

**GEODEZIA ȘI SISTEMELE INFORMATICE
GEOGRAFICE**

TIBERIUS TOMOIAGĂ

CONSTANTIN NIȚU

**GEODEZIA ȘI SISTEMELE INFORMATICE
GEOGRAFICE**



EDITURA UNIVERSITARĂ
București, 2015

“The most incomprehensible thing about the world is that it is comprehensible.” – Albert Einstein

CUPRINS

CAPITOLUL 1: INTRODUCERE	11
1.1 Geodezia	11
1.2 Scurt istoric al geodeziei.....	12
1.3 De ce este necesară geodezia?	14
CAPITOLUL 2: DIMENSIUNILE ȘI FORMA PĂMÂNTULUI. SFERA. ELIPSOIDUL. GEOIDUL. DEVIAȚIA VERTICALEI	16
2.1 Dimensiunile Pământului.....	16
2.2 Forma Pământului.....	18
CAPITOLUL 3: SISTEME DE COORDONATE.....	25
3.1 Date geospațiale.....	25
3.2 Sisteme de coordonate elementare.....	25
3.3 Sisteme de coordonate utilizate cel mai frecvent în geomatică.....	29
CAPITOLUL 4: DATUMUL GEODEZIC	36
4.1 Datumul orizontal	37
4.2 Datumul vertical	42
4.3 Situația daturilor și rețelelor geodezice naționale din România.....	45
CAPITOLUL 5: TRANSFORMĂRILE DE COORDONATE.....	48
5.1 Conversiile de coordonate.....	50
5.2 Transformările de coordonate	65
CAPITOLUL 6: CÂMPURILE GEOFIZICE.....	72
6.1 Câmpul gravitațional (gravific) terestru.....	72
6.1.1 Anomaliile gravitației.....	74
6.1.2 Sisteme de cote	77
6.2 Câmpul magnetic terestru	81
6.2.1 Declinația magnetică	83
6.2.2 Magnetosfera	84
6.2.3 Variația în timp a câmpului magnetic.....	84

CAPITOLUL 7: SISTEMELE DE POZIȚIONARE GLOBALĂ ȘI SISTEMELE DE NAVIGAȚIE GLOBALĂ PRIN SATELIT	87
7.1 Principii de funcționare și structura generală a sistemului.....	87
7.2 Principalele sisteme de navigație globală prin satelit aflate în uz în prezent	89
7.2.1 Sisteme globale.....	90
7.2.2 Sisteme regionale.....	94
7.2.3 Sisteme de augmentare	96
7.3 Segmentul utilizator al GNSS.....	109
 CAPITOLUL 8: REȚELE GEODEZICE	114
8.1 Rețele de control pe orizontală	115
8.1.1 Elementele componente ale rețelelor de triangulație	115
8.1.2 Clasificarea rețelelor de triangulație	116
8.1.3 Fazele realizării unei rețele.....	117
8.1.4 Recunoașterea în teren a punctelor rețelei	118
8.1.5 Metode de măsurare a mărimilor unor elemente	119
8.1.6 Executarea calculului și aprecierea preciziei	122
8.2 Rețele de control pe verticală (nivelment)	123
8.3 Rețele gravimetrice	126
8.4 Rețele de control GNSS.....	127
 BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ.....	128
Anexa 1: Parametrii elipsoidului de referință	131
Anexa 2. Sistemul geodezic de referință (datumul geodezic) WGS 84	132
Anexa 3. Sistemul geodezic de referință (datumul geodezic) PZ90	135
Anexa 4: Determinarea parametrilor de transformare dintr-un datum geodezic în altul.....	138
Anexa 5: Fragment din fereastra de georeferențiere a programului Global Mapper.....	140
Anexa 6: Fereastra de georeferențiere a programului QGIS.....	141
Anexa 7: Calculul distanței pe ortodromă (pe “cercul mare”)	142
Anexa 8: Loxodroma (linia de azimut constant, rhumb line).....	145
Anexa 9: Calculul orientărilor și distanțelor între punctele vechi.....	147
Anexa 10: Intersecția simplă înainte.....	148
Anexa 11: Intersecție simplă înapoi (retrointersecția)	150
Anexa 12: Intersecție liniară	153
Lista figurilor	156
Lista tabelor	159

CUVÂNT ÎNAINTE

Acest manual se adresează în primul rând studenților Facultății de Geografie, dar și aceluia care, deși vor fi utilizatori ai Sistemelor Informatice Geografice (SIG), nu dețin o serie de noțiuni fundamentale din domeniul geodeziei.

Deși geodezia este o ramură a științelor geomatice cu un vast domeniu de acoperire, acest manual nu tratează decât noțiuni elementare, necesare utilizării în mod corect a SIG, cu precădere a datelor geospațiale.

