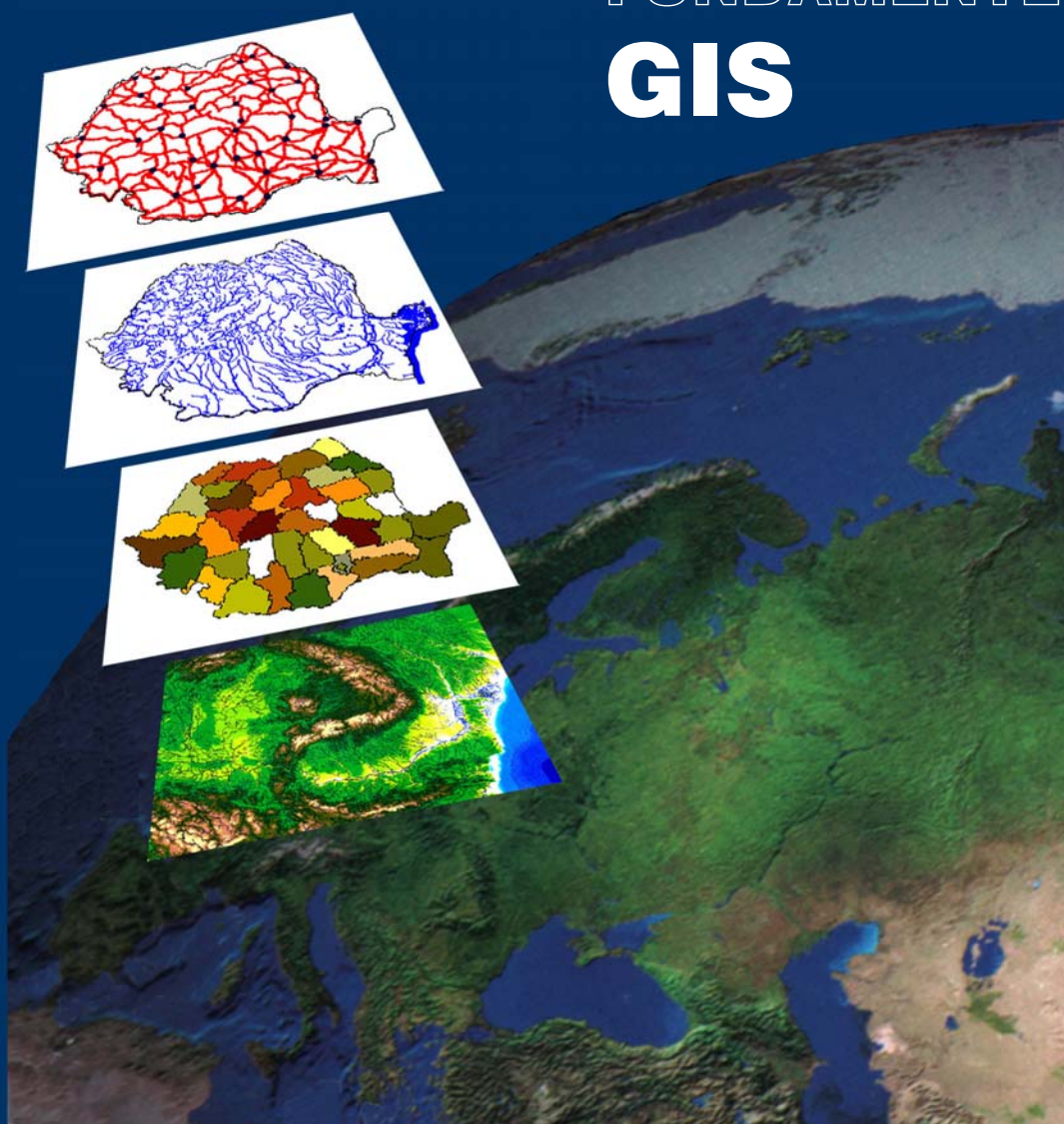


C. SĂVULESCU
T. BUGNARIU

R. SÂRGHIUȚĂ
L. TURCU

A. ABDULAMIT
C. BARBU

FUNDAMENTE GIS



EDITURA *H*G*A*, BUCUREȘTI

2000

C. SĂVULESCU
T. BUGNARIU

R. SÂRGHIUȚĂ
L. TURCU

A. ABDULAMIT
C. BARBU

Fundamente GIS

Editura ***H*G*A***, București
2000

Contribuția autorilor la realizarea lucrării:

Radu Sârghiuță	- cap. I, III
Tudor Bugnariu	- cap. II
Liviu Turcu	- cap. IV
Cosmin Barbu	- cap. V
Altan Abdulamit	- cap. VI
Constantin Săvulescu	- cap. VII

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale

SĂVULESCU CONSTANTIN

Fundamente GIS/ C. Săvulescu, R. Sârghiuță, A. Abdulamit, ... –

București : Editura *H*G*A*, 2000

p. ; cm.

Bibliogr.

ISBN 973-8176-02-6

I. Săvulescu, Constantin

II. Sârghiuță, Radu

III. Abdulamit, Altan

004:913

Copyright © 2000. Editura *H*G*A*, București

hga@opensys.ro

Prefață

După anul 1990 Universitatea Tehnică de Construcții București (UTCB) s-a implicat activ într-o multitudine de colaborări internaționale în domeniul didactic și al cercetării științifice și tehnologice. Sunt astfel de enumerat programele TEMPUS, Erasmus-Socrates sau mai recente programe coordonate de CNCSIS, cu finanțare de la Banca Mondială.

Rezultatul acestor colaborări îl reprezintă marele număr de burse obținute de studenți sau de cadrele didactice pentru perfecționarea profesională, dotarea cu echipament de calcul performant ca și, ceea ce este poate cel mai important, editarea unui volum impresionant de materiale didactice.

După publicarea în anul 1998 în cadrul programului TEMPUS PHARE a primei cărți de specialitate în domeniul GIS din România *S.I.G. – Analiză spațială*, autori Ionel Haidu și Călin Haidu, respectiv după editarea pe plan local a lucrării *Essential GIS* - de Florin Ionescu, Viorel Marinescu, Mariana Marinescu și Cosmin Barbu - un colectiv de profesori și cercetători din UTCB și-au unit eforturile pentru a realiza un manual didactic de bază în acest domeniu, intitulat *Fundamente GIS*. Autorii lucrării au beneficiat de stagii de formare sau perfecționare în Sisteme Informatice Geografice la universități din Franța, Elveția sau firma ESRI – România, dobândind o bogată experiență didactică și practică, pe care o pun acum cu generozitate la îndemâna studenților și specialiștilor care doresc să se inițieze în acest domeniu. Sprijinul firmei ESRI, sub formă de donații de software sau chiar de implicare directă în cadrul procesului de învățământ, este de natură să eficientizeze activitatea didactică din acest domeniu.

Începând cu anul 1995, în UTCB funcționează Școala de Studii Academice Postuniversitare, specializarea Sisteme Informatice Geografice, care a beneficiat de materiale didactice deosebit de valoroase din partea rețelei de universități UNIGIS, la care UTCB a aderat de altfel din același an. Cei cinci ani de participare la rețeaua UNIGIS au permis cadrelor didactice implicate să fie la zi cu evoluțiile acestui domeniu, caracterizat de un dinamism deosebit și să își îmbogățească continuu cunoștințele teoretice și practice. Experiența astfel acumulată permite să se considere că există un centru de competență GIS în cadrul UTCB, care are capacitatea de a contribui la formarea de specialiști în acest domeniu. Aplicațiile GIS sunt extrem de numeroase și de variate: administrație locală, cadastru, protecția mediului, hidrologie și resurse de apă, agricultură, pedologie și îmbunătățiri funciare, petrol și gaze, cartografie, dotări edilitare (rețele de apă, gaz, electricitate etc), transporturi și telecomunicații, comerț, geologie, statistică, evidența populației, recensământ, politică etc.

Lucrarea constituie începutul unei serii dedicată Sistemelor Informatice Geografice, fiecare capitol constituind practic nucleul unor dezvoltări viitoare, cu rolul de a permite aprofundarea noțiunilor de bază prezentate acum extrem de condensat. Editarea ei a fost posibilă ca urmare a participării UTCB la Proiectul European Masters în GIScience din cadrul Programului ERASMUS SOCRATES.

prof. univ. dr. ing. Radu Drobot

C U P R I N S

1. INTRODUCERE ÎN GIS	7
1.1 Ce este GIS-ul	7
1.1.1 Definiții	7
1.1.2 Concepte de bază ale GIS	9
1.2 Scurt istoric al GIS-ului	10
1.2.1 Rădăcini istorice	10
1.2.2 Apariția conceptului de GIS	12
1.3 Discipline ce contribuie la fundamentarea GIS-ului	13
1.4 Componentele unui GIS	15
1.4.1 Componente <i>hardware</i>	15
1.4.2 Componente <i>software</i>	17
1.4.3 Date	18
1.4.4 Componenta Personal	19
1.4.5 Componenta Metode	20
1.5 Funcțiile unui GIS	20
1.6 Cum lucrează un GIS	22
1.7 Domenii de aplicare ale GIS	24
Bibliografie	25
2. MODELARE SPAȚIALĂ	27
2.1 Lumea exprimată prin modele	27
2.1.1 Harta	28
2.1.2 Macheta	30
2.1.3 Fotografia aeriană	31
2.2 Stadiile modelării spațiale	32
2.3 Reprezentarea grafică a entităților spațiale	33
2.4 Sisteme de reprezentare a entităților în modelele de date	35
2.4.1 Originile sistemelor raster și vectorial	36
2.4.2 Strat de date (<i>data layer</i>)	36
2.5 Structura datelor spațiale	38
2.5.1 Structuri pentru modelul raster	38
2.5.2 Compactarea datelor pentru sistemul raster	41
2.5.3 Structuri pentru modelul vectorial	46
2.5.4 Avantaje și dezavantaje ale sistemului raster și vectorial	53
2.6 Modelarea suprafețelor 3 D. Modele digitale ale elevației	54
2.6.1 Surse de date pentru construirea MDE	55
2.6.2 Modele de date spațiale pentru MDE	55
2.7 Tendințe de dezvoltare în viitor	58
Bibliografie	58
3. SISTEME GEODEZICE DE REFERINȚĂ, SISTEME DE PROIECȚIE, GEOREFERENȚIERE	59
3.1 Sisteme geodezice de referință	59
3.1.1 Geoidul și elipsoizii de referință	59
3.1.2 Sisteme de coordonate	63

