

Nathaniel Bowditch

(1773 – 1838)

Nathaniel Bowditch urodził się 26 marca 1773 w Salem w stanie Massachusetts jako czwarte z siedmiorga dzieci kapitana Habbakuka Bowditcha i jego żony Marii.

Od czasu gdy w XVII wieku Wiliam Bowditch opuścił Anglię i wyjechał do angielskich kolonii w Ameryce rodzina mieszkała w Salem. Jak to się zwykle działo w rodzinach mieszkających w miastach portowych Nowej Anglii większość z jej synów poszła w morze i wielu z nich zostało kapitanami. Również sam Nathaniel Bowditch w swój ostatni rejs popłynął jako kapitan a dwu spośród jego braci straciło życie podczas służby na morzu.

Istnieją przekazy mówiące, że ojciec Nathaniela Bowditcha stracił w morzu dwa statki a w późnych dniach Rewolucji wrócił do zawodu bednarza którego nauczył się w młodości. Zawód ten nie dostarczał dochodu potrzebnego żeby zaspokoić potrzeby rosnącej rodziny, która często cierpiała głód i chłód. Przez wiele lat żyjąca niemal w nędzy rodzina otrzymywała zapomogę w wysokości 15-20 dolarów rocznie od Morskiego Towarzystwa Salem. Kiedy Nathaniel osiągnął dziesiąty rok życia bieda zmusiła go do porzucenia szkoły i rozpoczęcia wraz z ojcem pracy bednarza.

Nathaniel nie odnosił sukcesów jako bednarz i w wieku dwunastu lat rozpoczął pracę w firmie shipchandlerskiej, jednej z dwu w jakich w swoim życiu pracował. Właśnie podczas dziesięcioletniej pracy w tej firmie zwrócił na siebie uwagę zaletami umysłu. Od czasu rozpoczęcia nauki w szkole Bowditch wykazywał wielki pociąg do nauki, w szczególności zaś do matematyki. Już jako nastolatek był powszechnie uważany w Salem za autorytet w tej dziedzinie. Salem było przede wszystkim miastem portowym i większość z jego mieszkańców prędzej albo później trafiała do zawodu dostawcy okrętowego. W tej sytuacji wieść o bystrym młodym urzędniku szybko się rozchodziła aż w końcu usłyszało o nim kilka wykształconych osób. Duże wrażenie zrobił na nich zapał Bowditcha do nauki i postanowili pomóc mu dostarczając książek, dzięki którym mógł uczyć się o dokonywanych przez innych odkryciach. Ponieważ wiele z tych książek było napisanych przez Europejczyków Bowditch zaczął od nauki języków. W swoim życiu nauczył się on ponad dwudziestu języków, w tym francuskiego, hiszpańskiego, łaciny, greki i niemieckiego. W wieku lat szesnastu zaczął studiować „Principia” Newtona, jednocześnie tłumacząc jej fragmenty na łacinę. Udało mu się nawet znaleźć w tym dziele błąd, i choć wtedy jeszcze nie miał odwagi, żeby ogłosić to publicznie to później opublikował swoje spostrzeżenie które zostało powszechnie zaakceptowane. Podczas wojny o niepodległość Stanów Zjednoczonych korsarz z Beverly, miasta sąsiadującego z Salem zdobył angielski statek wiozący bibliotekę dzieł filozoficznych należąca do znanego irlandzkiego uczonego, dr. Richarda Kirwana. Książki kupiła grupa wykształconych mieszkańców Salem którzy w ten sposób założyli Stowarzyszenie Biblioteki Filozoficznej. Biblioteka ta miała opi-

nią najlepszej ówczesnie biblioteki na północ od Filadelfii. W roku 1791, kiedy Bowditch miał 18 lat dwu ministrów, absolwentów Harwardu, John Price i Wiliam Bentley przekonało Stowarzyszenie żeby pozwoliło Bowditchowi korzystać z księgozbioru. Zachęcony przez nich oraz przez Nathana Readę, aptekarza który również studiował na Harwardzie Bowditch zaczął studiować dzieła ludzi żyjących przed nim, zwłaszcza matematyków i astronomów. Z czasem zdobyta wiedza uczyniła młodego Bowditcha jednym z bardziej wybitnych matematyków w kraju.

W portowym mieście, jakim było Salem Bowditch wcześniej zetknął się z nawigacją. Już mając trzynaście lat uczył się jej od pewnego starego brytyjskiego marynarza. Rok później zaczął studiować geodezję i w roku 1794 asystował podczas wykonywania pomiarów geodezyjnych w mieście. W wieku lat piętnastu wykonał uważany za bardzo dokładny rocznik astronomiczny. Oprócz tego w młodości zbudował prosty barometr i zegar słoneczny.

Kiedy Bowditch w wieku dwudziestu jeden lat poszedł w morze został sekretarzem kapitana i drugim oficerem. Stanowisko to otrzymał dzięki swojej reputacji naukowca. Zimą roku 1795 statek o nazwie "Henry" wypłynął z Salem pod dowództwem kapitana Henry'ego Prince'a w mający trwać rok rejs do Ile de Bourbon (obecnie Île de la Réunion).

Bowditch rozpoczął swoją karierę morską w czasach, kiedy przeciętny statek handlowy czy okręt nie miał możliwości wykonywania dokładnych pomiarów czasu. Odpowiednio dokładny chronometr morski został wynaleziony już sześćdziesiąt lat wcześniej, ale jego wysoka cena i fakt, że podczas długich rejsów nie było możliwości korygowania jego wskazań powodowały że jego zakup nie miał sensu. Co prawda znana była metoda „odległości księżycowej”, która nie wymagała dokładnej znajomości czasu, ale była ona zbyt skomplikowana dla niewykształconych marynarzy tamtej epoki. W wyniku tego statki nawigowały łącząc metodę pozycji zliczonej z żegluga równoległą – metodą polegającą na płynięciu najpierw prosto na północ lub południe aż do zaplanowanej szerokości geograficznej a następnie odpowiednio na wschód lub zachód do celu.

Bowditch, który był geniuszem matematycznym nie miał kłopotów z obliczaniem odległości księżycowej, ale rozumiał potrzebą stworzenia metody prostszej, która uczyniłaby nawigację łatwiejszą i bardziej efektywną. Podczas swojego pierwszego rejsu na podstawie obserwacji i analiz opracował nowy, uproszczony wzór, który miał otworzyć księgę astronawigacji przed wszystkimi marynarzami.

Kiedy Bowditch był w swoim pierwszym rejsie podstawową książką o nawigacji był „The Practical Navigator” Johna Hamiltona Moore'a, książka jeszcze przez wiele lat będąca w powszechnym użyciu. Jednak Bowditch szybko zaczął odnajdywać błędy w książce Moore'a i wkrótce musiał sam przeliczyć najczęściej używane przez siebie tablice. Bowditch notował znalezione przez siebie błędy i pod koniec swojego drugiego rejsu wieść o jego spostrzeżeniach dotarła do Edmunda Blunta, wydawcy z Newburyport w Massachussets. Na prośbę Blunta Bowditch podjął się zrobienia korekty książki Moore'a. Pierwsza edycja „The New Practical Navigator” zawierająca poprawki Bowditcha i trochę dodatkowych informacji wyszła w roku 1799. W następnym roku wyszło drugie wydanie zawierające dodatkowe poprawki. Ostatecznie Bowditch znalazł w „Praktycznym nawigatorze” ponad osiem tysięcy błędów i w końcu podjęto decyzję, że książkę trzeba przepisać od nowa i wydać pod nowym tytułem. W roku 1802 ukazało się pierwsze wydanie „The New Practical Navigator” autorstwa Nathaniela Bowditcha. Poczynione przez autora założenie, żeby nie pisać o niczym, czego nie dałoby się nauczyć każdego członka załogi uczyniło książkę zrozumiałą dla przeciętnego maryna-

rza. Poza ulepszoną metodą określania długości geograficznej książka zawierała informacje o wiatrach, prądach i pływach; informacje hydrograficzne, statystyki ubezpieczeń morskich, słownik wyjaśniający zwroty związane z morzem, wyjaśnienia związane z matematyką i liczne tablice z danymi nawigacyjnymi. Opracowane przez niego uproszczone metody, na tyle łatwe, że z łatwością mógł je zrozumieć każdy inteligentny marynarz pomogły Amerykanom zdobyć mocną pozycję na morzach.

Dwa miesiące przed wypłynięciem w swój trzeci rejs do Kadyksu w roku 1798 Bowditch ożenił się z Elizabeth Boardman, córką kapitana. Podczas kiedy był na statku jego żona zmarła, przeżywszy zaledwie osiemnaście lat. W dwa lata później, 28 października 1800 roku Bowditch ożenił się ze swoją kuzynką, Mary Ingersoll, również córką kapitana. Miał z nią ośmioro dzieci.

Bowditch odbył ogółem pięć rejsów w czasie około dziewięciu lat. W ostatnim rejsie brał udział jako kapitan i współwłaściciel trójmasztowca „Putnam”. Kiedy 25 grudnia 1803 r. wracając z trzynastomiesięcznej wyprawy do Sumatry i Ile de France (obecnie Mauritius) „Putnam” w gęstej mgłę wchodził do Salem obserwacje astronomiczne nie były wykonywane od północy 24 grudnia. Opierając się tylko na pozycji zliczonej Bowditch wprowadzał statek w wejście do skalistego portu, mając jednak te szczęście, że na chwilę udało mu się zobaczyć Eastern Point, Cape Ann, co wystarczyło by potwierdzić swoją pozycję. Putnam płynął naprzód mijając takie niebezpieczeństwa jak „Bowditch’s Ledge” (Gzyms Bowditcha) (nazwany tak od pradziadka Nathaniela, który przed przeszło stu laty wpadł w tym miejscu ze swoim statkiem na skałę) by w końcu bezpiecznie rzucić kotwicę o godzinie 1900 tego wieczora. Wieść o tym śmiałym wyczynie, wykonanym wtedy, kiedy inni kapitanowie bezpiecznie skryli się w porcie, rozniosła się szeroko i umocniła reputację Bowditcha wykazując, że był on rzeczywiście „praktycznym nawigatorem”.

Reputacja matematyka i wytrawnego kapitana pozwoliła mu w kilka tygodni po zakończeniu ostatniego rejsu osiągnąć lukratywną (jak na tamte czasy) pozycję na lądzie. W wieku lat trzydziestu został prezesem towarzystwa ubezpieczeń miasta Salem. Przez dwadzieścia lat, sprawowania przez niego tej funkcji towarzystwo dobrze prosperowało. W roku 1823 Bowditch opuścił Salem by objąć podobną funkcję w firmie ubezpieczeniowej w Bostonie. Firmie tej z powodzeniem służył aż do swojej śmierci.

Od czasu ukończenia „Nawigatora” do roku 1814 praca naukowa Bowditcha dotyczyła orbit komet, zastosowań praw Napiersa, deklinacji magnetycznej, zaćmień, obliczeń pływów i kartografii portu Salem. W roku tym jednak rozpoczął on pracę, którą uważał za najważniejszą w swoim życiu: tłumaczenie na angielski „Mècanique Cèleste” Pierre’a Laplace’a. „Mècanique Cèleste” była podsumowaniem całej ówczesnej wiedzy na temat praw rządzących ruchem ciał niebieskich. Do swojej śmierci Bowditch przetłumaczył i wydał na własny koszt cztery z pięciu tomów. W swoim tłumaczeniu zamieścił wiele wyprowadzeń wzorów których nie było u Laplace’a oraz dołączył szerego odkryć doonanych po opublikowaniu francuskiego oryginału. Dzięki jego pracy amerykańscy astronomowie uzyskali dostęp do informacji zawartych w tym dziele i możliwość prowadzenia własnych badań w oparciu o to co było już znane. Stosując swój styl pisania skierowany do osoby uczącej się Bowditch przetłumaczył „Mècanique Cèleste” w taki sposób, że student matematyki mógł z łatwością krok po kroku śledzić sposób dochodzenia do najbardziej skomplikowanych wniosków.

Wkrótce po wydaniu „The New American Practical Navigator” Harvard College odzna-
czył autora przyznając mu honorowy stopień naukowy (honorary degree of Master of Arts)

a w roku 1816 doktora praw. Od czasu kiedy mieszkający w Salem absolwenci Harwardu pomagali mu w jego studiach Bowditch był silnie związany z tą uczelnią. W roku 1810 wybrano go na jednego z nadzorców, którą to funkcję sprawował do roku 1826, kiedy to wybrano go na członka korporacji. W latach 1826 – 1827 był przywódcą niewielkiej grupy osób, które uratowały szkołę przed kłopotami finansowymi przez wymuszenie niezbędnych oszczędności na niechętnym temu pomysłowi rektorze. Bowditch otrzymał również propozycje objęcia funkcji profesora matematyki na Harwardzie, ale odrzucił tę ofertę podobnie jak to uczynił z podobnymi ofertami z West Point i Uniwersytetu Wirginii. W ciągu całego jego życia nie jest znane żadne jego publiczne przemówienie ani jakakolwiek wypowiedź do szerszej grupy osób.

Wiele innych wyróżnień spotkało Bowditcha w uznaniu jego zasług na polu astronomii, matematyki i nawigacji. Był on członkiem Amerykańskiej Akademii Nauki i Sztuki, Wschodnioindyjskiego Towarzystwa Morskiego, Akademii Królewskiej w Edynburgu, Stowarzyszenia Królewskiego w Londynie, Królewskiej Akademii Irlandzkiej, Amerykańskiego Towarzystwa Filozoficznego, Akademii Nauki i Sztuki Stanu Connecticut, Bostońskiego Towarzystwa Morskiego, Królewskiego Towarzystwa Astronomicznego, Akademii Nauki w Palermo i Akademii Królewskiej w Berlinie.

Nathaniel Bowditch przeżył wszystkich swoich braci i siostry o ponad trzydzieści lat. Zmarł 16 marca 1838 roku przeżywszy sześćdziesiąt pięć lat. Nekrolog Towarzystwa Morskiego Miasta Salem świadczy o pamięci, jaką o tym wybitnym Amerykaninie zachowali jego współcześni:

„Wraz z jego śmiercią odszedł od nas dobroczyńca narodu i ludzkości. Nie tylko ta społeczność i nie tylko ten kraj ale cały świat ma powód aby czcić jego pamięć. Kiedy umilknie głos tego wspomnienia i gdy przestaną płynąć łzy smutku nie będzie potrzebny pomnik by podtrzymać między ludźmi pamięć o nim. Jak długo pływają statki, jak długo igła kompasu wskazywać będzie północ a gwiazdy będą podążać swoimi wyznaczonymi drogami po niebie imię dr. Bowditcha pamiętane będzie jako imię tego, kto pomógł w potrzebie swoim towarzyszom, kto był i jest dla nich przewodnikiem na bezdrożach oceanu, kto posunął do przodu ludzką wiedzę”.

Od 1802 roku „The New American Practical Navigator” był kilkakrotnie poprawiany przez Nathaniela Bowditcha przy okazji kolejnych wydań. Po śmierci ojca pracę przejął syn, Jonathan Ingersoll Bowditch i to jego imię pojawiało się na okładkach wydań od jedenastego do trzydziestego piątego w roku 1867. W roku 1868 nowo zorganizowane Biuro Hydrograficzne Marynarki Stanów Zjednoczonych odkupiło prawa autorskie do książki. Od czasu do czasu w książce dokonywano poprawek tak, by dotrzymywała ona kroku rozwijającej się nawigacji. Nazwę zmieniono na „The American Practical Navigator” ale książka wciąż popularnie nazywana jest Bowditchem. W ciągu ponad stu pięćdziesięciu lat, od pierwszego wydania w roku 1802 wyszło ponad siedemdziesiąt wydań – razem ponad 850 000 egzemplarzy. Książka ta jest ciągle żywa ponieważ łączy w sobie najcenniejsze przemyślenia wszystkich pokoleń nawigatorów, dla których była ostatecznym autorytetem.

Wstęp

To vademecum nawigacji jest w sposób ciągły utrzymywane od pierwszego wydania w roku 1802. Marynarka Stanów Zjednoczonych zajmowała się „Bowditchem” w latach od 1868 do 1972, kiedy to wyznaczono Centrum Hydrograficzne Agencji Map Ministerstwa Obrony jako odpowiedzialne za publikację.

Wciąż przestrzegane jest pierwotne zamierzenie oryginalnego autora, którym było dostarczenie kompendium wiedzy nawigacyjnej w formie zrozumiałej dla marynarza. Nawigacja nie jest tu jednak przedstawiana jako mechaniczny proces, który należy ślepo wykonywać. Nacisk położono raczej na fakt, że pomoce dostarczane przez naukę mogą być efektywnie wykorzystane w sztuce nawigacji tylko przez doświadczoną, dobrze poinformowaną osobę o dojrzałych sądach która będzie umiała odpowiednio interpretować dostępne informacje. Tak więc fakty potrzebne do wykonywania czynności nawigacyjnych zostały uzupełnione dodatkowym materiałem, który ma pomóc nawigatorowi zdobyć odpowiednią perspektywę.

Tom II tego szeroko uzupełnionego wydania zawiera tabele, wzory, dane i instrukcje potrzebne nawigatorowi przy wykonywaniu obliczeń związanych z obliczaniem pozycji zliczonej, pilotażem i astronawigacją. Wszystkie zawarte w tym tomie odnośniki do tabel 1 – 37 odnoszą się do tomu drugiego.

Wiele grup, instytucji, organizacji i osób prywatnych pomagało podczas przygotowywanie tomu pierwszego, jednak by zachować zwartość i ciągłość cały materiał był ostatecznie edytowany przez pojedynczą osobę. Szczególne podziękowania składamy następującym osobom:

Dr. P. Kenneth Seidelmann, dyrektor Nautical Almanac Office, U. S. Naval Observatory, za pomoc związaną ze sprawami astronawigacji i almanachów; Dr. William J. Klepczynski, Time Service Division, U. S. Naval Observatory; Commander Guy P. Clark, U. S. Coast Guard, za pomoc w sprawach związanych z wizualnymi i dźwiękowymi pomocami nawigacyjnymi, nawigacją pilotową i bezpieczeństwem nawigacyjnym; Dr. William H. Guier i Mr. John W. Casey, Applied Physics Laboratory, The Johns Hopkins University za rozdział o nawigacji satelitarnej; porucznik Commander Richard A. Smith, Royal Navy, when Chairman, Department of Navigation, U.S. Naval Academy za pomoc w sprawach praktycznych; komandor Carl W. Fisher, National Oceanic and Atmospheric Administration, Chief, Oceanographic Division, National Ocean Survey za pomoc w sprawach związanych z prądami pływowymi; Dr. Robert J. Renard, Professor of Meteorology, Naval Postgraduate School, Monterey, California za pomoc w kwestiach związanych z pogodą; Mr. Richard M. DeAngelis, Environmental Data Service, National Oceanic and Atmospheric Administration za pomoc przy rozdziale o cyklonach tropikalnych; główny aerograf Robert J. Kemple, U.S. Navy, Naval Postgraduate School, Monterey, California, za pomoc w sprawach związanych z obserwacjami fal morskich; Mr. Max W. Mull, Chief, Marine Weather Services Branch, National Weather Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, za pomoc w

sprawach związanych z meteorologią i pogodowym planowaniem trasy statku; komandor William G. Schramm, U.S. Navy, Fleet Numerical Weather Central, Monterey, California, za pomoc w sprawach związanych z oceanografią; Mr. Lyman W. Griswold, Head, Sensors Branch, Naval Ship Research and Development Center, Annapolis, Maryland, za pomoc w sprawach związanych z logami; panowie Donald R. Lesnick i Rosario Casamento z Naval Ship Engineering Center; pan Eric L. Puckett, Navy Ships Parts Control Center, za pomoc w sprawach związanych z przyrządami nawigacyjnymi; komandor Arthur J. Tuttle, U.S. Navy, USS Kawishiwi (AO-146), oraz Master Chief Quartermaster Byron E. Franklin (SS), U.S. Navy, za pomoc w sprawach praktycznych; Mrs. Irene Fischer Chief Geoid Branch, Defense Mapping Agency Topographic Center, za pomoc w sprawach związanych z geodezją; Mr. James E. Gearhart, kartograf, Marine Chi Division, National Ocean Survey oraz Mr. Anthony S. Basile z tego Center za pomoc przy rozdziale o mapach morskich; Mr. Peter A. Mitchell, Naval Oceanographic Office, za pomoc przy rozdziale o lodach; Mr. D. H. Luzius, Headquarters U. S. Coast Guard, za pomoc w sprawach związanych z systemami zgłaszania pozycji; porucznik Wilson E. Fitch i Timothy L. Vaughan, U. S. Navy, Department of Navigation, U.S. Naval Academy i Mr. Richard M. Plant, Maritime Institute of Technology and Graduate Studies, Linthicum Heights, Maryland, za pomoc przy opracowywaniu załączników dotyczących zastosowania kalkulatora w obliczeniach nawigacyjnych; komandor William M. Ross, U.S. Navy, wówczas Chairman, Department of Navigation, U.S. Naval Academy i kapitan Wayne M. Waldo, Maritime Institute of Technology and Graduate Studies, za pomoc w sprawach praktycznych; komandor Cortland G. Pohle, U.S. Coast Guard, U.S. Merchant Marine Academy, za konstruktywne sugestie; Dr. Milton Y. J. Cha, U.S. Coast Guard, za pomoc w sprawach związanych z charakterystykami propagacji fal radiowych o bardzo niskich częstotliwościach; panowie David C. Scull, Robert M. Willems i Peter B. Morris, Omega Navigation System Operations Detail, U.S. Coast Guard, za pomoc w sprawach związanych z systemem Omega; Mr. David T. Haislip, Chief, Radionavigation Aids Branch, U.S. Coast Guard Headquarters, za pomoc w sprawach związanych z radionawigacją; Mr. Richard J. Sandifer, Associate Professor of Astronomy, Anne Arundel Community College, Arnold, Maryland, za pomoc przy rozdziale o pływach i prądach pływowych; komandor Raymond A. Helbig, U.S. Navy, Physics Department, U.S. Naval Academy, za pomoc przy rozdziale o nawigacji z zastosowaniem sonarów doplerowskich; panowie William M. Clune i George L. Hammond, Fleet Numerical Weather Central, Monterey, California, za rozdział o pogodowym planowaniu trasy statku; Mr. William M. Clune za pomoc w sprawach związanych z obserwowaniem pogody; kapitan Joel H. Jacobs za pomoc w sprawach związanych z sekstantem; Mr. Melvin E. Crusier, Naval Guided Missiles School, Dam Neck, Virginia Beach, Virginia, za pomoc przy rozdziale o nawigacji inercyjnej; U.S. Power Squadrons za sugestie związane ze schematem z artykułu 1206 dotyczącym określania wysokości pływu; oraz wielu innym osobom, szczególnie zaś instruktorom nawigacji morskiej i doświadczonym praktykom nawigacji, którzy odpowiadali na nasze kwestionariusze i służyli nam konstruktywnymi sugestiami lub zwracali naszą uwagę na błędy zawarte w poprzednich wydaniach.

Użytkownicy proszeni są o przesyłanie poprawek, uzupełnień i komentarzy na poniższy adres:

Director, Defense Mapping Agency Hydrographic Center, Washington D.C. 20390, ATTN: Code PR

Spis treści

Nagłówek
Nathaniel Bowditch (1773 - 1838)
Wstęp

część pierwsza

Podstawy

Rozdział I. Historia nawigacji
Rozdział II. Podstawowe definicje
Rozdział III. Projekcje
Rozdział IV. Wizualne i dźwiękowe pomoce nawigacyjne
Rozdział V. Mapa nawigacyjna

część druga

Nawigacja pilotowa i zliczeniowa

Rozdział VI. Przyrządy do nawigacji pilotowej i zliczeniowej
Rozdział VII. Błąd kompasu
Rozdział VIII. Nawigacja zliczeniowa
Rozdział IX. Metody zliczania pozycji
Rozdział X. Nawigacja pilotowa
Rozdział XI. Zastosowanie sekstantu w nawigacji pilotowej
Rozdział XII. Przepowiednie prądu i pływów
Rozdział XIII. Locje i spisy światel

część trzecia

Astronawigacja

- Rozdział XIV.** Astronomia nawigacyjna
- Rozdział XV.** Przyrządy astronawigacyjne
- Rozdział XVI.** Poprawki wysokości z sekstantu
- Rozdział XVII.** Astronomiczne linie pozycyjne
- Rozdział XVIII.** Czas
- Rozdział XIX.** Rocznik astronomiczny
- Rozdział XX.** Obliczanie obserwacji
- Rozdział XXI.** Porównanie różnych metod obliczania obserwacji
- Rozdział XXII.** Identyfikacja ciał niebieskich

część czwarta

Nawigacja praktyczna

- Rozdział XXIII.** Praktyczna nawigacja morska
- Rozdział XXIV.** Pogodowe planowanie trasy statku
- Rozdział XXV.** Nawigacja podbiegunowa
- Rozdział XXVI.** Nawigacja na łodzi ratunkowej

część piąta

Bezpieczeństwo nawigacyjne

- Rozdział XXVII.** Bezpieczeństwo nawigacyjne
- Rozdział XXVIII.** Sondowanie oceaniczne i raporty hydrograficzne
- Rozdział XXIX.** Systemy zgłaszania pozycji

część szósta

Oceanografia

Rozdział XXX. Oceany

Rozdział XXXI. Pływy i prądy pływowe

Rozdział XXXII. Prądy oceaniczne

Rozdział XXXIII. Falowanie oceaniczne

Rozdział XXXIV. Przybój

Rozdział XXXV. Dźwięk w morzu

Rozdział XXXVI. Lód

część siódma

Pogoda

Rozdział XXXVII. Obserwacje pogodowe

Rozdział XXXVIII. Elementy pogody

Rozdział XXXIX. Cyklony tropikalne

część ósma

Elektronika w nawigacji

Rozdział XL. Fale radiowe

Rozdział XLI. Radionamierzanie

Rozdział XLII. Nawigacja radarowa

Rozdział XLIII. Systemy radionawigacyjne

Rozdział XLIV. Nawigacja satelitarna

Rozdział XLV. Nawigacja z użyciem sonaru doplerowskiego

Rozdział XLVI. Wprowadzenie do nawigacji inercyjnej

Załączniki

- Załącznik A** Skróty
- Załącznik B** Alfabet grecki
- Załącznik C** Symbole
- Załącznik D** Różne dane
- Załącznik E** Współrzędne nawigacyjne
- Załącznik F** Wyciąg z almanacha nawigacyjnego
- Załącznik G** Wyciąg z „Air Almanac”
- Załącznik H** Almanach długoterminowy
- Załącznik I** Identyfikacja gwiazd nawigacyjnych
- Załącznik J** Gwiazdy i planety nawigacyjne
- Załącznik K** Gwiazdozbiory
- Załącznik L** Wyciąg z tabeli pływów
- Załącznik M** Wyciąg z tabeli prądów pływowych
- Załącznik N** Wyciąg z publikacji nr 214
- Załącznik O** Wyciąg z publikacji nr 229
- Załącznik P** Wyciąg z publikacji nr 249
- Załącznik Q** Błędy w nawigacji
- Załącznik R** Loran-A
- Załącznik S** Mapy i publikacje wydawane przez inne agencje
- Załącznik T** Kalkulatory
- Załącznik U** Zalecenia kalibracji logów podwodnych
- Załącznik V** Skala wiatru Beaufourta
- Załącznik W** Stan morza
- Załącznik X** Geodezja dla nawigatorów
- Załącznik Y** System obojowania
- Załącznik Z** Wyciąg z mapy nr 1

Indeks

część pierwsza

Podstawy

Rozdział I. Historia nawigacji

Rozdział II. Podstawowe definicje

Rozdział III. Projekcje

Rozdział IV. Wizualne i dźwiękowe pomoce nawigacyjne

Rozdział V. Mapa nawigacyjna

Rozdział 1

Historia nawigacji

Wprowadzenie

101. Tło Historia nawigacji jest stara jak historia ludzkości. Prawdopodobnie jednym z pierwszych świadomych działań człowieka był powrót do domu w oparciu o obserwację stałych obiektów. W ten sposób najwcześniejszą formą nawigacji stała się niewątpliwie *nawigacja lądowa*. Pierwsze wyprawy wodne związane były ze spostrzeżeniem faktu, że niektóre przedmioty mają zdolność unoszenia się po wodzie i że jeśli, jak kłoda, są odpowiednio duże to mogą unieść człowieka. Kiedy człowiek podjął próbę kierowania swoją łodzią rozpoczęła się *nawigacja morska*.

Jej najwcześniejszą formą była *nawigacja pilotowa*, która zaczął się gdy człowiek rozpoczął stosowanie stałych obiektów na lądzie do orientacji podczas żeglugi. Później, kiedy żeglarze zaczęli oddalać się od brzegu zaczęto używać *pozycję zliczoną*. Chociaż od niemal samych początków ciała niebieskie były pomocą przy sterowaniu, to jednak *astronawigacja* w takiej formie, w jakiej znamy ją obecnie, stała się możliwa dopiero wtedy, gdy zgromadzono dostatecznie dużą wiedzę na temat ruchu obiektów kosmicznych.

102. Od sztuki do nauki Nawigacja jest procesem kierowania ruchem statku z jednego punktu do drugiego. Robienie tego w bezpieczny sposób jest sztuką. W ciągu około 6000 (niektórzy pisarze podają 8000) lat człowiek uczynił ją niemalże nauką. Obecnie nawigacja jest w tak znacznej mierze nauką, że często zapomina się, że kiedyś była ona czymś innym. Powszechny jest pogląd, że do nawigowania statkiem potrzebna jest mapa, która pozwoli określić kierunek i odległość, kompas do sterowania i odpowiednie sposoby określania bieżącej pozycji statku podczas podróży. Zwróćmy uwagę na słowo „potrzebna” - świadczy ono o tym, jak bardzo współczesny nawigator zależny jest od swoich narzędzi. Wiele spośród sławnych wypraw historycznych odbywało się jednak bez tych, rzekomo niezbędnych, pomocy.

103. Podróże historyczne Historia notuje wiele wielkich wypraw o różnym znaczeniu nawigacyjnym. Nikła lub zgoła żadna jest nasza wiedza o osiągnięciach nawigacyjnych starożytnych żeglarzy, ale informacje o wiedzy i wyposażeniu towarzyszącym późniejszym wyprawom mogą posłużyć do zilustrowania postępu na tym polu.

104. Nawigacja w czasach przedchrześcijańskich W dawnych czasach odbywało się wiele podróży, które nie miały znaczenia nawigacyjnego. Wyprawa Noego arką jest mało interesująca z nawigacyjnego punktu widzenia, poza użyciem gołębiczy do zlokalizowania lądu. Istnieją dowody, że przynajmniej niektórzy z Indian dotarli do Ameryki drogą morską. Pierwsze grupy przybyły prawdopodobnie około roku 2200 p.n.e., to jest w przybliżeniu w czasie wielkiego eksodusu z terenów południowo-zachodniej Azji. Jest to mniej więcej czas, w którym miała być zbudowana wieża Babel. Warty zauważenia jest fakt, że niemal każdy ląd do którego dopływali wielcy euroejscy odkrywcy miał już w tym czasie swoich mieszkańców.

