

kmdr Witold STASIAK

Biuro Hydrograficzne Marynarki Wojennej

IMPLEMENTACJA UKŁADU WYSOKOŚCIOWEGO BALTIC SEA CHART DATUM 2000 NA MAPY MORSKIE BHMW

1. Geneza układu wysokościowego BSCD2000

Koncepcja stworzenia jednorodnego układu wysokościowego na obszar Morza Bałtyckiego była przez wiele lat poruszana przez Komisję Hydrograficzną Morza Bałtyckiego (*Baltic Sea Hydrographic Commission – BSHC*). Za takim rozwiązaniem przemawiała nie tylko chęć ujednolicenia wydawanych map morskich na obszar Bałtyku w zakresie układu odniesień pionowych, ale również potrzeba ujednolicenia systemu wysokościowego do prowadzenia pomiarów hydrologicznych.

Komisja Hydrograficzna Morza Bałtyckiego, jako organ działający pod patronatem Międzynarodowej Organizacji Hydrograficznej (IHO), do której zadań należy między innymi promocja technicznej współpracy pomiędzy krajami bałtyckimi w dziedzinie prowadzenia pomiarów hydrograficznych, kartografii morskiej oraz informacji nautycznej, była właściwą instytucją do zainicjowania procesu stworzenia wspólnego układu wysokościowego. W celu rozpoczęcia prac nad koncepcją zharmonizowanego układu wysokościowego, została powołana w 2005 roku przez BSHC grupa robocza pod nazwą *Chart Datum Working Group* (CDWG). Po wielu spotkaniach grupy roboczej, wnikliwej analizie oraz konsultacjach ze środowiskami geodezyjnymi zdecydowano się i uzgodniono, że jednorodnym układem wysokościowym stosowanym w obrębie Morza Bałtyckiego będzie układ oparty na europejskim systemie wysokościowym EVRF. Wyniki analizy przedstawiono we wrześniu 2013 r. podczas 18. Konferencji Komisji Hydrograficznej Morza Bałtyckiego. Wszyscy szefowie narodowych służb hydrograficznych działających w ramach BSHC zaakceptowali propozycję, uzgadniając dla nowego układu wysokościowego nazwę *Baltic Sea Chart Datum 2000* (BSCD2000). Komisja Hydrograficzna Morza Bałtyckiego poleciła rozpoczęcie wdrażania układu BSCD2000, a grupa robocza CDWG otrzymała zadanie kontynuacji prac nad rozwojem układu wysokościowego. W kolejnych latach grupa robocza CDWG doprecyzowała definicję oraz specyfikację układu BSCD2000.

2. Definicja BSCD2000 [1]:

„Baltic Sea Chart Datum 2000 to geodezyjny system odniesienia przyjęty na potrzeby pomiarów hydrograficznych, prac inżynierskich, opracowywania map i publikacji nautycznych na obszar Morza Bałtyckiego. BSCD2000 odnosi się do definicji Europejskiego Pionowego Systemu Odniesienia (EVRS) oraz Europejskiego Nziemnego Systemu Odniesienia 89 (ETRS89). Powierzchnią odniesienia wysokości w układzie BSCD2000 jest powierzchnia ekwipotencjalna pola grawitacyjnego Ziemi. Poziom zerowy BSCD2000 jest zgodny z Normaalem Amsterdams Peil (NAP)”.

Zgodnie z tą definicją poziom zerowy BSCD2000 jest zgodny z poziomem Morza Północnego, wyznaczonym dla mareografu w Amsterdamie (*Normaal Amsterdams Peil*), Holandia. Taka definicja układu BSCD2000 powoduje, że w swoich założeniach jest on tożsamy z układami wysokościowymi opartymi na Europejskim

Pionowym Systemie Odniesienia (EVRF). Można zatem stwierdzić, że układ BSCD2000 jest jednakowy ze stosowanym w Polsce, układem wysokościowym PL-EVRF2007-NH. W innych krajach Morza Bałtyckiego również zestawia się układ BSCD2000 z narodowymi odpowiednikami układów opartych o EVRF.

Tabela 1. Zestawienie narodowych układów wysokościowych w obszarze Morza Bałtyckiego, opartych o EVRF [opracowanie własne].