3.2 Sisteme de proiecție	64
3.2.1 Noțiuni generale	64
3.2.2 Tipuri de proiecții	65
3.3 Georeferențierea	69
Bibliografie	69
4. DATELE - ELEMENTE ESENȚIALE ÎN ORICE GIS	71
4.1 Ce sunt datele	71
4.1.1 Câteva definiții	71
4.1.2 Componentele datei geografice	72
4.1.3 Funcționalitatea datelor	72
4.1.4 Tipuri de date	72
4.1.5 Selecționarea datelor necesare	73
4.2 Surse de date	75
4.2.1 Harta - principala sursă de date spațiale pentru GIS	76
4.2.2 Teledetecția	77
4.2.3 Baze de date spațiale existente	83
4.2.4 Date din măsurători	83
4.3 Colectarea și integrarea datelor în sistem	85
4.3.1 Colectarea datelor	85
4.3.2 Integrarea datelor	89
4.4 Surse de eroare	92
4.4.1 Tipuri de erori	93
4.4.2 Conceptualizarea realității	94
4.4.3 Pregătirea datelor	94
4.5 Controlul calității datelor	95
4.5.1 Standarde și rapoarte de calitate	96
4.5.2 Metode de detectare a erorilor	96
4.6 Concluzii	96
Bibliografie	98
5. ELEMENTE DE BAZE DE DATE ÎN GIS	99
5.1 Introducere	99
5.2 Noțiuni de teoria bazelor de date	101
5.2.1 Abordarea orientată spre aplicație	101
5.2.2 Abordarea orientată spre baze de date	103
5.2.3 Proiectarea bazei de date	104
5.3 Arhitectura unui SGBD	105
5.4 Tipuri de baze de date	107
5.4.1 Structura de date ierarhică	107
5.4.2 Structura de date de tip rețea	108
5.4.3 Structura relațională a bazelor de date	109
5.4.4 Modelul orientat pe obiecte	114
5.5 Tipuri de sisteme GIS din punct de vedere al relației cu baza de date ...	115
Bibliografie	116
6. ANALIZA DATELOR SPAȚIALE	117
6.1 Operații analitice asupra unui singur layer (singulare)	117
6.1.1 Manipulări geometrice	117

6.1.2	Măsurători: lungimi, perimetre, arii	122
6.1.3	Interogări	125
6.1.4	Funcții de vecinătate	127
6.1.5	Reclasificarea	129
6.2	Operații analitice asupra mai multor layer-e (analiză spațială multiplă sau operații "n"-are)	130
6.2.1	Integrarea datelor. Suprapunerea hărților	131
6.3	Modelarea cartografică	138
6.4	Interpolarea spațială	139
6.5	Analiza suprafețelor	144
6.6	Analiza de rețea	147
	Bibliografie	148
7.	APLICAȚII	149
7.1	Cadastru	150
7.2	Silvicultură și exploatare forestieră	154
7.3	Protecția mediului	156
7.4	Agricultura	157
7.5	Transporturi și navigație	158
7.6	Planificare și gestiune urbană	159
7.7	Monitorizarea rețelelor edilitare	160
7.8	SIG pe Internet	161
7.8.1	Hărți "statice"	162
7.8.2	Hărți "dinamice"	162
7.8.3	Hărți create interactiv	163
7.8.4	Hărți geografice	163
7.9	Concluzii	166
	Bibliografie	166

1 INTRODUCERE ÎN GIS

1.1 CE ESTE GIS-ul?

1.1.1 DEFINIȚII

GIS este acronimul denumirii în limba engleză a Sistemelor Informatice Geografice: Geographic Information Systems (SUA), Geographical Information Systems (Marea Britanie, Australia, Canada), Geographic Information Science (academic).

O primă încercare de înțelegere a ceea ce este GIS-ul ar putea fi ușurată de explicarea termenilor ce alcătuiesc numele acestui concept.

- *Sistem informatic*: se referă la volumul imens de date ce sunt manipulate în cadrul unui GIS cu ajutorul calculatorului. Toate obiectele lumii reale pot fi descrise printr-un set de caracteristici particulare sau attribute. Aceste date de tip alfa-numeric, împreună cu informațiile privind poziția în spațiu, trebuie stocate și gestionate pentru toate elementele spațiale de interes. Sistemele computerizate au devenit vitale în stocarea și prelucrarea unui volum de informații aflat în continuă creștere, în tratarea unor algoritmi spațiali complecși și integrarea unor date caracterizate prin scări, proiecții și formate diferite.

Sistemul Informatic (SI) poate fi definit ca fiind o colecție de hardware, software și proceduri proiectate în scopul culegerii, gestionării, manipulării, analizei, modelării și afișării datelor utilizate pentru rezolvarea problemelor complexe de administrare și planificare.

- Utilizarea termenului *geografic* este justificată de faptul că GIS lucrează în principal cu elemente *geografice* sau *spațiale*. Obiectele, ce pot fi de natură fizică, culturală sau economică, sunt specificate prin poziția lor precisă în spațiu. Elementele unei hărți nu sunt altceva decât reprezentări spațiale ale obiectelor din lumea reală. Simbolurile, culorile sau stilurile de linii sunt folosite pentru a reprezenta diferitele caracteristici spațiale pe o hartă bidimensională.

Datorită înrudirii sale cu cartografia, GIS-ul ar putea fi privit ca rezultat al mariajului dintre Cartografierea Asistată de Calculator și tehnologia bazelor de date. Spre deosebire însă de harta tradițională, GIS-ul beneficiază de avantajul inherent al stocării și prezentării separate a datelor. Ca urmare, datele pot fi prezentate și vizualizate în diverse moduri.

Există numeroase definiții ale GIS-ului - tehnice, științifice, comerciale - majoritatea vehiculând câțiva termeni comuni ce se referă la cartografiere, baze de date și analiză spațială. Varietatea acestor definiții reflectă de altfel procesul

continuu, evolutiv, străbătut de GIS. În continuare sunt prezentate câteva dintre cele mai utilizate definiții ale GIS-ului.

- Burrough (1986): *GIS este un puternic set de instrumente pentru culegerea, stocarea, transformarea și vizualizarea datelor spațiale ale lumii reale.*

- Chorley (1987): *Un sistem de achiziționare, stocare, verificare, integrare, prelucrare, analiză și afișare a datelor georeferențiate.*

- Săvulescu (1996): *Un GIS este un ansamblu de persoane, echipamente, programe, metode și norme, având ca scop culegerea, validarea, stocarea, analiza și vizualizarea datelor geografice.*

- ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc.): *GIS este un instrument bazat pe calculator, pentru realizarea hărților și analiza lucrurilor ce există și a evenimentelor ce se petrec pe Pământ. Tehnologia GIS combină operațiile uzuale de baze de date, precum interogarea și analiza statistică, cu avantajele vizualizării unice și analizei geografice oferite de către hărți. Aceste calități diferențiază GIS-ul de alte sisteme informatice, punându-l la dispoziția unui public larg și variat sau al firmelor particulare, în scopul explicării fenomenelor, predicției efectelor și planificării strategiilor.*

- The Geographer's Craft Project, Department of Geography, University of Texas: *GIS este o bază de date specializată, în care un sistem de coordonate spațial obișnuit, este principalul mijloc de referință.*

De o mare complexitate, GIS-ul necesită următoarele mijloace:

- *date de intrare provenind din hărți, fotografii aeriene, de la sateliți, relevee sau alte surse;*
- *stocarea datelor, redarea și interogarea;*
- *transformarea datelor, analiza și modelarea, incluzând statistica spațială;*
- *expunerea datelor sub formă de hărți, rapoarte și planuri.*

Asupra acestei definiții se impun câteva observații:

- GIS-ul este conectat la alte aplicații de baze de date, însă cu diferența importantă că toate informațiile sunt legate de o referință spațială. Alte baze de date pot conține informații locale, precum adresa sau codul poștal, însă bazele de date GIS utilizează georeferențierea ca principal mijloc în stocarea și accesarea informației.

- GIS integrează numeroase tehnologii, precum cele pentru analiza fotografiilor aeriene și a imaginilor furnizate de sateliți, pentru crearea modelelor statistice sau desenarea hărților.

- GIS-ul, cu tabloul său de funcții, ar trebui privit mai curând ca un proces decât doar ca un pachet de programe, altfel s-ar neglija tocmai rolul determinant pe care îl are în cadrul unui proces decizional.

1.1.2 CONCEPTE DE BAZĂ ALE GIS

Informațiile geografice conțin date despre suprafața, subsolul și atmosfera Pământului, interpretări și explicații cu privire la acestea. În mod obișnuit, se consideră că informațiile geografice sunt cele furnizate de hărți, însă ele pot fi de orice alt tip, având o *localizare* bine definită pe suprafața Pământului sau relativă la acesta.

Aceste date pot fi achiziționate prin măsurători, teledetecție, observații directe în teren, pot fi definite prin intermediul ridicărilor topografice sau pot fi rezultatele unor analize sau simulări de date GIS. Semnificația acestora este dată atât de aspectele spațiale, cât și de cele nespațiale, de exemplu "unde" și "cum".

În timp ce primele sisteme de computerizare a informațiilor geografice se concentrau în principal asupra aspectelor privind acuratețea unor componente ale hărții, noile abordări consideră fundamentală problema modelării efective a condițiilor lumii reale, sub forma unei regiuni bine delimitate, însoțită de o descriere a ei (fig. 1.1).

Informatizarea s-a extins și asupra domeniilor conexe. Astfel, datele oferite de teledetecție și măsurători directe sunt achiziționate frecvent, în formă digitală, după cum fotografiile aeriene au început să fie exploatate prin utilizarea unor noi tehnologii de scanare. Chiar și informații netradiționale, sub forma unor rapoarte asupra unei locații sau înregistrări video ale unor evenimente, sunt adesea integrate în bazele de date ale sistemului.

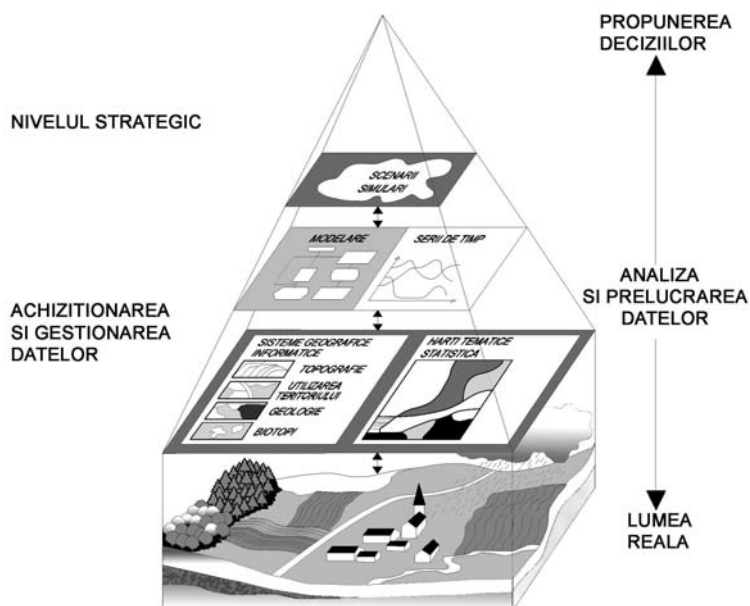


Figura 1.1 Prin utilizarea GIS, o lume "simplificată" poate fi introdusă în calculator (după Tor Bernhardsen).

Așa cum sugestiv se ilustrează în figura 1.1, prin prelucrarea și reprezentarea datelor localizate geografic, înțelegerea noastră asupra lumii reale cunoaște o intensificare. Astăzi Sistemele Informatic Geografice se află în plin proces de completare a jumătății superioare a piramidei.

