wpływające na statek.....	115
Rys. 2.13 Etapy projektowania SWD.....	117
Rys. 2.14 Schemat systemu ekspertowego.....	120
Rys. 2.15 Schemat tworzenia systemu wspomaganie decyzji.....	126
Rys. 2.16 Schemat tworzenia domen przez system informatyczny z wykorzystaniem danych AIS i ECDIS.....	127

Rys. 2. 17 Schemat blokowy działania systemu.....	128
Rys. 3.1 Schemat działania rozmytego systemu ekspertowego.....	138
Rys. 3.2 Drzewo zdarzeń działania z SWD w przypadku wystąpienia sytuacji kolizyjnej...	140
Rys. 3.3 Etapy wykonywania zadania transportowego z wykorzystaniem SWD.....	141
Rys. 3.4 Model redukcyjny biorący udział w badaniach rzeczywistych wyznaczania w jaki sposób odległość boczna od obiektów obcych zależy od odległości rozpoczęcia manewru i kąta wychylenia płetwy sterownej.....	150
Rys. 3.5 Przykładowa symulacja ruchu statku uwzględniająca weryfikację reguł przyjętych w modelu systemu wspomaganie decyzji.....	156
Rys. 3.6 Analiza kosztów i korzyści z danego rodzaju transportu.....	159
Rys. 3.7 Wykres przeładunków kontenerów w portach Szczecin – Świnoujście w TEU w latach 1998 – 2008.....	162

Spis tabel

	Strona
Tabela 0.1 Zasadność rozwoju transportu śródlądowego. Porównanie kosztów transportu.....	3
Tabela 1.1. Klasy europejskich śródlądowych dróg wodnych o znaczeniu międzynarodowym.....	15
Tabela 2.1 Rezerwa nawigacyjna wody.....	64
Tabela 2.2 Maksymalne wymiary statków i zestawów dopuszczonych do ruchu w rejonie Dolnej Odry.....	69
Tabela 2.3 Aktualnie istniejąca sieć wodowskazów dla rejonu Dolnej Odry.....	77
Tabela 2.4 Parametry mostów w rejonie Dolnej Odry.....	81
Tabela 2.5 Tworzenie reguł wnioskowania na podstawie tabeli decyzyjnej, przykład pogładowy.....	122
Tabela 3.1 Wzory i warunki ograniczające w modelu wraz z wyliczeniem przykładów.....	143
Tabela 3.2 Parametry jednostki własnej (lub statku obcego) – długość (L) [m].....	145
Tabela 3.3 Parametry jednostki własnej (lub statku obcego) – szerokość (B) [m].....	146
Tabela 3.4 Parametry jednostki własnej (lub statku obcego) – wysokość (W) [m].....	146
Tabela 3.5 Parametry jednostki własnej (lub statku obcego) – głębokość, zanurzenie (T) [m].....	146
Tabela 3.6 Warunki meteorologiczne – widzialność (przejrzystość).....	146
Tabela 3.7 Parametry jednostki własnej (lub statku obcego) – prędkość (V) [w].....	146
Tabela 3.8 Definicja reguł rozmytych dla przykładowych jednostek.....	147
Tabela 3.9 Przeładunki kontenerów w portach Szczecin – Świnoujście w TEU w latach 1998 – 2008.....	162
Tabela 3.10 Prognoza przewozów żeglugi śródlądowej w Polsce do roku 2016 dla wariantu bazowego oraz dla wariantu przewidującego realizację Programu dla Odry 2006.....	164
Tabela 3.11 Prognoza zapotrzebowania na przewozy żeglugi śródlądowej w Polsce do roku 2020, wariant minimum i maksimum (mln ton).....	164