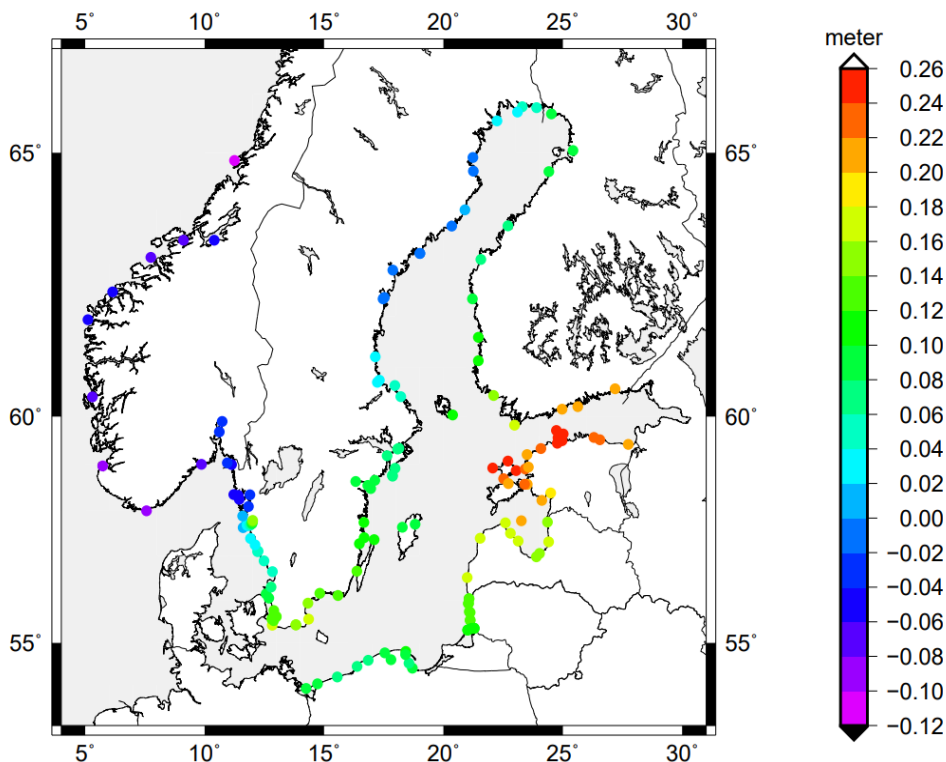
Lp.	kraj	narodowy odpowiednik układu BSCD2000
1.	Dania	DVR90
2.	Estonia	EH2000
3.	Finlandia	N2000
4.	Litwa	LAS07
5.	Łotwa	LAS2000,5
6.	Niemcy	DHHN2016
7.	Polska	PL-EVRF2007-NH
8.	Szwecja	RH2000

W 2020 roku BSHC skierowała do Międzynarodowej Organizacji Hydrograficznej wniosek o rejestrację układu BSCD200 jako oficjalnego układu wysokościowego do stosowania w hydrografii oraz kartografii morskiej. W tym samym roku wniosek został zaakceptowany i BSCD2000 został uznany i formalnie zarejestrowany w „*IHO Geospatial Information Registry*” jako układ nr 44. Od tej pory układ BSCD2000 może być stosowany na mapach morskich wydawanych na potrzeby żeglugi.

[Listed Value] Dictionary Details		
Domain	IHO Hydro	
Name	Baltic Sea Chart Datum 2000	
CamelCase	balticSeaChartDatum2000	
Item Identifier	1213 ?	
Definition	The datum refers to each Baltic country's realization of the European Vertical Reference System (EVRS) with land-uplift epoch 2000, which is connected to the Normaal Amsterdams Peil (NAP).	
Data type	Enumerated value	
Associated Attribute	Attribute type	Name
	Enumerated type	Vertical Datum
Reference		
Reference Source	Baltic Sea Hydrographic Commission	
Similarity to Source	Identical : The style of the definition has been changed to match the style and structure of other specifications in the register that has imported the specification.	

Rys. 1. Informacja o BSCD2000 zawarta w „*IHO Geospatial Information Registry*” [3].

Różnica pomiędzy głębokościami (wysokościami) w układzie BSCD2000, a dotychczas stosowanymi układami w poszczególnych krajach Morza Bałtyckiego wynosi od 0 do 25 cm i wynika głównie z długotrwałych zmian poziomu morza, a także z przyjętego wcześniej poziomu odniesienia. Różnice te przedstawia poniższy rysunek:

