

**AUTOREFERAT**

przedstawiający opis osiągnięć  
naukowo-badawczych i dorobku dydaktyczno-popularyzatorskiego

dr inż. Krzysztof Naus

Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej  
Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego  
Akademia Marynarki Wojennej

Gdynia 2015

## Spis treści

1. Życiorys naukowy .....	4
2. Osiągnięcia naukowo-badawcze .....	5
2.1. Tytuł osiągnięcia naukowego.....	5
2.2. Wprowadzenie .....	5
2.3. Zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowo-konstrukcyjne .....	8
2.3.1. Trójwymiarowe zobrazowanie akwenu morskiego.....	8
2.3.2. Autonomiczne planowanie i monitorowanie drogi przejścia bezzałogowego pojazdu nawodnego „Edredon” .....	13
2.3.3. System Map Elektronicznych dla Centrum Bezpieczeństwa Morskiego .....	18
2.3.4. Tworzenie dokumentacji kartograficznej dla okrętów Marynarki Wojennej RP ....	20
2.3.5. Budowanie obrazu w dynamicznym odwzorowaniu sferycznym.....	21
2.4. Cykl publikacji powiązanych tematycznie .....	22
2.4.1. Geneza problemu rozwiązywanego w cyklu publikacji .....	23
2.4.2. Omówienie cyklu publikacji .....	24
2.5. Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze .....	30
2.6. Dorobek dydaktyczno-popularyzatorski.....	36
3. Załączniki do niniejszego autoreferatu.....	38

Oznaczenia zastosowane dla odsyłaczy do bibliografii:

- [A.xx.] Wynalazki, wzory użytkowe i przemysłowe których tytuły znajdują się na liście w załączniku nr 3
- [AC xx] Artykuły dołączone w postaci kopii papierowych
- [AP xx] Artykuły dołączone w postaci plików pdf
- [BI xx] Broszury informacyjne
- [C.xx.] Publikacje naukowe w czasopismach międzynarodowych lub krajowych których tytuły znajdują się na liście w załączniku nr 3
- [DC xx] Dyplomy lub wyróżnienia dołączone w postaci kopii papierowych
- [H.xx.] Referaty wygłoszone na międzynarodowych lub krajowych konferencjach tematycznych których tytuły znajdują się na liście w załączniku nr 3
- [OP xx] Opracowania techniczne dołączone w postaci plików pdf
- [PC xx] Pozostałe dokumenty dołączone w postaci kopii papierowych

## 1. Życiorys naukowy

### Wykształcenie

tytuł magistra	1995 Akademia Marynarki Wojennej Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego magister inżynier nawigator, specjalność nawigacja morska
stopień doktora	2003 Akademia Marynarki Wojennej Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego doktor nauk technicznych w dyscyplinie geodezja i kartografia, specjalność nawigacja morska

### Zatrudnienie

asystent	1998–2004 Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego Akademia Marynarki Wojennej
adiunkt	2004– Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego Akademia Marynarki Wojennej

## **2. Osiągnięcia naukowo-badawcze**

### **2.1. Tytuł osiągnięcia naukowego**

Jako osiągnięcie naukowe – wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595 ze zm.) – prezentuję zrealizowane oryginalne osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne oraz cykl publikacji powiązanych tematycznie. Całość została zatytułowana:

#### **„Metody wizualizacji i przetwarzania Elektronicznej Mapy Nawigacyjnej”**

### **2.2. Wprowadzenie**

Osiągnięcia elektroniki i informatyki w dziedzinie gromadzenia, przetwarzania, przesyłania i wizualizacji informacji nawigacyjno-hydrograficznej przyczyniły się do powstania koncepcji Systemu Zobrazowania Mapy Elektronicznej i Informacji (ang. Electronic Chart Display and Information System – ECDIS) jako naturalnego, technologicznego następcy konwencjonalnej morskiej mapy nawigacyjnej. Systemy ECDIS i ich wojskowe odpowiedniki WECDIS (ang. Warship Electronic Chart Display and Information System) stanowią dziś podstawowe narzędzie pracy oficera wachtowego na statku i okręcie, usankcjonowane najwyższymi, światowymi aktami prawnymi, tj. Międzynarodową Konwencją o Bezpieczeństwie Życia na Morzu (ang. International Convention on Safety of Life at Sea) oraz Międzynarodową Konwencją o Standardach Wyszkożenia i Zasadach Wydawania Świadectw dla Oficera Wachtowego (ang. International Convention on Standards of Training Certification and Watchkeeping for Seafarers – STCW).

Obecnie zakończono już pierwszy etap, zakrojonych na szeroką skalę, działań związanych z wypracowaniem spójnych, międzynarodowych standardów techniczno-eksploatacyjnych dla Elektronicznej Mapy Nawigacyjnej (ang. Electronic Navigational Chart – ENC), Cyfrowej Mapy Morskiej (ang. Digital Nautical Chart – DNC), Dodatkowych Warstw Wojskowych (ang. Additional Military Layers – AML) oraz systemów ECDIS i WECDIS. Od ponad dwudziestu lat w pracach tych uczestniczy wiele organizacji międzynarodowych, między innymi:

- Międzynarodowa Organizacja Morska (ang. International Maritime Organization – IMO),
- Międzynarodowa Organizacja Hydrograficzna (ang. International Hydrographic Organization – IHO),

- Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna (ang. International Electrotechnical Commission – IEC),
- Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna (ang. International Standards Organization – ISO) oraz od kilku lat również NATO.

O wadze zainteresowania tym zagadnieniem może świadczyć fakt, iż niemal każda z wyżej wymienionych organizacji powołała specjalne komisje i grupy robocze zajmujące się wybranymi problemami. Wyłonione komisje i grupy robocze opracowały i opublikowały wiele standardów techniczno-eksploatacyjnych, z których za najważniejsze można uznać:

- rezolucję IMO A.817/19, Standardy eksploatacyjne dla ECDIS (ang. Performance Standards for ECDIS),
- specyfikację IHO „S-52”, Specyfikacje zawartości mapy i aspekty jej zobrazowania w ECDIS (ang. Specifications for Chart Content and Display Aspects of ECDIS),
- specyfikację IHO „S-57” (i jej nowy odpowiednik „S-100”), Standard wymiany cyfrowych danych hydrograficznych (ang. Transfer Standard for Digital Hydrographic Data),
- publikację IEC nr 61174, Wymagania dotyczące obsługi i działania, metody i wymagane wyniki badania (ang. Operational and Performance Requirements, Methods of Testing and Required Test Results),
- STANAG 4564, Standard dla Okrętowego Systemu Zobrazowania Mapy Elektronicznej i Informacji (ang. Standard for Warship Electronic Chart Display and Information System – WECDIS),
- STANAG 7170, Dodatkowe Warstwy Wojskowe (ang. Additional Military Layers – AML),
- STANAG 7074, Format Produktu Wektorowego (ang. Vector Produkt Format – VPF).

Światowe badania związane z wykorzystaniem ENC, DNC, AML w systemach ECDIS i WECDIS, prowadzone przez wyżej wymienione organizacje międzynarodowe, zmierzają w kilku kierunkach:

- opracowanie modelu koncepcyjnego do wizualizacji danych geoprzestrzennych zmieniających się w czasie (na przykład danych dotyczących magnetyzmu Ziemi, pływów, prądów pływowych, warunków hydrometeorologicznych itp.),
- opracowanie modelu koncepcyjnego do wizualizacji jakości i wiarygodności danych geoprzestrzennych (na przykład danych dotyczących jakości danych batymetrycznych, wiarygodności pomiarów morskich, dokładności określania pozycji itp.),

- rozwijanie metod prezentacji specyfikowanych dla różnych zastosowań (na przykład do pilotażu lub nadzoru i kontroli ruchu statków),
- rozwijanie metod budowania i zasad opisu numerycznego modelu terenu/dna morskiego,
- opracowanie narzędzi i metod do trójwymiarowej, realistycznej prezentacji informacji „mapowych”,
- opracowanie metod do wspomaganie procesu manewrowania precyzyjnego (na przykład w porcie czy w czasie wykonywania manewru cumowania).

Na tej podstawie bez trudu można stwierdzić, że ewolucję morskiej mapy nawigacyjnej postrzega się obecnie jako dążenie do zapewnienia większej dokładności, zgodności z rzeczywistością i wiarygodności tworzenia obrazu, przy wykorzystaniu dostępnych technologii i środków technicznych. Zgodnie z tym założeniem obraz morskiej mapy nawigacyjnej staje się naukowym, obiektywnym, neutralnym, kartograficznym, lustrzanym odbiciem natury.

Główny nurt mojej działalności naukowej koncentruje się wokół „Metod wizualizacji i przetwarzania Elektronicznej Mapy Nawigacyjnej”.

Moja wieloletnia tak ukierunkowana praca naukowa przyniosła kilka oryginalnych opracowań teoretycznych i praktycznych rozwiązań technicznych (w dużej części wdrożonych do stosowania). Najważniejsze z nich przedstawiłem, przybliżając swoje osiągnięcia naukowe.

W pierwszej części autoreferatu wskazałem zrealizowane oryginalne rozwiązania projektowo-konstrukcyjne ukierunkowane na:

- tworzenie trójwymiarowego zobrazowania akwenu morskiego,
- wspomaganie autonomicznego planowania i monitorowania drogi przejścia bezzałogowego pojazdu nawodnego „Edredon”,
- opracowanie Systemu Map Elektronicznych dedykowanego Centrum Bezpieczeństwa Morskiego,
- wykonywanie dokumentacji kartograficznej dla okrętów Marynarki Wojennej RP,
- budowanie obrazu mapy w dynamicznym odwzorowaniu sferycznym.

W drugiej części mojego autoreferatu scharakteryzowałem cykl powiązanych tematycznie publikacji. W jego skład wchodzi siedem artykułów opublikowanych w czasopiśmie:

- „Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej”,
- „Reports on Geodesy”,
- „Geomatics and Environmental Engineering”,
- „Geodesy and Cartography”,
- „Polish Maritime Research”,
- „Annual of Navigation”.

Należy tu podkreślić, wymienione wyżej tytuły należą głównie do grupy specjalistycznych czasopism z obszaru dyscypliny naukowej, jaką jest geodezja i kartografia.

## **2.3. Zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowo-konstrukcyjne**

### **2.3.1. Trójwymiarowe zobrazowanie akwenu morskiego**

Badania te miały na celu opracowanie oryginalnego rozwiązania projektowo-konstrukcyjnego służącego do trójwymiarowego zobrazowania ENC, przeznaczonego dla ECDIS.

Pierwszym zagadnieniem badawczym, nad którym pracowałem, było ustalenie odwzorowania kartograficznego do trójwymiarowego zobrazowania ENC na statku w ruchu. Rozwiązanie tego problemu przedstawiłem w mojej pracy doktorskiej zatytułowanej „Zastosowanie dynamicznego odwzorowania perspektywicznego do zobrazowania Elektronicznej Mapy Nawigacyjnej”. Zdefiniowałem w niej „dynamiczne odwzorowanie perspektywiczne”, przyjmując, że jest to odwzorowanie perspektywiczne na płaszczyznę z jednym stałym punktem rzutowania w pozycji obserwatora, przy czym zarówno płaszczyzna rzutowania, jak i punkt rzutowania dowiązane są do jednostki pływającej będącej w ruchu. Szczegółowy opis matematyczny tego odwzorowania kartograficznego przedstawiłem w artykule opublikowanym w czasopiśmie „Geodezja i Kartografia” [C.4.].

