

Stacje mareograficzne i wybrane wysokościowe układy odniesienia w Europie

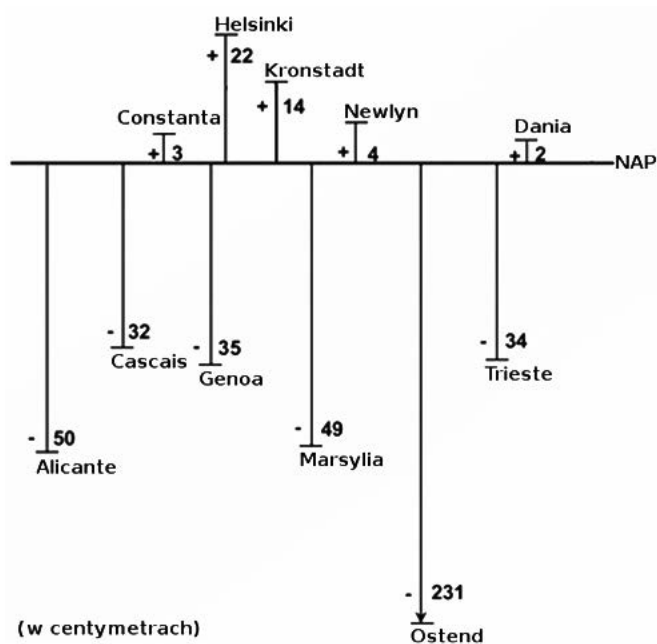
Dr hab. inż. Zygmunt Kurałowicz, prof. nadzw. PG, mgr inż. Agnieszka Słomska
Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

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 PÓLNOCNIA: 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/Kronsztadt 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 – Kronsztadt 2. Litwa – Kronsztadt 3. Łotwa – Kronsztadt/Amsterdam 4. Estonia – Kronsztadt 5. Białoruś – Kronsztadt 6. Ukraina – Kronsztadt 7. Mołdawia – Kronsztadt EUROPA ŚRODKOWO - WSCHODNIA 1. Polska – Kronsztadt/Amsterdam 2. Czechy – Kronsztadt 3. Słowacja – Kronsztadt 4. Węgry – Kronsztadt 5. Rumunia – Constanta 6. Bułgaria – Kronsztadt 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 (Kronsztadt i Varna).

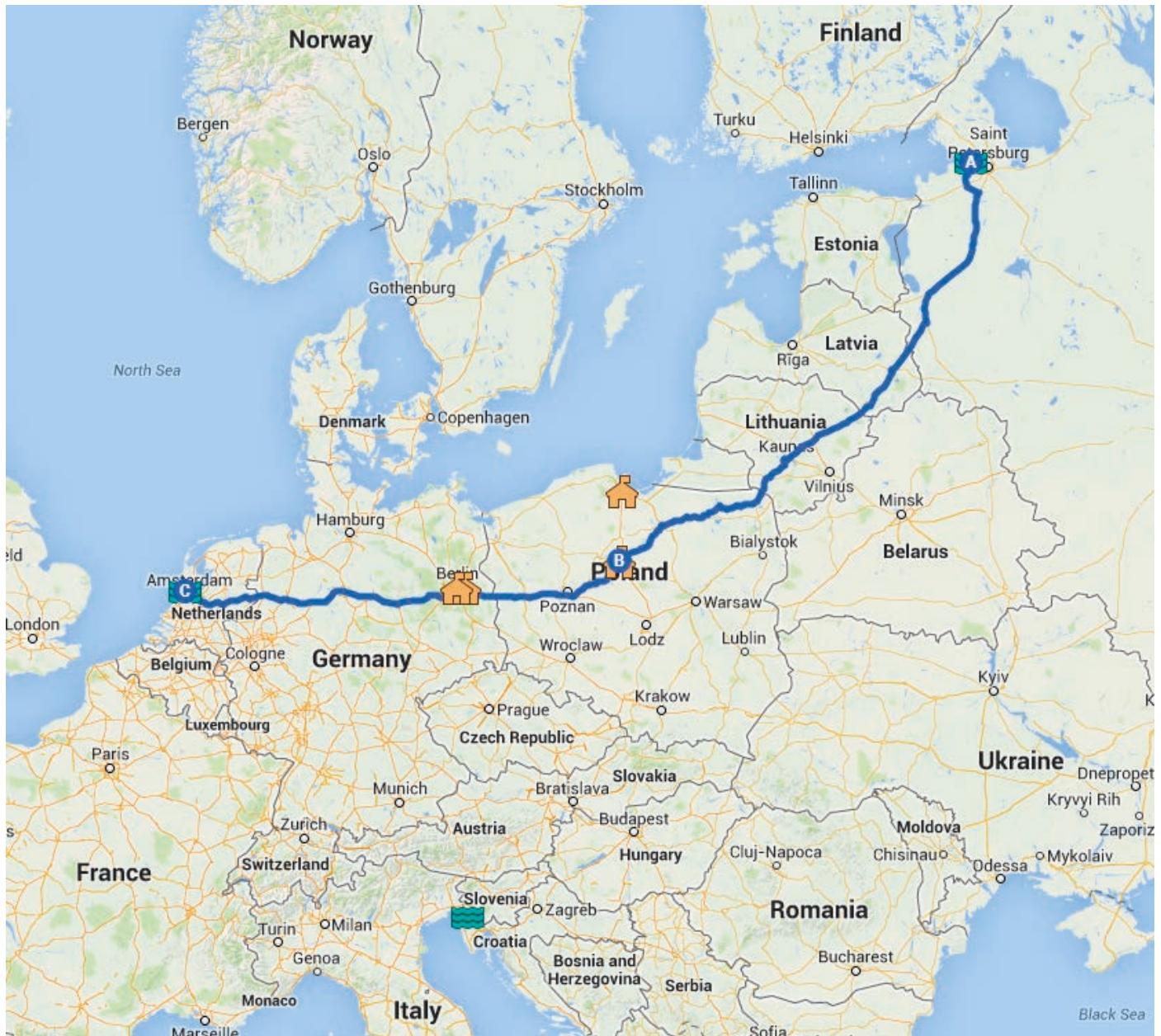
Do 1878 roku punktem odniesienia starego niemieckiego systemu wysokości NNaS było zero wodowskazu w Gdańsku

