

Stacje mareograficzne i wybrane wysokościowe układy odniesienia w Europie

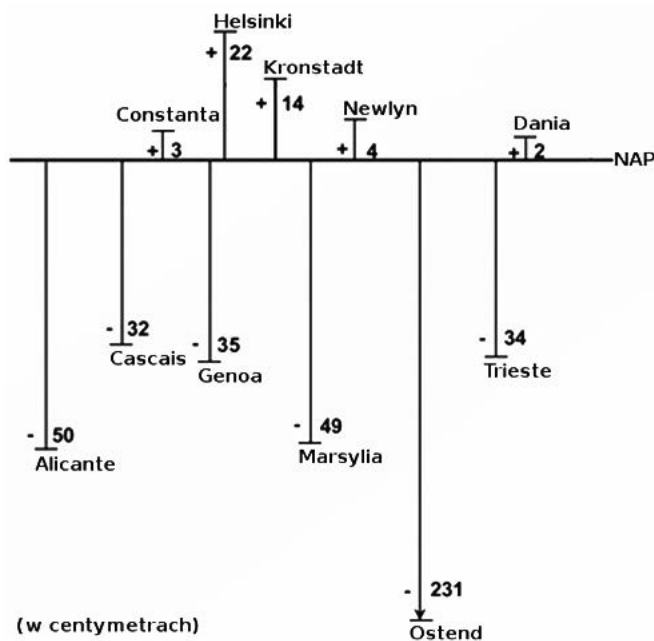
Dr hab. inż. Zygmunt Kurałowicz, prof. nadzw. PG, mgr inż. Agnieszka Słomska
Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

Wyznaczany geodezyjnie układ wysokości jest to układ, który tworzą wysokości normalne, odniesione do średniego poziomu morza określanego w stacjach mareograficznych. Stosowane, między innymi w budownictwie, rzędne dowolnych punktów w układzie wysokości na potrzeby różnych inwestycji określa się na podstawie pomiarów geodezyjnych nawiązanych do punktów podstawowej osnowy geodezyjnej kraju – wysokościowej osnowy geodezyjnej. W Europie współlistnieje ponad 20 układów odniesienia wysokości obowiązujących na obszarze kontynentu oraz państw na wyspach (rys. 1).

Duża liczba przyjętych układów odniesienia w Europie wynika z faktu, że w przeszłości pomiary geodezyjne miały zasięg lokalny, zwykle ograniczony do jednego państwa z dostępem do morza. W tych krajach pomiary wysokościowe były nawiązane do poziomu odniesienia wynikającego z obliczonego średniego poziomu zwierciadła morza sąsiadującego z obszarem danego państwa, zarejestrowanego za pomocą różnego rodzaju pływomierzy (mareografów), między innymi w stacjach mereograficznych. Układy Amsterdam (*European Vertical Reference System* – EVRS, do którego za poziom odniesienia przyjęto *Normaal*



Rys. 1. Lokalizacja stacji mareograficznych w rejonie Europy [30, 37]



Rys. 2. Różnice wysokości między wybranymi układami odniesienia w Europie w nawiązaniu do Normaal Amsterdams Peil (N.A.P.) [9]

Amsterdams Peil (N.A.P.), Kronsztadt, Triest i Marsylia, swoim zasięgiem obejmują kilka państw. Natomiast większość wysp ma swoje lokalne układy odniesienia [9, 14, 24, 26]. Zestawienie układów odniesienia w rejonie Europy – lokalizacje stacji mareograficznych przedstawiono w tabl. 1. Natomiast różnice wysokości pomiędzy wybranymi układami odniesienia w nawiązaniu do N.A.P. w Amsterdamie pokazano na rys. 2.

W artykule przedstawiono wybrane stacje mareograficzne i wysokościowe układy odniesienia, tzn.: w Polsce, w Wielkiej Brytanii (Newland), Włoszech (Triest) i Francji (Marsylia). Artykuł jest kontynuacją tematyki poświęconej pomiarom geodezyjnym w kontekście powiązania z obserwacjami na stacjach mareograficznych [13].

STACJE MAREOGRAFICZNE I UKŁADY WYSOKOŚCIOWE ODNIESIENIA W POLSCE

W Polsce pierwsze sieci niwelacyjne założono pod koniec XIX wieku, tzn. w czasie III rozbioru Polski, gdy była podzielona pomiędzy trzech zaborców: Austrię, Prusy i Rosję. W obrębie każdego z zaborów prowadzono odrębne pomiary wysokości-

Tabl. 1. Lokalizacja stacji mareograficznych i dowiązanie wysokości geodezyjnych

Położenie/Kraj/Układ odniesienia	Położenie/Kraj/Układ odniesienia
EUROPA PÓLNOCNĄ: 1. Islandia – Stykkisholmur 2. Norwegia – Tredge 3. Szwecja – Amsterdam 4. Finlandia – Helsinki 5. Dania – 10 mareografów	EUROPA ZACHODNIA: 1. Holandia – Amsterdam 2. Belgia – Ostend 3. Niemcy – Amsterdam/Kronszadt 4. Luksemburg – Amsterdam 5. Francja – Marsylia 6. Wielka Brytania – Newlyn 7. Irlandia – Malin Head, Belfast
EUROPA POŁUDNIOWA: 1. Portugalia – Cascais 2. Hiszpania – Alicante 3. Monako – Marsylia, Genua 4. Włochy – Genua, Cagliari 5. San Marino – Genua 6. Watykan – Genua 7. Andora – Ajaccio 8. Słowenia – Triest 9. Chorwacja – Triest 10. Bośnia i Hercegowina – Triest 11. Andora – Marsylia 12. Serbia – Triest 13. Czarnogóra – Triest 14. Albania – Durres 15. Macedonia – Triest 16. Grecja – Piraeus (Kreta, Heraklion) (Cypr, Lamaca) 17. Turcja – Antalya	EUROPA WSCHODNIA: 1. Rosja – Kronszadt 2. Litwa – Kronszadt 3. Łotwa – Kronszadt/Amsterdam 4. Estonia – Kronszadt 5. Białoruś – Kronszadt 6. Ukraina – Kronszadt 7. Mołdawia – Kronszadt EUROPA ŚRODKOWO - WSCHODNIA 1. Polska – Kronszadt/Amsterdam 2. Czechy – Kronszadt 3. Słowacja – Kronszadt 4. Węgry – Kronszadt 5. Rumunia – Constanta 6. Bułgaria – Kronszadt KRAJE ALPEJSKIE 1. Szwajcaria – Marsylia 2. Austria – Triest 3. Lichtenstein – Vaduz

we i inne prace geodezyjne, skutkiem czego były 3 różne systemy wysokościowe odniesione do poziomu czterech mórz [1]:

- Adriatyckiego – w zaborze austriackim (Triest),
- Północnego – w zaborze pruskim (Amsterdam),
- Bałtyckiego i Czarnego – w zaborze rosyjskim (Kronszadt i Varna).

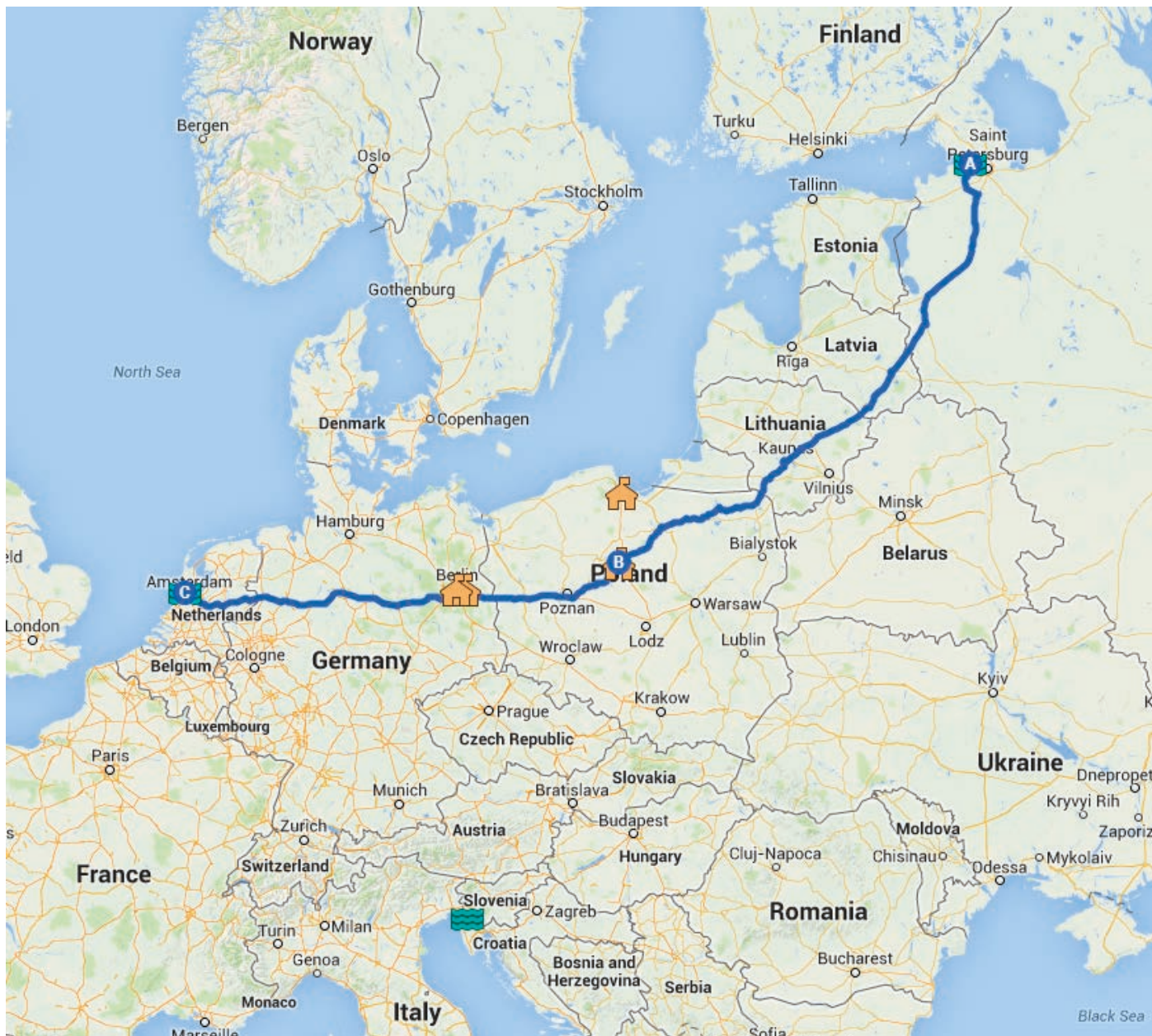
Do 1878 roku punktem odniesienia starego niemieckiego systemu wysokości NNaS było zero wodowskazu w Gdańsku

„*Neufahr wasser*”. Po 1878 roku punktem odniesienia była pozioma linia na łacie wzorcowej na budynku Obserwatorium w Berlinie (*Normal Hohenpunkt*). Wysokość tej linii przyjmowano za rzędną +37,000 m nad poziomem morza w Amsterdamie. Po zniszczeniu tego punktu w 1912 roku założono nowy punkt wyjściowy w Hoppegarten (*Normal Hohenpunkt*). Nowe rzędne reperów są oznaczane jako „*Hohenüber NN*” lub „*Hohen im nS*” (wysokości w nowym systemie). Systemy te różnią się między sobą. Korzystając z opracowań J. Niewiarowskiego i T. Wyrzykowskiego [22] wykonanych na podstawie danych ze stacji mareograficznej w Świnoujściu wyznaczono wartości poprawek do rzędnych reperów (i zera wodowskazu) w różnych systemach. Jako wyjściowy znak wysokości dla obszaru kraju przyjęto reper zamontowany w ścianie ratusza w Toruniu, który ma dowiązanie do NN sprzed 1939 roku (oraz dowiązanie do Kronszadtu z 1955 roku).