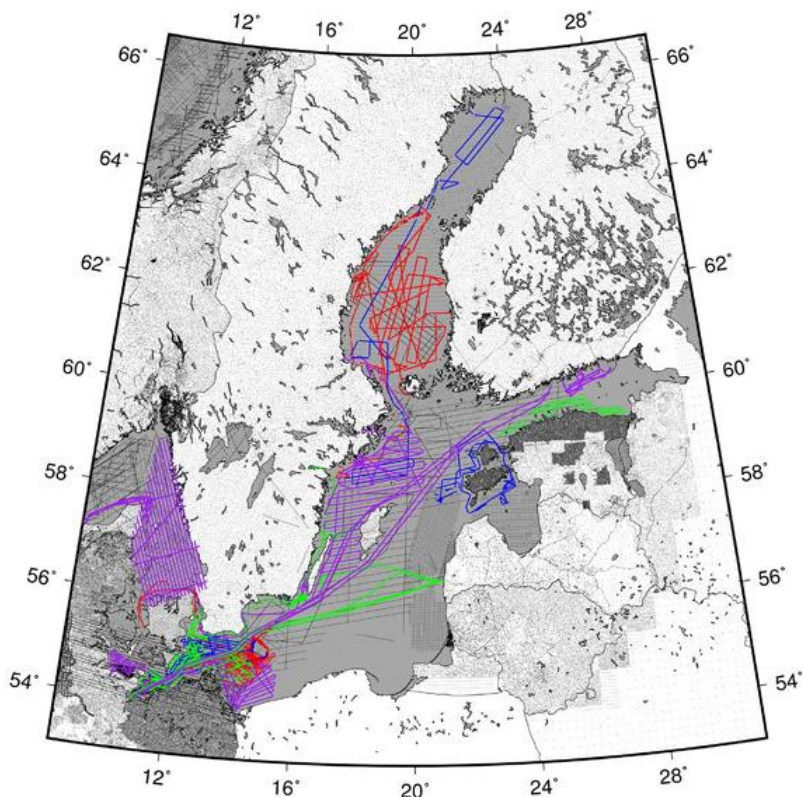


Rys.2. Różnice w wysokościach pomiędzy układem BSCD2000, a układami dotychczas stosowanymi przez kraje obszaru Morza Bałtyckiego [1].

3. Geoida BSCD2000

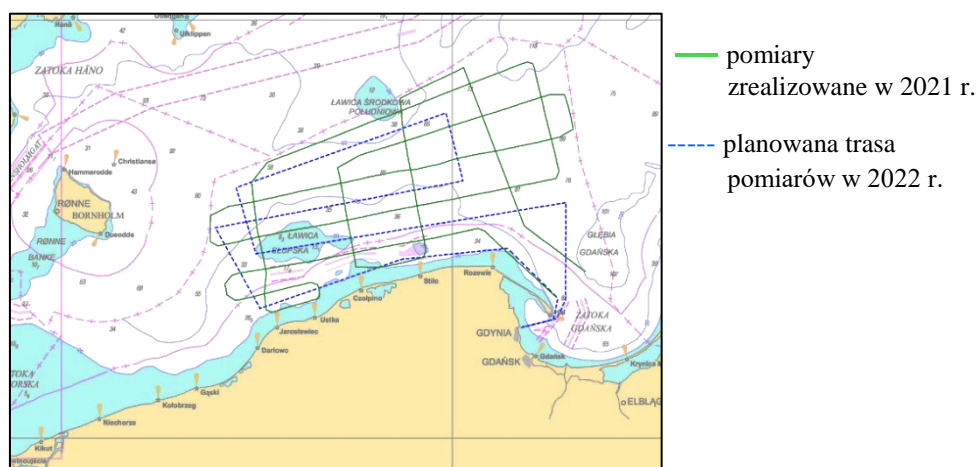
Mając na uwadze, że układ BSCD2000 jest układem kinematycznym – odniesionym do powierzchni ekwipotencjalnej pola grawitacyjnego Ziemi, grupa robocza CDWG przystąpiła do działań mających na celu opracowanie modelu quasi-geoidy BSCD2000.

Prace nad rozwojem modelu geoidy w znacznym stopniu wsparł projekt FAMOS (*Finalizing Surveys for the Baltic Motorways of the Sea*), który był współfinansowany przez Komisję Europejską. Główne działania w ramach projektu FAMOS obejmowały koordynację i realizację kampanii pomiarowych na statkach badawczych, mających na celu pomiar danych grawimetrycznych, potrzebnych do obliczenia modelu geoidy. W tym czasie, polskie obszary morskie stanowiły swoistą „białą plamę” w pokryciu danymi grawimetrycznymi wód Morza Bałtyckiego. Pierwszym, współczesnym projektem zrealizowanym na wodach polskich była kampania pomiarowa przeprowadzona w 2018 roku przez niemiecki Federalny Urząd do spraw Żeglugi i Hydrografii (*Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie – BSH*). Pomiary obejmowały obszar od Zatoki Pomorskiej do Ławicy Słupskiej i były realizowane z wykorzystaniem statku hydrograficznego r/v Deneb.