În lucrarea de față sunt tratate subiecte cum ar fi:

- forma Pământului;
- sistemele de coordonate și de referință;
- rolul, necesitatea și modul de definire a unui datum;
- sistemele de altitudini (cote);
- necesitatea, principiile și erorile ce apar la transformarea coordonatelor între diferite sisteme de referință (pe lângă transformarea între datumuri, se tratează pe scurt și cazul particular al georeferențierii);
- principiile poziționării prin GPS;
- noțiuni elementare de teoria erorilor.

Toate aceste elemente asigură un minim de noțiuni ”geodezice” necesare utilizării în mod corect a datelor geospațiale din cadrul unui SIG.

Nu se tratează decât la modul introductiv și descriptiv problemele legate de rețele (geodezice/planimetrice, nivelment, GPS, magnetism, gravimetrice) deoarece obiectul de activitate al studenților nu necesită aceste cunoștințe.

Totuși, pentru aceia care doresc să aprofundeze noțiunile de geodezie, recomandăm câteva lucrări de referință, cu mențiunea că numărul lor este mult mai mare și de înaltă valoare științifică:

- Dragomir, V., Rotaru, M., (1986). Mărturii geodezice. Editura Militară, București
- Dragomir, V, et all (1977). Teoria figurii pământului. Editura Tehnică, București
- Ghițău, D., (1972). Geodezie – Triangulație. Editura Didactică și Pedagogică, București
- Ghițău, D., et all, (1973). Manualul inginerului geodez, Editura Tehnică, București
- Ghițău, D., (1983). Geodezie și gravimetrie geodezică. Editura Didactică și Pedagogică, București

- Moldoveanu, C., (2002). Geodezie. Editura Matrix Rom, București

Acest manual nu are alt rol decât de a ghida ”primii pași” în domeniul geodeziei și doar atât cât să se înțeleagă corect o serie de noțiuni de bază fără de care datele geospațiale ar putea fi utilizate în mod defectuos în cadrul unui SIG.

*București,
Septembrie, 2015
Autorii*

CAPITOLUL 1

INTRODUCERE

1.1 Geodezia

În accepțiune generală, geodezia are ca obiect determinarea formei și dimensiunilor planetei Pământ în ansamblul său și pe porțiuni, inclusiv reprezentarea sa. În accepțiune restrânsă, de geodezie țin acele lucrări ce se desfășoară pe suprafețe mari, care necesită luarea în considerare a efectului curburii pământului – spre deosebire de topografie, care implică lucrări efectuate pe suprafețe restrânse de teren, neținând cont de curbura pământului.

Numele vine din greaca veche: γεωδαισία (geódaisía) și este un cuvânt compus din γῆ (gè) care înseamnă pământ și δαίω (daíô) care înseamnă a împărți, a diviza.

De-a lungul timpului, pe lângă definiția vechilor greci, geodezia a mai primit și alte definiții. Astfel, în anul 1880 Helmert a oferit următoarea definiție: ”Geodezia este știința măsurării și reprezentării suprafeței Pământului”, iar în 1978 Sigl a definit geodezia ca fiind ”știința ce are ca obiect determinarea configurației, mărimii și câmpului gravific al pământului, plus reprezentarea acestuia sub formă de hărți.

Atât geodezia, cât și topografia, cartografia și fotogrammetria fac parte dintr-o sferă mult mai complexă, cea a **măsurătorilor terestre** menite să furnizeze date și informații pentru o multitudine de lucrări inginerești din diferite domenii de activitate. Geodezia este o disciplină care descrie geometria suprafeței terestre ca bază pentru întocmirea hărților. Ea se ocupă de asemenea și cu măsurarea și reprezentarea Pământului, a câmpului său gravitațional și cu fenomenele geodinamice cum sunt deplasarea polilor, marea terestră și mișcările crustei în spațiul tridimensional, variabil în timp.

Practic, prin activitățile desfășurate, geodezia este ”furnizorul” modelelor *matematice* și *fizice* ale Pământului și poate fi împărțită în:

- geodezia elipsoidală, în cadrul căreia se studiază bazele matematice pentru luarea în considerație a suprafeței elipsoidale a pământului;
- geodezia tridimensională sau spațială în cadrul căreia se studiază bazele matematice pentru determinarea coordonatelor punctelor geodezice în spațiul tridimensional;
- geodezia fizică, parte care studiază câmpul gravitațional și forma pământului;
- geodezia satelitară.