Drugie zagadnienie badawcze dotyczyło oceny możliwości wykorzystania do zobrazowania dna morskiego danych batymetrycznych kodowanych w ENC. Był to jeden z głównych problemów badawczych, który rozwiązywałem w ramach projektu badawczego własnego nr 0 T00A 002 30 pt. „Model trójwymiarowego zobrazowania dna morskiego w okrętowym systemie zobrazowania mapy elektronicznej i informacji”. Byłem pomysłodawcą i kierownikiem tego projektu. Rozwiązanie tego problemu wymagało przeprowadzenia



kompleksowej analizy standardów techniczno-eksploatacyjnych przeznaczonych dla ENC i ECDIS w aspekcie sposobu przechowywania danych batymetrycznych oraz zasad generowania zobrazowania dna morskiego. W jej wyniku ustaliłem m.in., iż:

- 1) do budowania numerycznego modelu dna morskiego należy wykorzystać obiekty przestrzenne, które opisują geometrycznie kształt dna w połączeniu z obiektami cech, które charakteryzują jakość i wiarygodność tej geometrii;
- 2) wskaźniki opisujące jakość i wiarygodność danych geometrycznych powinny być obowiązkowo kodowane indywidualnie dla każdego obiektu przestrzennego za pomocą atrybutów o akronimach „QUASOU”, „SOUACC” i „TECSOU”;
- 3) w standardzie „S-57” należy zdefiniować nowy obiekt opisujący numeryczny model dna morskiego, w tym celu można wykorzystać obiekt przestrzenny typu macierz, który nie został jeszcze zdefiniowany;
- 4) narodowe biura hydrograficzne powinny dostarczać dane opisujące numeryczny model dna morskiego wraz z ENC.

Otrzymane wyniki analizy uwidocznily kolejny problem badawczy związany z koniecznością ustalenia zasad budowania numerycznego modelu dna morskiego w postaci macierzowej. Ponieważ modele tego typu są jedynie przybliżeniem rzeczywistości, wybór spośród nich najbardziej odpowiedniego i określenie jego optymalnych parametrów zależy od wymagań koniecznych do interpretacji zjawiska. Wierność przedstawienia rzeczywistej powierzchni dna za pomocą tego modelu zależy przede wszystkim od jakości materiału źródłowego oraz wielkości aproksymowanego fragmentu (oczka siatki), dla którego została wyznaczona głębokość (w procesie agregacji danych).

Wobec powyższego przeprowadziłem analizę najważniejszych światowych standardów stosowanych do opisu powierzchni dna morskiego w postaci macierzowej, tj.:

- DBDB-V (ang. Digital Bathymetric Data Base – Variable Resolution),
- NATO DTED (ang. Digital Terrain Elevation Data),
- NMB (ang. Network Model Batymetry).

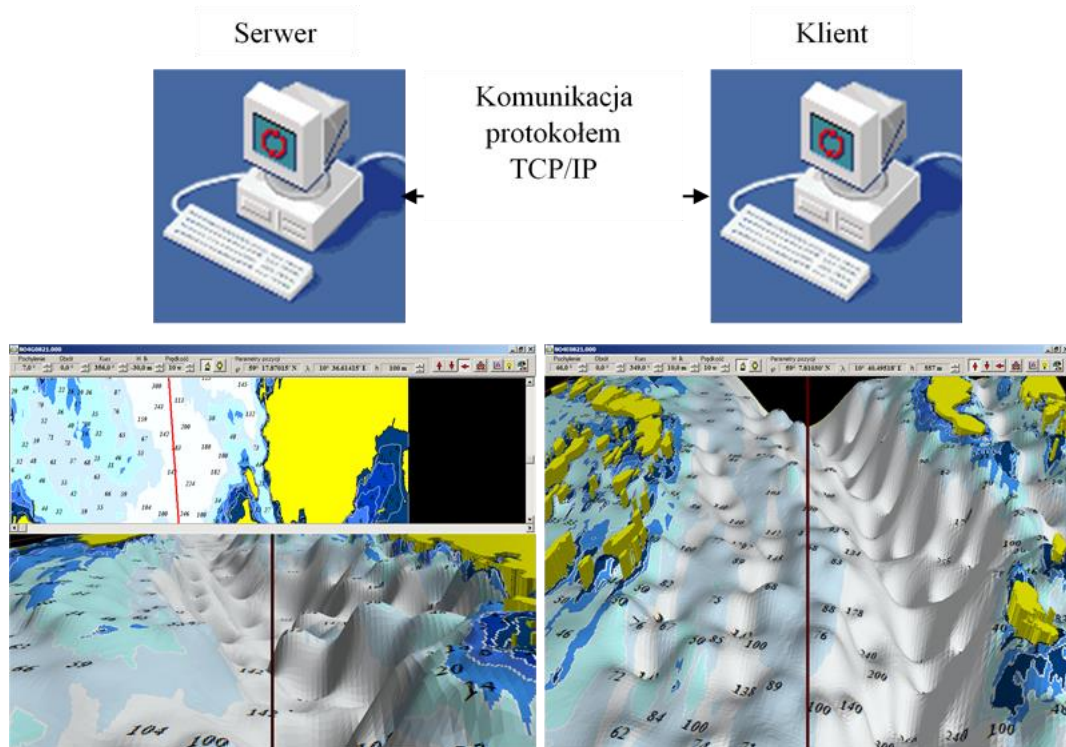
Przeprowadzona analiza miała ułatwić wybór jednego ze standardów. Wykazała jednak, że wszystkie mają tę samą, bardzo poważną, wadę. Polega ona na tym, że aproksymowane fragmenty powierzchni dna są różne na różnych szerokościach geograficznych. Zmiany te są znaczące szczególnie na wyższych szerokościach geograficznych. Wykluczyło to ich użycie do przechowywania przetworzonych danych batymetrycznych zawartych w ENC. Z tego też

powodu na ich miejsce zaproponowałem nową zasadę budowania numerycznego modelu dna w oparciu o odpowiednio konstruowane siatki kwadratów elipsoidalnych oraz siatki odwzorowań kartograficznych UTM (ang. Universal Transverse Mercator) i UPS (ang. Universal Polar Stereographic). Wyniki tych badań zostały przedstawione w artykułach opublikowanych w „Reports on Geodesy” i „Polish Journal of Environmental Studies” [AP 1][AP 2][AP 3].

Rozwiązanie trzech wskazanych problemów badawczych dało mi podstawę do wykonania projektu, a potem na jego podstawie prototypu aplikacji programowej do trójwymiarowego zobrazowania ENC. Jej działanie oparte zostało na dwóch, wykonywanych po sobie procesach:

- budowania siatki kwadratów elipsoidalnych (opisującej numeryczny model dna) na podstawie danych batymetrycznych zawartych ENC,
- generowania obrazu w dynamicznym odwzorowaniu perspektywicznym na podstawie zbudowanej wcześniej siatki kwadratów elipsoidalnych (przy założeniu, że układ rzutowania związany jest ze statkiem w trzech niewspółliniowych punktach o znanych współrzędnych geocentrycznych).

W koncepcji projektowej założyłem, że aplikacja powinna umożliwiać prezentowanie ENC jako obrazu 3D w dynamicznym odwzorowaniu perspektywicznym oraz obrazu 2D w odwzorowaniu kartograficznym Merkatora (tak jak ma to najczęściej miejsce w ECDIS). Aplikacja powinna pracować w trybie klient-serwer. W tym trybie pracy aplikacja typu serwer powinna przekazywać do dowolnej liczby aplikacji typu klient współrzędne pozycji, parametry orientacji przestrzennej oraz ruchu statku. Na podstawie tych danych każda aplikacja klienta (pracująca na oddzielnej stacji roboczej) będzie generowała trójwymiarowy obraz ENC w dowolnie wybranym sektorze obserwacji. Takie rozwiązanie pozwoli na różnorodny sposób konfiguracji sieciowej wersji aplikacji. Złożona prezentacja ENC może składać się z dowolnej liczby kanałów wizyjnych, obsługiwanych przez oddzielne aplikacje typu klient, które są uruchomione na oddzielnych stacjach roboczych i pracują równolegle w niezależnych od siebie sektorach obserwacji.



Rys. 1. Trójwymiarowy obraz ENC prezentowany równolegle, w niezależnych od siebie sektorach obserwacji, na oddzielnych stacjach roboczych, wygenerowany za pomocą opracowanej aplikacji. Źródło: opracowanie własne

**Rozwiązanie to zostało wdrożone do stosowania w Marynarce Wojennej, w 2005 roku. Rozwiązanie zostało wyróżnione w konkursie na najbardziej wartościowy projekt racjonalizatorski i najbardziej wartościowe opracowanie teoretyczne, przydatne dla Marynarki Wojennej:**

- 1) nagrodą i dyplomem za zajęcie III miejsca – za opracowanie teoretyczne pt.: „Model odwzorowania kartograficznego do trójwymiarowego zobrazowania Elektronicznej Mapy Nawigacyjnej przeznaczonego dla potrzeb nawigacji (nawodnej, podwodnej, lotniczej) oraz kierowania uzbrojeniem” (Gdynia, 2004) [DC 1],**
- 2) nagrodą i dyplomem za zajęcie I miejsca – za opracowanie teoretyczne pt.: „Koncepcja trójwymiarowego zobrazowania kształtu dna morskiego na podstawie Elektronicznej Mapy Nawigacyjnej i jej implementacja komputerowa” (Gdynia, 2005) [DC 2].**

**Rozwiązanie to prezentowałem na Bałtyckim Festiwalu Nauki w Gdyni, Bałtyckich Targach Militarnych Balt-Military-Expo w Gdańsku oraz Międzynarodowych Targach Budowy i Wyposażenia Statków, Maszyn i Technologii Morskich w Hamburgu (Shipbuilding, Machinery & Marine Technology) [BI 1][BI 2].**

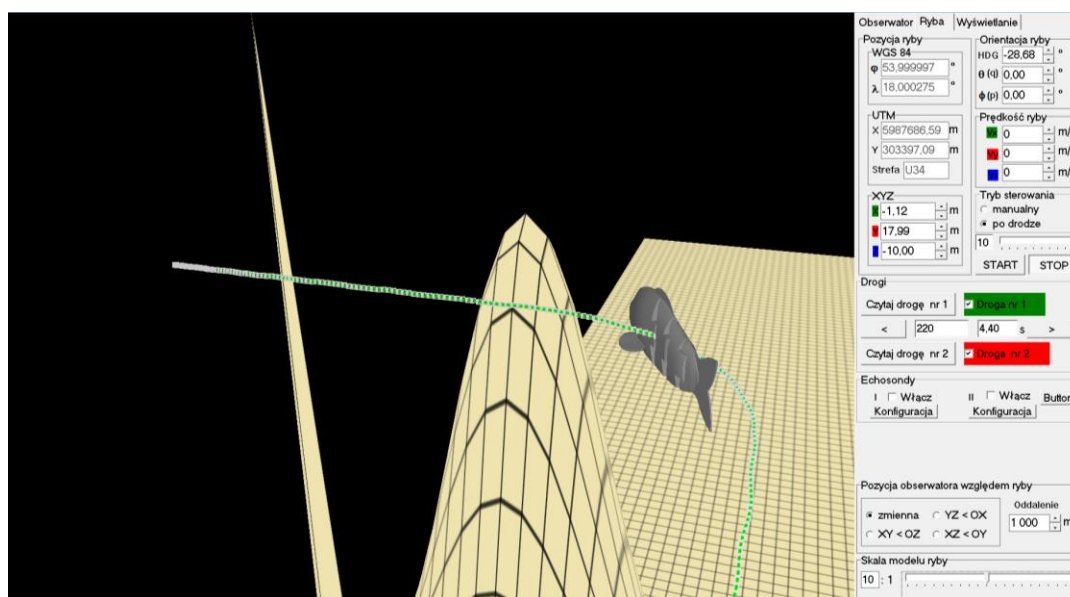
**Rozwiązanie to wykorzystano podczas realizacji projektu badawczego własnego nr 0537/B/T00/2009/37 pt. „Wielowymiarowe zobrazowanie okrętowego radaru nawigacyjnego do detekcji obiektów o niskiej wykrywalności”.** Na jego podstawie przygotowano kolejną aplikację programową, do której zaimplementowano opracowaną w ramach projektu metodę tworzenia wielowymiarowego sygnału wizyjnego pochodzącego z radaru nawigacyjnego, generowanego na podstawie danych pozyskanych z rejestracji sygnałów wizyjnych oraz danych ENC. Ogólny opis tego rozwiązania można znaleźć w Zeszytach Naukowych Akademii Marynarki Wojennej oraz czasopiśmie „Logistyka” [AP 4][AP 5].