Nietrudno zrozumieć, w jaki sposób ludzie nieobcy z morzem mogli wykonać pojedynczą wielką podróż nie posuwając naprzód umiejętności nawigowania. Mniej jasny jest fakt, że Wikingowie i Polinezyjczycy, dwa wielkie ludy żeglarzy nie pozostawiły po sobie żadnej, poza sprzecznymi tradycjami, wiedzy o stosowanych przez nich metodach nawigacji. Budzące szacunek odległości pokonywane przez te ludy sugerowałyby stosowanie bardziej zaawansowanych metod nawigacji niż te, o których wspominają ich przekazy. Można tłumaczyć to tym, że wogóle pozostawili oni po sobie mało jakichkolwiek zapisków. Podejrzewa się też, że mieli oni na tyle rozwinięte zmysły, że nawigacja ich była po prostu zaawansowaną sztuką i przypominała raczej sposób, w jaki nawigują ptaki, ryby czy owady.

Jedną z najwcześniejszych znanych nam dobrze udokumentowanych podróży jest podróż Pytheasa z Massali, opisana przez niego. Pytheas był greckim astronomem i nawigatorem, pomiędzy latami 350 i 300 p.n.e. odbył on podróż z portu na Morzu Śródziemnym ustaloną trasą handlową do Anglii. Stamtąd udał się na północ do Szkocji i Thule, legendarnego lądu północy. Następnie Pytheas odkrywał norweskie fiordy i rzeki północno-zachodnich Niemiec. Możliwe jest, że zapłynął również na Bałtyk.

Podróż Pytheasa, podobnie jak inne podróże odbywane w jego czasach były znaczące o tyle, że odbywali je ludzie nie mający tak dziś popularnych sekstantów, kompasów, chronometrów czy urządzeń elektronicznych. Podawane przez niektórych historyków wyjaśnienie, że ludzie przed wynalezieniem odpowiednich urządzeń nie oddalali się od brzegów płynąc tylko w dzień i przy dobrej pogodzie nie jest prawdziwe. Na pewno wielu żeglowało w ten sposób, ale byli też ludzie, którzy zamiast skradać się przy brzegach odważali się odpływać na taką odległość, że przez większą część podróży nie widzieli lądu, a mimo to przez cały czas wiedzieli, gdzie się znajdują i jak wrócić do domu. Potrafili oni w tym celu korzystać z gwiazd, słońca i wiatrów bez pomocy urządzeń technicznych.

Pytheas nie miał żadnego z urządzeń uważanych za niezbędne przez współczesnego nawigatora – a przynajmniej nie w takiej postaci, w jakiej te urządzenia występują obecnie. Mimo to błędem byłoby sądzić, że nie miał on wogóle żadnych pomocy nawigacyjnych. Nie był on pierwszym z ludzi pływającym po morzach, a nawet w tych dawnych czasach człowiek dziedziczył po przodkach zebraną przez nich wiedzę. Na pewno miał on tę samą wiedzę nawigacyjną co inni marynarze tych czasów – Grecy i Fenicjanie. Żeglarze mieli w tamtych czasach dobrą wiedzę na temat ruchów ciał niebieskich, i z wiedzy tej korzystali w nawigacji. Możliwe, że Pytheas nie znał „Periplusa” ze Scylaksu, najstarszej znanej nam locji, ale możemy przypuszczać, że miał dostęp do innych, podobnych informacji. Jeśli zaś istniały w jego czasach locje to mogły również istnieć mapy, mimo że obecnie nie mamy na to żadnych dowodów.

Nawet jeśli Pytheas i jemu współcześni mieli locje i mapy to prawdopodobnie publikacje te nie były wyczerpujące i na pewno nie obejmowały obszarów na północ od Brytanii. Mimo

to ci dawni żeglarze umieli przy czystym niebie określać kierunki w dzień i w nocy, kiedy zaś niebo było zachmurzone korzystali w tym celu z wiatrów i zachowania morza. Znany im był gorący libijski wiatr wiejący od pustyni obecnie zwany *Sirocco* oraz północny wiatr zwany *Mistralem*.

Umieeli oni również oceniać odległości. Statki z pewnością wyposażone były w urządzenia umożliwiające pomiar czasu – starożytni znali klepsydrę – mogli też określać prędkość licząc ruchy wiosł w taki sam sposób jak się to czasem robi jeszcze dzisiaj podczas zawodów wioślarskich. Żeglarze spędzający całe życie na żegludze po Morzu Śródziemnym wiedzieli jakie prędkości mogły osiągać ich statki, nawet jeśli dziś nie wiemy co mieli na myśli mówiąc o „odległości jednego dnia żeglugi” – 35, 50 czy 100 mil.

105. Nawigacja w XVI wieku Podczas wczesnych wieków ery chrześcijańskiej w sztuce nawigacji dokonywał się stały, powolny postęp, który uległ jednak zahamowaniu w okresie średniowiecza by wybuchnąć na nowo kiedy Europa weszła w złoty wiek odkryć geograficznych. Podróż dookoła Ziemi odbyta przez ekspedycję zorganizowaną przez Ferdynanda Magellana, okrytego niełaską portugalskiego szlachcica pływającego pod flagą Hiszpanii była podróżą która ilustruje postęp dokonany w ciągu 1800 lat od czasów Pytheasa.

Magellan mógł znaleźć uzasadnienie dla swej wiary w istnienie na wysokich szerokościach południowych przejścia na Ocean Spokojny w globusie skonstruowanym w 1515 roku przez Johanna Schonera z Norymbergi lub w mapie świata, którą w tym samym roku narysował Leonardo da Vinci. Dalsze informacje na swoją podróż otrzymał on od Ruya Faleiro, kartografa i astronoma, którego mapy, locje, tablice nawigacyjne oraz instrukcje posługiwania się astrolabem i laską Jakuba były uważane za najlepsze z wówczas dostępnych. Faleiro był również zwolennikiem złudnej metody określania długości geograficznej na podstawie deklinacji.

Kiedy Magellan wypływał w roku 1519 na jego wyposażenie składały się mapy morskie, pergaminy do wykonywania map, globus Ziemi, drewniane i metalowe teodolity, drewniane oraz wykonane z drewna i brązu kwadrant, kompasy, igły magnetyczne, klepsydry i „time-pieces” oraz log który był ciągnięty za rufą.

Tak więc szesnastowieczny nawigator miał do dyspozycji niedokładne mapy znanej części świata, kompas według którego mógł sterować, przyrządy dzięki którym mógł określić swoją szerokość geograficzną, log do określania prędkości, pewne locje oraz tablice słoneczne i tablice trójkąta drogowego. Wielką przeszkodą do pokonania pozostawała metoda określania długości geograficznej.

106. Nawigacja w XVIII wieku Mało dziś wiemy o czasomierzach które miał ze sobą Magellan, ale na pewno nie służyły one do określania długości geograficznej. Jednak w dwieście lat później wynaleziono chronometr. Dzięki niemu po raz pierwszy nawigator mógł dokładnie określać swoją długość geograficzną i wyznaczać swoją pozycję na morzu.

Początek współczesnej nawigacji wyznaczają trzy wyprawy odkrywcze wykonane przez Jamesa Cooka z Marynarki Królewskiej na Oceanie Spokojnym w latach 1768 do 1779. Wyprawa Cooka miała pełne poparcie angielskich towarzystw naukowych, poza tym był on pierwszym kapitanem, który podjął się rozszerzonych badań morza z użyciem przyrządów nawigacyjnych, technik i wiedzy które mogą być uważane za nowoczesne.

W pierwszą podróż Cook wyruszył wyposażony w zegar astronomiczny, zegar podróży i zegarek wypożyczony przez Królewskiego Astronoma. Z pomocą tych przyrządów mógł

określać swoją długość geograficzną, używając długiej i skomplikowanej metody odległości księżycowej. W swoją drugą podróż zabrał cztery chronometry. Łącznie z posiadanymi wcześniej przez marynarza urządzeniami pozwoliły one Cookowi nawigować z dokładnością, o jakiej nawet nie śnił Pytheas i Magellan.

W czasie, kiedy Cook zaczął swoje odkrycia astronomowie poczynili wielki wkład w postęp nawigacji, a zaakceptowanie teorii heliocentrycznej doprowadziło do wydania pierwszego oficjalnego rocznika astronomicznego. Stały postęp następował również w kartografii, zwłaszcza, że wynaleziono odpowiednie metody rzutowania. Coraz lepiej rozumiano deklinację magnetyczną, w wyniku czego kompas stawał się bardziej wiarygodny. Istniały dobre szkoły nawigacji, wydawano podręczniki ograniczające matematykę w nawigacji do minimum. Używając ówczesnych logów możliwe było określanie prędkości po wodzie z rozsądną dokładnością i, co najważniejsze, produkowano pierwsze chronometry.

107. Nawigacja w XX wieku Dziewiczy rejs SS „United States” w lipcu 1952 może posłużyć za ilustrację przedstawiającą postęp, jaki nastąpił w nawigacji podczas 175 lat od podróży Cooka. Statek, który w rekordowym czasie przepłynął Atlantyk jest interesujący pod względem nawigacyjnym. Był on wyposażony w najnowocześniejsze dostępne oprzyrządowanie i może służyć jako przykład na to, że nawigacja stała się prawie nauką.

Każdy z oficerów pokładowych posiadał sekstant, którym mógł robić obserwacje dokładniej niż Cook. Czas każdej obserwacji można było określić przy użyciu wiarygodnych chronometrów, będących produktem setek lat doświadczeń. Żyrokompas pokazywał północ rzeczywistą niezależnie od deklinacji i dewiacji. Z pomocą wygodnych roczników astronomicznych możliwe było określanie współrzędnych różnych ciał niebieskich z dokładnością większą nawet niż było to konieczne. Łatwe w użyciu tablice nawigacyjne pozwalały nawigatorowi określić astronomiczną linię pozycyjną metodą Marcq St.-Hilaire. Dostępne były dokładne mapy wód po których żeglowano, locje dla odwiedzanych portów i wybrzeży, spisy światła podające charakterystyki oznakowania nawigacyjnego rozmieszczonych wzdłuż tych wybrzeży, mapy pilotowe i książki o nawigacji.

Na wiele sposobów służyła nawigatorowi elektronika. Radiowe sygnały czasu i raporty pogodowe pozwalały mu regulować chronometr i unikać niebezpiecznej pogody. Przy pomocy radionamierników można było określać namiary, przy użyciu radiotelefonu porozumiewać się z osobami na morzu i lądzie. Obsługiwana elektrycznie echosonda wskazywała głębokość wody pod stępką, radar wskazywał odległości i namiary do obiektów w pobliżu nawet w najgęstszej mgłę. Korzystając z systemu Loran nawigator mógł określić pozycję będąc tysiące mil od stacji nadawczych.

Nawigacja pilotowa i zliczenie nawigacyjne

108. Tło Historia nawigacji pilotowej i nawigacji zliczeniowej rozciąga się od najwcześniejszego posługiwania się lądowymi obiektami nawigacyjnymi do ostatnich modeli żyrokompasu. W ciągu kilku tysięcy lat nawigacja z zastosowaniem tych metod rozwinęła się od krótkich przejść wzdłuż znanych wybrzeży do podróży transoceanicznych podczas których obserwacje astronomiczne nie są albo nie mogą być wykonywane.

109. Mapy Pewne formy locji spisywano już kilka tysięcy lat przed Chrystusem. Chociaż nie posiadamy informacji o aż tak starych mapach to jednak mogły one istnieć. Już od najdawniejszych czasów człowiek był świadomy, że prostrze jest przedstawienie drogi za pomocą szkicu, niż używając ustnego tłumaczenia, a ponieważ pierwsze znane nam mapy są dokładne i obejmują duże obszary wydaje się logiczne, że tworzący je kartografowie musieli korzystać z wcześniejszych planów.

Z pewnością pierwsze mapy nie były wykonywane w żadnej projekcji. Były to proste diagramy niewuwzględniające kształtu Ziemi. Takie płaskie rysunki były używane również przez wiele wieków po wynalezieniu projekcji.

Za wynalazcę *projekcji gnomonicznej* uważa się Talesa z Miletu (640 – 546 p.n.e.), nawigatora i kartografa, twórcę greckiej geometrii, astronomii i filozofii.

Rozmiar Ziemi został odkryty w III w. p.n.e. przez Erastotenesa. Zauważył on, że w południe, w dniu przesilenia słonecznego, studnia w Syene (Assuanie) na zwrotniku Raka była oświetlona dokładnie pionowo z góry, podczas gdy w odległej o około 500 mil na północ Aleksandrii słońce rzucało wtedy cień (co świadczy o tym, że Słońce nie było tam w zenicie). Erastotenes tłumaczył to zjawisko krzywizną Ziemi. Przez podwójny pomiar kąta godzinowego Grek określił obwód Ziemi na 252 000 stadiów.

Erastotenes jest uważany za pierwszą osobę, która zmierzyła szerokość geograficzną wyrażając ją w stopniach. Skonstruował tablicę i różę (składającą się z 16 kierunków) wiatrów, rozpoznał miejscowe i przeważające prądy powietrzne. Na podstawie swoich własnych odkryć oraz zapisków żeglarzy, odkrywców, podróżników, historyków i filozofów spisał on wspaniały opis znanego świata, nadając tym samym geografii status nauki.

W II w. p.n.Ch. Hiparrach stworzył projekcję stereograficzną i ortograficzną.

Mapa świata Ptolemeusza – Egipcjanin Klaudiusz Ptolemeusz żył w II w. n.e. Był pisarzem, geografem i matematykiem. Nie miał on także równych sobie w astronomii, aż do nadejścia w XVI w. Mikołaja Kopernika. Wybitny, jak na swoje czasy, Ptolemeusz skonstruował liczne mapy i spisał otrzymane w wyniku obserwacji astronomicznych współrzędne geograficzne przedstawionych miejsc. Jednak jako geograf popełnił on jedną ze swoich najpoważniejszych pomyłek. Pomimo, że dysponował on wyliczonymi przez Erastotenesa rozmiarami Ziemi przyjął on wyliczenia stoickiego filozofa Posidoniusa (ok. 130 – 51 p.n.e.) z których wynikało, że obwód Ziemi wynosi 180 000 stadiów. W rezultacie ci, którzy akceptowali jego prace – a przez wieki niewielu odważało się krytykować jego autorytet – musieli mieć do czynienia z założeniem, że Ziemia jest daleko mniejsza niż w rzeczywistości. W roku 1409 odkryto i przetłumaczono na łacinę grecki oryginał „*Cosmographii*”, w której to książce Ptolemeusz wypowiedział się na temat rozmiarów Ziemi. Dzieło to służyło za podstawę przyszłej pracy kartografów i w taki to właśnie sposób Kolumb umarł w przekonaniu, że odkrył krótszą trasę do Indii. Aż do roku 1669, kiedy to Jean Picard wyliczył, że obwód Ziemi wynosi 24 500 mil nie używano dokładniejszych danych.

Jednak mimo to, mapa świata stworzona przez Ptolemeusza (rys. 1) była wielkim osiągnięciem. Została ona wykonana w projekcji stożkowej, naniesionych było około osiem tysięcy miejsc o znanej szerokości i długości geograficznej. Właśnie Ptolemeusz był tym, który wprowadził zwyczaj, aby kreślić mapy północą ku górze.

Mapy azjatyckie – Spory postęp dokonał się również w okresie średniowiecza. Kartografowie arabscy, podobnie jak arabscy astronomowie czerpali inspirację z dzieł Ptolemeusza. Wiedzieli jednak, że ten geograf określając długość Morza Śródziemnego pomylił się o około

dwadzieścia stopni. Perscy i arabscy nawigatorzy kreślili mapy Oceanu Indyjskiego, z naniesionymi poziomymi liniami przedstawiającymi równoleżniki i pionowymi kreskami oznaczającymi kierunek wiatru. Południk zerowy oddzielał część nawietrzną od zawietrzną a następne południki były narysowane w odstępach równych „trzem godzinom żeglugi”. Ta informacja, choć daleko było jej do dokładności stanowiła jednak znaczną pomoc dla kapitanów żaglowców.

Mapy portolanowe – W czasie rywalizacji o handel na Morzu Śródziemnym, Marynarze z Wenecji, Livorno i Genui potrzebowali map, przed, w trakcie i po krucjatach. Był czas, kiedy Wenecja dysponowała 300 statkami, marynarką składającą się z 45 galer, a przemysł morski zatrudniał 11 000 osób. Prawdopodobnie ostra rywalizacja sprawiała, że kapitanowie dobrze strzegli swoich map i dlatego też najstarsze znane nam średniowieczne mapy Morza Śródziemnego zostały narysowane przez marynarzy z Katalonii (obecnie część Hiszpanii).

Mapy portolanowe były konstruowane na podstawie wiedzy zebranej przez marynarzy podczas ich podróży po Morzu Śródziemnym. Kursy i zliczone odległości między punktami na lądzie służyły jako szkielet mapy, a kształty brzegów były rysowane na podstawie pomiarów geodezyjnych. Kiedy w użycie wszedł kompas mapy stały się dużo dokładniejsze. Na przykład, niektóre przyjmowały, że odległość między Gibraltarem a Bejrutem wynosi 3000 mil portolanowych, czyli 40.5 stopnia długości, podczas kiedy prawdziwa różnica długości wynosi 40.8 stopni.

Mapy portolanowe można poznać po charakterystycznych grupach loksodrom przecinających się we wspólnym punkcie, otoczonych ośmioma albo szesnastoma podobnymi zbiorami linii. Te późniejsze posiadały „rose dei venti” (różę wiatrów), powiększoną w centrum. Posiadały one także skalę odległości, umieszczoną obok wszystkich znanych niebezpieczeństw nawigacyjnych, na mapie naniesiono też zapiski dla pilota. Mimo, że na mapach tych nie zaznaczono południków ani równoleżników, obecne mapy wywodzą się bezpośrednio od nich.

Padrón Real – Rosnące zapotrzebowanie na informacje geograficzne przyjęło konkretną postać w formie „Padron Real”. Była to mapa stworzona po roku 1508 przez „Casa de Contratación” w Sewilli. Zawierała ona całą ówczesną wiedzę o świecie, powstała ona na podstawie faktów przywożonych przez żeglujących do nowo odkrytych lądów. Na jej podstawie kreślono mapy używane przez odkrywców.

Średniowieczne mapy świata – W roku 1515 Leonardo da Vinci narysował swoją słynną mapę świata. Ameryka jest na niej rozciągnięta wzdłuż równoleżników. Pomiędzy nią a Ameryką Południową znajduje się łańcuch wysp, z których największa nosi nazwę Floryda. Szeroki ocean oddziela Amerykę Południową od „Terra Australis Nondum Cognita”, mitycznego kontynentu leżącego na morzach południowych, którego brak w tym miejscu nie został udowodniony jeszcze przez 250 lat.

W roku 1570 w Antwerpii opublikowano „Theatrum Orbis Terra”, atlas wykonany przez Orteliusa. Jeden z najwspanialszych atlasów, jaki stworzono przedstawia Europę, Afrykę i Azję z porównywalną dokładnością. Ameryka Północna i Południowa jest opisana dość ogólnie, ale zaznaczono cieśninę Magellana. Wszystkie lądy znajdujące się na południe od niej, z Australią włącznie, są zaznaczone jako część „Terra Australis Nondum Cognita”.

Projekcja Merkatora – Przez setki, a może nawet tysiące lat mapy rysowano jako zwykłe, „płaskie” projekcje, nie korzystając z odkryć Ptolemeusza i Hipparcha. W miarę jak rósł obszar znanego świata kartografowie zaczęli rozumieć, że aby odwzorować powierzchnię kuli na płaszczyźnie trzeba zastosować specjalną metodę.

Gerardus Mercator (jest to zlatynizowana forma nazwiska Gerhard Kremer), genialny flamandzki geograf zrozumiał potrzebę stworzenia lepszej projekcji służącej do rysowania map. W roku 1569 opublikował mapę świata skonstruowaną według zasady, którą odtąd nazywano, od jego nazwiska, metodą Merkatora. Teoria stworzona przez niego była prawidłowa, ale jej twórca w swoich obliczeniach popełnił kilka błędów. Ponieważ nigdy nie opublikował pełnego opisu zastosowanej metody obliczeń, żeglarze nie byli przekonani o jej zaletach jeszcze przez trzydzieści następných lat.

Następnie Edward Wright, matematyk z kolegium caius, opublikował wyniki swoich niezależnych badań, w których dokładnie wyjaśnił projekcję Merkatora. Umieścił tam także tabelę powiększonej szerokości, dzięki której każdy kartograf mógł stosować tę metodę. Wright rozwinął metodę i tabelę, po czym dał do przetestowania nawigatorom. Udana próba dowiodła jej użyteczności, a Wright zdecydował się opublikować ją w roku 1599 pod tytułem „Pewne błędy w nawigacji wykryte i poprawione”.

Projekcja Lamberta – Johann Heinrich Lambert (1728 – 1777) był samoukiem, synem alzackiego krawca. Stworzył wiele projekcji. Niektóre z nich są używane po dziś dzień, najbardziej znaną jest dostosowana projekcja Lamberta.

110. Locje Od najdawniejszych czasów istniało pragnienie wiadomości o tym, co jest przed nami i ta potrzeba dała początek rozwojowi locji.

„Periplus” ze Scylaksu, spisany między szóstym a czwartym wiekiem p.n.e. jest najwcześniejszą znaną publikacją tego typu. Zaskakująco podobny do współczesnych locji dostarczał marynarzowi informacji na temat odległości między portami, pomocy i niebezpieczeństw nawigacyjnych, urządzeń portowych i innych zagadnień. Następujący fragment daje nam pełny obraz tego, czym był „Periplus”:

„Libia rozciąga się od kanopijskiego ujścia Nilu. (...) Pierwszymi ludźmi tego kraju są Adrymachidzi. Odległość między Thonis, a pustynną wysepką Pharos (dobra przystań, ale nie ma pitnej wody) wyosi 150 stadiów. Wprawdzie w Pharos jest wiele przystani, ale statki czerpią wodę w Morzu Maryjskim, ponieważ nadaje się ona do picia. (...) Ujście zatoki Plinthine do Leuce Acte (Białej Plaży) jest odległe o dobę żeglugi, lecz droga dookoła przylądka na zatoce Plinthine jest dwa razy dłuższa.

Inną wczesną locją jest napisana przez Pyteasa książka p.t. „Okolice świata”, zawierająca obserwacje poczynione podczas podróży odbytej w IV w. p.n.e. Jego przybliżona ocena odległości i opisy linii brzegowej zostałyby dziś uznane za niedokładne, ale w tamtych czasach stanowiły one bezcenną pomoc dla marynarzy żeglujących po wodach znanych jedynie dzięki tej książce.

Locje w czasach Renesansu – W średniowieczu nie nastąpił znaczący postęp w dziedzinie locji, jedynie w roku 1490 wydano „Portolano Rizo”, pierwsze z ulepszonej serii. Inne wczesne książki tego typu, o nazwie „routiers”, pojawiły się we Francji. Angielscy żeglarze nazywali je „rutters”. W roku 1577 włoski pilot Battista Testa Rossa wydał „Brieve Compendio del Arte del Navigar”, które miało służyć marynarzowi podczas żeglugi w cieśninach i na otwartym morzu. Publikacja ta była zapowiedzią pojedynczej, książki o pełnej zawartości, mającej się wkrótce pojawić – Wagonnera.

Około roku 1584 holenderski pilot Lucas Janszoon Waghenaer opublikował książkę zawierającą wskazówki nawigacyjne, tabele, mapy i locje, która służyła za wzór tego typu publikacjom przez następne 200 lat. W „Spiegel der Zeewaerdt” („Marynarskie zwiercia-

dło”) Waghenaer zebrał wskazówki i mapy dotyczące żeglugi po morzach południowej Europy. Wydana później druga część dotyczyła Morza Północnego i Bałtyku.

Książki te, zwane „Waggonerami” osiągnęły sukces i w roku 1588 Anthony Ashley przetłumaczył je na angielski. W ciągu następnych trzydziestu lat ukazały się 24 wydania książki przetłumaczonej na holenderski, niemiecki, łacinę i angielski. Inni autorzy poszli za przykładem Waghenaera i wkrótce amerykańscy, brytyjscy i francuscy nawigatorzy mieli „Waggonery” dla wszystkich wód, po których pływali.

Sukces tych książek i współzawodnictwo między ich autorami doprowadziło do ich nieużyteczności. Każdy pisarz starał się, by jego dzieło zawierało więcej treści niż książki innych autorów (przykładowo „Atlantic Neptune” z 1780 roku miał 257 map samej tylko Ameryki Północnej). W rezultacie powstawały okropne, trudne w używaniu książki. Były one zbyt obszerne, locje zbyt dokładne, a mapy zbyt duże. W roku 1795 założono Brytyjski Departament Hydrografii i zaczęto wydawać locje i mapy jako oddzielne publikacje. Locje, wydawane dla poszczególnych akwenów, powróciły w formie podobnej do „Periplusa”.

Współczesne locje – Wydawanie nowoczesnych locji przez Centrum Hydrograficzne Agencji Map Ministerstwa Obrony jest jednym z osiągnięć słusznie przypisywanych Matthew Fontaine Maury. Podczas dwudziestu lat kierowania Wydziałem Map i Instrumentów (instytucja ta do 1854 nazywała się Obserwatorium Morskim i Biurem Hydrograficznym Stanów Zjednoczonych) Maury zebrał dane, które doprowadziły do wydania ośmiu tomów locji.

111. Kompas Już u zarania nawigacji człowiek zauważył, że gwiazda polarna (mogła być nią wtedy alfa Draconis) zachowuje stałą pozycję na północnym niebie. Posłużyła ona jako kompas. Kiedy nie była ona widoczna człowiek korzystał z innych obiektów: słońca, księżyca, wiatrów, chmur i fal. Wynalezienie kompasu magnetycznego, prawdopodobnie około tysiąca lat temu, i rozwój żyrokompasu w XX wieku zapewnia współczesnemu nawigatorowi metody sterowania kursem tak dokładne jak tylko jest to potrzebne.

Kompas magnetyczny jest jednym z najstarszych przyrządów nawigacyjnych. Jego pochodzenie jest nieznane. Źródła podają, że kiedy w roku 203 p.n.e., Hannibal wypływał z Italii jego pilotem był pelorus. Prawdopodobnie używano wówczas kompasu – nikt nie może z pewnością zaprzeczyć temu stwierdzeniu. Mało dokumentów wskazuje że teza o wynalezieniu kompasu przez Chińczyków, a później w XIII wieku przywiezieniu go przez Marko Polo do Włoch jest fałszywa. Czasem mówi się, że został on sprowadzony do Europy przez Arabów, lecz również to jest wątpliwe. Najprawdopodobniej był znany najpierw na zachodzie. Znali go Wikingowie w XI wieku, a około roku 1200 francuski poeta, Guyot de Provins opisał kompas, którego używano przez żeglarzy podczas, gdy nie widać Gwiazdy Polarnej.

Najstarszym kompasem była igła włożona w słomkę i pływająca w naczyniu z wodą. W roku 1248 pisarz Hugo de Bercy przedstawił nowy typ kompasu, w którym igła spoczywała na dwu pływakach. W roku 1269 Petrus Peregrinus de Maricourt w „Epistola de Magnete” opisał taki kompas podając, że był on wyposażony w celownik do brania namiaru.

Wiarygodność współczesnego kompasu jest stosunkowo nowym wynalazkiem. Stała się ona możliwa w roku 1870, kiedy Sir Wiliam Thomson (Lord Kelvin) połączył wszystkie cechy wymagane od dobrego suchego kompasu i zamontował go na dobrze zaprojektowanej podstawie. Suchy kompas był podstawowym wyposażeniem brytyjskiej Marynarki Królewskiej do roku 1906, kiedy Rada Admiralicji uznała za standard kompas z płynem.

Zgodnie z tradycją róża kompasowa pochodzi z początków XIV wieku, kiedy to Flavio

Gioja z Amalfi umieścił igłę magnetyczną na różę. Ale jest ona prawdopodobnie starsza od igły i wywodzi się ze starożytnej różę wiatrów. Człowiek prymitywny nazywał kierunki od prądów powietrznych. Prorok Jeremiasz wspomina o wiatrach wiejących z czterech części nieba (Jer. 49,36) a Homer podaje nazwy czterech wiatrów – są to Boreasz, Euros, Notus i Zefir. Arystoteles zaproponował podział koła na dwanaście wiatrów, a około roku 200 p.n.e., Eratostenes, który prawidłowo zmierzył Ziemię, zmniejszył ich ilość do ośmiu. Zbudowana, około roku 100 p.n.e., ateńska „wieża wiatrów” również ma osiem ścian. W wielu średniowiecznych kompasach stosowano rzymską różę wiatrów posiadającą dwanaście kierunków.

Deklinację magnetyczną dobrze zrozumiano 200 lat temu i od tej pory nawigatorzy ją uwzględniają. Nie wiemy jednak kiedy została zaobserwowana po raz pierwszy. Odkrycie to przypisuje się Kolumbowi i XI-wiecznym Chińczykom, ale mało jest dowodów potwierdzających którąś z tych hipotez.

Długoterminowa zmiana deklinacji została określona dzięki serii obserwacji magnetycznych wykonanych w Limehouse w Anglii. W roku 1580 Wiliam Borough określił ją na tym obszarze na około $11^{\circ}25'$ E. W trzydzieści dwa lata później Edmund Gunter, profesor astronomii w Gresham College określił ją na $6^{\circ}13'$ E. Początkowo sądzono, że Borough popełnił błąd, ale w 1633 roku zaobserwowano kolejną zmianę i ustalono, że jej przyczyną jest zmieniające się pole magnetyczne Ziemi.

Pod koniec XVII wieku wyprawa pod dowództwem Edmunda Halleya dotarła na Południowy Atlantyk w celu zebrania map i, po raz pierwszy, stworzenia map przedstawiających linie deklinacji magnetycznej. W roku 1724 George Graham opublikował swoje obserwacje dowodzące dobowych zmian deklinacji. Canton wykazał, że zmiany są znacznie mniejsze zimą niż latem, zaś około roku 1785 Paul de Lamanon udowodnił, że siła magnetyczna jest różna w różnych miejscach.

O istnieniu *dewiacji* wiedział, już w roku 1627, John Smith, który opisał olę jako „kwadratową skrzynkę, zbitą drewnianymi kołkami, ponieważ żelazo przyciągałoby kompas”. Nikt jednak nie wiedział, jak korygować wpływ dewiacji na kompas. Przełom nastąpił dopiero w czasach kapitana Matthew Flindersa, który podczas podróży do Australii na HMS „Investigator” w latach 1801 – 1802 odkrył odpowiednią metodę. Flinders nie całkiem rozumiał zjawisko dewiacji, ale znacznym odkryciem był pionowy pręt (dziś zwany prętem Flindersa) umieszczony, aby skorygować jej efekt. W latach 1839 – 1855 Sir George Airy, późniejszy Królewski Astronom, badał dalej to zagadnienie i stworzył kombinację magnesów stałych i mas z miękkiego żelaza które regulowały kompas. Wprowadzenie przez lorda Kelvina krótkich igieł uczyniło to jeszcze dokładniejszym.