Principalul avantaj al computerizării informațiilor geografice este acela al integrării rapide a numeroase seturi de date de tipuri și cu surse variate într-un singur sistem, folosind caracteristica lor comună: localizarea geografică. În fapt, obiectivul Sistemelor Informatic Geografice este tocmai asigurarea unei structuri organizate pentru gestionare unor colecții complexe și diversificate de informații geografice, precum și a unor instrumente și funcții pentru afișare, interogare, prelucrare, simulare (fig. 1.2).

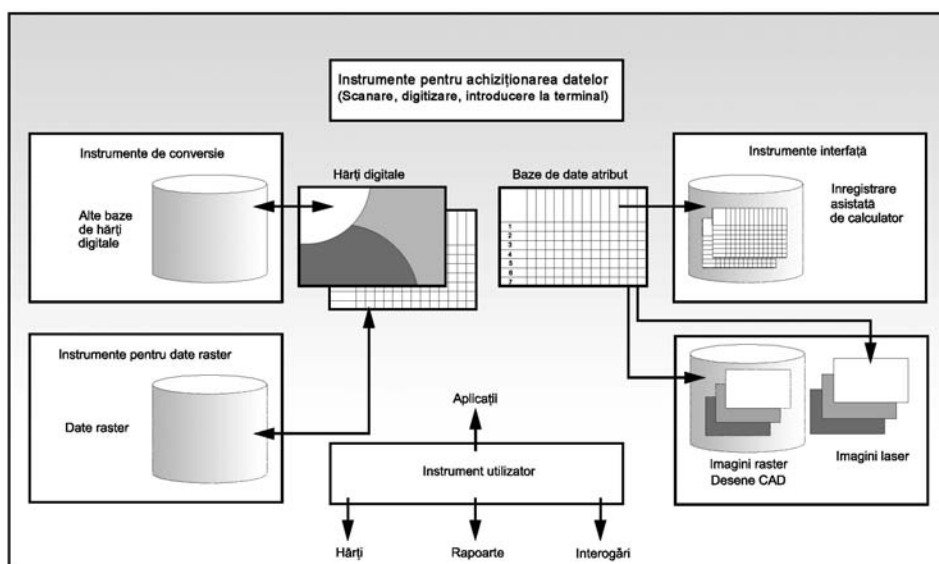


Figura 1.2 GIS – o "mașină de integrare a datelor" (după Tor Bernhardsen).

Analiza spațială merge dincolo de o simplă redare, permițându-ne explorarea relațiilor și a proceselor spațiale.

1.2 SCURT ISTORIC AL GIS-ului

1.2.1 RĂDĂCINI ISTORICE

Pe unul dintre pereții cavernei de lângă Lascaux, Franța (fig. 1.3), se află desenate animale pe care oamenii din Cro-Magnon le vâneau în urmă cu 35000 de ani.

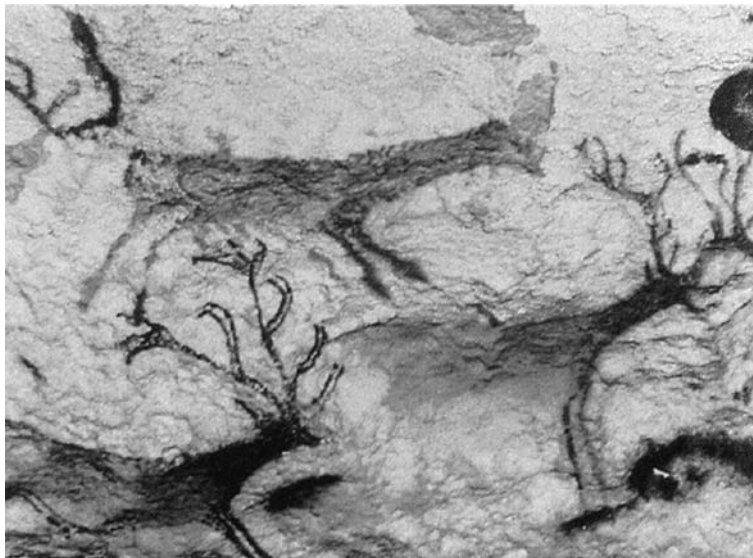


Figura 1.3 Grup de cerbi – pictură rupestră, peștera Lascaux, Franța (Art Resource, NY).

Asociate acestora sunt desenate rute și marcaje gândite să descrie traseele de migrare a turmelor de animale. S-ar putea considera că aceste înregistrări timpurii respectă cele două elemente ale structurii moderne a sistemelor informatice geografice: informația grafică legată de baza de date de tip atribut.

Nu se cunoaște cu exactitate când a fost desenată cu adevărat prima hartă. Cea mai veche hartă existentă este cea realizată de către babilonieni, datând din jurul anilor 2300 î.H. Săpată în dale de argilă, harta reprezintă un relevu al unei suprafețe mari de teren ce servea la încasarea taxelor.

Hărți ale unor regiuni mult mai întinse desenate pe mătase, datând din secolul II î.H., din timpul Dinastiei Han, au fost descoperite în China. Inventarea hârtiei, tot în China, a condus la tipărirea primelor hărți, în anul 1155, cu 300 de ani înaintea Europei.

În jurul anului 150 Ptolemeu realizează cunoscuta sa *Geografie*, ce conținea hărți ale lumii (fig. 1.4). Acestea sunt cele mai timpurii hărți ce utilizează cu acuratețe matematică proiecția conică.

În secolul XX, realizarea hărților cunoaște o serie de inovații tehnice majore. Una dintre acestea este fotogrametria intens utilizată în timpul celui de al doilea război mondial, mai ales pentru măsurători, și apoi în realizarea hărților la scări cuprinse între 1:500 și 1:50000. O dată cu lansarea satelitului *Pageos*, în 1966, și continuând apoi, în 1970, cu cei trei sateliți *Landsat*, Statele Unite se angajează într-o activitate de măsurători geodezice a întregii suprafețe a planetei, cu ajutorul unui echipament de înaltă rezoluție fotografică.



Figura 1.4 Hartă a lumii cuprinsă într-una din cele opt cărți de geografie ale astronomului și geografului grec Ptolemeu.

1.2.2 APARIȚIA CONCEPTULUI DE GIS

Ceea ce reprezintă astăzi domeniul GIS are o istorie destul de recentă, ale cărei începuturi pot fi localizate în jurul anului 1960, odată cu aplicarea tehnicii de calcul în realizarea unor hărți simple. Aceste hărți puteau fi codificate și stocate în calculator, modificate atunci când era necesar și vizualizate, fie prin afișare pe ecran, fie prin plotare pe hârtie. Hărțile de la începuturile acestei cartografieri computerizate nu conțineau mai mult decât puncte, linii drepte (vectori) și text. Definiția acestor elemente grafice includea o locație exprimată printr-o pereche (sau în cazul unui vector două perechi) de coordonate. Plecând de la aceste elemente putea fi construită o grafică mult mai complexă. Astfel, liniile neregulate ale râurilor sau țărmurilor puteau fi approximate printr-o succesiune de mici elemente vectoriale. Odată cu descoperirea avantajelor acestei simple aplicații, cercetătorii au realizat, de asemenea, că foarte multe probleme geografice reclamau colectarea și analiza unei cantități însemnate de informații care nu erau cartografice. Un recensământ, de exemplu, necesită date referitoare la oameni și proprietăți, o aplicație cadastrală necesită informații asupra proprietăților funciare și a modificării acestora. Cu timpul, termenul de cartografiere computerizată a fost înlocuit cu cel de sistem informațional geografic.

Apariția și dezvoltarea GIS-ului a fost posibilă ca urmare a progreselor spectaculoase înregistrate în domeniile tehnicii de calcul, cartografierii computerizate și Sistemelor de Gestiune a Bazelor de Date (SGBD).

Conceptul de GIS apare pentru prima dată, pe continentul nord-american (Canada și Statele Unite), în urmă cu mai bine de 35 de ani. Primul GIS este cel dezvoltat de canadieni la mijlocul anilor '60, în cadrul unei operații de inventariere a resurselor naturale. Realizat la o scară foarte largă și cunoscând o continuă perfecționare de-a lungul anilor, Canada Geographic Information System (CGIS) se află și astăzi în funcțiune. Dezvoltarea sa a adus numeroase contribuții conceptuale și tehnice la evoluția generală a sistemelor informatice geografice. Iată doar câteva dintre ideile inovatoare introduse de acest sistem:

- utilizarea scanării unor suprafețe cu o mare densitate de obiecte - hărțile sunt retipărite în acest scop printr-un proces asemănător digitizării;
- vectorizarea imaginilor scanate;
- partiționarea geografică a datelor pe straturi tematice;
- utilizarea sistemului de coordonate absolut pentru întreg teritoriul, cu o precizie ajustabilă la rezoluția datelor;
- precizia numerică poate fi setată de administratorul sistemului și schimbată de la un strat la altul;
- separarea datelor în fișiere atribut și fișiere de locații;
- conceptul de tabel de atribute.

1.3 DISCIPLINE CE CONTRIBUIE LA FUNDAMENTAREA GIS-ului

Sistemele Informatice Geografice reprezintă o știință nouă, interdisciplinară, fundamentată pe cunoștințele mai multor discipline, precum (fig. 1.5):

- *Geografia* - a cărei preocupare este înțelegerea lumii și a locului pe care îl ocupă ființa umană în cadrul acesteia. Geografia are o lungă tradiție în lucrul cu date spațiale și cu multe tehnici ce au fost preluate de GIS.
- *Cartografia* - se ocupă de reprezentarea informațiilor spațiale, cel mai frecvent sub forma hărților. Este un domeniu cu o îndelungată experiență în elaborarea hărților. Harta este un mod foarte eficient, atât pentru stocarea informațiilor spațiale, cât și pentru înțelegerea și analizarea acestora. Hărțile deja existente constituie o importantă sursă de date pentru noile sisteme computerizate.
- *Teledetecția* - pentru GIS înseamnă informații colectate de sateliți sau avioane. În prezent, acestea sunt achiziționate în formă digitală, cu ajutorul unor dispozitive aflate în dotarea sateliților.
- *Fotogrametria* - utilizează fotografiile aeriene și tehnici speciale de obținere a informațiilor pe baza acestora. În trecut a constituit o sursă importantă pentru cele mai multe date topografice.

