

KSZTAŁT I WIELK



Początki geodezji sięgają 3-5 tysięcy lat przed naszą erą. W wymiarze praktycznym pojawiła się, kiedy istotne stało się zmierzenie odległości, odłożenie kąta prostego czy obliczenie powierzchni kawałka pola. W wymiarze naukowym – niepozbawionym bezpośrednich związków z filozofią i religią – wtedy, gdy człowiek dorósł do stawiania pytań o miejsce Ziemi we Wszechświecie.

JERZY PRZYWARA

Z czasów najodleglejszych zachowały się tylko nieliczne ślady działalności „geodezyjnej”. Są to malowidła ścienne w tureckiej Anatolii, fragmenty glinianych tablic katastralnych w Mezopotamii, egipskie zapisy na papirusie czy też średniowieczne kopie starożytnych map. Im bliżej współczesności, tym więcej przekazów i namacalnych dowodów różnych etapów rozwoju geodezji i jej wkładu w historię ludzkości. Ilustracją tego fantastycznego postępu niech będą przedstawione na kolejnych stronach ważniejsze osiągnięcia. Każde z nich zasługuje na to, by być przedmiotem oddzielnego artykułu. I tak się pewnie kiedyś stanie. Tym razem skupimy się jednak na kluczowym problemie, jakim było określenie kształtu i rozmiarów Ziemi oraz jej miejsca w kosmosie.

● PYTANIE O KSZTAŁT ZIEMI

nurtowało w starożytności najświetlejszych ludzi epoki. W IX wieku p.n.e. Homer twierdził, podobnie jak Babilończycy (od XXIII w. p.n.e.), że Ziemia jest płaska i podpira niebo. Tales z Miletu wyobrażał sobie naszą planetę jako płytę pływającą po oceanie. Dopiero Pitagoras stwierdził (535 p.n.e.), że Ziemia ma kształt sfery. Według jego filozoficznej teorii kosmos składał się z kryształowych kul, które obracały się wokół globu wraz z zawartymi w nich gwiazdami i planetami. Dla Arystotelesa Ziemia także była centrum kosmosu, a dowodem na jej kulistość miał być kształt cienia rzucanego na Księżyc oraz zmiana wysokości gwiazd przy ich obserwacji z różnych równoleżników. Archimedes obliczył, że jej obwód ma 30 tys. mil. Arystarch z Samos, który jako pierwszy zasugerował heliocentryczny model świata,

stwierdził, że Słońce znajduje się 19 razy dalej od Ziemi niż Księżyc.

● WYZNACZENIE WYMIARÓW ZIEMI

przez żyjącego w III w. p.n.e. matematyka i filozofa Eratostenesa z Cyreny uważa się za niezwykle istotne w rozwoju geodezji. Biegły w rachunkach grecki bibliotekarz wiedział, że jeśli Ziemia jest sferą, to do wyznaczenia obwodu wcale nie trzeba jej całej zmierzyć. W egipskiej Syenie (obecnie Asuan) zaobserwował on, że w czasie najdłuższego dnia w roku tyczka wbiła prosto w ziemię nie rzuca cienia. Sprawdził to, zaglądając do studni; w południe promienie biegnęły prosto na jej dno. Wywnioskował zatem, że jeśli ustawi drugą tyczkę w innym miejscu i w południe rzuci ona cień, będzie to dowód na to, że Ziemia nie jest płaska, lecz kulista.

6200 p.n.e.

Powstaje najstarsza znana obecnie mapa – malowidło ścienne długości ok. 3 metrów przedstawiające prawdopodobnie miasto Catal Hyuk w Anatolii (Turcja), w pobliżu którego zostało odkryte w 1963 r.



2800-2500 p.n.e.

Pierwsza mapa katastralna. W 1930 r. w trakcie prac archeologicznych w pobliżu miejscowości Kirkuk w Iraku odkopano glinianą tabliczkę (7,6 x 6,8 cm) z wrytym rysunkiem działki, zapisem powierzchni i nazwiska właściciela.



2600 p.n.e.

W Egipcie pojawiają się pierwsze instrumenty pomiarowe – pion zawieszony na drewnianej ramie w kształcie litery A lub T.



1200 p.n.e.

Faraon Ramzes II inicjuje systematyczne pomiary katastralne. Coroczne wylewy Nilu przemieszczały kamienie graniczne; znajomość wielkości powierzchni upraw potrzebna była do określenia podatku.