„*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 Kronsztadtu 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).

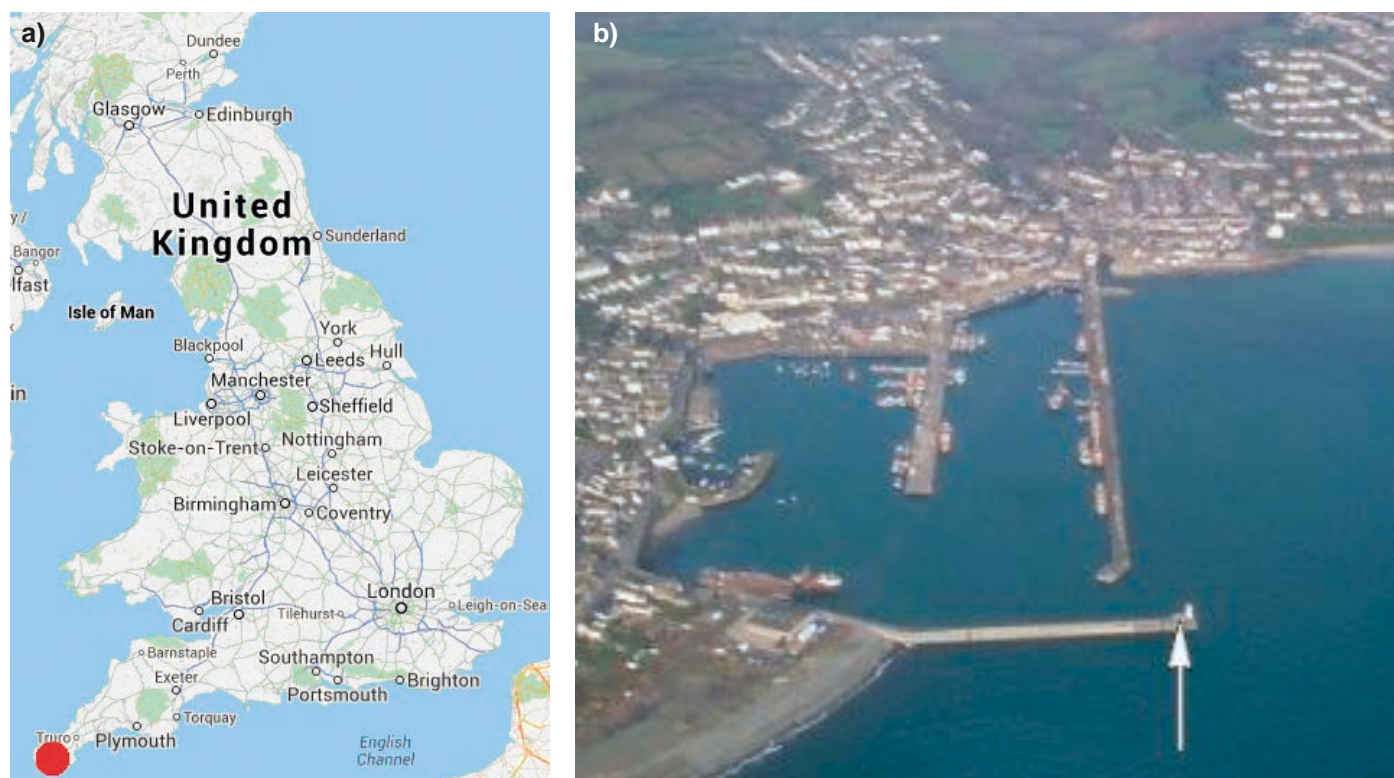
Stacja mareograficzna i układ odniesienia Newlyn w Wielkiej Brytanii [4, 16, 23, 24, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 36, 38]