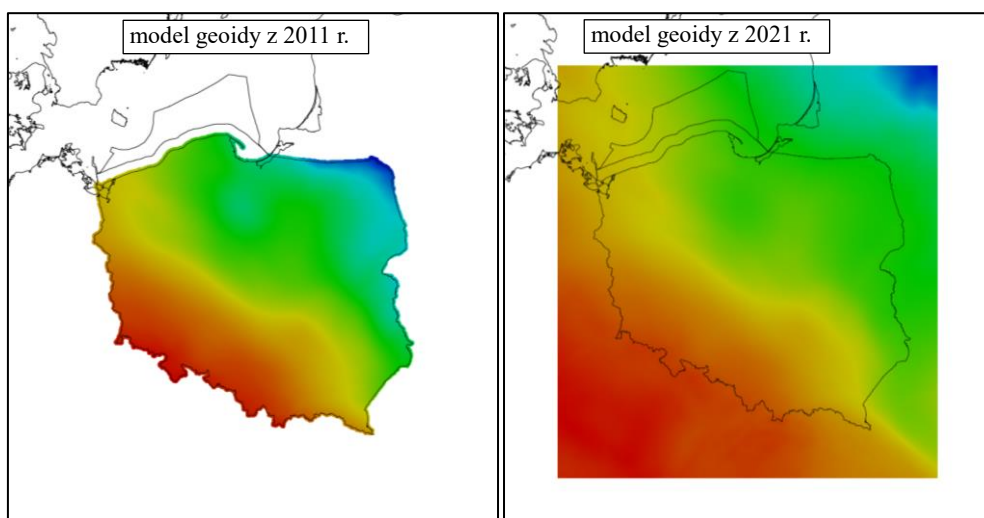
Rys. 3. Pokrycie wód Morza Bałtyckiego danymi grawimetrycznymi. Stan na 2015 rok [2].

Dążąc do jak najszybszego pozyskania danych grawimetrycznych z obszarów morskich, w 2020 roku BHMW zawarło porozumienie z Politechniką Gdańską w zakresie wymiany danych i przystąpiło do realizacji kampanii pomiarowych.



Rys. 4. Kampanie grawimetryczne zrealizowane wspólnie przez BHMW i Politechnikę Gdańską na obszarach morskich RP w latach 2021-2022 [opracowanie własne].

W roku 2021 na okręcie ORP „Arctowski” zamontowano dostarczony z Politechniki Gdańskiej grawimetr (Micro-g LaCoste MGS-6) i przy udziale specjalistów Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska PG zrealizowano trzydniową kampanię pomiarową. Kolejną kampanię przeprowadzono w 2022 roku z pokładu okrętu ORP „Heweliusz”. Uzyskane dane pomiarowe, w ramach zawartych porozumień przekazano do bazy danych grawimetrycznych na potrzeby projektu FAMOS oraz do zasobów Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii. Jak istotne były dane pozyskane w ramach kampanii 2020-2021 świadczy fakt, że obowiązujący od 2011 roku na obszar RP model geoidy (PL-geoid2011 w układzie PL-EVRF2007-NH) nie obejmował obszarów morskich. Dopiero w ramach ogłoszonego przez GUGiK konkursu, w 2021 roku został opracowany przez Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu model geoidy (PL-geoid2021 w układzie PL-EVRF2007-NH), który pokrywał polskie obszary morskie. Jednakże do obliczeń modelu geoidy z 2021 roku nie wykorzystano jeszcze najnowszych danych pozyskanych w ramach kampanii zrealizowanych w latach 2021-2022 z pokładów okrętów Dywizjonu Zabezpieczenia Hydrograficznego MW.



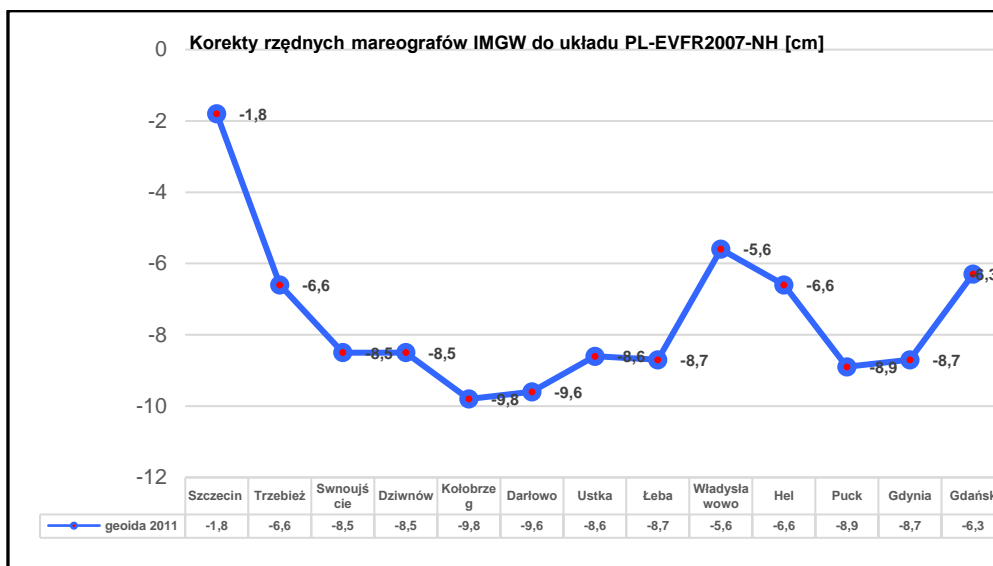
Rys. 5. Zestawienie obszarów pokrytymi modelami geoidy z 2011 r. 2021 r. [opracowanie własne].

