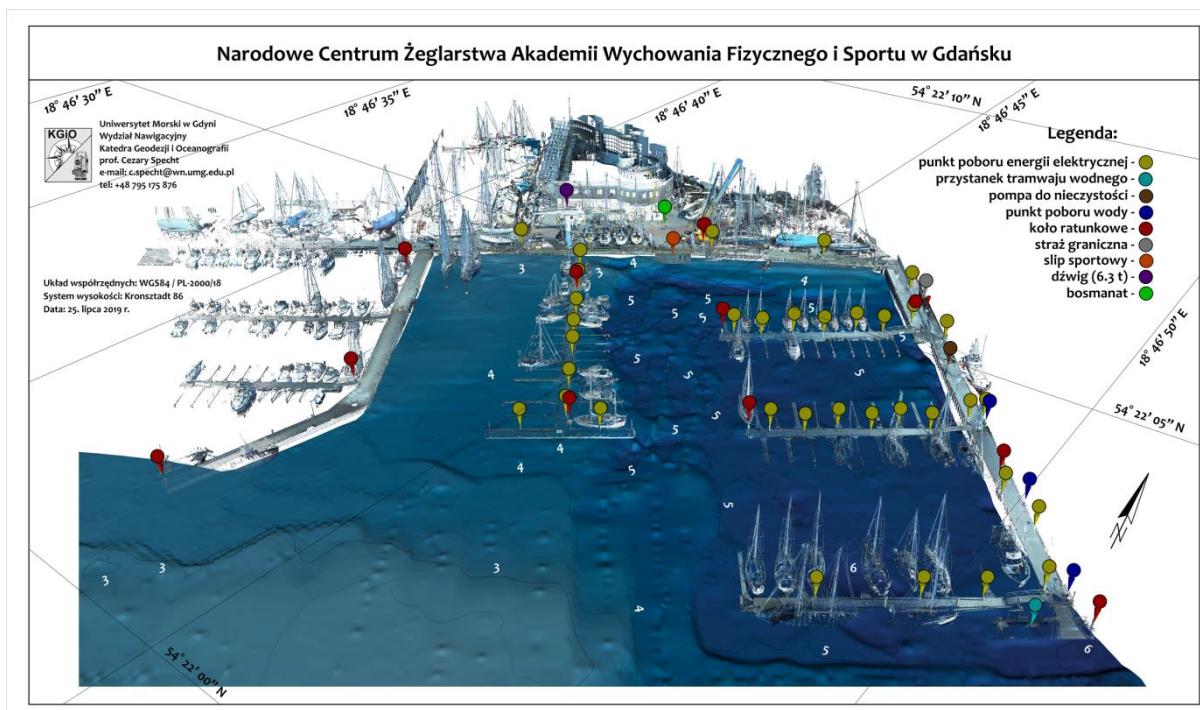




Mapy portu jachtowego Narodowego Centrum Żeglarstwa Akademii Wychowania Fizycznego i Sportu w Gdańsku



Wykonawcy:

prof. Cezary SPECHT – kierownik zespołu

dr hab. inż. Artur MAKAR – hydrografia, mapa 2D

dr inż. Mariusz SPECHT – hydrografia, pomiary USV

dr inż. Paweł DĄBROWSKI – geodezja, mapa 3D

mgr inż. Piotr CYWIŃSKI – automatyka, pomiary USV

Gdańsk, lipiec 2020 r.

Spis treści

Wprowadzenie	3
Wstęp	4
1. Akwen	5
2. Infrastruktura	5
3. Nawigacja	6
4. Plan pomiarów	7
5. Założenia	8
6. Pomiary	11
6.1. Hydrografia.....	11
6.2. Geodezja oznakowania nawigacyjnego.....	12
6.3. Skaniny laserowy portu	14
6.4. Pomiary GNSS nabrzeży.....	14
7. Mapy	16
Wnioski	21
Bibliografia	22

Wprowadzenie

W miesiącach maj-lipiec 2019 r. zespół geodezyjno-hydrograficzny Katedry Geodezji i Oceanografii, Wydziału Nawigacyjnego Uniwersytetu Morskiego w Gdyni zrealizował pomiary hydrograficzne i geodezyjne portu jachtowego Narodowego Centrum Żeglarstwa Akademii Wychowania Fizycznego w Gdańsku (NCŻ AWFIS). W pomiarach batymetrycznych pierwszy raz wykorzystano bezzałogową jednostkę hydrograficzną, która zrealizowała je w dwóch trybach: ręcznym (bezpośrednie sterowanie radiowe) oraz automatycznym, polegającym na samoczynnym pomiarze głębokości na profilach sondażowych. Pomiary objęły baseny mariny jak również wodny akwen podejściowy rozlewiska Wisły Śmiałej. Jednocześnie przeprowadzono geodezyjne skanowanie laserowe infrastruktury portu oraz nabrzeży, wykorzystując stacjonarny skaner laserowy. W ich wyniku uzyskano chmurę punktów (ok. 15 mln punktów), którą wykorzystano do realizacji modelu 3D obiektów mariny. Ponadto wykonano inwentaryzacyjne pomiary geodezyjne nabrzeży, z wykorzystaniem sieciowych metod GNSS.

Wyniki pomiarów batymetrycznych oraz geodezyjnych zostały zintegrowane umożliwiając opracowanie 6-ciu map portu i podejścia do niego (4 mapy 2D oraz 2 mapy 3D).

Mapy 2D zawierają dane o głębokości portu jak również przyległego akwenu obejmującego również obszar Zielonych Wysp. Zostały one wykonane w dwóch wersjach. W pierwszym wariantcie zrealizowano 2 mapy (portu NCŻ oraz portu i podejścia do NCŻ), które zawierają izobaty oraz dane o gęstości, których gęstość wynosi 10 m² (**mapy: A i B**). Dwie kolejne mapy (portu NCŻ oraz portu i podejścia do NCŻ), nie zawierają izobat, natomiast umieszczono na nich dane batymetryczne o zwiększonej gęstości, która wynosiła 2 m² (**mapy: C i D**).

Dodatkowo opracowano dwie mapy tematyczne 3D przeznaczone dla celów informacyjnych, w zobrazowaniu perspektywicznym (**mapy: E i F**).

Wykonane mapy mogą być wykorzystywane do:

- Zapewnienia informacji portowi jachtowemu NCŻ dotyczącej: występujących w marinie głębokości, rozmieszczenia urządzeń technicznych na terenie obiektu, lokalizacji świadczonych przez port usług dla żeglarzy oraz położenia pozostałych obiektów infrastruktury. Informacja ta może być wykorzystana do codziennego zarządzania portem jachtowym NCŻ, jak również planowania jego rozwoju (**mapy: A i B**).
- Zarządzania przez bosmanat miejscami cumowania jednostek w porcie jachtowym NCŻ. Informacja o głębokościach w poszczególnych miejscach cumowniczych pozwala na optymalny i bezpieczny ich wybór dla wchodzącego do portu jachtu, o określonych wymiarach i posiadany zanurzeniu (**mapy: C i D**).
- Informowania załóg jachtów cumujących w porcie jachtowym NCŻ o rozmieszczeniu na jego terenie: urządzeń cumowniczych, lokalizacji miejsc dostępu do mediów (woda, prąd, nieczystości), środków ratunkowych, instalacji dźwigowej, slipu, bosmanatu, punktu straży granicznej, przystanku tramwaju wodnego (**mapy: E i F**).
- Dostarczeniu, jachtom planującym postów w porcie jachtowym NCŻ, istotnej dla nich informacji związanej z realizowanym rejsiem, dzięki której mogą one zaplanować/zmodyfikować swoje plany żeglugi, z uwzględnieniem posiadanych zapasów, ewentualnej konieczności ich uzupełnienia oraz poinformowania załóg o istotnych, z żeglarskiego punktu widzenia, warunkach postoju (**mapy: A, B, E i F**).

Składamy serdeczne podziękowania firmie Geotronics za udostępnienie skanera laserowego oraz pomoc w realizacji skanowania geodezyjnego infrastruktury portu.

prof. Cezary Specht

Wstęp

Porty i przystanie jachtowe z punktu widzenia bezpieczeństwa nawigacji, w odróżnieniu od portów morskich i śródlądowych, charakteryzują się występowaniem w nich małych oraz zróżnicowanych głębokości (2-5m), jak również pozbawione są one systemów umożliwiających ciągły pomiar poziomu wody. Oba te czynniki stanowią istotny element wpływający niekorzystnie na bezpieczeństwo manewrowania oraz cumowania jednostek żaglowych lub motorowych w przystaniach.

Pomiary batymetryczne, w miarę zbliżania się do portu, wykonywane są coraz mniejszymi jednostkami hydrograficznymi. Typowe statki hydrograficzne realizują pomiary batymetryczne na akwenach otwartych, na dużych głębokościach zarówno w dobowym lub wielodniowym trybie pomiarowym, zgodnie ze znaną powszechnie metodyką [E&D HS 2004; IHO 2005; NOAA 2017] oraz hydrograficznymi standardami realizacyjnymi [IHO 2008; CHS 2013]. W rejonie przybrzeżnym, zatokach i większych basenach portowych do pomiarów wykorzystuje się kutry i motorówki hydrograficzne, których wielkość często utrudnia swobodne manewrowanie w marinie, szczególnie podczas postoju innych jednostek pływających [Specht C. i in. 2018; Stateczny A. i in. 2018]. Z tego względu zasadnym jest rozważenie możliwości wykorzystania bezzałogowych jednostek (USV), dla realizacji pomiarów batymetrycznych małych portów jachtowych, przystani czy marin, zarówno śródlądowych jak i morskich. Jednostki USV są bezzałogowymi pojazdami pływającymi, które wykonują zadania w różnych warunkach środowiskowych bez jakiegokolwiek interwencji człowieka [Breivik M. 2010].

Na początku XXI wieku nastąpił dynamiczny rozwój statków zmierzający do uzyskania przez nie pełnej autonomii pływania [Wróbel K. i in. 2018]. Równolegle rozwijane są dziś małe jednostki bezzałogowe znajdujące zastosowanie w różnych aplikacjach pomiarowych [Burdziakowski P. i in. 2019], a w tym również i hydrografii. Współczesne autonomiczne i bezzałogowe jednostki pływające to rozwiązania konstrukcyjne różniące się znacząco pomiędzy sobą przede wszystkim rozmiarem, budową kadłuba, oraz rodzajem napędu. W obszarach przybrzeżnych i portowych stosowane są powszechnie jednostki jednokadłubowe lub wielokadłubowe z napędem śrubowym lub bezśrubowym [Li C. i in. 2019]. Ich szczególną cechą wspólną jest małe zanurzenie umożliwiające im wpłynięcie w akwen trudnodostępny, w tym także o małej głębokości (poniżej 1m) [Stateczny A. i in. 2018a; Romano A., Duranti P. 2012]. Z tego właśnie względu wykorzystanie małych jednostek bezzałogowych w hydrografii zarówno morskiej [Specht C. i in. 2017] jak i śródlądowej staje się współcześnie coraz bardziej rozpowszechnione. Aktualnie głównymi obszarami wykorzystania USV są: badania naukowe, misje środowiskowe, eksploracja zasobów oceanicznych, zastosowania wojskowe i inne [Zhixiang Liu i in. 2016; RAND 2013; Specht C. i in. 2016].

Na rys. 1 zaprezentowano przykładowe 3 rodzaje jednostek bezzałogowych zdolnych do realizacji zadań hydrograficznych, lecz znacząco różniących się wyposażeniem i możliwościami. Pierwsza to wielofunkcyjna jednostka xoclean XO-450 (ciężar 750 kg, ładunek 100 kg, max. prędkość 35 w., zasięg 1512Nm) wyposażona w: sonar post/SVP winch/MRU/ADCP/weather station). Jest ona zdolna do realizacji kilkudniowej misji w trybie autonomicznym, nawet na otwartym morzu. Drugą jednostką jest HydroDron firmy Marine Technology (ciężar 350 kg, ładunek 20 kg, max. prędkość 10 w., zasięg 3 Nm, sensory: sonar, echosonda wielowiązkowa (MBES), pozycjonowanie GNSS, INS, Sound Velocity profiler (SVP), kamera-posiadająca potencjał do realizacji pomiarów batymetrycznych na akwenach przybrzeżnych oraz śródlądowych. Trzecia z jednostek to Seafloor System (ciężar 18 kg, ładunek 5 kg, max. prędkość 10 w., zasięg 3 Nm, sensory: GNSS/SBES) której rozmiary, konstrukcja i wyposażenie nadają się do manewrowania w ciasnych basenach portów, pomiędzy innymi jednostkami, wyposażona w echosondę SBES oraz system pozycjonowania zgodnymi z [IHO 2008].