Bibliografia

1. Banachowicz A. – Nawigacyjny system ekspertowy. II Sympozjum Nawigacyjne, WSM, Gdynia, 1997.
2. Bargielski M. – Podstawy projektowania systemów informacyjnych, Uniwersytet Śląski, Katowice, 1992.
3. Beyond-Davies P.– Inżynieria systemów informacyjnych, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, 1998.
4. Broeke I., River Information Services – An envisaged Vessel Traffic Management System on European Inland waterways, International Conference, Singapore, 2000.
5. Burnewicz J., Nowoczesna wizja transportu i jej potencjalny wpływ na zagospodarowanie przestrzenne, KPZK PAN, Warszawa, 2008.
6. Burns R.S., An intelligent automatic guidance system for surface ships, 2nd IFAC Workshop Control Applications In Marine Systems, Genova, Italy, 1999.
7. Christowa Cz., Podstawy budowy i funkcjonowania portowych centrów logistycznych – Zachodniopomorskie centrum logistyczne – port Szczecin, Akademia Morska w Szczecinie, Szczecin, 2005.
8. Coenen F.P., Smeaton G.P, Bole A.G., Knowledge – based collision avoidance, 1995.
9. Colley B.A., Curkis R.G., Stockel C.T., A Marine traffic flow and collision avoidance computer simulation, 1998.
10. Davis P.V., Dove M.J., Stockel C.T., A computer simulation of Marine traffic with Romains and Arenas, Journal of Navigation, 1999.
11. Dove M., Burns R.S., An Automatic collision avoidance and guidance system for marine vehicles in confined waters, 2001.
12. Dziubak T., Matulewski J., Sylwestrzak M., Płoszajczak R., Grafika, fizyka, metody numeryczne – symulacje fizyczne z wizualizacją 3D, PWN, Warszawa, 2010.
13. Felski A., Urbański J: Pozyskiwanie, przetwarzanie i obieg informacji w procesie prowadzenia nawigacji. Materiały na IX Konferencję Naukowo-Techniczną. Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej AMW, Gdynia, 1994.
14. Frydecki J. – „MAGAZYN PORTOWY” nr 5/2008 str. 22 – 23.
15. Galor W., Dobór modelu zobrazowań w systemie antykolizyjnym w aspekcie zgodności z sytuacją rzeczywistą, Gdynia, 1984.
16. Galor W., Gucma L. Ocena dokładności określania pozycji statku na torze wodnym Świnoujście-Szczecin za pomocą systemu VTS, III Sympozjum Nawigacyjne, WSM, Gdynia, 1999.

17. Gawrychowski A., Giniewicz J., Komorowski M., Morawski L., Lisowski J., Śmierzchalski R., Opracowanie założeń i wytycznych projektowych w zakresie obliczania i symulacji manewru antykolizyjnego oraz automatycznego sterowania statkiem po zadanej trajektorii, opracowanie IAO, WSM, Gdynia, 1995.
18. Goodwin E.M., A Statistica study of ship Romains, Journal of Navigation, 1985.
19. Gutenbaum J., „Modelowanie matematyczne systemów”, Wydawnictwo Omnitech, Warszawa, 1998.
20. Hara K., On Shipboard use of the inteligent ship concept for safe navigation, Conference Marine Education and Navigation, Bremen, 1998.
21. Hara K., Probability of collision in a model collision avoidance system, 1994.
22. Hayashi S., Yamakazi H., Stooka K., A standing avoidance system rusing radar image matching development and experiment, 2001.
23. Hintenaus D., “Conference DORIS – the Austrian way of implementing RIS”, 17 June, 2003.
24. Iijima Y., Hayashi S., Study towards a twenty – first century inteligent ship, 2003.
25. Jacyna M., Modelowanie i ocena systemów transportowych, Politechnika Warszawska, Warszawa, 2009.
26. Jagniszczak I. Kryteria i oceny VTS. Zeszyty Naukowe nr 55 WSM, Szczecin, 1998.
27. Jagniszczak I. Multilevel program of information integration in VTMIS systems in relation shore-ship/barge-shore. IX International Scientific and Technical Conference on Marine Traffic Engineering. Maritime University Szczecin, 2001.
28. Jagniszczak I. Wykorzystanie systemów automatycznej identyfikacji (AIS) w relacjach statek – brzeg. XII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Akademia Marynarki Wojennej RP, Gdynia, 2000.
29. Jagniszczak I., Systemy sterowania i zarządzania ruchem statków, Szczecin, 2001.
30. Jagniszczak J, Uchacz W. – Model symulacyjny ruchu barek w rejonie Dolnej Odry, Zeszyty Naukowe nr XX WSM, Explo – Ship, 2002.
31. James M.K., Modeling the decision process in computer simulation of ship navigation, Journal of Navigation, 1996.
32. Jurdziński M., Planowanie prędkości statku na wodach ograniczonych, III Sympozjum Nawigacyjne, WSM, Gdynia, 1999.
33. Jurdziński M., Pojęcia wstępne dotyczące teorii ruchu i bezpieczeństwa statków na obszarach VTS, Zeszyty Naukowe. Nr.53, WSM, Szczecin, 1999.
34. Kacprzyk J., Zbiory rozmyte w analizie systemowej, PWN, Warszawa, 1986.