Prace nad pierwszym, kompleksowym modelem quasi-geoidy BSCD2000 obejmującym obszar Morza Bałtyckiego ukończono we wrześniu 2023 roku, publikując model na stronie internetowej BSHC. Model można pobrać z podanej poniżej lokalizacji:

https://www.bshc.pro/wp-content/uploads/BSCD2000_v1_2023.zip.

4. Implementacja układu wysokościowego BSCD2000 na mapy morskie BHMW

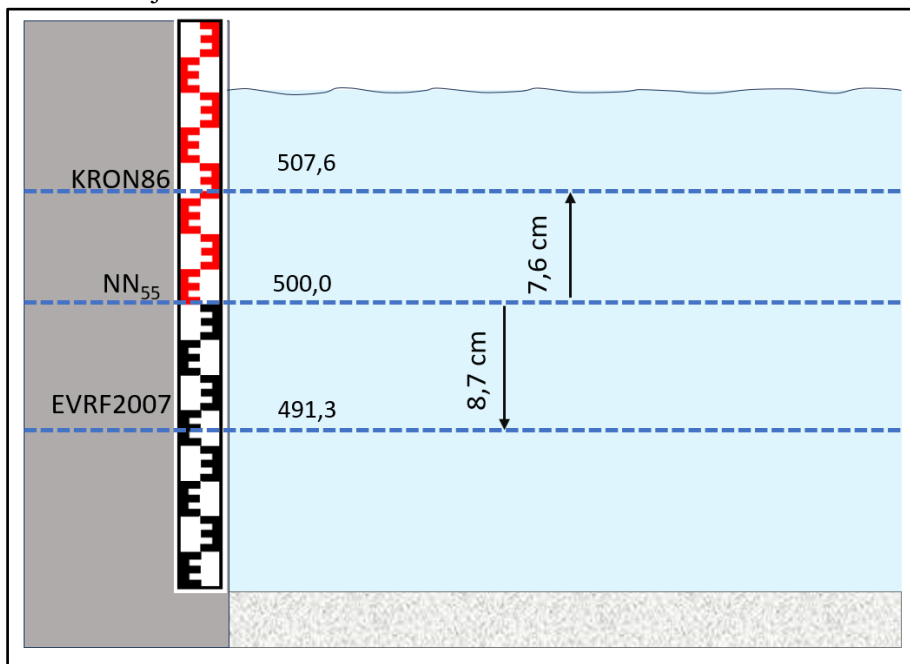
Realizując decyzję uzgodnioną na 18. Konferencji Komisji Hydrograficznej Morza Bałtyckiego w zakresie wdrożenia jednolitego układu wysokościowego, BHMW przystąpiło do analizy możliwości opracowania nowych edycji map morskich w układzie BSCD2000. Głównym zagadnieniem podlegającym szczegółowej ocenie było zdefiniowanie różnic pomiędzy dotychczas stosowanym układem – czyli *Mean Sea Level* (MSL), a układem BSCD2000. Bazując na wiedzy i doświadczeniu hydrografów, którzy przez lata realizowali pomiary na rzecz kartografii morskiej stwierdzono, że większość pomiarów batymetrycznych w trakcie opracowania była prowadzona do rzędnych mareografów funkcjonujących w portach polskiego wybrzeża. Stąd główne pytanie brzmiało – do jakiego układu wysokościowego odnoszą się rzędne mareografów? Z tym pytaniem zwrócono się do właściciela wodowskazów, czyli do Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego. W zrozumieniu zawłości tematu, bardzo pomocny okazał się pan Waldemar Stepko – Kierownik Wydziału Pomiarów Hydrologiczno-Meteorologicznych Centrum Hydrologiczno-Meteorologicznej Sieci Pomiarowo-Obserwacyjnej IMGW-PIB w Gdyni. W wyniku wymiany korespondencji, a także zorganizowanych spotkań roboczych ustalono, że rzędne wszystkich wodowskazów (wartość 500 cm) zostały ustawione według lokalnego układu wysokościowego AmsterdamNN₅₅ (*Normal Null*), którego „zero” odpowiada zeru repera umieszczonego na Ratuszu Miejskim w Toruniu. Niwelacje precyzyjne w celu ustawienia m.in. rzędnych wodowskazów zostały przeprowadzone w latach 1955-1957.