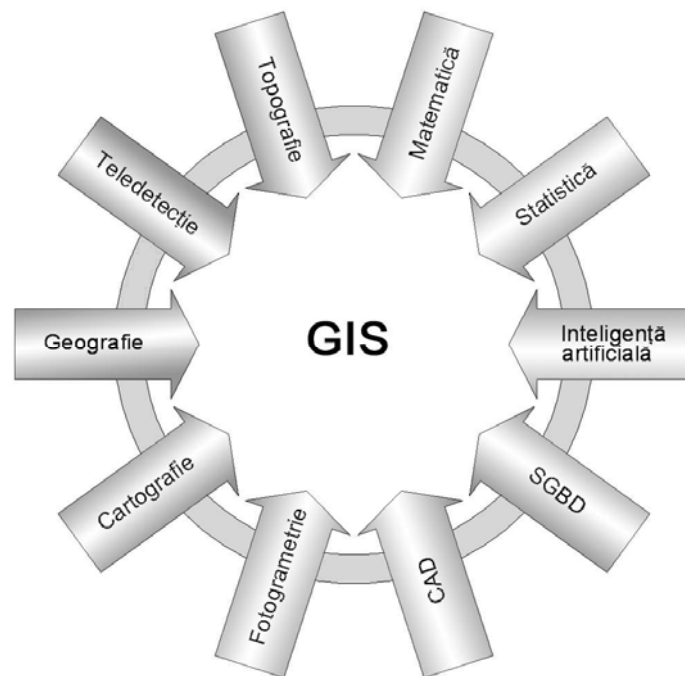


Figura 1.5 GIS – Domeniu dinamic în plină dezvoltare aflat la intersecția mai multor discipline.

- *Topografia* - asigură datele exacte cu privire la poziția terenurilor, clădirilor și ale altor entități (o observație: există numeroase surse de date colectate cu dispozitive manuale și care în prezent trebuie construite în jurul GPS - **G**lobal **P**ositioning **S**ystem).
- *Statistica și cercetarea operațională* - pune la dispoziție numeroase metode de construcție a modelelor de calcul sau de analiză a datelor. Statistica este importantă pentru înțelegerea erorilor și incertitudinilor în GIS.
- *Matematica* și, în special, topologia, geometria și teoria grafurilor - care furnizează numeroase metode ce pot fi exploatate în GIS.
- *Informatica aplicată* - oferă analistului o gamă largă de metode și instrumente software pentru rezolvarea unor probleme specifice. Iată câteva dintre cele mai importante subdomenii:
 - Proiectarea asistată de calculator (**C**omputer **A**ided **D**esign - **CAD**) - furnizează software ce poate fi utilizat de către GIS, în introducerea datelor, reprezentare, afișare și vizualizare.

- Grafica computerizată - asigură hardware și software pentru afișarea obiectelor grafice ce facilitează vizualizarea în diverse moduri.
- **Sisteme de Gestiune a Bazelor de Date (SGBD)** - contribuie prin pachete de programe și metode la prelucrarea unor seturi foarte mari de date, necesare în cadrul multor aplicații GIS, precum cele cadastrale sau de recensământ.
- Inteligența artificială - furnizează numeroase tehnici, utile în procesul decizional, de exemplu în construirea sistemelor expert ce îl ajută pe utilizator în formularea unor întrebări care să atragă răspunsuri utile.

Fiecare dintre domeniile menționate mai sus oferă tehnici și metode ce alcătuiesc GIS-ul. Nimeni nu poate fi însă expert, în același timp, în toate aceste domenii. Analistul GIS trebuie să aibă doar o idee generală asupra relațiilor dintre GIS și fiecare dintre aceste domenii. Mai important este să realizeze contribuția propriului său domeniu de specialitate în construirea unui GIS.

1.4 COMPONENTELE UNUI GIS

Un sistem informatic geografic este alcătuit în principal din cinci componente (fig.1.6):

1. Hardware
2. Software
3. Date
4. Personal
5. Metode sau proceduri

1.4.1 COMPONENTE HARDWARE

Astăzi pachetele de programe GIS rulează pe o gamă largă de mașini, de la servere centrale, la stații de lucru individuale sau aflate în cadrul unor configurații de rețele. În manualele pachetelor de programe GIS este specificată configurația minimă necesară unui sistem. Aceasta constă din stație grafică sau PC, a căror elemente principale sunt:

- procesor – CPU;
- memoria de bază – RAM;
- dispozitive de stocare – hard disc și/sau floppy-disc, CD-writer, unitate MO, unitate ZIP;
- dispozitive de *input* și *output* – monitor cu înaltă rezoluție grafică, tastatură, mouse.

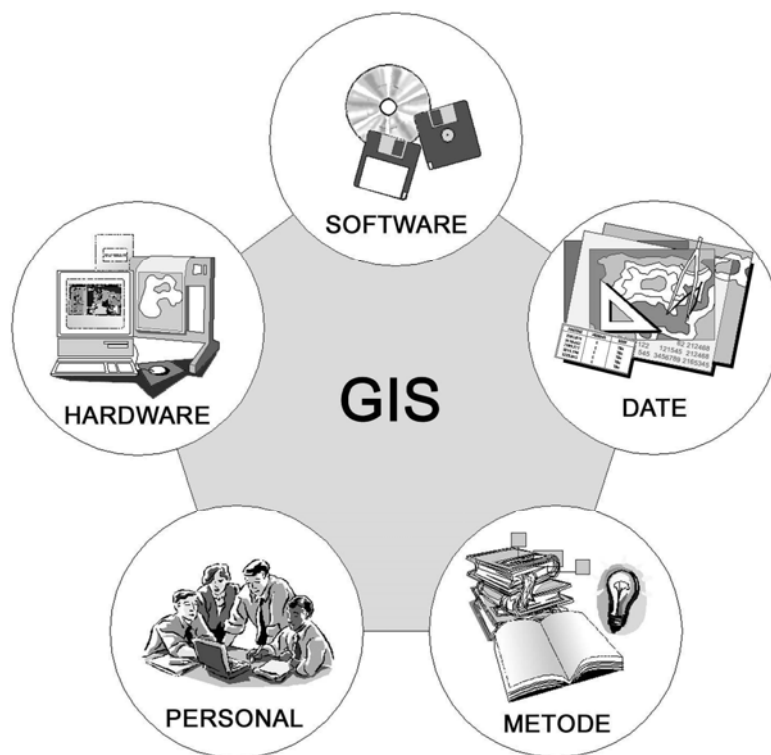


Figura 1.6 Componentele unui GIS (după ESRI).

La acestea sunt legate o serie de periferice comune pentru orice Sistem Informatic Geografic:

- digitizorul, pentru convertirea datelor cartografice tipărite, în format digital;
- scanner-ul, utilizat pentru importul imaginilor ce pot fi ulterior digitizate pe ecran;
- modem-ul, care asigură importul automat al imaginilor satelitare sau alte informații și comunicarea cu alte rețele;
- imprimanta sau ploter-ul, pentru prezentarea rezultatelor prelucrării datelor.

În figura 1.7 sunt ilustrate principalele componente hard necesare unui GIS.

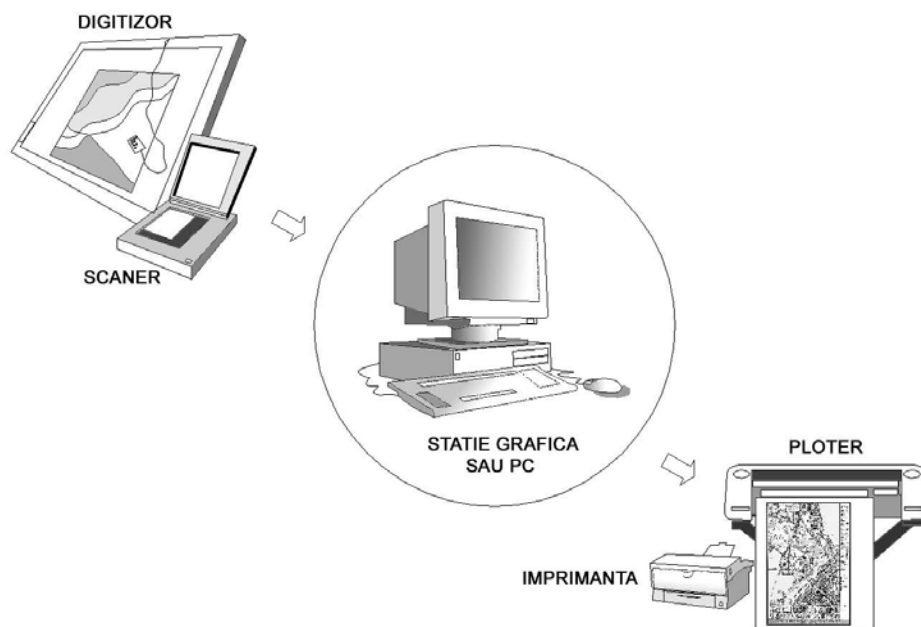


Figura 1.7 Componentele hard.

În majoritatea sistemelor, tendința actuală este aceea de a conecta utilizatorii prin intermediul rețelor. Aceasta reprezintă o arie de activitate a industriei de calculatoare care avansează foarte rapid.

1.4.2 COMPONENTE SOFTWARE

Sistemul Informatic Geografic pentru o aplicație particulară poate fi dezvoltat prin utilizarea unei game largi de software. În mod obișnuit, acestea se încadrează într-una dintre următoarele categorii:

- soft special proiectat pentru dezvoltarea GIS (cum ar fi ARC/INFO);
- soft pentru proiectare asistată de calculator (CAD) sau cartografiere asistată de calculator (Computer Aided Mapping - CAM);
- soft cu scop general, cum ar fi Sistemele de Gestiune a Bazelor de Date (SGBD).

Decizia alegerii pachetelor de programe ce vor fi utilizate nu este de loc o sarcină ușoară. Un sistem modern, interactiv, presupune utilizarea unor programe ale căror componente să satisfacă următoarele sarcini:

- introducerea, editare, verificarea și validarea datelor;
- gestiunea bazelor de date;
- analiza și transformarea datelor;
- afișarea și redarea datelor.

1.4.3 DATE

Datele reprezintă cea mai importantă componentă a sistemelor informatice geografice. Datele geografice și datele tabelare asociate pot proveni din sursele interne ale unei organizații sau pot fi procurate de la un distribuitor specializat. Principalele surse de date GIS care, în parte, au mai fost menționate pe parcursul acestui capitol sunt ilustrate în figura 1.8.

Un sistem informatic geografic poate integra datele spațiale cu alte surse de date pe care le organizează și gestionează cu un SGBD. Structura datelor în GIS este ilustrată figura 1.9.