35. Kaczorek T., Teoria sterowania i systemów, PWN, 1999.
36. Kazimierski W., Stateczny A., Integracja danych nawigacyjnych w systemach nadzoru ruchu statków, Polish Journal of Environmental Studies Vol. 18, No 5A, 2009.
37. Kisielnicki J., Sroka H., Systemy informacyjne - metody projektowania i wdrażania systemów, Agencja wydawnicza "Placet", 1999.
38. Koopmans M. Guidelines on vessel traffic management and information services. C.A.29 Management Committee, Lisbon, 1998.
39. Kostępski M., The implementation of AIS technology for the exchange of information at sea, 5th International Conference – TST 2005, Gliwice, 2005.
40. Kręglewski T., Granat J, Wierzbicki A.P., A dynamic interactive decision analysis and support system for multi – criteria analysis of non – linear models, International Institute for Applied Systems Analysis, Austria, 2001.
41. Kwiatek T., System ekspertowy wspomagający pracę systemu VTS na torze wodnym Szczecin – Świnoujście, Instytut Nawigacji Morskiej, WSM, Szczecin, 1998.
42. Kwiatkowska A.M., Systemy wspomaganie decyzji – jak korzystać z wiedzy i informacji w praktyce, Mikom, 2007.
43. Kwiecień J., Technologia GIS w Centrum Powiadamiania Ratunkowego w Bydgoszczy, Raport z prac badawczych projektu celowego KBN, Bydgoszcz, 1999.
44. Lisowski J., Śmierchalski R. – Assigning of safe and optimal trajectory avoiding collision at sea, 3rd IFAC Workshop Control Applications In Marine System, Norway, Trondheim, 1995.
45. Lisowski J., Śmierchalski R. – Methods of ship's safe control movement in collision situations, 8th International Congress on Marine Technology, Istanbuł, Turkey, 1997.
46. Lizakowski P., Wyprzedzanie na akwenach ograniczonych – gotowość do podjęcia manewru, Zeszyty Naukowe AM nr 13(85), Szczecin, 2008.
47. Łubczonek J., Stateczny A., System of Automatic Vessel Identification of the Lower Odra, Polish Journal of Environmental Studies Vol. 18, No 5A, 2009.
48. Malina W., Szwoch M., Metodologia i techniki programowania, PWN Mikom, Warszawa, 2008.
49. Merz A., Karmarkov J.S. – Collision avoidance system and optimal turn maneuvers, Journal of Navigation, 1996.
50. Michalewicz Z., Śmierchalski R., Adaptive modeling of a ship trajectory in collision situations, World Congress on Computational Inteligence, USA, 2000.