Żyroskop – W dobie stalowych statków pojawiło się zapotrzebowanie na kompasy pokazujące kierunek przez cały czas, niezależnie od zakłóceń powodowanych przez dewiację i deklinację. W roku 1851 w Panteonie w Paryżu Leon Foucault wykonał swoje słynne doświadczenie z wahadłem, demonstrując w ten sposób ruch obrotowy Ziemi. Spostrzeżenie Foucaulta, że wahadło zachowuje płaszczyznę wahań, doprowadziło go w następnym roku do stworzenia i nazwania pierwszego żyroskopu, którego zasada działania pochodziła od popularnej zabawki – bąka. Ponieważ Foucault nie dysponował mechanizmem, który mógłby utrzymywać żyroskop w jego ruchu obrotowym, używał on mikroskopu aby zaobserwować wpływ ruchu obrotowego Ziemi w krótkim okresie czasu, kiedy ręcznie utrzymywał żyroskop w ruchu wirowym. Żyroskop nie mógł być używany w praktyce jeszcze przez 50 lat, aż do odkrycia elektryczności, która umożliwiła utrzymywanie wirowania żyroskopu.

Żyrokompas został wynaleziony w pierwszej dekadzie XX wieku niezależnie przez Amerykanina Elmera A. Sperry'ego i Niemca Anschutza-Kampfego. Wypróbowany po raz pierwszy w roku 1911 na frachtowcu operującym przy wschodnim wybrzeżu Stanów Zjednoczonych, a następnie na amerykańskich okrętach wojennych, Kompas Sperry'ego okazał się wystarczający i po I wojnie światowej żyrokompasy stały się standardowym wyposażeniem wszystkich dużych statków i okrętów.

Później dodano, obecnie używane powszechnie, dodatki do żyrokompasu, takie jak repetytory, wskazujące kurs w różnych miejscach na statku; żyropiloty, które automatycznie sterują statkiem; kursografy dostarczające graficznego zapisu kursu, którym płynie; kompasy żyromagnetyczne powtarzające wskazania kompasów magnetycznych umieszczonych tak, żeby dewiacja miała na nie jak najmniejszy wpływ.

112. Log Niemal od początku nawigacji marynarz próbował określić swoją prędkość podczas żeglugi. Prawdopodobnie pierwszą metodą stosowaną w tym celu było szacowanie.

Najstarszym urządzeniem służącym do mierzenia prędkości jest *log holenderski*. Z dziobu statku wyrzucano za burtę po stronie zawietrznej dowolny pływający przedmiot i notowano czas, w jakim minął dwa punkty na pokładzie. Zmierzony klepsydrą piaskową czas był porównywany ze znaną odległością między tymi punktami i w ten sposób wyznaczano prędkość.

Pod koniec XVI wieku stosowano następującą metodę: do logu przywiązywano linę. Podczas jej wydawania marynarz recytował określone zdania. Długość liny wydanej podczas recytowania pozwalała określić prędkość. Metody tej używano jeszcze w XVII wieku. W swojej ostatecznej postaci log ręczny składał się z pływaka, liny, szpuli i klepsydry. Pływak był to kawałek drewna o kształcie ćwierćkoła, który był wyważony w taki sposób, że w wodzie unosił się w pozycji pionowej. Do niego była przymocowana lina w taki sposób, że mocne szprnięcie wyhaczało drewniany kołek i pozwalało pływakowi unosić się po wodzie w pozycji poziomej, w ten sposób, że mógł on być wciągnięty z powrotem na statek. Aby określić prędkość statku obserwator liczył węzły na linie wydanej w określonym czasie. Długość odcinka między węzłami i czas pomiaru zmieniały się w miarę zmieniania się uznawanej długości mili.

Później ten typ logu został zastąpiony logami patentowymi, które wskazywały wynik na tarczy. Zostawił on jednak swój ślad we współczesnej nawigacji, gdzie nadal prędkość jednej mili na godzinę nazywa się prędkością jednego węzła. Istnieje również dowód, że „dead reckoning”, angielskie określenie oznaczające żeglugę na zliczenie, również związane jest z określeniem prędkości przez obserwację przedmiotu wyrzuconego za burtę i nie poruszającego się względem wody, wobec czego nazywanego „martwym” („dead”).

Logi mechaniczne pojawiły się po raz pierwszy w połowie XVII wieku. Do początku XIX wieku niektórzy nawigatorzy używali ich wczesnych form, ale wiele lat minęło zanim zostały one powszechnie zaakceptowane.

W roku 1773 na brytyjskich okrętach wojennych wypróbowano log, który pokazywał przebytą odległość na wskaźniku przymocowanym do relingu rufowego. Wskazania tego logu okazały się dokładne, choć dość delikatna budowa sugerowała, że może on łatwo ulegać zepsuciu. Inny istniejący wówczas typ logu składał się z koła umocowanego pod stępką, którego obroty pokazywał wskaźnik umieszczony wewnątrz statku.

Udoskonalony log został wynaleziony przez Edwarda Maseya w roku 1802. Zapewniał on większą dokładność dzięki czulszej śrubie przymocowanej do krótkiej linki, która z kolei przekazywała jej ruch do mechanizmu. Trudność używania tego logu wynikała z faktu, że

chcąc zmierzyć prędkość trzeba było każdorazowo wyrzucić go za burtę. Później dokonywano różnych udoskonaleń (w roku 1846 przez Aleksandra Baina i w roku 1861 przez Thomasa Walkera), ale dopiero w roku 1878 wynaleziono log, w którym śruba mogła być używana w połączeniu ze wskaźnikiem umocowanym na rufie statku. Choć w następnych latach dokonywano ulepszeń i udoskonaleń to jednak log używany obecnie jest zasadniczo identyczny z tym wynalezionym w roku 1878.

Liczniki obrotów silnika wywodzą się z obserwacji kapitanów pierwszych parowców, którzy zauważyli, że licząc obroty koła łopatkowego mogą, na podstawie doświadczenia, określić swoją prędkość tak dokładnie, jak na podstawie wskazań logu. Późniejsze udoskonolenia doprowadziły do powstania nowoczesnych obrotomierzy na statkach o napędzie śrubowym. Mogą one być użyte z wystarczającą dokładnością, jeżeli tylko śruba jest zanurzona i przyjmuje się prawidłową wartość poślizgu.

Log Pitot i log denny są urządzeniami mechanicznymi służącymi do pomiaru prędkości. Oba zawierają wciągany czujnik prętowy wystający z kadłuba statku i zanurzony w wodzie. W logu Pitot ciśnienie statyczne i dynamiczne jest przenoszone przez czujnik prętowy do głównego wskaźnika prędkości. W logu wirnikowym użyty jest elektryczny sposób przesłania wskazań prędkości.

113. Jednostki odległości i głębokości Współczesna nawigacja posługuje się głównie czterema jednostkami służącymi do pomiaru wielkości liniowych. Jednostki te to: mila morska, sążeń, stopa i metr. Natomiast człowiek prymitywny używał takich naturalnych jednostek, jak grubość palca, rozstaw rąk, długość stopy, odległość od łokcia do czubka środkowego palca czy krok – jednostka równa jednemu lub częściej dwu krokom.

Choć *mila rzymska* miała długość 1488 metrów czyli 0,9248 mili statutowej mającej długość 5280 stóp, to w tym samym czasie w miastach starożytnej Grecji istniało kilka różnych standardów. Grecka stadia miała zmienną długość i stąd właśnie bierze się niepewność co do dokładności pomiaru rozmiarów Ziemi przez Erastotenesa.

Mila morska ma mały związek z lądowymi jednostkami, nie związanymi z rozmiarami Ziemi. Z pojawieniem się map morskich zaczęto umieszczać na nich skale mil, a akceptowana wartość tej jednostki zmieniała się wraz ze poglądami na wielkość Ziemi. Zmieniały się one w bardzo szerokim zakresie, od około 44,5 do 87,5 współczesnej mili morskiej na stopień szerokości, choć zwykle były za małe. Kolumb i Magellan używali wartości 45,3. W rzeczywistości Ziemia jest o około 32 procent większa. Chociaż „Almagest” Ptolemeusza przyjmował, że na jeden stopień szerokości przypadają 62 mile rzymskie, to wydanie tej książki z roku 1466 zawierało mapę południowej Azji, narysowaną przez Nicolausa Germanusa, na której stopień ma długość 60 mil. Jest to najwcześniejsze użycie tego stosunku choć nie jest jasne, czy pełnił on rolę poprawki czy był po prostu adaptacją wynikłą z chęci otrzymania prostszej zależności między stopniem a milą.

Później, gdy zmierzono długość Ziemi zauważono, że proporcja ta była błędna. Oba rozwiązania tego problemu – zmiana stosunku mil do stopni i zmiana długości mili – miały swoich zwolenników, lecz żadna grupa nie była w stanie przekonać swoich przeciwników. W rezultacie krótsze mile pozostały w użyciu na lądzie jako mile lądowe lub statutowe (obecnie mające w Stanach Zjednoczonych 5280 stóp) podczas kiedy dłuższa mila morska stopniowo weszła do użycia na morzu. Pierwsze określenie jej tą nazwą pochodzi z roku 1730.

Dokładniejsze przyrządy i nowe metody umożliwiły ciągłe dokonywanie coraz lepszych

pomiarów Ziemi. Stąd też niewskazane byłoby definiowanie jednostki długości na podstawie rozmiarów Ziemi. W roku 1875 zmieniono definicję metra, z jednej dziesięciomilionowej odległości od bieguna do równika Ziemi, na odległość między dwoma znacznikami (około 39,37 cali amerykańskich) na standardowej sztabie, wykonanej ze stopu platyny z irydem, przechowywanej w Pavillon de Breteuil w Sevres pod Paryżem przez Międzynarodową Komisję Miar i Wag. Zgodnie z tą zasadą Międzynarodowe Biuro Hydrograficzne w roku 1929 poleciło przyjęcie do użytku mili morskiej o standardowej długości 1852 metrów. Międzynarodowa Mila Morska o tej długości została przyjęta przez prawie wszystkie państwa morskie. Ministerstwo Handlu i Obrony Stanów Zjednoczonych przyjęło tę wartość w lipcu 1954 roku. Przy używanej wówczas długości jednego jarda Międzynarodowa Mila Morska miała długość około 6076,10333 stopy. Przyjmując, przyjętą przez Stany Zjednoczone 1 lipca 1959, długość jarda równą 0,9144 metra Międzynarodowa Mila Morska to około 6076,11549 stopy. W październiku 1960 XI Międzynarodowa Konferencja Miar i Wag zmieniła definicję metra, który od tej pory jest równy 1650763,73 długości fali pomarańczowego światła kryptonu 86 w próżni.

Metr jako jednostka długości i wysokości na amerykańskich mapach morskich stosowany jest od niedawna. Obecna polityka Centrum Hydrograficznego Agencji Map Ministerstwa Obrony, polecająca stosowanie na nowych mapach nautycznych i specjalnych jednostek systemu metrycznego, została wprowadzona 2 czerwca 1970.

Niejasne jest pochodzenie *sążnia* jako jednostki długości i głębokości. Człowiek prehistoryczny przyjmował za sążeń długość rozstawionych rąk, współczesny marynarz również ocenia długość liny w ten sposób. Jednostka ta była używana w dawnych czasach – świadczy o tym wzmianka w 27 rozdziale „Dziejów Apostolskich”, opisującym podróż apostoła Pawła do Rzymu. Posidonius w w drugim wieku p.n.e. mówi o głębokości, jako o większej niż 1000 sążni. Nie wiadomo jednak od jak dawna ta jednostka jest w użyciu.

114. Sondowanie Prawdopodobnie najniebezpieczniejszym elementem nawigacji jest żegluga na płytkiej wodzie. Od kiedy człowiek rozpoczął morskie wędrówki musiał liczyć się z niebezpieczeństwem wejścia na mieliznę. Częste sondowanie było najlepszym zabezpieczeniem. Niewątpliwie, używana na długo przed naszą erą, sonda linowa, jest najstarszym przyrządem nawigacyjnym.

Sonda ręczna, składająca się z ołowianego ciężarka przymocowanego do linki, zwykle z zaznaczonymi sążniami, jest znana od czasów starożytnych i, z wyjątkiem oznaczeń, jest prawdopodobnie niezmienna od ponad dwu tysięcy lat. *Sonda głębokowodna*, z cięższym ciężarkiem i dłuższą liną jest naturalnym rozwinięciem sondy ręcznej. W roku 1585 pewien nawigator mówi o głębokości 330 sążni, a w roku 1773 na morzu Norweskim kapitan Phipps musi powiązać ze sobą wszystkie posiadane na pokładzie sondy, żeby zmierzyć głębokość 683 sążni. Matthew Fontaine Maury wykonywał sondowania na otwartym morzu przymocowując kulę armatnią do zwoju mocnej liny. Obciążenie powodowało szybkie odwijanie się liny, a kiedy kula dosięgła dno, linę przecinano i mierzono długość pozostałego sznura.

Sonda mechaniczna – Największą niedogodnością w sondowaniu głębokowodnym jest konieczność zatrzymania statku w przypadku zapotrzebowania na dokładny wynik. Doprowadziło to do powstania sondy mechanicznej.

W początkach XIX wieku wynaleziono sondę mechaniczną. Była ona podobna do wczesnych logów patentowych. Tuż nad ciężarkiem umieszczone było kółko. Urządzenie wyrzucano w taki sposób, że cała potrzebna lina mogła swobodnie się odwinąć i ciężarek opadał bez-

pośrednio na dno. Ruch w wodzie powodował obracanie się kółka, a to z kolei powodowało wskazanie głębokości na tarczy. Na statku płynącym z prędkością około 12 węzłów do wybierania zza burty, po każdym wyrzuceniu urządzenia, ciężkiej liny z obciążnikiem ważącym pięćdziesiąt lub więcej funtów, potrzebnych było od dwudziestu do trzydziestu mężczyzn. Podobnym urządzeniem była sonda pławowa. Wyrzucano za burtę obciążnik przechodzący przez pławę z umieszczonym urządzeniem sprężynowym. Obciążnik opadał swobodnie dopóki nie dosięgł dna, a wtedy urządzenie sprężynowe blokowało linę tak, by nie odwijala się dalej. Następnie wyciągano na pokład całe urządzenie i mierzono długość liny między obciążnikiem a pławą.

Pomiar ciśnienia zastosowano do pomiaru głębokości po raz pierwszy w XIX wieku, kiedy to wynaleziono „samoczynną sondę”. Wewnątrz pustego szklanego walca, otwartego w swoim dolnym końcu, umieszczony był wskaźnik, który przesunął się w górę, ilekroć na skutek większego ciśnienia poziom wody w rurze podnosił się. Po wyciągnięciu urządzenia na pokład, wskaźnik pozostawał w najwyższym położeniu i w taki oto sposób można było odczytać głębokość.

W roku 1878 brytyjski naukowiec, sir Wiliam Thomson (lord Kelvin), po wykonaniu doświadczeń na morzu, udoskonalił sondę mechaniczną. Zanim dokonał swego odkrycia do sondowania używano liny z włókna. Użycie struny od pianina rozwiązało problem szybkiego opuszczenia ciężarka i podnoszenia go z powrotem. Zastosowana przez niego pokryta chemicznie rura szklana była ulepszeniem w stosunku do poprzednio stosowanych metod, a o wartości całego urządzenia świadczy fakt, że jest ono stosowane do dziś w niemal niezmięnionej postaci.

Echosonda – W celu pomiaru głębokości uniezależnionego od prędkości statku wynaleziono automatyczne urządzenia rejestrujące głębokość opierające swoje działanie na fakcie, że dźwięk porusza się w wodzie z niemal stałą prędkością. W roku 1911 opublikowano informację o eksperymencie wykonanym przez Aleksandra Behma z Kiel, który sprawdził tę teorię mierząc echo podwodnej eksplozji. Dźwięki o wysokiej częstotliwości zostały w wodzie wytworzone przez Pierre’a Langevina. W 1918 użył on tej zasady do zmierzenia głębokości. Pierwsza praktyczna echosonda została wykonana w roku 1922 przez marynarke Stanów Zjednoczonych.

Współczesna echosonda uwzględnia dokładny czas pomiędzy wysłaniem sygnału dźwiękowego lub ultradźwiękowego, a powrotem jego echa odbitego od dna, kąt pod jakim sygnał został wysłany (aby odebrać go w innym miejscu statku), oraz różnica fazy między sygnałem wysłanym a odbitym.

115. Pomoce nawigacyjne Kuszyci i Libijczycy budowali wzdłuż śródziemnomorskiego wybrzeża Egiptu wieże, na których płonął ogień, podtrzymywany przez kapłanów – tak wyglądały początki latarni morskich. Latarnię morską wybudowano już przed 660 r. p.n.e. w Sigeum w Troadzie (część Troi). Jednym z siedmiu cudów świata starożytnego była latarnia Faros w Aleksandrii, o wysokości ponad 200 stóp. Zbudował ją Sostratus z Cnidus w Azji Mniejszej w III w. p.n.e. podczas panowania Ptolemeusza Filadelfijskiego. Od tej pory w wielu językach słowo „faros” stało się wyrazem oznaczającym latarnię morską. Pomiedzy rokiem 1584 a 1611 u wejścia do rzeki Gironde w zachodniej Francji wzniesiono latarnię Cordouan. Do XVIII wieku budowla ta była oświetlana ogniem płonących kłód dębowych.

W XVII i XVIII wieku wzdłuż wybrzeży Wielkiej Brytanii i Europy wybudowano wie-

le latarni, w których płonęło drewno lub węgiel. Jedna z nich, zbudowana z pali dębowych, została wzniesiona przez Henry'ego Whiteside'a w roku 1776. Jej celem było ostrzeganie kapitanów przed Small's Rocks. Latarnia ta odegrała znaczącą rolę w historii nawigacji, ponieważ z jej światła korzystał 60 lat później kapitan Thomas Sumner odkrywając astronomiczną linię pozycyjną.

W Anglii takie budowle były utrzymywane prywatnie przez zainteresowane tym organizacje. Jedna z bardziej znanych, popularnie zwana „Trinity House” powstała w XVI wieku, kiedy na angielskie statki nałożono opłatę za korzystanie z pław i staw. Dało to bodziec do założenia Trinity House w celu „wykonywania, ustawiania i obsługi staw i znaków na morzu” i zapewniania statkom pilotów. Obecnie organizacja ta istnieje już pięćset lat, a jej głównym zadaniem jest służenie jako główny autorytet w sprawach latarni morskich, pilotażu oraz dostarczanie pilotów.

Pierwszym latarniowcem był mały statek z latarniami zawieszonymi na rejach. Został on postawiony w roku 1732 przy Nore u ujścia Tamizy.

Zawód pilota jest niewiele młodszy od zawodu marynarza. Już Biblia (3 Krl 9, 27) wspomina, że Hiram z Tyru dostarczał królowi Salomonowi pilotów. Ich obowiązki nie są wymienione. W I w. n.e. rybacy z zatoki Cambay w Indiach spotkali statki płynące z morza i wprowadzili je do portu. Jest prawdopodobne, że pilotaż został wprowadzony w Zatoce Delaware przed rokiem 1756.

Amerykańscy marynarze stawiali latarnie i pławy jeszcze przed wojną o niepodległość, a w roku 1789 Kongres uchwalił ustawę zgodnie z którą stało się to obowiązkiem rządu federalnego. Około roku 1767 postawiono pierwsze pławy na rzece Delaware. Były to zwykłe kłody lub beczki, lecz około roku 1820 zostały one zastąpione przez wiechy. W tym samym roku na Zatoce Chesapeake ustawiono pierwszy latarniowiec.

W miarę wzrostu morskich zainteresowań poszczególnych krajów dostępnych powstawały coraz lepsze pomoce nawigacyjne. W roku 1850 Kongres ustanowił obecny system malowania i numerowania pław. Zgodność co do kształtu wynikała z zaleceń Międzynarodowej Konferencji Morskiej w roku 1889. W drugiej połowie XIX wieku nastąpił rozwój pław wyposażonych w sygnały dźwiękowe (dzwon lub gwizdek) i świetlne. W roku 1910 ustawiono pierwszą w Stanach Zjednoczonych pławę świetlną z urządzeniem wykorzystującym sprężony acetylen. Została ona ustawiona przy wejściu do Ambrose Channel w Nowym Jorku i stanowiła podstawę wysokiego poziomu perfekcji, który od tej pory osiągano w pławach świetlnych. Kompletny system pław, utrzymywany obecnie przez U.S. Coast Guard, w głównej mierze został stworzony w XX wieku. W roku 1900 w USA istniało około 5000 pław wszystkich rodzajów, podczas kiedy obecnie jest ich ponad 20000.

116. Metody zliczania pozycji Różne metody matematycznego określania kursu, odległości i pozycji mają historię niemal tak starą jak sama matematyka. Tales, Hipparch, Napier, Wright i wielu innych przyczyniło się do stworzenia wzorów, które doprowadziły do powstania tablic umożliwiających obliczenie kursu i odległości przy żegludze zliczeniowej, metodą średniej szerokości, po loksodromie, ortodromie czy równoleżniku.

Żegluga po loksodromie – Ta metoda, opierająca się na założeniu płaskości Ziemi była stosowana przez nawigatorów na przestrzeni wielu wieków. Nawigator rozwiązywał problem przez wykreślenie kursu względem swojego południka i odłożenie przebytej odległości do nowej pozycji. System ten jest używany również współcześnie przy mierzeniu krótkich przejazdów na

mapie Merkatora kompensującej zbieżność południków, ale na mapach nieuwzględniających krzywizny Ziemi, przy stosowaniu tej metody, pojawiają się poważne błędy. Dawni nawigatorzy mogli również rozwiązać ten problem matematycznie, z nie większą dokładnością, jednak powszechnie używana była metoda graficzna.

Żegluga zliczeniowa – Ponieważ żaglowce podlegały wpływom wiatrów, dawni nawigatorzy rzadko przebywali dłuższy odcinek jednym kursem, w związku z czym zwykle trzeba było rozwiązać szereg kolejnych małych trójkątów. Aby pomóc marynarzom w obliczaniu ich pozycji zliczonej, wynaleziono specjalne urządzenie. Współczesny brudnopis dziennika okrętowego wyewoluował z tabliczki do zapisów nawigacyjnych, drewnianych deseczek połączonych zawiąsowo (podobnie jak kartki w książce), na których zapisywano kredą kursy i odległości. Codziennie na podstawie tych danych określano pozycję, którą następnie wpisywano w dziennik okrętowy.

Następcą tabliczki do zapisów nawigacyjnych był „travas”. Była to deseczka z nakreślonymi liniami rozchodzącymi się promieniście z jej środka w 32 kierunkach kompasowych. Na nich, w regularnych odstępach umieszczone były małe otworki, w które wciskano kołki, w ten sposób oznaczając czas, którym statek szedł określonym kursem. W roku 1627 John Smith opisał ten przyrząd jako „małą okrągłą deseczkę pełną otworów na liniach takich, jak w kompasie, na której przez usuwanie małych patyczków marynarze prowadzą rachunek, ile klepsydr (z których każda ma pół godziny) sterowali w każdym z kierunków”.

Urządzenia te bardzo ułatwiały nawigatorowi otrzymanie informacji o kursach, którymi płynął, i przebytych odległościach, ale nadal pozostawiały mu konieczność wykonywania obliczeń matematycznych potrzebnych do określenia nowej pozycji. W roku 1436 Andrea Bianco wykonał pierwsze tablice trójkąta drogowego. Używając tej tabeli rozwiązań trójkątów prostokątnych na płaszczyźnie nawigator mógł określić swój kurs i odległość nad dnem po przebyciu pewnej liczby odległości w różnych kierunkach.

Żegluga po równoleżniku – była skutkiem braku możliwości określenia przez nawigatora swojej długości geograficznej. Nie było to rozwiązanie matematyczne, jak inne rodzaje żeglugi, metoda ta polegała na przekonwertowaniu odległości przebytej wzdłuż równoleżnika, określonej metodą pozycji zliczonej, na długość geograficzną.

Metoda średniej szerokości – Niedokładności wynikające ze stosowania żeglugi po loksodromie doprowadziły w początku XVII wieku do powstania ulepszonej metody średniej szerokości. Za jej wynalazcę uważa się matematyka, Ralpa Handsona.

Metoda ta opiera się na założeniu, że użycie szerokości geograficznej znajdującej się w połowie między punktem wyjścia, a miejscem docelowym wyeliminuje błąd wynikający ze zbieżności południków. Założenie to jest dość poprawne i, choć metoda powiększonej szerokości daje zwykle większą dokładność, wciąż często stosuje się metodę średniej szerokości.

Żegluga po loksodromie – Pierwsza tabela powiększonych szerokości zamieszczona została w „Niektórych błędach w nawigacji wykrytych i poprawionych”, książce Edwarda Wrighta, opublikowanej w roku 1599. Daje ona podstawę do najdoskonalszego rodzaju żeglugi po loksodromie – metody powiększonej szerokości.

Żegluga po ortodromie – Przez wiele wieków matematycy wiedzieli, że najkrótszą linią łączącą dwa punkty na sferze jest ortodroma, ale nawigatorzy zaczęli korzystać z tej informacji dopiero w XIX wieku.

Pierwszy drukowany opis żeglugi po ortodromie pojawił się w roku 1537 w dziele „Tratado da Sphera” Pedro Nunesa. Poprzednio metodę tę proponował Sebastian Cabot w roku 1498,

a w roku 1524 Verrazano przepłynął do Ameryki po ortodromie. Jednak żaglowce nie mogły liczyć na przewidywalne, stałe wiatry niezbędne do żeglugi takim kursem, a nieznamość długości geograficznej połączona z koniecznością zatrzymywania się na wyspach, w celu uzupełnienia zapasów, czyniła taką żeglugę nieprzydatną w praktyce dla większości ówczesnych podróży.

Stopniowe gromadzenie wiedzy dotyczącej przeważających i sezonowych wiatrów, warunków pogodowych i prądów oceanicznych umożliwiły nawigatorom planowanie podróży z większą dokładnością. Autorzy dziewiętnastowiecznych tekstów nawigacyjnych zalecali żeglugę po ortodromie i rzeczywiście pod koniec tego wieku ten rodzaj żeglugi stał się coraz bardziej popularny, szczególnie na Pacyfiku.

117. Biura hydrograficzne Jeszcze przed założeniem pierwszego oficjalnego biura hydrograficznego w roku 1720 praktyka zbierania danych hydrograficznych miała dwustuletnią tradycję. W tym roku pod kierownictwem kawalera de Luynes powstał w Paryżu „Depot des Cartes, Plans, Journaux et Memoirs Relatifs a la Navigation”. Wydział Hydrograficzny Admiralicji Brytyjskiej, choć założony dopiero w roku 1795 odegrał istotną rolę w europejskiej pracy hydrograficznej.

„National Ocean Survey” zostało utworzone przez Kongres w roku 1807 uchwałą upoważniającą do wykonania pomiarów wybrzeża, portów, wysp i łowisk Stanów Zjednoczonych. Według zalecenia Amerykańskiego Towarzystwa Filozoficznego prezydent Jefferson mianował Ferdynanda Hasslera, szwajcarskiego imigranta, organizatora pomiarów geodezyjnych w swoim kraju ojczystym, pierwszym dyrektorem „Survey of the Coast”, przemianowanego w roku 1836 na „Coast Survey”.

Jako pierwsze stworzono mapy podejść do Nowego Jorku. Później prace postępowały na północ i południe wzdłuż wschodniego wybrzeża. W roku 1844 prace poszerzono i poczyniono ustalenia związane z równoczesnym tworzeniem map zatoki i wschodniego wybrzeża. Rozpoczęto badania prądów, a już w roku 1855 opublikowano pierwsze tabele pływów. Gorączka złota w Kaliforni stała się impulsem do rozpoczęcia w roku 1850 pomiarów zachodniego wybrzeża. Statek o nazwie „Washington” rozpoczął obserwacje Prądu Zatokowego. W pierwszej połowie XIX wieku locje wybrzeża i locje atlantyckiego wybrzeża Stanów Zjednoczonych były wydawane prywatnie, ale około roku 1850 rząd federalny zaczął publikować własne, zawierające dane pochodzące z wykonanych pomiarów. Wydana w roku 1889 „Locja Wybrzeża Pacyfiku” była znaczącym wkładem w bezpieczeństwo żeglugi przy zachodnim wybrzeżu. W roku 1878 nazwę programu zmieniono na „Coast and Geodetic Survey” a w 1970 na „National Ocean Survey”.

Obecnie National Geodetic Survey dostarcza nawigatorom map i locji brzegowych na wszystkie wody Stanów Zjednoczonych oraz tabele prądów i prądów pływowych dla większości świata.

Defence Mapping Hydrographic Center – W roku 1830 U.S. Navy założyła w Waszyngtonie „Skład map i przyrządów” („Depot of Charts and Instruments”). Pierwotnie miał on być magazynem, w którym zebrane byłyby mapy i locje wydawane okrętom, które by ich potrzebowały. Cały personel składał się z dwu osób: porucznika L.M.Goldsborough i jednego asystenta, byłego chorążego marynarki, R.B.Hitchcocka.

Pierwsza mapa wydana przez Depot opierała się na danych otrzymanych w wyniku pomiarów wykonanych przez porucznika Charlesa Wilkesa, który w roku 1834 zastąpił Golds-

borougha, a w przyszłości zasłynął jako dowódca amerykańskiej ekspedycji badawczej na Antarktykę.

W latach 1842 – 1861 Składem kierował porucznik Matthew Fontaine Maury. Pod jego kierownictwem instytucja ta zyskała znaczenie międzynarodowe. Maury podjął decyzję o rozpoczęciu ambitnego przedsięwzięcia mającego na celu zwiększenie wiedzy marynarzy o wiatrach, prądach i pogodzie. Rozpoczął od dokładnego zebrania informacji dostępnej w starych dziennikach okrętowych przechowywanych w Składzie, a następnie wprowadził program składania przez kapitanów raportów hydrograficznych. Tysiące zebranych odpowiedzi wraz z danymi z dzienników posłużyło do wydania w roku 1847 „Mapy wiatrów i prądów północnego Atlantyku”. Stany Zjednoczone zainicjowały zorganizowanie w roku 1853 międzynarodowej konferencji mającej na celu zainteresowanie innych krajów systemem wymiany informacji naukowej. Plan, którego pomysłodawcą był Maury, został entuzjastycznie przyjęty przez inne kraje morskie i jest podstawą współczesnej pracy biur hydrograficznych.

W roku 1854 Skład przemianowano na „U.S. Naval Observatory and Hydrographical Office” („Obserwatorium morskie i biuro hydrograficzne Stanów Zjednoczonych”). W roku 1866 Kongres rozdzielił obie instytucje, znacznie rozszerzając funkcje tej drugiej. Biuro zostało upoważnione do przeprowadzania pomiarów, zbierania informacji oraz drukowania wszelkiego rodzaju map i publikacji „dla powszechnej korzyści i użytku nawigatorów”.