OŚĆ ZIEMI

Posłużył się w tym celu kolumną w Aleksandrii (leżącej prawie 800 kilometrów od Syeny) i obliczył, że obwód Ziemi wynosi 250 tys. stadiów. W zależności od przyjętej wielkości tej jednostki (157,2 m lub 166,7m) otrzymany rezultat jest o kilkanaście procent większy (albo o kilka mniejszy) od rzeczywistego. Wynik jest bardzo precyzyjny, gdyż błędy popełnione przez Eratostenesa skompensowały się (oba miasta nie leżą na jednym południku – różnica wynosi 3°, Asuan nie znajduje się na Zwrotniku Raka, a odległość między miastami uczony określił na podstawie czasu przejścia karawany). Innym dokonaniem Eratostenesa było obliczenie dystansu do Słońca (804 mln stadiów) i Księżyca (780 tys.) oraz określenie odchylenia osi Ziemi 23°51'15".

• **NA SFERYCZNY KSZTAŁT PLANETY** wskazywały także doświadczenia żeglarzy, którzy dawno zauważyli, że podczas zbliżania się do portu zza horyzontu wylania się coraz większy fragment lądu. Utwierdzały ich w tym także obserwacje gwiazd. Już w czasach nowożytnych, wielki grecki astronom i matematyk Ptolemeusz w dziele „Almagest” przedstawił teorię ruchów planet w układzie geocentrycznym. Według niej planety poruszają się wokół Ziemi po skomplikowanych orbitach kołowych (epicykle, deferenty), każda we własnej „sferze”, a obwód globu wynosi ok. 18 tys. km. Poglądy Ptolemeusza i jego wizja świata przetrwały aż do

XVI wieku i wyznaczały w tym okresie nie tylko geodezyjne czy kartograficzne standardy (przypuszcza się, że Kolumb na podstawie mapy świata Ptolemeusza ocenił, że Azja znajduje się tylko 3-4 tys. mil na zachód od Europy).

• **WSTRZYMAŁ SŁOŃCE, RUSZYŁ ZIEMIĘ**

– mowa oczywiście o naszym wielkim astronomie Mikołaju Koperniku, który w 1543 r. w dziele zatytułowanym „O obrotach sfer niebieskich” opisał heliocentryczny model Układu Słonecznego. W jego centrum znajdowało się Słońce, a Ziemia wraz z innymi planetami obiegała je po eliptycznych orbitach. Ziemia była obracającą się kulą, okrążaną przez Księżyc. Był to pogląd rewolucyjny i podważający obowiązującą dotąd wizję świata ptolemeuszowskiego. Niespełna sto lat po śmierci Kopernika jego poglądy potwierdził włoski astronom, fizyk i filozof Galileusz, który jako pierwszy wykorzystał lunetę do prowadzenia pomiarów astronomicznych. Luneta pozwoliła Galileuszowi zobaczyć plamy na Słońcu, dzięki czemu wyznaczył okres obrotu naszej gwiazdy. Z kolei wnioski wysnute na podstawie obserwacji fazy Wenus były dla niego potwierdzeniem teorii głoszonej przez Kopernika. W rozprawie pt. „Dialog o dwu najważniejszych układach świata: ptolemeuszowskim i kopernikańskim” Galileusz zawarł uzasadnienie teorii heliocentrycznej. Mimo to zarówno dzieła

Kopernika, jak i Galileusza przez długi czas były na papieskim indeksie ksiąg zakazanych (oficjalnie zostały z niego usunięte dopiero na początku XIX w.). Rację mieli więc Pitagoras i Kopernik, ale wnioski wysnute na podstawie obserwacji astronomicznych czy traktatów filozoficznych należało potwierdzić bezpośrednimi pomiarami samej planety.

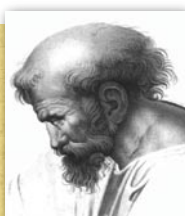
• **POMIARY STOPNIA,**

czyli długości łuku południka odpowiadającego określonej różnicy szerokości geograficznej, po Eratostenesie wykonano dopiero w roku 814 n.e. na zlecenie kalifa Bagdadu Al-Ma'muna, uzyskując zresztą podobny wynik. Z kolei w XI w. pomiar południka przeprowadził jeden z najśłynniejszych arabskich matematyków i astronomów – Al-Biruni. Według jego wyliczeń obwód Ziemi wynosił 41,5 tys. km.