Rys. 1. Bezzałogowe jednostki USV: wielofunkcyjna jednostka (4.5mx2.2m, 750 kg) xoclean [xoclean.com] (rys. lewy), dwukadłubowy (4mx2m, 350 kg) HydroDron-1 (środek), mała jednostka Seafloor system (rys. prawy) (1.1mx0.7m, 18 kg).

1. Akwen

Narodowe Centrum Żeglarstwa AWFIS położone jest na wschodnim (lewym) brzegu ujścia Wisły Śmiałej, która utworzyła w tym miejscu naturalne rozlewisko. Wspólnie z C.O.S.A. AZS Galion, NCZ AWFIS tworzy zespół portów jachtowych położony w południowej części dzielnicy Gdańska – Górki Zachodnie, znajdującej się w odległości 12 km od centrum. Przystań znajduje się nieopodal Przełomu Wisły Śmiałej zapewniając bezpośrednie połączenie wodne z Zatoką Gdańską. Z punktu widzenia potrzeb szkolenia i sportu żeglarskiego położenie NCZ AWFIS jest optymalne, umożliwiając organizację szkolenia żeglarskiego zarówno na akwencie zamkniętym (rozlewisko Wisły Śmiałej), jak i otwartym - Zatoka Gdańska (rys. 2.). Połączenia dróg morskich i śródlądowych umożliwiają dotarcie do szlaków wodnych Zalewu Wiślanego oraz Pojezierza Ostródzko-ląwskiego. Od strony zachodniej, z zespołem przystani sąsiaduje powstały w 2011 r. użytek ekologiczny, będący jedną z form ochrony przyrody. Obszar określany mianem „Zielone Wyspy” zapewnia ochronę 33.49 ha szuwarów nadrzecznych i łąk podmokłych. Do przeciwległego (wschodniego) brzegu Wisły Śmiałej przylega rezerwat przyrody Ptasi Raj o powierzchni 188 ha znajdujący się w północno-zachodniej części Wyspy Sobieszewskiej, w którego skład wchodzi 2 przymorskie jeziora (Karaś i Ptasi Raj).



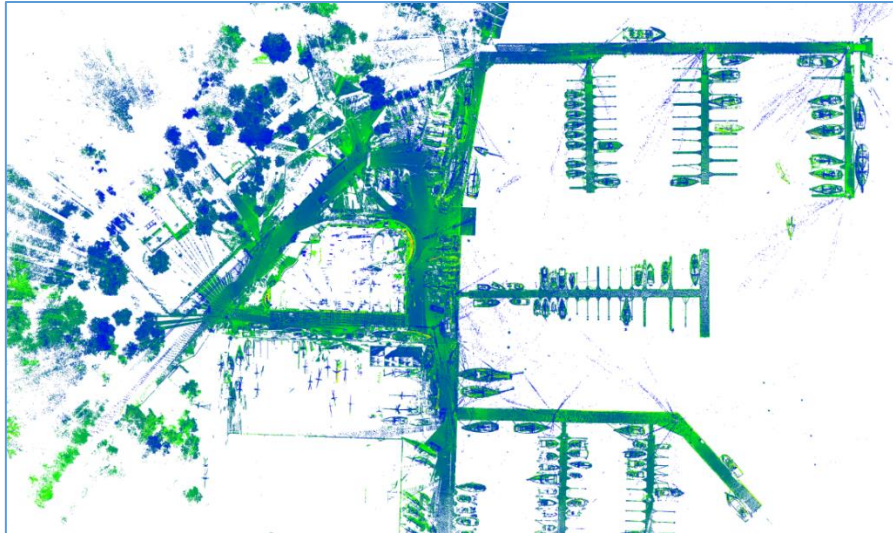
Rys. 2. Lokalizacja Narodowego Centrum Żeglarstwa.

2. Infrastruktura

Port jachtowy NCZ AWFIS służy przede wszystkim jako miejsce treningu zawodników kadry Polski, szkoleń praktycznych studentów AWFIS oraz jako baza dla zgrupowań młodzieży realizującej szkolenie żeglarskie. Stacjonują tu również jachty prywatnych armatorów. Port jachtowy zlokalizowany jest w północnej części rozlewiska Wisły Śmiałej. Jachty cumują w nim do stałego nabrzeża lub pływającego pomostu. Marina posiada 51 miejsc postojowych (rys. 3):

- A. Pływająca pomost o długości 83 metrów. Łączna liczba miejsc – 36:
 - dla jachtów o długości do 8 metrów – 16,
 - dla jachtów o długości do 10 metrów – 10,
 - dla jachtów o długości do 12 metrów – 6,
 - dla jachtów o długości do 14 metrów – 4.
- B. Nabrzeże. Łączna liczba miejsc – 15:
 - dla jachtów o długości do 8 metrów – 9,
 - dla jachtów o długości do 10 metrów – 5,
 - dla jachtów o długości do 14 metrów – 1.

W przystani jachty cumują do miejsc cumowniczych w postaci y-bomów. Marina dysponuje dźwigiem (6.3T) oraz posiada prąd, wodę, toalety i prysznice. Z zewnętrznej strony nabrzeża portu cumuje jednostka SAR.



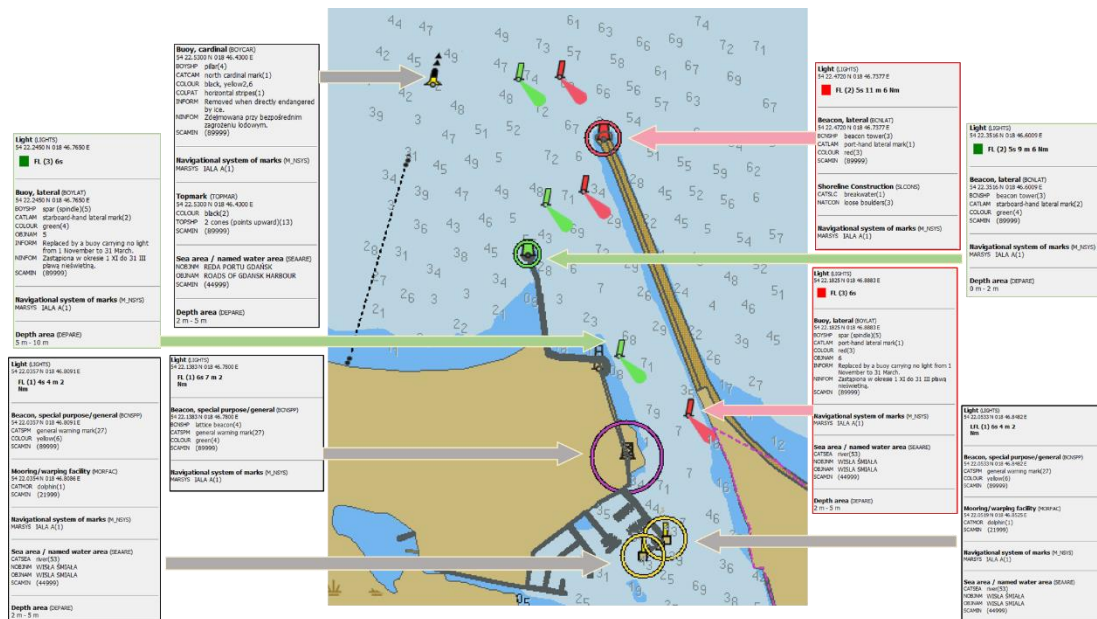
Rys. 3. Plan portu jachtowego NCZ AWFIS wykonany techniką skanowania laserowego.

3. Nawigacja

Wisła Śmiała jest środkowym z ujść delty Wisły do Zatoki Gdańskiej. Wejście na rzekę osłaniają od wschodu – falochron o długości 520 m, którego przedłużeniem w kierunku południowym jest grobla odgradzająca rozlewisko po wschodniej stronie rzeki (jezioro Ptasi Raj), a od zachodu – ostroga o długości 160 m. W środku wejścia utworzono tor wodny – oznakowany pławami. Szerokość toru wynosi 35 m, głębokość 4.5 m. Po minięciu wejścia, trasa prowadzi naturalnymi głębokościami do nurtu Martwej Wisły (ruch do Gdańska lub śluzy w Przegalinie). Jednostki wchodzące na Wisłę Śmiałą powinny sterować na lewą głowicę wejściową, którą należy minąć lewą burtą w odległości nie mniejszej niż 50 m. Następnie poruszać się po torze wodnym oznakowanym pławami nieświecącymi, które w okresie 01.05-30.09 zastępowane są pławami świetlnymi. Jednostki sportowe o zanurzeniu powyżej 2.5 m zmierzające do przystani na Wiśle Śmiałej powinny każdorazowo zasięgać informacji o aktualnych głębokościach w przystaniach u bosmanów portu. Jednostki o zanurzeniu powyżej 4.0 m mogą poruszać się (przez cały rok) tylko za zgodą Kapitanatu Portu Gdańsk (UKF kanał 14). W okresie, gdy występuje zlodzenie – żegluga może być ograniczona [Locja 2009].

Podejście do portu od strony Zatoki Gdańskiej poprzez Przekop Wisły Śmiałej nie posiada oznakowania nawigacyjnego w postaci pław lub nabieżników. Poruszając się pomiędzy falochronami wejściowymi na Wisłę Śmiałą należy zwracać uwagę na wypłytenia znajdujące z prawej strony toru wodnego – piaskowej plaży stanowiącej przedłużeniu falochronu zachodniego. Bezpośrednio na podejściu do portu NCZ AWFIS znajdują się dwa wypłytenia o głębokości 1.9 m oraz 1.8 m. W odległości ok. 80 m w kierunku SW od lewej głowicy wejściowej znajduje się rozległa mielizna o głębokości 0.4 m przylegająca do obszaru „Zielonych wysp”. Przy podejściu do portu należy uważać na znaczną liczbę małych jednostek żaglowych uczestniczących w szkoleniach żeglarskich [Locja 2009].

Port jachtowy NCZ AWFIS składa się z 2 basenów. Zgodnie z danymi pochodzącymi z komórek map ECDIS głębokość basenu wschodniego wynosi: 3.5-5.1 m oraz zachodniego o głębokości na wejściu 3.1 m. W basenie zachodnim znajduje się wypłytenie w pobliżu dźwigu. Oznakowanie nawigacyjne na podejściu do portu jachtowego NCZ AWFIS przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Oznakowanie nawigacyjne oraz głębokości na podejściu do portu jachtowego NCZ AWFIS.

Poza optycznym oznakowaniem nawigacyjnym, podstawowym systemem nawigacyjnym dostępnym dla jednostek żaglowych i motorowych wpływających do ujścia Wisły Śmiałej jest system GPS oraz DGPS, wykorzystujący stację referencyjną w Rozewiu. Wieloletnie badania tej stacji wykazały, że aktualnie umożliwiała ona zapewnienie dokładności określenia pozycji wynoszącej 2 m ($p=0.95$) [Specht i in. 2019b]. Drugim w kolejności systemem rekomendowanym do użytkowania, z punktu widzenia dokładności, pozycjonowania jest system EGNOS, którego dokładność wynosi 3m ($p=0.95$) [Specht i in. 2019a]. Ponadto możliwym jest wykorzystanie odbiorników multi-GNSS, w które wyposażone są typowe smartfony. Ich dokładność w przypadku wykorzystywania rozwiązania GPS/Glonass wynosi w pomiarach stacjonarnych typowo 3-5m (0.95) [Sztot i in. 2019] oraz 5-10m w dynamice [Specht et al. 2019d].

4. Plan pomiarów

Pomiary hydrograficzne NCZ AWFIS składały się z dwóch zasadniczych części: pomiarów batymetrycznych dna [Baptista P. i in. 2008] oraz pomiarów geodezyjnych przyległego lądu [Krueger C.P., de Souza A.V., 2014, Makar A. 2018] zgodnie ze światowymi wymaganiami i standardami realizacyjnymi [IHO 2008, CHS 2013]. W ramach pomiarów NCZ AWFIS zrealizowano 3 etapy pomiarów:

ETAP I: Pomiary geodezyjne i hydrograficzne portu jachtowego, które wykonano w dniu 15 kwietnia 2019 r. Objęły one:

- pomiary batymetryczne basenów portu jachtowego NCZ AWFIS z wykorzystaniem bezzałogowej jednostki hydrograficznej USV,
- inwentaryzacyjne pomiary geodezyjne nabrzeży z wykorzystaniem odbiornika GNSS Topcon HyPer II z kontrolerem Sokkia SHC-25, pracującym w sieci TPI NETpro z serwisem NET RTCM 3.0 oraz wirtualną stacją referencyjną,
- skanowanie laserowe infrastruktury portowej z wykorzystaniem stacjonarnego skanera laserowego Trimble TX8.