Jednym z pierwszych działań nowopowstałego Biura było wykupienie praw do „The New American Practical Navigator”. Wydano już kilka tomów locji. Pierwsze „Wiadomości Żeglarskie” ukazały się w roku 1869. W roku 1907 rozpoczęto codzienne nadawanie ostrzeżeń nawigacyjnych a w roku 1912, po zatonięciu „Titanica”, działania Biura Hydrograficznego doprowadziły do powstania Międzynarodowego Patrolu Lodowego.

Stworzenie przez marynarkę Stanów Zjednoczonych w roku 1922 ulepszonych głębokościomierza umożliwiło zbieranie dodatkowych informacji dotyczących topografii dna morskiego. W tym samym roku, po raz pierwszy, do wykonywania map wykorzystano fotografię wykonywaną z powietrza. Pierwszą mapę dla lżejszych od powietrza maszyn latających Biuro wydało w roku 1923.

W roku 1962 Biuro Hydrograficzne Marynarki Stanów Zjednoczonych zmieniło nazwę na Morskie Biuro Oceanograficzne Stanów Zjednoczonych. W roku 1972 pewne jego funkcje przekazano Centrum Hydrograficznemu Agencji Map Ministerstwa Obrony.

Międzynarodowa Organizacja Hydrograficzna (IHO) powstała w roku 1921 jako *Międzynarodowe Biuro Hydrograficzne (IHB)*. Obecna nazwa została przyjęta w roku 1970 w wyniku porozumienia między państwami członkowskimi. Poprzednią nazwę - Międzynarodowe Biuro Hydrograficzne nosi obecnie grupa administracyjna składająca się z trzech dyrektorów i niewielkiego personelu w biurze głównym organizacji w Monako.

IHO (podobnie jak poprzednio IHB) ustanawia standardy hydrograficzne uzgodnione przez państwa członkowskie. Wszystkie państwa członkowskie są zachęcane do przestrzegania tych standardów w swoich pomiarach, mapach nawigacyjnych i publikacjach. Ponieważ są one powszechnie przyjęte, wyniki pracy biur hydrograficznych i oceanograficznych na całym świecie są jednolite. Od czasu powstania Biura nastąpił znaczny postęp w zakresie standaryzacji.

Podstawowym zadaniem IHO jest:

- przyczynianie się do stałego i bliskiego związku między narodowymi urzędami hydrograficznymi

- badanie kwestii związanych z hydrografią oraz pokrewnymi naukami i technikami
- wspieranie wymiany map i dokumentów nautycznych między urzędami hydrograficznymi państw członkowskich
- wymiana odpowiednich dokumentów
- oferowanie potrzebnych informacji i porad, w szczególności państwu ustanawiającym lub rozwijającym usługi hydrograficzne
- wspieranie koordynacji badań hydrograficznych ze stosowną działalnością oceanograficzną
- rozszerzanie i ułatwianie zastosowania wiedzy oceanograficznej na korzyść nawigatorów
- współpraca z międzynarodowymi organizacjami i instytucjami naukowymi o podobnych celach

W XIX wieku wiele narodów morskich zakładało biura hydrograficzne, które dostarczały środków w celu udoskonalenia nawigacji statków handlowych i okrętów wojennych poprzez dostarczanie publikacji nautycznych, map morskich oraz innych usług nawigacyjnych. Wkrótce oczywista stała się niejednorodność procedur hydrograficznych, map i publikacji. W roku 1889 w Waszyngtonie odbyła się Międzynarodowa Konferencja Morska, podczas której zaproponowano ustanowienie „stałej komisji międzynarodowej”. Podobne propozycje pojawiły się podczas sesji Międzynarodowego Kongresu Nawigacyjnego, który odbył się w Petersburgu w roku 1908, a następnie ponownie w 1912.

W roku 1919 hydrografowie z Wielkiej Brytanii i Francji wspólnie podjęli niezbędne kroki w celu zorganizowania międzynarodowej konferencji hydrografów. Jako najwłaściwsze miejsce wybrano Londyn i 24 lipca 1919 roku otwarto Pierwszą Konferencję Międzynarodową, w której wzięli udział hydrografowie z 24 krajów. Przedmiot konferencji został jasno określony w zaproszeniu: „Rozważyć zasadność przyjęcia przez wszystkie kraje morskie podobnych metod przygotowania, a także tworzenia map morskich oraz wszelkich publikacji hydrograficznych, przedstawiania rezultatów w najdogodniejszej formie w celu umożliwienia łatwego z nich korzystania, założenia systemu wzajemnej wymiany informacji hydrograficznej między wszystkimi krajami, stwarzania możliwości konsultacji, a także dyskusji na tematy hydrograficzne między ekspertami hydrograficznymi całego świata”. Jest to zbliżone do współczesnych zadań Międzynarodowej Organizacji Hydrograficznej. W rezultacie tej konferencji założono stałą organizację i przygotowano statut jej działania. Międzynarodowe Biuro Hydrograficzne, obecnie Międzynarodowa Organizacja Hydrograficzna rozpoczęła działalność w 1921 roku, zrzeszając 18 krajów. Wybrano Księstwo Monako ze względu na łatwą komunikację z resztą świata oraz ze względu na wspaniałomyślną propozycję księcia Alberta I, który zgodził się zapewnić organizacji odpowiednią siedzibę. IHO, w tym trzech dyrektorów wraz z personelem ma swoją własną siedzibę wybudowaną i utrzymywaną przez rząd Monako.

Prace IHO są publikowane po francusku oraz angielsku, rozpowszechniane za pomocą wielu mediów. Wiele z publikacji jest dostępnych publicznie, a oficerowie marynarki wojennej i floty handlowej państw-członków mogą nabywać je ze zniżką 30%. Z pytaniami odnośnie dostępności wydawnictw należy zwracać się bezpośrednio pod adres:

International Hydrographic Bureau,
Avenue President J.F.Kennedy,
Monte Carlo,
Monaco.

118. Podręczniki nawigacji Chociaż nawigacja jest tak stara jak sama ludzkość, podręczniki nawigacji w znanej nam postaci istnieją dopiero od kilku stuleci. Do końca średniowiecza takie książki lub rękopisy były pisane przez astronomów dla astronomów. Nawigatorzy zmuszeni byli korzystać z nich, omijając to, co nie było związane z ich profesją. Dopiero po roku 1500 potrzeba specjalistycznych książek doprowadziła do wydania serii publikacji o coraz większej wartości dla marynarza.

Podręczniki w XVI wieku – W XVI wieku studiowanie nawigacji wymagało zwykle znajomości łaciny. Wydane w Lizbonie w roku 1509 lub wcześniej „Regimento do astrolabio e do quadrante” wyjaśniało metodę określania szerokości geograficznej przez południowe obserwacje Słońca i Gwiazdy Polarnej, zawierało tablicę trójkąta drogowego pomocną przy określaniu długości geograficznej przez zliczenie oraz listę długości geograficznych wielu miejsc. Niestety, autor popełnił kilka błędów przepisując tablice deklinacji wydanych przez Abrahama Zacuto w roku 1474, w wyniku czego przez wiele lat przy określaniu długości geograficznej popełniano błęd. Mimo wszystko nieznanemu autor „Regimento” bardzo przysłużył się marynarzom. Jego „Podręcznik astrolabu i kwadrantu” – tak bowiem brzmi tytuł w tłumaczeniu – miał wiele wydań i licznych naśladowców.

W roku 1519 Fernandez de Encisco opublikował pierwszy hiszpański podręcznik, „Suma de geographia”. Książka ta była przede wszystkim tłumaczeniem „Regimento”, zawierała jednak również nowe informacje, a w latach 1530 i 1546 opublikowano wydania poprawione.

Flamandzki matematyk i astronom, R. Gemma Frisius opublikował książkę o nawigacji w roku 1530. Podręcznik, zatytułowany „De Principiis Astronomiae” pomimo, że czerpał z astronomii Ptolemeusza, dał doskonały opis wiedzy z tego zakresu. Gemma pisał o głównych wiatrach, proponował zliczanie długości geograficznej od Wysp Kanaryjskich i wyznaczył zasady określania pozycji zliczonej na podstawie kursów i odległości.

„Tratado da Sphera”, wielkie dzieło Pedro Nunesa, pojawiło się w roku 1537. Poza pierwszym drukowanym opisem żeglugi po ortodromie książka zawierała rozdział na temat określania szerokości geograficznej na podstawie dwu pomiarów wysokości Słońca, wykonanych przy azymutach różniących się o nie mniej niż 40 stopni, oraz rozwiązywania problemu kuli ziemskiej. Użyta metoda była po raz pierwszy zaproponowana przez Gemmę. „Tratado da Sphera” zawierała podsumowanie wykonanych przez Nunesa badań nad „płaską mapą”. Naświetlił on jej błędy, nie potrafił jednak stworzyć zadowalającego środka zastępczego.

W następnych latach stała się dostępną obszerna literatura nawigacyjna. Hiszpanie, Pedro de Medina i Martin Cortes, opublikowali kolejno w latach 1545 i 1551 cieszące się powodzeniem podręczniki. „Arte de Navegar” autorstwa Mediny miała trzynaście wydań w kilku językach, a „Breve de la Spera y de la Arte de Navegar” Cortesa została również przetłumaczona na angielski i zdobyła popularność wśród brytyjskich nawigatorów. Cortes omawiał zasadę zastosowaną osiemnaście lat później przez Merkatora przy tworzeniu jego słynnej mapy, wymienił również prawidłowo odległości między południkami na wszystkich szerokościach geograficznych.

Pierwszy podręcznik do nawigacji na półkuli zachodniej został wydany w roku 1587 przez

Diego Garcia de Palacio w Mexico City. Jego „Instrucion Nauthica” zawierała częściowy słownik terminów nautycznych i pewne dane związane z budową statku.

„The Seaman’s Secrets” Johna Davisa z roku 1594 był pierwszą z „praktycznych” książek. Davis, znakomity nawigator, zapewniał, że celem jego książki jest przekazanie „wszystkiego, co potrzebne żeglarzom, a nie uczonym z lądu”. Jego dzieło szczegółowo omawia przyrządy nawigacyjne, oraz metody zliczania pozycji. Opisał on sposób podziału ortodromy na odcinki loksodromiczne, a praca wykonana z Edwardem Wrightem skłoniła go do opisanego zalet metody Merkatora. Wprowadził też system określania szerokości geograficznej przez dwie obserwacje Słońca i pośredni namiar.

Choć jest najbardziej znana z przedstawienia teorii trójkąta Merkatora „Certaine Errors in Navigation Detected and Corrected” (1599) Edwarda Wrighta była przede wszystkim solidnym podręcznikiem nawigacyjnym. Szczególną uwagę autor zwrócił na zalecanie poprawiania wyników obserwacji na wzniesienie oczne, refrakcję i paralaksę.

Późniejsze podręczniki – W ciągu następnego dwustu lat nawigatorom udostępniono szereg podręczników nawigacyjnych; tak wiele, że tylko o kilku z nich można wspomnieć. Pomiędzy dziełami, które odniosły największy sukces były: „Ćwiczenia” Blundeville’a, „Mirifici Logarithmorum Canonis Descriptio”, w której John Napier wprowadzał użycie logarytmów na morzu, tablice i prawidła Edmunda Guntera, „Nawigacja Arytmetyczna” Thomasa Addisona oraz „The Sea-mans Practice” Richarda Nordwooda (która podawała długość mili morskiej jako 6120 stóp). „Arcano del Mare” (1646-47) Roberta Dudleya, podobnie jak „Elements of Navigation” Johna Robertsona miała cztery tomy. Innymi, którzy wnieśli swój udział w pisaniu podręczników nawigacji byli Jonas i John Moore, Wiliam Jones i Samuel Dunns, następnie Nathaniel Bowditch w Ameryce i J.W. Norie stworzyli poradniki uznane przez nawigatorów za najlepiej dostosowane do ich potrzeb.

„The New American Practical Navigator” Bowditcha po raz pierwszy został wydany w roku 1802, zaś „Epitome of Navigation” Noriego ukazała się w następnym roku. Obie są wybitnymi książkami, które udostępniły marynarzowi o niewielkim wykształceniu formalnym zrozumienie podstaw jego zawodu. Książka Anglika miała w jego kraju 22 wydania, zanim straciła popularność na rzecz słynnej książki kapitana Lecky’ego pt. „Wrinkles in Practical Navigation”, wydanej w roku 1881. „American Practical Navigator” jest nadal powszechnie czytana, mimo że od pierwszego wydania minęło ponad półtora wieku.

W ciągu ostatnich lat opublikowano wiele wartościowych podręczników nawigacyjnych.

Astronawigacja

119. Astronomia nazywana jest czasem najstarszą z nauk. Już ludzie pierwotni przy polowaniu, łowieniu ryb i uprawianiu roli kierowali się ruchem Słońca, Księżyca, planet i gwiazd. Mapy nieba były prawdopodobnie mapami nieba.

Już około 3800 roku p.n.e kapłani babilońscy studiowali ruchy ciał niebieskich. Istnieją teorie że miało to miejsce nawet 1500 lat wcześniej. Ci starożytni astronomowie przewidywali zaćmienia Słońca i Księżyca, tworzyli tabele kąta godzinowego Księżyca i, jak się sądzi, wymyślili zodiak. Z ich kalendarza wywodzą się również stosowane współcześnie tygodnie i miesiące. Również oni podzielili gwiazdy na konstelacje – prawdopodobnie ich współcześnie stosowany podział powstał około 2000 r. p.n.e. Znanych im było pięć planet z łatwością rozpoznawanych gołym okiem, również oni byli najwyraźniej pierwszymi, którzy podzielili

pozorny ruch Słońca wokół Ziemi na 24 równe części. Te i inne dane astronomiczne były publikowane w rocznikach astronomicznych. Istnieją także dowody wskazujące, że patriarcha Abraham miał doskonałą znajomość astronomii.

Również Chińczycy wnieśli znaczący wkład do nauki o ruchach ciał niebieskich. Prawdopodobnie ustalili oni daty przesilen i równonocy już przed 2000 r. p.n.e. Mieli oni kwadranty i sfery armilarne, używali zegarów wodnych, a także obserwowali kulminacje ciał niebieskich. Starożytni Chińczycy określili, że Słońce dokonuje jednego pozornego obrotu wokół Ziemi w $365\frac{1}{4}$ dnia i na tyle, zamiast na 360, części dzielili okrąg. Około 1100 r. p.n.e. astronom Chou Kung wyznaczył, że maksymalna deklinacja Słońca wynosi około 15 minut.

Egipcjanie stosowali astronomię do wyznaczania dat swoich świąt religijnych niemal tak wcześnie jak Babilończycy. Już conajmniej w 2000 r. p.n.e. nowy rok zaczynał się podczas heliakalnego wschodu Syriusza, to znaczy podczas pierwszego ponownego pojawienia się tej gwiazdy na wschodnim niebie podczas świtu po ostatnim ukazaniu się tuż po zachodzie Słońca na zachodnim niebie. Zjawisko to pokrywało się w przybliżeniu z corocznym wylewem Nilu. Słynna piramida Cheopsa, zbudowana prawdopodobnie około XVII w. p.n.e. była skonstruowana w ten sposób, że światło Syriusza oświetlało południową ścianę podczas górnego przejścia przez południk niebieski, a światło Gwiazdy Polarnej oświetlało ścianę północną podczas przejścia dolnego, zaś osie obu ścian przecinały się w królewskiej komorze grobowej. Warto zwrócić uwagę na fakt, że w czasie, kiedy budowano piramidę, gwiazdą polarną nie była Polaris tylko α Draconis.

Grecy nauczyli się astronomii nawigacyjnej od Fenicjan. Pierwszy grecki astronom, Tales, pochodził z tego narodu. Jemu to przypisywany jest podział w świecie zachodnim roku na 365 dni, on też odkrył, że Słońce między punktami przesilenia nie porusza się równomiernie. Szczególnie jest on znany z przewidzenia w roku 585 p.n.e. zaćmienia Słońca, które zakończyło się bitwą między Medami i Lidyjczykami. Był on pierwszym z wielkich ludzi, których praca przez siedemset aż do czasów Renesansu pełniła wiodącą rolę w nawigacji, astronomii i kartografii.

120. Kształt Ziemi Pomimo, że tak rozwinięci, Babilończycy, jak można sądzić, uważali Ziemię za płaską. Badania wykonane około roku 2300 p.n.e. wykazały, że ich kraj otoczony jest „rzeką o słonej wodzie”.

Żeglarze wiedzieli jednak, że kiedy statek znika za horyzontem to ostatni znika wierzchołek jego maszty. Zaobserwowali oni również dłuższe letnie dni w Anglii, gdzie pływali do kopalń cyny w Kornwalii już około 900 r. p.n.e. Na północnej części Morza Śródziemnego żeglarze zauważyli, że Gwiazda Polarna znajduje się wyżej na niebie, a niższe konstelacje nieba południowego nie są widoczne. Kiedy Tales wynalazł projekcję gnomoniczną około roku 600 p.n.e. wierzył on z pewnością, że Ziemia ma kształt kuli. Dwa wieki później Arystoteles napisał, że cień rzucany przez Ziemię na Księżyc jest zawsze kolisty. Archimedes (287 – 212 p.n.e.) używał szklanego globusa niebieskiego z umieszczonym wewnątrz globusem Ziemi. Choć przeciętny człowiek rozumie sferyczną naturę Ziemi dopiero od względnie niedawna wykształceni astronomowie zaakceptowali ten fakt ponad dwadzieścia pięć wieków temu.

121. Mechanika niebieska Podstawowym zagadnieniem, jakie przez dwa tysiące lat stawali sobie astronomowie nie było pytanie o kształt Ziemi, lecz problem co znajduje się w centrum Wszechświata – Ziemia czy Słońce. Nieruchoma Ziemia wydawała się czymś logicz-

nym dla wczesnych Greków, którzy obliczali, że jej dzienny ruch obrotowy spowodowałby na równiku wiatr o prędkości kilkuset mil na godzinę. Nie zdając sobie sprawy z faktu, że atmosfera porusza się wraz z planetą, brak takiego prądu powietrznego uważali oni za dowód, że Ziemia jest nieruchoma.

Ludzie starożytni wierzyli, że wszystkie ciała niebieskie poruszają się po okręgach dookoła Ziemi. Jednak planety, czyli „gwiazdy błędzące”, jak je wtedy nazywano, swoim nieregularnym ruchem zaprzeczały tej teorii. W IV w. p.n.e. Eudoksos z Knidos próbował wyjaśnić to zagadnienie zakładając, że planety umocowane są do koncentrycznych sfer obracających się dookoła Ziemi z różnymi prędkościami. Teoria epicykli, przez dwa tysiące lat powszechnie akceptowana teoria Wszechświata, została po raz pierwszy zaproponowana przez Apoloniusza z Perga w III w. p.n.e. Ptolemeusz przyjął, poszerzył i wyjaśnił ją w swoich słynnych dziełach „Almagest” i „Cosmographia”. Według Ptolemeusza planety poruszały się ze stałymi prędkościami po niewielkich okręgach, których środki przesuwają się ze stałymi prędkościami po orbitach kołowych dookoła Ziemi.

Początkowo teoria Ptolemeusza została zaakceptowana bez żadnych wątpliwości, ale z czasem przewidywania oparte na niej okazywały się niedokładne. Do czasu, kiedy w XIII wieku n.e. opublikowano „Tablice Alfonsina” rosła liczba astronomów, którzy nie akceptowali doktryny Ptolemeusza. Mimo to Purbach, Regiomontanus, Bernhard Walther z Norymbergi, a nawet Tycho Brahe w drugiej połowie XVI wieku usiłowali uzgodnić teorię geocentryczną z wynikami obserwacji.

Już w VI w. p.n.e. członkowie bractwa założonego przez Pitagorasa, greckiego filozofa, twierdzili, że Ziemia jest okrągła i zawieszona w przestrzeni gdzie wraz z planetami, Słońcem i Księżycem krąży wokół centralnego ognia, serca Wszechświata, nazywanego przez nich „Hestia”, którego światłem odbitym świeci Słońce i Księżyc.

Centralny ogień nigdy nie został zlokalizowany. Kilkaset lat później Arystarch z Samos rozwinął teorię heliocentryczną. Zaprzeczył on istnieniu Hestii i umieścił Słońce w środku Wszechświata, słusznie uważając je za gwiazdę świecącą światłem własnym. Żydzi prawidłowo rozumieli tę zależność już w czasach Abrahama (około 2000 r. p.n.e.), a pierwsi mieszkańcy półkuli zachodniej znali ją jeszcze przed Europejczykami.

Teoria Ptolemeusza była powszechnie akceptowana aż do czasu, kiedy jej niezdolność do przewidywania przyszłych położenia planet nie mogła zostać wyrównywana. Zastąpienie jej teorią heliocentryczną zwykle przypisuje się Mikołajowi Kopernikowi. Uczony ten studiował matematykę w Krakowie, a następnie wyjechał do Bolonii gdzie słuchał wykładów o astronomii wygłaszanych przez Domenicao Mario Novarę, zwolennika teorii pitagorejskiej. Późniejsze studia „Satyriconu” Martianusa Copelli, dzieła zawierającego omówienie doktryny heliocentrycznej, przekonały go że Słońce rzeczywiście centrum Wszechświata.

Aż do roku swojej śmierci w 1543 Kopernik sprawdzał swoją tezę ciągłymi obserwacjami. W roku tym opublikował on „De Revolutionibus Orbium Celestium”. Wyraził w nim pogląd, że Ziemia obraca się dookoła swej osi wykonując jeden obrót na dobę oraz krąży dookoła Słońca, wykonując obrót w ciągu roku. Inne planety również zostały umieszczone na kołowych orbitach dookoła Słońca, przy czym Merkury i Wenus znajdowały się bliżej Słońca niż Ziemia.

Kopernik doszedł do wniosku, że gwiazdy spoczywają nieruchomo w przestrzeni a Księżyc krąży dookoła Ziemi. Jego poglądy nie stały się szerzej znane dopóki po prawie stu latach nie rozpowszechnił ich Galileusz. Obecnie mówiąc o układzie słonecznym zamiennie używa się określeń „Kopernikański” i „heliocentryczny”.

122. Inne wczesne odkrycia Wiedza o podstawowych ruchach planet pozwoliła przewidywać ich przyszłe położenia dość dokładnie. Jednak aby stworzyć znane dziś bardzo dokładne roczniki astronomiczne potrzebne było zebranie dalszych, mniej spektakularnych danych.

Ponad sto lat przed narodzeniem Chrystusa Hipparch porównując wyniki swoich obserwacji gwiazd z dokumentami żyjących trzy wieki wcześniej Timocharisa i Arystyllusa odkrył zjawisko *precesji punktów równonocy*. Stworzył też katalog zawierający ponad tysiąc gwiazd, opracował także dodatkowy spis gwiazd, których gwiazdowy kąt czasowy różni się o 15 stopni (czyli o jedną godzinę) (z dokładnością do 15 minut kątowych). Do wynalezionej przez niego sprzętu należy też sferyczna mapa nieba, czyli planisfera, oraz globus nieba. Jego instrumenty nie umożliwiały jednak wykonywania pomiarów z dokładnością potrzebną do zaobserwowania paralaksy gwiazdnej, w wyniku czego był on zwolennikiem teorii geocentrycznej.

W trzy wieki później Ptolemeusz sprawdził i potwierdził odkryte przez Hipparcha zjawisko precesji. Opublikował on katalog w którym zestawił gwiazdy pogrupowane w gwiazdozbiory, podając ich wielkość, deklinację i rektascensję. Wzorem Hipparcha określał długość geograficzną na podstawie zaćmień. W „Almageście” zawarł on stworzone przez swego poprzednika tablice trygonometrii płaskiej i sferycznej, tabele matematyczne i wyjaśnienie warunków, od których zależy równanie czasu.

Następne tysiąclecie przyniosło niewielki postęp w astronomii. Przez kilkaset lat po Ptolemeuszu Aleksandria nadal była centrum nauczania, ale następni astronomowie w obserwatorium ograniczali swoją pracę do komentowania jego wielkich dzieł. Rozpoczął się długi zmierzch wieków średnich.

W roku 640 n.e. Aleksandria została zdobyta i zniszczona przez Arabów. Przez następne 500 lat muzułmanie wywierali znaczący wpływ na astronomię a w IX wieku w Bagdadzie i Damaszku wybudowano obserwatoria astronomiczne. W XI wieku obserwatorium Ibn Yunisa w Kairze zbierało dane do tablic Hakimita. Wcześniej Hiszpanie pod kuratelą Maurów założyli szkoły astronomiczne w Kordobie i Toledo.

123. Astronomia współczesna Można powiedzieć, że astronomia współczesna zaczęła się w czasach Kopernika, chociaż aż do wynalezienia teleskopu około roku 1608 niemożliwe było dokładne mierzenie położenia i ruchów ciał niebieskich.

Włoch Galileo Galilei, wniósł znaczący wkład w rozwój astronomii, co stanowiło podstawę pracy późniejszych astronomów, zwłaszcza Izaaka Newtona. Odkrył on satelity Jowisza, dostarczając dodatkowych możliwości określania długości geograficznej na lądzie. Twierdził, że naturalną cechą ruchu jest stałość i prostoliniowość, zaś siła jest potrzebna tylko wtedy, kiedy zmienia się kierunek lub prędkość. Wsparcie udzielane teorii heliocentrycznej, używanie i rozwój teleskopu a zwłaszcza jasność i kompletność notatek zapewniła trwałą podstawę dla następnych astronomów.

Na początku XVII wieku, przed wynalezieniem teleskopu, Tycho Brahe zauważył, że Mars znajduje się w pozycji odległej o 8 minut kątowych od pozycji przewidywanej przez teorię geocentryczną. Kiedy możliwe stało się korzystanie z teleskopu astronomowie zauważyli, że średnica kątowa Słońca zmienia się a jego orbita nie jest kołowa.

Johannes Kepler, Niemiec, następca Tychona Brahe, próbował obliczyć rozbieżność ośmiu minut kątowych w 1609 roku, a także opublikował dwie najważniejsze w astronomii doktryny, *prawo równych pól* oraz *prawo orbit eliptycznych*. Dziewięć lat później ogłosił on trzecie prawo, wyrażające okresy obrotów dowolnych dwu planet w funkcji odpowiednich odległości

od Słońca.

Odkrycia Keplera dostarczyły matematycznej podstawy dzięki której obliczono dokładniejsze tabele astronomiczne przeznaczone dla ówczesnych badaczy morskich. Uświadomienie, że Słońce jest siłą sprawczą ruchów ciał systemu słonecznego, a płaszczyzny orbitalne planet przechodzą przez jego środek prawie doprowadziło go do odkrycia prawa grawitacji.

Izaak Newton publikując swoje trzy prawa grawitacji sprowadził wnioski Keplera do *uniwersalnego prawa grawitacji*. Ponieważ planety oddziałują na siebie grawitacyjnie ich orbity nie zgadzają się dokładnie z prawami Keplera. Praca Newtona zkompensowała to, co umożliwiło astronomom dokładniejsze przewidywanie położenia ciał niebieskich. W ten sposób nawigatorzy otrzymali bardziej precyzyjne tabele danych astronomicznych.

W latach 1764-1784 Francuzi Lagrange i Laplace ostatecznie udowodnili stabilność mechaniczną systemu słonecznego. Przed ich pracą była ona kwestionowana z powodu zauważalnych niekonsekwencji w ruchach niektórych planet. Ich dowód rozwiał wątpliwości co pozwoliło zająć się pracami nad udoskonalaniem i poprawianiem rocznika astronomicznego. W początkach XIX wieku Nathaniel Bowditch przetłumaczył i skomentował „Mecanique Celeste” Laplace’a.

Nadal istniały jednak pewne rzeczywiste i zauważalne nieregularności ruchu, które nie mogły być wyjaśnione samym tylko prawem grawitacji. Zgodnie z tym prawem planety powinny krążyć wokół Słońca po orbitach eliptycznych, wyjąwszy ich wzajemny grawitacyjny wpływ na swoje orbity. Urbain Leverrier, dyrektor Paryskiego Obserwatorium Astronomicznego zauważył, że linia apsydów Merkurego porusza się o 43 sekundy kątowne na stulecie szybciej, niż wynikałoby to z praw grawitacji i położenia innych planet. Próbuąc pozbyć się tej niedokładności wysunął on hipotezę, że pomiędzy Słońcem a Merkurym musi znajdować się krążąca materia. Materii takiej ostatecznie nie znaleziono a niedokładność wykrytą przez Leverriera została wytłumaczona przez niedoskonałości prawa Newtona, wyjaśnioną przez Alberta Einsteina.

W rękach Einsteina 43 sekundy kątowne Leverriera stały się faktem o tak doniosłym znaczeniu jak osiem minut kątowych Brahego w rękach Keplera. Na początku XX wieku Einstein ogłosił ogólną teorię względności. Stwierdził on, że naturalnym dla planet jest ruch dookoła Słońca, i że niepotrzebna jest do tego siła oddziaływania grawitacyjnego. Zapewniał też, że nie ma potrzeby, aby zakładać istnienia krążącej materii między Merkurym a Słońcem, ponieważ ruch peryhelium Merkurego również jest naturalną kolejną rzeczą. Wyliczona z jego teorii poprawka do poprzednio wyliczonego ruchu peryhelium wynosi 42,9 sekund kątowych na stulecie.

Przed pracami Einsteina inne odkrycia pozwoliły powiększyć wiedzę o wszechświecie. Odkryta przez Jamesa Bradleya około roku 1726 aberracja uważana jest za pozorne roczne przesunięcie gwiazd spowodowane połączoną prędkością orbitalną Ziemi i prędkością światła. Dwadzieścia lat później Bradley opisał okresowe kiwanie się osi ziemskiej, nazywane nutacją i jego wpływ na precesję punktów równonocy.

Tymczasem w roku 1718 Edmund Halley, drugi w Anglii Królewski Astronom wykrył ruch gwiazd nie spowodowany precesją, co doprowadziło go do wniosku, że również one poruszają się. Studiując prace astronomów Aleksandryjskich zauważył on, że niektóre z ważniejszych gwiazd zmieniły swoją pozycję nawet o 32 minuty kątowne. Jacques Cassini wsparł dodatkowo odkrycie Halleya, kiedy w kilka lat później odkrył, że w ciągu stu lat, od czasu pomiarów dokonanych przez Brahego deklinacja Arktyka zmieniła się o 5 minut kątowych.

Sir Wiliam Herschel, wielki astronom, który w roku 1781 odkrył planetę Uran udowodnił,

że Układ Słoneczny porusza się w stronę gwiazdozbioru Herkulesa. Uczony ten już w roku 1828 opowiadał się za ustanowieniem systemu czasu standardowego. W roku 1846 odkryto Neptuna, opierając się na jego położeniu przewidzianym przez francuza Urbaina Leverriera. W oparciu o prace Amerykanina Percivala Lowella w roku 1930 odnaleziono Plutona. Te trzy planety mają jednak małe znaczenie dla nawigatora.

Późniejszym odkryciem, które może mieć większe znaczenie w nawigacji jest odkrycie w kosmosie źródeł energii elektromagnetycznej w postaci radiogwiazd. Odkryto też, że również Słońce jest źródłem fal elektromagnetycznych, dzięki czemu zbudowano urządzenia które potrafią śledzić jego położenie na niebie niezależnie od warunków pogodowych.