51. Miciuła I., Koncepcja nawigacyjnego systemu informacyjnego ECDIS, I Ogólnopolska konferencja naukowa o informacji „OKNO Informacji”, Szczecin 2009.
52. Miloh T., Sharma S.D. – Maritime collision avoidance as differential game, ship control systems, Symposium, Holland, 1985.
53. Niederliński A., Regułow – modelowe systemy ekspertowe, Wydawnictwo Pracowni Komputerowej, Gliwice, 2006.
54. Nomoto K. – Course change test actual ship data and analysis, 14th Internatinalne Tagung Automatisierung Schiffbau, Warnemunde, 1984.
55. Perkins Ch., Redfern T. – Requirements for Co-ordination and the application of an automatic collision avoidance system, Journal of Navigation Vol 49, 1996.
56. Pham N. T. – Sterowanie rozgrywające statkiem z zastosowaniem teorii zbiorów rozmytych, II Konferencja Krajowa, Automatyzacja Nawigacji i Systemów Sterowania, Gdynia, 1989.
57. Pham N. T. – Wyznaczanie rozgrywającego manewru statkiem z wykorzystaniem modelu gry macierzowej w warunkach rozmytości procesu, Zeszyty Naukowe WSM Gdynia, 1990.
58. Pham Ngoc Tiep, Seghir M., Byczyński Z., Lisowski J. – Bezpieczne sterowanie statkiem z uwzględnieniem właściwości rozmytych procesu, XII Krajowa Konferencja Automatyki, Gdynia, 1998.
59. Piateli M., Tiano A., On the automatic determination of an optimal anticollision strategy, 3rd IFAC Workshop Control Applications In Marine System, Norway, Trondheim, 1995.
60. Piegat A., Modelowanie i sterowanie rozmyte, Akademicka Oficyna Wydawnicza – EXIT, Warszawa, 2003.
61. Pietrzykowski Z., Domena statku w ocenie bezpieczeństwa nawigacyjnego na akwencie ograniczonym, IV Sympozjum Nawigacyjne, Wyższa Szkoła Morska, Gdynia, 2001.
62. Pietrzykowski Z., Procesy decyzyjne w sterowaniu statkiem, Szczecin, 2003.
63. Pietrzykowski Z., Modelowanie procesów decyzyjnych w sterowaniu ruchem statków morskich, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, Szczecin, 2004.
64. Pietrzykowski Z., Magaj J., Chomski J., Model systemu wspomagania decyzji nawigacyjnych na statku morskim, Zeszyty Naukowe 13(85) AM, Szczecin, 2008.
65. Płodzień J., Stemposz E. – Analiza i projektowanie systemów informatycznych – Wydawnictwo PWJSTK Warszawa, 2003.

66. Radościński E. – Systemy informatyczne w dynamicznej analizie decyzyjnej – Wydawnictwo Naukowe PWN, Wrocław, 2001.
67. Roszkowski J. – Analiza i projektowanie strukturalne, Wydawnictwo Helion, 2002.
68. Rozenberg L., Dorozik L., Gospodarka portowa zachodniopomorskiego, Porty Morskie, Szczecin, 2006.
69. Rutkowski G., Modelowanie domeny statku w procesie manewrowania w ograniczonych akwenach, Politechnika Warszawska, Warszawa, 2000.
70. Rutkowski G., Modelowanie głębokości i wysokości domeny statku przez określenie elementów składowych pionowej rezerwy nawigacyjnej statku, materiały z III Sympozjum Nawigacyjnego w WSM w Gdyni, Gdynia, 1999.
71. Salmonowicz H., Żegluga śródlądowa rejonu ujścia Odry, Spedycja i Transport nr 4, 1995.
72. Skarbek W., Metody reprezentacji obrazów cyfrowych, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa, 1995.
73. Służek A., Komputerowa analiza obrazów, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1991.
74. Stateczny A. (red.) Metody nawigacji porównawczej, Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Gdańsk, 2004.
75. Stateczny A. Koncepcja zintegrowanego systemu działań służb ratownictwa morskiego w polskiej strefie odpowiedzialności. Prace V Sympozjum „Bezpieczeństwo morskie i ochrona środowiska morskiego” Kołobrzeg, 2001.
76. Stateczny A., A comparative system concept of plotting the ship's position. Proceedings of International Conference on Marine Navigation and Technology “MELAHA 2002” organized by Arab Institute of Navigation Alexandria Egipt, 2002.
77. Stateczny A., Aktywny system nadzoru ruchu statków. Namiary na morze i handel. Nr 14-15/2004 str. 12-13.
78. Stateczny A., Comparative Navigation as an Alternative Positioning System, Proceedings of the 11'th IAIN World Congress “Smart navigation – systems and services”, Berlin, 2003.
79. Stateczny A., Development Research Project “Technology of Building a River Information System” against the Background of European Research Projects, Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 16, No. 6B, 2007
80. Stateczny A., Integration of RADAR, EGNOS/GALILEO, AIS and 3D ECDIS. International Radar Symposium, Warszawa, 2004.