1.2 Scurt istoric al geodeziei

Există numeroase lucrări legate de istoria geodeziei. Nu intrăm în amănunte, ci prezentăm pe scurt principalele etape și personajele cheie care au contribuit la dezvoltarea acestei științe. Ceea ce trebuie reținut este faptul că multă vreme produsele geodezice au avut un scop pur științific. Caracterul practic l-au primit o dată cu apariția și dezvoltarea rețelelor geodezice, lucru care a dus la numeroase aplicații cartografice. Totuși, importanța practică a geodeziei a făcut un salt spectaculos o dată cu apariția tehnologiilor satelitare de poziționare și culegere a datelor geospațiale.

Dezvoltarea geodeziei se poate împărți în patru mari etape (după unii autori sunt cinci, dar acest fapt are o relevanță redusă în cazul acestei lucrări):

- 1 - Perioada contemporană lui Thales și până la dispariția imperiului roman;
- 2 - Evul Mediu, Renașterea, până la mijlocul secolului al XVIII-lea;
- 3 - Următorii 200 de ani, până la sfârșitul celui de-al doilea război mondial;
- 4 - Perioada marilor descoperiri tehnologice (Nițu, C., Tomoiagă, T., 2015).

Repere istorice:

- Thales din Milet (625-447 Î.C.) este legat de primele idei documentate legate de geodezie.
- Pitagora (născut în 582 Î.C.): a declarat că “Pământul este rotund”.
- Prima hartă a bolții cerești a fost întocmită de către Eudoxus (408-355 Î.C.), care a determinat aproape exact și lungimea unui an - 365.25 zile.
- Aristotel (384-322 Î.C.) a formulat primele argumente legate de sfericitatea Pământului, primele idei legate de gravimetrie, primele estimări ale dimensiunii Pământului, respectiv circumferința la Ecuator de 400.000 stadii, o stadie fiind aprox. 600 picioare.
- Aristarchus (310-250 Î.C.) a făcut primele încercări privind determinarea distanțelor și dimensiunilor soarelui și lunii.
- Eratostene, în Alexandria, Egipt (276-195 Î.C.) este primul care a determinat dimensiunea Pământului. Rezultatele lui au fost cu 16% mai mari. Este considerat fondatorul geodeziei, fiind primul care a determinat circumferința Pământului folosind ecuația:

$$(360^\circ \div \theta) \times (s) \quad (1.1)$$

unde (s) reprezintă distanța între două puncte pe direcția Nord-Sud aflate pe suprafața Pământului, iar θ reprezintă unghiul în centrul Pământului între razele sferei terestre spre cele două puncte. Eratostene a obținut unghiul θ folosind razele luminoase ale soarelui. În ziua solstițiului de vară, la prânz, într-o fântână din Syene (acum Asuan, Egipt), soarele lumina în interior fără nici o umbră. În aceeași zi, în Alexandria, Egipt, el a observat că soarele arunca o umbră de aprox. 7° . Combinând aceste valori cu distanța de aprox. 4.400 stadii între Syene și Alexandria, rezultă: $360^\circ \div 7,12^\circ = 50$; $50 \times 4.400 = 220.000$ stadii, sau aprox. 40.234 km. Valoarea acceptată astăzi este de aprox. 40.000 km.

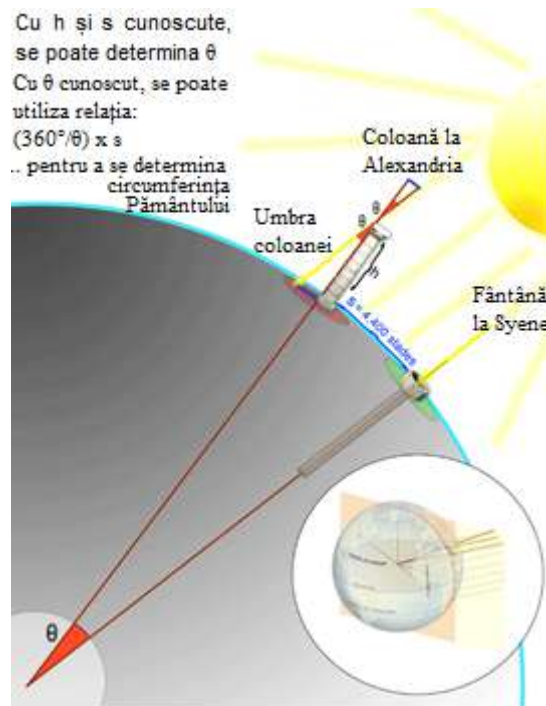


Figura 1. 1: Metoda lui Eratostene de determinare a dimensiunii Pământului
 (după http://oceanservice.noaa.gov/education/kits/geodesy/geo02_histr.html)