Rys. 6. Różnice pomiędzy układem wysokościowym Amsterdam NN₅₅ a układem PL-EVRF2007-NH dla lokalizacji wystawienia mareografów w portach polskiego wybrzeża [opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB].

Potwierdzeniem tej tezy były wykonane w 2020 roku przez IMGW-PIB weryfikacje oraz przeliczenia rzędnych stacji wodowskazowych do układu PL-EVRF2007-NH. Ciekawostką jest fakt, że kontrole wysokości rzędnych mareografów prowadzone były w oparciu o układ wysokościowy PL-KRON86-NH, dla którego osnowa geodezyjna była najbardziej powszechna i dostępna.

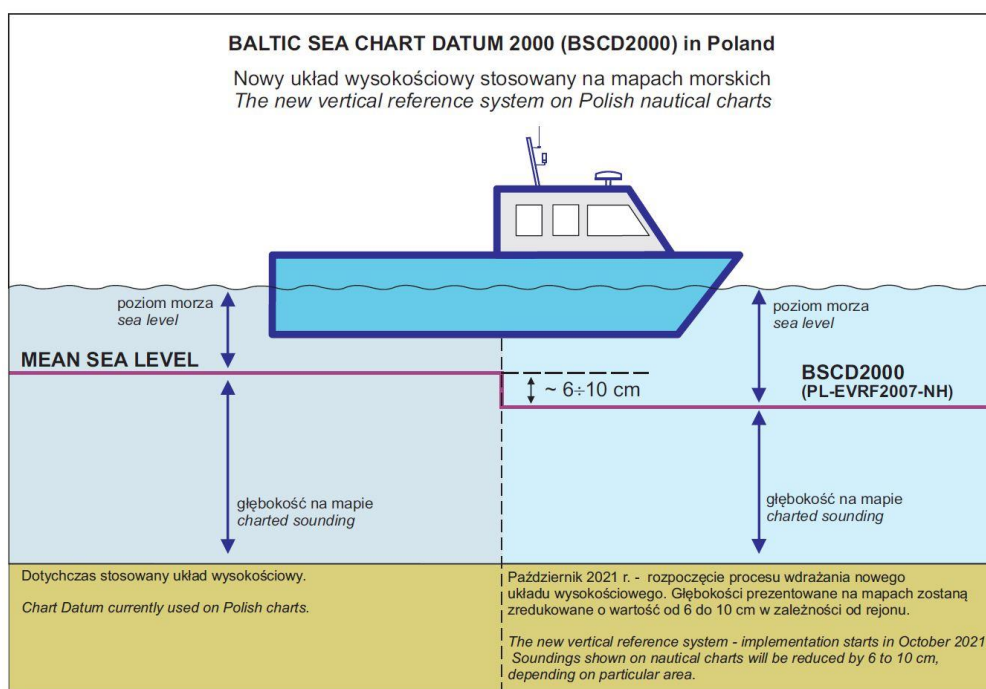
Głównym wnioskiem, wynikającym z porównania układów wysokościowych było stwierdzenie, że w portach polskiego wybrzeża, gdzie zamontowane są mareografy IMGW-PIB, zero układu wysokościowego BSCD2000 odniesione jest kilka centymetrów niżej niż zero w układzie AmsterdamNN₅₅. Przekładając to na pomiar (przeliczanie) głębokości należy stwierdzić, że w porównaniu do dotychczas stosowanego układu, głębokości w układzie BSCD2000 należy zredukować (zmniejszyć) o wartość od około 2 do 10 centymetrów, w zależności od miejsca pomiaru. Należy przy tym pamiętać, że zmiana układu wysokościowego nie zmieniła wielkości kolumny wody i jeżeli redukujemy odczyty głębokości, to o taką samą wielkość należy zwiększyć wartość odczytu poziomu morza na łacie wodowskazowej.



Rys. 7. Różnice pomiędzy układami wysokościowymi na przykładzie mareografu IMGW-PIB w Gdyni [opracowanie własne].