Po 1918 roku obowiązywało odniesienie do N.N., to jest *Normal-Null*, czyli do poziomu morza wyznaczonego dla Amsterdamu. Za główny reper wyjściowy dla obszaru Polski przyjęto znak wysokościowy w ścianie ratusza miejskiego w Toruniu, którego wysokość wyznaczono na poziomie NN (system NN nie jest jednolity i w różnych okresach był różny). W latach 1926-1937, w celu założenia jednolitej sieci niwelacyjnej dla II Rzeczypospolitej, przeprowadzono I kampanię niwelacji precyzyjnej. Za poziom odniesienia przyjęto poziom Morza Północnego w Amsterdamie. Za takim rozwiązaniem przemawiał fakt, że do nowopowstającej sieci niwelacyjnej włączano punkty byłych państw zaborczych, z których największą liczbę stanowiły repery byłego zaboru pruskiego. Punktem wysokościowym, do którego nawiązano niwelację, był pruski reper w ścianie Ratusza w Toruniu, którego rzędna, wynosząca 50,518 m n.p.m., była wyznaczona w czasie zaborów [22]. Założono 7 punktów niwelacji podstawowej, głęboko posadowionych w stabilnym podłożu. Sieć niwelacyjną nawiązano do sieci państw ościennych: z Czechosłowacją (11 linii), z Łotwą (2 linie), z Niemcami (5 linii), z Rumunią (1 linia). Mimo że w Gdyni istniała od 1931 roku stacja mareograficzna, pomiarów wysokościowych nie można było odnieść do gdyńskiego średniego poziomu morza, ze względu na zbyt krótki okres obserwacji. W 1939 roku średni poziom morza w Gdyni był o 5 cm niż-



Rys. 3. Stacja mareograficzna w Świnoujściu (a) i na Helu (b) [39]



Rys. 4. Powiązanie wysokościowych układów odniesienia: Kronsztadt, Berlin i Amsterdam [28]

szy niż poziom Amsterdam (Katalog wysokości reperów, 1939) [3]. Po zakończeniu II wojny światowej nadal stosowano system odniesienia NN (Amsterdam). W Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej w latach 1952-1958 wykonano niwelację precyzyjną, na podstawie której przyjęto dowiązanie wszystkich punktów wysokościowych na obszarze Polski do średniego poziomu morza wyznaczonego przez mareograf na Wyspie Kronsztadt, w pobliżu Sankt-Petersburga. Zrealizowane trzy kampanie niwelacyjne przeprowadzono w latach 1953-1955, 1974-1982 oraz 1997-2003. Podczas opracowywania projektu sieci niwelacyjnej I klasy brano pod uwagę głównie dobrą stabilizację oraz wykorzystanie już istniejących elementów sieci. Sieć nawiązano do państw sąsiednich (ZSRR – 5 nawiązań, NRD – 4, Czechosłowacja – 13), co umożliwiło późniejsze wspólne wyrównanie sieci. W czasie III kampanii niwelacyjnej część sieci połączono z *Unified Vertical Reference Network*. Sieć niwelacyjną dowiązano do mareografów w Świnoujściu, najstarszego liczącego

ponad 200 lat (rys. 3a), w Kołobrzegu, w Gdańsku (Nowy Port), w Uście, w Łebie, we Władysławowie i Helu (rys. 3b). W trakcie ostatniej kampanii przeprowadzonej w latach 1997–2003 na terenie Polski zainstalowano 8 reperów należących do sieci *European Vertical Reference Network* (EUVN). Sieć dowiązano również do głównych mareografów: w Świnoujściu, w Łebie, w Kołobrzegu, w Uście i we Władysławowie [12].

Na podstawie niwelacji precyzyjnej z 1955 roku odtworzono następujące zależności, (system odniesienia Kronsztadt jest poprzednikiem systemu Kronsztadt'86):

- $H_{\text{Toruń-NN}} = H_{\text{NN55}} = H_{\text{Amsterdam55}} = H_{\text{Kr}} + 0,084 \text{ m}$,
- $H_{\text{NNaS}} = H_{\text{Kr}} + 0,138 \text{ m}$,
- $H_{\text{NN-Hoppegarten}} = H_{\text{Kr}} + 0,16 \text{ m}$,
- $H_{\text{Adriatyk}} = H_{\text{Kr}} + 0,60 \text{ m}$.

oraz wyznaczono rzędną repera w Toruniu do poziomu odniesienia Kronsztadt.

Obowiązujący w Polsce układ wysokości Kronsztadt (od 2012 r. PL-KRON86-NH) jest częścią państwowego systemu odniesień przestrzennych wprowadzonego Rozporządzeniem Rady Ministrów z 8 sierpnia 2000 roku i jedynym obowiązującym od 1 stycznia 2010 roku do 2019 roku. Układy wysokościowe Amsterdam, Triest oraz lokalne przestały obowiązywać z dniem 31 grudnia 2009 roku, jednak w zasobach ośrodków geodezyjnych są przechowywane nadal i używane przez geodetów jako obligatoryjne do czasu przejścia na jednolity układ odniesienia. Zgodnie z zapisami rozporządzenia z dnia 15 października 2012 roku PL-KRON86-NH będzie formalnie obowiązywał do czasu wdrożenia układu wysokościowego PL-EVRF2007-NH, jednak nie dłużej niż do dnia 31 grudnia 2019 roku. W okresie przejściowym (do 31 grudnia 2019 roku) stosuje się wysokościowy układ odniesienia Kronsztadt oraz Amsterdam [37]. Poza układami wysokości odnoszonymi do poziomu morza są stosowane również lokalne układy wysokości wyznaczone w terenie do konkretnych elementów (punktów) odniesienia. Przykładem lokalnych układów wysokości w Polsce są: układ wysokości Zero Wisły oraz układ wysokości miasta Łodzi (ŁAM).