81. Stateczny A., Kamiński W., The Mathematical Model of 3d Fairway Obtained by Cross-Sections and Orthogonal Networks RBF Used for Steering Vessels. Proceedings of the 9th International IEEE Conference on Methods and Models in Automation and Robotics MMAR 2003, Międzyzdroje.
82. Stateczny A., Koncepcja aktywnego systemu nadzoru ruchu statków na torze wodnym Świnoujście – Szczecin. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej „Inżynieria ruchu morskiego”, Szczecin 2003.
83. Stateczny A., Lisaj A., Aspects of Fusion of Navigational AIS Data and Radar in RIS Systems, Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 16, No. 6B, 2007.
84. Stateczny A., Łagowski T., Aspekty wizualizacji rzeźby terenu w czasie rzeczywistym. Materiały XV Konferencji „Geoinformacja w Polsce”. Roczniki Geomatyki t.3 /2005.
85. Stateczny A., Methods of comparative plotting of the ship’s position. Marine Engineering and Ports III. Editors C.A. Brebbia & J. Olivella. WIT Press Southampton, Boston, 2002.
86. Stateczny A., Miciuła I., Developing Information Fusion in a Decision-Supporting System of a RIS (River Information System) Operator, Polish Journal of Environmental Studies Vol. 17, No.8B, 2008.
87. Stateczny A., Miciuła I., Dynamiczna domena 3D w ocenie bezpieczeństwa żeglugi, IV Międzynarodowa konferencja Inland Shipping 2009, Polish Journal of Environmental Studies Vol. 18, No 5A, Szczecin 2009.
88. Stateczny A., Miciuła I., Integracja VTS i RIS w aspekcie projektowanego rozmieszczenia stacji radarowych, III Międzynarodowa konferencja naukowa Inland Shipping, Polish Journal of Environmental Studies Vol. 16, No.6B, Szczecin 2007.
89. Stateczny A., Miciuła I., Model identyfikacji zagrożenia w ruchu śródlądowym w oparciu o dynamiczną domenę 3D, IX Międzynarodowa konferencja Euro –Trans 2009, Innowacje w transporcie, Szczecin 2009.
90. Stateczny A., Miciuła I., Rola informatyki w rozwoju żeglugi śródlądowej w województwie zachodniopomorskim - system RIS, INFOGRYF, Szczecin 2009.
91. Stateczny A., Miciuła I., The European River Information Service (RIS) Concept. Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 15, No. 4B, 2006.
92. Stateczny A., Multisensor Data Fusion in the Process of Comparative Navigation. International Symposium Information on Ships - ISIS 2004, Hamburg, 2004.

93. Stateczny A., Multisensor Navigational Data Fusion in an Active Vessel Traffic System. Proceedings of International Conference on Marine Navigation and Technology "MELAHA 2004" organized by Arab Institute of Navigation, Kair, 2004.
94. Stateczny A., Neural manoeuvre detection of the tracked target in ARPA systems. Proceedings CAMS 2001 Glasgow, 2001.
95. Stateczny A., Nowoczesne metody nawigacji w żegludze śródlądowej z wykorzystaniem Inland ECDIS. Roczniki Geomatyki t.2/2004.
96. Stateczny A., Nowoczesne metody nawigacji w żegludze śródlądowej z wykorzystaniem Inland ECDIS (Modern navigation's methods in inland waterways with Inland ECDIS), AM Szczecin, 2005.
97. Stateczny A., Rzeczny system informacyjny dla dolnej Odry, Annals of Geomatics 2007, zeszyt 4, tom V. (PAN, KBN 51)
98. Stateczny A., System of Bathymetric Vessel Position Determination, Polish Journal of Environmental Studies Vol. 14, Supplement I, 2005.
99. Stateczny A., The Concept of Active Vessel Traffic Management and Information System. Proceedings of the 7th Poland Italy Geodetic Meeting Bresanone 2003. Reports on Geodesy No.2(65), 2003.
100. Stateczny A., Trojanowski J., Aspects of Cells Production of Standard Electronic Charts for RIS Dolna Odra Aquatories, Polish Journal of Environmental Studies, Vol.16, No.6B, 2007.
101. Stupak T., Zarzycki B., System automatycznej identyfikacji statków (AIS), 2002.
102. Subieta K., Wprowadzenie do inżynierii oprogramowania, Wydawnictwo PWJSTK, Warszawa, 2003.
103. Sudhendar H., Grabowski M., Evolution of intelligent shipboard piloting systems: A distributed System for the St. Lawrence seaway, Journal of Navigation vol. 49, 1996.
104. Szłapczyński Z., Miara ryzyka kolizji statków oparta na koncepcji domeny statku, Zeszyty Naukowe AM nr 6(78), Szczecin 2005.
105. Śmierzchalski R., Ship's domains in evolutionary guidance system, 5th International Symposium on Methods and Models in Automation and Robotics, 1998.
106. Śmierzchalski R., Graficzna prezentacja bezpiecznej trajektorii statku w sytuacji kolizyjnej na potrzeby szkolenia nawigatorów, Zakopane, 1991.
107. Śmierzchalski R., Możliwości zastosowania interaktywnego pakietu podejmowania decyzji DIDAS – N do rozwiązywania procesu unikania kolizji na morzu, Zeszyty Naukowe WSM Gdynia, 2001.