ETAP II: Hydrograficzne pomiary podejścia do portu, które zrealizowano w dniu 2 lipca 2019 r. Ich celem były pomiary uzupełniające obejmujące sondaż batymetryczny podejścia do portu z wykorzystaniem bezzałogowej jednostki hydrograficznej sterowanej z jachtu motorowego „Nawigator One AMG”.

ETAP III: Geodezyjna inwentaryzacja oznakowania nawigacyjnego awanportu, ze szczególnym uwzględnieniem rozległej mielizny znajdującej się w pobliżu obszaru Zielone wyspy. Pomiary wykonano w dniu 7 lipca 2019 r. Objęły one:

- pomiary inwentaryzacyjne znaków oznakowania nawigacyjnego mielizny przylegającej do „Zielonych wysp”, z wykorzystaniem geodezyjnego odbiornika GNSS Trimble R10, przy wykorzystaniu jachtu motorowego „Nawigator One AMG”,

- inwentaryzację fotograficzną znaków oznakowania nawigacyjnego akwenu od główek wejściowych na Wisłę Śmiałą, poprzez tor wejściowy wraz z portami północnej części rozlewiska.

W niniejszym raporcie opisane zostaną prace, których celem było wykonanie map portu jachtowego obejmujących pomiary batymetryczne i geodezyjne mariny.

5. Założenia

Pierwszym etapem prac była techniczna modernizacja bezzałogowej jednostki hydrograficznej. Modernizacji podlegała mała jednostka sterowana bezpośrednio z wykorzystaniem aparatury RC pozbawiona trybu automatycznego, rozumianego jak zdolność do samoczynnej realizacji zaplanowanej misji (rys. 5). Jej długość wynosi 1.1 m, natomiast szerokość - 0.7 m, przy masie całkowitej wynoszącej około 18 kg. Jednostka USV (*Unmanned Surface Vessel*) należy do klasy X zgodnie z przyjętą światowo nomenklaturą amerykańską [US Navy 2007]. Dron hydrograficzny to komercyjna jednostka HyDrone produkowana przez firmę *Seafloor Systems Inc.* (USA). Na jego konstrukcję składają się 2 pływaki wykonane z odpornego na warunki środowiskowe i czynniki mechaniczne polietylenu (HDPE). Są one połączone ramą typu H wykonaną z aluminium. Jest ona standardowo wyposażona w system hydrograficzny składający się z geodezyjnego odbiornika GNSS (np. Trimble R10) oraz echosondy pionowej (np. SonarMite BTX). Głównymi celami modernizacji USV były:

1. Umożliwienie realizacji hydrograficznych kampanii pomiarowych w trybie automatycznym polegającym na samoczynnym (bez udziału operatora) pływaniu po zaplanowanych profilach sondażowych.
2. Poprawa parametrów eksploatacyjnych oraz funkcjonalności polegająca na zwiększeniu zasięgu pracy, wydłużeniu czasu pracy, zwiększenie charakterystyk niezawodnościowych poszczególnych komponentów oraz całego systemu.



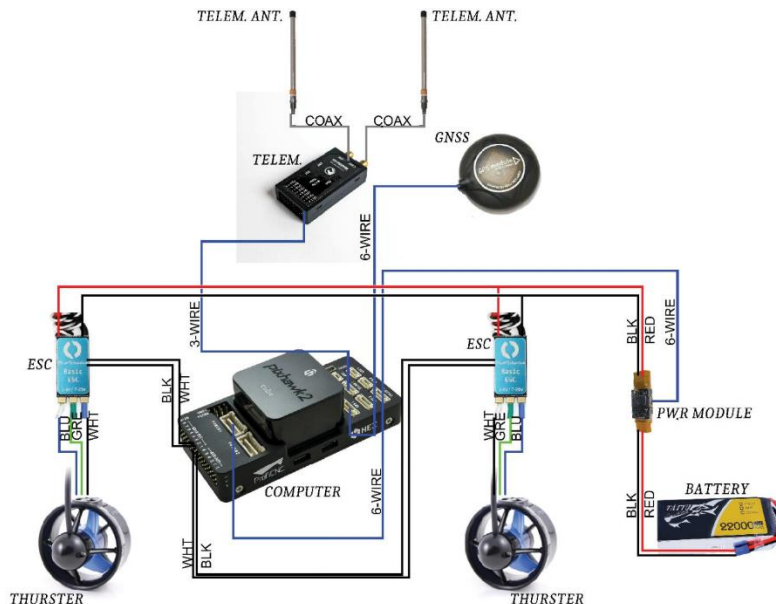
Rys. 5. Jednostka USV przed modernizacją– (lewy) oraz po modernizacji (prawy).

Modernizacja USV objęła następujące główne elementy składowe: zamontowano autopilota PixHawk Cube, zmodernizowano radiolinie RC zwiększając 3-krotnie zasięg pracy, dla sterowania autopilotem wykorzystano odbiornik nawigacyjny low-cost multi-GNSS (U-blox NEO-M8N) wraz z wbudowanym w nim kompasem Fluxgate, wymieniono układ napędowy równocześnie zwiększono jego moc - poprzez zastosowanie nowych zintegrowanych pędników napędowych (2x50 N), dotychczas stosowane baterie AGM (2x108 Wh) zastąpiono bateriami LiPo (2x326 Wh) zwiększając 4-krotnie czas pracy przy, jednoczesnym zmniejszeniu masy o 28 %. W Tab. 1. zestawiono podstawowe charakterystyki techniczne oraz właściwości eksploatacyjne, które podlegały modernizacji. Zostały one podzielone na dwie kategorie związane z: Automatyzacją (A) oraz Eksploatacją (E).

Tab. 1. Zestawienie porównawcze parametrów funkcjonalności USV przed i po modernizacji.

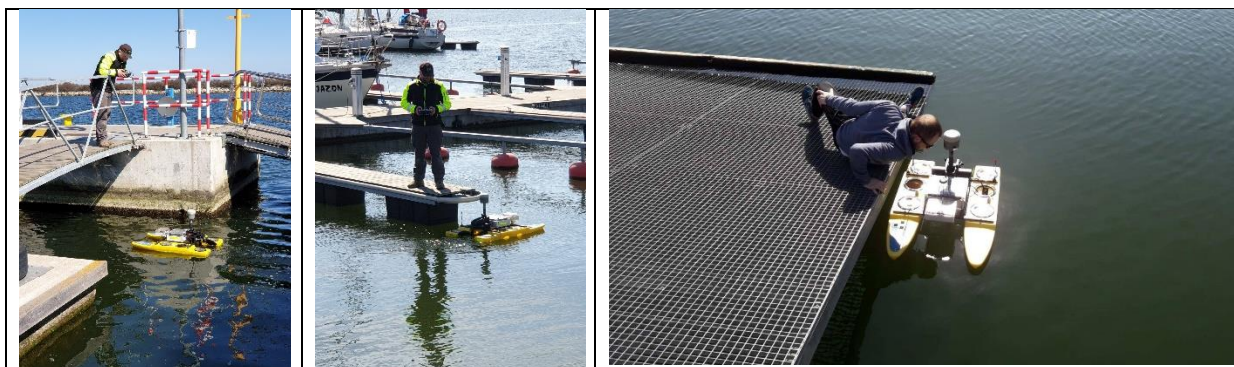
A/E	Funkcjonalność	Przed modernizacją	Po modernizacji
A	Sterowanie	Bezpośrednie RC	Bezpośrednie RC, pół-automatyczne i automatyczne
A	Zasięg pracy RC	300m (2400MHz)	1km (868MHz)
A	Monitoring telemetrii	Dodatkowy komputer PC	Zintegrowany z aparaturą RC
A	System pozycjonowania	U-blox NEO-7: 56 kanały; GPS, GLONAS, Galileo, SBAS	U-blox NEO-M8N: 72 kanały, GPS, QZSS, GLONASS, BeiDou, SBAS
E	Możliwość zmiany pływaków	Nie	Tak
E	Rodzaj napędu	Silniki, linie wałów, śruby	Pędniki zintegrowane 2x50N
E	Chłodzenie silników i ESC	Tak – wymuszone, wodne	Nie jest wymagane
E	Bank baterii	2x9Ah AGM (2 x 108Wh)	2x22Ah LiPo (2x 326Wh)
E	Czas pracy do wymiany baterii	1,5h	6h
E	Masa zestawu	25kg	18kg
E	Klasa szczelności	IP44	IP56

Zakres przeprowadzonej modernizacji hydrograficznej jednostki bezałogowej USV objął wszystkie jej systemy główne: napędowy, sterowania, telemetryczny oraz pozycyjny. Bez zmian pozostał jedynie system hydrograficzny składający się z geodezyjnego odbiornika GNSS oraz echosondy pionowej spełniającej wymagania Międzynarodowej Organizacji Hydrograficznej IHO. Na rys. 6 przedstawiono podstawowe elementy wchodzące w skład modernizacji oraz schemat ideowy połączeń elektrycznych.



Rys. 6. Schemat ideowy głównych podzespołów, które objęła modernizacja jednostki UAV.

Pomiary batymetrii portu jachtowego wykonano w trybie ręcznym z wykorzystaniem zdalnego telemanipulatora RC. Wynikało to z konieczności przeprowadzenia pomiarów batymetrycznych we wszystkich miejscach postojowych Y-bomów (Rys. 7).



Rys. 7. Pomiar batymetryczny portu jachtowego NCŻ AWFIS z wykorzystaniem jednostki bezzałogowej sterowanej bezpośrednio.

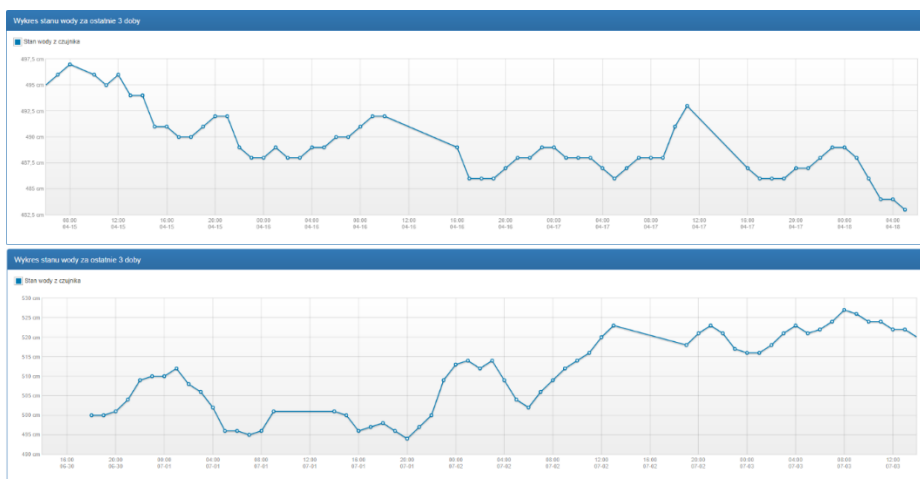
Aby zapewnić bezpieczne realizowanie pomiarów z wykorzystaniem USV jako jednostkę bazową użyto załogowy jacht motorowy Navigator One AMG, z pokładu której kontrolowano pracę bezzałogowej jednostki hydrograficznej. Jest on załogową (6 osób) jednostką przeznaczoną do realizacji pomiarów hydrograficznych o długości 5.5 m, szerokości 2.55 m, zanurzeniu 0.3 m, klasie pływalności przybrzeżnej C oraz masie 780 kg. Jest ona wyposażona w silnik zaburtowy o mocy 115 KM (Suzuki) oraz system nawigacyjny Lowrance HDS Carbon wraz z systemem batymetrycznym Structure Scan 3D. Jednostka- jako baza jednostki bezzałogowej - uczestniczyła w pomiarach Etapu II - akwenu wodnego przyległego do portu (rys. 8).



Rys. 8. Jednostka pomiarowa Navigator One AMG (rys. lewy), jednostka bezzałogowa podczas pomiarów cumuje do rufy NO AMG (rys. środkowy), zespół nadzorujący pracę jednostki bezzałogowej z pokładu jednostki NO AMG.

Pomiary batymetrii uzupełniono o niezbędne pomiary oceanograficzne związane z poziomem wody oraz prędkością dźwięku w wodzie. Poziom wody może być obserwowany na łacie wodowskazowej, której wystawienie polega na umieszczeniu jej w wodzie i ustaleniu poziomu zerowego do układu wysokościowego stosowanego w danym kraju. W Polsce, obecnie stosuje się dwa układy odniesienia wysokości: Amsterdam i Kronsztadt, przy czym drugi z nich może być stosowany do końca 2019 r. **[Rozporządzenie 2012]**. Dla rejonu pomiarów NCŻ AWFIS najbliższymi punktami wodowskazowymi są: Gdańsk Port Północny oraz Górki Zachodnie. Interpolacja pomiędzy obserwacjami w punktach odległych niesie zagrożenie, że w miejscu realizacji pomiarów batymetrycznych rzeczywisty poziom wody odbiega od interpolowanego ze względu np. na wiatr powodujący spiętrzenie wody. Innym rozwiązaniem jest okresowy pomiar wysokości lustra wody nad poziomem morza z wykorzystaniem odbiornika GNSS oraz modelu geoidy.