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*. Pomiaru *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.



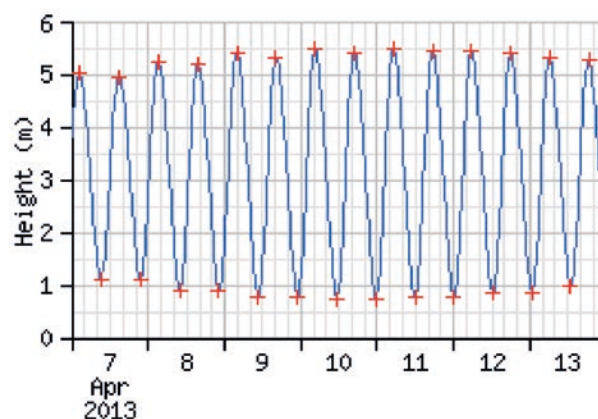
Rys. 6. Reper operacyjny zainstalowany w budynku Stacji Newlyn [31]

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]

wadzano w latach 1840-1860, a za mareograf odniesienia przyjęto wówczas mareograf Victoria Dock w Liverpoolu (znajdującego się w zasięgu pływów rzecznych, które zaburzały odczyt poziomu morza). Mimo tego, przeprowadzając w 1921 roku oraz w 1951 roku II i III niwelację, również odniesiono się do danych z tego mareografu. Ostatecznie, zrezygnowano z niego i korzystano z pomiarów na stacji mareograficznej w Newlyn.

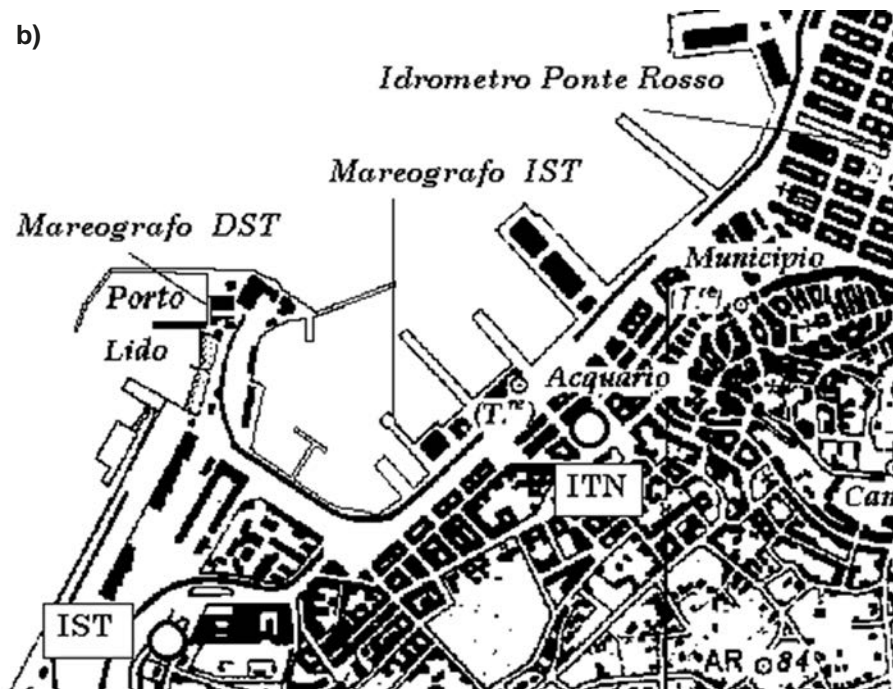
Układ wysokości Newlyn jest układem wysokości ortometrycznych. Różnice pomiędzy rzędnymi w nawiązaniu do układu odniesienia Liverpool i Newlyn nie są stałe dla całego kraju. Ogólna zależność jest taka, że rzędne układu Newlyn na południu kraju są niższe niż układu Liverpool, zaś na północy wyższe. Obecnie sieć niwelacyjna Wielkiej Brytanii składa się z około 200 reperów fundamentalnych oraz z ponad pół miliona reperów niższej dokładności. Większość wysp posiada układy wysokości odniesione do lokalnych powierzchni odniesienia.