- Poseidonius (135-50 Î.C.), de asemenea, a determinat dimensiunea Pământului, măsurând arcul de cerc între Rhodos și Alexandria. Rezultatele lui au fost cu 11% mai mari.
- Arabii (califul Abdullah al Mamun), în jurul anului 827 D.C., în apropierea Bagdadului, au făcut determinări ale dimensiunii Pământului cu doar 3,6% mai mari.
- În perioada Evului Mediu, geodezia a decăzut datorită teologiei și inchiziției.
- Explorările majore au revenit la sfârșitul secolului al XV-lea, prin Columb (1492), Vasco da Gama (1497), Magellan (1519). Extinderea cunoștințelor geografice a generat noi profesii, respectiv desenarea hărților și cartografia.
- Amerigo Vespucci (1451-1512) a realizat prima hartă a coastei Pacifice a Americii de Nord și a botezat continentul.
- Mercator poate fi considerat tatăl cartografiei moderne.
- Semne ale revigorării geodeziei pot fi găsite la mijlocul secolului al XV-lea, o dată cu inventarea telescopului, utilizarea triangulației pentru măsurarea arcelor, introducerea teoriei gravitației, utilizarea calculului diferențial și integral, standardizarea unității de lungime și introducerea compensărilor prin cele mai mici pătrate – mai corect metoda sumei minime a pătratelor erorilor (Copernic, Galileo, Kepler – inventarea telescopului, Stevin – introducerea gravimetriei).
- În 1615, olandezul Willebrord Snellius a măsurat un arc de peste 80 de mile folosind o serie de 33 de triunghiuri. Calculele sale privind circumferința Pământului au fost cu 3,4% mai mici.

- În 1669-1670, francezul Jean Picard a măsurat un arc pe meridianul care trece prin Paris și a obținut o valoare doar cu 0,7% mai mare.
- Newton a avut nevoie de măsurătorile lui Picard și chiar le-a utilizat în dezvoltarea teoriei gravitației universale, publicată în 1687. De asemenea, Newton a concluzionat ca Pământul este turtit la poli datorită mișcării de rotație.
- Rețele de puncte având pozițiile orizontale determinate prin măsurători de unghiuri și, ocazional, de distanțe, cunoscute astăzi ca rețele de triangulație, au început să fie utilizate în sprijinul realizării hărților.
- Laplace pune fundamentele mecanicii cerești moderne, a teoriei mareelor.
- Gauss definește geoidul, inventează metoda celor mai mici pătrate, mai corect metoda sumei minime a pătratelor erorilor.
- În secolul al XIX-lea erau inventate cele mai multe instrumente matematice utilizate în prezent în geodezie, remarcându-se Euler (1707-1783), Lagrange (1736-1813), Fourier(1768-1830).
- La mijlocul secolului al XX-lea, în revoluția tehnologică apar:
 - Sistemele de detectare și măsurare a distanțelor folosind unde radio;
 - Radarul;
 - Calculatoarele electronice și metodele calculelor numerice;
 - Dispozitivele electromagnetice precise de măsurare, disponibile și pentru geodezi (lumina polarizată, unde radio, laser);
 - Lansarea sateliților – salt uriaș în geodezie.

1.3 De ce este necesară geodezia?

Revoluția Sistemelor Informatice Geografice (SIG) a creat o nouă generație de cartografi, care în mod frecvent sunt specializați în utilizarea calculatoarelor, a aplicațiilor SIG și în generarea diferitelor tipuri de hărți, dar nu au în mod obligatoriu instruirea necesară pentru înțelegerea conceptelor și proceselor ce se află în spatele creării datelor geospațiale. Acest lucru poate conduce la erori de înțelegere, apoi de utilizare și în final la produse finale eronate.

Realitatea este că „originalul” se află pe suprafața terestră, care este o suprafață complexă, iar pentru a ajunge la hartă sunt necesare numeroase procese matematice care trebuie corect aplicate pentru a se asigura precizia necesară produsului final (Figura 1. 2).

Așa cum reiese și din imaginea de mai jos, pentru a ajunge de pe suprafața terestră în planul hărții avem nevoie de un elipsoid, un sistem de referință și o proiecție cartografică.

Există numeroase sisteme de referință și proiecții cartografice. Datele geospațiale create în diferite asemenea sisteme nu pot fi „amestecate” pur și simplu, ci pot necesita uneori prelucrări serioase înainte de a fi mixate. Amestecarea lor în starea inițială, având referințe diferite, poate conduce la obținerea unor produse nu numai eronate, dar uneori lipsite de sens și înțeles. Din acest motiv transformările de coordonate sunt tratate separat, inclusiv cazul particular al georeferențierii (foarte populară studenților acestei facultăți), care, deși simplă la prima vedere din punct de vedere tehnic, poate degrada calitatea datelor în mod semnificativ dacă nu se ține seama de anumite aspecte „geodezice”.