W Europie nowożytnej pierwszy taki pomiar wykonano dopiero na początku XVI w., gdy kontynent przebudził się ze średniowiecznego letargu. Działy się wtedy rzeczy wielkie. W 1492 r. Krzysztof Kolumb dotarł do wybrzeży Ameryki, a w latach 1519-22 Ferdynand Magellan opłynął świat dookoła, dając namacalny dowód na to, że Ziemia jest okrągła. Wspomnianego pomiaru dokonał w 1525 r. Jean Fernel, profesor medycyny z Paryża, który zastosował prostą i zarazem dość przyjemną metodę. Wybrał się na przejażdżkę z Paryża do położonego dokładnie na północ małego Amiens. W południe na miejscu startu zmierzył kwadrantem wysokość Słońca, co pozwoliło mu na określenie szerokości geograficznej. Potem wyruszył bryczką do Amiens, licząc po drodze obroty jednego z jej kół (17 024), którego obwód wcześniej dokładnie zmierzył. Po przy- s. 66 ▶



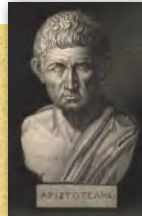
800 p.n.e.
Według Homera Ziemia jest dyskiem otoczonym przez rzekę (Okeanos).



500 p.n.e.
Pitagoras z Samos (ok. 569-475) stawia tezę, że Ziemia

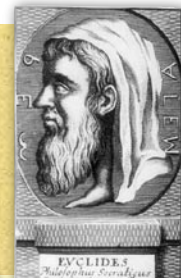
ma kształt sferyczny i znajduje się w centrum wszechświata.

$$a^2 + b^2 = c^2$$



360 p.n.e.
Arystoteles (384-322) twierdzi, że Ziemia jest kulista,

nieruchoma i stanowi centrum Kosmosu. Planeta otoczona jest sferami: ziemską sięgającą do orbity Księżyca i zewnętrzną rozciągającą się do gwiazd. Dowody na kulistość Ziemi: znikające za linią horyzontu statki, kształt cienia Ziemi podczas zaćmienia Księżyca.



295 p.n.e.
Euklides w dziele „Elementy” usystematyzował całą ówczesną wiedzę matematyczną z zakresu m.in.: planimetrii, stereometrii i algebry geometrycznej. Jego dzieło „Optyka” było pierwszą grecką pracą na temat perspektywy. s. 66 ▶





◀ DOKOŃCZENIE ZE S. 5

byciu na miejsce ponownie wyznaczył szerokość geograficzną. Zastanawiające jest, że mimo nierówności terenu i toru jazdy odbiegającego od linii prostej Fernel pomylił się tylko o 1/1000.

Pierwsze „poważne” pomiary wykonał w 1615 r. na zamrzniętych holenderskich łąkach Willebrord Snellius, rozpoczynając triumfalny pochód triangulacji. Według jego pomiarów i nowatorskiego sposobu obliczeń długość południka ziemskiego wynosiła 38,5 tys. km ($1^\circ = 107,4$ km). Także w Wielkiej Brytanii nie zasypano gruzek w popiele. Już w 1633 i 1635 roku Richard Norwood przeprowadził tam odpowiednie prace, posługując się przy pomiarze odległości (Londyn–York) łańcuchami mierniczymi. Według Norwooda długość stopnia wyniosła 110,72 km, co opublikował w podręczniku do nawigacji dla żeglarzy.

Pomiarami stopnia zajmował się też m.in. znany francuski matematyk i astronom Jean Picard, który wykonał w tym celu precyzyjne prace triangulacyjne w latach 1669-70. Bazę o długości 11,4 km pomiędzy Paryżem (Malvoisine) a Fontainebleau (Sourdon) pomierzył drewnianymi łatami, a kąty w sieci składającej się z 13 trójkątów – użytym po raz pierwszy teleskopem z krzyżem nitki. Do obserwacji księżyców Jowisza Picard wykorzystał trzy instrumenty, a czas mierzył dwoma sekundowymi zegarami wahadłowymi. Według jego pomiarów długość stopnia wynosiła 110,46 km (obwód Ziemi – 39 765 km).

Po dokładnych pomiarach Picarda wydawać się zatem mogło, że sprawa rozmiarów Ziemi jest raz na zawsze załatwiona. Problem leżał jednak w tym, że nie dość, że za każdym razem uzyskiwano różne

wyniki, to na dodatek zaczęły pojawiać się nowe teorie związane z ruchem obrotowym Ziemi i grawitacją, podważające uzyskane dotąd rezultaty.

• MIERZONO ZATEM DALEJ.

W latach 1683-1712 włoski astronom Gian Domenico Cassini i jego syn Jacques rozwinęli sieć Picarda w kierunku Dunkierki i na południe do Cullioire. Wiek XVIII rozpoczęto od głośnej francuskiej kampanii w Peru (1735-43) – P. Bouguer, C.M. de la Condamine – i w Laponii wzdłuż granicy szwedzko-fińskiej (1736-37) – P.L.M de Maupertuis, A.C. Clairaut. W latach 1750-53 po raz pierwszy dokonano pomiaru na terenie Włoch – pomiędzy Rzymem a Rimini. Prace, na prośbę papieża Benedykta XIV, poprowadził znany astronom i matematyk – jezuita Rudjer Josip Boscovich wraz z angielskim duchownym Christopherem Maire. Powtórna kampanię na tym odcinku wykonali w latach 1802-07 topografowie francuscy z udziałem astronomów włoskich w ramach prowadzonej przez Napoleona polityki pomiarów topograficznych.