W czasie pomiarów poziom wody rejestrowany na punktach wodowskazowych Gdańsk Górki Zachodnie i Gdańsk Port Północny (Rys. 9). Był on identyczny i został przyjęty do redukcji pomiarów głębokości do zera mapy. Metodologię uwzględniania pomiarów poziomu wody podczas pomiarów UAV opisano szczegółowo w **[Specht i in. 2019]**.



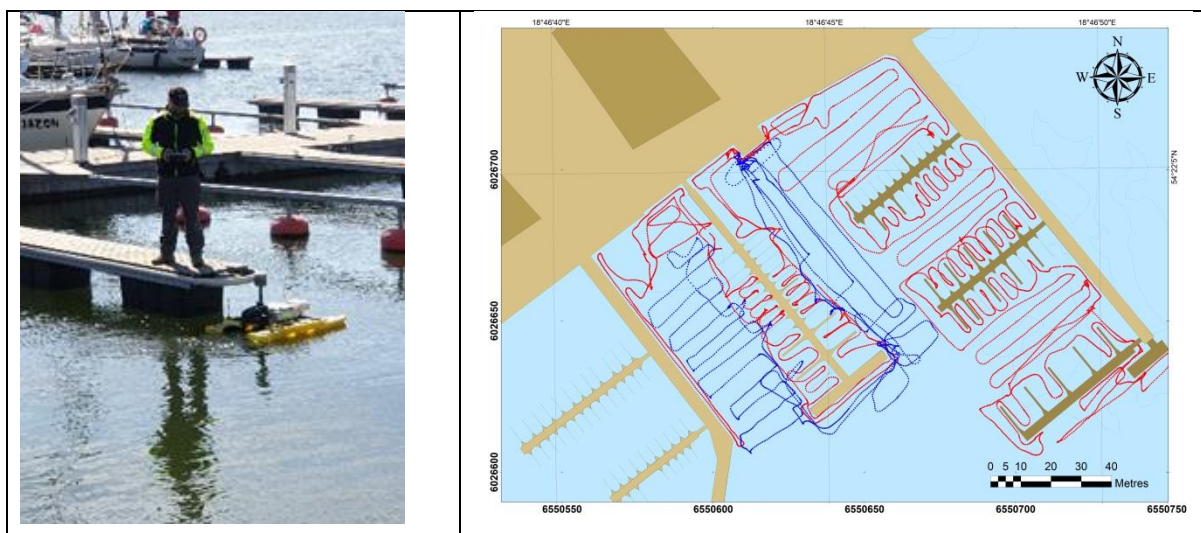
Rys.9. Poziom wody na punktach wodowskazowych Gdańsk Górkki Zachodnie i Gdańsk Port Północny w miesiącu kwietniu (u góry) oraz lipcu (na dole).

Kalibrację echosondy jednowiązkowej wykonano metodą tarowania, polegającą na dopasowaniu średniej prędkości dźwięku w wodzie na znanych głębokościach do wskazań echosondy. Podstawowa metoda pomiaru prędkości dźwięku to stosowanie miernika CTD/STD lub sondy SVP. Alternatywą jest pomiar temperatury wody i wyznaczenie prędkości dźwięku na podstawie wzoru empirycznego, przy znajomości zasolenia. Niektóre echosondy wyznaczają prędkość dźwięku w wodzie na podstawie temperatury dzięki czujnikowi umieszczonemu w przetworniku.

6. Pomiar

6. 1. Hydrografia

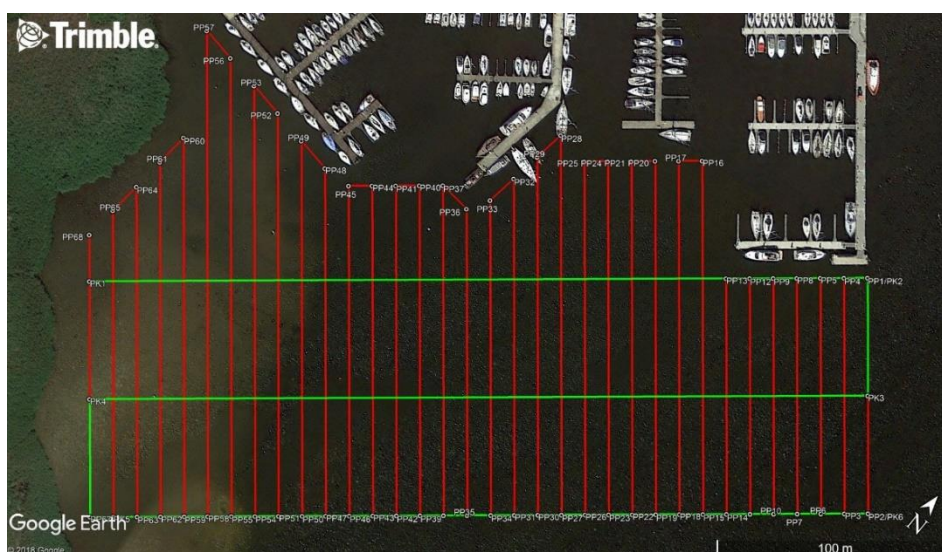
W pomiarach wykorzystano bezzałogowy nawodny pojazd hydrograficzny, który pracował w dwóch trybach: ręcznym i autonomicznym [Specht C. i in, 2019c]. Jego wyposażenie hydrograficzne składało się z jednowiązkowej echosondy hydrograficznej SonarMite pracującej na częstotliwości 235kHz oraz geodezyjnego odbiornika Trimble R10 pracujący w sieci VRS Net z częstotliwością 1 Hz, zapewniając w czasie rzeczywistym dokładność pozycjonowania wynoszącą 2 cm ($p=0.95$,horyzontalnie) [Makar A. 2018; Specht C. i in. 2016]. Pomimo możliwości realizacji pomiarów w trybie automatycznym, w pomiarach batymetrycznych basenów portowych wykorzystywano tryb ręczny bezpośredni (rys. 9).



Rys. 9. Pomiary USV w porcie jachtowym – podczas sterowania bezpośredniego (rys. lewy) oraz trajektoria pomiarów batymetrycznych USV w porcie (rys. prawy).

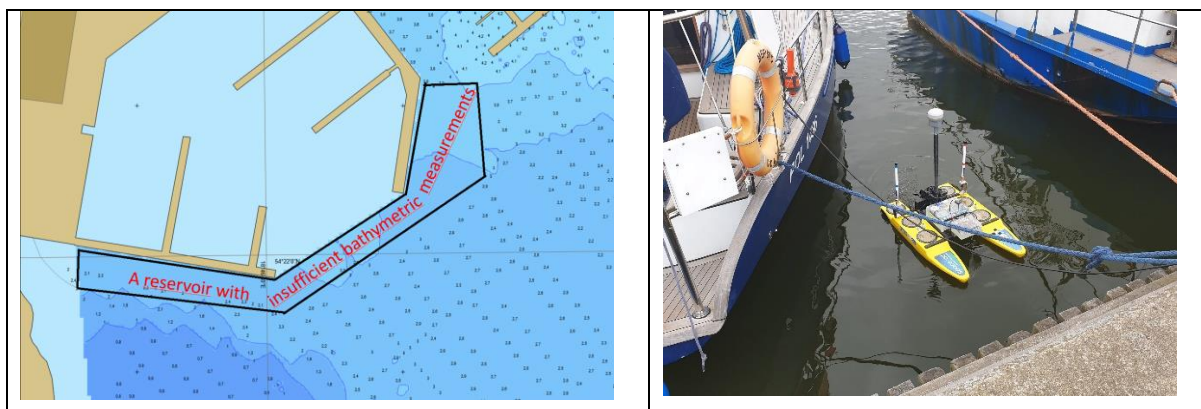
Pomiar batymetryczny podejścia do portu został zrealizowany w trybie automatycznym przez jednostkę bezzałogową. Profile sondażowe zostały zaprojektowane z wykorzystaniem oprogramowania Trimble Bussines

Center w odległościach, co 10m z uwzględnieniem akwenu mielizny przyległej do obszaru „Zielonych wysp” (rys. 10).



Rys. 10. Zaprojektowane profile sondażowe.

Realizacja pomiarów batymetrycznych jednostki USV wymaga bezpośredniego nadzoru, do którego wykorzystano załogową jednostkę Nawigator One AMG. Głównym problemem związanym z realizacją sondaży batymetrycznych w trybie automatycznym jest potrzeba zapewnienia takiego pokrycia akwenu pomiarami aby nie pojawiły się miejsca, w których ich nie wykonano. Pomimo starań nie można było przewidzieć czy w poszczególnych stanowiskach postoju jachtów (y-bomy) znajdą się jednostki czy też nie. Skutkiem braku możliwości wykonania pomiarów w określonych miejscach, ze względu na cumujące tam jachty, było pojawienie się fragmentu akwenu pozbawionego danych o głębokości (rys. 11, lewy). W związku z powyższym zdecydowano, że w miejscach, w których cumują jachty możliwym jest wykonanie pomiarów z wykorzystaniem USV, sterując nim ręcznie (bezpośrednio). Polegały one na wpływaniu jednostki bezzałogowej pomiędzy cumujące jachty (rys. 11, prawy). Dzięki małym rozmiarom USV wykazano, że tego typu manewry są w pełni bezpieczne, nie grożą kolizją lub uszkodzeniom cumujących jachtów.

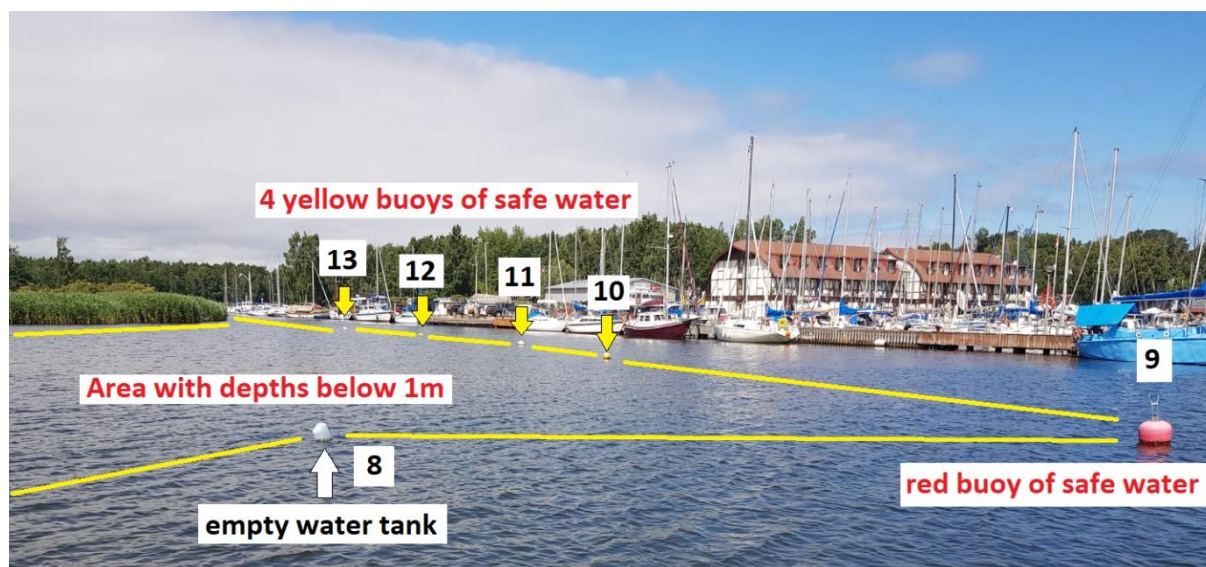


Rys. 11. Akwen na którym nie zrealizowano pomiarów w trybie automatycznym ze względu na cumujące tam jachty (rys. lewy). Pomiar głębokości pomiędzy cumującymi jachtami – sterowanie bezpośrednie USV (rys. prawy).