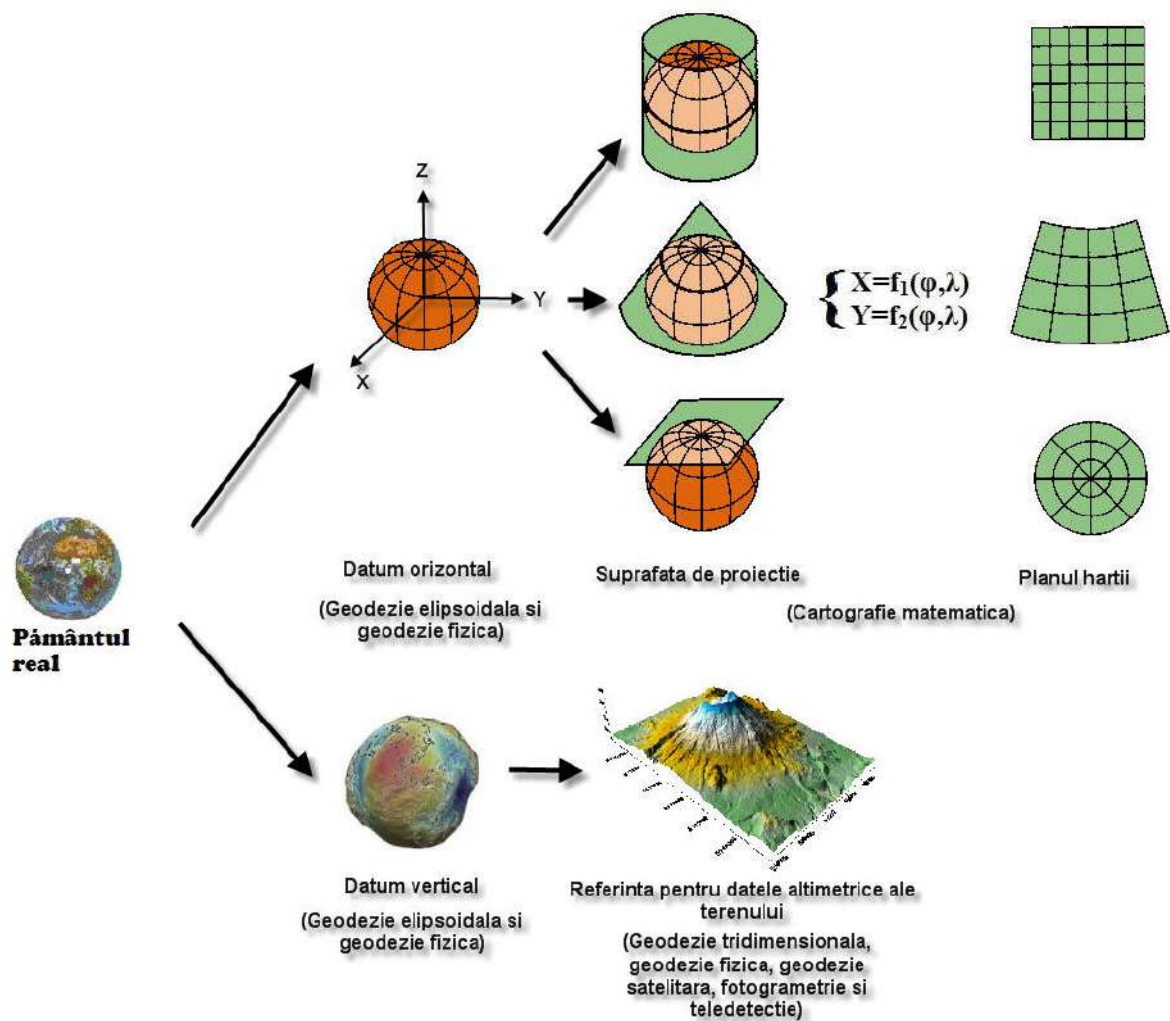


Figura 1. 2: Transferul datelor de pe suprafața terestră în planul hărții, discipline implicate

Acest manual are scopul de a clarifica noțiunile de bază necesare utilizării în mod corect a datelor geospațiale (datelor de poziție) în cadrul unui SIG, astfel încât produsele rezultate să fie la nivelul de calitate dorit.

CAPITOLUL 2

DIMENSIUNILE ȘI FORMA PĂMÂNTULUI. SFERA. ELIPSOIDUL. GEOIDUL. DEVIAȚIA VERTICALEI

2.1 Dimensiunile Pământului

Pământul este a treia planetă a sistemului nostru solar ca poziție față de Soare, a cincea ca dimensiune și singura din acesta care poate susține viața așa cum o cunoaștem noi.