108. Śmierchalski R., Optymalizacja bezpiecznej trajektorii statku w sytuacji spotkania większej ilości obiektów ruchomych, IV Krajowa Konferencja Naukowo – Techniczna, Automatyzacja Nawigacji i Systemów Sterowania, Gdynia 1993.
109. Śniegocki H., Duda D., Wzrost bezpieczeństwa żeglugi na obszarze działania VTS.
110. Uchacz W., Kwiatek T. Metoda budowy bazy wiedzy na użytek systemu VTS na torze wodnym Świnoujście – Szczecin z zastosowaniem programu Nexpert Object. Zeszyty Naukowe Nr. 55, WSM, Szczecin. 1998.
111. Uchacz W., Magaj J. Porównanie wybranych algorytmów rozwiązań pewnego zadania optymalizacji ruchu statków. XII Międzynarodowa Konferencja Naukowo Techniczna. Rola Nawigacji w Zabezpieczeniu Działalności Ludzkiej na Morzu. Akademia Marynarki Wojennej, Gdynia, 2000.
112. Uchacz W., Magaj J., Kwiatek T. – Porównanie metod rozwiązań zagadnienia optymalizacji ruchu statków na akwenach ograniczonych, Gdynia, 2001.
113. Uchacz W., Metody modelowania i optymalizacji w symulacji i sterowaniu wybranych systemów transportu wodnego, Akademia Morska w Szczecinie, studia nr 46, ISSN 0860-8806, Szczecin 2006.
114. Uchacz W., Problemy i metody badawcze w zakresie systemu wspomaganie decyzji systemu RIS dla obszaru Dolnej Odry, Polish Journal of Environmental Studies Vol. 18, No 5A, 2009.
115. Uriasz J., Kształt i rozmiary stref bezpieczeństwa statku, Zeszyty Naukowe nr 11(83) , Akademia Morska w Szczecinie, Explo – Ship, 2006.
116. Wawruch R., Display of VTS information on ship navigation screens, Konferencja Naukowo Techniczna Inżynierii Ruchu Morskiego, WSM, Szczecin, 1999.
117. Wawruch R., Uniwersalny statkowy system automatycznej identyfikacji (AIS), Fundacja Rozwoju Wyższej Szkoły Morskiej w Gdyni, Gdynia 2002.
118. Weintrit A., Dziula P., Morgaś W., Obsługa i wykorzystanie systemu ECDIS. Przewodnik do ćwiczeń na symulatorze, Akademia Morska, Gdynia 2004.
119. Wierzbicki A.P., Aspiration – led decision support systems: theory and methodology, Kyoto University, Japan 1995.
120. Wierzbicki A.P., Multi – Objective modelling and simulation for decision support, Laxenburg, Austria, 2003.
121. Willems C. – „Conference COMPRIS” - Rotterdam, September 2001.