6.2. Geodezja oznakowania nawigacyjnego

W pobliżu portu jachtowego NCŻ AWFIS znajduje się rozległa mielizna, której głębokości są poniżej 1 m. Została ona oznaczona przez 5 pław: jedną czerwoną (numer 9) oraz czterema żółtymi (numery: 10, 11, 12, 13). Dzięki tym pławom (rys. 12.) wytyczono bezpieczną wodę dla jachtów podążających do portów C.O.S.A. AZS Galion oraz NCŻ AWFIS od strony południowej (ujścia Wisły). Należy zauważyć, na tym akwenu znajduje się również 8 nieformalnych „znaków nawigacyjnych”, którymi są puste pojemniki po wodzie przytwierdzone obciążeniem do dna. Z dużym prawdopodobieństwem można uznać, że wspomniane „nieoficjalne znaki kardynalne” zostały tu wystawione po to, aby w pełni zaznaczyć dla żeglarzy i innych jednostek obszar mielizny „Zielone Wyspy”. Z

punktu widzenia bezpieczeństwa żeglugi występujące tu „oznakowanie nieformalne” jest w pełni uzasadnione, bowiem w tym obszarze niejednokrotnie trenuje kilkadziesiąt i więcej małych jednostek żaglowych, dla których mielizna stanowi realne zagrożenie nawigacyjne.



Rys. 12. Oznakowanie nawigacyjne mielizny w okolicach „Zielonych Wysp”.

Ponieważ wspomniane oznakowanie istnieje w rzeczywistości, lecz nie zostało umieszczone na oficjalnych mapach nawigacyjnych pojawiła się potrzeba jego geodezyjnej inwentaryzacji, którą wykonano z wykorzystaniem jednostki Navigator One AMG. W pomiarach wykorzystano odbiornik Trimble R10 wyznaczając pozycję poszczególnych „znaków” z dokładnością 3-5 cm ($p=0.95$). Współrzędne poszczególnych znaków: tych formalnych i nieformalnych zaprezentowano w Tab. 2.

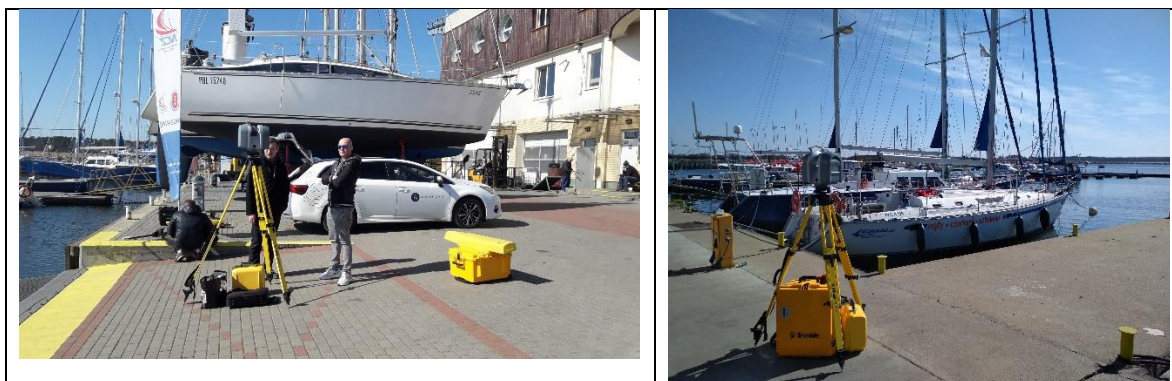
Tab. 2. Współrzędne znaków oznakowania nawigacyjnego oznaczających mieliznę Zielone Wyspy, na podejściu do zespołu portów jachtowych NCŻ, AKM i AZS Galion od strony południowej.

ID	Nazwa	X(PL-2000)	Y(PL-2000)	φ (WGS-84)	λ (WGS-84)
1	Water tank 1	6026328,223	6550635,838	N54°21'52.99331"	E18°46'44.63700"
2	Water tank 2	6026358,779	6550630,249	N54°21'53.98352"	E18°46'44.34616"
3	Water tank nr 3	6026390,466	6550611,273	N54°21'55.01510"	E18°46'43.31460"
4	Water tank 4	6026415,014	6550596,046	N54°21'55.81443"	E18°46'42.48627"
5	Water tank 5	6026443,936	6550578,245	N54°21'56.75618"	E18°46'41.51810"
6	Water tank 6	6026466,097	6550589,201	N54°21'57.46896"	E18°46'42.13844"
7	Water tank 7	6026478,828	6550572,951	N54°21'57.88651"	E18°46'41.24620"
8	Water tank 8	6026493,689	6550554,416	N54°21'58.37373"	E18°46'40.22876"
9	Czerwona boja nr 1	6026505,642	6550558,684	N54°21'58.75878"	E18°46'40.47243"
10	Żółta boja 1	6026514,363	6550536,879	N54°21'59.04863"	E18°46'39.27007"
11	Żółta boja nr 2	6026518,825	6550525,226	N54°21'59.19707"	E18°46'38.62739"
12	Żółta boja nr 3	6026521,14	6550510,325	N54°21'59.27727"	E18°46'37.80355"
13	Żółta boja nr 4	6026523,917	6550492,275	N54°21'59.37350"	E18°46'36.80551"

Współrzędne pław oznakowania nawigacyjnego podano (tab. 2) w dwóch układach: obowiązującym w Polsce układzie współrzędnych prostokątnych PL-2000 (odwzorowanie Gaussa-Kruggera) oraz współrzędnych geodezyjnych w układzie WGS-84, stosowanym powszechnie w nawigacji.

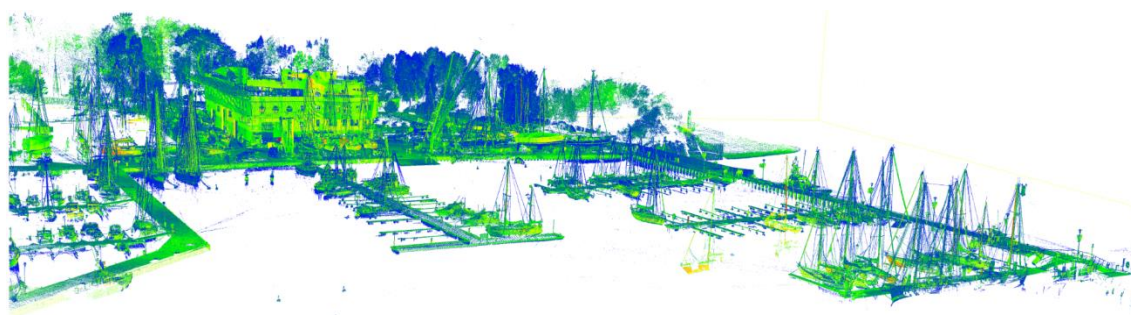
6.3. Skaniny laserowy portu

Trójwymiarowe przedstawienie elementów infrastrukturalnych mariny Narodowego Centrum Żeglarstwa Akademii Wychowania Fizycznego w Gdańsku stanowiło istotne uzupełnienie danych batymetrycznych. Zadanie to zostało zrealizowane z wykorzystaniem technologii naziemnego skanowania laserowego. Użyty instrument, skaner Trimble TX8, jest wyposażony w moduł umożliwiający wykonanie zdjęć otoczenia i późniejsze nadanie koloru poszczególnym pomierzonym punktom (Rys. 13). Na obszarze mariny założono 16 stanowisk pomiarowych skanera, na których dla każdego z punktów chmury mierzono odległość pomiędzy celem a urządzeniem oraz kąty: poziomy i pionowy.



Rys. 13. Skaner laserowy Trimble TX8 podczas pomiarów.

Na podstawie powyższych obserwacji geodezyjnych obliczono współrzędne poszczególnych punktów w lokalnym układzie współrzędnych stanowiska. Warto zaznaczyć, że każde stanowisko pomiarowe posiadało odrębny układ współrzędnych z punktem początkowym w centrum emisyjno-odbiorczym skanera laserowego. Orientacja kątowa układu współrzędnych wynikała ze sposobu (kierunku) zamocowania instrumentu na statywie. W celu utworzenia jednolitego zbioru przestrzennego dla całej mariny w jednym (globalnym) układzie współrzędnych wyznaczono parametry transformacji poszczególnych chmur punktów z lokalnymi układami współrzędnych. Efektem procesu rejestracji (połączenia) chmur punktów jest spójny geometrycznie i logicznie zbiór danych przestrzennych przedstawiających pomierzony obiekt. W rejestracji punktami dostosowania były współrzędne środków sferycznych znaczników (kul styropianowych) umieszczonych przed pomiarem laserowym w miejscach zapewniających możliwie najlepszą ich widoczność z sąsiednich stanowisk pomiarowych. Błąd rejestracji 16 chmur punktów nie przekroczył 1 cm. Wynikowy zbiór jest numeryczną reprezentacją mariny, który można wyświetlać, przeglądać i przetwarzać w dedykowanych temu celowi oprogramowaniach (Rys. 14).

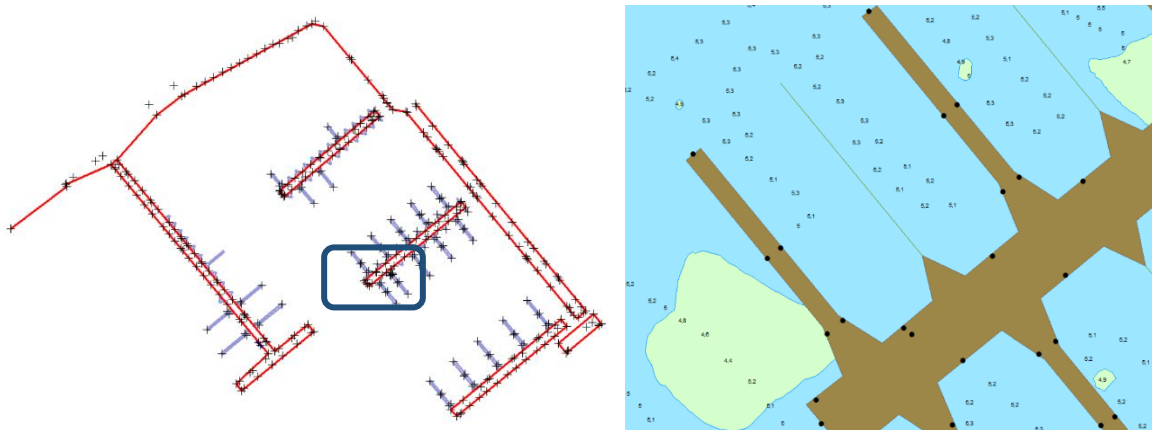


Rys. 14. Wybrany widok perspektywiczny fragmentu zarejestrowanej chmury punktów mariny.

6.4. Pomiary GNSS nabrzeży

W pomiarach inwentaryzacyjnych nabrzeży wykorzystano odbiornik Topcon HyPer II z kontrolerem Sokkia SHC-25 pracującym w sieci TPI NETpro z serwisem NET RTCM 3.0 oraz wirtualną stacją referencyjną. Zapewniło to uzyskanie dokładności wyznaczania współrzędnych pozycji: horyzontalnej 0.5 – 1.8 cm oraz pionowej 0.6 – 2.1 cm. W ramach kampanii pomiarowej wykonano pomiary 680 punktów: 160 – nabrzeża, 310 – pomosty i stanowiska cumownicze oraz 310 – polery i punkty poboru energii elektrycznej (Rys. 15).

Pomiarzone 160 punktów charakterystycznych nabrzeża stałego wykorzystano do porównania z Elektroniczną Mapą Nawigacyjną zawartą w komórce PL5WISLA.000 wraz z sześcioma (ostatnia 01.2018) aktualizacjami uwzględniającymi przebudowę portu oraz batymetrię.



Rys.15. Szkic pomiarów geodezyjnych (z lewej) oraz pomiary terenowe naniesione na mapę ENC.

Pomiary geodezyjne głównej konstrukcji pomostów (rys. 15, kolor czerwony) pokrywają się z zobrazowaniem występującym na oficjalnej Elektronicznej Mapy Nawigacyjnej - ENC. Niewielkie, bo około 13-to centymetrowe różnice współrzędnych występują na pojedynczych elementach, nabrzeży, oznaczonych na rys. 16 kolorem szarym. Podsumowując, należy stwierdzić, że na 265 zmierzonych punktów, 208 z nich stanowi uzupełnienie 57 punktów opisujących urządzenia cumownicze zawartych w oficjalnych – nawigacyjnych- ENC, które oznaczane są akronimem MORFAC – Mooring/Warping facility. Dodać należy, że oficjalna mapa nawigacyjna ENC zawiera wyłącznie polery usytuowane na nabrzeżu stałym.



Rys. 16. Uzupełnienie ENC o brakujące pomosty.

Na Rys. 17 przedstawiono widok pomostu wraz z polerami (z lewej), poler wraz z punktem poboru wody (w środku) oraz punkt poboru energii elektrycznej (z prawej).