**Rozwiązanie to jest obecnie rozwijane w ramach projektu rozwojowego nr DOBR-BIO4/033/13015/2013 pt. „Autonomiczne pojazdy podwodne z cichym napędem falowym dla rozpoznania podwodnego”, realizowanego przez konsorcjum w składzie: Akademia Marynarki Wojennej, Politechnika Krakowska, Przedsiębiorstwo Badawczo-Produkcyjne FORKOS Sp. z o.o., Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów.**

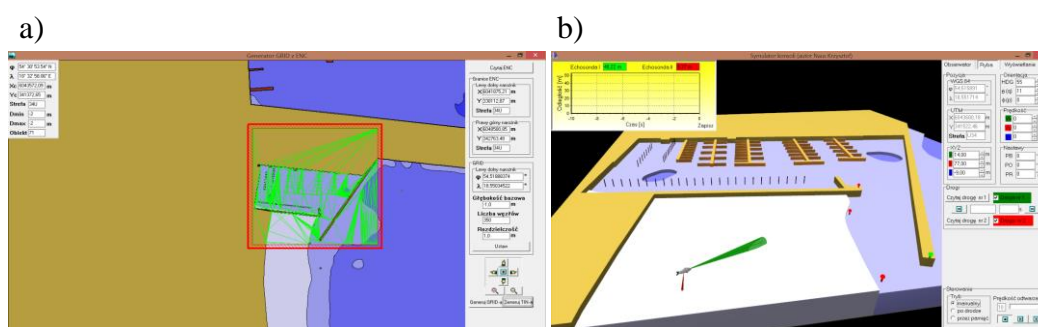
W ramach tego projektu przewidziano dla niego dwa zastosowania. Pierwsze – jako symulatora środowiska morskiego, przeznaczonego do badań autonomicznego systemu nawigacyjnego. Drugie – jako konsoli do zdalnego sterowania pojazdem podwodnym (tzw. cyberrybą). Oba rozwiązania muszą osiągnąć 7. poziom gotowości technologicznej do 2016 roku.

Realizacja tego zadania wymaga rozwiązania kilku nowych problemów badawczych związanych z optymalizacją procesu generowania trójwymiarowego obrazu oraz optymalizacją procesu obliczeń wykonywanych z wykorzystaniem numerycznego modelu dna (wykonywanych na przykład przy symulowaniu prądu morskiego i falowania, występujących na danym akwenie morskim, albo przy obliczaniu punktów odbicia od dna wiązki akustycznej wysłanej przez przetwornik symulowanej echosondy, zamontowany na manewrującym pojeździe podwodnym). Problemy te są obecnie przeze mnie rozwiązywane. Otrzymane na tym etapie badań wyniki wskazały na konieczność modyfikacji zasad budowania numerycznego modelu dna, zarówno pod kątem wybranych obiektów przestrzennych, jak i konstruowania z nich siatki. Z tych powodów opracowałem dodatkowe narzędzie programowe do generowania numerycznego modelu dna opartego na siatce regularnych kwadratów, odwzorowania UTM,

jak również nieregularnych trójkątów. Dodatkowo zmieniłem procedury modelowania właściwości materiału oraz oświetlenia sceny. Wyniki tych badań zamierzam zaprezentować na łamach „Geodesy and Cartography”.



Rys. 2. Okno główne symulatora środowiska morskiego. Źródło: opracowanie własne



Rys. 3. Okna główne: a) aplikacji do generowania numerycznego modelu dna, b) aplikacji konsoli do zdalnego sterowania tzw. cyberrybą. Źródło: opracowanie własne

### 2.3.2. Autonomiczne planowanie i monitorowanie drogi przejścia bezzałogowego pojazdu nawodnego „Edredon”

Kolejne badania prowadziłem w ramach projektu rozwojowego nr O R00 0106 12 pt. „Zintegrowany system planowania perymetrycznej ochrony i monitoringu morskich portów i obiektów krytycznych oparty o autonomiczne bezzałogowe jednostki pływające”.

Byłem odpowiedzialny za projekt i opracowanie wybranych modułów programowych systemu nawigacji autonomicznej (SNA) przeznaczonego dla bezzałogowego pojazdu nawodnego (ang. Unmanned Surface Vehicle – USV) „Edredon”. SNA przewidziano do użycia wyłącznie

w przypadku braku możliwości zdalnego sterowania USV (na przykład po zerwaniu łączności radiowej). Powinien on wówczas zapewnić w sposób autonomiczny, bezpieczny dla siebie i innych uczestników ruchu morskiego powrót USV do wskazanego wcześniej miejsca (bazy). W czasie wykonywania tego zadania powinien korzystać z informacji o otoczeniu podobnie jak każdy nawigator kierujący ruchem jednostki pływającej na akwenach morskich. Informacje te można podzielić na dwie grupy: dane dynamiczne ze współrzędnymi pozycji, parametrami ruchu innych jednostek pływających – pozyskane z radaru i Systemu Automatycznej Identyfikacji (ang. Automatic Identification System – AIS) oraz dane statyczne o środowisku morskim – pozyskane z ENC.

W ramach wskazanej funkcjonalności SNA przygotowywałem moduły służące do zbierania i udostępniania informacji o otoczeniu oraz moduły do planowania drogi i wspomagające kierowanie USV przy przejściu po zaplanowanej drodze.

Pierwszym problemem badawczym, z którym musiałam się zmierzyć, było ustalenie koncepcji wykorzystywania ENC, nie tylko na etapie tworzenia pierwotnego planu drogi – biegnącej z miejsca, w którym zerwana została łączność z USV do miejsca docelowego wcześniej ustalonego (bazy), ale i na etapie tworzenia wtórnego planu drogi – uwzględniającego konieczność wykonania manewrów antykolizyjnych. Trudność w rozwiązaniu tego problemu wynikała głównie z faktu, iż USV jest szybko manewrującą jednostką pływającą i ASN musi podejmować decyzje w bardzo krótkim czasie korzystając zarówno z danych statycznych, jak i dynamicznych.

W celu rozwiązania problemu przeprowadziłem dwie analizy standardu „S-57”. Pierwsza dotyczyła kodowania obiektów opisujących bezpieczne obszary manewrowania USV [OP 1], druga – metod dekodowania i wizualizowania ENC [OP 2]. W wyniku tych analiz wyprowadziłem następujące wnioski:

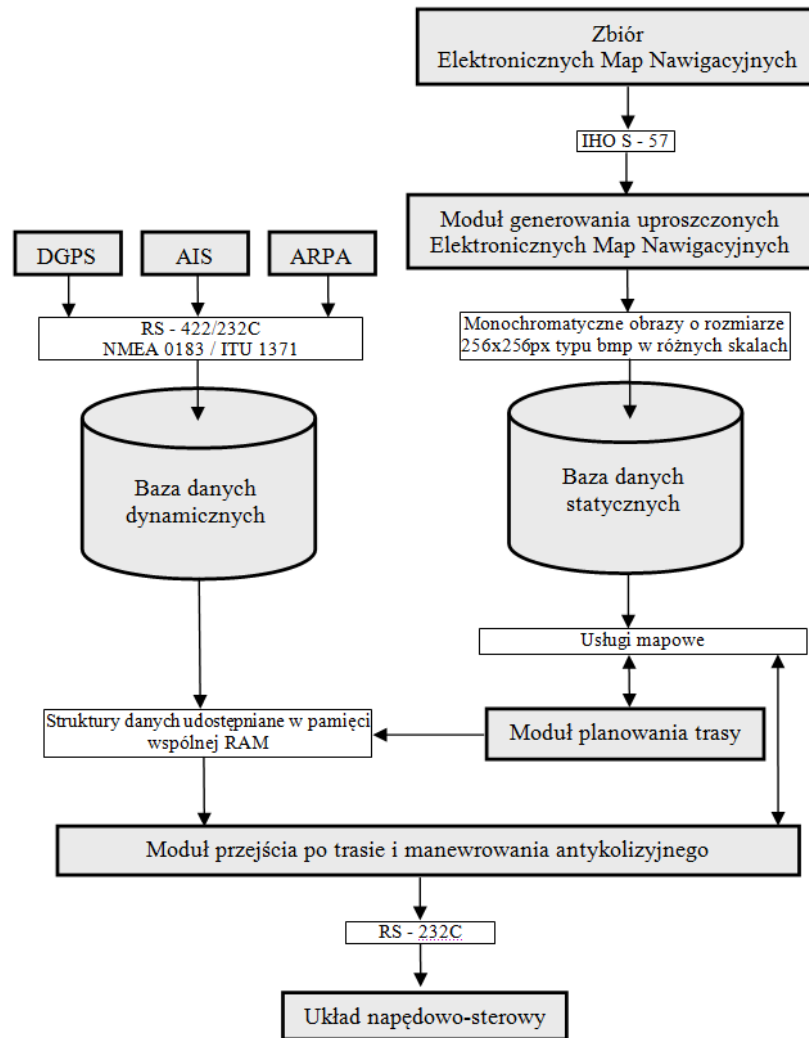
- 1) Metody kodowania ENC oparte są na bardzo skomplikowanych procedurach. Z powodu złożoności procesu przetwarzania nie powinny być one wykorzystywane bezpośrednio w SNA.
- 2) „Katalog Obiektów” standardu „S-57” (zgodny ze Specyfikacją produktu ENC) zawiera zbyt obszerną listę klas obiektów i ich atrybutów. Większość z nich jest wręcz bezużyteczna dla systemu nawigacji autonomicznej ASV.
- 3) Zbiór ENC przed bezpośrednim wykorzystaniem w SNA powinien być wstępnie przetworzony do prostszej postaci.

- 4) Należy opracować uproszczone mapy nawigacyjne, które powinny być budowane w oparciu o obiekty przestrzenne, tworzące tzw. skórę mapy, oznakowanie nawigacyjne i niebezpieczne konstrukcje hydrotechniczne.
- 5) Zastosowanie monochromatycznego obrazu „mapowego” w odwzorowaniu Merkatora wydaje się optymalną formą wstępnego przetwarzania ENC (upraszczania), zarówno pod względem struktury danych, jak i podstawy kartograficznej.

Analizy te pozwoliły na przyjęcie założenia projektowego, iż system nawigacji autonomicznej będzie zasilany uproszczonymi mapami nawigacyjnymi wygenerowanymi z ENC. Mapy te będą miały postać białoczarnych, kafelkowych obrazów rastrowych (monochromatycznych) o niewielkich wymiarach, zaledwie 256x256 pikseli. Dodatkowo, zostaną one uszeregowane skalami w warstwach, które utworzą tzw. piramidę map zbudowaną u podstawy z kafelków w skali map portowych, a przy wierzchołku z kafelków odpowiadających skali map przybrzeżnych.

Dokładniejszy opis zastosowanego rozwiązania zaprezentowano w artykułach opublikowanych w „Polish Hyperbaric Research” [AP 6][AP 7].

Przyjęcie tego założenia dało podstawę do opracowania ostatecznego projektu architektury ASV.



Rys. 4. Architektura autonomicznego systemu nawigacyjnego ASV. Źródło: opracowanie własne

Zgodnie z przyjętą architekturą ASN realizuje następujące zadania:

- gromadzi w bazie danych dynamicznych dane pozyskane z radaru, odbiornika AIS oraz DGPS,
- gromadzi w bazie danych statycznych wygenerowane z ENC uproszczone mapy nawigacyjne,
- przetwarza dane dynamiczne wspólnie ze statycznymi w celu zaplanowania trasy i wykonywania manewrów antykolizyjnych,
- przekazuje wypracowywany kurs i prędkość do układu napędowo-sterowego (w trakcie prowadzenia ASV po zaplanowanej trasie).



W ramach dedykowanego oprogramowania ASN, zapewniającego realizację wymienionych zadań, przygotowywałem projekty i na ich podstawie trzy wymienione poniżej moduły programowe (stanowią one oryginalne osiągnięcia projektowo-konstrukcyjne).