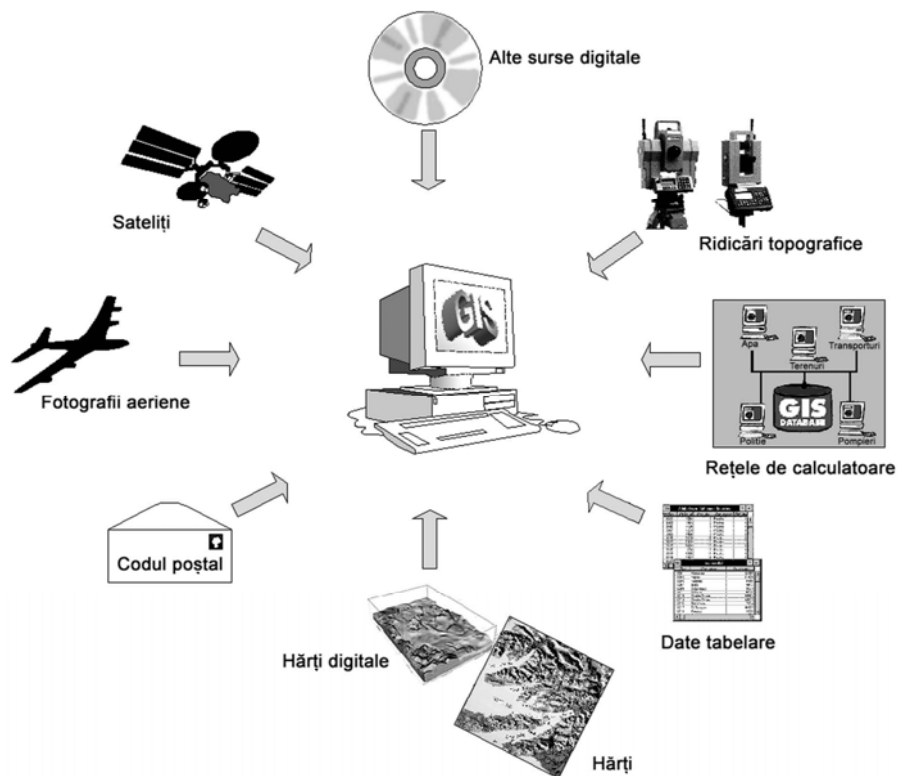


Figura 1.8 Surse de date în GIS.

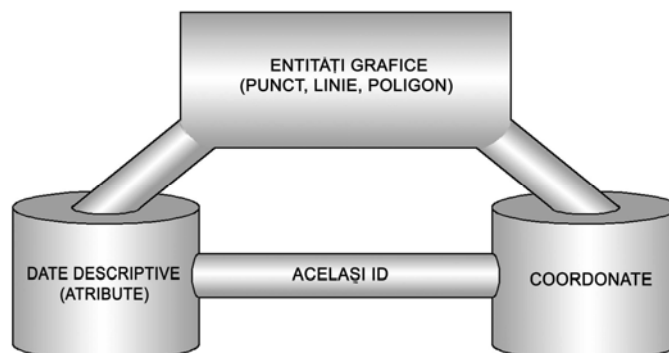


Figura 1.9 Structura datelor în GIS.

1.4.4 COMPONENTA PERSONAL

Tehnologia GIS ar avea o valoare limitată fără un personal specializat, bine instruit, care să administreze sistemul și să dezvolte strategii pentru aplicarea ei la problemele lumii reale.

Personalul GIS cuprinde atât specialiștii care proiectează și mențin sistemul, cât și pe cei care îl utilizează ca instrument pentru rezolvarea problemelor din domeniul lor de activitate. Nivelul de specializare a personalului se regăsește în “piramida activității GIS” propusă de Marble pentru a ilustra cerințele ce se impun în domeniul instruirii GIS (fig. 1.10).

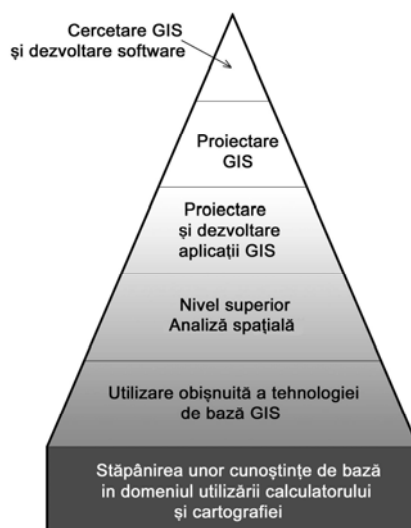


Figura 1.10 Piramida activității GIS (după Marble).

1.4.5 COMPONENTA METODE

Pentru a avea succes, sistemul informatic geografic, trebuie să opereze în concordanță cu un plan de afaceri și un regulament bine conceput, care reprezintă modele și practici de operare unice pentru fiecare organizație.

Proiectarea unui GIS ca model al lumii reale pentru o aplicație particulară presupune metode de identificare și conceptualizare a problemei ce trebuie rezolvată.

Maniera în care sunt introduse, stocate și analizate datele în cadrul unui GIS trebuie să oglindească modul în care vor fi utilizate ulterior informațiile în cadrul unei activități de cercetare sau în luarea unei decizii. Organizațiile ce utilizează GIS-ul trebuie să stabilească cele mai potrivite proceduri, pentru a se asigura că datele sunt utilizate corect și eficient și pentru a menține calitatea acestora.

1.5 FUNCȚIILE UNUI GIS

În linii mari, un GIS trebuie să îndeplinească următoarele funcții sau operații: ① Introducere (*Input*); ② Manipulare (prelucrare); ③ Gestiune; ④ Interogare și analiză; ⑤ Vizualizare.

În continuare vor fi prezentate succint aceste funcții, urmând ca în celelalte capitole să se facă o descriere mai detaliată.

- *Input*. Înainte de a fi utilizate, datele geografice trebuie convertite într-un format convenabil. Procesul de transformare a datelor sub formă de hărți, în date numerice se numește digitizare. Tehnologiile GIS moderne permit automatizarea completă a acestui proces cu ajutorul scanării, doar anumite sarcini minore rămânând a fi rezolvate prin digitizare manuală cu ajutorul tabletelor digitizoare. În prezent există deja un număr foarte mare de date în formate compatibile GIS. Ele pot fi obținute de la furnizorii de date și pot fi încărcate direct într-un sistem informatic geografic.

- *Manipulare (prelucrare)*. La fel ca și în cazul formatului, pentru un anumit proiect GIS, datele trebuie transformate sau prelucrate astfel încât să fie compatibile cu sistemul respectiv. Informațiile geografice sunt disponibile la diferite scări. Înainte de a fi integrate în sistem, ele trebuie aduse la aceeași scară (grad de detaliere sau acuratețe). Aceasta poate fi doar o transformare temporară, în scopul afișării, sau una permanentă, necesară într-o analiză. Tehnologiile GIS oferă numeroase instrumente pentru prelucrarea datelor spațiale și eliminarea celor care nu sunt necesare.

- *Gestiune*. Pentru proiectele mici de GIS este suficientă stocarea informațiilor geografice sub forma unor fișiere. Totuși, în cazul în care volumul

acestor date crește, iar numărul utilizatorilor devine semnificativ, se impune utilizarea unui sistem de gestiune de baze de date, pentru a ușura stocarea organizarea și gestiunea datelor. Din punct de vedere structural, există numeroase SGBD, însă în GIS până în prezent modelul relațional s-a dovedit a fi cel mai util.

- *Interogare și analiză.* Odată pus în funcțiune sistemul ce conține informațiile geografice, putem pune întrebări simple de genul: “Cine este proprietarul parcelei din colț ? Care este distanța între două amplasamente ? Care este zona de teren industrial ?” Sau, se pot pune întrebări analitice, cum ar fi: “Unde se află amplasamentele potrivite pentru a construi noi case ? Care este tipul de sol specific padurilor de stejar ? Dacă se construiește o nouă autostradă, cum va fi afectat traficul ?”

GIS-ul pune la dispoziție atât posibilități simple de interogare de tipul “point-and-query”, cât și instrumente sofisticate de analiză care să furnizeze informații oportune deopotrivă managerilor și analiștilor. Tehnologia GIS își intră cu adevărat în drepturi atunci când este folosită pentru a analiza date geografice în vederea stabilirii unor modele și tendințe, precum și pentru experimentarea unor scenarii de tipul “ce se întâmplă dacă ?”. GIS-urile moderne dispun de numeroase instrumente de analiză foarte puternice, dar două sunt în special importante.

- *Analiza de vecinătate.* Pentru a răspunde la întrebări de tipul: *Câte case se află la o distanță sub 100 m de conducta principală de apă ? Care este numărul total al clienților pe o rază de 10 km în jurul acestui magazin ?*, tehnologia GIS utilizează un procedeu numit *buffering* pentru determinarea relației de vecinătate dintre entități.
- *Analiza overlay.* Baza de date geografică este organizată în linii mari pe straturi sau layer-e. Integrarea datelor din layer-e diferite se face prin procedeul numit *overlay*. În spatele acestei operații simple din punct de vedere vizual, de suprapunere a straturilor, se află operații algebrice, operații logice, operații topologice etc. Prin această suprapunere sau unificare spațială pot fi integrate date despre sol, pante, vegetație sau proprietăți funciare cu evaluarea impozitelor.

- *Vizualizarea.* În mod tradițional hărțile au fost utilizate pentru explorarea Pământului și a resurselor sale. Tehnologia GIS, ca o extindere a cartografiei, a sporit eficiența și puterea analitică a hărților tradiționale. Prin intermediul funcției de vizualizare, GIS-ul poate fi folosit pentru a produce imagini – hărți, grafice, animații și alte produse cartografice - ce permit cercetătorilor să-și vizualizeze subiectele activității lor într-un mod în care nu a mai fost posibil

vreodată. Aceste imagini sunt în egală măsură de ajutor în transmiterea conceptelor tehnice GIS, unui larg public nespecialist.

1.6 CUM LUCREAZA UN GIS?

Un sistem informatic geografic stochează informații despre lume sub forma unei colecții de straturi tematice ce pot fi conectate geografic între ele (fig. 1.11). Acest concept simplu, dar extrem de puternic și versatil, s-a dovedit foarte prețios în rezolvarea multor probleme ale lumii reale.

- *Referințe geografice.* Informațiile geografice conțin atât referințe geografice explicite, ca latitudinea și longitudinea sau coordonatele din rețeaua de triangulație națională, cât și referințe implicite ca adresa, numele unei străzi sau codul poștal. Printr-un proces automat numit *geocodificare* se pot crea referințe geografice explicite, pe baza celor implicite. Aceste referințe geografice permit localizarea pe suprafața terestră în vederea unor analize a unor entități precum o afacere sau o pădure sau a unor evenimente precum un cutremur.

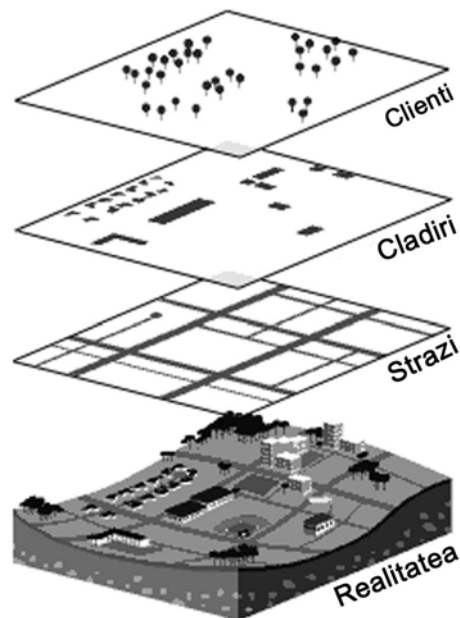


Figura 1.11 Reprezentarea lumii reale prin straturi tematice (după ESRI).