Stacja mareograficzna oraz układ odniesienia Triest (Adriatyk) [6, 7, 8, 11, 17, 21, 23, 25, 32]

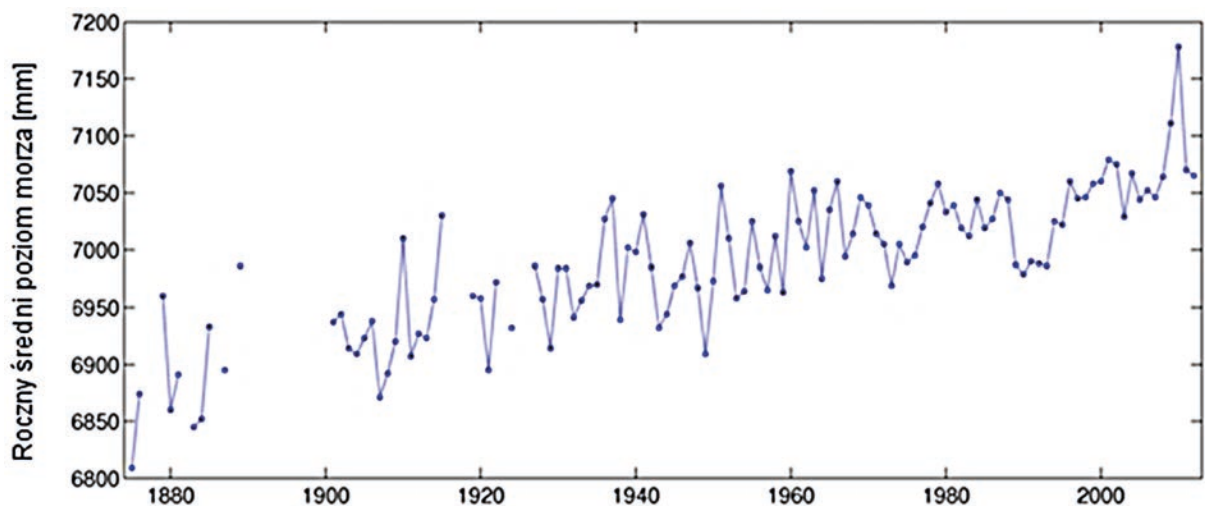
Stacja mareograficzna jest usytuowana w Zatoce Triesteńskiej na pirsie Sartorio w Trieście – włoskim mieście położonym na północno-wschodnim wybrzeżu Adriatyku (rys. 9). Właściwe przyjęcie lokalizacji stacji Triest na pirsie w Sartorio, posadowionym w stabilnym geologicznie podłożu i blisko otwartego morza, potwierdzili Godin i Trotti wykonując w latach 1964-1967 specjalne obserwacje poziomu wód na otwartym morzu i w porcie [7]. Wpływ okolicznych rzek na poziom wody w porcie uznano za nieistotny, gdyż występuje okresowo tylko w przypadku bardzo dużych opadów. Od 1859 roku na stacji prowadzono regularne obserwacje poziomu wody będące bazą danych między innymi do celów badawczych i bezpieczeństwa żeglugi [21].