- Moduł do generowania uproszczonych map nawigacyjnych z ENC – jest wykorzystywany na etapie przygotowywania misji ASV. Zasilą bazę danych statycznych uproszczonymi mapami nawigacyjnymi, pokrywającymi akwen manewrowania ASV.
- Moduł usług mapowych – odpowiada za dobór uproszczonych map nawigacyjnych dla USV, zależnie od akwenu, rodzaju i etapu wykonywanej misji. Za jego pośrednictwem SNA jest w stanie wykorzystywać dynamicznie zgromadzone w piramidzie mapy. Może łączyć na przemian mapy o różnych skalach i rozmiarach; wykorzystywać do prowadzenia nawigacji „precyzyjnej” na akwenach portowych mapy cumownicze i portowe, a po wyjściu z portu mapy przybrzeżne; wybierać mapy o dużych rozmiarach przy wyznaczeniu długich tras przejścia, na przykład przy planowaniu misji rozpoczynającej się w porcie i prowadzonej na pełnym morzu, albo o małych rozmiarach, w czasie wykonywania manewru antykolizyjnego (szczególnie na małych odległościach). W przyjętej koncepcji wykonanie każdej zleconej usługi wiąże się z realizacją powtarzającego się procesu składania zmieniającego się dynamicznie obrazu mapy z wielu, selektywnie wybieranych, a następnie odpowiednio wpasowywanych w obraz, uproszczonych map nawigacyjnych (kafelków).
- Moduł planowania trasy korzystający z usług mapowych i przygotowujący plan drogi zmodyfikowanym algorytmem A\* – opis tego modułu został przedstawiony w artykule zamieszczonym w Zeszytach Naukowych Akademii Morskiej w Szczecinie [AP 8].

**Wszystkie opracowane przeze mnie moduły SNA przeszły pomyślnie testy na 6. poziomie gotowości technologicznej i stanowią integralną część opracowanego w ramach projektu rozwojowego nr O R00 0106 12 demonstratora technologii.**

**Za wyniki projektu otrzymałem wyróżnienie (jako członek zespołu) w konkursie o Grand Prix im. Kontradmirala Xawerego Czernickiego na XII Bałtyckich Targach Balt-Military-Expo, odbywających się w Gdańsku, w 2012 roku.**

**Opracowane moduły będą rozwijane do 9. poziomu gotowości technologicznej w ramach kolejnego projektu rozwojowego nr DOBR-BIO4/090/13137/2013 pt. „Autonomiczne platformy nawodne (APN)”, realizowanego w latach 2014–2018.**

Dodatkowo, w ramach tego projektu planowana jest rozbudowa modułów o dodatkowe funkcjonalności związane z autonomicznym manewrowaniem precyzyjnym (na przykład podczas manewru cumowania). W projekcie tym biorę udział również jako główny wykonawca systemu nawigacji autonomicznej.

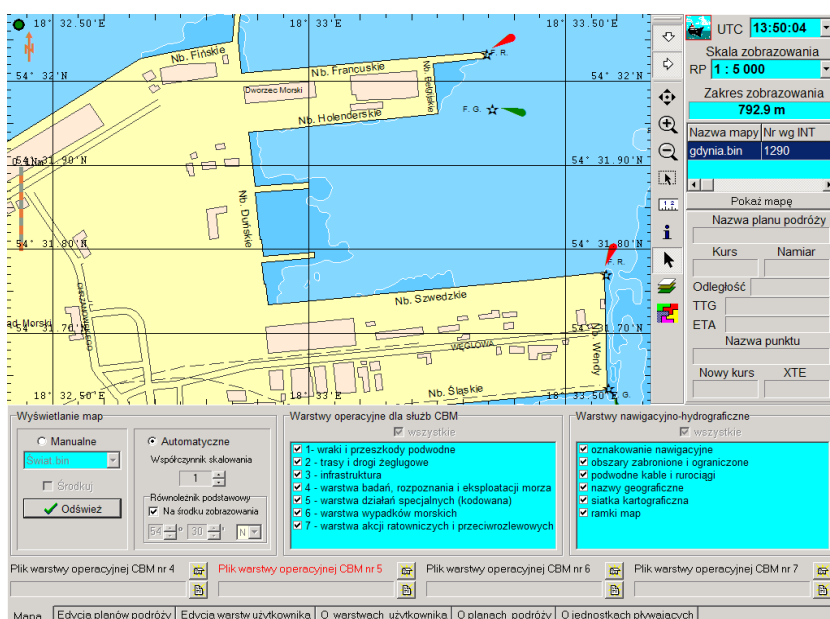
### 2.3.3. System Map Elektronicznych dla Centrum Bezpieczeństwa Morskiego

Opracowany przeze mnie System Map Elektronicznej jest przeznaczony do: zbierania, analizowania, wizualizowania i koordynowania wymiany informacji operacyjnych pomiędzy służbami operacyjnymi Systemu Bezpieczeństwa Morskiego (SBM). Służby te są odpowiedzialne za bezpieczeństwo nawigacyjne jednostek pływających, ludzi i środowiska naturalnego na akwenie Zatoki Gdańskiej.

System wykonywany był w ramach projektu badawczego zleconego przez Urząd Morski w Gdyni pt. „Dedykowana mapa elektroniczna obszarów morskich RP dla celów nadzoru ruchu morskiego przez administrację morską”.

Pierwsza wersja tego rozwiązania została wdrożona w Urzędzie Morskim w Gdyni w 2002 roku, druga w 2003 roku.

Rozwiązanie zostało nagrodzone przez Wojewodę Pomorskiego na Międzynarodowej Wystawie Wynalazków „Innowacje 2003” [BI 3][BI 4][DC 3][DC 4].



Rys. 5. Okno główne aplikacji Systemu Map Elektronicznych dla Centrum Bezpieczeństwa Morskiego. Źródło: opracowanie własne

W ramach prac nad tym rozwiązaniem:

- 1) opracowałem oryginalną metodykę tworzenia ENC przy wykorzystaniu systemu GIS MapInfo,**
- 2) zaprojektowałem i zbudowałem System Map Elektronicznych dedykowany SBM wykorzystujący opracowany typ ENC.**

W przyjętej metodyce tworzenia Elektronicznych Map Nawigacyjnych podstawowym źródłem danych o środowisku morskim były papierowe morskie mapy nawigacyjne i publikacje nautyczne. Na ich podstawie, w oparciu o oprogramowanie MapInfo budowano tzw. warstwy mapowe, zawierające wyspecyfikowane geometryczne dane wektorowe i przypisane do nich dane opisowe. Otrzymywane w ten sposób warstwy (pliki) były następnie konwertowane autorskim programem do standaryzowanej systemowej elektronicznej mapy nawigacyjnej (ang. System Electronic Navigational Chart – SENC). Opracowany przeze mnie standard dla SENC obejmował definicje obiektów i atrybutów oraz format kodowania danych. Został on zoptymalizowany pod kątem prędkości przetwarzania danych oraz zajętości pamięci. Optymalizacja ta miała na celu w głównej mierze zmniejszenie czasu potrzebnego do wygenerowania obrazu mapy z SENC.

Główne fazy konwersji danych wiązały się z transformacją współrzędnych elipsoidalnych WGS-84 na płaskie odwzorowania kartograficznego Merkatora, składaniem prymitywów geometrycznych z współdzielonych fragmentów geometrii, generalizacją (w szczególności geometryczną), zapisaniem danych w rekordach z informacją opisową i geometryczną w formacie binarnym. Problematyka ta została przedstawiona przeze mnie w artykułach [AP 9][AP 10][AP 11].

Projekt Systemu Map Elektronicznych tworzony był przy współpracy ze służbami operacyjnymi Systemu Bezpieczeństwa Morskiego. Jego architektura stanowi rozproszoną bazę danych typu klient-serwer. Każda konsola operatorska włączona do systemu posiada aplikację wizualizującą informację operacyjną na tle obrazu Elektronicznej Mapy Nawigacyjnej. Dodatkowe funkcjonalności systemu związane są z tworzeniem planów podróży statków i dodatkowych warstw tematycznych oraz koordynowaniem wymiany tych informacji w systemie. Opis funkcjonalny opracowanego systemu można znaleźć w artykułach [AP 12][OP 3].

### **2.3.4. Tworzenie dokumentacji kartograficznej dla okrętów Marynarki Wojennej RP**

Kolejne oryginalne rozwiązanie mojego autorstwa to aplikacja programowa służąca do generowania planszetów nawigacyjnych na podstawie ENC. Planszety z wybraną informacją „mapową” generowane są w odwzorowaniu kartograficznym Merkatora z nałożoną siatką geograficzną opartą na elipsoidzie WGS-84. Dodatkowa szata graficzna planszetu tworzona jest zgodnie z normami przyjętymi dla morskich map nawigacyjnych.

**Aplikacja została wdrożona do stosowania w Marynarce Wojennej, w 2006 roku.**

**Za przygotowaną aplikację otrzymałem:**

- 1) nagrodę i dyplom za zajęcie II miejsca w konkursie na najbardziej wartościowy projekt racjonalizatorski i najbardziej wartościowe opracowanie teoretyczne, przydatne dla Marynarki Wojennej w niżej wymienionych obszarach tematycznych: operacyjnym, szkoleniowym, logistycznym, ochrony środowiska, nadane przez Dowódcę Marynarki Wojennej RP w 2006 roku [DC5],**
- 2) nagrodę i wyróżnienie w ogólnopolskim konkursie na najlepszy projekt racjonalizatorski zastosowany w Siłach Zbrojnych RP w 2005 roku, nadane przez Szefa Sztabu Generalnego WP w 2006 roku [DC 6],**
- 3) nagrodę i dyplom za zajęcie I miejsca w konkursie na najlepszy projekt racjonalizatorski zastosowany w jednostkach wojskowych Marynarki Wojennej w danym roku kalendarzowym, nadane przez Dowódcę Marynarki Wojennej RP w 2006 roku [DC 7].**

W ramach prac nad tym rozwiązaniem:

- 1) przygotowałem oryginalną metodę przetwarzania ENC zgodnych ze standardem S-57 na wektorowy obraz „mapowy”, zgodny z formatem EMF (Enhanced Meta File),**
- 2) zaprojektowałem i zbudowałem aplikację do generowania planszetów nawigacyjnych, zgodnie z opracowaną metodą (dokładniejszy opis aplikacji zamieściłem w [OP 4]).**

Opis opracowanej metody i aplikacji programowej przedstawiłem w artykułach prezentowanych na konferencji międzynarodowej „IV International Scientific and Technical Conference EXPLO-SHIP” oraz Zeszytach Naukowych Akademii Marynarki Wojennej [AP 13][C.11.].

Aplikacja ta była rozwijana w ramach projektu badawczego własny nr NN 526 2108 33 pt. „Automatyzacja procesu wyznaczania pozycji jednostki pływającej z wykorzystaniem nawigacji radarowej” w latach 2009–2010.

Użyto jej jako narzędzia badawczego do testowania opracowanych metod wpasowania obrazu radarowego w obraz ENC (obraz ENC generowano w odwzorowaniu kartograficznym UTM). Główny nacisk projektowy w odniesieniu do nowej wersji aplikacji położyłem na opracowanie:

- **procedury wyodrębnienia i przetwarzania danych o oznakowaniu nawigacyjnym zakodowanym w ENC,**
- **szybkich, numerycznych metod obliczeniowych do estymowania współrzędnych pozycji z dużej liczby pomiarów (wykorzystujących geodezyjne metody wyrównania klasycznego i odpornego).**

Dokładniejszy opis funkcjonalny aplikacji zaprezentowałem w dwóch artykułach opublikowanych w czasopiśmie „Logistyka” [AP 14][AP 15].

Aplikację wykorzystałem również do badań własnych, których celem była analiza porównawcza dokładności pozycjonowania statku metodą rozszerzonego filtru Kalmana oraz geodezyjnego wyrównania odpornego. Metodę badania, jego przebieg oraz otrzymane wyniki przedstawiłem w artykule opublikowanym w czasopiśmie „Logistyka” [AP 16].

### **2.3.5. Budowanie obrazu w dynamicznym odwzorowaniu sferycznym**

Opracowane rozwiązanie to wynik badań nad systemami optyczno-porównawczymi do określania pozycji jednostek pływających manewrujących w strefie przybrzeżnej. Opisałem je w artykułach [AC 6][AC 7] przedstawionych w cyklu publikacji powiązanych tematycznie (patrz: 2.4.). Badania te prowadziłem z użyciem wielu unikatowych programowych i sprzętowych rozwiązań, które opracowałem samodzielnie. Spośród nich za najważniejsze oryginalne osiągnięcie projektowo-konstrukcyjne można uznać moduł programowy do generowania obrazu ENC w dynamicznym odwzorowaniu sferycznym. Jego działanie oparte zostało na dwóch wątkach programowych:

- transformacji obiektów przestrzennych ENC,
- odwzorowania i archiwizacji obrazów „mapowych”.