- *Modele vectoriale și modele raster.* Sistemele informatice geografice lucrează cu două tipuri fundamental diferite de modele geografice: modelul *vectorial* și modelul *raster* (fig. 1.12). În modelul vectorial informația referitoare la puncte, linii și poligoane este codificată și stocată ca o colecție de coordonate x și y. Localizarea unei entități punctuale, precum un foraj, poate fi descrisă printr-o simplă pereche de coordonate x și y.

Entități liniare, precum drumuri sau râuri, pot fi stocate ca o colecție de coordonate de puncte. Entități poligonale ca zone comerciale sau bazine hidrografice pot fi stocate ca o buclă închisă de coordonate. Modelul vectorial este extrem de util în descrierea unor entități discrete, dar mai puțin util în descrierea unor entități continue variabile, precum un tip de sol sau costuri accesibile pentru spitale.

Pentru modelarea unor astfel de entități continue a fost dezvoltat modelul raster. O imagine raster conține o colecție de pixeli sau celule grafice ca o hartă sau fotografie scanată.

Atât modelul raster, cât și cel vectorial, au anumite avantaje și dezavantaje. GIS-urile moderne sunt capabile să mănuiască ambele modele.

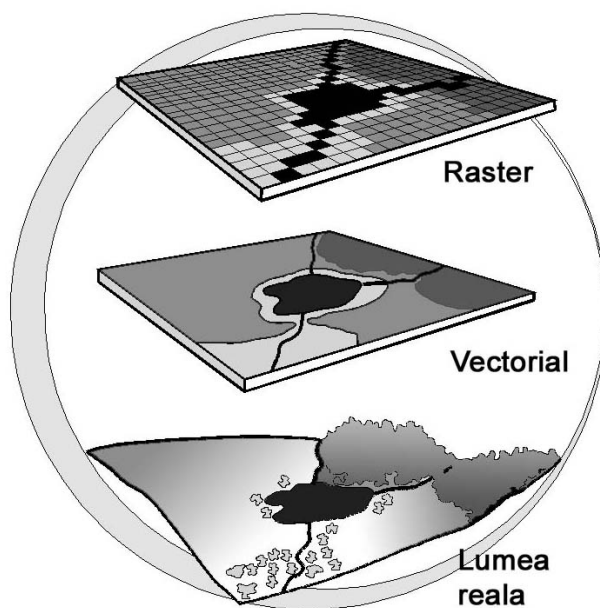


Figura 1.12 Reprezentarea vectorială și raster a lumii reale (după ESRI).

1.7 DOMENII DE APLICARE ALE GIS

Numeroase domenii de activitate beneficiază astăzi de tehnologia GIS. O piață activă de GIS a dus în timp la o scădere a prețurilor și la o creștere a performanțelor componentelor hardware și software. Această dezvoltare a favorizat aplicarea GIS-ului în domenii de o mare diversitate: de la administrație, apărare, educație, la afaceri, comerț și industrie, într-un cuvânt, toate acele domenii în care luarea deciziilor se face în cadrul spațiului geografic.

Varietatea acestor domenii este sugestiv ilustrată de figura 1.13.




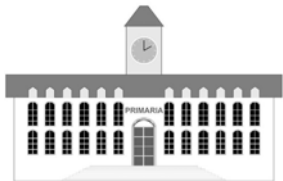

	Controlul și comanda traficului rutier.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cum se ajunge acolo? 2. Există o cale mai scurtă? 3. Unde se află cea mai apropiată unitate? 4. Ce se întâmplă dacă drumul este blocat?
	Inventarierea resurselor naturale.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cât avem? 2. Unde se află? 3. Cui aparțin? 4. Care sunt cele mai accesibile?
	Monitorizarea rețelelor de alimentare cu apă.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Care zonă va fi afectată de închidere? 2. Ce trebuie înlocuit și unde? 3. Unde ar trebui adăugate noi legături?
	Planificare strategică.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Unde trebuie îmbunătățite serviciile mai întâi? 2. Unde se află concurența? 3. Unde ar trebui deschis un nou birou?
	Prospectarea pieții.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Unde se află clienții potențiali? 2. Unde se află concurența? 3. Cum am putea îmbunătăți cifra de afaceri?

Figura 1.13 Diversitatea domeniilor de aplicare a GIS-ului (**după** Heywood).

În domeniul transporturilor există numeroase aplicații, de exemplu de supraveghere și control al traficului rutier în timp real, permițând realizarea unor intervenții de urgență (salvare, pompieri) în cel mai scurt timp. Alte aplicații în acest domeniu vizează proiectarea, întreținerea și optimizarea rețelelor de transport.

Unul dintre domeniile de tradiție a tehnologiei GIS este managementul și exploatarea resurselor naturale. Acest vast domeniu include studii asupra modului de folosire a terenurilor, studii asupra geologiei, hidrografiei, vegetației pentru analize de mediu.

În domeniul lucrărilor edilitare, GIS-ul se dovedește un instrument deosebit de util în planificarea lucrărilor de întreținere și reparații ale rețelelor de alimentare și canalizări, în inventarierea cerințelor consumatorilor și planificarea lucrărilor de extindere a acestor rețele sau la identificarea traseelor afectate de infiltrarea unor poluanți.

GIS-ul are o largă aplicare în activitatea administrațiilor locale și publice, de la realizarea studiilor și proiectelor de urbanism și sistematizare, la acordarea permiselor de construcție/demolare sau organizarea colectării și depozitării deșeurilor menajere.

Aplicarea GIS-ului în comerț permite rezolvarea unor probleme privind identificarea și menținerea piețelor în condiții de concurență, organizarea distribuției mărfii sau gestionarea stocurilor.

Astăzi, când comunitatea științifică internațională recunoaște consecințele activității umane asupra mediului, tehnologia GIS a devenit un instrument esențial în efortul de înțelegere a procesului de schimbări globale. Numeroase hărți și informații satelitare pot fi combinate pentru simularea interacțiunilor sistemului natural complex. Aceasta permite o mai bună înțelegere a proceselor terestre și o mai bună administrare a activităților umane, pentru a menține vitalitatea economică a lumii și pentru a păstra calitatea mediului.

BIBLIOGRAFIE

Bernhardsen T., *Geographic Information Systems*, VIAK IT and Norwegian Mapping Authority, 1992.

Brett Bryan, *GIS III Lecture Notes*,
<http://www.gisca.adelaide.edu.au/~bbryan/lectures>

Clarke, Keith C., *Getting started with geographic information systems*, Prentice-Hall, 1997.

Cornelius C., Heywood I., Jordan G., *GIS: An Overview- Course Notes*, Department of Environmental and Geographical Sciences, The Manchester Metropolitan University, 1994.

DeMers M. N., *Fundamentals of Geographic Information Systems*, John Wiley & Sons, Inc. 1997.

DLSR, <http://www.dlsr.com.au/home.htm>

ESRI Canada, *The Schools and Libraries Program*, <http://www.esri.ca>

***, *Geography on the Web*,
http://terra.geo.orst.edu/.user/groups/home/geog_web.html

GIS Reference Page, <http://tx.usgs.gov/gis/>

GITA, <http://www.gita.org>

GISCA Courses, <http://www.gisca.adelaide.edu.au/kea/gisrs/gisrsrc/courses.html>

Haidu I., Haidu C., *S.I.G. Analiză Spațială*, Editura *H*G*A*, București, 1998.

Hammond, Inc., <http://192.41.39.25/hammond20.html>

***, *Historic World Maps*, <http://geography.miningco.com/>

***, *Introduction to Geographic Information Systems (GIS) for Schools*, Intergrap, 1999.

***, *Map History/History of Cartography Index*,
<http://ihr.sas.ac.uk/maps/mapsindex.html>

Marble D.F., *Urgent Need for GIS Technical Education - Rebuilding the Top of the Pyramid*, www.esri.com.

NCGIA Home Page, <http://ncgia.ucsb.edu/>

OpenGIS, <http://www.opengis.org>

***, *The GIS Glossary* ESRI Inc., 1996.

***, *The Geographer's Craft*,
<http://www.utexas.edu/depts/grg/gcraft/contents.html>

Săvulescu C., *GIS – O privire generală*, CAD report, An I, Nr. 3, Iulie, 1996, pag. 21-24.

U.S. Geological Survey -Geographic Information Systems
<http://www.usgs.gov/research/gis/title.html>

2 MODELAREA SPAȚIALĂ

Așa cum s-a arătat în capitolul anterior, Sistemele Informatică Geografice (GIS) sunt reprezentări digitale ale structurilor sau proceselor observate în lumea reală. Aceste reprezentări sunt create în urma unei succesiuni de etape numite generic *construirea modelului*. Cel mai important lucru la un GIS este ca acesta să emuleze toate acele aspecte ale lumii reale care prezintă interes pentru aplicația propusă. Ca orice model, el trebuie să aibă o *image*, o *structură* și o *comportare* care să reflecte cunoștințele sau observațiile făcute asupra fenomenului.

Prima etapă în construirea oricărei aplicații este aceea de identificare a *zonei* din lumea reală care face obiectul studiului și transformarea ei într-un model spațial.

2.1 LUMEA EXPRIMATĂ PRIN MODELE

Tranformarea observațiilor asupra lumii reale într-un set de date utile unui GIS, prin stabilirea conceptelor și procedeele necesare, se poate face numai cu ajutorul modelelor. În general, un model poate fi reprezentat printr-o ipoteză, o teorie, o relație matematică sau o colecție de informații.

“ Un model este o reprezentare idealizată sau simplificată a realității. ”

(Haines-Young și Petch, 1986)

Aplicațiile prezentate ca exemple în cadrul acestui curs sunt simplificări ale realității. Ele au rezultat prin abstractizarea acelor părți ale lumii reale considerate esențiale pentru definirea și rezolvarea unei probleme.

În cadrul procesului de modelare spațială, datele geografice și informațiile despre relațiile spațiale între componentele lumii reale sunt utilizate pentru înțelegerea și exprimarea problemei specifice. Percepția asupra lumii reale depinde de observator: un tronson de șosea poate fi interpretat sub forma unei linii (de către șoferul unui automobil), a două linii paralele (de către un topograf) sau ca o suprafață (pentru administratorul șoselei însărcinat cu refacerea covorului asfaltic). Modelul poate fi simplu (spre exemplu, cel pentru determinarea celui mai scurt traseu între două puncte) sau complex (descrierea atmosferei pentru prognozarea timpului probabil). În general, complexitatea modelului trebuie adaptată necesităților utilizatorului.

Pe baza concepției modelului se stabilesc informațiile necesare pentru alcătuirea lui. Principala purtătoare de informații este *entitatea*, definită ca acel obiect sau fenomen al lumii reale indivizibil în obiecte sau fenomene de același tip. O entitate este caracterizată prin apartenența la o anumită *clasă* (unic definită pentru a evita ambiguitățile), prin *atributele* sale și prin *relații spațiale* cu alte entități. Relațiile spațiale între entități geografice pot fi numeroase, complexe, obiective sau subiective. Din motive practice, modelul nu înregistrează toate relațiile spațiale observate, omițându-se uneori intenționat relații dintre cele mai evidente.