124. Sekstant Przed stworzeniem kompasu magnetycznego nawigator używał ciał niebieskich przede wszystkim jako wzorca kierunku potrzebnego przy sterowaniu. Stosowanie kompasu pozwoliło odbywać długie podróże po otwartym morzu, co z kolei wiązało się z potrzebą stworzenia urządzenia do mierzenia kąta pionowego, które umożliwiłoby określanie wysokości ciał niebieskich a przez to również szerokości geograficznej. Prawdopodobnie pierwszym takim urządzeniem używanym na morzu był zwykły kwadrant, najprostszy z tego typu przyrządów. Wykonany z drewna miał kształt ćwiartki koła. Trzymano go pionowo za ołowiany uchwyt. Aby użyć go do obserwacji na morzu potrzeba było dwu lub trzech osób. Prawdopodobnie zanim zaczęto stosować kwadrant na morzu najpierw przez stulecia używano go na lądzie, choć nie wiemy dokładnie kiedy po raz pierwszy użyto go przez marynarzy.

Astrolab (rys. 124 a) (nazywamy tak od greckich słów „gwiazda” i „brać”) wynaleziony został przez Apoloniusza z Pergi w III w. p.n.e. Około 700 r. n.e. Arabowie wykonali przenośną wersję tego przyrządu. Do końca XIII wieku używali go chrześcijańscy piloci, często był on precyzyjnie i pięknie wykonany z metali szlachetnych. Niektóre astrolaby, z umocowaną z jednej strony grawerowaną metalową płytą służyły do identyfikowania gwiazd. Duże astrolaby były jednymi z podstawowych przyrządów w obserwatoriach astronomicznych XV i XVI wieku, jednak ich wartość na morzu była ograniczona.

Zasada działania astrolabu była podobna do zasady działania kwadrantu. Składał się on z metalowej tarczy, wyskalowanej w stopniach, do której umocowany był ruchomy celownik. Można go porównać do trzymanej pionowo tarczy namierniczej. Używano go w ten sposób, że nawigator celował w stronę gwiazdy a następnie odczytywał z tarczy odległość zenitalną. Podobnie jak w przypadku kwadrantu pionowe ustawienie przyrządu kontrolowano przy użyciu ołowianego ciężarka. Do wykonania pomiaru astrolabem potrzeba było trzech ludzi. Jeden z nich trzymał przyrząd za pierścień w jego górnej części, drugi ustawiał celownik na gwiazdę a trzeci odczytywał kąt ze skali. Z tego powodu nawigatorzy zmuszeni byli zrezygnować z korzystania z pionu z ołowianym ciężarkiem i zamiast tego za odniesienie przyjąć horyzont.

Laska Jakuba (rys. 124 b) była pierwszym przyrządem, w którego działaniu do obserwacji astronomicznych wykorzystywano horyzont. Składał się on z długiego, drewnianego pręta na którym prostopadle mocowano jedną z kilku poprzeczek. Poprzeczki miały różną długość, w zależności od kąta, który miał być zmierzony wybierano odpowiednią. Nawigator trzymał jeden koniec pręta przy oku a poprzeczkę ustawiał w ten sposób, że jej dolny koniec pokrywał się z horyzontem a górny z obserwowanym ciałem niebieskim. Pręt był wyskalowany tak, by mierzyć wysokość obserwowanego ciała niebieskiego nad horyzontem.

Używając laski Jakuba nawigator musiał jednocześnie patrzeć na horyzont i na ciało niebieskie. John Davis był autorem „Sekretów marynarza”, jednym z niewielu praktykujących

nawigatorów (od jego nazwiska pochodzi nazwa Cieśniny Davisa) którzy wynaleźli urządzenie nawigacyjne. W roku 1590 wynalazł urządzenie nazywane kwadrantem angielskim lub kwadrantem Davisa. Skonstruowanie kwadrantu oznaczało istotny postęp. Przyrząd ten był szczególnie popularny wśród nawigatorów z kolonii amerykańskich. Używając kwadrantu nawigator obracał się plecami do Słońca i wyrównywał cień przyrządu z horyzontem. Kwadrant miał dwa kąty, a suma ich wskazań była odległością zenitalną Słońca. Później przyrząd ten został wyposażony w lustro pozwalające na obserwowanie ciał niebieskich innych niż Słońce.

Innym przyrządem wynalezionym w przybliżeniu w tym samym czasie był nokturnał (rys. 124 d). Miał on dostarczać marynarzowi odpowiedniej poprawki do wysokości Gwiazdy Polarnej tak, aby na tej podstawie określić długość geograficzną. Celując w Polaris przez otwór znajdujący się w środku przyrządu i ustawiając ruchome ramię tak, by wskazywało Kochab nawigator mógł odczytać z przyrządu poprawkę. Większość tych przyrządów miała też specjalną zewnętrzną tarczę wyskalowaną w dniach i miesiącach roku – ustawiając ją nawigator mógł również określić czas słoneczny.

Tycho Brahe zaprojektował kilka przyrządów o łukach 60 stopni, mających jeden celownik nieruchomy i jeden ruchomy. Instrumenty te nazwał sekstantami i nazwa ta przyjęła się jako określenie wszystkich używanych w nawigacji przyrządów do mierzenia wysokości ciał niebieskich. W roku 1700 Izaak Newton wysłał Edmundowi Halleyowi, Astronomowi Królewskiemu, opis urządzenia o podwójnie odbijających lusterkach, co jest zasadą działania współczesnego sekstantu morskiego. Rozwiązanie to nie stało się jednak powszechnie stosowane aż do roku 1730, kiedy to podobne instrumenty zostały wynalezione przez Anglika Johna Hadleya i Amerykanina Thomasa Godfrey'a. Przyrząd skonstruowany przez Hadleya był w zasadzie oktantem, jednak dzięki zasadzie podwójnego odbicia mierzył on kąty do jednej czwartej kąta pełnego (to jest do 90 stopni). Urządzenie Godfrey'a było kwadrantem, tak więc umożliwiało pomiar kątów do 180 stopni. Obaj mężczyźni otrzymali nagrodę Angielskiego Towarzystwa Królewskiego. Uznano że odkrycia dokonali jednocześnie niezależnie od siebie, choć Hadley prawdopodobnie zbudował swój sekstant kilka miesięcy przed Godfreyem.

W ciągu kilku następnych lat oba przyrządy bez zarzutu przeszły próby na morzu, trzeba było jednak ponad dwudziestu aby nawigatorzy zrezygnowali ze stosowania laski Jakuba i kwadrantu na rzecz nowego przyrządu. W roku 1733 Hadley wyposażył kwadrant w poziomnicę, dzięki czemu możliwe stało się mierzenie wysokości bez odniesienia do horyzontu. W kilka lat później wynaleziono pierwszy sekstant ze sztucznym horyzontem.

W roku 1631 Pierre Vernier dołączył do kwadrantu drugi, mniejszy, wyskalowany łuk umożliwiający dokładniejszy kątomierz. Rozwiązanie to stosowano we wszystkich późniejszych przyrządach do pomiaru kątów.

Sekstant pozostał praktycznie niezmienny od wynalezienia dwa wieki temu. Jedyne usprawnienia polegały na dodaniu w XX wieku śruby i bębna mikrometrycznego.

125. Określanie długości geograficznej – Możliwość określania na morzu długości geograficznej jest udogodnieniem względnie nowym, choć sama długość geograficzna jest znana od tysiącleci.

Przejście Słońca przez południk niebieski – Na długo przed narodzeniem Chrystusa astronomowie określili deklinację Słońca w każdy dzień roku i zebrali te dane w tablicach. Było to dość proste zadanie, jako że zakres deklinacji słonecznej, wynoszący około 47 stopni

można wyznaczyć odejmując odległość zenitalną Słońca (zmierzoną przez obserwację cienia rzucanego przez Słońce) podczas przesilenia letniego i zimowego. Połowa tej wielkości jest maksymalną deklinacją Słońca, którą należy porównać z odległością zenitalną zaobserwowaną dowolnego dnia, żeby określić długość geograficzną danego miejsca. Codzienne obserwacje pozwoliły starożytnym astronomom skonstruować dość dokładne tabele deklinacji.

Tabele takie były dostępne na długo przedtem zanim przeciętny nawigator był w stanie ich używać, lecz już w XV wieku doświadczeni marynarze określali swoją długość geograficzną z dokładnością do jednego lub dwu stopni. W swoich „Sekretach marynarza”, wydanych w 1594 roku Davis wykorzystuje własne doświadczenia zdobyte na wysokich szerokościach geograficznych aby wyjaśnić metodę określania szerokości geograficznej na podstawie obserwacji dolnej kulminacji Słońca.

Przypołudnikowa obserwacja Słońca – Możliwość, że w czasie dogodnym do obserwacji niebo będzie zachmurzone, doprowadziła do stworzenia metody przypołudnikowej. Znano już inną metodę, polegającą na wykonaniu dwu obserwacji w pewnym odstępie czasu, lecz opierała się ona na tak skomplikowanej matematyce, że wątpliwe jest by korzystało z niej wielu marynarzy.

Istnieją dwie metody rozwiązywania obserwacji przypołudnikowej. Dokładniejsza była metoda bezpośrednia, lecz wymagała ona korzystania z funkcji trygonometrycznych. W drugiej połowie XIX wieku stworzono tabele czyniące ją praktyczniejszą i jest ona stosowana obecnie wtedy, kiedy wymagają tego okoliczności. Jednak w związku z rozwojem metod linii pozycyjnej i nowoczesnych tablic obserwacja przypołudnikowa utraciła wiele ze swej popularności.

Określanie szerokości geograficznej na podstawie obserwacji Gwiazdy Polarnej – Nie wiemy dokładnie kiedy po raz pierwszy określono szerokość geograficzną za pomocą Gwiazdy Polarnej, jednak już wiele wieków temu marynarze używający jej jako punktu odniesienia przy sterowaniu zauważyli, że zmienia ona swoją wysokość w miarę żeglugi na północ lub południe.

W czasach Kolumba niektórzy nawigatorzy określali swoją szerokość geograficzną za pomocą gwiazdy polarnej, a kiedy wynalezienie w XVI w. nokturnału pozwoliło mierzyć wysokości ciał niebieskich z większą dokładnością, metoda ta stała się powszechnie używana. Rozwój chronometru w XVIII wieku umożliwił stosowanie znacznie dokładniejszych poprawek, co spowodowało, że wyznaczanie szerokości geograficznej stało się powszechną praktyką. Nawet dziś, ponad sto lat po wynalezieniu astronomicznej linii pozycyjnej jest ona wciąż stosowana. Współczesna tablica gotowych rozwiązań wyeliminowała potrzebę obserwacji południowych jako specjalnej metody określania szerokości geograficznej. Prawdopodobnie fakt, że almanachy i tabele pozwalają określać pozycję na podstawie obserwacji Gwiazdy Polarnej tak samo, jak na podstawie obserwacji dowolnej innej gwiazdy doprowadzi do tego, że ta ostatnia ze specjalnych metod przestanie być w końcu stosowana. Jednak obyczaj zamierają powoli i prawdopodobnie również ten zwyczaj utrzymywany będzie jeszcze przez lata.

126. Poszukiwanie metody określania długości geograficznej na morzu Dawniej powszechne było stwierdzenie, że „nawigator zawsze zna swoją szerokość geograficzną”. Znacznie prawdziwsze byłoby stwierdzenie, że „nawigator nigdy nie zna swojej długości geograficznej”. W roku 1594 Davis napisał: „Niedługo bardzo chcieliby poznać sposób określania długości geograficznej, ale jest to zbyt żmudne zadanie dla nawigatora. Wymaga ono głę-

bokiej znajomości astronomii, dlatego też wszyscy uznają, że nie jest możliwe jej określenie na morzu, przy użyciu jakichkolwiek przyrządów. Marynarze nie powinni więc trudzić się starając określić długość geograficzną, lecz raczej skupić się na obliczaniu pozycji zliczonej”. Stwierdzenie to było słuszne w jego czasach, jako że aż do XIX wieku przeciętny nawigator nie miał możliwości dokładnego określenia swojej długości geograficznej.

Żegluga po równoleżniku – Nie znając swojej długości geograficznej dawni nawigatorzy zmuszeni byli pokonywać ocean płynąc na północ lub południe do szerokości punktu docelowego, a następnie podążając wzdłuż równoleżnika, mimo że w ten sposób często musieli znacznie nadkładać drogi. Żegluga po równoleżniku była w tamtych czasach ważną umiejętnością każdego nawigatora. Metoda ta była jednak niedokładna i czas dopłynięcia do celu można było określić tylko z dokładnością do dni, a w przypadkach ekstremalnych, do tygodni.

Zaćmienia – Mniej więcej wtedy, gdy zrozumiano ruch Ziemi astronomowie pojęli, że możliwe jest określenie długości geograficznej przez porównanie czasu lokalnego z czasem na południku odniesienia. Problemem było jednak określenie czasu na południku odniesienia.

Jedną z pierwszych zaproponowanych metod polegała na obserwacji znikania satelitów Jowisza, zaćmiewanych przez planetę, którą obiegały. Metoda ta, pierwotnie zaproponowana przez Galileusza do użycia na lądzie, wymagała możliwości rozpoznawania satelitów przy użyciu potężnego teleskopu, znajomości czasów zaćmień i umiejętności utrzymywania teleskopu wycelowanego na wybrane ciało niebieskie na pokładzie małego statku na otwartym morzu. Choć używana w pojedynczych przypadkach metoda ta nie nadawała się do użycia na wodzie, głównie ze względu na kłopotliwość obserwacji (niektórzy zalecali używanie teleskopów o długości 18 lub 19 stóp) i brak dostatecznie dokładnych przepowiedni.

Przez około 200 lat dość poważnie rozważano możliwość korzystania z *deklinacji magnetycznej* w celu określania długości geograficznej. Faleiro, doradca Magellana, wierzył że może się to powieść i, dopóki nie udoskonalono chronometru, prowadzone były prace nad udoskonaleniem tego sposobu. Chociaż nie ma prostej zależności między deklinacją magnetyczną a długością geograficzną, zwolennicy tej metody byli pewni, że badania w końcu wykażą taką zależność. Wielu innych uważało z kolei, że rozwiązanie tego problemu nie istnieje. W roku 1676 Henry Bond opublikował książkę p.t. „Długość geograficzna znaleziona” w której pisał, że szerokość geograficzna i deklinacja magnetyczna mogą zostać odniesione do południka zerowego, co pozwoli określić długość geograficzną. W dwa lata później powstała książka Petera Blackborrowa p.t. „Długość geograficzna nie odnaleziona”.

Kapitanowie dobrze obeznani z wodami, po których pływali, używali deklinacji magnetycznej aby określić swoją odległość od lądu. Mimo to problem oznaczenia długości geograficznej na podstawie deklinacji magnetycznej pozostawał nie rozwiązany, a wraz z rozwojem metod odległości księżycowej i wynalezieniem chronometru zainteresowanie nim zmalało. Dysponowanie dokładną i aktualną mapą deklinacji magnetycznej w obszarach, gdzie gradient jest duży pozwoliłoby określić przybliżoną linię pozycyjną, co z kolei w wielu przypadkach umożliwiłoby określenie długości na podstawie szerokości geograficznej.

Odległości księżycowe – Pierwszą, w miarę dokładną, szerzej stosowaną metodą określania długości geograficznej na morzu była metoda odległości księżycowych, pozwalająca nawigatorowi określić czas Greenwich na podstawie dość szybko zmieniającej się pozycji księżyca w stosunku do gwiazd. Wynalezienie tej metody przypisuje się Regiomontanusowi w roku 1472 i Johnowi Wernerowi w roku 1514. Co najmniej jedno źródło podaje, że Amerigo Vespucci w roku 1497 oznaczał długość geograficzną na podstawie pozycji księżyca w stosunku do bli-

skiego ciała niebieskiego. Jedną z głównych przyczyn założenia Królewskiego Obserwatorium w Greenwich była potrzeba przeprowadzenia obserwacji niezbędnych do dostarczenia dokładniejszych prognoz położenia księżyca. Zwolennikami tej metody byli astronomowie, włącznie z Astronomem Królewskim, i jeszcze pół wieku po wynalezieniu chronometru pracowano nad jej udoskonaleniem. W roku 1802 Nathaniel Bowditch uprościł ją i jej wyjaśnienie, rozwiewając otaczającą ją tajemniczość i czyniąc zrozumiałą dla przeciętnego marynarza. Używając metody Bowditcha nawigator mógł kierować się dokładniej lub mniej dokładnie w stronę swojego celu, nie potrzebując nadkładać drogi, jak miało to miejsce przy stosowaniu żeglugi po równoleżniku. Aż do roku 1914 „American Practical Navigator” zawierał wyjaśnienie metody odległości księżycowych i potrzebne do jej stosowania tablice.

Izba Długości Geograficznej – Metoda odległości księżycowej, stosowana przy użyciu danych i narzędzi dostępnych w XVIII wieku nie satysfakcjonowała swoich użytkowników. Z powodu niedokładnie określonej długości geograficznej ludzie tracili życie, statki, ładunki. W czasie wielkich odkryć geograficznych Hiszpania i Holandia bezskutecznie ogłaszały nagrody za rozwiązanie problemu. Kiedy w mglistą noc 1707 roku eskadra brytyjskiej marynarki wojennej weszła na mieliznę, w wyniku czego życie straciło 2.000 ludzi, oficerowie marynarki handlowej i wojennej złożyli do parlamentu petycję z prośbą o działanie. W rezultacie tego w roku 1714 ustanowiono Izbę Długości Geograficznej, uprawnioną do przyznania nagrody osobie, która znajdzie sposób na określanie długości geograficznej na morzu. Próbą dla zaproponowanych metod miała być podróż do Indii Zachodnich i z powrotem. Odkrywcą systemu pozwalającego określić długość geograficzną z dokładnością do jednego stopnia pod koniec podróży miał otrzymać nagrodę w wysokości 10.000 funtów, nagroda za dokładność 40 minut wynosiła 15.000 funtów, a za dokładność 30 minut – 20.000 funtów. Nawet dziś byłyby to wysokie sumy, zaś w XVIII wieku była to fortuna.

127. Rozwój chronometru Proponowano wiele sposobów rozwiązania problemu i w miarę, jak okazywały się niezadowalające stawało się jasne, że rozwiązaniem problemu będzie utrzymywanie czasu pierwszego południka. Jednak stworzenie urządzenia, które utrzymywałoby dokładny czas podczas długiej podróży dla większości ludzi wydawało się niemożliwe. Również astronomowie byli przeciwni tej idei, uważając, że do nich należy rozwiązanie tego problemu. Istnieją nawet dowody wskazujące, że astronomowie z Izby Długości Geograficznej oszukiwali podczas prób dostarczonych im chronometrów.

Christian Huygens (1629 - 1695) był duńskim naukowcem i matematykiem. Miał on liczne osiągnięcia na polu astronomii, ale z punktu widzenia nawigatora najważniejszą z jego prac była próba skonstruowania doskonałego chronometru. Pierwszym, który proponował, żeby do odmierzenia czasu użyć wahadła był prawdopodobnie Galileusz. Huyghens zrozumiał, że zastosowanie prostego wahadła będzie błędem. Żeby tego uniknąć wynalazł on wahadło, w którym ciężarek zawieszony był na podwójnej linie przechodzącej między dwiema płytkami w ten sposób, że koniec wahadła zakreślał cykloidę.

W roku 1660 Huyghens zbudował swój pierwszy chronometr. Użył w nim swojego cykloidalnego wahadła, napędzanego sprężyną. Aby zkompensować kołysanie boczne i wzdłużne Huyghens zamontował zegar w zawieszeniu kardanowym. Dwa lata później podczas prób morskich przyrząd wypadł obiecująco. Największą słabością zegara było zmniejszanie się napięcia sprężyny w miarę jej rozkręcenia się. Huyghens kompensował ten efekt przez przymocowanie do sprężyny odwrotnie ustawionych stożków i łańcucha. W roku 1665 testy morskie chrono-

metru wykazały jego wielką dokładność, wciąż jednak zbyt małą by umożliwiła określanie długości geograficznej. W roku 1674 skonstruował dodał do swego urządzenia specjalny balans i długą sprężynę balansową. Choć był to najlepszy z dotychczas znanych zegarów, również ten ostatni chronometr Huyghensa nie nadawał się do użycia na morzu ze względu na błąd spowodowany zmianami temperatury.

John Harrison był synem cieśli, urodzonym w Yorkshire w roku 1693. W młodości, podobnie jak ojciec, zajmował się stolarstwem, ale wkrótce zainteresował się naprawą i konstruowaniem zegarów. W wieku lat dwudziestu ukończył budowę swojego pierwszego zegara wahadłowego zbudowanego z drewnianych części. Około roku 1720 Harrison zaprojektował wahadło o budowie rusztowej, nie zmieniające swojej długości przy zmianach temperatury. Aby wyeliminować zniekształcenia było ono zbudowane z prętów żelaznych i mosiężnych. Do wynalezienia stopów mających małe współczynniki rozszerzalności cieplnej większość zegarmistrzów używała wahadła wynalezionego przez Harrisona.

W roku 1728 Harrison postanowił przedstawić swoje wahadło, wynaleziony przez siebie wychwył i plany własnego chronometru morskiego Izbie Długości Geograficznej. Jednak w Londynie znany zegarmistrz, George Graham, doradził mu aby najpierw zbudował swój zegar. Harrison posłuchał tej rady i w roku 1753 przedłożył Izbie swój chronometr nr 1 (rys. 127). Izba zarządziła próbę morską na HMS „Centurion”. W następnym roku statek popłynął w rejs do Lizbony z zegarem Harrisona na pokładzie. Kiedy powrócił błąd wynosił trzy minuty długości – wynik ten zaskoczył członków Izby. Jednak chronometr był niewygodny i ciężki, zamknięty w szklanym naczyniu ważył około 65 funtów i Izba postanowił przyznać Harrisonowi tylko 500 funtów na zrobienie bardziej praktycznego zegara.

Przez kilka następnych lat powstały dwa inne chronometry, bardziej wytrzymałe i mniej skomplikowane, nie istnieją jednak zapiski na temat ich oceny przez Izbę Długości Geograficznej. Harrison nadal poświęcał swoje życie konstruowaniu dokładnego zegara do użycia przy określaniu długości geograficznej. Ostatecznie, już w podeszłym wieku zbudował swój numer 4. Po raz kolejny udał się z nim przed Izbę i znowu zorganizowano próbę. W listopadzie 1761 HMS „Deptford” wypłynął do Jamajki z numerem 4 na pokładzie pod opieką syna Harrisona, Williama. Po przybyciu na miejsce, po trwającej dwa miesiące podróży zegar późnił się tylko o dziewięć sekund (co odpowiada 2.25 minut długościowych). W czerwcu 1762 roku chronometr na pokładzie HMS „Merlin” pożegłował z powrotem do Anglii. Kiedy w kwietniu tego roku Merlin zakotwiczył na angielskich wodach, całkowity błąd chronometru wynosił 1 minutę 54.5 sekundy. Odpowiadało to mniej niż pół stopnia długości, mniej, niż najdrobniejszy błąd, za który Izba miała przyznać największą nagrodę. Harrison zażądał całych dwudziestu tysięcy funtów lecz Izba, której przewodniczącym był Astronom Królewski nalegała na kolejny test.

W marcu 1764 Wiliam Harrison ponownie wypłynął z numerem 4 do Barbados. Podczas prawie czteromiesięcznego rejsu chronometr mylił się tylko o 54 sekundy, to jest 13.5 minuty długości geograficznej. Mimo, że astronomowie z Izby niechętnie podpisali jednomyślne oświadczenie, że chronometr Harrisona przeszedł wszelkie oczekiwania, wciąż nie chcieli wypłacić mu pełnej nagrody. Wypłacono mu kolejne pięć tysięcy funtów pod warunkiem, że przedstawi plany w celu zbudowania podobnych chronometrów. Nawet kiedy zostało to zrobione, Izba opóźniła wypłatę do czasu, aż jeden z jej członków zbuduje chronometr na podstawie dostarczonych planów. Reszta nagrody została wypłacona dopiero po interwencji króla, w roku 1773, kiedy Harrison miał już 80 lat.

W roku 1766 Pierre LeRoy zbudował chronometr, który odtąd stał się podstawą wszystkich przyrządów tego typu. Kilka wynalazków LeRoya uczyniło jego chronometr zegarem opisywanym jako „arcydzieło prostoty połączonej ze sprawnością”. Innymi, którzy przysłużyli się sztuce robienia zegarów byli Ferdinand Berthoud z Francji i Thomas Mudge z Anglii, z których każdy stworzył nowy wychwyty. Koło balansowe zostało ulepszone przez Johna Arnolda, który wynalazł wychwyty wolny (niecofający), taki sam jak używany obecnie. Niezależnie od niego również Thomas Earnshaw wynalazł podobny wychwyty. Zbudował on pierwszy względnie tani, wiarygodny chronometr. Urządzenie wykonane przez Izbę Długości Geograficznej na podstawie planów Harrisona kosztowało 450 funtów, zaś wynalazek Earnshawa 45.

Ponad sto lat temu popularne stały się czasomierze dostarczające nawigatorowi informacji nie tylko o czasie. Jedne pokazywały czas wysokiej i niskiej wody, stan pływu w dowolnym momencie i fazę księżyca, inne podawały równanie czasu oraz pozorny ruch gwiazd i planet albo położenie Słońca, czas gwiazdny i średni. Jednak chronometry produkowane przez LeRoya i Earnshawa należały do tych, które miały największą wartość dla nawigatora – dostarczały mu prostą i wiarygodną metodę określania długości geograficznej.

Sygnaly czasu, pozwalające marynarzowi na morzu określić stan chronometru są wynalazkiem dwudziestowiecznym. Telegraficzne sygnaly czasu zostały wprowadzone w USA pod koniec wojny secesyjnej. Umożliwiły one statkom przebywającym w portach sprawdzanie chronometrów dzięki kulom sygnałowym służby czasu. Przedtem aby umożliwić takie porównywanie od portu do portu wożono „standardowy” chronometr marynarki. W swojej najbardziej zaawansowanej postaci kule sygnałowe były uruchamiane telegraficznie. W roku 1904 rozpoczęto pierwszą oficjalną bezprzewodową transmisję sygnałów czasu ze stacji marynarki w Navesink, NJ. Były to sygnaly o niedużej mocy, mogły być one słyszane z odległości około 50 mil. Pięć lat później zasięg podwojono, a ponieważ inne kraje zaczęły również nadawać sygnaly czasu więc wkrótce nawigatorzy mogli sprawdzać swoje chronometry na całym świecie.

Tak zakończyły się poszukiwania długości geograficznej.

128. Ustanowienie południka zerowego Do początku XIX wieku kartografowie nie byli jednomyślni w ustalaniu południka, od którego należałoby wyznaczać długość geograficzną. Nawigatorzy nie byli szczególnie zainteresowani tą kwestią, ponieważ nie mieli możliwości określania swojej długości.

W II w. n.e. Ptolemeusz mierzył długość na wschód od południka odniesienia będącego dwa stopnie na zachód od Wysp Kanaryjskich. W roku 1493 papież Aleksander VI wykreślił na Atlantyku linię na zachód od Azorów oddzielając terytoria hiszpańskie od portugalskich, właśnie ten południk był przez wiele lat stosowany przez kartografów obu krajów. W roku 1570 Duńczyk Ortelius używał południka przechodzącego przez najdalej na wschód wysunięty punkt wysp Capo Verde. W roku 1594 John Davis w „Sekretach marynarza” napisał, że jako punktu odniesienia używa się wyspy Fez na Kanarach ponieważ deklinacja magnetyczna w tym miejscu wynosi zero. Marynarze jednak przywiązywali do tego małą uwagę i po określeniu długości geograficznej od kilku różnych portów i przylądków polegali na ostatnim wiarygodnym ustaleniu.

Południk przechodzący przez Londyn został zastosowany już w roku 1676. Później, w miarę, jak rosły angielskie zainteresowania morskie, rosła jego popularność. System mierzenia długości geograficznej na wschód i zachód do 180 stopni po raz pierwszy pojawił się

prawdopodobnie w XVIII wieku. Do końca tego stulecia, w miarę, jak obserwatorium w Greenwich zdobywało na znaczeniu, angielscy kartografowie używali jego południka jako punktu odniesienia. Obserwatorium to umocniło swoją pozycję, jako południk zero, przez wydanie pierwszego brytyjskiego rocznika astronomicznego. W roku 1810 uczyniono nieudaną próbę uczynienia Waszyngtonu południkiem zerowym dla amerykańskich nawigatorów i kartografów. W roku 1884 międzynarodowa konferencja w Waszyngtonie, w której uczestniczyło 25 państw, potwierdziła oficjalnie znaczenie Greenwich jako południka zerowego. Obecnie wszystkie kraje morskie podporządkowują się tej zasadzie, za wyjątkiem kilku przypadków, kiedy na mapach portów używa się lokalnych południków odniesienia.

129. Obserwatoria astronomiczne Prymitywne obserwatoria istniały już tysiące lat przed narodzeniem Chrystusa, już wtedy astronomowie konstruowali prymitywne tablice, przodkowie współczesnych roczników astronomicznych. Pierwszym „prawdziwym” obserwatorium był obiekt w Aleksandrii, zbudowany w III w. p.n.e.. Jednak Egipcjanie, podobnie jak Babilończycy i Chińczycy, badali niebo już wieki wcześniej. Podstawowym przyrządem używanym przez pierwszych astronomów była *sfera armilarna* (rys. 129a). Składała się ona ze sferycznego szkieletu z kilkoma ruchomymi pierścieniami, które można było ustawić tak, aby wskazywały orbity różnych ciał niebieskich. Pewne źródło przypisuje ten wynalazek Erastotenesowi w III w. p.n.e., inne podaje, że Chińczycy znali je 2000 lat wcześniej, podobnie jak zegar wodny i pewien rodzaj astrolabium. Obserwatorium aleksandryjskie stanowili przez kilka wieków centrum wiedzy astronomicznej w świecie zachodnim. Tam Hipparch odkrył precesję punktów równonocy, a Ptolemeusz wykonał pracę, która doprowadziła go do stworzenia *Almagestu*.

W średniowieczu nie ustały badania astronomiczne. W IX n.e. Arabowie wzniesli obserwatoria w Bagdadzie i Damaszku, następnie w Kairze i północno-zachodniej Persji. Maurowie przenieśli wiedzę astronomiczną Arabów do Hiszpanii, a stworzone w 1080 roku „Tablice z Toledo” były rezultatem przebudzenia się zainteresowań naukowych, które w X wieku doprowadziły do założenia szkół astronomicznych w Kordobie i w Toledo

Na początku XV wieku rozpoczęło się pasmo wielkich odkryć geograicznych, a jedną z osób które rozumiały potrzebę większej precyzji w nawigacji był portugalski książę Henryk Żeglarz. Około roku 1420 zbudował on obserwatorium w Sagres, dzięki czemu jego kapitanowie mogli dysponować dokładniejszymi danymi. Ekspedycje hydrograficzne księcia Henryka wzbogaciły wiedzę geograficzną marynarzy. Był on odpowiedzialny za uproszczenie wielu przyrządów nawigacyjnych.