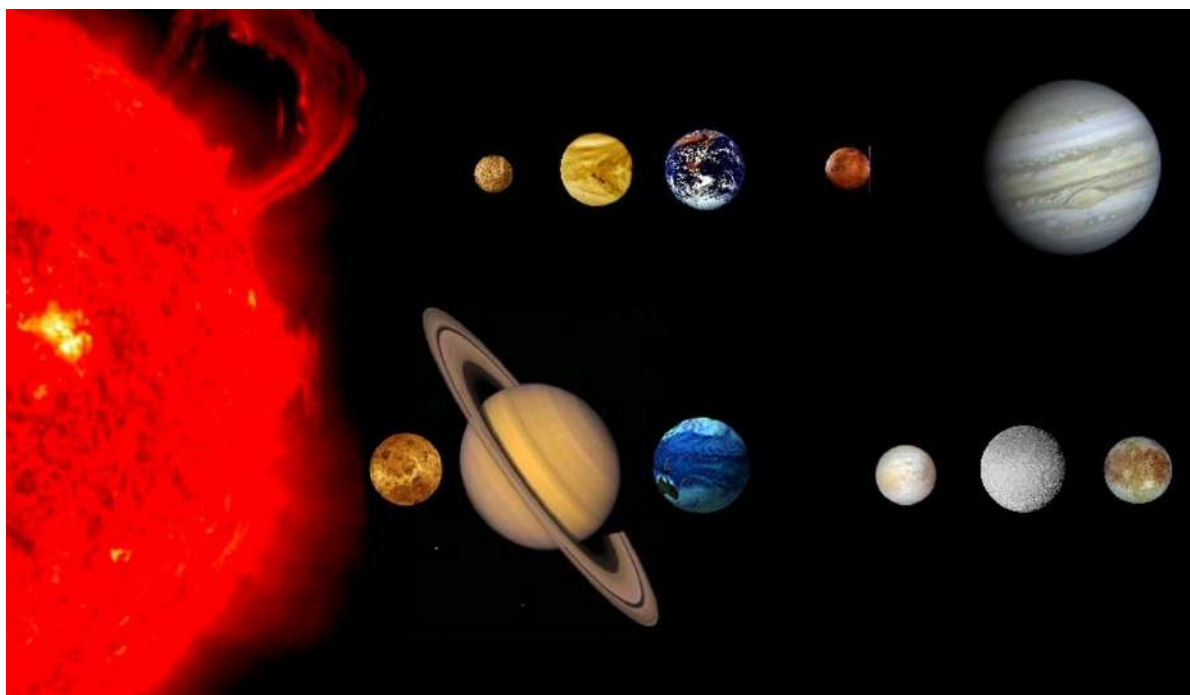


Figura 2. 1: Sistemul solar
(<http://science.psu.edu/alert/images/SigurdssonMandel1.jpg>)

El este acoperit în proporție de 70,8% de apă și are următoarele caracteristici legate de dimensiunile sale:

- Masă: 5.972.190.000.000.000 miliarde kg;
- Diametrul la Ecuator: 12.756 km;
- Diametrul la poli: 12.714 km;
- Circumferința la Ecuator: 40.030 km;
- Sateliți naturali: Luna;

- Distanța până la Soare: 149.597.870.700 km (o unitate astronomică internațională – UAI, convențional aleasă începând cu 2009);
- Perioada orbitală: 365,26 zile terestre;
- Temperatura suprafeței terestre: $-88 \div 58^{\circ}\text{C}$.



Figura 2. 2: Pământul și Luna
(http://wallpaperswide.com/earth_and_moon_from_space-wallpapers.html)

Pământul este planeta cu cea mai mare densitate din sistemul nostru solar (Tabelul 2. 1) și are o structură internă unică între planetele acestui sistem, structură care este în permanentă schimbare și care influențează în mod direct modul de manifestare a câmpului magnetic și a câmpului gravitațional terestru. Structura internă a Pământului, pe scurt, este formată din (Figura 2. 3):

- **Scoarța Terestră** – este formată din scoarța oceanică, strat care are cea mai mică grosime dintre toate straturile terestre (5 – 10 Km) și cea continentală (20 – 80 km), care este constituită din blocuri separate – continentele.

- **Mantaua Pământului** – este zona dintre miez și scoarța Pământului și reprezintă circa 82 % din volumul și 69 % din masa planetei. Mantaua internă se întinde între adâncimea de 660 Km și 2.900 Km, având o temperatură de circa 2.000 de grade Celsius. Mantaua externă se întinde spre suprafață până la granița cu scoarța terestră.

- **Miezul sau nucleul Pământului** – este constituit dintr-un amestec de fier și nichel cu temperaturi între 4.000 – 5.000 de grade Celsius. Din cauza compoziției miezului, care este conductor electric, prin mișcarea de rotație a planetei, nucleul generează câmpul magnetic al Pământului care ne protejează de radiațiile cosmice.