Abstractizarea oferă posibilitatea înțelegerii proceselor din lumea reală, dar în același timp permite planificarea sau intervenția asupra acestora. Un model *pasiv* presupune automatizarea procesului existent fără a adăuga nimic nou (nici procesului, nici rezultatelor). El se întâlnește frecvent în administrație (conectat cu produse CAD) și îndeplinește funcții de inventariere. În cazul unui model *reactiv*, entitățile spațiale și informațiile sunt procesate în scopul analizei, al găsirii soluțiilor sau al identificării căilor de perfecționare a modelului.

O calitate importantă a modelelor este caracterul lor dinamic. Prin utilizarea modelelor se acumulează informații iar acestea se adaptează (fig. 2.1). Caracterul dinamic al modelului spațial se transmite aplicației care, la rândul ei, este deschisă schimbării și îmbunătățirii.

În sfârșit, datele spațiale conținute într-un model pot avea acurateți diferite în funcție de modul de colectare a acestora.

Înainte de a discuta construirea modelului spațial, să examinăm trei modele geografice (spațiale) ale lumii reale, mai mult sau mai puțin familiare, pe marginea cărora se pot face o serie de comentarii utile: harta, macheta (reprezentarea fizică tridimensională) și fotografia aeriană.

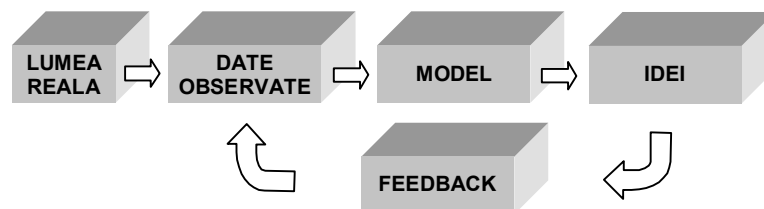


Figura 2.1 Caracterul dinamic al modelelor.

2.1.1 HARTA

Harta a fost utilizată ca model de reprezentare spațială a informațiilor din momentul în care omul a putut crea simboluri pe o suprafață. Primele hărți au fost desenate prin trasare directă a simbolurilor pe pământ sau pictând pereții peșterilor cu vopsele extrase din plante. Gândindu-ne la hărți, avem în mod obișnuit imaginea unor obiecte din plastic sau hârtie care, o dată desfăcute, fie

nu se pot plia în forma inițială, fie punctul căutat se găsește undeva în zona tocită a cutelor acestora. Ceea ce ne interesează însă este tehnica prin care o hartă prezintă astăzi, pe o suprafață bidimensională, elemente ale lumii reale.

Într-o formă simplă, o hartă poate fi reprezentată de o schiță întocmită pentru orientare (fig. 2.2). Fiind desenată pentru un scop anume, este simplu de imaginat cum va fi utilizată ca model al realității. Utilizatorul își poate face o idee aproximativă asupra distanței în funcție de punctul de pornire și poate stabili traseul, chiar dacă nu este decât parțial familiarizat cu zona. Evident, această hartă este o abstractizare a realității. Realitatea a fost simplificată pentru a oferi doar informațiile necesare găsirii unei adrese. Eficacitatea cu care harta își îndeplinește scopul depinde de pregătirea utilizatorului: acesta știe să citească, înțelege câteva simboluri și este suficient de familiarizat cu zona pentru a se orienta corect. Autorul presupune de asemenea că schița va fi utilizată **doar** pentru acest scop. Presupunerea cunoștințelor și utilizarea potrivită a modelelor spațiale sunt două cerințe importante ale aplicațiilor practice ale GIS.

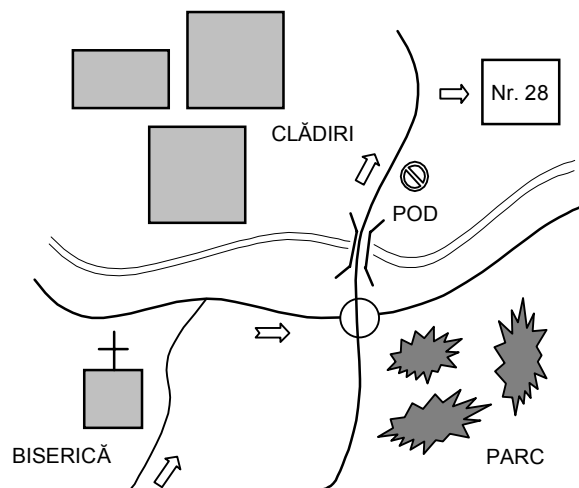


Figura 2.2 Hartă simplă pentru orientare (adaptare după Heywood, I.).

Un alt exemplu din care rezultă felul în care hărțile îndeplinesc rolul de model și cum acestea reconstituie în două dimensiuni o versiune simplificată a realității este prezentat în figura 2.3. Cele două hărți sunt reprezentări la scări diferite (1:2000 respectiv 1:500) ale unei zone urbane. Pentru a pune în evidență influența scării de reprezentare asupra acurateții informației, în figura 2.3,a este marcată zona acoperită de figura 2.3,b. Ambele hărți utilizează simboluri, notații, forme geometrice (în alte cazuri culori), reprezentând elemente ale lumii reale.

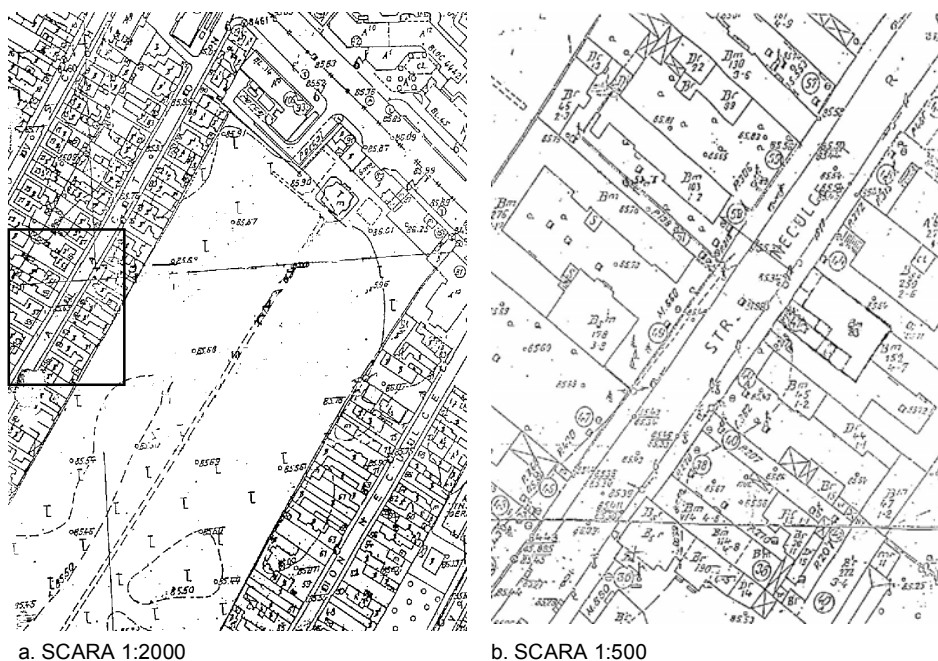


Figura 2.3 Planuri de încadrare în zonă.

Deși sunt mult mai complexe decât schița din figura anterioară, ele constituie din nou o abstractizare, deoarece sunt prezentate numai anumite trăsături ale realității și numai cu un anumit grad de aproximare. Este puțin probabil ca un copac să se găsească în poziția exactă, traseul real al bordurii unui trotuar nu este rectiliniu, multe entități sunt omise. În cazul hărților la scară mai mică (de exemplu 1:50.000), lățimea drumurilor nu se mai respectă, conturul pădurilor are forma regulată ș.a.m.d.

2.1.2 MACHETA

Macheta utilizează cea de a treia dimensiune pentru reprezentarea entităților lumii reale. De obicei macheta este mai ușor de înțeles și interpretat. Spre exemplu, macheta realizată de un arhitect pentru o clădire sau un ansamblu de clădiri este un model a cărui formă se apropie mai mult de realitate decât o face reprezentarea plană. Se poate analiza volumetria, poziția relativă a clădirilor, iar observatorul poate avea imaginea felului în care acestea interacționează cu mediul înconjurător. Deși se aseamănă cu lumea reală, datorită lipsei unui număr mare de detalii, modelul tridimensional conduce și el la o reprezentare trunchiată a realității.

O componentă importantă a succesului unui model este abilitatea lui de a stimula imaginația. Folosind modelul, utilizatorul trebuie să își poată imagina entitatea din lumea reală. Nu de puține ori arhitecții sunt criticați datorită diferenței între modelul prezentat inițial (planșele – modele și ele – sau macheta) și rezultatul obținut după realizarea clădirii. Din motive similare, la întocmirea modelelor pentru GIS, natura abstractă a acestora este foarte importantă.

2.1.3 FOTOGRAFIA AERIANĂ

Deși nu reprezintă un exemplu atât de familiar precum harta sau macheta, fotografia aeriană (fig. 2.4) este o sursă obișnuită de achiziționare a datelor pentru GIS. Prin informațiile pe care le conține, ea poate fi interpretată ca model al lumii reale. Chiar dacă harta sau macheta, prin simboluri și forme, dau impresia lumii reale, imaginea realității așa cum rezultă dintr-o fotografie aeriană este mai caldă, mai sugestivă: ea conține umbre, culori, nuanțe sau tonuri diferite. O diferență care se remarcă imediat este cea referitoare la granița între entități. În fotografia aeriană limita este neclară, reprezentată printr-o modificare treptată a culorii sau a tonurilor, spre deosebire de celelalte modele, la care limita între entități este definită mult mai precis: muchiile vii ale unei clădiri, limitele parcelelor de teren etc.



Figura 2.4 Fotografie aeriană (după Heywood, I.).

2.2 STADIILE MODELĂRII SPAȚIALE

Toate modele spațiale prezintă două “dimensiuni” ale realității: *dimensiunea spațială* - poziția unei anumite entități - și *dimensiunea tematică* - caracteristicile poziției sau entității care ocupă poziția respectivă. Având în vedere caracterul dinamic al modelelor, dacă există o succesiune a informațiilor în timp, se poate face apel și la o a treia dimensiune: *dimensiunea temporală*.

La baza dezvoltării modelelor spațiale stă achiziția de date. În mod obișnuit, aceasta se face printr-un proces îndelungat de observații și măsurători. Datele geografice (spațiale) sunt mai complexe decât alte tipuri de date datorită faptului că ele trebuie să conțină informații referitoare la poziția, atributele și conexiunile între obiectele înregistrate. Conform definiției formulate de Everest (1987), “*datele* sunt fapte reprezentate prin valori, cifre și litere, sau simboluri ce poartă o anumită semnificație într-un anumit context”. De aceea, putem considera datele spațiale ca valori, caractere sau simboluri, ce ajung informații ale utilizatorului prin poziția geografică a entităților din lumea reală. Exemplul simplu prezentat în figura 2.2 conține deja mai multe seturi de date spațiale utilizând puncte, linii, simboluri și caractere alfanumerice. De remarcă distincția făcută între *date* și *informații*. Datele sunt reprezentări codate ale informației, iar informația rezultă din date și este utilă pentru soluția problemei.