Wątek transformacji odpowiada za odczytywanie rekordów przestrzennych ENC, wyodrębnienie z nich współrzędnych elipsoidalnych i przekształcenie ich na współrzędne ortokartezjańskie.

Wątek odwzorowania i archiwizacji obrazów mapowych realizuje w pierwszej kolejności proces generowania obrazów ENC w dynamicznym odwzorowaniu sferycznym, w drugiej – zapisu wygenerowanych obrazów na dysku komputerowym w postaci plików typu bmp z zakodowanymi indeksami czasowymi w ich nazwach.

Proces generowania obrazu polega na odwzorowywaniu poprzez powierzchnię sfery (lustra) na płaszczyznę (matrycę CCD) wybranych, liniowych obiektów przestrzennych ENC.

Na obrazie prezentowane są tylko te obiekty przestrzenne ENC, które opisują linię styku pomiędzy obszarem wodnym i lądowym. Do nich zaliczono:

- konstrukcje brzegowe (ang. shoreline construction),
- linię ograniczającą obszar lądowy (ang. land area).

Do wyznaczenia punktów pośrednich pomiędzy kolejnymi punktami linii łamanych, reprezentujących wybrane obiekty przestrzenne ENC, zastosowano algorytm do rasteryzacji krawędzi Bresenhama (uznawany za jeden z najbardziej efektywnych zarówno pod względem szybkości działania, jak i dokładności odwzorowywania krawędzi w postaci rastrowej).

Moduł ten będzie wykorzystywany przy prowadzeniu kolejnych badań nad systemami pozycjonowania optyczno-porównawczymi. Jego rozwój już przewidziano w ramach **projektu rozwojowego nr DOBR–BIO4/090/13137/2013 pt. „Autonomiczne platformy nawodne (APN)”, realizowanego w latach 2014–2018**. W tym projekcie biorę udział jako główny wykonawca autonomicznego systemu nawigacyjnego.

Spośród wszystkich wskazanych w autoreferacie oryginalnych rozwiązań projektowo-konstrukcyjnych na szczególną uwagę zasługują:

- 1) aplikacja programowa do budowania obrazu ENC w dynamicznym odwzorowaniu sferycznym,
- 2) aplikacja programowa do trójwymiarowej prezentacji ENC,
- 3) wybrane moduły programowe systemu nawigacji autonomicznej bezzałogowego pojazdu nawodnego.

## 2.4. Cykl publikacji powiązanych tematycznie

Jako cykl publikacji powiązanych tematycznie wskazuję siedem artykułów opublikowanych oraz będących w końcowej fazie publikowania. Ich tematyka związana jest z pozycjonowaniem jednostek pływających manewrujących w strefie przybrzeżnej metodami optycznymi z wykorzystaniem ENC.

- [AC 1] *Dokładność pomiaru kąta poziomego kamerą CCD*. Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej, No. 3 (186), pp. 83–94, Gdynia 2011, współautor M. Wąż. (6 pkt. MNiSW, udział własny – 80%)
- [AC 2] *Evaluation of accuracy the position of the vessel designated stereoscopic cameras system*. “Reports on Geodesy”, No. 1 (88), pp. 79–87, Warszawa 2010. (6 pkt. MNiSW, udział własny – 100%)
- [AC 3] *Accuracy in fixing ship’s positions by CCD camera survey of horizontal angles*. “Geomatics and Environmental Engineering”, Vol. 5/4, pp. 47–61, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 2011. (6 pkt. MNiSW, udział własny – 100%)
- [AC 4] *Accuracy in fixing ship’s positions by camera survey of bearings*. “Geodesy and Cartography”, Vol. 60, No. 1, pp. 61–73, Warszawa 2011, współautor M. Wąż. (9 pkt. MNiSW, udział własny – 80%)
- [AC 5] *Optical fixing the positions of the off–shore objects applying the method of two reference points*. “Geodesy and Cartography”, Vol. 63, No. 1, pp. 65–74, Warszawa 2014, współautor D. Szulc. (8 pkt. MNiSW, udział własny – 80%)
- [AC 6] *Electronic navigational chart as an equivalent to image produced by hypercatadioptric camera system*. “Polish Maritime Research”, Vol. 22, No. 1 (85), Gdańsk 2015. (IF = 0.3, 15 pkt. MNiSW, udział własny – 100%)
- [AC 7] *Determining ship position in a harbour based on omnidirectional image of the coastline*. “Annual of Navigation”, No. 21, pp. 187–214, Gdynia 2014, współautor M. Wąż. (5 pkt. MNiSW, udział własny – 50%)

#### **2.4.1. Geneza problemu rozwiązywanego w cyklu publikacji**

W trakcie procesu prowadzenia morskiej nawigacji przybrzeżnej nawigator wzrokowo identyfikuje znaki nawigacyjne znajdujące się w zasięgu jego widzialności. Mierzy on względem nich kąty i odległości, a także wyznacza, na podstawie wyników pomiarów metodami analitycznymi lub graficznymi współrzędne pozycji jednostki pływającej. Ogólnie można powiedzieć, że w procesie tym wykonuje on czynności jak urządzenie pomiarowe oraz przetwarzające sygnały wizyjne z informacjami o znakach nawigacyjnych – z publikacji nautycznych na współrzędne pozycji.

Do tej pory nie podejmowano prób automatyzacji czynności wykonywanych przez nawigatora, choć pojawiły się: wysokorozdzielcze kamery wizyjne – mogące wspomagać identyfikację i pomiary, Elektroniczne Mapy Nawigacyjne – zawierające informacje o oznakowaniu nawigacyjnym w postaci cyfrowej, komputery o dużej mocy obliczeniowej – pozwalające na przetwarzanie obrazów wizyjnych w czasie rzeczywistym.

W ostatnich latach rozpoznawanie obrazu i wykorzystanie go jako podstawowego źródła informacji o otoczeniu jest przedmiotem wielu badań, szczególnie w dziedzinie fotogrametrii i robotyce interdyscyplinarnej, dziedzinie wiedzy rozwijającej się na styku mechaniki, automatyki, elektroniki, cybernetyki oraz informatyki. Potrzeby nawigacji morskiej w dziedzinie komputerowego przetwarzania obrazu obecnie są zaspokajane tylko w części i dotyczą wizualizacji Elektronicznej Mapy Nawigacyjnej w Systemach Zobrazowania Map Elektronicznych i Informacji, nawigacji porównawczej prowadzonej w oparciu o obraz radarowy, prezentacji sonarowych obrazów dna morskiego. Nieliczne badania związane z przetwarzaniem obrazu dotyczą jedynie automatyzacji procesu prowadzenia jednostki pływającej w osi toru wodnego, linii nabieżnika, w określonym sektorze świetlnym oraz integracji z innymi systemami nawigacyjnymi. Brakuje badań naukowych nad systemem optycznym przeznaczonym do automatyzacji procesu określania współrzędnych pozycji jednostki pływającej manewrującej w strefie przybrzeżnej.

Ta nowa sytuacja implikuje jednak pytania ciekawe z naukowego punktu widzenia:

- 1) Jaką dokładność wyznaczania współrzędnych pozycji jednostki pływającej można uzyskać z wyników pomiarów wykonanych wysokorozdzielczymi kamerami CCD (Charge Coupled Device)?
- 2) Czy istnieją lub czy można opracować metody (algorytmy) obliczeniowe i przetwarzania danych, służące do wyznaczania współrzędnych pozycji jednostki pływającej, z wyników pomiarów wykonanych wysokorozdzielczymi kamerami CCD i danych zawartych w ENC?
- 3) A jeżeli obie odpowiedzi brzmią „tak”, to czy możliwe jest opracowanie optycznego, autonomicznego systemu pozycjonowania jednostek pływających manewrujących w strefie przybrzeżnej?

## **2.4.2. Omówienie cyklu publikacji**

W artykule [AC 1] przedstawiłem badania wstępne nad wysokorozdzielczymi kamerami CCD. Ich celem była ocena dokładności pomiaru kąta poziomego. Na wstępie, opisałem metodę obliczania rozdzielczości i błędu średniego pomiaru. Następnie, opierając się na tej



metodzie, przeprowadziłem analizę dokładnościową pomiaru kąta poziomego wykonanego względem hipotetycznego układu dwóch znaków nawigacyjnych. Wyniki analizy pozwoliły mi na wyprowadzenie wielu wniosków, spośród których za najważniejsze można uznać następujące:

- 1) Dostępne na rynku wysokorozdzielcze kamery CCD mogą zagwarantować wysoką dokładność pomiaru kąta poziomego w granicach optycznego zasięgu widzialności znaków i świateł nawigacyjnych (przy bardzo dobrej widzialności zasięg optyczny może dochodzić nawet do 30 mil morskich).
- 2) Dokładność pomiaru kąta poziomego kamerą można poprawić poprzez odpowiednie ustawienie długości ogniskowej i kierunku osi optycznej kamery. Błąd średni pomiaru przeprowadzonego właściwie ustawioną kamerą może być porównywalny do błędu pomiaru sekstantem, żyrokompasem lub kompasem magnetycznym.

W artykułach [AC 2][AC 3][AC 4] przedstawiłem wyniki przeprowadzonych przeze mnie kolejnych badań wstępnych nad wysokorozdzielczymi kamerami CCD. Dotyczyły one oceny dokładności wyznaczania współrzędnych pozycji z pomiarów odległości, namiarów i kątów poziomych wykonywanych systemem optycznym (składającym się z pojedynczej kamery CCD lub dwóch kamer CCD w układzie stereoskopowym) ze statku na znaki nawigacyjne. Jako poligon testowy do badań przyjąłem akwen Zatoki Gdańskiej. Wykonując obliczenia analitycznie względem geometrycznej struktury pomiarowej utworzonej przez stałe, optyczne znaki nawigacyjne, znajdujące się na wskazanym poligonie testowym, przygotowałem zbiór map z rozkładami dokładności. Zarówno algorytm obliczeniowy służący do wyznaczania zbioru punktów ze wskaźnikami dokładnościowymi rozłożonych równomiernie na zadanym obszarze, jak i część oprogramowania narzędziowego (wykorzystującego w swojej pracy Elektroniczne Mapy Nawigacyjne) są oryginalnymi rozwiązaniami mojego autorstwa.

W artykułach wykazałem, że dokładność wyznaczania współrzędnych pozycji z pomiarów odległości, namiarów i kątów poziomych wykonanych systemem optycznym w głównej mierze jest funkcją tzw. współczynnika geometrycznego, zależnego od położenia jednostki pływającej w stosunku do optycznych, stałych znaków nawigacyjnych (kształtu geometrycznej struktury pomiarowej). Wielkość błędu średniego pomiaru odległości, namiaru i kąta poziomego, przy ciągłym utrzymywaniu optymalnych ustawień wewnętrznych i zewnętrznych systemu optycznego, zmienia się nieznacznie. Z tego powodu błąd ten można przyjmować jako stały dla danego systemu optycznego. Otrzymane wyniki badań i analiza opracowanych map

z rozkładami dokładności pozwoliły na wyprowadzenie wielu wniosków. Oto najważniejsze z nich:

- 1) Dokładność pomiaru odległości, namiaru i kąta poziomego można poprawić poprzez dokładniejszy pomiar długości bazy (w przypadku systemu stereoskopowego) i ogniskowej.
- 2) Zamontowany na jednostce pływającej system stereoskopowy o stumetrowej bazie, zbudowany w oparciu o dostępne na rynku, wysokorozdzielcze kamery CCD, może zagwarantować satysfakcjonującą dokładność pomiaru odległości w granicach optycznego zasięgu widzialności znaków i świateł nawigacyjnych.
- 3) Wyniki pomiarów odległości, namiaru i kąta poziomego wykonanych ze statku, w połączeniu ze współrzędnymi pozycji znaków nawigacyjnych odczytanymi z ENC, mogą być wykorzystane do obliczenia współrzędnych pozycji statku w systemach nawigacji autonomicznej.
- 4) Dokładność współrzędnych pozycji otrzymywanych z pomiarów wykonywanych wysokorozdzielczymi kamerami CCD jest wyższa od dokładności wymaganej w fazie nawigacji przybrzeżnej, podejściowej do portów i portowej. Bazując na wymaganiach dla GMDSS-u (NAV 47/7/1 ANNEX2 p.5 IMO), można stwierdzić, że dokładność określania współrzędnych pozycji w fazie nawigacji przybrzeżnej powinna być wyższa od 100 m (P = 95%). Natomiast bazując na Res. 815(19), można stwierdzić, że w fazie nawigacji podejściowej do portu i portowej wymagana dokładność zależy od lokalnych warunków. Najczęściej jednak przyjmowana jest na poziomie rzędu 10 m (P = 95%).