Obserwatorium w Sagres było proste, i dopiero w roku 1472 zbudowano pierwsze w Europie kompletniejsze obserwatorium. W tym roku Bernard Walther, bogaty astronom, zbudował obiekt w Norymberdze i powierzył go kierownictwu Regiomontanusa. Regiomontanus czyli Johann Muller, dostarczył astronomii danych o największym znaczeniu dla nawigatora.

Zbudowane w 1561 roku obserwatorium w Cassel posiadało obrotową kopułę i urządzenie pozwalające mierzyć jednocześnie azymut i wysokość ciała niebieskiego. W roku 1753 otwarto obserwatorium w Uranimburgum Tychona Brahe, znajdujące się na duńskiej wyspie Hveen. Wyniki odkryć tam poczynionych znacznie wzbogaciły wiedzę nawigacyjną. Przed odkryciem teleskopu astronomowie mogli powiększyć dokładność swoich obserwacji tylko przez używanie większych instrumentów. Brahe używał kwadrantu o promieniu 19 stóp, dzięki niemu mógł mierzyć wysokość z dokładnością 0,6', co było niespotykaną w tamtych czasach precyzją.

Posiadał on również przyrząd (rys. 129b) pozwalający jednocześnie wyznaczać wysokość i azymut. Po Brahem z obserwatorium i z notatek tego uczonego korzystał Kepler określając prawa nazwane jego imieniem.

Teleskop, najważniejszy przyrząd współczesnego astronoma został wynaleziony około roku 1608 przez Hansa Lippersheya. Galileusz dowiedział się o tym wynalazku i wkrótce zajął się jego udoskonalaniem. W roku 1610 odkrył on cztery największe księżycy Jowisza, co zaowocowało metodą określania długości geograficznej na podstawie ich zaćmień, metody przez wiele lat z powodzeniem stosowanej na lądzie i eksperymentalnie używanej na morzu. Ostatecznie Galileusz zbudował teleskop o 32-krotnym powiększeniu, pozwalający na wyraźną obserwację ruchu plam na Słońcu, dzięki czemu udowodnił on, że Słońce obraca się dookoła własnej osi. W roku 1671 w Paryżu założono Francuskie Obserwatorium Narodowe.

Królewskie Obserwatorium w Greenwich – Dawniej Anglia nie miała obserwatoriów utrzymywanych z prywatnych funduszy, jak było to na kontynencie. Potrzebę postępu w nawigacji ignorował Henryk VIII i Elżbieta I, ale w roku 1675 Karol II, zachęcony przez Johna Flamsteeda, Jonasa Moore'a, Le Sieur de Saint-Pierre i Christophera Wrena założył Królewskie Obserwatorium w Greenwich. Karol II ograniczył wydatki na budowę obserwatorium do 500 funtów i wyznaczył Flamsteeda pierwszym Królewskim Astronomem, z pensją 100 funtów rocznie. W pierwszych latach wyposażenie obserwatorium stanowiły dwa zegary, sekstant o średnicy siedmiu stóp, kwadrant o średnicy trzech stóp, dwa teleskopy i katalog gwiazd wydany prawie sto lat przed Tychonem Brahe. Musiało minąć trzynaście lat zanim Flamsteed dysponował przyrządem pozwalającym mu dokładnie określić swoją szerokość geograficzną. W roku 1690 Romer wynalazł przyrząd wyposażony w teleskop i noniusz, później dodał do niego jeszcze pionowy pierścień. To pozwoliło astronomowi jednocześnie określać deklinację i rektascencję. Obserwatorium w Greenwich otrzymało jeden z tych przyrządów, zastępując nim dotąd używany wielki kwadrant. Rozwój i udoskonalanie chronometrów w ciągu kilku stuleci jeszcze bardziej zwiększyły dokładność obserwacji.

W następnych latach tworzone inne narodowe obserwatoria astronomiczne – w roku 1705 w Berlinie, w roku 1725 w Petersburgu, w roku 1790 w Palermo, następnie w roku 1820 na Przylądku Dobrej Nadziei, a w roku 1822 w Parramacie w Nowej Południowej Walii i w Sydney w 1855.

Obserwatorium Marynarki Stanów Zjednoczonych – Pierwsze obserwatorium w Stanach Zjednoczonych zbudowano w latach 1831 - 1832 w Chapel Hill, N.C. Skład Map i Przyrządów, założony w roku 1830 był agencją z której 36 lat później wyewoluowało Biuro Hydrograficzne Marynarki Wojennej Stanów Zjednoczonych. Około roku 1835, kiedy Składem kierował porucznik Charles Wilkes zainstalowano mały przyrząd do oceniania chronometrów. Mallory Act z roku 1842 sprawił, że założono stałe obserwatorium, którego dyrektor był upoważniony do zakupywania wszystkich przyrządów potrzebnych do kontynuowania badań astronomicznych. Zostało ono ukończone w roku 1844, a wyniki pierwszych obserwacji opublikowano już dwa lata później. W roku 1866 Kongres nadał Obserwatorium Marynarki status odrębnej agencji. W roku 1873 zainstalowano teleskop refrakcyjny o ogniskowej 26 cali, wówczas największy w świecie. Obiekt, mieszczący się w Waszyngtonie zajmuje swoją obecną siedzibę od roku 1893. Mount Wilson Observatory Waszyngtońskiego Instytutu Carnegie powstało w latach 1904 - 1905. Stuczalowy teleskop reflektorowy dał szersze spojrzenie na sferę niebieską i pozwolił astronomom badać ruchy ciał niebieskich z większą niż dotychczas dokładnością. Wciąż jednak potrzebne było jeszcze dokładniejsze urządzenie i w roku Palomar Mountain

Observatory otrzymało 200-calowy teleskop reflektorowy. Kosztujące 6.000.000 dolarów obserwatorium zostało zbudowane przez Rockefeller General Education Board dla California Institute of Technology, zajmującej się również Mount Wilson Observatory. Dwustucalowy teleskop pozwolił obserwować pojedyncze gwiazdy odległe o 20 000 000 lat świetlnych i galaktyki znajdujące się w odległości 1 600 000 000 lat świetlnych.

Podobnie jak w przypadku wcześniejszych przyrządów, teleskop niemalże osiągnął praktyczne granice wielkości. Współczesne wysiłki zmierzają w celu zastosowania w teleskopie mikroskopu elektronowego, co pozwoli zwiększyć zasięg obecnych przyrządów.

130. Roczniki astronomiczne Od najdawniejszych czasów astronomowie notowali wyniki swoich obserwacji. Przez wieki na podstawie tych obserwacji powstawały tablice. Przykładem może być praca Hipparchusa w II wieku p.n.e. i Ptolemeusza w jego „Almageście”. Później w roku 1080 ukazały się „Tablice Toledańskie” a w roku 1252 „Tablice Alfonsyna”. Jednak, ponieważ nie znano wtedy jeszcze druku, istniało niewiele kopii nawet tych późniejszych tablic, natomiast istniejące znajdowały się w rękach astronomów. Dopiero w XV wieku wydrukowano i udostępniono astronomom pierwsze roczniki astronomiczne. Pierwszy rocznik astronomiczny został wydany w roku 1457 w Wiedniu przez George’a Purbacha. Piętnaście lat później Obserwatorium Norymberskie pod kierownictwem Regiomontanusza stworzyło pierwsze efermerydy, które wydawano do roku 1506. Tabele te dostarczały wielkim odkrywcom tamtych czasów najdokładniejszych możliwych informacji. W roku 1474 Abraham Zacuto wydał „Almanach Perpetuum” (rys. 130a), zawierający tablice deklinacji słonecznej w najbardziej jak dotąd użytecznej dla nawigatora formie. „Tabulae Prutenicae”, pierwsze tabele wyliczone według reguł kopernikańskich zostały opublikowane w roku 1551 przez Erasmusa Reinholda. Dawały one marynarzowi jaśniejszy obraz ruchów ciał niebieskich niż jakakolwiek dotąd dostępna publikacja. Prace Brahe i Keplera w Obserwatorium Uraninburgum dostarczyły podstaw do wydania w roku 1627 Tablic Rudolfińskich.

Wciąż jednak informacja zawarta w tych książkach przeznaczona była przede wszystkim do użytku astronomów, więc nawigator musiał wozić ze sobą tablice, które tylko częściowo były mu przydatne w jego pracy. Pierwszy oficjalny rocznik astronomiczny, zatytułowany „Connaissance des Temps” został wydany w roku 1696 przez Francuskie Obserwatorium Narodowe. Obserwatorium Francuskie osiągnęło największe znaczenie podczas dwudziestu lat, kiedy kierował nim Urbain Leverrier.

W roku 1767 po raz pierwszy wydano brytyjski rocznik astronomiczny przeznaczony dla nawigatorów. Ówczesny Astronom Królewski, Nevil Maskelyne, dostarczył nawigatorom najlepszych dostępnych informacji. Książka zawierała tablice deklinacji słonecznej i poprawki do obserwowanej wysokości Polaris. Zawierała ona też pozycję księżyca względem innych ciał niebieskich w odstępach dwunastogodzinnych, zaś tabele odległości księżycowych podawały odległość kątową pomiędzy księżycem a pewnymi innymi ciałami w odstępach trzygodzinnych.

Przez prawie sto lat amerykańscy nawigatorzy używali rocznika brytyjskiego, jednak w roku 1852 Skład Map i Przyrządów opublikował pierwszy amerykański rocznik na rok 1855.

Wadą pierwszych amerykańskich roczników astronomicznych była nadmierna szczegółowość w jednych dziedzinach i brak istotnych danych w innych. Deklinację podawano z dokładnością do dziesiątej części sekundy, a równanie czasu z dokładnością do setnej części sekundy. Większość liczb podawano jedynie dla południa w Greenwich, więc żeby przeliczyć

te dane na określoną godzinę na długości geograficznej obserwatora trzeba było stosować skomplikowane interpolacje. Odległości księżycowe podawano w odstępach trzygodzinnych i brakowało danych o gwiazdach (rys. 130b).

Od roku 1858 amerykański rocznik nawigacyjny był wydawany bez części zawierającej efemerydy, która miała znaczenie głównie dla astronomów. Do roku 1908 pozycje jaśniejszych gwiazd podawano tylko dla pierwszego czerwca względem południka Waszyngtonu. Poczynając od tego roku pozorne położenia 55 głównych gwiazd było podawane dla pierwszego dnia każdego miesiąca. W roku 1912 pominięto tabele odległości księżycowych. W roku 1919 dodano tablice wschodów i zachodów Słońca.

Jedną z większych niedogodności związanych z używaniem starych almanachów była doba astronomiczna, zaczynająca się w południe doby cywilnej o tej samej dacie. System ten porzucono w roku 1925 i Stany Zjednoczone przyjęły określenie „czas cywilny” na określenie czasu wyrażanego w nowym systemie. Gryniczowski kąt godzinny księżyca po raz pierwszy został podany w „Lunar Ephemeris for Aviators” na ostatnie cztery miesiące roku 1929. W roku 1931 publikacja ta stała się załącznikiem do Rocznika Astronomicznego, a w roku 1932 obie publikacje połączono.

W roku 1933 opublikowano „The Air Almanac”, zaprojektowany przez kpt. P.V.H. Weemsa. Publikacja ta podawała gryniczowski kąt godzinny dla wszystkich wymienionych ciał niebieskich. W roku 1934 informację tę podano w almanachu nautycznym i zaprzestano wydawania rocznika astronomicznego dla lotnictwa. Pierwszy brytyjski rocznik astronomiczny dla lotnictwa został wydany na ostatni kwartał roku 1937 i zmodyfikowany na rok 1939, zawierający cechy ściśle wzorowane na „American Air Almanac” na rok 1941. W roku 1950 ukazał się poprawiony „Nautical Almanac”, wzorowany na popularnej publikacji „American Air Almanac”. Począwszy od wydania z roku 1953 brytyjski i amerykański rocznik astronomiczny dla lotnictwa zostały połączone w jedną publikację. W tym roku Stany Zjednoczone zaczęły używać określenia „czas średni” zamiast „czas cywilny”. W roku 1958 połączono brytyjski i amerykański almanach nautyczny i w roku 1960 nazwa została ujednolicona.

131. Trójkąt nawigacyjny Współcześnie nawigatorzy przeliczają wyniki obserwacji ciał niebieskich rozwiązując trójkąt, którego wierzchołkami jest widoczny biegun, ciało niebieskie i zenit obserwatora. Jego bokami jest odległość biegunowa ciała niebieskiego (dopełnienie deklinacji), jego odległość zenitalna (dopełnienie wysokości) i odległość biegunowa zenitu (dopełnienie szerokości geograficznej obserwatora).

Odległości księżycowe Po raz pierwszy trójkąta sferycznego użyto w nawigacji przy rozwiązywaniu problemów odległości księżycowej. Wykonywano równoczesne lub prawie równoczesne obserwacje wysokości Księżyca i Słońca albo gwiazdy będącej blisko ekliptyki oraz odległość kątową pomiędzy Księżycem a innym ciałem niebieskim. Zenit obserwatora i dwa ciała niebieskie tworzyły wierzchołki trójkąta, którego bokami były oba dopełnienia wysokości i odległość kątowa pomiędzy ciałami. Przy użyciu obliczeń nawigator „oczyszczał” tę odległość z błędów takie jak wpływ refrakcji i paralaksy dla każdej z wysokości. Poprawioną wartością wchodziło do rocznika, który podawał prawdziwą odległość księżycową dla Słońca i kilku gwiazd w odstępach trzygodzinnych.

Poprzednio problem ten rozwiązywano w ten sposób, że nawigator ustawiał na swoim zegarze (który w krótkich okresach czasu dawał wiarygodne wskazania) czas miejscowy określony na podstawie obserwacji astronomicznych. Odczytany z zegara miejscowy czas średni,

odpowiednio poprawiony, porównany z czasem Greenwich określonym na podstawie obserwacji odległości księżycowych pozwalał określić długość geograficzną.

Obliczenia matematyczne stosowane podczas stosowania tej metody były żmudne i mało który marynarz był w stanie rozwiązać odpowiedni trójkąt sferyczny, dopóki w roku 1802 Nathaniel Bowditch nie opublikował swojej uproszczonej metody w „The New American Practical Navigator”. W tamtych czasach chronometry były już wystarczająco dokładne, ale ich wysoka cena nie pozwalała na powszechne użycie na obiektach pływających. Jednak używając metody Bowditcha większość nawigatorów po raz pierwszy mogła określić swoją długość geograficzną, w ten sposób eliminując potrzebę żeglugi po równoleżniku i związanej z tym straty czasu. Popularności metody odległości księżycowej dowodzi fakt, że że tabelę potrzebne do jej rozwiązywania były zawarte w amerykańskim roczniku astronomicznym do drugiej połowy XX wieku.

Oddzielny problem stanowiło określanie szerokości geograficznej. Radzono sobie z tym obserwując Gwiazdę Polarną lub wysokość południkową.

Metoda wysokościowa – Teoria metody wysokościowej była znana matematykom od początków trygonometrii sferycznej, jednak przed stworzeniem chronometru nie mogła być stosowana przez marynarzy.

Metoda ta używa współczesnego trójkąta nawigacyjnego. Dopełnienie deklinacji, czyli odległość biegunowa ciała niebieskiego może być określona na podstawie rocznika astronomicznego. Odległość zenitalna czyli dopełnienie wysokości wyznacza się na podstawie obserwacji. Jeśli znane jest dopełnienie szerokości, znane są także trzy boki trójkąta. Na tej podstawie można obliczyć kąt godzinny, który porównany z grynichowskim kątem godzinnym odczytanym z rocznika astronomicznego daje długość geograficzną.

Metoda wysokościowa była poprawna z matematycznego punktu widzenia, jednak nawigatorzy nie zawsze byli świadomi, że dokładność określenia długości geograficznej zależała od dokładności określenia szerokości, a także że razem dawały one tylko punkt na tym, co dzisiaj znane jest jako linia pozycyjna. Jeśli obserwowane ciało znajdowało się na pierwszym wertykale linia przebiegała w kierunku północno-południowym i mały błąd szerokości miał nieduży wpływ na długość geograficzną. Jednak jeśli ciało niebieskie było blisko południka mały błąd w określeniu szerokości powodował poważny błąd w długości.

Astronomiczna linia pozycyjna została wynaleziona w roku 1837 przez trzydziestoletniego kapitana Thomasa H. Sumnera, absolwenta Harvardu, syna kongresmena z Massachusetts. Odkrycie „linii Sumnera”, jak ją się czasem nazywa zostało uznane przez Maury’ego za „początek nowej ery w praktycznej nawigacji”. Według słów samego Sumnera odkrycia tego dokonał on w następujący sposób:

„Wypłynąwszy z Charleston 25 października 1837 płynęliśmy w kierunku Greenock. Seria silnych wiatrów z kierunku zachodniego obiecywała szybkie przejście. Po minięciu Azorów przeważał wiatr południowy i mglista pogoda. Po minięciu południka 21 długości zachodniej nie dokonywaliśmy żadnych obserwacji aż do czasu, kiedy znaleźliśmy się blisko lądu. Sondowania wskazywały jednak, że nie znajdowaliśmy się daleko, jak sądziliśmy, od krawędzi ławicy. Teraz pogoda stała się gorsza i bardziej mglista, a wiatr wiał wciąż południowy. Kiedy około północy 17 grudnia płynąc na zliczeniu zbliżyliśmy się na odległość 40 mil do światła Tusker wiatr wiał z kierunku północno-wschodniego w związku z czym wybrzeże Irlandii było brzegiem zawietrzny. Następnie statek zaczął iść ostrzejszym wiatrem i wykonaliśmy kilka zwrotów żeby o ile to możliwe zachować pozycję. Kiedy nie było nic widać sterowaliśmy ENE

z silnym wiatrem. Około godziny dziesiątej została zmierzona wysokość Słońca i odczytany chronometr, ale ponieważ płynęliśmy tak długo bez żadnej obserwacji więc było jasne, że szerokość otrzymana ze zliczenia mogła być niedokładna i nie mogliśmy na niej polegać.

Jednak używając tej szerokości wyliczona długość okazała się być 15 minut na wschód od pozycji otrzymanej ze zliczenia, co na szerokości 52 stopni odpowiada 9 milom, co wydawało się dość dobrze zgadzać z pozycją otrzymaną ze zliczenia. Jednak ponieważ nie było pewności co do szerokości obserwacja została spróbowana z szerokością 10 minut dalej na północ i okazało się, że to spowodowało, że otrzymana pozycja statku znajdowała się 27 mil morskich na ENE od poprzedniej pozycji, następnie spróbowałem raz jeszcze z szerokością oddaloną o 20 minut na północ, co dało pozycję statku przesuniętą o kolejne 27 mil w kierunku ENE. Te trzy pozycje wydawały się układać w kierunku światła „Small’s light”. Wtedy okazało się, że obserwowana wysokość Słońca musiała zdarzyć się we wszystkich trzech punktach, oraz że światło „Small’s light” musi znajdować się w kierunku ENE, jeśli chronometr pokazywał prawdziwy czas. Będąc przekonany, że to jest prawdą utrzymywałem statek na kursie ENE przy wietrze wciąż wiejącym z SE i po mniej niż pół godziny zauważyliśmy światło „Small’s light” w namiarze ENE 1/2 E w małej odległości od statku.

W roku 1843 Sumner opublikował swoją książkę pod tytułem „Nowa i dokładna metoda znajdowania pozycji statku na morzu przez projekcję na mapie Merkatora”. Książka ta spotkała się z gorącym przyjęciem. W książce tej Sumner proponował, żeby pozycję z metody wysokościowej liczyć dwa razy – dla szerokości trochę większej i trochę mniejszej od tej wynikającej ze zliczenia.. Następnie łącząc dwie tak otrzymane pozycje można otrzymać coś w rodzaju linii pozycyjnej. Ważne jest, że Sumner mógł wprowadzić tę rewolucyjną zasadę bez potrzeby rezygnacji z metody, której marynarze używali od lat. Prawdopodobnie rozumiał on, że można wyprowadzić lepszą metodę, ale gdyby zaproponował on całkowite porzucenie znanej metody naigatoryz nie zaakceptowałiby tego tak łatwo.

Metoda Sumnera wymagała dwukrotnego rozwiązania obserwacji w celu otrzymania linii pozycyjnej. Wielu starszych nawigatorów preferowało zamiast wykreślenia na linii na mapie wyliczanie ich pozycji matematycznie, metodą również wyprowadzoną przez Sumnera i opisaną w jego książce. Była to metodą skomplikowana ale popularna. Polecał ją Lecky i była ona wciąż używana na początku XX wieku.

Alternatywą dla dwukrotnego określania pozycji było określanie azymutu ciała niebieskiego i wykreślanie linii prostopadłej do niego przechodzącej przez punkt otrzymany w wyniku pojedynczej obserwacji. Kilka dziesięcioleci po ukazaniu się książki Sumnera metoda ta stała się dostępna dla nawigatorów, kiedy opublikowano dokładne tablice azymutów. Przykład zastosowania tej metody znajduje się w wydaniu „American Practical Navigator” z roku 1943. Dwuminutowe tablice azymutów wciąż znajdujące się na wielu statkach zostały stworzone pierwotnie właśnie w tym celu. Matematyczne obliczanie azymutu nie było pierwotnie częścią metody wysokościowej.

132. Nowoczesne metody astronawigacyjne Sumner dał marynarzom astronomiczną linię pozycyjną, St.-Hilaire metodę wysokościową. Inni, którzy nastąpili po nich zastosowali ich zasady dostarczając nawigatorom szybkich metod określania pozycji. Wynalezione przez nich nowe metody nawigacyjne, choć oparte na dawniejszych pracach są przede wszystkim produktem XX wieku.

400 lat temu Pedro Nunes użył globusu aby otrzymać pozycję na podstawie dwu zaob-

serwowanych wysokości Słońca. Pięćdziesiąt lat później Robert Hues określił swoją szerokość geograficzną na globusie korzystając z dwu obserwacji i czasu między nimi. G.W.Littlehales z Biura Hydrograficznego Marynarki Wojennej Stanów Zjednoczonych opowiadał się za zastosowaniem projekcji stereograficznej w celu otrzymania wysokości i azymutu zliczonego w opublikowanej w roku 1906 książce „Wysokość, azymut i pozycja geograficzna”.

Oprócz tego proponowano wiele różnych metod graficznych i mechanicznych. Spośród nich tylko jedna, krzywe wysokości gwiazd, opracowana przez kapitana P.V.H. Weemsa z Marynarki Wojennej Stanów Zjednoczonych była szerzej używana, zwłaszcza wśród lotników. Podczas II wojny światowej niektóre samoloty były wyposażone w przyrząd nazywany „astrografem”, który wyświetlał z kliszy na specjalnym arkuszu zliczeniowym krzywe wysokości gwiazd. Krzywe te mogły być przesuwane by uwzględnić ruch obrotowy Ziemi. Kiedy zostały one prawidłowo zorientowane część linii pozycyjnej mogła być wykreślona na arkuszu zliczeniowym. Powszechniej jednak trójkąt nawigacyjny rozwiązywano matematycznie lub z użyciem tabel.

Trygonometria sferyczna jest podstawą rozwiązywania każdego trójkąta nawigacyjnego. Jeszcze osiemdziesiąt lat temu nawigator nie miał wyboru i musiał rozwiązywać każdy trójkąt samemu. Wzór cosinusów jest podstawowym wzorem trygonometrii sferycznej mogącym posłużyć do wygodnego rozwiązania trójkąta nawigacyjnego. Wzór ten jest powszechnie używany w metodzie odległości księżycowej, gdzie został wprowadzony po raz pierwszy, ale ze względu na niejasne rozwiązania otrzymywane przy azymutach biskich 90 lub 270 stopni matematycy zwrócili się w stronę funkcji haversinus, której zaletą jest zwiększenie od 0 do 180 stopni. Wzór cosinusów-haversinusów był używany przez nawigatorów do niedawna.

Pod koniec XIX wieku zaczęły pojawiać się metody „skrócone”. Około roku 1875 A.C.Johnson z British Royal Navy opublikował swoją książkę „O znajdowaniu szerokości i długości geograficznej przy pochmurnej pogodzie”. Metoda Johnsona nie wymagała kreślenia, zamiast tego wykorzystywała zasadę polegającą na jednokrotnym obliczeniu metody wysokościowej (zamiast dwukrotnego, jak to proponował Sumner) i przeprowadzeniu linii pozycyjnej przez tak określony punkt.

W roku 1879 Percy L.H.Davis z Brytyjskiego Biura Roczniaka Astronomicznego i kapitan J.E.Davis pracowali nad „Namiarem rzeczywistym na Słońce albo tablicą azymutów”, pozwalającą nawigatorowi wykreślić linię pozycyjną przy użyciu obliczonego azymutu. „Tablice chronometru”, opublikowane dwadzieścia lat później przez Percy Davisa obejmowały szerokości do 50 stopni i podawały wartości miejscowego kąta godzinowego dla wybranych wysokości z dokładnością do jednej minuty kątowej. W roku 1905 opublikowano jego „Requisite Tables”, pozwalające „rozwiązywać trójkąty sferyczne z trzema zmiennymi błędami”.

Były to pierwsze ze znacznej liczby „krótkich” rozwiązań które nastąpiły po pracy Marcq St.-Hilairego. Ogólnie składały się one z przystosowanych wzorów trygonometrii sferycznej i i wygodnie zorganizowanych tablic. Przyjęło się, że takie metody dzielą trójkąt nawigacyjny na dwa prostokątne trójkąty sferyczne rzucając z jednego wierzchołka na przeciwległy bok wysokość. W niektórych metodach wykonywane są częściowe obliczenia a ich wyniki umieszczane są w tabelach. Niektóre z takich metod zostały stworzone przez takie osoby, jak Aquino i Braga z Brazylii; Ball, Comrie, Davis i Smart z Anglii; Bertin, Hugon i Souillagouet z Francji, Fuss z Niemiec, Ogura i Yonemura z Japonii, Blackburn z Nowej Zelandii, Pinto z Portugalii, Garcia z Hiszpanii oraz Ageton, Driesenstok, Gingrich, Rust i Weems ze Stanów Zjednoczonych. Chociaż tablice z gotowymi rozwiązaniami znacznie wyparły te metody wiele

z tych „krótkich” metod jest wciąż używane. Ich mocną stroną jest niewielki rozmiar tablic i uniwersalność zastosowań. Stanowią one etap pośredni między poprzednimi skomplikowanymi obliczeniami i szybkimi w użyciu tablicami. Ich zaletę stanowi, że zachęcają one nawigatora do pracy z praktyczną precyzją. Wcześniejszy zwyczaj pracy z precyzją nie usprawiedliwioną dokładnością posiadanych informacji stwarzał fałszywe poczucie bezpieczeństwa, zwłaszcza w przypadku mniej doświadczonych nawigatorów.

Tabela z gotowymi rozwiązaniami, z której można odczytać odpowiedź nie jest nowym pomysłem. Zainteresowanie taką metodą wyrażał powszechnie uważany za ojca wielu nowoczesnych metod nawigacyjnych lord Kelvin. Jednak ręczne rozwiązanie tysięcy trójkątów uczyniłoby taki projekt zbyt drogim. Dopiero komputer umożliwił stworzenie tablic. W roku 1936 wydano pierwszy tom publikacji nr 214, zaś później z myślą o nawigatorach powietrznych wydano publikację nr 249. Admiralicja Brytyjska wydała swoje edycje obu zestawów tablic. Publikacja nr 214 była też wydana przez Instituto Hydrographico de la Marina w Kadyksie w Hiszpanii i Istituto Idrografico della Marina w Genewie we Włoszech.

Elektronika i nawigacja

133. Elektryczność Już dwa tysiące pięćset lat temu Tales z Miletu opisywał podstawowe zjawiska elektryczne. Minęło jednak dwa tysiące lat zanim człowiek zrozumiał elektryczność i zastosowania, w jakich można z niej korzystać.

Przed rokiem 1682 jedyną znaną metodą wytwarzania elektryczności było pocieranie szkła jedwabiem albo bursztynu wężą. Wtedy Otto von Guericke z Magdeburga wynalazł „maszynę elektryczną”, która umożliwiła wytwarzanie elektryczności w celach eksperymentalnych. Butelka lejdejska, rodzaj kondensator elektrycznego używanego jeszcze dziś powstała w roku 1745, kiedy zasada jej działania została przypadkowo odkryta niezależnie od siebie przez P. van Musschenbroeka z Uniwersytetu Lejdejskiego i von Kleista.

Około roku 1729 Stephen Gray demonstrował różnicę między przewodnikami a izolatorami a w dziesięć lat później Hawkesbee i DuFay, pracując niezależnie odkryli istnienie ładunku dodatniego i ujemnego.

W połowie XVIII wieku sir Wiliam Watson z Anglii, twórca współczesnej postaci butelki lejdejskiej przesłał prądem elektryczność na odległość ponad dwu mil. Nie wiadomo, czy Watson był świadom potężnych możliwości, które ukazał jego eksperyment. W 25 lat później, około roku 1774 Lesage wynalazł pierwszą metodę komunikowania się z wykorzystaniem elektryczności. Użył on oddzielnego przewodu dla każdej litery alfabetu, w ten sposób, że podłączając napięcie do danego przewodu przesyłał odpowiednią literę.

Pierwszą osobą, która rozpoznała wzajemny związek elektryczności i magnetyzmu był niemiecki uczonec Francis Aepinus (1728 - 1802). W roku 1837 Karol Gaus i Wilhelm Weber wspólnie odkryli galwanometr podobny do tego, którego obecnie używa się w łączności z łodziami podwodnymi. Michael Faraday (1791 - 1867), przez całe życie zajmujący się pracą eksperymentalną stworzył większość naszej wiedzy o indukcji elektromagnetycznej. W roku 1864 James Clerk Maxwell z Edynburga opublikował swoją elektromagnetyczną teorię światła. Wiele osób uważa, że jest to największy jednorazowy postęp w ludzkiej wiedzy o elektryczności.

134. Elektronika W roku 1887 Heinrich Hertz udowodnił teorię Maxwella wytwarzając fale elektromagnetyczne i wykazując, że podlegają one odbiciu. Dziesięć lat później Joseph J. Thomson odkrył elektron, w ten sposób dostarczając podstaw dla stworzenia lampy próżniowej przez Fleminga i DeForesta. W roku 1899 R. A. Fessenden zauważył, że możliwy jest kierunkowy odbiór fal radiowych, jeśli antena odbiorcza będzie miała kształt pojedynczej pętli lub ramki. W roku 1895 Guglielmo Marconi nadał wiadomość drogą radiową na odległość około jednej mili. Do roku 1901 możliwa już była komunikacja między stacjami odległymi o ponad dwa tysiące mil. W następnym roku Arthur Edwin Kennely i Oliver Heaviside stworzyli teorię zjonizowanej warstwy atmosfery i jej zdolności do odbijania fal radiowych. Mierzenie odległości przy użyciu impulsu radiowego ma swój początek w roku 1925, kiedy Gregory Breit i Merle A. Tuve zastosowali tę metodę do zmierzenia wysokości jonosfery.