Rys.17. Pomost oraz elementy infrastruktury: hydrant i skrzynka elektryczna

7. Mapy

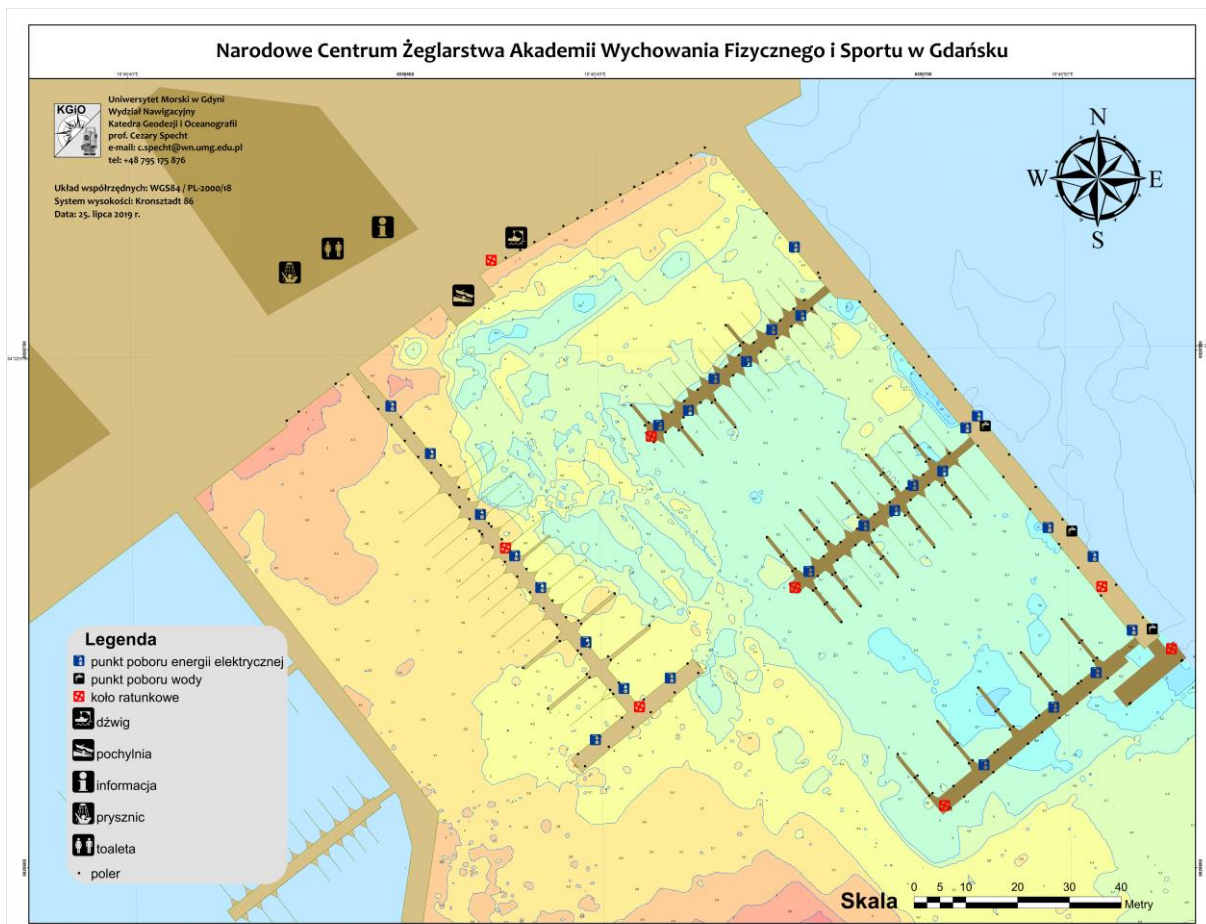
Pozyskane pomiary z USV pozwoliły opracować Numerycznego Model Dna [Makar A., Sassais R., 2011; Makar A., 2016]. Dla wyznaczenia przebiegu izolacji wykorzystano model IDW – Inverse Distance with Weight (ważonych odwrotnych odległości) z separacją co 0.5 m. Rozmiar komórki siatki równomiernej (prostokątów) ustalono na 0.5m × 0.5 m. Utworzono w ten sposób macierz 689×781 komórek obejmujących rejon NCŻ AWFIS oraz przyległych akwenów. DSBM – Digital SeaBottom Model (numeryczny model dna) może być również wykorzystany do jego przestrzennej prezentacji. Sondáže (głębokości) naniesiono w rozdzielczości 0.1 m zgodnie z [IHO 2018] dla akwenu płytkiego o głębokościach do 31 m. Opracowanie wykonano w środowisku ArcGIS 10.5 z wykorzystaniem komórki ENC PL5GDNA.

Skale zobrazowań mapowych dla tego typu akwenów wynoszą zazwyczaj od 1:500 do 1:1000. Przy pomiarach wykonywanych zgodnie z [Rozporządzenie 1998, Rozporządzenie 2006], skale map wynoszą: 1:100, 1:500 lub 1:1000. Skala dobierana jest do formatu wydruku w celu zachowania kartometryczności. Ramka zawiera współrzędne, w których wykonano opracowanie. Mapy wykonano w układzie UTM, na elipsoidzie WGS-84 [NIMA 2004]. Dodatkowo, mapy C i D uzupełniono o współrzędne w Państwowym (polskim) Układzie Współrzędnych Geodezyjnych PL-2000 [Kadaj, R.J. 2019]. Powstaje on w wyniku zastosowania odwzorowania Gaussa-Krügera [Deakin, R.E. et al. 2010] dla elipsoidy GRS 80 w czterech trzystopniowych strefach o południkach osiowych 15°E, 18°E, 21°E i 24°E.

Przeprowadzone pomiary hydrograficzne i geodezyjne pozwoliły opracować serię map portu jachtowego NCŻ, która jest **pierwszym w Polsce zobrazowaniem kartograficznym opartym o pomiary batymetryczne wykonane w całości przez jednostkę bezzałogową**. W wyniku prac opracowano następujące mapy:

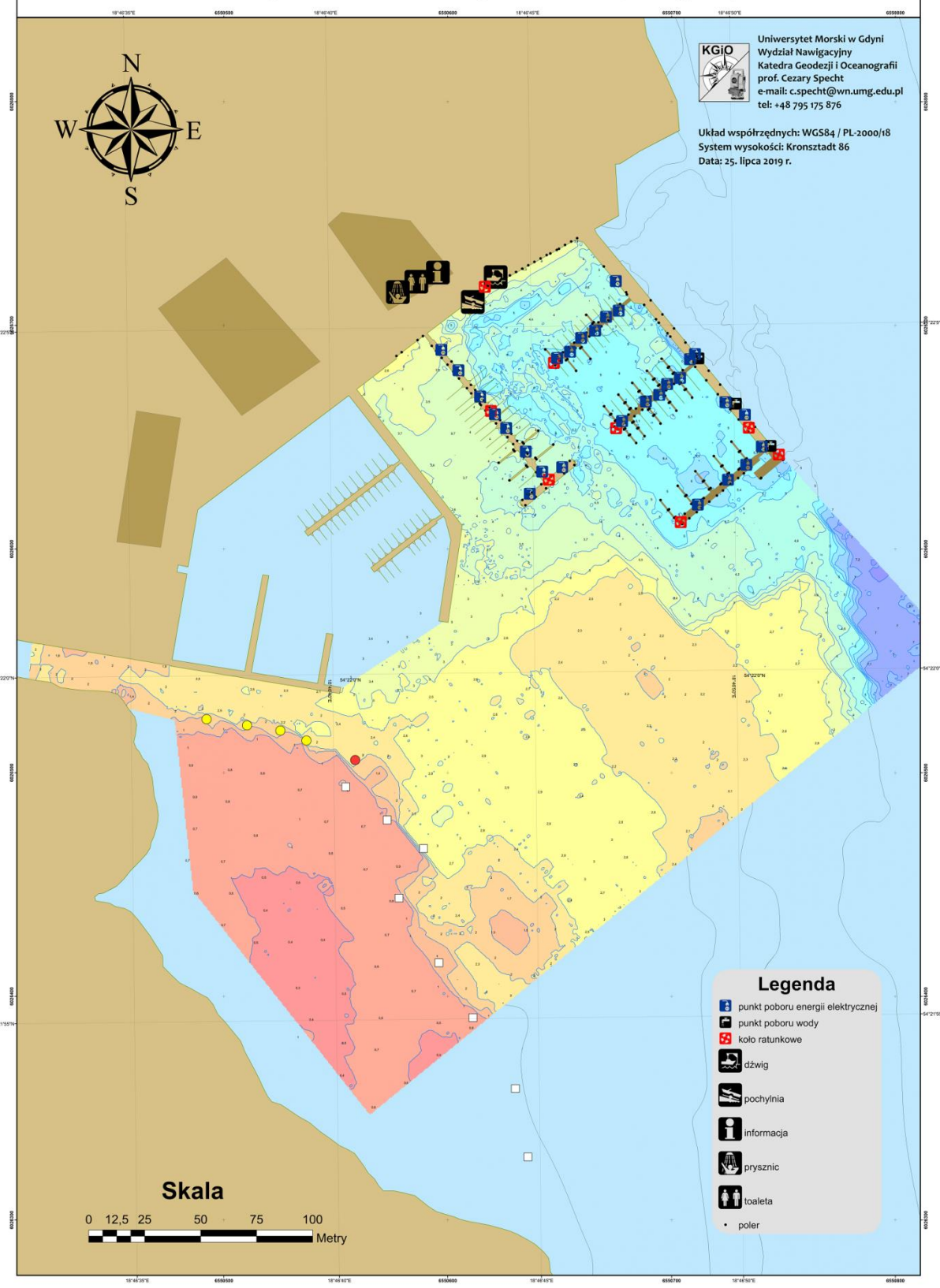
1. **Mapa A - portu jachtowego NCŻ** (rys. 18) wykonana w układzie UTM, zawierająca izobaty o skoku wynoszącym 0.5 m i gęstości danych głębokościowych wynoszącej 10 m².
2. **Mapa B - podejścia i portu jachtowego NCŻ** (rys. 19) wraz z akwenem mielizny „Zielone Wyspy” wykonana w układzie UTM, zawierająca izobaty o skoku 0.5 m oraz gęstości danych głębokościowych wynoszącej 10m².
3. **Mapa C – głębokości portu jachtowego NCŻ** (rys. 20) wykonana w układzie UTM, pozbawiona izobat oraz posiadająca zwiększoną gęstość danych głębokościowych-2m².
4. **Mapa D – głębokości portu i podejścia do NCŻ** (rys. 21) wykonana w układzie UTM, pozbawiona izobat oraz posiadający zwiększoną gęstość danych głębokościowych-2m².
5. **Mapa E – tematyczne zobrazowanie 3D portu NCŻ** (rys. 22), perspektywa z kierunku SE.
6. **Mapa F – tematyczne zobrazowanie 3D portu NCŻ** (rys. 23), perspektywa z kierunku NE.

Poniżej przedstawiono poszczególne mapy. Załącznikami do raportu są mapy wykonane w wysokiej rozdzielczości.