Otrzymane pozytywne wyniki wszystkich badań wstępnych uzasadniły celowość prowadzenia kolejnych, związanych z praktycznym zastosowaniem wysokorozdzielczych kamer CCD do pozycjonowania jednostek pływających. Zarówno pozycjonowania realizowanego na samej jednostce pływającej, jak i pozycjonowania nawodnych obiektów morskich realizowanego z lądu (jednostek pływających, różnych konstrukcji pływających, staw, pław itp.).

Na początku skoncentrowałem się na optycznych metodach monitorowania pozycji nawodnych obiektów morskich z lądu. Jest to jedno z głównych zadań realizowanych przez urzędy morskie, marynarki wojenne, straże graniczne większości państw na świecie. Zadanie to wykonywane jest obecnie najczęściej przy zastosowaniu systemów radarowych. Mają one wiele zalet, na przykład pozwalają na natychmiastowy pomiar rzeczywistych wartości namiaru i odległości do śledzonego obiektu i określenie jego parametrów ruchu. Niestety, dane te obarczone są błędami, które w konsekwencji wpływają na dokładność wyznaczania pozycji obserwowanego celu. Ponadto, w szczególnych sytuacjach, radarowe promieniowanie elektromagnetyczne może być nieuzasadnione.

Jeśli wziąć pod uwagę rosnące zapotrzebowanie na zwiększenie dokładności pozycjonowania obiektów morskich oraz skrytości śledzenia, wprowadzenie optycznych metod lokalizacji nawodnych obiektów morskich z lądu wydaje się mieć uzasadnienie.

W związku z powyższym w artykule [AC 5] przedstawiłem oryginalną, optyczną metodę wyznaczania pozycji obiektów nawodnych z lądu, opartą na dwóch punktach odniesienia o znanych współrzędnych geograficznych. Pierwszy, „lądowy”, umiejscowiono wysoko na brzegu morza – ma służyć do zamontowania kamery. Drugi, „nawodny”, ulokowany na poziomie lustra wody – jest przeznaczony do określania położenia płaszczyzny horyzontu topocentrycznego.

Zaprezentowana metoda wyznaczania pozycji morskich obiektów nawodnych z lądu jest łatwa w użyciu przy budowie systemu optycznego na dowolny obszar morski. Wymaga jedynie wyznaczenia współrzędnych dwóch punktów odniesienia oraz przeprowadzenia względem nich prostej kalibracji układu optycznego kamery.

Jest to rozwiązanie nowe, nieopisywane dotychczas w literaturze geodezyjnej i nawigacyjnej. Kolejne moje badania są związane z optyczno-porównawczymi metodami pozycjonowania opartymi na obrazie dookólnym, wizyjnym obrazie pozyskiwanym z kamery CCD oraz ekwiwalentnym do niego obrazie generowanym z ENC.

ENC jest dzisiaj podstawowym źródłem informacji o środowisku morskim dla nawigatora na prawie każdym statku. W oparciu o nią planuje i monitoruje on swoją podróż. Dodatkowo, już w trakcie podróży, wykorzystuje ją do prowadzenia nawigacji terestrycznej, zwanej inaczej nawigacją obserwacyjno-porównawczą. Nawigator porównuje wówczas wybrane obiekty przestrzenne zawarte w ENC (reprezentujące na przykład znaki nawigacyjne, krawędzie linii brzegowej i falochronów czy też wynurzające się odosobnione niebezpieczeństwa nawigacyjne) z widzianymi w rzeczywistości, rozpoznając w ten sposób wybrzeże. Następnie wyznacza względem zidentyfikowanych obiektów położenie statku. W przenośni można powiedzieć, że realizując proces nawigacji optyczno-porównawczej, pełni on rolę urządzenia pomiarowego (na przykład kamery rejestrującej obraz) oraz komputera przetwarzającego zarejestrowany rzeczywisty obraz z wybranymi wzorcami zawartymi w ENC w celu ich porównania ze sobą i w dalszej kolejności wyznaczenia względem zidentyfikowanych pozycji. W artykule [AC 6] przedstawiłem model dynamicznego odwzorowania hiperboloidalnego ENC do budowania obrazu, który będzie stanowił ekwiwalentny odpowiednik obrazu uzyskiwanego z dookólnego systemu optycznego składającego się z hiperboloidalnego lustra oraz perspektywicznej kamery CCD (ang. hypercatadioptric camera system is composed of a hyperbolic mirror and a perspective camera CCD).

W literaturze geodezyjnej i nawigacyjnej brak jest teorii na temat dynamicznego odwzorowania hiperboloidalnego. Z tego względu pod pojęciem „dynamiczne odwzorowanie hiperboloidalne” proponuję przyjąć odwzorowanie opierające się na dwóch powierzchniach rzutowania (hiperboloidzie i płaszczyźnie) i dwóch środkach rzutowania (ogniskowej hiperboloidy i ogniskowej obiektywu kamery), związanych sztywno z jednostką pływającą w ruchu (stąd właśnie określenie „odwzorowanie dynamiczne” w jego nazwie). W procesie rzutowania w odwzorowaniu tym wykorzystuje się trzy układy odniesienia. Układy obserwatora i horyzontalny topocentryczny (oba związane z jednostką pływającą) jako wtórne oraz geocentryczny jako pierwotny. W odwzorowaniu tym konieczne staje się określanie położenia układu odniesienia obserwatora i horyzontalne topocentrycznego względem geocentrycznego układu odniesienia zależnie od kursu i pozycji jednostki pływającej.

Opracowany model odwzorowania w przyszłości można będzie zaimplementować do systemów optyczno-porównawczych oraz do dookólnych systemów optycznych monitorujących ruch statków.

System optyczno-porównawczy mógłby być stosowany na jednostkach pływających manewrujących w strefie przybrzeżnej (w tym również bezzałogowych) – jako system autonomiczny lub wspomagający inne systemy nawigacyjne (na przykład Loran C lub GPS) w warunkach wykluczających wykorzystanie tych systemów.

Dookólny system optyczny monitorujący ruch statków mógłby być stosowany na jednostkach pływających oraz lądowych systemach kontroli i nadzoru ruchu statków (ang. Vessel Traffic Service – VTS) w warunkach dobrej widzialności, jak również jako system autonomiczny lub wspomagający system AIS i system radarowy.

W następnych badaniach podjąłem się próby oceny dokładności wyznaczania współrzędnych pozycji statku manewrującego w porcie metodą dopasowywania obrazu linii brzegowej sztucznej – generowanej z ENC do rzeczywistej – obserwowanej kamerą CCD. Dopasowywano obrazy typu dookólnego. Rzeczywiste obrazy rejestrowano systemem optycznym, składającym się z perspektywicznej kamery CCD i lustra sferycznego. Sztuczne obrazy generowano komputerowo z ENC w ekwiwalentnym do obrazu rzeczywistego dynamicznym odwzorowaniu sferycznym.

Z racji unikatowości badań zmuszony byłem do zastosowania wielu własnych, oryginalnych metod i narzędzi badawczych. Między innymi zaprojektowałem, a następnie zbudowałem:

- 1) statkowy system zbierania danych wyposażony w system optyczny z lustrem sferycznym (ang. spherical catadioptric camera system – SCCS),

- 2) cztery moduły programowe służące do:
- generowania krawędziowego obrazu ENC w dynamicznym odwzorowaniu sferycznym,
  - przetwarzania obrazu wizyjnego na obraz krawędziowy,
  - przeprowadzania porównywania krawędziowego obrazu wizyjnego z serią krawędziowych obrazów mapowych,
  - oceny dokładności wyznaczania współrzędnych pozycji metodą dopasowywania linii brzegowej w stosunku do pozycji wzorcowej.

Mimo wielu niedoskonałości opracowanych, prototypowych metod i narzędzi badawczych otrzymane wyniki dały podstawę do stwierdzenia, iż dokładność wyznaczania współrzędnych pozycji jednostki pływającej zaproponowaną metodą może być wysoka (w badaniach błąd średni wyznaczanych współrzędnych pozycji wyniósł około 6 m). Z wyników badań wynikało również, że najważniejszymi czynnikami decydującymi o dokładności wyznaczania współrzędnych pozycji są:

- jakość detekcji linii brzegowej na obrazie rzeczywistym,
- nieregularność kształtu linii brzegowej,
- dokładność współrzędnych punktów (węzłów) opisujących kształt linii brzegowej w ENC.

Dokładny opis przedstawionych badań zamieściłem artykule [AC 7].

Podsumowując opis cyklu powiązanych tematycznie publikacji, warto zwrócić uwagę szczególnie na oryginalne rozwiązania przedstawione w pracach:

1. *Optical fixing the positions of the off-shore objects applying the method of two reference points* [AC 5],
2. *Electronic navigational chart as an equivalent to image produced by hypercatadioptric camera system* [AC 6],
3. *Determining ship position in a harbour based on omnidirectional image of the coastline* [AC 7].

## 2.5. Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze

Pracę naukową rozpocząłem na stanowisku asystenta w Instytucie Nawigacji i Hydrografii Morskiej na Wydziale Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego Akademii Marynarki Wojennej. Moje zainteresowania naukowe już od początku pracy były skupione wokół problematyki związanej z Elektroniczną Mapą Nawigacyjną. Wówczas po raz pierwszy wziąłem udział w pracy statutowej pt. „System Elektronicznej Mapy Nawigacyjnej dla potrzeb Marynarki Wojennej” oraz projekcie badawczym celowym nr 148/35/C–T00/98 pt. „System mapy cyfrowej obiektów minopodobnych” (wykonawca, 1998–2000). Realizując moje pierwsze zadanie badawcze, zajmowałem się problematyką związaną ze specjalnym zobrazowywaniem ENC w Systemach Map Elektronicznych (ang. Electronic Charts System – ECS). Wyniki badań prezentowane były na trzech konferencjach krajowych [C.1.][H.2.][H.4.]. W kolejnych latach przygotowywałem rozprawę doktorską pt. „Zastosowanie dynamicznego odwzorowania perspektywicznego do zobrazowania Elektronicznej Mapy Nawigacyjnej”, którą obroniłem z wyróżnieniem (patrz: 2.3.1.).

Kontynuując pracę naukową na stanowisku adiunkta w Instytucie Nawigacji i Hydrografii Morskiej, w dalszym ciągu aktywnie uczestniczyłem w pracach naukowych oraz wdrożeniowych. W latach 2001–2003 byłem głównym wykonawcą Systemu Elektronicznych Map Nawigacyjnych dedykowanego Centrum Bezpieczeństwa Morskiego, realizowanego w ramach projektu zleconego przez Urząd Morski w Gdyni (patrz: 2.3.3.).

Moja praca naukowa została ukierunkowana wówczas na opracowanie koncepcji ENC 3D. Realizując zadania badawcze w ramach pracy statutowej pt. „System Elektronicznej Mapy Nawigacyjnej akwenów wewnętrznych”, przeprowadziłem ocenę „dokładnościową” metod pomiarowych danych batymetrycznych wykorzystywanych do budowania ENC 3D. Uwidoczniała ona, iż istotnym czynnikiem, wpływającym na dokładność pomiarów batymetrycznych, jest brak korelacji pozycji anteny systemu pozycyjnego z pozycją punktu odbicia fali akustycznej od dna, szczególnie podczas zakłóconego ruchu pomiarowej jednostki pływającej. Problem ten można rozwiązać poprzez zastosowanie odpowiednich metod kompensacji przechyłów. Metody te powinny uwzględniać w swoim działaniu ciągłe zmiany kierunku wiązki akustycznej.