135. Zastosowania elektroniki w nawigacji Prawdopodobnie pierwszym zastosowaniem elektroniki w nawigacji była transmisja radiowych sygnałów czasu w roku 1904, co pozwoliło marynarzom sprawdzać chronometr będąc w morzu. Telegraficzne sygnały czasu nadawano od roku 1865, co pozwalało regulować chronometry w porcie.

Następnie w roku 1907 Biuro Hydrograficzne Marynarki Wojennej Stanów Zjednoczonych rozpoczęło radiowe nadawanie ostrzeżeń nawigacyjnych, co pozwoliło zwiększyć bezpieczeństwo nawigacji na morzu.

Pod koniec I Wojny Światowej kierunkowe właściwości anteny o kształcie pętli zostały wykorzystane w *radionamierniku*. Pierwszą pławę radiową zainstalowano w roku 1921.

W początku XX wieku eksperymenty Behma i Langevina doprowadziły do stworzenia przez Marynarkę Wojenną Stanów Zjednoczonych pierwszej praktycznej *echosondy* w roku 1922.

Już w roku 1904 niemiecki inżynier Christian Hulsmeyer otrzymał w kilku krajach patenty na wykorzystanie zjawiska odbicia fal radiowych do wykrywania przeszkód i zapewnienia pomocy nawigacyjnej statkom. Wydaje się jednak, że urządzenie nigdy nie zostało zbudowane. W roku 1922 Marconi powiedział: „Wydaje mi się, że powinno być możliwe stworzenie przyrządu, przy użyciu którego statek mógłby wysyłać rozbieżną wiązkę tych fal (fal elektromagnetycznych) w dowolnym kierunku, które to fale mogłyby być odbite przez metalowy obiekt taki jak statek, w ten sposób pozwalając określić obecność innego statku i kierunek w jakim się znajduje w gęstej mgle lub podczas złej pogody.

W roku 1922 dwu naukowców, dr A. Hoyt Taylor i Leo C. Young testując w Laboratorium Radiowym Marynarki w Anacostii urządzenie komunikacyjne zauważyli fluktuacje sygnału kiedy po rzece Potomak pomiędzy obiema stacjami przepływały statki. Chociaż rozumieli oni znaczenie tego odkrycia prace nad jego wykorzystaniem rozpoczęły się dopiero w marcu 1934, kiedy Young zasugerował asystentowi, dr Robertowi M. Page prowadzenie dalszych badań. Do grudnia Page skonstruował urządzenie pozwalające określić położenie samolotu. Był to pierwszy *radar*. Wiosną 1935 Brytyjczycy, nie wiedząc o wysiłkach Amerykanów rozpoczęli prace na tym polu i niezależnie stworzyli radar. W roku 1937 na pokładzie USS Leary przetestowano pierwszy radar morski. W roku 1940 naukowcy brytyjscy i amerykańscy połączyli swoje wysiłki, co zaowocowało szybszym postępem. Brytyjczycy wyjawili zasadę działania magnetronu wynalezionego w roku 1939 przez J. T. Randalla i H. A. H. Boota z Uniwersytetu Birmingham. Umożliwił on praktyczne korzystanie z radaru mikrofalowego. Prawdopodobnie rozwój żadnego wynalazku nie następował tak szybko we wszystkich fazach

– badań, rozwoju, projektu, produkcji, prób i treningu – i to na tak dużą skalę. W roku 1945, pod koniec II wojny światowej radar udostępniono do zastosowań komercyjnych.

136. Rozwój radiowych systemów hiperbolicznych Badania nad telewizją i urządzeniami do zliczania promieniowania kosmicznego przed II wojną światową dostarczyły technologii elektronicznych niezbędnych do praktycznego rozwoju radiowych pomocy nawigacyjnych opartych na czasie przesłania sygnału radiowego. Ponieważ stabilność częstotliwości używanych wówczas oscylatorów była bardzo słaba – około milion razy gorsza niż osiągnięta w 1976 roku – było oczywiste, że jedynym, co można zmierzyć jest *różnica* w czasie przesłania dwu lub więcej sygnałów. Jednak ta wielkość mogła być przydatna tylko wtedy, jeśli jakiś mechanizm kontrolny utrzymywał różne sygnały w synchroniczności. Stosując tę metodę przy założeniu stałej prędkości rozchodzenia się fal dwa sygnały wyznaczyłyby rodzinę hiperbolicznych linii pozycyjnych, w których ogniskach znajdowałyby się anteny nadawcze, a sygnały z trzech lub czterech różnych stacji pozwoliłyby określić pozycję.

Było też oczywiste, że skoro prędkość światła wynosi około 300 metrów na mikrosekundę to aby otrzymać pozycję z dokładnością podobną, jak w przypadku innych metod pomiaru czasu powinny być dokonywane z dokładnością do kilku mikrosekund. Uzyskiwana dokładność przekraczała dokładność uzyskiwaną przy stosowaniu dostępnych wówczas technik impulsowego sondowania jonosfery, lecz różnica była niewielka.

Jedynym potencjalnie trudnym problemem były nieregularne odchylenia czasów transmisji większości sygnałów radiowych. Jedynym sposobem zmniejszenia lub wyeliminowania tych odchyłeń była praca na bardzo wysokich częstotliwościach, gdzie możliwe było osiągnięcie transmisji prostoliniowej bez interferowania z falami odbitymi od jonosfery. Dlatego też na tej właśnie zasadzie działały pierwsze systemy hiperboliczne.

Pierwszą pomocą nawigacyjną nowego typu był brytyjski system Gee, zaproponowany przez Roberta J. Dippy’ego w roku 1937 i wprowadzony do użytku przez zespół kierowany przez Dippy’ego w roku 1942. System ten został zaprojektowany według powyższych zasad. Pracował on impulsem o długości około 5 mikrosekund na częstotliwościach od 30 do 80 megaherców, z nadajnikami odległymi o około 100 mil. Wysoko latające samoloty mogły korzystać z systemu w odległości od 350 do 400 mil. System ten miał wielkie znaczenie podczas nocnych lotów bombowych Królewskich Sił Powietrznych, dzięki niemu powrót do bazy na Wyspach Brytyjskich był możliwy nawet przy złej pogodzie.

W roku 1940 Komitet Mikrofalowy przy Komitecie Badań Obrony Narodowej Stanów Zjednoczonych zatwierdził projekt rozwoju długozakresowego dokładnego systemu nawigacji lotniczej. Specyfikacja projektu zakładała dokładność około 1000 stóp przy zasięgu 200 mil. Aby sprostać tym wymaganiom system miał używać zsynchronizowane pary impulsowych stacji nadawczych odległych o kilkaset mil. Nadajniki miały mieć moc szczytową około 1,5 megawata i pracować w paśmie od 30 do 40 megaherców. Za wyjątkiem wyposażenia system miał być bardzo podobny do systemu Gee.

Pierwotnie system miał wykorzystywać tylko falę przyziemną. Jednak podczas prac nad systemem wykonano pomiary stabilności czasowej impulsów radiowych o częstotliwości od 2 do 8 megaherców, odbitych od jonosfery. Wbrew rozpowszechnionemu pogładowi stabilność sygnałów odbitych od warstwy E jonosfery była całkiem niezła. Obliczenia oparte na tych badaniach wykazały, że system o dalekim zasięgu wykorzystujący kombinację fali przyziemnej i jonosferycznej zapewniłaby dokładność lepszą niż 5 mil przy zasięgu 1500 mil. Możliwość

stworzenia systemu o takiej dokładności i takim zasięgu była tak wspaniała, że zarzucono oryginalny projekt i wszystkie wysiłki skupiono na nowym celu. Poprawiony projekt przyznano Laboratorium Radiacji Massachusetts Institute of Technology latem 1941. Eksperymentalne stacje nadawcze umiejscowiono w budynkach należących do U.S. Coast Guard w pobliżu Montauk Point w stanie Nowy Jork i na wyspie Fenwick w stanie Delaware.

W styczniu 1942 roku wykonano pierwsze testy dokładności fali jonosferycznej i wybrano pasmo częstotliwości. Próby z pojazdami podjęto w czerwcu. W październiku 1942 marynarka Stanów Zjednoczonych stworzyła łańcuch składający się z czterech stacji. W ciągu następnych czterech czy pięciu miesięcy na okrętach zainstalowano około 40 odbiorników. Szybko zebrano dane, które pozwoliły określić poprawkę pozwalającą sprowadzić nocne sygnały odbite od warstwy E do odpowiadających im odczytów fali przyziemnej naniesionych na mapy.

1 stycznia 1943 administrowanie nowym programem Loran przyznano marynarce Stanów Zjednoczonych. Straż Przybrzeżna Stanów Zjednoczonych i Królewska Marynarka Kanady zostały odpowiedzialne za pracę stacji nadawczych. System Loran stał się w pełni sprawny wiosną 1943, kiedy wydano mapy dla północnoatlantyckiego łańcucha składającego się z czterech stacji. Ten pierwszy łańcuch składał się z dwu testowych stacji w Montauk Point i Fenwick Island oraz dwu nowych stacji w Baccarco i Deming w Nowej Szkocji. Stacja w Fenwick została najpierw przeniesiona na Bodie Island a później na Cape Hattaras w Północnej Karolinie. Stację Montauk Point przeniesiono do Nantucket Island. Wkrótce powstały instalacje na wyspach Aleuckich i na Południowym Pacyfiku.

Pierwsza wersja systemu Loran, działająca na kanałach w paśmie 1800 i 2000 kiloherców pierwotnie nazywała się Standardowym Loranem, dla odróżnienia od innych wersji eksperymentalnych. Później nazwę zmieniono na Loran-A.

Najlepszą wersją Standardowego Loranu podczas II wojny światowej był Loran SS (Sky-wave Synchronized). Pracował on na częstotliwości 2 megaherców jednak, jak wynika z nazwy, stacje utrzymywały synchronizację raczej dzięki fali jonosferycznej niż przyziemnej. Ze względu na warunki propagacji fal radiowych system był użyteczny tylko nocą. Pierwszy test systemu Loran odbył się nocą 10 kwietnia 1943 pomiędzy Fenwick Island w Delaware a Bonavista w Nowej Funlandii. Obserwacje wykonane w Laboratorium Radiacji w Cambridge w stanie Massachusetts wykazały, że prawdopodobny błąd linii pozycyjnej wynosił około 0,5 mili. To wykazało ważny fakt, że błędy kilku mikrosekund przy transmisji fali jonosferycznej nie przeszkadzają w wyznaczeniu pozycji z użyteczną dokładnością, jeśli użyta zostanie odpowiednio długa linia bazowa. Do jesieni 1943 roku działały dwie pary systemu Loran SS, które miały stacje nadawcze w East Brewster, Massachusetts, Gooseberry Falls, Montana, Montauk Point, New York i Key West, Floryda. Intensywne loty badawcze sił powietrznych Stanów Zjednoczonych i aliantów wykazały, że średni błąd określenia pozycji wynosił 1 do 2 mil.

Wczesną wiosną 1944 roku rozmontowano cztery stacje systemu Loran SS w USA, a wyposażenie zainstalowano w Europie i Północnej Afryce. Stacje mieściły się w Szkocji, Tunezji, Algierii i Libii. System rozpoczął działanie w październiku 1944 i był intensywnie używany podczas nocnych bombardowań. Połączenie bardzo długich linii bazowych (w przybliżeniu 950 mil) i dogodnej orientacji linii bazowych zapewniło działanie systemu nocą nad większą częścią Europy z dokładnością od 1 do 2 mil. Systemy Loran SS działały również z powodzeniem w Południowowschodniej Azji. Głównym ograniczeniem tego systemu był brak pokrycia dziennego.

Skywave Long Baseline Loran był systemem testowanym przez Straż Przybrzeżną Stanów Zjednoczonych krótko po II wojnie światowej. System był podobny do Loranu SS, lecz pracował na częstotliwości 10,585 megaherców w ciągu dnia i 2 megaherców nocą w celu synchronizacji. W celu zapewnienia normalnej pracy nadajniki pracowały na częstotliwości 2 megaherców tak nocą jak i w dzień, z tym, że nocą synchronizacja odbywała się na częstotliwości 10,585 megaherca.

Wstępne próby prowadzono między Chatham, Massachusetts i Fernandina na Florydzie w maju 1944. W grudniu 1945 i styczniu 1946 nastąpiły dodatkowe testy między Hobe Sound na Florydzie i Point Chinato w Puerto Rico. Próby te wykazały, że podstawowe koncepcje są prawidłowe, lecz trudności z osiągnięciem właściwej alokacji częstotliwości zakończyły prace nad systemem.

Okazało się, że system Loran pracujący na niskich częstotliwościach zapewniłby lepszą dokładność i znacznie większy zasięg podczas dnia i nocy przy mniejszej liczbie stacji nadawczych. Pierwszy eksperymentalny niskoczęstotliwościowy system Loran, pracujący na częstotliwości 180 kiloherców, nazywający się LF Loran został uruchomiony w roku 1945, ze stacjami nadawczymi w Cape Cod, Massachusetts, Cape Fear w Północnej Karolinie i w Key Largo na Florydzie. Stacje monitorujące dla obserwacji nawodnych zainstalowano na Bermudach, Azorach, w Puerto Rico i Trynidadzie. Sygnały lądowe obserwowały stacje monitorujące w Ohio, Minnesocie i na specjalnie wyposażonych samolotach.

System Loran LF był zasadniczo rozszerzeniem techniki Loranu pracującego na 2 megahercach na niższe częstotliwości. Stacje systemu Loran LF pracowały zsynchronizowanymi trójkami a nie w parach, a na wskaźniku odbiornika użytkownika wyświetlane były cykle impulsów „master” i „slave”. Najpierw wykonywano zgrubne dopasowanie na podstawie kształtów dwu impulsów (tak jak w standardowym Loranie), a później wykonywano dokładniejszy pomiar przez dopasowanie wybranych cykli częstotliwości radiowej wewnątrz każdego impulsu.

W roku 1946 całe wyposażenie zainstalowane w ramach eksperymentalnego systemu Loran LF na wschodnim wybrzeżu Stanów Zjednoczonych zostało przeniesione do Północnozachodniej Kanady, gdzie służyło wymaganiom specjalnych manewrów arktycznych. Po zakończeniu manewrów rozpoczęto wspólny projekt amerykańsko-kanadyjski mający na celu ocenę systemu. Dziewięć stałych stacji monitorujących i kilka specjalnie wyposażonych samolotów brało udział w obszernych, trwających kilka miesięcy próbach. Te testy operacyjne, w połączeniu z próbami wykonanymi na wschodnim wybrzeżu wykazały, że system Loran LF może pracować przy liniach bazowych o wiele dłuższych, niż było to osiągalne w systemie pracującym na częstotliwości 2 megaherców, oraz że zapewnia on całodobowe pokrycie na obszarze lądowym o rozmiarze dwu trzecich pokrytego obszaru morskiego w przeciwieństwie do systemu pracującego na częstotliwości 2 megaherców, w przypadku którego pokrycie lądu było pomijalnie małe. Osiągana dokładność odpowiadała średniemu błędowi linii pozycyjnej 160 stóp przy 750 milach. Powyżej 750 mil dokładność gwałtownie malała ze względu na interferencję z falą jonosferyczną.

Mimo to operatorzy zauważyli, że bez wcześniejszej wiedzy o prawidłowym przebiegu opóźnienia impulsów niemożliwe jest wybranie prawidłowej pary cykli przez więcej niż 75% czasu. Wynikająca stąd niejednoznaczność pozycji była nie do zaakceptowania i system oceniono jako niezadowalający do ogólnych zastosowań nawigacyjnych. W roku 1946 rozpoczęły się prace nad rozwojem technik identyfikacji cyklu i pomiaru fazy, które miały zapobiec tym

niejednoznacznościom pozycji. Prace prowadzone przez rząd i przemysł doprowadziły do testów polowych niskoczęstotliwościowego systemu Loran z dopasowaniem cykli, nazywanego „Cyclan” (od cycle matching Loran).

Cyclan był pierwszym w pełni zautomatyzowanym systemem Loran. Problem niejednoznaczności cykli rozwiązano przez zastosowanie transmisji impulsowej na dwu częstotliwościach odległych o 20 kHz. Początkowo używano częstotliwości 180 i 200 kHz, później pracowano na częstotliwościach 160 i 180 kHz. Po dopasowaniu zbocza przy pierwszych 50 mikrosekundach impulsu następowało dopasowanie cykli wewnątrz impulsu dla precyzyjnego określenia różnicy czasów przybycia impulsów. Nieprawidłowe dopasowanie cyklu na jednej częstotliwości było widoczne poprzez zauważalne niedopasowanie przy drugiej częstotliwości. Pokrycie systemu Cyclan było ograniczone do regionu objętego falą przyziemną i, w zależności od miejscowego szumu, obejmowało zasięg około 1000 do 1500 mil. Próby operacyjne systemu Cyclan skomplikowały poważne problemy z interferencją między stacjami nadawczymi i radiopławami aeronautycznymi pracującymi na sąsiednich częstotliwościach. Próby wykazały jednak, że problem ten może być rozwiązany przez zastosowanie identyfikacji cyklu częstotliwości radiowej. Znaczący postęp nastąpił w zakresie oprzyrządowania. W roku 1947 pojawiła się konieczność poszukiwania innego rozwiązania, kiedy Konferencja Radiowa w Atlantic City przyznała pasmo szerokości 20 kHz (od 90 do 110 kHz) – Cyclan potrzebował pasma około 40 kHz.

Navaglobe był wczesnym systemem jako potencjalny system niskoczęstotliwościowy pracujący w paśmie 90 do 110 kHz. Prace nad tym systemem rozpoczęły się w roku 1945. Charakterystykę kierunkową uzyskano dzięki ustawieniu trzech pionowych anten w wierzchołach trójkąta równobocznego. Anteny były wzbudzane na przemian parami tak, że otrzymywano trzy nakładające się na siebie wzory o kształcie ósemki. Pomiar względnych amplitud odbieranych sygnałów określały namiar nawigatora na stację nadawczą. Aby otrzymać pozycję potrzebne były namiary przecinające się. Aby otrzymać informację o odległości równolegle prowadzono prace nad systemem Facom. System ten również pracował w paśmie od 90 do 110 kHz. Zgrubną informację o odległości otrzymywano przez porównanie fazy tonu modulującego o niskiej częstotliwości wytworzonego przez lokalny oscylator z fazą podobnego tonu ciągłego sygnału falowego z lądowej stacji Facom. Dokładne pomiary odległości wykonywano na cyklach częstotliwości radiowej fali nośnej.

Navarho, połączony system Navaglobe-Facom był intensywnie testowany w roku 1957. Prace nad projektem przerwano ponieważ wydajność systemu okazała się niewystarczająca.

Navarho był pierwszym systemem, w którym pomiar różnicy odległości odbywał się przez obserwację zmiany fazy sygnału odebranego względem bardzo stabilnego, wytwarzanego lokalnie sygnału o tej samej częstotliwości. Aby otrzymać nawigacyjnie użyteczną dokładność częstotliwości sygnałów nadanych i wytwarzanych w odbiorniku sygnałów odniesienia musiały być zsynchronizowane z dokładnością do jednej bilionowej lub jeszcze lepszą. Jeden z pierwszych komercyjnych cezowych wzorców częstotliwości użyty był do kontrolowania częstotliwości sygnałów nadawanych z trzech wież w Camden w stanie New York. Choć oscylatory krystaliczne były niewygodne w obsłudze i wymagały uważnej obsługi aby osiągnąć odpowiednią stabilność wyniki licznych lotów próbnych w zasięgu 2000 mil wskazywały na akceptowalny zasięg i dokładność pomiaru odległości, choć pomiar namiaru przy większych odległościach był niezbyt dokładny.

W roku 1952 rozpoczęły się zlecane przez rząd prace nad automatycznym taktycznym

systemem bombardowania o dalekim zasięgu znanym jako *Cytac*. Integralną częścią systemu Cytac był impulsowy hiperboliczny system nawigacyjny pracujący w paśmie od 90 do 110 kHz. W roku 1955 zakończono prace nad stworzeniem oprzyrządowania i wybudowano stacje nadawcze w Forestport w stanie Nowy Jork, Carolina Beach w stanie Północna Karolina i Carrabelle na Florydzie. Próby z nawigacyjnym składnikiem nawigacyjnym systemu prowadzone w roku 1956 wykazały, że automatyczne oprzyrządowanie mogłoby rozwiązać problem identyfikacji częstotliwości cyklu i pozwoliłoby mierzyć różnicę czasu w systemie hiperbolicznym ze średnim błędem kilku dziesiątych mikrosekundy. System pokrywał obszar rozciągający się od Atlantyku do Mississippi i od Wielkich Jezior do Zatoki Meksykańskiej. Stacje monitorujące zainstalowane w odległych miejscach zbierały dane podczas trwającego rok okresu prób. Wyniki tych prób wykazały, że system może nie tylko zapewnić wysoką dokładność, lecz również, że prawa rządzące jego dokładnością były wystarczająco dobrze znane aby umożliwić przewidywanie dokładności przed instalacją. Z przyczyn operacyjnych prace nad systemem Cytac zarzucono. Jego użycie jako pomocy nawigacyjnej było natychmiast widoczne.

W roku 1957 przeprowadzono badania nad wymaganiami operacyjnymi dokładnego morskiego systemu radionawigacyjnego o dalekim zasięgu. Wymagana dokładność i zasięg znacznie przekraczały możliwości istniejącego wyposażenia systemu Loran-A. Na podstawie badań nad systemem Cytac wierzono, że wymagania te mogą być spełnione przez zastosowanie koncepcji systemu Cytac i części wyposażenia systemu Cytac. W związku z tym wyposażenie stacji w Forestport w stanie Nowy Jork i Carrabelle na Florydzie przeniesiono do Martha's Vineyard w Massachusetts i Jupiter na Florydzie. Stacje te pracujące w połączeniu z istniejącymi stacjami w Carolina Beach w Północnej Karolinie uruchomiono w roku 1957. Straż przybrzeżna Stanów Zjednoczonych zgodnie z prawem federalnym przyjęła odpowiedzialność za funkcjonowanie systemu w sierpniu 1958. Obszerne testy prowadzone za pomocą samolotów i statków wykazały, że oryginalna koncepcja była słuszna. Nowy system, nazwany Loranem C, rozpoczął pracę.

Po zamknięciu Laboratorium Radiacji w Massachusetts Institute of Technology mała grupa naukowców przeniosła się do Cruft Laboratory w Uniwersytecie Harvard. Planowali oni zastosować niektóre nowe technologie, których rozwój przyspieszyła wojna do badań nad propagacją fal radiowych. Wykonano badania teoretyczne stabilności fazy sygnału modulowanego, której można było oczekiwać w warunkach interferencji pomiędzy różnymi rodzajami propagacji przy dalekodystansowych transmisjach jonosferycznych. Badania te wykazały, że długookresowa modulacja może być mierzona z dokładnością porównywalną z uzyskiwaną przy próbach systemu Loran LF. Udoskonalenie tej koncepcji doprowadziło do zaproponowania w roku 1947 roku systemu *Radux*.

Ten nowy system miał być bardzo podobny do systemu Loran LF, z wyjątkiem tego, że czasy przybycia miały być mierzone fazą modulowaną częstotliwością 200 Hz zamiast czasem impulsu trwającego około 300 mikrosekund. Ponieważ modulacja 200 Hz może być wypromieniowywana z dobrej anteny niskoczęstotliwościowej przy częstotliwości 40 lub 50 kHz istniała nadzieja, że można stosować linię bazową o długości 1000 mil i użyteczna usługa może być zapewniana nawet w odległości 3000 mil. Mimo to mało wiedziano o charakterystyce propagacyjnej w tym zakresie częstotliwości.

Po dwu do trzech lat badań nad tą propozycją marynarka Stanów Zjednoczonych przyznała Laboratorium Elektroniki Marynarki (NEL) zadanie wykonania testów potrzebnych do rozwinięcia Raduksa jako pomocy nawigacyjnej. Z pomocą nieformalnych komitetów koor-

dynujących reprezentujących kilka morskich biur technicznych, laboratoriów i kontrahentów komercyjnych NEL budowało i instalowało nadajniki tam, gdzie mogły być znalezione odpowiednie anteny, początkowo na Hawajach i w San Diego, a także wykonywało i obsługiwało odbiorniki. Prace zajęły niemal całą dekadę 1950-1960. Wyniki bardzo przypominały wyniki badań nad Loranem LF, zasięg i dokładność były mniejsze niż oczekiwano.

Cofnijmy się do roku 1953. W roku tym dr Louis Essen z Narodowego Laboratorium Fizycznego (NPL) w Teddington w Anglii, który zaprojektował już najlepszy istniejący wówczas oscylator krystaliczny (pierścień Essena), i który pracował nad pierwszym praktycznym cezowym wzorcem częstotliwości, odwiedził Harvard University. Zwrócił on uwagę na fakt, że nadajnik Poczty Brytyjskiej w Rugby rozpoczął nadawanie standardowej częstotliwości 60 kHz. Transmisja ta odbywała się tylko przez godzinę dziennie, ale wykorzystywano do niej oscylator Essena a częstotliwość była monitorowana zarówno przez Poczta jak i NPL. Grupa w Harvard University natychmiast rozpoczęła obserwowanie transmisji i poczyniła odkrycie, że częstotliwość może być mierzona z dokładnością do 10^{-18} podczas jednogodzinnej transmisji. Dokładność ta przekraczała o współczynnik 100 do 1000 tę dostępną w wysokoczęstotliwościowej transmisji standardowych częstotliwości. To połączenie między Rugby a Cambridge stało się na pewien czas podstawowym mechanizmem porównywania brytyjskiego i amerykańskiego systemu czasu standardowego, które w tych czasach znacznie się różniły. Pierwsze międzynarodowe porównanie zegarów kontrolowanych cezem zostało uczynione w ten sam sposób.

Częstotliwość Rugby została ustabilizowana w roku 1954. Rozpoczęło to erę, w której częstotliwości większości transmisji na bardzo niskiej częstotliwości była stabilizowana, dzięki czemu mogły być one użyte do porównywania częstotliwości i dla nowego typu badań nad propagacją. Wkrótce okazało się, że codzienne pomiary dawały dokładność częstotliwości około $2 \cdot 10^{-11}$, nawet przy odległościach tysięcy mil.

Prace nad systemem Radux odbywały się jako badania wojskowe. W związku z tym nowe odkrycia dotyczące bardzo niskich częstotliwości były publikowane tylko ze względu na ich związek z porównywaniem częstotliwości. Jednak w kwietniu 1955 raport do Biura Badań Marynarki jak również porozumienia z Laboratoriami Marynarki zalecały poszerzenie wysiłków nawigacyjnych na bardzo niskie częstotliwości, w szczególności na te poniżej 14 kHz, przy których szerokości pasma obwodu są tak niskie, że nie są one interesujące dla ogólnej komunikacji.

Zauważono, że dokładność systemu Radux, choć niewystarczająca by rozwiązać niejednoznaczności cykliczne przy częstotliwości 40 kHz (okres 25 mikrosekund) rozwiązałyby cztery razy większą niejednoznaczność fazy przy częstotliwości 10 kHz. W związku z tym zaproponowano system połączony. Podobnie jak Radux działałby on na częstotliwości 40 kHz, podczas kiedy koherentne impulsy nośnej 10 kHz, wypromieniowywane z tej samej anteny w innym czasie pozwoliłoby na pomiary ze znacznie większą dokładnością, z możliwością rozwiązania, przynajmniej w teorii, niejednoznaczności 8 mil poprzez pomiar dwustuhercowej modulacji systemu Radux. Ten łączony system, nazywany Radux-Omega, badano jeszcze przez kilka lat. Wtem okazało się, że to połączenie nie jest szczęśliwe, ponieważ użyteczny zasięg komponentu 10 kHz znacznie przekraczał zasięg Raduksa, podczas kiedy względnie krótkie linie bazowe systemu Radux psuły przy większych odległościach geometryczną dokładność komponentu Omega (10 kHz) i utrzymywały podstawową dokładność na znacznie mniejszym poziomie.

Jednym z podstawowych powodów stosowania częstotliwości modulacji tak niskiej jak

200 Hz była chęć zapobiegania niejednoznaczności cyklu, będącej cechą każdego systemu pomiaru fazy. Podczas pomiarów przy częstotliwości 200 Hz w systemie hiperbolicznym możliwe niejednoznaczności byłyby oddalone o 400 lub więcej mil, dzięki czemu przestałyby być problemem operacyjnym.

W latach 1950-1960 projekt systemu Radux stał się mniej atrakcyjny niż w roku 1947. Podstawową zmianą był ogólny wzrost potrzebnej dokładności dla pomocy nawigacyjnych. Kiedy rozwijano system Loran jedynym zadowalającym standardem nawigacji dalekomorskiej była astronawigacja, dla której typowy błąd wynosił 3 Mm. Loran, a zwłaszcza Loran-C, oraz pewna ilość pomocy działających na krótkich odległościach dały nawigatorom możliwość większej dokładności. Ważne były również dwa inne czynniki: ogólny rozwój nawigacji zliczeniowej, w tym systemów inercyjnych oraz wielki wzrost wiarygodności urządzeń elektronicznych. Pierwszy z powodów uczynił łatwiejszym odzyskanie zgubionego cyklu, drugi spowodował, że prawdopodobieństwo zgubienia cyklu było mniejsze. Wskutek tych przyczyn zmniejszyła się obawa nieprawidłowego oznaczenia pasa. Dzięki temu można było myśleć o zaspokojeniu potrzeby dokładności większej niż w przypadku systemu Radux przez używanie mniej jednoznacznego systemu, z nadzieją, że możliwość niejednoznaczności nie będzie poważnym problemem operacyjnym.

Te względy stopniowo doprowadziły do rezygnacji z Raduksa, pozostawiając Omegę jako samodzielny system. Podczas okresu hybrydowego zebrano wystarczającą ilość danych aby potwierdzić fenomenalny zasięg możliwy dzięki stosowaniu bardzo niskich częstotliwości, z błędami czasu nie zwiększającymi się znacząco przy zwiększającej się odległości. Zauważono również, że długie linie bazowe są szczególnie skuteczne na sferycznej powierzchni Ziemi. Dla przykładu przy linii bazowej rozciągającej się na 60 stopni odchylenie hiperbolicznych linii pozycyjnych ograniczone jest współczynnikiem dwa, zamiast rosnać w nieskończoność jak ma to miejsce w przypadku linii bazowych pomijalnie małych w porównaniu z krzywizną Ziemi. Oczywiście gdyby para mogła łączyć przeciwne końce średnicy Ziemi rozbieżności nie byłoby wcale, a dokładność pomiaru różnicy czasu wynosząca 12 mikrosekund dokładność określenia pozycji wynosiłaby 1 Mm w dowolnym miejscu Ziemi.