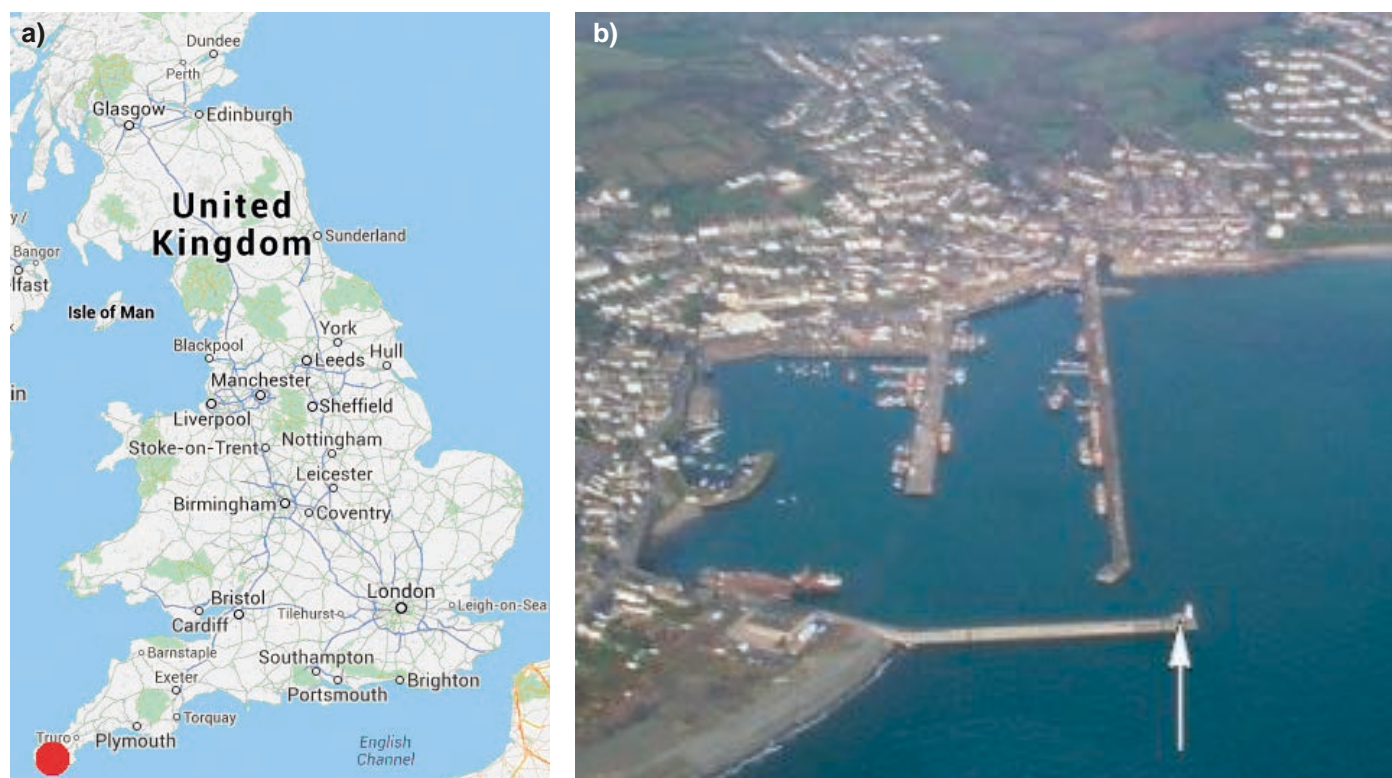
Stacja mareograficzna i układ odniesienia Newlyn w Wielkiej Brytanii [4, 16, 23, 24, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 36, 38]

Stacja mareograficzna jest zlokalizowana w południowo – zachodniej części Wielkiej Brytanii na Półwyspie Cornish, w miejscowości Newlyn (rys. 5). Budynek obserwatorium znajduje się za latarnią morską na południowym pirsie Portu Newlyn, posadowionym na stabilnym skalistym podłożu, co potwierdziły pomiary niwelacji precyzyjnej prowadzone w latach 1952-1990.

Stacja ta znajduje się na otwartym oceanie (Atlantyku), nie zaś w estuarium, jak to miało miejsce w przypadku stacji mareograficznej w Liverpoolu, do poziomu której odniesiono I niwelację dla Wielkiej Brytanii.

Stację wybudowano w celu ustalenia układu odniesienia do II niwelacji Anglii i Walii. Obserwacje poziomu wody rozpoczęto w maju 1915 roku. Do 1981 roku stacja była obsługiwana przez *Ordnance Survey*, następnie przez Instytut Nauk Oceanograficznych.

Obserwatorium w Newlyn jest jednym z 44 brytyjskich obserwatoriów należących do sieci *The UK National Tide Gauge Network*, zbudowanej w celu monitorowania stanów wody i ostrzegania o zbliżających się powodziach. Za prawidłowe funkcjonowanie sieci mareografów oraz system ostrzegania powodziowego odpowiada *Proudman Oceanographic Laboratory* (POL). Do zadań tej instytucji należy również przechowywanie danych pomiarowych. Instytucję wspomaga *The British Oceanographic Data Centre* (BODC), które monitoruje działanie stacji pomiarowych [16]. Stacja Newlyn należy do sieci GLOSS (numer ID 241) oraz PSMSL (numer ID 202). Od początku istnienia stacji pomiary poziomu wody były rejestrowane przez mareograf klasyczny *Cary Porter float gauge*. W 1983 roku mareograf *Cary Porter* zastąpiono nowszym modelem, tzn. mareografem klasycznej konstrukcji połączonym z potencjometrem - *Munro float gauge* (BODC FIXED STATION DOCUMENT NO. 30932). Obok mareografu znajduje się stacja meteorologiczna z przyrządami do pomiaru ciśnienia i temperatury powietrza, prędkości wiatru, temperatury i gęstości wody. Na stacji działają również urządzenia ciśnieniowe – zainstalowany w 1981 roku *Aanderaa pressure system* z różnicowym przetwornikiem ciśnieniowym *DigiQuartz*, którego port pomiarowy znajduje się na głębokości 4,936 m poniżej powierzchni od-