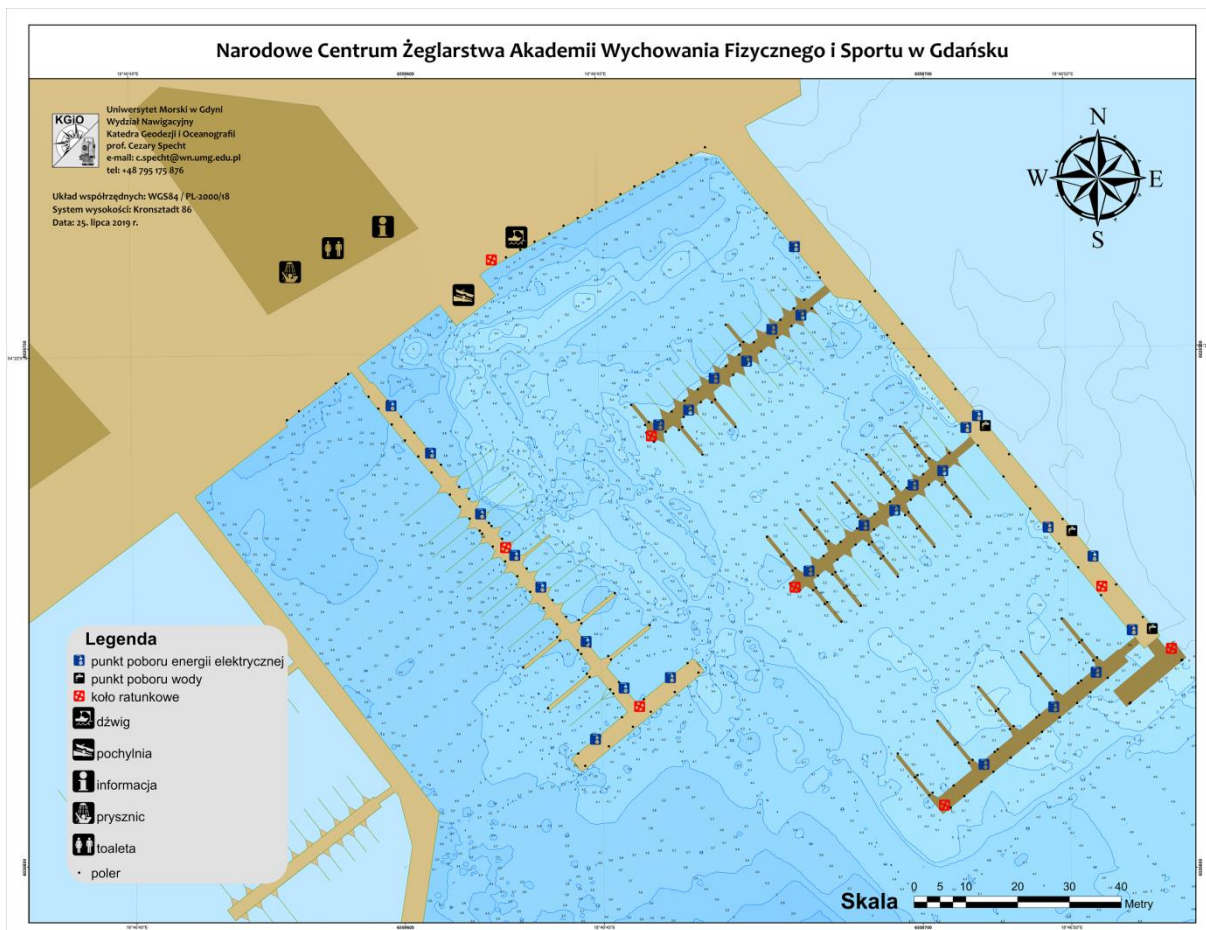


Rys. 18. Mapa A –portu jachtowego NCŻ (Narodowego Centrum Żeglarstwa Akademii Wychowania Fizycznego i Sportu w Gdańsku).

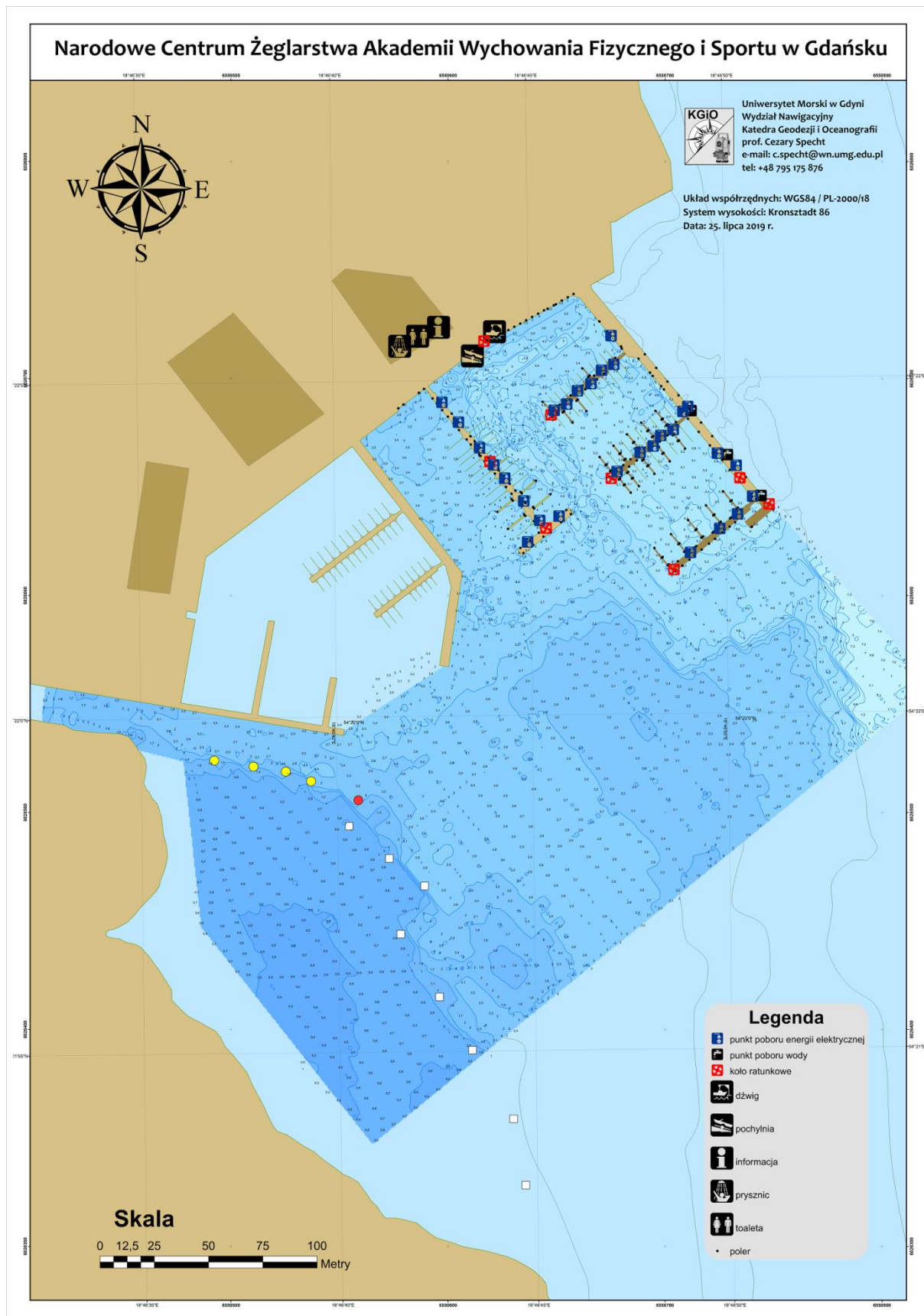
Narodowe Centrum Żeglarstwa Akademii Wychowania Fizycznego i Sportu w Gdańsku



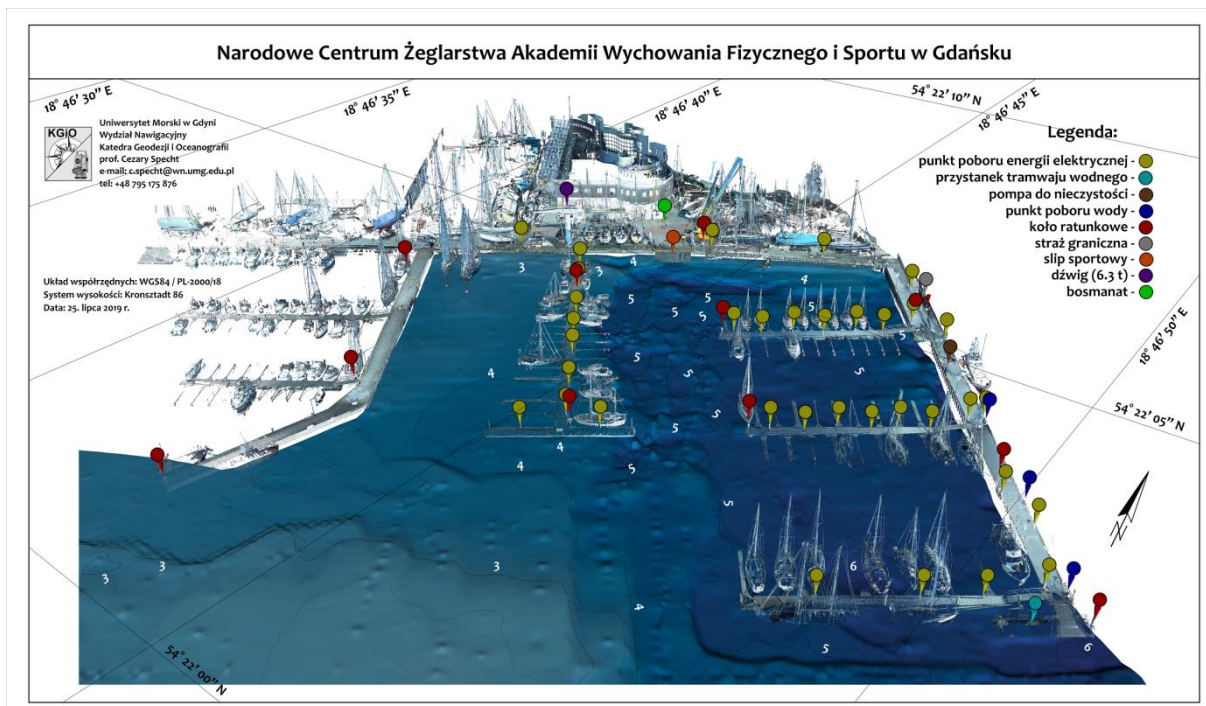
Rys. 19. Mapa B - podejścia i portu jachtowego NCZ (Narodowego Centrum Żeglarstwa Akademii Wychowania Fizycznego i Sportu w Gdańsku).



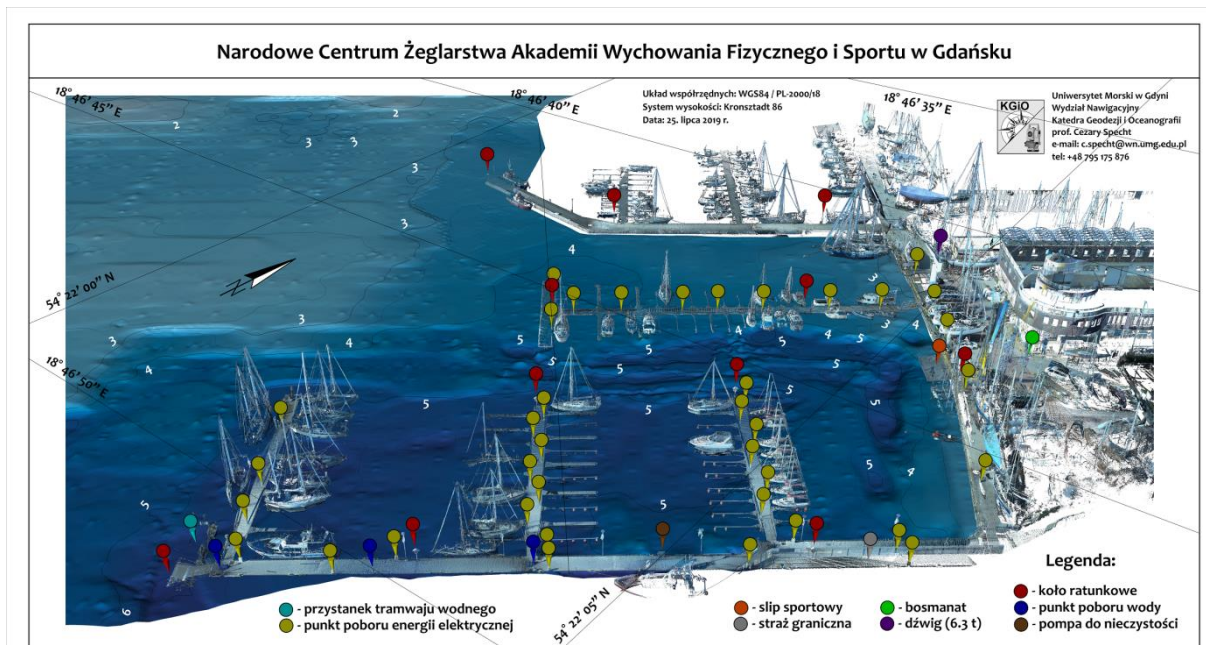
Rys. 20. Mapa C – głębokości portu jachtowego NCZ (Narodowego Centrum Żeglarstwa Akademii Wychowania Fizycznego i Sportu w Gdańsku).



Rys. 21. Mapa D – głębokości portu i podejścia do NCŻ (Narodowego Centrum Żeglarstwa Akademii Wychowania Fizycznego i Sportu w Gdańsku).