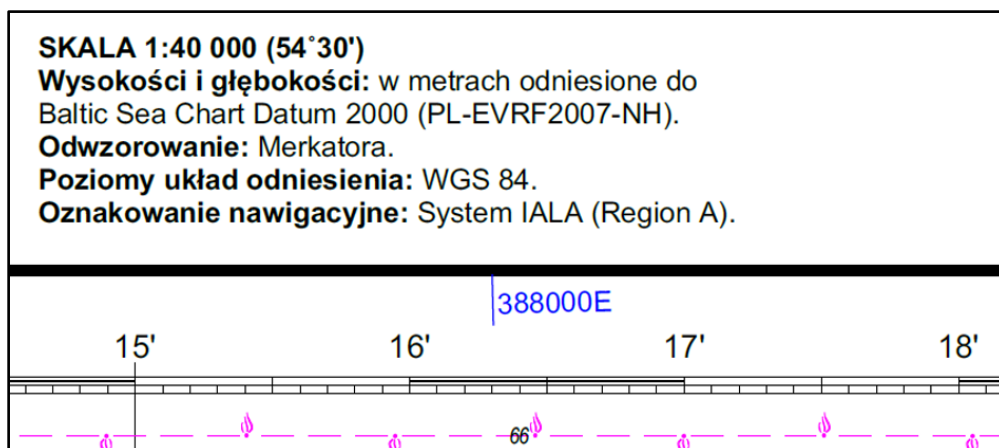
Dysponując informacją udostępnioną przez IMGW-PIB dotyczącą różnicy pomiędzy dotychczas stosowanym układem wysokościowym, a układem BSCD2000, Biuro Hydrograficzne Marynarki Wojennej w lipcu 2021 roku opracowało wewnętrzne wytyczne dotyczące implementacji nowego układu wysokościowego. Stwierdzono konieczność opracowania nowych edycji wszystkich map wydawanych przez BHMW. Realizując nowy plan wydawniczy zdecydowano, że dane do nowych

edycji map będą przygotowywane według katalogu map papierowych (33 mapy papierowe), natomiast na komórkach elektronicznej mapy nawigacyjnej (ENC) dane będą aktualizowane obszarowo – zgodnie z zasięgiem nowych edycji map papierowych. Informację o planowanym wydaniu map morskich w nowym układzie wysokościowym ogłoszono w zeszytach „Wiadomości Żeglarskich” (WŻ 38/2021, WŻ 39/2021) opisując wpływ na prezentowanie głębokości oraz zamieszczając infografikę.



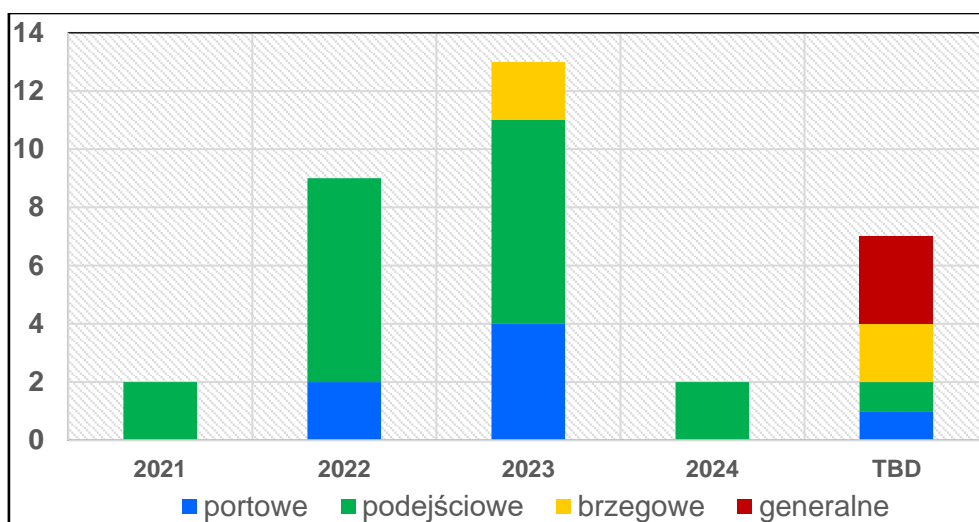
Rys. 8. Informacja graficzna zamieszczona w zeszycie Wiadomości Żeglarskich 39/2021 [opracowanie własne].

Opracowując nowy „Plan wydawniczy BHMW” oszacowano możliwości redakcyjne BHMW w zakresie opracowania nowych edycji map na około 12 nowych wydań rocznie. Należy dodać, że wydanie nowej edycji mapy wiązało się z kompleksowym przeliczeniem głębokości, pełną analizą nowych źródeł informacji kartograficznej, przeliczeniem głębokości nad obiektami podwodnymi, aktualizacją przebiegu izobat oraz pełną analizą sytuacji brzegowej. Pierwszą mapą wydaną w BHMW w układzie wysokościowym BSCD2000 była mapa nr 42 – mapa podejściowa do portu Nowy Świat. Jako opis układu wysokościowego zdecydowano się zamieścić pełną nazwę nowego układu oraz dodatkowo, w nawiasie zamieszczono odpowiednik układu narodowego. Taki sposób opisu układu wysokościowego możemy zaobserwować na nowych edycjach map wydawanych przez narodowe służby hydrograficzne państw basenu Morza Bałtyckiego.