Rys. 5. Lokalizacja (a) i usytuowanie stacji mareograficznej w Porcie Newlyn (b) [28, 31]

niesienia *Ordnance Datum Newlyn* (ODN) oraz zamontowany w latach 1983 i 1996 *system bubbler* (odpowiednio): *full tide* i *mid tide* – system klasy A. Czujniki ciśnienia są usytuowane po stronie odmorskiej (odatlantycznej) pirsu. W 1983 roku na stacji zamontowano *system Data Acquisition for Tidal Applications by the Remote Interrogation of Network Gauges* (DATARING) – system zbierający dane z przetworników ciśnieniowych, z systemów rodzaju *bubbler*, z mareografu mechanicznego oraz ze stacji meteorologicznej. Służy on do przetwarzania danych z wymienionych urządzeń pomiarowych, z uwzględnieniem gęstości wody, odchyłki od powierzchni odniesienia i współczynników kalibracyjnych. W 1915 roku zainstalowano w podłożu budynku stacji reper operacyjny (kontrolny) – *Primary Tide Gauge Benchmark* (PTGBM) w postaci metalowego bolca (rys. 6). Jego rzędna wynosi 4,751 m powyżej *Ordnance Datum Newlyn* (ODN). W 1915 roku reper operacyjny włączono do sieci niwelacyjnej pierwszego rzędu (BODC FIXED STATION DOCUMENT NO. 30932).

W pobliżu repera operacyjnego (PTGBM) założono sieć reperów pomocniczych: dwa repery na pirsie w odległości 50 m i 250 m od PTGBM, dwa repery na stałym lądzie w odległości 550 m i 750 m od PTGBM oraz dwa głębinowe repery fundamentalne w odległości 900 m i 1400 m od PTGBM. W celu prowadzenia regularnych niwelacji precyzyjnych, z których dane miały służyć do określenia stabilności stacji, sieć reperów połączono z PTGBM w 1952 roku. Z analiz wynika, że rzędna stacji w okresie od 1952 do 1990 roku zmieniła się nie więcej niż 0,1 mm, co oznacza, że stacja jest usytuowana na stabilnym podłożu [34]. Stabilność podłoża potwierdziły kampanie *GPS* prowadzone w latach 1991-1996. Na pirsie zainstalowano dwa dodatkowe repery w odległości 10 m i 700 m od PTGBM, na których ustawiono stacje *GPS*. Pomiarów *GPS* nie wykazały żadnych przemieszczeń pionowych, podobnie jak niwelacje precyzyjne prowadzone w tym czasie od PTGBM do wymienionych reperów, co pozwala sądzić, że zmiany poziomu wody notowane przez mareograf są spowodowane zmianami klimatycznymi.



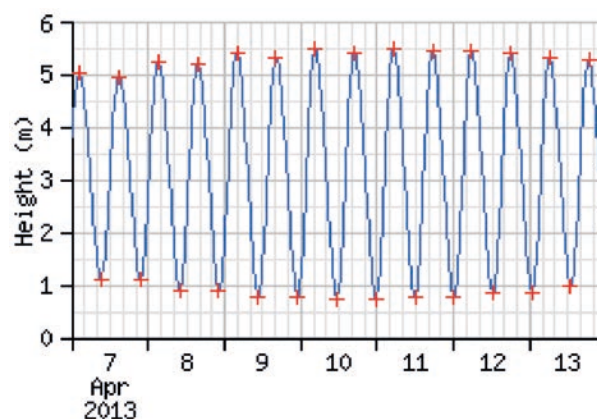
Rys. 6. Reper operacyjny zainstalowany w budynku Stacji Newlyn [31]

W celu prowadzenia ciągłych obserwacji pionowych przemieszczeń stacji na latarni zainstalowano platformę z systemem *CGPS* (Continuous GPS, rys. 7), który rozpoczął rejestrację 30 września 1998 roku [34]. W Stacji Newlyn, poza tym, że są prowadzone obserwacje i rejestracja poziomu wody, opracowuje się również prognozy poziomu wody na najbliższe dni. Na rys. 8 pokazano prognozę poziomów wody wygenerowaną 7 kwietnia 2013 roku.

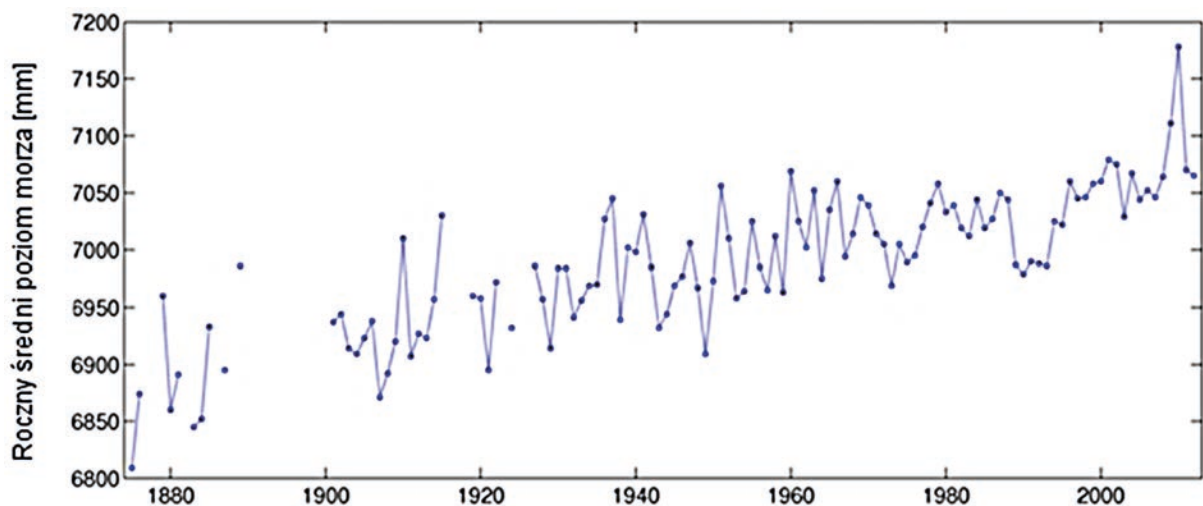
Na podstawie pomiarów poziomu morza na stacji Newlyn opracowano wysokościowy układ odniesienia dla Wielkiej Brytanii *Ordnance Datum Newlyn* (ODN), który obowiązuje na lądzie w Anglii, Walii, Szkocji oraz na kilku wyspach z archipelagu Hebrydów (leżących od strony lądu). Poziom powierzchni odniesienia obliczono, uśredniając poziomy zwierciadła wody w morzu zarejestrowane w okresie od maja 1915 do kwietnia 1921 roku (odczytu na bębnie dokonywano co 15 minut, przez całą dobę w czasie jednego roku). Pierwszą niwelację przepro-