Jestem współautorem trzech oryginalnych metod kompensacji przechyłów pomiarowej jednostki pływającej:

- metody opartej na układzie trzech niewspółliniowych punktów sztywno związanych z kadłubem pomiarowej jednostki pływającej,

- metody opartej na dwóch punktach znajdujących się w osi wiązki akustycznej,
- metody opartej na obrazach z dwóch kamer wizyjnych – wykorzystującej w swoim działaniu zależność pomiędzy kątem przechyłu a kątem utworzonym pomiędzy poziomą krawędzią obrazu z kamery i linią widnokręgu.

Wyniki tych badań zostały zaprezentowane w czterech artykułach [C.5.][C.8.][C.9.][C.10.] opublikowanych w „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji” i „Reports on Geodesy” oraz wykorzystane do przygotowania czterech – wdrożonych do stosowania rozwiązań technicznych [A.4.][A.5.][A.8.][A.9.].

Kolejne moje badania dotyczyły tworzenia i wizualizacji ENC 3D. Znalazły one odzwierciedlenie w projekcie badawczym własnym nr 0 T00A 002 30 pt. „Model trójwymiarowego zobrazowania dna morskiego w okrętowym systemie zobrazowania mapy elektronicznej i informacji”, realizowanym w latach 2005–2008. Byłem pomysłodawcą i kierownikiem tego projektu (patrz: 2.3.1.).

W tym czasie wdrożyłem do stosowania na szczeblu Akademii Marynarki Wojennej i Dowództwa Marynarki Wojennej kolejne rozwiązania techniczne (w tym kilka oryginalnych). Oprócz wymienionych w pkt. 2.3., na szczególną uwagę zasługują następujące:

- 1) metoda oraz aplikacja wspomagająca generalizację obiektów geometrycznych zawartych w Elektronicznej Mapie Nawigacyjnej, Gdynia 2004,
- 2) programowa implementacja globalnego modelu geoidy EGM96, Gdynia 2005,
- 3) konwertowanie Elektronicznej Mapy Nawigacyjnej zgodnej ze standardem S-57 do plików typu mif i mid dedykowanych Systemowi Informacji Geograficznej MapInfo, Gdynia 2006.

Równolegle, w ramach mojej działalności naukowej na rzecz obronności państwa, brałem udział w przygotowywaniu czterech norm obronnych (tematycznie związanych z ENC/AML i ECDIS/WECDIS):

- 1) NO-06-A058-7:2005, Cyfrowe mapy morskie – Dodatkowe Warstwy Wojskowe – Część 7: Trasy (Digital nautical charts – Additional Military Layers – Part 7: Routes, areas and limits),
- 2) NO-07-A080:2006, Locja działań minowych – Bałtyk Południowy – Trasy Q (Mine warfare pilots – Southern Baltic – Q router),

- 3) NO-06-A062-1:2007, Okrętowy system obrazowania elektronicznej mapy i informacji nawigacyjnej – Część 1: Wymagania ogólne (Warship Electronic Chart Display and Information System – Part 1: General requirements),
- 4) NO-06-A062-2:2007, Okrętowy system obrazowania elektronicznej mapy i informacji nawigacyjnej – Część 2: Metody badań i wymagane wyniki badań (Requirements for a research method and results it delivers, when used for researching the Warship Electronic Chart Display and Information System (WECDIS), have been defined in this Standard).

Za wszystkie, przeprowadzone w całym tym okresie prace badawcze oraz normalizacyjne uzyskałem wiele nagród. Oprócz wymienionych w pkt. 2.3., zaliczają się do nich:

- 1) nagroda za zajęcie III miejsca w Konkursie im. Marka Kwieka za artykuł: *Wyznaczanie stref dokładności systemów hydronawigacyjnych*, Polskie Towarzystwo Akustyczne, Rzeszów 2001,
- 2) nagroda i dyplom za zajęcie miejsca wyróżniającego w konkursie na najbardziej wartościowy projekt racjonalizatorski i na najbardziej wartościowe opracowanie teoretyczne, niebędące projektem racjonalizatorskim przydatne dla MW (za projekt pt. „Komputerowe wspomaganie generalizacji obiektów geometrycznych zawartych w Elektronicznej Mapie Nawigacyjnej”), Gdynia 2003,
- 3) nagroda i dyplom za zajęcie II miejsca w konkursie-plebiscycie o tytuł „Racjonalizatora i Wynalazcy Marynarki Wojennej”, organizowanym przez Komisję ds. Wynalazczości Marynarki Wojennej, Gdynia 2004,
- 4) **odznaka honorowa „Za Zasługi dla Wynalazczości”, nadana przez Prezesa Rady Ministrów RP, Warszawa 2005.**

W wyniku zrealizowanych prac badawczych i normalizacyjnych powstało również wiele artykułów, których jestem współautorem i autorem. Zostały one zaprezentowane na konferencjach krajowych i międzynarodowych oraz opublikowane w czasopiśmie naukowych, m.in.: „Polish Journal of Environmental Studies” oraz „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji” [C.5.][C.6.][C.13.][C.16.][C.21.][C.26.][H.1.] [H.10.].

Kontynuując pracę badawczą związaną z wykorzystaniem ENC 2D i ENC 3D w dalszym ciągu aktywnie uczestniczyłem w kolejnych projektach badawczych (w charakterze głównego wykonawcy):

- 1) nr NN 526 2108 33, „Automatyzacja procesu wyznaczania pozycji jednostki pływającej z wykorzystaniem nawigacji radarowej”, realizowany 2007–2010,



- 2) nr 0537/B/T00/2009/37, „Wielowymiarowe zobrazowanie okrętowego radaru nawigacyjnego do detekcji obiektów o niskiej wykrywalności”, realizowany 2009–2012.

Celem pierwszego projektu było ustalenie możliwości automatyzacji procesu pozycjonowania metodą wpasowania obrazu radarowego w obraz ENC. Moim zadaniem naukowym było opracowanie (patrz: 2.3.4.):

- procedur wyodrębniania i przetwarzania danych o oznakowaniu nawigacyjnym, zakodowanych w ENC,
- szybkich, numerycznych metod obliczeniowych do estymowania współrzędnych pozycji z dużej liczby pomiarów (wykorzystujących geodezyjne metody wyrównania klasycznego i odpornego).

W ramach drugiego projektu, korzystając z moich wyników badań nad ENC 3D, przygotowałem algorytm generowania trójwymiarowego zobrazowania radarowego. Algorytm ten zaimplementowano do aplikacji programowej i sprawdzono w działaniu. W końcowym etapie projektu aplikacja ta stanowiła główne narzędzie wspomagające badania testowo-weryfikacyjne opracowanych metod detekcji obiektów o niskiej wykrywalności.

Wyniki tych badań opublikowałem w czasopiśmie „Logistyka” i Zeszytach Naukowych Akademii Marynarki Wojennej [C.23.][C.25.][C.46.].

W tym czasie otrzymałem dwie nagrody rektorskie:

- 1) III stopnia, za działalność naukowo-badawczą realizowaną w ramach projektu badawczego własnego nr OT00A00230 pt. „Model trójwymiarowego zobrazowania dna morskiego w okrętowym systemie zobrazowania mapy elektronicznej i informacji” (jako kierownika projektu), Gdynia 2009,
- 2) II stopnia, za współudział w realizacji projektu badawczego pt. „Nawigacyjno-hydrograficzne zabezpieczenie działalności na polskich obszarach morskich”, Gdynia 2012.

Pozostając wiernym głównemu nurtowi badań naukowych, rozpocząłem badania naukowe związane z opracowaniem koncepcji wykorzystania ENC w autonomicznym systemie nawigacyjnym. Prowadziłem je w ramach projektu rozwojowego nr O R00 0106 12 pt. „Zintegrowany system planowania perymetrycznej ochrony i monitoringu morskich portów i obiektów krytycznych oparty o autonomiczne bezałogowe jednostki pływające”, realizowanego w latach 2010–2012 (patrz: 3.3.2.).

Prowadziłem również badania związane tzw. Web mappingiem oraz analizą danych AIS w ramach pracy statutowej pt. „Badanie ruchu statków z wykorzystaniem systemu automatycznej identyfikacji”. Jako główny wykonawca, opracowałem prototypowy geoportal udostępniający przez Internet obraz ENC oraz dane o ruchu statków śledzonych w AIS. Był to pierwszy w Polsce geoportal udostępniający obraz ENC i dane AIS, korzystający ze standaryzowanych przez OGC (ang. Open Geospatial Consortium) interfejsów: WMS (ang. Web Map Service) i WFS (ang. Web Feature Service).

Wyniki tych badań przedstawiłem w artykułach opublikowanych w „Annual of Navigation”, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, kwartalniku „Bellona” oraz w Zeszytach Naukowych Akademii Marynarki Wojennej [C.17.][C.18.][C.20.][C.22.].

Znalazły one także odzwierciedlenie w zgłoszeniu patentowym i dwóch wdrożeniach:

- 1) Sposób kodowania i transportu danych w Systemie Automatycznej Identyfikacji Statków – AIS, zgłoszenie patentowe, Gdynia 2007,
- 2) System monitorowania ruchu jednostek pływających, Gdynia 2011,
- 3) Generator sygnałów rozgłoszeniowych TCP/IP wraz z modułem ich odbioru dla systemu monitorowania ruchu jednostek pływających, Gdynia 2012.

Istotną część mojej działalności naukowej stanowiła problematyka związana z pozycjonowaniem jednostek pływających manewrujących w strefie przybrzeżnej metodami optycznymi z wykorzystaniem ENC. Tę część badań przedstawiłem w cyklu publikacji powiązanych tematycznie (patrz: 2.4.).

Kolejne badania realizowałem w ramach projektu badawczego zleconego przez firmę Asseco Poland SA. Jestem współautorem algorytmu symulacji zmian pozycji jednostki pływającej na podstawie szczątkowych danych o pozycji i wektorze ruchu z uwzględnieniem wpływu parametrów środowiskowych (wiatru, prądu morskiego, falowania), a także autorem aplikacji programowej do testowania przygotowanego algorytmu w działaniu z ENC. Rozwiązanie oparte na stworzonym algorytmie zostało wdrożone w dwóch państwach europejskich basenu Morza Śródziemnego w 2014 roku.

Obecnie prowadzę dalsze badania związane z ENC jako główny wykonawca w ramach dwóch projektów rozwojowych (patrz: 2.3.1. i 2.3.2.) i jednego projektu międzynarodowego:

- 1) projekt rozwojowy nr DOBR–BIO4/090/13137/2013, „Autonomiczne platformy nawodne (APN)”, realizowany przez konsorcjum w składzie: Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Centrum Techniki Morskiej SA (lider projektu), Akademia Marynarki

Wojennej, Centrum Techniki Okrętowej SA, Politechnika Gdańska, Politechnika Warszawska, realizowany 2014–2018,

- 2) projekt rozwojowy nr DOBR-BIO4/033/13015/2013, „Autonomiczne pojazdy podwodne z cichym napędem falowym dla rozpoznania podwodnego”, realizowany przez konsorcjum w składzie: Akademia Marynarki Wojennej, Politechnika Krakowska, Przedsiębiorstwo Badawczo-Produkcyjne FORKOS Sp. z o.o., Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów, realizowany 2014–2016,
- 3) projekt badawczy międzynarodowy finansowany w ramach konkursu „BONUS 2012 Innovation”, „The Captain Assistant system for Navigation and Routing during Operations in Harbor” („System asystujący kapitanowi w nawigacji podczas operacji w porcie”), realizowany przez konsorcjum międzynarodowe w składzie: Astri Polska (lider projektu), Akademia Marynarki Wojennej, Aachener Gesellschaft für Innovation und Technologietransfer m.B.H. (AGIT/ARIC) – Niemcy, Aachen University Institute of Automatic Control (RWTH, IRT) – Niemcy, l’Université de Montpellier (UM) – Francja, realizowany 2014–2016.

Pierwsze wyniki tych badań zostały opublikowane w trzech artykułach [H.18.][C.55.][C.56.] (jeden z nich w „Annual of Navigation”).