Początkowo stacja była wyposażona w analogowe mareografy pływakowe: *Schaub* (1859-1884), *Strudhoff* (1884-1911), *Seibt-Fuess* (1911-1984). Obecnie na stacji są 4 mareografy: 2 mareografy pływakowe z zapisem analogowym: *Buesum – Ott* (rys. 10) i *Pagan* zainstalowane w latach 1966 i 1985, jeden mareograf pływakowy z zapisem cyfrowym zainstalowany w 2000 roku *Ott-Thalimedes* oraz jeden mareograf akustyczny z kompensacją temperatury i zapisem cyfrowym zainstalowany w 2004 roku [6]. Mareograf *Ott-Thalimedes* rejestruje poziom wody z częstotliwością minutową [17]. Mareografy cyfrowe, poza zapisem danych pomiarowych do pamięci instrumentu, wysyłają je również systemem *GPRS* do odbiorców. Wewnątrz budynku stacji znajduje się reper mareografu w postaci bolca zainstalowanego w ścianie.

W 1926 roku ze względu na częściowe zniszczenie stacji budynek wraz ze sprzętem przeniesiono o 20 m na północno – wschodni kraniec pirsu, gdzie znajduje się do dziś [6]. Obecnie na dachu stacji mareograficznej jest zainstalowana antena *GPS* obsługiwana przez pracowników Uniwersytetu Bolońskiego. W odległości około 500 m od stacji mareograficznej znajdują się dwie stacje meteorologiczne, w których jest mierzone ciśnienie powietrza, prędkość i kierunek wiatru, temperatura powietrza i wody morskiej. Na podstawie tych danych są prowadzone analizy poziomu wody w korelacji z czynnikami atmosferycznymi. Poza tym w stacji jest opracowywana prognoza poziomu wody na najbliższe dni [21]. Dane archiwalne ze stacji Triest obejmują pomiary od 1875 roku - średnie miesięczne i roczne (rys. 10), od 1905 roku z obserwacji o godzinnej częstotliwości, a od 2001 roku z obserwacji o częstotliwości minutowej. Obecnie wyniki pomiarów mareograficznych są przekazywane raz w miesiącu do sieci *GLOSS* (numer ID 340) oraz raz na rok jako średnie miesięczne i roczne do sieci *PSMSL* (numer ID 154). Dane są przekazywane na bieżąco do *Agencji Ochrony Cywilnej* [6].



Rys. 9. Lokalizacja stacji mareograficznej Triest: położenie stacji w Zatoce Triesteńskiej Morza Adriatyckiego (a), usytuowanie stacji w porcie na molo Sartorio – Mareografo IST (b) [26]



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].

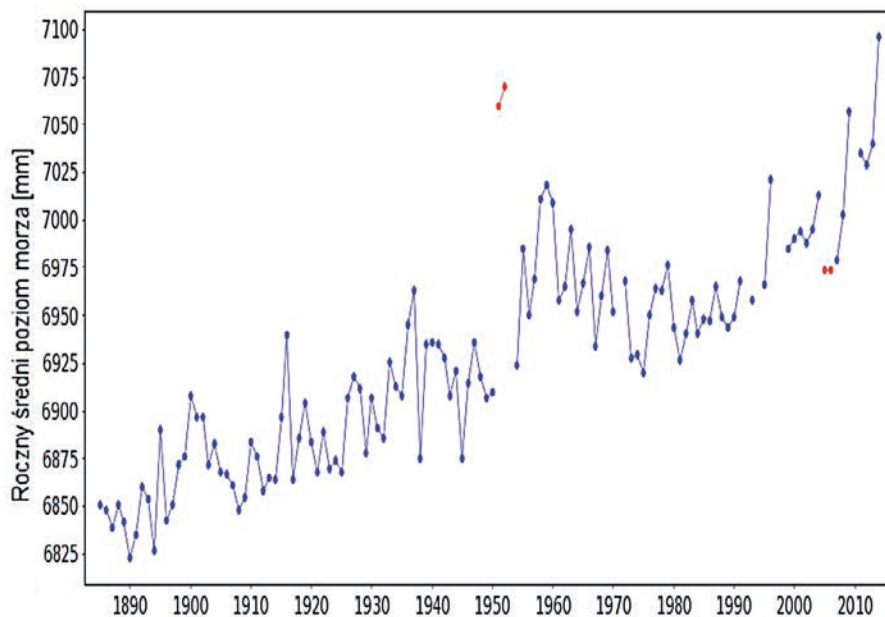
Stację mareograficzną stanowią dwa budynki: biuro z pomieszczeniem mieszkalnym oraz niżej położoną komorę, gdzie zainstalowano sprzęt pomiarowy. Pierwotnie na stacji pracował mareograf klasyczny konstrukcji F. H. Reitza. W ścianie dolne-

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.