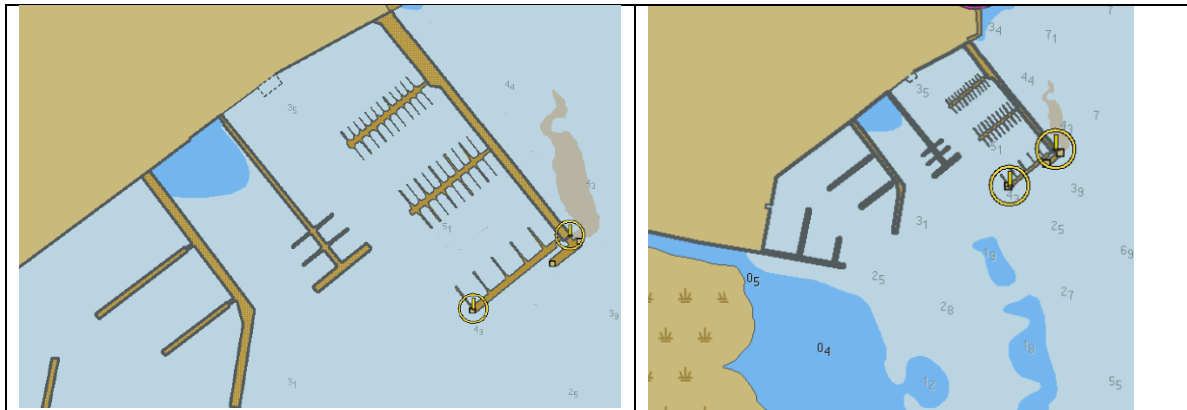
Rys. 22. Mapa E – tematyczne zobrazowanie 3D portu NCŻ (Narodowego Centrum Żeglarstwa Akademii Wychowania Fizycznego i Sportu w Gdańsku). Perspektywa z kierunku SE.



Rys. 23. Mapa E – tematyczne zobrazowanie 3D portu NCŻ (Narodowego Centrum Żeglarstwa Akademii Wychowania Fizycznego i Sportu w Gdańsku). Perspektywa z kierunku SE.

Wnioski

Aby ocenić wiarygodność opracowanych map dokonano ich porównania z aktualnie obowiązującymi mapami tego rejonu pochodzącymi z oficjalnie stosowanych w nawigacji komórek ENC. Na rys. 24 zaprezentowano mapę portu i jego podejścia pochodzące z komórek ENC.



Rys. 24. Mapy nawigacyjne portu i podejścia do Portu NCŻ pochodzące z oficjalnych komórek ENC.

Z analizy porównawczej mapy portu NCŻ wykonanej przez USV oraz mapy ENC wynika, że mapa ENC nie oddaje znacznej zmienności głębokości w ramach północnej części basenu głównego wynoszącej 3-5 m. W mapie ENC podano stałą głębokość 3.5 m, co nie odpowiada rzeczywistości. Ponadto w basenie zachodnim portu NCŻ mapa ENC nie podaje ani jednej wartości głębokości wskazując jedynie na występujące w północnej części wypływanie. Zdaniem autorów brak jakiegokolwiek wartości głębokości w basenie zachodnim NCŻ nie powinno mieć miejsca.

Oceniając wiarygodność opracowanych map w porównaniu do mapy ENC należy podkreślić, iż mapa ENC nie zawiera istotnych znaków kardynalnych, ograniczających mieliznę „Zielone Wyspy”. Pławy czerwona i 4 pławy żółte stanowią znaki umożliwiające bezpieczne wpłynięcie do zatoki wewnętrznej rezerwatu, wzdłuż nabrzeża południowego Akademickiego Klubu Morskiego. Ponadto można stwierdzić, że nieformalne znaki „water tanks” zostały poprawnie wystawione na izobacie 1m, stąd ich użyteczność dla żeglarstwa w tym rejonie jest istotna.

W raporcie zaprezentowano metodykę wykorzystania bezzałogowej jednostki hydrograficznej UAV, klasy X którą zastosowano do realizacji pomiarów batymetrycznych portu jachtowego oraz jego podejścia. Małe rozmiary jednostki wykazały możliwość wykonania pomiaru głębokości zarówno wewnątrz portu wraz z pomiarem głębokości stanowisk cumowniczych portu (y-bomów). Ponadto w przypadku, gdy w miejscu postoju znajdowały się jednostki USV mógł również wykonać pomiar wpływając pomiędzy cumujące obok siebie jachty, dzięki sterowaniu bezpośredniemu (ręcznemu).

Jednostka bezzałogowa w pełni sprawdziła się również w pomiarach rozległego akwenu podejścia do portu oraz pobliskiej mielizny „Zielone Wyspy”. Pomimo falowania, realizacja pomiarów w trybie automatycznym przebiegła bez zakłóceń.

Przeprowadzone pomiary hydrograficzne jak również towarzysząca im geodezyjna inwentaryzacja nabrzeży pozwoliły opracować mapy portu jachtowego, które mogą być wykorzystywane w różny sposób.

Należy również podkreślić, że zabronione jest wykorzystywanie opracowanych map dla celów nawigacyjnych, bowiem jedyną instytucją upoważnioną do wydawania morskich map nawigacyjnych jest Biuro Hydrograficzne Marynarki Wojennej RP.

Bibliografia

1. **E&D HS (2004).** Engineering and Design: Hydrographic Surveying (Engineer Manual 1110-2-1003) US Army Corps of Engineers, Published by Books Express Publishing (2004).
2. **IHO (2005).** Manual on Hydrography, Publication C-13 1st Edition May 2005 (Corrections to February 2011), International Hydrographic Beareau, Monaco.
3. **CHS (2013).** Canadian Hydrographic Service, Standards for Hydrographic Surveys. June 2013, Edition 2.
4. **NOAA (2017).** NOS Hydrographic Surveys Specifications and Deliverables.
5. **IHO (2008).** IHO Standards for Hydrographic Surveys, Special Publication No. 44, 5th Edition.
6. **Specht C., Makar A., Specht M., (2018).** Availability of the GNSS Geodetic Networks Position during the Hydrographic Surveys in the Ports, Transnav the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Faculty of Navigation Gdynia Maritime University, vol. 12 No. 4, December 2018, pp. 657-661, doi: 10.12716/1001.12.04.02.
7. **Stateczny A., Gronska D., Motyl W., (2018).** Hydrodron—New Step for Professional Hydrography for Restricted Waters, 2018 Baltic Geodetic Congress (BGC Geomatics), 226-230.
8. **Breivik, M. (2010).** Topics in Guided Motion Control of Marine Vehicles. PhD Thesis, Norwegian University of Science and Technology.
9. **Specht C., Specht M., Świtalski E. (2017),** Application of an Autonomous, Unmanned Survey Vessel (ASV/USV) in Bathymetric Measurements, Polish Maritime Research Volume 24, Issue 3, pp. 36-44. doi:10.1515/pomr-2017-0088

10. **Burdziakowski P., Motyl W., Wiśniewska M., Kazimierski W., (2019).** Shore Construction Detection by Automotive Radar for the Needs of Autonomous Surface Vehicle Navigation, *International Journal of Geo-Information* 8:1-19, February 2019, doi: 10.3390/ijgi8020080.
11. **Li C., Jiang J., Duan F., Liu W., Wang X., Bu L., Sun Z., Yang G. (2019).** Modeling and Experimental Testing of an Unmanned Surface Vehicle with Rudderless Double Thrusters. *Sensors* **2019**, *19*, 2051.
12. **Wróbel K., Montewka J., Kujala P., (2018).** System-theoretic Approach to Safety of Remotely-controlled Merchant Vessel, *Ocean Engineering* *152*, pp. 334-345.
13. **Stateczny A., Włodarczyk-Sielicka M., Gronska D., Motyl W., (2018a).** Multibeam Echosounder and LiDAR in Process of 360-Degree Numerical Map Production for Restricted Waters with HydroDron, 2017 Baltic Geodetic Congress
14. **Romano A., Duranti P., 2012,** Autonomous Unmanned Surface Vessels for Hydrographic Measurement and Environmental Monitoring, *Proceedings of the FIG Working Week, Rome*.
15. **Stateczny, A., Kazimierski, W., Burdziakowski, P., Motyl, W., Wisniewska, M., (2019).** Shore Construction Detection by Automotive Radar for the Needs of Autonomous Surface Vehicle Navigation, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Vol. 8(2), pp. 80.
16. **Zhixiang L., Youmin Z., Xiang Y., Chi Y., (2016).** Unmanned surface vehicles: An Overview of Developments and Challenges, *Annual Reviews in Control*, Volume 41, 2016, Pages 71-93, doi: 10.1016/j.arcontrol.2016.04.018.
17. **[RAND 2013] Savitz S., Blickstein I., Buryk P., Button R.W., DeLuca P., Dryden J., Mastbaum J., Osburg J., Padilla P., Potter A., Price C.C., Thrall L., Woodward S.K., Yardley R.J., Yurchak J.M., (2013).** U.S. Navy Employment Options for UNMANNED SURFACE VEHICLES (USVs), RAND National Defence Research Institute, ISBN: 978-0-8330-8143-8, 2013.
18. **Specht, C., Weintrit, A., Specht, M. (2016).** Determination of the Territorial Sea Baseline – Aspect of Using Unmanned Hydrographic Vessels, *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 10(4), pp. 649-654, doi: 10.12716/1001.10.04.15.
19. **Specht, M., Specht, C., Wąż, M., Naus, K., Grządziel, A., Iwen, D. (2019).** Methodology for Performing Territorial Sea Baseline Measurements in Selected Waterbodies of Poland, *Applied Sciences*, Vol. 9(15), pp. 3053, doi: 10.3390/app9153053.
20. **Specht, C., Pawelski, J., Smolarek, L., Specht, M., Dąbrowski, P. (2019a).** Assessment of the Positioning Accuracy of DGPS and EGNOS Systems in the Bay of Gdansk Using Maritime Dynamic Measurements, *The Journal of Navigation*, Vol. 72(3), pp. 575-587, doi: 10.1017/S0373463318000838.
21. **Specht, C., Smolarek, L., Pawelski, J., Specht, M., Dąbrowski, P. (2019b).** Polish DGPS System: 1995-2017 – Study of Positioning Accuracy, *Polish Maritime Research*, Vol. 26(2), pp. 15-21, doi: 10.2478/pomr-2019-0021.
22. **Specht, C., Specht, M., Cywiński, P., Skóra, M., Marchel, Ł., Szychowski, P. (2019c).** A New Method for Determining the Territorial Sea Baseline Using an Unmanned, Hydrographic Surface Vessel, *Journal of Coastal Research*, Vol. 35(4), pp. 925-936, doi: 10.2112/JCOASTRES-D-18-00166.1.
23. **Specht C., Dąbrowski P., Pawelski J., Specht M., Szot T. (2019d).** Comparative Analysis of Positioning Accuracy of GNSS Receivers of Samsung Galaxy Smartphones in Marine Dynamic Measurements, *Advances in Space Research*, Volume 63, Issue 9, 1 May 2019, pp. 3018-3028. doi.org/10.1016/j.asr.2018.05.019.
24. **Specht M., Specht C., Lasota H., Cywiński P., (2019e)** Assessment of the Steering Precision of a Hydrographic Unmanned Surface Vessel (USV) along Sounding Profiles Using a Low-Cost Multi-GNSS Receiver Supported Autopilot, *Sensors (Basel)*, 2019 Sep, 19(18), 3939, published online 2019 Sep 12. doi: 10.3390/s19183939.
25. **Szot T., Specht C., Specht C., Dąbrowski P. S., (2019)** Comparative Analysis of Positioning Accuracy of Samsung Galaxy Smartphones in Stationary Measurements, *PLoS One*, 2019, 14(4), doi: 10.1371/journal.pone.0215562.
26. **Rozporządzenie (1998).** Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 1 czerwca 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać morskie budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie
27. **Rozporządzenie (2006).** Ministra Gospodarki Morskiej z dnia 23 października 2006 r. w sprawie warunków technicznych użytkowania oraz szczegółowego zakresu kontroli morskich budowli hydrotechnicznych
28. **Makar A., Sassais R., (2011).** Methods to Generate Numerical Models of Terrain for Spatial ENC Presentation. *Annual of Navigation*, vol. 18, pp. 69-81.
29. **Makar A., (2016).** The Sea Bottom Surface Described by Coons Pieces. *Scientific Journal of the Maritime University of Szczecin*, vol. 45, pp. 187-190. DOI: 10.17402/104.
30. **NIMA (2004).** Department of Defense World Geodetic System 1984, Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems, 3rd ed., 2004.
31. **Deakin, R.E., Hunter, M.N., Karney, C.F.F. (2010).** The Gauss-Krüger Projection. In *Proceedings of the 23rd Victorian Regional Survey Conference, Warrnambool, Australia, 2010*.
32. **Kadaj, R.J. (2019).** Polish Coordinate Systems. Transformation Formulas, Algorithms and Softwares (in Polish). Available online: http://www.geonet.net.pl/images/2002_12_uklady_wspolrz.pdf (accessed on 10 August 2019).
33. **Locja (2009).** Locja Bałtyku. Wybrzeże Polskie (502), Biuro Hydrograficzne Marynarki Wojennej, Gdynia.