Rys. 7. Stacja mareograficzna obok latarni morskiej w Newlyn [31]



Rys. 8. Prognozowane poziomy wody na stacji Newlyn z okresu od 7.04.2013 do 13.04.2013 roku [31]



Rys. 10. Średnie poziomy wody w Adriatyku na stacji Triest w latach 1875-2012 [33]

Układ odniesienia Triest (inaczej układ odniesienia Adriatyk) opracowano poprzez uśrednienie obserwacji poziomów wody z 1875 roku. Układ ten obowiązuje w krajach byłej Jugosławii: Bośni, Hercegowinie, Serbii, Czarnogórze, Macedonii i Słowenii (stały ląd). W Chorwacji, gdzie również jest oficjalnym układem odniesienia, w praktyce zaprzestano jego stosowania. Stosuje się układ HVRS71 wyznaczony na podstawie pomiarów z 5 mareografów zlokalizowanych w pięciu miastach na wybrzeżu Chorwacji: Koper, Rovinj, Bakar, Split, Dubrovnik. Pod koniec lat dziewięćdziesiątych XX wieku opublikowano wyniki pomiarów prowadzonych przez 18,6 lat – okresu pomiarowego, wyznaczono średni poziom wody do każdego z mareografów. Wykazano, że poziom wody wyznaczony w 1875 roku jest od 12 do 35 cm wyższy niż wynikający z obserwacji na wymienionych mareografach [8]. Nie jest to możliwe, ponieważ nie zaobserwowano znacznych pionowych ruchów tektonicznych na terenie Chorwacji, a poziom mórz i oceanów ma tendencję wzrostową. Jedną z przyczyn zaobser-

wowanego zjawiska może być błąd w wyznaczeniu powierzchni odniesienia układu Triest.

Stacja mareograficzna oraz układ odniesienia Marsylia [5, 19, 20, 27, 28, 34, 35, 36]

Tradycja obserwacji poziomu morza we Francji jest bardzo długa i sięga 1679 roku, gdy astronomowie Philippe de la Hire i Jean Picard w mieście Brest rozpoczęli pomiary poziomu wody. W kolejnych latach powstały stacje obserwacyjne na całym wybrzeżu Francji. Jednak do czasów współczesnych zachowało się niewiele danych z tych obserwacji.

Najdłużej prowadzono obserwacje w Marsylii (nad Morzem Śródziemnym) i Breście [20]. W latach osiemdziesiątych XIX wieku zauważono, że poziom morza jest tam względnie stały i podjęto decyzję o założeniu sieci niwelacyjnej, której



Rys. 11. Lokalizacja stacji mareograficznej w Marsylii; położenie miasta Marsylia (a), usytuowanie stacji na wybrzeżu Corniche (b) [28]



Rys. 12. Budynek stacji mareograficznej w Marsylii [36]

„zerem” będzie powierzchnia morza. W tym celu w 1883 roku na wybrzeżu Zatoki Calvo, niedaleko promenady *Corniche*, wybudowano stację obserwacyjną (rys. 11) [5].

Lokalizację stacji wybrano bardzo starannie w miejscu reprezentującym poziom wody otwartego zbiornika, oddalonym jednocześnie od ujścia rzek. Betonowe budynki stacji (rys. 12) posadowiono na stabilnym skalnym podłożu. W ciągu ostatniego stulecia nie uległy one znaczącym przemieszczeniom, co potwierdzono przez niwelacje w nawiązaniu do okolicznych reperów [5].

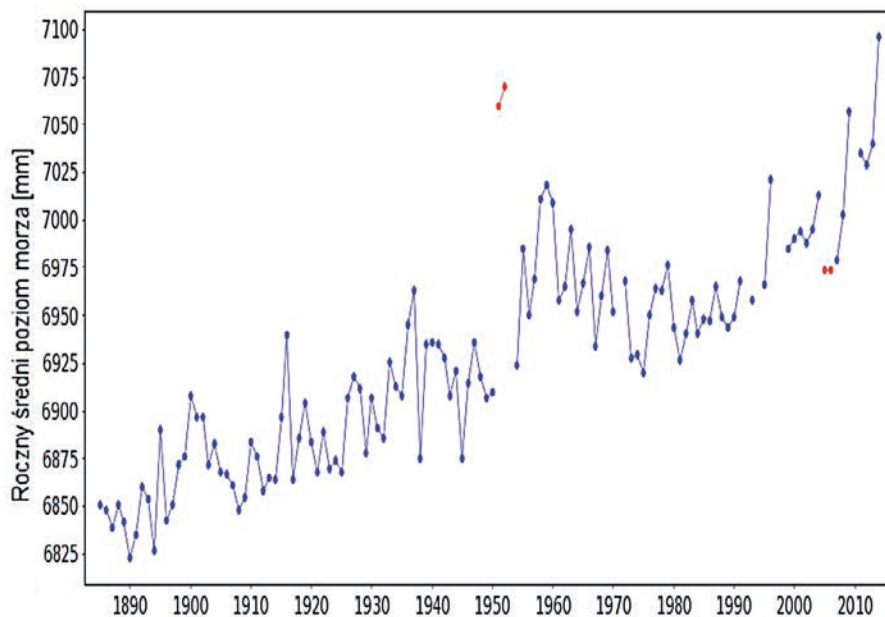
Stację mareograficzną stanowią dwa budynki: biuro z pomieszczeniem mieszkalnym oraz niżej położoną komorę, gdzie zainstalowano sprzęt pomiarowy. Pierwotnie na stacji pracował mareograf klasyczny konstrukcji F. H. Reitza. W ścianie dolne-

go budynku, w granitowej komorze, zamontowano reper fundamentalny w postaci bolca z brązu powleczonego stopem platyny i irydu [5]. Nadano mu symbol M.ac-0-VIII, a jego rzędna wynosiła 1,6607 m powyżej zera mareografu [20]. Reper ten jest reperem początkowym sieci francuskiej niwelacji. Poza reperem operacyjnym na stacji zainstalowano wówczas dwa repery pomocnicze o następujących rzędnych powyżej zera mareografu:

- M.abc – 11,449 m,
- M.ac-0-I – 11,555 m.