Eksperymenty z systemem Omega rozpoczęły się parą łączącą Hawaje i Kalifornię, pracującą początkowo na częstotliwości 12,5 kHz, choć eksperymenty szybko rozszerzono na częstotliwości od 9 do 15 kHz, a czasem również wyższe. Jeden z pierwszych eksperymentów w ekscytujący i przekonujący sposób wykazał zalety stosowania bardzo niskich częstotliwości. Komandor Lyle C. Read z marynarki Stanów Zjednoczonych, zajmujący się programem Radux w laboratorium elektronicznym marynarki płynął wzdłuż linii bazowej okrętem z wczesnym odbiornikiem systemu Omega, licząc ilość długości fali między Hawajami a Kalifornią sprawdzając w ten sposób niejasne wówczas idee dotyczące prędkości fazy w bardzo niskich częstotliwościach. Na szczęście statek płynął nieco szybciej niż wynikało z planu i komandor Read mógł nakłonić kapitana, żeby ten wykonał standardowy zwrot o 360 stopni w środku przejścia. Choć śledzono tylko pojedynczą parę podwójna amplituda sinusoidalnego odchylenia zapisu fazy dała średnicę cyrkulacji 50 jardów.

Ta i wiele innych demonstracji dokładności techniki Omega przyspieszyła decyzję o skoncentrowaniu się na bardzo niskich częstotliwościach ze względu na zasięg i potencjalną dokładność i zaakceptowania najlepszego, co mogło być zrobione aby rozwiązać problem niejednoznaczności.

Od tego momentu prace zaczęły posuwać się szybko. Naval Communications wynaję-

ło stację w strefie Kanału Panamskiego oraz jedną stację w Walii od brytyjskiego Urzędu Pocztowego. Z tymi dwiema stacjami oraz stacjami w San Diego i na Hawajach sieć była dostatecznie duża aby umożliwić monitorowanie od Alaski do Ameryki Południowej i od Hawajów do Europy. Wczesne koncepcje prędkości propagacji i ich odchyień o różnych porach dnia zostały udoskonalone (jest to proces, który wciąż postępuje naprzód), poza tym wykonano niezliczoną ilość prób i pokazów.

Do roku 1966 sygnały systemu Omega trasmitowano w sposób regularny ze stacji umieszczonych w Nowym Jorku, Trynidadzie, na Hawajach i w Norwegii. Jednak ponieważ stacje te korzystały z istniejących urządzeń i wyposażenia będących na etapie rozwijania żadna z nich stacji nie była w stanie nadawać z wymaganą mocą. Mimo to sygnały nadawano przez cały czas z kompleksu czterech stacji zapewniając składniki niezbędne dla dalszego rozwoju systemu.

Do roku 1976 siedem z ośmiu stacji, które w pełni zaimplementowały system pełniło normalną służbę. Rozwojowa stacja w Trynidadzie kontynuowała pracę oczekując na wprowadzenie stacji na obszar Południowego Pacyfiku.

Innym rozwijanym systemem był system Decca, system hiperboliczny o zasięgu od krótkiego do średniego, pierwotnie określany jako „QM” po raz pierwszy użyty w roku 1944 podczas lądowania w Normandii. Innym wynalazkiem powstałym podczas II wojny światowej był obracający się promień elektroniczny stosowany w niemieckim systemie nawigacyjnym Sonne, później udoskonalonym przez Brytyjczyków pod nazwą Consol.

W późnych latach pięćdziesiątych Decca Navigator Company Ltd stworzyło eksperymentalny system radnionawigacyjny pracujący na bardzo niskich częstotliwościach znany jako Delrac (nazwa pochodzi od „Decca long range area coverage”). Zasadniczo system ten jest podobny do Omegi.

137. Rozwój nawigacji satelitarnej Navsat (The Navy Navigation Satellite System) został stworzony przez marynarkę aby spełnić wymagania wyznaczone przez Szefa Operacji Morskich jako dokładny ogólnoswiatowy system nawigacyjny przeznaczony dla wszystkich powierzchniowych statków morskich, okrętów podwodnych i samolotów. System był wymyślony i rozwijany przez Laboratorium Fizyki Stosowanej John Hopkins University na podstawie kontraktu z marynarką.

Koncepcja leżąca u podstaw systemu wzięła swój początek w roku 1957, kiedy na orbitę wystrzelono pierwszego sztucznego satelitę - rosyjski Sputnik I. Dr Wiliam H. Guier i dr George C. Wieffenbach z Laboratorium Fizyki Stosowanej obserwowali słynne „piski” nadawane przez lecącego satelitę. Wykreślali oni odbierane sygnały w dokładnych odstępach i zauważyli, że w ten sposób otrzymali charakterystyczną krzywą Dopplera. Ponieważ ciała niebieskie poruszają się po stałych orbitach wywnioskowali oni, że krzywa ta może być użyta do opisu orbity satelity. Później wykazali oni, że są w stanie określić wszystkie parametry orbitalne przelatującego satelity przez obserwację doplerowską pojedynczego przejścia z pojedynczej stacji stałej. Wykazano, że przesunięcie doplerowskie widoczne podczas odbierania transmisji z przelatującego satelity może być skutecznym sposobem wyznaczenia orbity satelity.

Dr Frank T. McClure, również z Laboratorium Fizyki Stosowanej zauważył fakt odwrotny – jeśli znane będą parametry orbity satelity to pomiar przesunięcia doplerowskiego pozwoli określić pozycję obserwatora. To zasugerowało nową metodę nawigacji – metodę dokładniejszą niż jakakolwiek znana do tej pory, dostępna w każdym miejscu na Ziemi, niezależnie od

pogody. Dzięki swoim badaniom zdobył on pierwszą nagrodę NASA za istotny wkład w badania nad przestrzenią kosmiczną.

W roku 1958 opierając się na pracach dr McClure Laboratorium Fizyki Stosowanej zaproponowało dla Biura Broni Morskich rozważenie możliwości stworzenia satelitarnego doplerowskiego systemu nawigacyjnego. Szef Operacji Morskich ustalił wymagania stawiane takiemu systemowi, który miałby zapewnić dokładną, niezależną od pogody, dostępną w każdym miejscu na Ziemi metodę nawigacji zalecając Advanced Research Projects Agency możliwość otrzymania funduszy na ten cel. Choć była to tylko jedna z propozycji wykorzystania satelitów w nawigacji została ona zaakceptowana i od roku 1960 cała praca nad systemem była wykonywana przez marynarkę przy poparciu Agencji. Eksperymentalny satelita, który nie osiągnął orbity w sierpniu 1959 wykazał wykonalność śledzenia doplerowskiego, pierwsze zakończone sukcesem uruchomienie prototypowego satelity w kwietniu 1960 wykazał jego operacyjną przydatność w nawigacji.

138. Rozwój nawigacji inercyjnej Pierwszy system nawigacji inercyjnej został stworzony w roku 1942 na potrzeby pocisku V-2 przez grupę z wyspy Peenmuende pod kierownictwem dr Wernhera von Braun. System ten używał żyroskopów o dwu stopniach swobody i zintegrowanego akcelerometru w celu określenia predkości pocisku. Pod koniec II wojny światowej grupa z Peenmuende stworzyła stabilną platformę z trzema żyroskopami o jednym stopniu swobody i zintegrowanego akcelerometru.

Po zakończeniu II wojny światowej rozwój nawigacji inercyjnej w Stanach Zjednoczonych prowadzony był przez cztery grupy, jedną finansowaną przez armię i trzy finansowane przez siły powietrzne. W skład grupy sponsorowanej przez armię wchodziła grupa z Peenmuende którą kierował dr Wernher von Braun. Później ta grupa stała się grupą prowadzącą badania dla NASA.

Początkowo systemy rozwijane przez siły powietrzne były połączeniem systemów astronawigacyjnych i inercyjnych. Kiedy udoskonalono sztukę tworzenia tych drugich rozwinęła się tworzenie systemy wyłącznie inercjalne. Podczas tego rozwoju głównym zwolennikiem systemów inercyjnych był dr Charles Stark Draper z Massachusetts Institute of Technology.

The Autonetics Division of North American Aviation w pomysłowy sposób zaadoptował jeden z systemów do stosowania na statkach. W roku 1958 system ten został użyty podczas nawigowania statkiem USS Nautilus pod lodem bieguna północnego.

Rozwój czysto inercjalnych systemów dla zastosowań morskich i lotniczych podążał równolegle. Później nastąpiły zastosowania dla pocisków oraz statków kosmicznych.

Wnioski

139. Nawigacja przebyła długą drogę, nic jednak nie wskazuje na to, żeby rozwój jej dobiegał końca. Postęp ten będzie trwał tak długo, jak długo człowiek nie będzie zadowolony ze środków którymi dysponuje.

Literatura

Collinder, Per. "A History of Marine Navigation." Tr. Maurice Michael. New York, St. Martin's, 1955.

Hewson, J. B. A History of the Practice of Navigation. Glasgow, Brown, 1951.

May, W. E. A History of Marine Navigation. Oxfordshire, G. T. Foulia and Company Limited, 1973.

Petze, C. L., Jr. The Evolution of Celestial Navigation. Vol. 26, Ideal Series. New York, Motor Boating, 1948.

Pierce, J. A., and R. H. Woodward. "The Development of Long-Range Hyperbolic Navigation in the United States." Harvard University, Cambridge, Massachusetts, Office of Naval Research Technical Report No. 620, February 1971.

Stewart, J. Q., and N. L. Pierce. "The History of Navigation." Marine and Air Navigation (Boston, Ginn, 1944). Chap. 29.

Taylor, E. G. R. "The Mathematical Practitioners of Tudor and Stuart England." London, Cambridge University Press, 1955.

Taylor, E. G. R. "The Haven-Finding Art." London, Hollis and Carter, 1956.

Taylor, E. G. R. "The Geometrical Seaman." London, Hollis and Carter, 1962.

Waters, D. W. "The Art of Navigation in England in Elizabethan and Early Stuart Times." New Haven, Yale University Press, 1958.

Wroth, L. C. "Some American Contributions to the Art of Navigation", 1519-1802. Providence, John Carter Brown Library, 1947.

Poza tym w pewnych periodykach często ukazują się artykuły dotyczące historii nawigacji:

"The American Neptune." (Salem)

"The Journal of Navigation." (London)

"The Nautical Magazine." (Glasgow)

"NAVIGATION: Journal of the Institute of Navigation.

"NAVIGATION: Bevue Technique de Navigation Maritime, Aerienne et Spatiale." (Paris)

"United States Naval Institute Proceedings." (Annapolis)

Rozdział 2

Podstawowe definicje

201. Nawigacja jest procesem kierowania ruchem statku w sposób pewny i bezpieczny, z jednego punktu do drugiego. Słowo „nawigować” pochodzi od łacińskiego „navigatus”, formy czasownika „navigere” pochodzącego od słów „navis” – statek i „agere” – poruszać, kierować. Nawigacja statkiem wodnym nazywana jest *nawigacją morską* dla odróżnienia od nawigowania statkiem powietrznym czyli nawigacji lotniczej. Nawigowanie statkiem płynącym po powierzchni nazywane jest czasem *nawigacją powierzchniową* dla odróżnienia jej od *nawigacji podwodnej*. Kierowanie pojazdem poruszającym się po lądzie lub lodzie nazywane jest *nawigacją lądową*. Używa się również określenia *nawigacja łodzią ratunkowej* w odniesieniu do kierowania łodziami lub tratwami ratunkowymi, do czego zwykle stosuje się proste metody. Określenie *nawigacja polarna* oznacza nawigowanie w regionach bliskich geograficznego bieguna Ziemi, do czego stosuje się specjalne techniki.

Podstawowymi działaniami nawigacji są:

Zliczenie nawigacyjne jest to określanie pozycji przez przesuwanie znanej pozycji o znaną odległość w znanym kierunku. Tak określona pozycja nazywana jest *pozycją zliczoną*. Powszechnie przyjmuje się, że powinno się stosować kurs, którym sterujemy i prędkość po wodzie, jednak używa się też metod określania pozycji na podstawie kursu i prędkości nad dnem, w ten sposób uwzględniając elementy zakłócające takie, jak prąd i wiatr. Pozycja określona w ten sposób określana jest jako *pozycja zliczona*. Określenie „zliczenie nawigacyjne” (ang. „dead reckoning”) pochodzi prawdopodobnie od używania logu burtowego, pływającego przedmiotu wyrzucanego za burtę w celu określania prędkości statku względem tego przedmiotu, który uważany był za spoczywający nieruchomo (ang. „dead”) w wodzie. Przy stosowaniu poprawki na prąd i wiatr używano określenia „pozycja wnioskowana” (ang. „deduced reckoning”). Określenie to często skracano do „ded reckoning”. Podobieństwo tych dwu określeń jest źródłem często zdarzających się nieporozumień.

Nawigacja pilotowa jest to nawigowanie z zastosowaniem częstego lub ciągłego określania pozycji lub linii pozycyjnej względem punktów geograficznych, zwykle wymagającym uważnego kontrolowania zanurzenia statku w stosunku do dostępnej głębokości wody. Stosuje się ją będąc w pobliżu lądu, niebezpieczeństw itp. Wymaga ona dobrego rozeznania i niemal stałej uwagi ze strony nawigatora. *Astronawigacja* jest to nawigacja stosująca informacje uzyskane z obserwacji ciał niebieskich.

Radionawigacja jest to nawigacja z zastosowaniem fal radiowych dla określenia pozycji lub linii pozycyjnej. Częścią jej jest nawigacja radarowa i nawigacja satelitarna. *Nawigacja*

radarowa używa fal radiowych, zwykle z pasma centymetrowego do określenia odległości i namiaru na obiekt odbijający fale w stronę nadajnika. *Nawigacja satelitarna* stosuje sztuczne satelity Ziemi dla określenia pozycji.

Określenie *nawigacja elektroniczna* używane jest w odniesieniu do nawigacji stosującej w jakiś sposób elektronikę. W ten sposób termin ten obejmuje również użycie żyrokompasu do sterowania i echosondy do nawigacji pilotowej. Ze względu na szerokie użycie elektroniki w sprzęcie nawigacyjnym określenie „nawigacja elektroniczna” ma ograniczoną wartość jako termin służący do podziału nawigacji.

Elektronika jest nauką i technologią związaną z emisją, przepływem i efektami wywołanymi przez elektrony poruszające się w próżni lub półprzewodniku, oraz z systemami wykorzystującymi urządzenia w których takie zjawiska mają miejsce.

202. Ziemia jest w przybliżeniu sferoidą spłaszczoną na biegunach. Przybliżone wymiary i wielkość spłaszczenia podane są w załączniku X. Jednak w zastosowaniach nawigacyjnych przyjmuje się, że Ziemia jest kulą, z błędem który można pominąć.

Ós obrotu Ziemi jest to linia łącząca biegun północny i południowy.

203. Koła Ziemi – koło wielkie jest linią powstałą z przecięcia sfery i płaszczyzny na której leży środek sfery (rys. 203a). Jest to największy okrąg jaki może być narysowany powierzchni sfery. Najkrótsza linia na powierzchni sfery łącząca dwa punkty leżące na jej powierzchni jest częścią koła wielkiego. Na sferoidalnej powierzchni Ziemi najkrótsza linia łącząca dwa punkty nazywana jest *linią geodezyjną*. W przypadku większości problemów nawigacyjnych koło wielkie jest wystarczająco dobrym przybliżeniem linii geodezyjnej.

Koło małe jest linią przecięcia się sfery i płaszczyzny nie przechodzącej przez środek tej sfery (rys. 203a).

Południk jest kołem wielkim przechodzącym przez geograficzne bieguny Ziemi. W związku z tym wszystkie południki przecinają się na biegunach a ich płaszczyzny przecinają się na jednej linii, którą jest *ós ziemską*. Określenia *południk* używa się zwykle tylko w odniesieniu do górnej połowki południka, łączącej dwa bieguny i przechodzącej przez dany punkt. Druga część południka nazywana jest *dolną połówką*.

Południk zerowy jest to południk używany jako odniesienie przy mierzeniu długości geograficznej (rys. 203c). Powszechnie jako zerowego południka używa się południka przechodzącego przez Brytyjskie Obserwatorium Królewskie w Greenwich pod Londynem.

Równik jest tym wielkim kołem na powierzchni Ziemi, którego płaszczyzna jest prostopadła do osi ziemskiej (rys. 203d). Leży on w połowie odległości między biegunami.

Równoleżnik jest okręgiem na powierzchni Ziemi, równoległym do płaszczyzny równika (rys. 203e). Łączy on wszystkie punkty o tej samej szerokości geograficznej. Równik, będący kołem wielkim jest szczególnym przypadkiem równoleżnika łączącego punkty o szerokości 0 stopni. Innym przypadkiem szczególnym są bieguny, pojedyncze punkty o szerokości 90 stopni. Wszystkie inne równoleżniki są kołami małymi.

204. Pozycja na powierzchni Ziemi Pozycja na powierzchni Ziemi (za wyjątkiem biegunów) może być określona dwiema wielkościami nazywanymi *współrzędnymi*. Zwyczajowo jako współrzędnych używa się długości i szerokości geograficznej. Pozycja może być również wyrażona w odniesieniu do znanej pozycji geograficznej.

Szerokość geograficzna jest odległością kątową od równika, mierzoną na północ lub południe wzdłuż południka od 0 stopni na równiku do 90 stopni na biegunie (rys. 203c). Oznacza się ją jako północną (N) lub południową (S) aby oznaczyć kierunek w którym mierzono tę odległość.

Różnica szerokości pomiędzy dwoma punktami jest długością kątową łuku dowolnego południka między równoleżnikami na których leżą te punkty (rys. 203c). Jest ona liczbową różnicą szerokości jeśli oba punkty leżą po tej samej stronie równika lub sumą, jeśli leżą po przeciwnych stronach. Kiedy trzeba może być oznaczana jako północna lub południowa.

Średnia szerokość pomiędzy dwoma punktami leżącymi po tej samej stronie równika jest połową sumy ich szerokości geograficznej. Oznacza się ją jako N lub S aby zaznaczyć, czy punkty leżą na północ czy na południe od równika. Czasem używa się wzoru mówiącego, że kiedy punkty leżą po przeciwnych stronach równika wtedy średnia szerokość równa jest połowie różnicy między obiema szerokościami i przyjmuje miano punktu bardziej odległego od równika. Jednak korzystanie z tej zależności może być mylące, więc zwykle w sytuacji, kiedy punkty leżą po przeciwnych stronach równika używa się dwu szerokości średnich, z których każdy jest średnią szerokości odpowiedniego punktu i 0 stopni.

Długość geograficzna jest to łuk równoleżnika albo kąt na biegunie między południkiem zerowym a południkiem, który przechodzi przez dany punkt, mierzony na wschód lub zachód od południka zerowego od 0 do 180 stopni. Oznaczamy go jako E lub W aby określić kierunek, w którym mierzyliśmy kąt.

Różnicą długości geograficznych między dwoma punktami nazywamy najkrótszy łuk równoleżnika lub mniejszy kąt przy biegunie pomiędzy południkami przechodzącymi przez oba punkty. Jeśli oba punkty leżą po tej samej stronie (na wschód lub zachód) od południka Greenwich różnica długości jest równa różnicy długości obu punktów, jeśli leżą po przeciwnych stronach różnica długości jest równa sumie długości, chyba że suma ta jest większa od 180 stopni, wtedy różnica długości równa jest 360 stopni minus ta suma. Odległość między dwoma południkami, wyrażona w jednostkach odległości (zwykle w milach morskich) nazywana jest zboczeniem nawigacyjnym. Jest ona równa najmniejszej odległości na wschód lub zachód dla statku płynącego pomiędzy dwoma punktami. Jego liczbowa wartość pomiędzy dowolnymi dwoma południkami maleje wraz ze wzrostem szerokości geograficznej, podczas kiedy różnica długości geograficznych jest taka sama niezależnie od szerokości geograficznej.

205. Odległość na powierzchni Ziemi *Odległość* jest przestrzennym oddaleniem dwu punktów, wyraża się ją jako długość łączącej je linii. Na powierzchni Ziemi wyraża się ją zwykle w milach. Nawigatorzy zwyczajowo używają *mil morskich*, równych 1852 metry. Jest to wartość zalecona przez Międzynarodowe Biuro Hydrograficzne w roku 1929 i przyjęta przez większość krajów morskich. Często nazywa się ją *międzynarodową milą morską* w celu odróżnienia od nieznacznie różniącej się wartością mili morskiej używanej w niektórych krajach. 1 lipca 1959 Stany Zjednoczone przyjęły długość jednego jarda jako 0,9144 metra. W związku z tym długość międzynarodowej mili morskiej wynosi w przybliżeniu 6076,11549 stóp. W większości zastosowań nawigacyjnych przyjmuje się, że mila morska równa jest długości jednej minuty południka lub dowolnego innego koła wielkiego Ziemi, niezależnie od miejsca. Na sferoidzie Clarcka z roku 1866, użytej do wykreślenia map Ameryki Północnej długość jednej minuty długości zmienia się od około 6046 stóp na równiku do około 6108 stóp na biegunach. Długość jednej minuty koła wielkiego na sferze o polu powierzchni równym polu

powierzchni Ziemi reprezentowanej przez tę sferoidę wynosi 6080 stóp amerykańskich. Przed przyjęciem wartości międzynarodowej wartość ta była standardem w Stanach Zjednoczonych. *Mila geograficzna* jest długością jednej minuty równika, lub około 6087 stóp.

Mila lądowa lub *statutowa* równa 5280 stóp jest powszechnie używana przy nawigowaniu na rzekach i jeziorach, w tym na Wielkich Jeziorach w Ameryce Północnej.

Mila morska to około 38/33 lub w przybliżeniu 1,15 mili statutowej. Tabela konwersji pomiędzy milami statutowymi a morskimi podana jest w tabeli 20.

Odległość, w znaczeniu zwykle używanym przez nawigatora odnosi się do długości *loksodromy* łączącej dwa punkty. Jest to linia tworząca taki sam kąt ze wszystkimi południkami. Południki i równoleżniki (również równik) które także utrzymują stały kierunek mogą być uważane za szczególny przypadek loksodromy. Każda inna loksodroma jest linią spiralną zbliżającą się do bieguna, tworząc *krzywą loksodromiczną* (rys. 205). Odległość między dwoma punktami mierzona wzdłuż koła wielkiego łączącego te dwa punkty zwykle określana jest jako *odległość po ortodromie*.

206. Szybkość jest tempem w jakim odbywa się ruch, lub też odległością przebywaną w jednostce czasu.

Węzeł jest powszechnie używaną w nawigacji jednostką szybkości równą jednej mili morskiej na godzinę. Określenie „węzeł na godzinę” oznacza przyspieszenie a nie szybkość.

Określenie *szybkość posuwania się* oznacza szybkość mierzoną wzdłuż trasy (art. 207), zaś *prędkość nad dnem* oznacza prędkość wzdłuż rzeczywiście przebywanej drogi.

207. Kierunek na powierzchni Ziemi Kierunek jest położeniem jednego punktu względem drugiego przy pominięciu odległości między nimi. W nawigacji kierunek wyraża się zwykle jako wyrażoną w stopniach odległość kątową od północy lub dziobu statku. Kierunki kompasowe (east, south by west itp) lub rumby (równe 11,25 stopnia lub 1/32 kąta pełnego) są rzadziej używane przez współczesnych nawigatorów przy precyzyjnym określaniu kierunku.

Kurs jest poziomym kierunkiem w którym steruje lub powinien sterować statek, wyrażonym jako kątowa odległość od kierunku północnego, zwykle od 0 stopni dla północy zgodnie z ruchem wskazówek zegara do 360 stopni. Dokładnie termin ten odnosi się do kierunku po wodzie, nie kierunku nad dnem. Kurs często określa się jako *rzeczywisty*, *magnetyczny* lub *kompasowy*. *Kąt drogi nad dnem* jest wynikowym kierunkiem od punktu początkowego do punktu końcowego w danym czasie. Kurs przebywany nad dnem określa się często również jako kurs posuwania się. *Linia kursowa* jest linią będącą przedłużeniem kursu.

Przy obliczeniach czasem wygodniej jest wyrażać kurs jako kąt od północy lub południa, od 0 do 90 lub 180 stopni. W tym przypadku określa się go jako kąt wyrażony w mierze połówkowej (ang. course angle) i powinno się odpowiednio oznaczyć początek (przedrostkiem) i kierunek mierzenia (przyrostkiem). Tak więc $N35^\circ E$ jest to kurs 35° ($000^\circ + 35^\circ$), $N 155^\circ W$ jest to kurs 205° ($360^\circ - 155^\circ$), $S 47^\circ E$ jest to 133° ($180^\circ - 47^\circ$). Jednak kurs 260° można wyrazić jako $N 100^\circ W$ lub $S 80^\circ W$, w zależności od sytuacji.

Trasa jest to zamierzany poziomy kierunek posuwania się z uwzględnieniem Ziemi, jest również torem zamierzonego ruchu. Używa się też określenia *trasa planowana* mówiąc o trasie, którą zamierzamy płynąć (rys. 207a). Trasa którą poruszamy się w rzeczywistości jest dość nieregularną linią. Trasa składa się z jednej lub większej liczby linii kursowych prowadzących

od punktu początkowego do końcowego, wzdłuż których ma poruszać się statek. Ortodroma którą ma płynąć statek nazywamy *trasą ortodromiczną*.

Kierunek, w którym zwrócony jest statek (ang. heading) jest to kierunek w którym zwrócony jest statek, wyrażony jako odległość kątowna od kierunku północnego, mierzony zwykle od 0 do 360 stopni. Kierunku tego nie należy mylić z kursem. Kierunek w którym zwrócony jest statek jest wartością która cały czas się zmienia pod wpływem oddziaływania morza, wiatru i błędu sterowania.

Namiar jest kierunkiem od jednego punktu lądowego na inny, wyrażonym jako kątowna odległość od kierunku odniesienia, mierzonym zwykle od 0 do 360 stopni. Namiar mierzony od północy lub południa i wyrażany w zakresie od 0 do 90 lub 180 stopni jest namiarem w mierze połówkowej. Odnoszą się do niego te same zależności co do kursu wyrażonego w mierze połówkowej. Określeń „namiar” i „azymut” używa się czasem zamiennie, choć to drugie jest raczej zastrzeżone dla poziomego kierunku między punktem na Ziemi a punktem na sferze niebieskiej.

Kąt kursowy jest namiarem mierzonym od dziobu statku. Jest on zwykle mierzony od 0 do 360 stopni. Czasem jednak wygodniej jest mierzyć go w prawo i lewo od dziobu statku, w zakresie od 0 do 180 stopni. Jest to prawdą zwłaszcza przy korzystaniu z tabeli 7. Starsze metody, takie jak określanie liczby stopni lub rumbów od pewnej części statku przy precyzyjnym określaniu kierunku, poza namiarami przed dziobem, za rufą czy na trawersie.

Aby przeliczyć kąt kursowy na namiar należy wyrazić go jako kąt z zakresu od 0 do 360 stopni i dodać kierunek, w którym zwrócony jest statek.

Namiar rzeczywisty = kąt kursowy + kurs

W ten sposób jeśli płyniemy kursem 127° i widzimy drugi statek na kącie kursowym 150° to namiar jest równy $127^\circ + 150^\circ = 227^\circ$. Jeśli wynik przekracza 360 stopni należy odjąć 360 stopni od wyniku.

Aby przeliczyć namiar na kąt kursowy należy odjąć kurs:

kąt kursowy = namiar rzeczywisty – kurs

W ten sposób latarniowiec widziany w namiarze 241° ze statku płynącego kursem 137° znajduje się na kącie kursowym $241^\circ - 137^\circ = 104^\circ$. Jeśli kurs jest większy od namiaru należy dodać 360 stopni do namiaru przed odjęciem kursu.

Podpisy pod ilustracjami

(podpis pod ilustracją na stronie tytułowej) Ostatni obraz Gilberta Stuarta (1828). Niedokończony w momencie śmierci artyty jednak przez rodzinę Bowditcha uważany za najlepszy z wielu wykonanych portretów.

Rysunek 109a. Tak około roku 150 n.e. Ptolemeusz wyobrażał sobie świat. Mapę wykonał w roku 1482 Nicolaus Germanus do tłumaczenia „Cosmographii”.

Rysunek 109b. XIV-wieczna mapa portolanowa.

Rysunek 109c. Mapa świata Orteliusa, z jego atlasu „Theatrum Orbis Terra”, opublikowanego w Antwerpii w roku 1570.

Rysunek 112. Log ręczny. Na ilustracji widać szpulę, linę i klepsydrę.

Rysunek 118. Oryginalna strona tytułowa „The New American Practical Navigator”, napisanego przez Nathaniela Bowditcha i opublikowanego w roku 1802.

Rysunek 120. Oryginał i rekonstrukcja babilońskiej mapy z roku ok. 500 p.n.e. Babilończycy wierzyli, że Ziemia jest płaskim dyskiem otoczonym słońą rzeką.

Rysunek 118. Schemat epicykli, którymi starożytni wyjaśniali wsteczny ruch planet. Wierzono, że planety poruszają się po małych okręgach których środki okrążają Ziemię po dużych okręgach.

Rysunek 124a. Starożytne astrolabium, jedno z pierwszych urządzeń do pomiaru wysokości ciał niebieskich.

Rysunek 124b. Łaska Jakuba, pierwszy przyrząd wykorzystujący do obserwacji astronomicznych widoczny horyzont.

Rysunek 124c. Kwadrant angielski, ulubiony przyrząd nawigatorów z kolonii amerykańskich.

Rysunek 118. Nokturnał, przyrząd używany do określenia szerokości geometrycznej na podstawie obserwacji Gwiazdy Polarnej.

Rysunek 127. Chronometr nr 1 Harrisona. Pierwszy z czterech czasomierzy skonstruowanych przez Harrisona, ważył 65 funtów.

Rysunek 129a. Sfera armilarna, jeden z najważniejszych przyrządów starożytnych astronomów.

Rysunek 129b. Reprodukacja pelorusa Brahego. Instrumentu tego używano do jednoczesnego określania wysokości i azymutu.

Rysunek 130a. Wyjątek z portugalskiego „Regimento do estrolabio e do quadrante” z roku około 1509, podający deklinację Słońca i inne dane oparte na obliczeniach Zacuto na marzec. Symbolem Barana oznaczono pierwszy dzień wiosny, 11 marca według używanego wówczas kalendarza Juliańskiego.

Rysunek 130b. Dane gwiazdne z Almanacha Nautycznego z roku 1855. Uwzględniając roczne poprawki deklinacji i wzniesienia prostego można otrzymać wartości o całkiem niezłej jeszcze dziś dokładności.

Rysunek 131. Pierwsza astronomiczna linia pozycyjna otrzymana w roku 1837 przez kapitana Thomasa Sumnera.

Rysunek 203a. Duże i małe koła.

Rysunek 203b. Płaszczyzny południków przecinają się w osi Ziemi.

Rysunek 203c. Okręgi i współrzędne na powierzchni Ziemi. Wszystkie równoleżniki oprócz równika są kołami małymi, równik i południki są kołami wielkimi.

Rysunek 203d. Równik jest kołem wielkim leżącym pomiędzy biegunami.

Rysunek 203e. Płaszczyzna równoleżnika jest równoległa do równika.

Rysunek 205. Loksodroma.

Rysunek 207a. Linia kursu, trasa, kurs nad dnem, kierunek w którym zwrócony jest statek.

Rysunek 207b. Kąt kursowy.