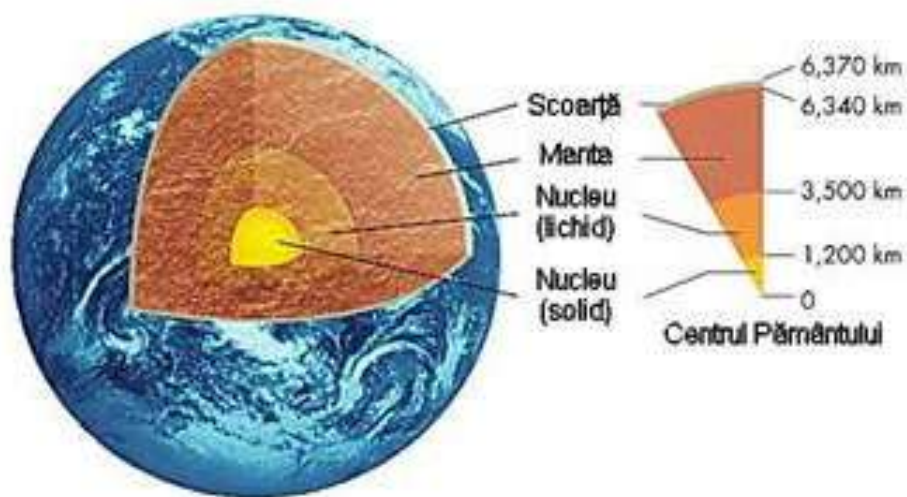


Figura 2. 3: Structura internă a Pământului
 (<http://www.scrigroup.com/geografie/geologie/Unde-seismice-si-Cutremurul-de15388.php>)

Tabelul 2. 1: Densitatea planetelor sistemului solar
 (http://www.smartconversion.com/otherInfo/Density_of_planets_and_the_Sun.aspx; sursă: NASA)

Loc	Nume	Densitate (kg pe. metru cub)
1	Pământ	5515
2	Mercur	5427
3	Venus	5243
4	Marte	3933
5	Luna	3350
6	Pluton	1750
7	Neptun	1638
8	Soare	1408
9	Jupiter	1326
10	Uranus	1270
11	Saturn	687

2.2 Forma Pământului

De-a lungul timpului ”figura Pământului” a trecut de la modele plane la modele sferice și elipsoidale suficient de precise pentru a fi utilizate în navigație și în cartografierea terenului (Figura 2. 4).

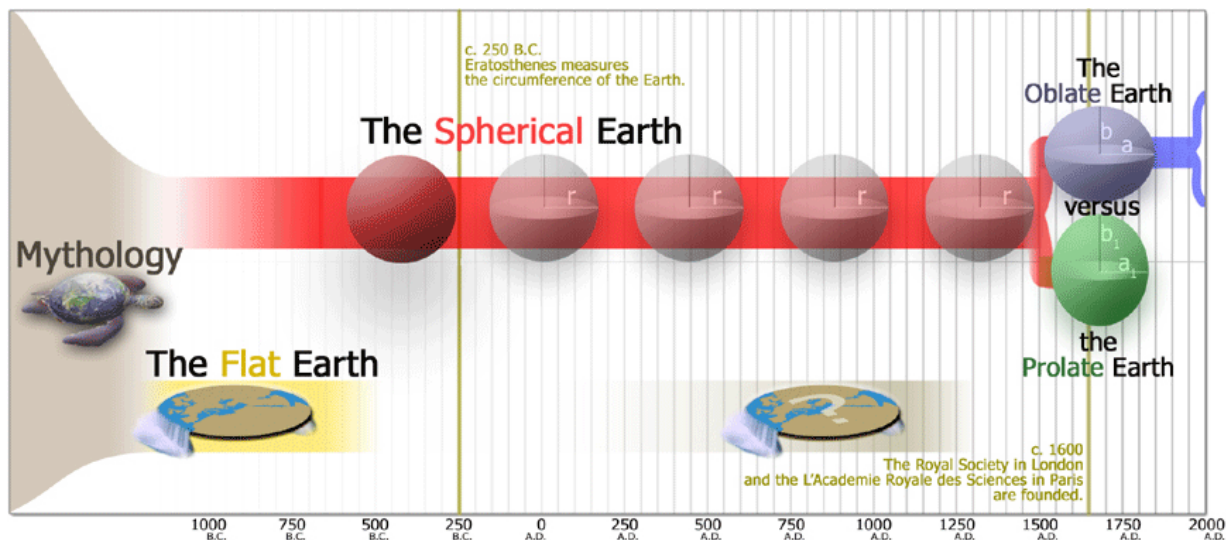


Figura 2. 4: Istoric al aprecierii formei Pământului
 (http://oceanservice.noaa.gov/education/kits/geodesy/media/supp_geo02c.html)