Z powodu dużych kosztów nie wykonano duplikatu urządzeń pomiarowych. W 2002 roku Ministerstwo Kultury uznało budynek stacji wraz z urządzeniami za zabytkowy. W latach 2006-2007 przeprowadzono jego remont [5]. Pomiary z użyciem mareografu rozpoczęto w lutym 1885 roku, który pracował „na zasadzie totalizatora”. Od początku istnienia stacji mareograficznej do 1988 roku zapisano wykresami poziomu wody 1200 rolek (1 rolka o długości 9 m w czasie jednego miesiąca). W latach 1996-2001 w celu pozyskania wersji cyfrowej danych pomiarowych do dalszej analizy przeprowadzono skanowanie rolek z mareografu oraz digitalizację wykresów [5].

Od czasu powstania stacji obserwacyjnej, poza mareografem klasycznym i 3 reperami, na stacji zainstalowano szereg urządzeń do pomiaru poziomu wody. Od czerwca 1988 roku mareograf jest połączony z siecią obserwacyjną RONIM. W 1998 roku zainstalowano mareograf akustyczny HT200 firmy *MORS Environment*, który w 2009 roku zastąpiono bardziej niezawodnym urządzeniem posiadającym dalmierz radarowy *OptiFlex* z możliwością teletransmisji danych do jednostki centralnej *Marelda*. Pomiar poziomu wody jest wykonywany co 10 minut. Równoległe działa mareograf klasyczny, dzięki czemu jest możliwa wzajemna kontrola pomiarów. Kalibrację mareografu klasycznego przeprowadza się obecnie raz do roku [20]. Od lipca 1998 roku na stacji mareograficznej działa stacja GPS (antenę zlokalizowano na dachu budynku). Zainstalowano ją w celu obserwacji pionowych przemieszczeń powierzchni Ziemi na tym obszarze. Jeśli wykres pionowych przemieszczeń okaże się liniowy, będzie można określić bezwzględną wartość



Rys. 13. Poziom morza w Marsylii w latach 1885-2013 [36]

zmiany poziomu wody w rejonie Marsylii. Dokładność określenia poziomu wody na stacji wynosi 0,1 mm/rok. Dokładność pomiarów GPS powinna być taka sama, co może być zadaniem trudnym do osiągnięcia. W ciągu ostatnich dwóch dekad na stacji zainstalowano dodatkowe repery pomocnicze o następujących rzędnych powyżej zera mareografu [21]:

- RRF 1990 – 12,866 m,
- SELF GPS mark – 11,204 m,
- Eurogauge TGGs – 11,146 m,
- M.ac-0-XII (EUVN and RGP benchmark) – 12,883 m.

Mareograf w Marsylii o numerze ID to 205 należy do sieci GLOSS oraz o numerze ID to 61 do sieci PSMSL. Dane pomiarowe są przechowywane w serwisie SONEL [20].

Na podstawie obserwacji mareograficznych w Marsylii z okresu od 3 lutego 1885 do 31 grudnia 1896 roku opracowano układ odniesienia do sieci francuskiej niwelacji (*Nivellement Général de la France* – NGF). Do niego odniesiono układ wysokościowy IGN69 obejmujący część lądową Francji. Obecnie poziom wody na stacji w Marsylii jest o 11 cm wyższy niż wyznaczony jako układ odniesienia [20].

Korsyka ma inny układ wysokościowy (IGN78), odniesiony do poziomu zera wyznaczonego przez mareograf w Ajaccio na podstawie obserwacji z lat 1912-1937. Na rys. 13 pokazano poziom morza w Marsylii w latach 1885-2013 [36].

PODSUMOWANIE

Celem niniejszego artykułu było przedstawienie ważności problematyki dotyczącej powiązania obserwacji mareograficznych z pomiarami geodezyjnymi do opracowania wysokościowych układów odniesienia oraz w zastosowaniu do potrzeb pozageodezyjnych. Rolą pomiarów mareograficznych jest zebranie danych potrzebnych do opracowania powierzchni odniesienia, umownego poziomu zera, względem którego określa się wysokości mierzonych punktów w danym regionie. Dawniej, pomiary mareograficzne stanowiły bardzo ważne i jedyne źródło danych na temat poziomu odniesienia. Współcześnie, pomiary na stacjach mareograficznych są jednym z kilku źródeł danych do opracowań geodezyjnych. Stacje stanowią również bardzo ważne miejsce do gromadzenia danych o innych zjawiskach bardzo istotnych w analizach i opracowaniach z zakresu meteorologii i gospodarki wodnej. Opracowując charakterystykę wybranych europejskich układów odniesienia zwrócono uwagę na pewne różnice wysokości między układami odniesienia, o których powinni pamiętać między innymi projektanci różnych budowli inżynierskich.

LITERATURA

1. Balasubramanian N.: Definition and Realization of a Global Vertical Datum. Phillips Laboratory, Scientific Report No. 1, 1994.
2. Bauer R., Sarnacki J.: Charakterystyka sieci triangulacyjnych występujących na terenie II RP z uwzględnieniem ich wpływu na dokładność opracowań kartograficznych. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, nr 283, Budownictwo i Inżynieria Środowiska z.59 (1/12/II), 2012.