122. Wojcieszek D., Wolski A., System kontroli i zarządzania ruchem statków na Zatoce Pomorskiej i torze wodnym Świnoujście – Szczecin, XI Międzynarodowa Konferencja Naukowo - Techniczna AMW, Gdynia, 1999.
123. Woś K. – „Infrastruktura Transportu” numer 1/2008, maj-czerwiec.
124. Woś K., Kierunki aktywizacji działalności żeglugi śródlądowej w rejonie ujścia Odry w warunkach integracji Polski z Unią Europejską, Oficyna Wydawnicza „Sadyba”, Warszawa 2005.
125. Woś K., Salmonowicz H., TRANS LOGIS PAKIET 200 – Stan aktualny i przewidywane kierunki przemian w zakresie infrastruktury i potrzeb przewozowych żeglugi śródlądowej w perspektywie 2010 roku. Projekt, Regionalne Biuro Gospodarki Przestrzennej Województwa Zachodniopomorskiego, 2000.
126. Xiao J., Michalewicz Z., Trojanowski K. – Evolutionary computation: one project, many directions, 9th International Symposium on Methodologies for Intelligent Systems, Zakopane, Poland 1996.
127. Zee D., An Algorithm for a real – time detection of encounter situations, Journal of Navigation, 2006.
128. Zhao J., Wang P., Wu Z.V., The Development of ship collision avoidance automation, 2002.
129. Zhao J., Wu Z., Wang F. Comments of Ship Domains, Journal of Navigation No.46, 1993.
130. Zimmermann R., Gern T., Gilles E.D., Advanced River Navigation with Inland ECDIS. First European Inland Waterway Navigation Conference, June 9-11.1999.
131. Zwierzewicz Z., Borkowski P., Komputerowe symulacje zakłóceń falowych w procesie sterowania ruchem statku, Roczniki Informatyki Stosowanej Wydziału Informatyki Politechniki Szczecińskiej nr 6, 43 – 48, 2004.
132. Zwierzewicz Z., Methods of mathematical control theory and their applications to some optimizations problems of modern marine navigation, WSM Szczecin, 1995.
133. Zwierzewicz Z., On a computer oriental analytical methods for solving optima control problems via maximum principle Zermelo navigational problem, 3rd International Symposium on Methods and Models In Automation and Robotics, Międzyzdroje, 1996.
134. Zwierzewicz Z., Układ stabilizacji kursu statku z wykorzystaniem algorytmów sterowania inteligentnego, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie nr 5 (77), 2005.

Pozostałe źródła:

1. DYREKTYWA 2005/44/WE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY z dnia 7 września 2005 r. w sprawie zharmonizowanych usług informacji rzecznej (RIS) na śródlądowych drogach wodnych we Wspólnocie.
2. Opinia Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego w sprawie komunikatu Komisji w sprawie promocji żeglugi śródlądowej NAIADES — Zintegrowany Europejski Program Działań na Rzecz Żeglugi Śródlądowej, 23.12.2006 r.
3. Ustawa z dnia 6 lipca 2001 r. o ustanowieniu programu wieloletniego „Program dla Odry – 2006” (Dz.U. z 2001 r. nr 98, poz. 1067).
4. Ustawa z dnia 19/03/2008 o zmianie ustawy o żegludzie śródlądowej z dnia 21 grudnia 2000 r. w celu wdrożenia dyrektywy 2005/44/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 7 września 2005 r. w sprawie zharmonizowanych usług informacji rzecznej (RIS) na śródlądowych drogach wodnych we Wspólnocie.
5. Zarządzenie Dyrektora Urzędu Żeglugi Śródlądowej w Szczecinie z dnia 7 czerwca 2004r. w sprawie przepisów prawa miejscowego na śródlądowych drogach wodnych.
6. Materiały wewnętrzne Zarządu Morskich Portów Szczecin i Świnoujście S.A.
7. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 7 maja 2002 r. w sprawie klasyfikacji śródlądowych dróg wodnych (Dz.U. z 2002 r. nr 77, poz. 695).
8. European Commission. Community research and development information service. Waterborne transport. www.cordis.lu/transport/src/water.htm - lipiec 2009.
9. Standard Electronic Chart Display and Information System for Inland Navigation, Central Commission for the Navigation on the Rhine. 1.0 Edition 16.01.2001.
10. Troegl J. – Team Manager RIS Test centre via donau, www.ris-donau.au – maj, 2009.
11. www.transpolska.most.org.pl/zegluga/serv01.htm - czerwiec, 2009.
12. World VTS Guide. www.worldvtsguide.org. – wrzesień, 2009.
13. www.port.szczecin.pl – wrzesień, 2009.
14. www.ais.org – wrzesień, 2009.
15. www.navcen.uscg.gov/marcomms/ais.htm - listopad 2009.
16. www.portalmorski.pl – listopad, 2009.
17. www.schwedt.de/polnisch/home.htm - listopad 2009.
18. www.pianc-aipcn.org/main/ris.html – grudzień 2009.
19. www.euro-compris.org – styczeń 2010.
20. ris-project.info – styczeń 2010.
21. www.unece.org – marzec 2010.