Din cele mai vechi timpuri și până astăzi au rămas de referință *patru* ”figuri” utilizate în modelarea formei Pământului (Figura 2. 5):

- planul
- sfera
- elipsoidul
- geoidul

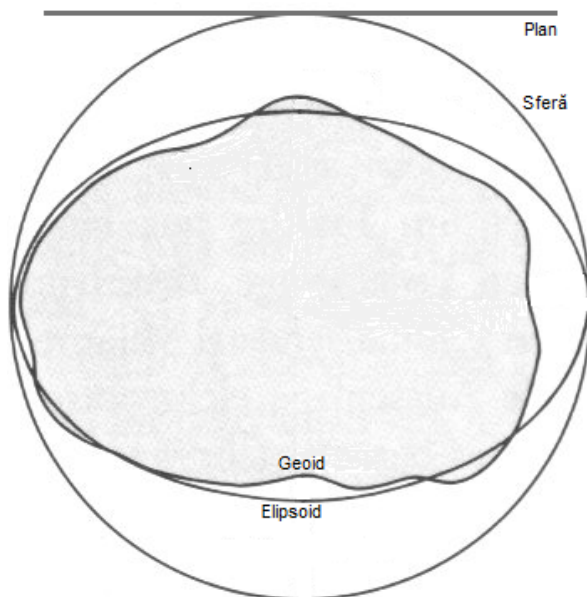


Figura 2. 5: „Forme” ale Pământului

a. Modelele plane ale Pământului sunt încă utilizate în cazul măsurătorilor pe distanțe relativ mici, unde curbura terestră este nesemnificativă (până în 10 km).

b. Modelele sferice ale Pământului utilizează pentru aproximarea formei acestuia o sferă cu o anumită rază. Deși imperfecte, ele au reprezentat un pas uriaș în definirea formei Pământului și sunt încă utilizate în sistemele de navigație pe distanțe scurte (VOR-DME) și în diverse aproximări ale distanțelor pe glob. Datorită faptului că diferența între diametrul la poli și cel la Ecuator este de aproximativ 40 km, se utilizează în calculele aproximative așa numita sferă de rază medie.

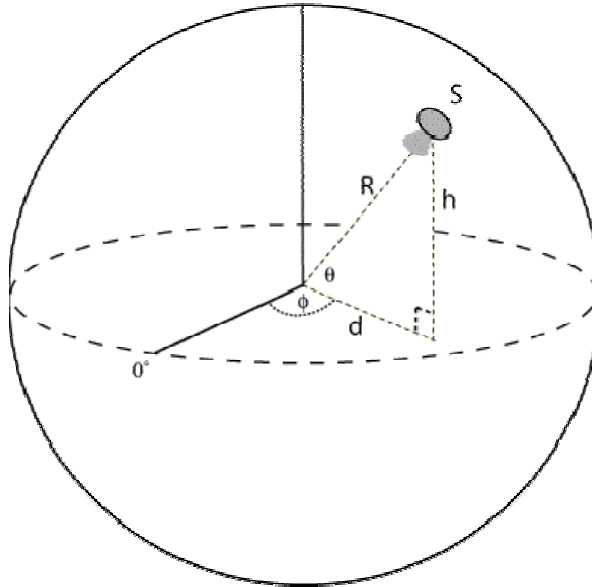


Figura 2. 6: Pământul "sferic"
(<http://www.jtbullitt.com/tech/earthsound/speaker-placement/index.html>)

c. Modelele elipsoidale ale Pământului sunt necesare în determinările precise de unghiuri și distanțe pe suprafețe foarte mari, acolo unde curbura terestră nu mai poate fi ignorată. Toate sistemele de poziționare prin satelit utilizează asemenea modele.

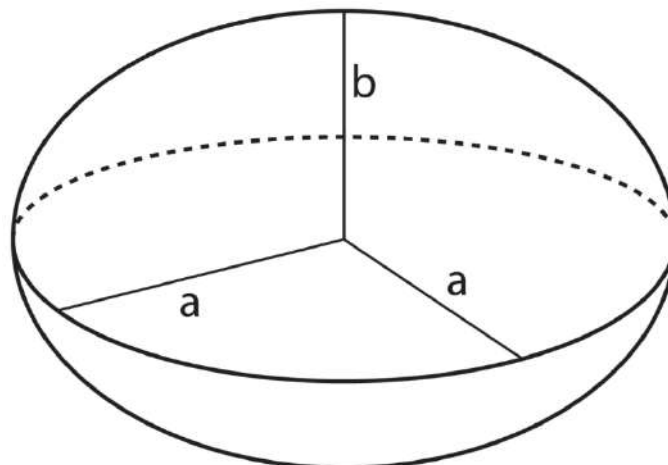


Figura 2. 7: Elipsoidul terestru. Pământul „elipsoidal”