Rys. 9. Opis układu wysokościowego zamieszczony na mapie 42 [źródło: mapa nr 42].

W roku 2022, kontynuując proces wydawniczy, skoncentrowano się na wydaniu nowych edycji map portowych i podejściowych na obszar Zatoki Pomorskiej oraz Zalewu Szczecińskiego. Działanie to było podyktowane pilną koniecznością przedstawienia nowej sytuacji kartograficznej w związku z finalizacją inwestycji związanej z pogłębieniem toru wodnego Świnoujście – Szczecin. W kolejnym roku działania związane z nowymi edycjami map koncentrowały się głównie w rejonie Zatoki Gdańskiej. Zgodnie z założonym rytmem pracy, projekt wydania nowych edycji map w układzie wysokościowym BSCD2000 na polskie obszary morskie powinien zamknąć się w końcu 2024 roku, wraz z wydaniem mapy portowej nr 10.



Rys. 10. Zobrazowanie ilości opracowanych przez BHMW nowych edycji map w poszczególnych latach [opracowanie własne].

5. PODSUMOWANIE

Wdrożenie jednolitego układu wysokościowego na obszar Morza Bałtyckiego z pewnością będzie miało wpływ na zharmonizowanie informacji kartograficznej prezentowanej przez poszczególne służby hydrograficzne. Umożliwi również zestawianie wyników badań hydrologicznych, prowadzonych w krajach basenu Morza Bałtyckiego, w tym wieloletnich poziomów morza w jednym, spójnym układzie wysokościowym.

Z punktu widzenia hydrografii oraz kartografii morskiej, chyba największą korzyścią wynikającą z implementacji układu wysokościowego BSCD2000 jest opracowanie narzędzia w postaci modelu geoidy, który to zasadniczo zmienia możliwości, a przede wszystkim poziom dokładności realizacji pomiarów batymetrycznych. Oto dostajemy model quasi-geoidy, opracowany z dokładnością nie gorszą niż 5 cm, który każdy hydrograf może bez ograniczeń pobrać i zaimplementować do swojego systemu hydrograficznego na potrzeby realizacji pomiarów batymetrycznych. Wystarczy jedynie podłączyć system precyzyjnego pozycjonowania (np. GPS-RTK) i na podstawie danych z modelu geoidy, określających różnicę pomiędzy wysokością elipsoidalną a geoidą, można rejestrować głębokości wprost odniesione do powierzchni geoidy, bez konieczności dowiązywania pomiarów do mareografów. Takie rozwiązanie umożliwia osiągnięcie zakładanych wymagań dokładnościowych pomiarów batymetrycznych, bez względu na odległość od mareografów.

Zwiększenie precyzji pomiaru głębokości, ma kolosalny wpływ na zwiększenie bezpieczeństwa żeglugi, a także na skuteczne zarządzanie minimalnym zapasem bezpiecznej wody pod stępką. Jest to także niezbędny krok naprzód w realizacji projektu „E-Nav” i wdrażania produktów nautycznych w standardzie S-100 przez kraje Morza Bałtyckiego. Należy również mieć na uwadze fakt, że projekt związany z opracowaniem modelu quasi-geoidy BSCD2000 jest wciąż projektem otwartym. Przewiduje się publikację kolejnych edycji modelu geoidy – jak tylko zostaną stwierdzone zmiany lub zostaną dostarczone nowe dane pomiarowe. Dlatego kraje członkowskie wciąż są zachęcane do kontynuowania kampanii grawimetrycznych na wodach Morza Bałtyckiego i zasilania bazy danych projektu FAMOS.

BIBLIOGRAFIA

1. *THE BALTIC SEA CHART DATUM 2000 (BSCD2000) Implementation of a common reference level in the Baltic Sea* By J. Schwabe, J. Ågren, G. Liebsch, P. Westfeld, T. Hammarklint, J. Mononen and O. B. Andersen. IHO International Hydrographic Review, May 2020.
2. Christoph Förste, E. Sinem Ince, Felix Johann, Joachim Schwabe and Gunter Liebsch: *Marine Gravimetry Activities on the Baltic Sea in the Framework of the EU Project FAMOS*. Geodasie.info, 2020/5.
3. *IHO Geospatial Information Registry* (<https://registry.iho.int/>); [dostęp: 11.04.2024].
4. *Baltic Sea Chart Datum 2000* (<https://www.bshc.pro/iho-bscd2000/>) [dostęp: 11.04.2024].