3. Biuro Pomiarowe Ministerstwa Komunikacji, Katalog wysokości rezerwów polskiej podstawowej sieci niwelacyjnej (niwelacji precyzyjnej I – ego rzędu) nad poziomem morza w Amsterdamie. Ministerstwo Komunikacji, Warszawa 1939, Archiwum Map Wojskowego Instytutu Geograficznego 1919-1939.
4. BODC FIXED STATION DOCUMENT NO. 30932 – Site History: Newlyn, Cornwall, Proudman Oceanographic Laboratory, 2002.
5. Coulomb A.: Le marégraphe de Marseille: patrimoine et modernité. XYZ N°118, 1^{er} trimestre 2009, Association Française de Topographie, 2009.
6. Ferla M., Nardone G.: Sea – level observing activities in Italy. GLOSS GE-XII, Paris, November 2011.
7. Godin G., Trotti L.: Trieste – Water Levels 1952 – 1971: A Study of the Tide, Mean Level, and Seiche Activity. Department of the Environment Fisheries and Marine Service, Ottawa, 1975.
8. Grgić I., Lučić M. i inni: Preliminary Project of the Height System Reconstruction in the Republic of Croatia. EUREF Symposia – Meetings, Presentations & Resolutions, 2011.
9. Ihde J.: Status of the European Vertical Reference System (EVRS), Workshop on Vertical Reference Systems for Europe. Frankfurt Main 5 – 7 April 2004.
10. Jagielski A.: Geodezja I. Wydawnictwo GEODPIS, Kraków, 2005.
11. Kicking P.: Status Quo on Hydrological Activities. Network of Danube Waterway Administrations, South – East European Transnational Cooperation Programme, 2009.
12. Kowalczyk K., Bednarczyk M., Kowalczyk A.: Relational database of four precise levelling campaigns in Poland. The 8th International Conference, May 19 – 20 2011, Environmental Engineering, Selected papers, Vilnius, Lithuania, 2011.
13. Kurałowicz Z., Słomska A.: Powierzchnie i wysokościowe układy odniesienia – obserwacje na stacjach mareograficznych Kronsztad i Amsterdam. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 5/2014.
14. Liebsch G.: Relations between sea level and vertical reference frame. Workshop on Vertical Reference Systems for Europe, Frankfurt Main 5 – 7 April 2004.
15. Łyszkowicz A.: Świat geodety się zmienia. Archiwum Magazynu GEODETA, Nr 10 (77), październik 2001.
16. Rickards L.: The UK National Tide Gauge Network, British Oceanographic Data Centre, UK, 2001.
17. Tsimplis M.N., Marcos M., Pérez B. i inni: On the effect of the sampling frequency of sea level measurements on return period estimate of extremes – Southern European examples. Continental Shelf Research, Volume 29, Elsevier, 2009, 2214 – 2221.
18. Van der Weele P. I.: De Geschiedenis van het N.A.P., Publication of the Netherlands Geodetic Commission, 1971.
19. Woppelmann G.: Raport ze stacji obserwacyjnej w Marsylii. IGS – TIGA Site Information Log Continuous GPS Station @ Tide Gauge, 2002.
20. Woppelmann G., Zerbini S., Marcos M.: Tide gauges and Geodesy: a secular synergy illustrated by three present – day case studies. Comptes Rendus Geoscience Volume 338, Elsevier, 2006, 980-991.
21. Workshop Report No. 176, MedGLOSS Workshop and Coordination Meeting for the Pilot Monitoring Network System of Systematic Sea Level Measurements in the Mediterranean and Black Seas, Haifa, Israel, 15 – 17 May 2000.
22. Wyrzykowski T.: Monografia krajowych sieci niwelacji precyzyjnej I klasy, Inst. Geod. Warszawa, 1988.

23. <http://benchmarks.ordnancesurvey.co.uk> (22.05.2015 r., 02.07.2015 r., 10.08.2013 r.).
24. <https://www.bodc.ac.uk/data/documents/nodb/30932/> (17.04.2015 r., 01.09.2015 r.).
25. http://www.crs-geo.eu/nn_124396/crseu/EN/CRS_Description/crs-national__node.html?__nnn=true (05.06.2015r., 17.06.2015r., 01.08.2015r.).
26. http://www.dst.univ.trieste.it/OM/OM_mar.html (28.05.2015 r., 16.06.2015 r., 22.07.2015 r.).
27. <http://georepository.com> (05.04.2015 r., 17.05.2015 r., 20.06.2015 r., 03.08.2015 r.).
28. www.maps.google.pl (27.05.2015 r., 06.06.2015 r., 30.07.2015 r., 04.08.2015 r.).
29. <http://www.normaalamsterdamspeil.nl/?lang=en> (24.05.2015 r., 29.07.2015 r., 05.08.2015 r.).
30. <http://www.ntsif.org> (06.04.2015 r., 10.05.2015 r., 23.07.2015 r., 02.08.2015 r.).
31. <http://www.ordnancesurvey.co.uk> (11.05.2015 r., 15.05.2015 r., 26.06.2015 r.).
32. <http://www.psmsl.org> (26.05.2015 r., 27.07.2015 r., 01.08.2015 r.).
33. <http://seer.science.oregonstate.edu> (30.07.2015 r., 02.08.2015 r.).
34. http://www.soest.hawaii.edu/cgps_tg/casestudy (31.07.2015 r., 01.08.2015 r.).
35. http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_DAI1/ch01s02.html (24.07.2015 r.).
36. <http://www.trigtools.co.uk/data/2GLMain.htm> (13.06.2015 r., 20.06.2015 r.).
37. <http://www.wikipedia.org> (14.06.2015 r., 20.06.2015 r.).
38. http://woce.nodc.noaa.gov/woce_v3/wocedata_2/slevel_dm/del_mode/ascii/g241.txt (17.08.2013 r., 22.08.2013 r.).
39. https://www.google.pl/?gws_rd=ssl#q=%C5%9Awinouj%C5%9Bcie+mareograf.