Sumaryczne zestawienie osiągnięć w pracy naukowo-badawczej przedstawiono w tabeli poniżej:

<b>Lp.</b>	<b>Rodzaj osiągnięcia naukowo-badawczego</b>	<b>Razem (jako autor lub współautor)</b>
1.	Uzyskana liczba punktów parametrycznych (na podstawie wykazów czasopism wraz z liczbą punktów MNiSW oraz wcześniej MEiN, MNiI i KBN)	426
2.	Wynalazki, wzory użytkowe i przemysłowe	17
3.	Autorstwo lub współautorstwo monografii	2
4.	Autorstwo lub współautorstwo publikacji naukowych w czasopismach międzynarodowych lub krajowych	60
5.	Autorstwo lub współautorstwo opracowań zbiorowych, katalogów zbiorów, dokumentacji prac badawczych, ekspertyz	12
6.	Kierowanie międzynarodowymi lub krajowymi projektami badawczymi	1
7.	Udział w międzynarodowych lub krajowych projektach badawczych	30

8.	Międzynarodowe lub krajowe nagrody za działalność naukową	9
9.	Wygłoszone referaty na międzynarodowych lub krajowych konferencjach tematycznych	18

Pełne zestawienie moich osiągnięć naukowo-badawczych znajduje się w załączniku nr 3.

## 2.6. Dorobek dydaktyczno-popularyzatorski

Jestem członkiem w następujących organizacji (towarzystw) naukowych:

- 1) Polskiego Forum Nawigacyjnego,
- 2) Polskiego Towarzystwa Nautologicznego.

Jestem członkiem Rady Bibliotecznej Akademii Marynarki Wojennej (drugą kadencję).

W latach 1998–2013 byłem opiekunem studenckiego koła naukowego „FiLambda”.

Prowadzę działalność ekspercką jako:

- 1) ławnik Izby Morskiej przy Sądzie Okręgowym w Gdańsku, od 2014 roku [PC 1],
- 2) egzaminator CMKE (Centralnej Morskiej Komisji Egzaminacyjnej powołanej zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury i Rozwoju ), od 2014 roku [PC 2],
- 3) członek wydziałowej komisji ds. jakości kształcenia na kierunku studiów nawigacja, Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego, Akademia Marynarki Wojennej, Gdynia 2013.

Wielokrotnie popularyzowałem wyniki badań na:

- 1) Bałtyckim Festiwalu Nauki, Gdynia (udział wielokrotny),
- 2) Bałtyckich Targach Militarnych Balt-Military-Expo, Gdańsk 2003,
- 3) wystawie SMM Hamburg (Shipbuilding, Machinery & Marine Technology), Hamburg 2005,
- 4) konferencji naukowo-technicznej „NAVSUP”, Akademia Marynarki Wojennej, Gdynia (udział wielokrotny).

Prowadzę zajęcia dydaktyczne na I i II stopniu studiów dziennych i zaocznych na kierunku Nawigacja i Mechatronika oraz studiach podyplomowych z przedmiotów:

- Systemy Informacji Przestrzennej (wykłady, ćwiczenia, laboratoria) – kierownik przedmiotu,
- Geoinformatyka (wykłady, ćwiczenia, laboratoria) – kierownik przedmiotu,
- Systemy pozycjonowania obiektów (wykłady, ćwiczenia),
- Nawigacja i Astronawigacja (wykłady, ćwiczenia, laboratoria) – w ramach praktyk astronomiczno-nawigacyjnych,
- Urządzenia nawigacyjne (wykłady, ćwiczenia) – w latach 1998–2005.

Prowadzę zajęcia dydaktyczne na kursach kwalifikacyjnych STCW dla oficerów pokładowych na poziomie operacyjnym i zarządzania:

- Kurs operatorów Systemów Zobrazowania Mapy Elektronicznej i Informacji Nawigacyjnej (wykłady, ćwiczenia, laboratoria) – kierownik kursu (**w ramach grupy roboczej z Polski uczestniczyłem w przygotowaniu propozycji zmian do programu modelowego IMO dla tego kursu [AP 17]**),
- Urządzenia nawigacyjne (wykłady, ćwiczenia) – w latach 1998–2005.

Sumaryczne zestawienie osiągnięć w pracy dydaktyczno-popularyzatorskiej przedstawiono w tabeli poniżej:

Lp.	Rodzaj osiągnięcia dydaktyczno-popularyzatorskiego	Razem (jako autor lub współautor)
1.	Uczestnictwo w programach europejskich i innych programach międzynarodowych lub krajowych	5
2.	Udział w międzynarodowych lub krajowych konferencjach naukowych	28
3.	Udział w komitetach organizacyjnych międzynarodowych lub krajowych konferencji naukowych	7
4.	Otrzymane nagrody i wyróżnienia	6
5.	Udział w konsorcjach i sieciach badawczych	6
6.	Kierowanie projektami (zespołami badawczymi) realizowanymi we współpracy z naukowcami z innych ośrodków polskich i zagranicznych	5
7.	Członkostwo w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych	4

8.	Osiągnięcia w zakresie popularyzacji nauki	12
9.	Opieka naukowa nad studentami (liczba studentów)	113
10.	Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego lub promotora pomocniczego	1
11.	Wykonanie ekspertyz lub innych opracowań na zamówienie organów władzy publicznej, samorządu terytorialnego, podmiotów realizujących zadania publiczne lub przedsiębiorców	12
12.	Udział w zespołach eksperckich i konkursowych	3
13.	Recenzowanie projektów międzynarodowych lub krajowych oraz publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych	21
14.	Opracowanie treści programowych (liczba przedmiotów)	3
15.	Prowadzenie zajęć dydaktycznych (liczba przedmiotów)	6
16.	Prowadzenie zajęć dydaktycznych na kursach kwalifikacyjnych STCW dla oficerów pokładowych na poziomie operacyjnym i zarządzania (liczba przedmiotów/kursów)	2
17.	Recenzowanie prac inżynierskich i magisterskich	około 50

Pełne zestawienie mojego dorobku dydaktyczno-popularyzatorskiego znajduje się w załączniku nr 3.

### 3. Załączniki do niniejszego autoreferatu

Artykuły dołączone w postaci kopii papierowych:

- [AC 1] *„Evaluation of accuracy the position of the vessel designated stereoscopic cameras system”*
- [AC 2] *„Dokładność pomiaru kąta poziomego kamerą CCD”*
- [AC 3] *„Accuracy in fixing ship’s positions by CCD camera survey of horizontal angles”*
- [AC 4] *„Accuracy in fixing ship’s positions by camera survey of bearings”*
- [AC 5] *„Optical fixing the positions of the off–shore objects applying the method of two reference points”*
- [AC 6] *„Electronic Navigational Chart as equivalent omnidirectional image of the hypercatadioptric camera system”*
- [AC 7] *„Precision in determining ship position using the omnidirectional map to visual shoreline image comparative method”*

Artykuły dołączone w postaci plików pdf:

- [AP 1] „DTM grid type with constant area method”
- [AP 2] „DTM grid based on UTM projection”
- [AP 3] „DTM grid based on UPS projection”
- [AP 4] „Wizualizacja wielowymiarowego obrazu radarowego”
- [AP 5] „Trójwymiarowa wizualizacja informacji radiolokacyjnej”
- [AP 6] „S-57 standard as a data carrier for a simplified navigational chart”
- [AP 7] „A simplified navigational chart pyramid dedicated to an autonomous navigational system”
- [AP 8] „The idea of using the A\* algorithm for route planning an unmanned vehicle Edredon”
- [AP 9] „Optimization of Computational Algorithms for Map Images in ECS and ECDIS made by SENC”
- [AP 10] „Optymalizacja generowania obrazu mapy w systemach ECS i ECDIS”
- [AP 11] „Generalisation of geometrical objects included in ENC”
- [AP 12] „System of Electronic Navigational Chart for Maritime Safety Centre”
- [AP 13] „The geometry assembling of spatial objects in Electronic Navigational Chart”
- [AP 14] „Zautomatyzowanie procesu wyznaczania pozycji w nawigacji radarowej – aplikacja”
- [AP 15] „Zgrywanie obrazu radarowego z mapą morską metodą wyrównania”
- [AP 16] „Wpływ pomiarów obciążonych błędem grubym na dokładność wyznaczania pozycji statku metodą rozszerzonego filtru Kalmana oraz geodezyjnego wyrównania odporne”
- [AP 17] „Polish approach to the IMO model course 1.27 on operational use of ECDIS”

Broszury informacyjne:

- [BI 1] System Map Elektronicznych do trójwymiarowej prezentacji ENC (w języku polskim)
- [BI 2] System Map Elektronicznych do trójwymiarowej prezentacji ENC (w języku angielskim)
- [BI 3] Morskie Systemy Informacji Geograficznej (w języku polskim)
- [BI 4] Morskie Systemy Informacji Geograficznej (w języku angielskim)

Dyplomy lub wyróżnienia dołączone w postaci kopii papierowych:

- [DC 1] Dyplom za zajęcie III miejsca w konkursie organizowanym przez komisję ds. wynalazczości Marynarki Wojennej RP w 2004 roku. Uzyskany za opracowanie teoretyczne pt.: „Model odwzorowania kartograficznego do trójwymiarowego zobrazowania Elektronicznej Mapy Nawigacyjnej przeznaczonego dla potrzeb nawigacji (nawodnej, podwodnej, lotniczej) oraz kierowania uzbrojeniem” – uwierzytelniona kopia
- [DC 2] Dyplom za zajęcie I miejsca w konkursie organizowanym przez komisję ds. wynalazczości Marynarki Wojennej RP w 2005 roku. Uzyskany za opracowanie teoretyczne pt.: „Koncepcja trójwymiarowego zobrazowania kształtu dna morskiego na podstawie Elektronicznej Mapy Nawigacyjnej i jej implementacja komputerowa” – uwierzytelniona kopia
- [DC 3] Dyplom za udział w Międzynarodowej Wystawie Wynalazków „Innowacje 2003” – uwierzytelniona kopia
- [DC 4] Zdjęcie otrzymanego od Wojewody Pomorskiego pucharu za nagrodzony System Elektronicznych Map Nawigacyjnych dla Centrum Bezpieczeństwa Morskiego
- [DC 5] Dyplom za zajęcie II miejsca w konkursie organizowanym przez komisję ds. wynalazczości Marynarki Wojennej RP w 2006 roku. Uzyskany za projekt racjonalizatorski pt.: „Automatyzacja procesu tworzenia dokumentacji kartograficznej na podstawie Elektronicznej Mapy Nawigacyjnej zgodnej ze standardem S-57” – uwierzytelniona kopia
- [DC 6] Wyróżnienie w ogólnopolskim konkursie na najlepszy projekt racjonalizatorski zastosowany w Siłach Zbrojnych RP w 2005 roku, nadane przez Szefa Sztabu Generalnego WP w 2006 roku. Uzyskany za projekt racjonalizatorski pt.: „Automatyzacja procesu tworzenia dokumentacji kartograficznej na podstawie Elektronicznej Mapy Nawigacyjnej zgodnej ze standardem S-57” – uwierzytelniona kopia
- [DC 7] Dyplom za zajęcie I miejsca w konkursie na najlepszy projekt racjonalizatorski zastosowany w jednostkach wojskowych Marynarki Wojennej w danym roku kalendarzowym, nadany przez Dowódcę Marynarki Wojennej RP w 2006 roku. Uzyskany za projekt racjonalizatorski pt.: „Automatyzacja procesu tworzenia dokumentacji kartograficznej na podstawie Elektronicznej Mapy Nawigacyjnej zgodnej ze standardem S-57” – uwierzytelniona kopia

Opracowania techniczne dołączone w postaci plików pdf:

- [OP 1] „Analiza standardu S-57 w aspekcie kodowania obiektów opisujących bezpieczne obszary manewrowania USV”
- [OP 2] „Procedury dekodowania wybranych obiektów przestrzennych i składania ich geometrii”
- [OP 3] „Instrukcja użytkownika Systemu Map Elektronicznych dla Centrum Bezpieczeństwa Morskiego”



[OP 4] „Dokumentacja techniczna do programu PLANSZET”

Pozostałe dokumenty dołączone w postaci kopii papierowych:

[PC 1] Dokument potwierdzający powołanie na ławnika Izby Morskiej przy Sądzie Okręgowym w Gdańsku – uwierzytelniona kopia

[PC 2] Lista Egzaminatorów Centralnej Morskiej Komisji Egzaminacyjnej

Krzysztof Nowak