Z kolei w latach 1792-98 kolejne pomiary łuku południka paryskiego (Dunkierka-Perpignan) wykonali francuscy astronomowie Jean-Baptiste Delambre i Pierre Mechain. Miały one niebagatelne znaczenie z uwagi na to, że dały podstawę do określenia długości wzorca metra w 1795 r.

W pierwszej połowie XIX wieku zakrojone na szeroką skalę prace prowadziły na terenie dzisiejszych Indii Anglicy. Rozpoczął je pułkownik William Lambton (1799), a zakończył George Everest. Ciąg triangulacyjny biegł od północnej Sri Lanki aż do podnóża Himalajów.

W Europie największym ówczesnym przedsięwzięciem był pomiar łuku południka $25^\circ 20'$ prowadzony pod kierunkiem osiadłego w Rosji niemieckiego astronoma i geodety F.G.W. Struvego. Łańcuch triangulacyjny rozciągał się od Norwegii do wybrzeża Morza Czarnego, a prace zajęły, podobnie jak w Indiach, kilkadziesiąt lat (1816-52). W 1899 r. ukończono także transkontynentalne pomiary w Stanach Zjednoczonych, a w latach 1853-1954 w Afryce.

• CHARAKTERYSTYCZNA JEST SKALA,

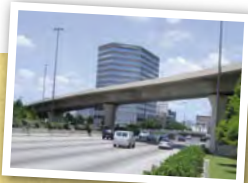
zwłaszcza XVIII- i XIX-wiecznych przedsięwzięć, nieporównywalna z eksperymentem Eratostenesa czy przejażdżką Fernela do Amiens. Uczestniczyli w nich najwybitniejsi geodeci i astronomowie epoki. W pracach posługiwano się najprecyzyjniejszymi instrumentami i najbardziej wyrafinowanymi technikami pomiarowymi i obliczeniowymi. Gdyby pokusić się o wykonanie animacji komputerowej prezentującej postęp prac od Eratostenesa do XX wieku, zobaczylibyśmy, jak rysunek przekształca się od pojedynczych odcinków – pomierzonych w Egipcie, w okolicach Bagdadu, Londynu czy Paryża – w coraz gęstszą sieć trójkątów pokrywającą wszystkie kontynenty. Snellius w najśmielszych marzeniach nie mógł przewidzieć takiego rozwoju triangulacji. Za to Gauss w czasie prac nad połączeniem duńskiej i niemieckiej sieci triangulacyjnej stwierdził pewnego razu: „być może nie jest fantazją to, że kiedyś wszystkie obserwacje astronomiczne zostaną za pomocą triangulacji połączone”. I nie pomylił się.

JERZY PRZYWARA



1998

W Szwecji uruchomiono sieć 21 stacji permanentnych GPS.



Firma Trimble wprowadza pierwszy system do zarządzania flotą transportową na bazie technologii GPS i telefonii komórkowej.



1999

Satelita Ikonos firmy Space Imaging

– pierwszy komercyjny wysokorozdzielczy system teledetekcyjny na orbicie; rejestruje obrazy czarno-białe (rozdzielczość

0,82 m) i kolorowe (4 m), ogniskowa obiektywu kamery – 10 m.

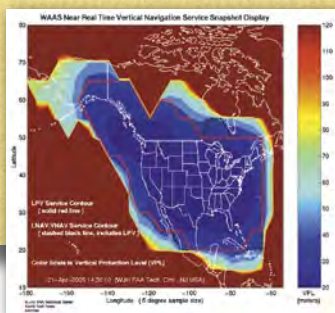
2000

Radarowa misja topograficzna promu kosmicznego Endeavour. W ciągu 100 godzin ska-



nowania został zarejestrowany trójwymiarowy obraz Ziemi z rozdzielczością 30 i 90 m (dokładność geometryczna w poziomie – 20 m, w pionie – 16 m).

WAAS – system zwiększenia dokładności GPS – obejmuje zasięgiem działania Amerykę Północną (do przesyłania korekt GPS służą dwa satelity geostacjonarne i dwie stacje naziemne).



Unia Europejska i Europejska Agencja Kosmiczna podpisały kontrakt na opracowanie wstępnego projektu budowy europejskiego systemu nawigacji satelitarnej Galileo.