Specific datelor spațiale este faptul că acestea trebuie să aibă un *reper* sau o *referință* prin care să fie descrisă poziția lor pe suprafața pământului. Cel mai obișnuit reper este adresa, utilizată sub forma unui cod alfanumeric. Alte referințe obișnuite sunt coordonatele entităților în sisteme cartografice curente sau în sisteme de coordonate locale. Toate acestea reprezintă *sisteme de referințiere spațială*, componente esențiale ale oricărui GIS.

Un alt tip de date spațiale prezente în orice model, esențiale pentru înțelegerea semnificațiilor dar fără a fi reprezentate prin simboluri, sunt cele *topologice*. Ele se referă la poziția relativă a entităților reprezentate: apartamentul căutat se găsește în interiorul imobilului de la nr. 28, parcul este mărginit de șosea, drumul intersectează cursul râului. În limbaj specific, acestea sunt proprietăți de *incluere*, *adiacență* și *conectivitate*. Topologia, definită ca procedeul matematic utilizat pentru definirea explicită a relațiilor spațiale dintre entități, reprezintă una dintre noțiunile fundamentale ale GIS. Informațiile structurate topologic reflectă geografia lumii reale și furnizează baza matematică a manipulării și analizei datelor.

Punctul de plecare pentru orice GIS este construirea unui *model de date*, noțiune familiară celor care rezolvă diferite probleme cu ajutorul calculatorului. În limbaj specific, prin crearea unui model de date se înțelege un întreg proces de traducere a problemei geografice (spațiale) într-o simulare computerizată. Un model de date poate fi definit ca o descriere generală a unui anumit set de entități și a relațiilor dintre acestea. Fiecare entitate trebuie să fie identificabilă și distinctă. Într-un model de date spațial relațiile dintre entități pot fi noțiuni ca:

apropiere, adiacență, includere sau direcție. Atât entitățile, cât și relațiile pot avea atribute asociate: dimensiunea unui baraj, numărul evacuatorilor, anul punerii în exploatare, tipurile de materiale de construcție folosite etc. Atributele relației pot fi unitățile de măsură în care se exprimă: distanța poate fi exprimată în unități de spațiu (de exemplu km) sau de timp (ore necesare parcurgerii acesteia).

Pentru crearea modelului, datele trebuie examinate pe mai multe niveluri. Pornind de la realitate, prin abstractizare, ele evoluează devenind mai întâi structuri de informații orientate către utilizator, apoi structuri concrete de stocare a informației orientate către computer. În general, procesul de modelare a datelor poate fi redus la următoarele stadii de abstractizare:

- **stadiul 1** – identificarea acelor entități spațiale din lumea reală care prezintă interes și stabilirea modului de reprezentare a acestora în model;
- **stadiul 2** – alegerea unuia dintre modelele spațiale (*raster* sau *vectorial*), analiza și stocarea reprezentărilor pentru entitățile alese din lumea reală;
- **stadiul 3** – definirea procedurii (instrucțiunilor, formatului) prin care calculatorul reproduce entitățile alese, folosind modelul de date spațiale.

Unii autori sugerează și **stadiul 4**, cel al structurii fișierelor, care este de fapt locul de stocare fizică a informației (pe HD, FD sau CD).

2.3 REPREZENTAREA GRAFICĂ A ENTITĂȚILOR SPAȚIALE

Conținutul acestui subcapitol se referă de fapt la stadiul 1 de abstractizare, enunțat anterior. Obiectele lumii reale pot fi reprezentate grafic în două dimensiuni prin trei tipuri de entități:

- *Punctul* este cea mai simplă reprezentare grafică a unui obiect. El nu are dimensiuni, dar poate fi reprezentat în modele folosind diferite simboluri. Putem observa cu ușurință modul de reprezentare a localităților pe o hartă, în funcție de importanța acestora sau numărul de locuitori: cercele cu diferite diametre, două cercuri concentrice etc. În nici un caz limitele orașului nu corespund cu reprezentarea de pe hartă, cel mult reperul folosit (punctul corespunzător centrului fiecărui cerc) are coordonate exacte în sistemul de referință al hărții. Hărțile turistice conțin o serie întreagă de simboluri, cum sunt cele pentru muzee, locuri de campare, plaje sau aerogări. Toate acestea au rolul de a indica (cu o oarecare aproximație) poziția obiectelor respective, fără o reprezentare grafică exactă a realității.

- *Linia* unește cel puțin două puncte și este utilizată pentru reprezentarea obiectelor cu o dimensiune semnificativă la scara modelului: limitele parcelelor, traseul unui drum, un curs de apă etc.

- *Suprafața** este folosită pentru reprezentarea obiectelor cu două dimensiuni semnificative: suprafața unui lac, limitele unei păduri sau ale unui oraș etc.

* În cadrul acestui capitol, noțiunile de suprafață și poligon sunt folosite cu același sens.

În exemplul din figura 2.5 sunt definite: o suprafață (conturul unor clădiri), niște linii (traseul râului) și un set de puncte (poziția arborilor). Pentru ca utilizatorul să poată înțelege semnificația acestor entități este necesară o informație suplimentară, furnizată prin intermediul etichetelor atașate. Prin adăugarea etichetelor și titlurilor pentru entitățile desenate se poate crea o hartă simplă adnotată.

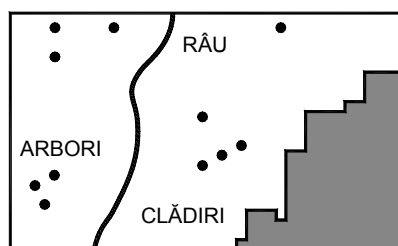


Figura 2.5 Utilizarea entităților spațiale
(adaptare după Heywood, I.).

În afara celor prezentate anterior, există alte două entități spațiale, extensii ale conceptelor de linie și suprafață, utilizate în modelarea GIS.

Prima este *rețeaua*. Ea poate fi imaginată ca o serie de linii interconectate, în lungul cărora există un *flux de informații*. În exemplele anterioare pot fi imaginate câteva astfel de rețele: rețeaua de drumuri în lungul căreia are loc un flux al traficului rutier; rețeaua de telecomunicații prin care circulă un flux de informații etc.

Cea de a doua este *suprafața tridimensională* (S3D). Ea poate fi definită ca o entitate continuă, având în orice punct o valoare caracteristică, cantitativ sau calitativ, ce poate fi imaginată ca elevație față de planul orizontal. Entitățile de tip S3D pot fi utilizate pentru reprezentarea diferitelor distribuții, cum ar fi densitatea populației, altitudinea sau temperatura.

Simplificarea lumii reale prin cinci tipuri de entități întâmpină o serie de dificultăți, referitoare la caracterul dinamic al fenomenelor, scara de reprezentare și identificarea caracteristicilor discrete.

Lumea reală este în continuă transformare: suprafața pădurilor se reduce, râurile își schimbă cursul, orașele se extind. Astfel, pentru definirea entităților unui GIS se pun două probleme specifice. Prima se referă la modul în care se selectează tipurile de entități pentru a furniza cea mai potrivită reprezentare a componentelor modelului. De exemplu, o pădure poate fi reprezentată ca o mulțime de puncte (prin reprezentarea poziției individuale a arborilor) sau ca o suprafață (granița teritoriului ocupat de pădure). A doua problemă este cea a evoluției în timp. De exemplu, o pădure care inițial era reprezentată printr-o suprafață poate degenera într-o mulțime dispersă de grupuri de copaci, a cărei reprezentare mai corectă ar fi prin puncte.

Conceptul de scară este, de asemenea, important în procesul de definire a entităților. Spre exemplu, dacă o bază de date GIS trebuie construită pentru o scară de 1:1.000.000, reprezentarea corectă a unui oraș se face printr-un punct. La o scară de 1:250.000, reprezentarea orașului printr-o suprafață este mai potrivită. La scara 1:50.000, orașul devine el însuși o “colecție” de tipuri de entități (puncte, linii, suprafețe). În mod ideal, un GIS ar trebui să opereze cu orice scară, astfel încât prin modificarea acesteia transformarea entităților să se facă automat.

Precizia cu care obiectele din lumea reală se regăsesc în model poate influența deciziile luate pe baza GIS. Dacă pentru reprezentarea unei păduri este aleasă o entitate de tip suprafață, conturul exact al acesteia este greu de definit. Rezolvarea problemei prin utilizarea ca sursă de informații a unei hărți (ea însăși un model), pe care conturul pădurii este marcat clar, nu este întotdeauna o soluție corectă. Un exemplu în acest sens ar putea fi un GIS pe baza căruia se face alocarea de fonduri pentru suprafețele noi împădurite.

Alegerea incorectă a entităților pentru reprezentare face uneori imposibile operațiile cu funcțiile necesare aplicației. Dacă, așa cum se va vedea mai târziu, o rețea de drumuri este reprezentată în mod simplu, ca o succesiune de entități de tip *linie*, în locul unei entități de tip *rețea*, drumul cel mai scurt între două puncte ale acesteia este imposibil de determinat. Dacă o clădire este reprezentată sub forma unui *punct* (simbol) în locul unei entități de tip *suprafață*, este imposibilă determinarea suprafeței construite a acesteia. Posibilitatea de modificare a unui tip de entitate într-altul este o componentă importantă a produselor soft specifice, fiind detaliată în capitolul referitor la *operații spațiale*.

2.4 SISTEME DE REPREZENTARE A ENTITĂȚILOR ÎN MODELELE DE DATE

Cu toate progresele evidente ale produselor hard și soft, calculatoarele pot transforma informațiile asupra entităților în reprezentări grafice numai pe baza unor instrucțiuni specifice. Acest proces reprezintă al doilea stadiu de abstractizare în proiectarea și implementarea modelului de date la care s-a făcut referire anterior.

În prezent, există două posibilități de reprezentare grafică a entităților spațiale cu ajutorul calculatorului: *raster* și *vectorial*. Pentru a înțelege mai bine diferența între cele două abordări se propun următoarele analogii cu jocuri clasice de construcție: sistemul raster corespunde unui tablou realizat prin asamblarea unor piese de tip “Lego”, iar sistemul vectorial unui ansamblu realizat din bare conectate la capete de tip “Mecano”. În primul caz, modelul rezultă prin atașarea unor piese de diferite forme pe o placă de bază, în timp ce în al doilea caz, modelul este compus din elemente liniare de diferite dimensiuni, asamblate cu șuruburi la capete (intersecții).

2.4.1. ORIGINILE SISTEMELOR RASTER SI VECTORIAL

Existența acestor două tipuri de reprezentări utilizate în GIS se datorează factorilor tehnologici și economici care au influențat dezvoltarea graficii pe calculator. Din anii '50, prin tehnologia transmisiilor TV, tubul catodic a fost utilizat ca periferic sau mijloc de comunicare pentru informația procesată pe calculator. Această tehnologie este mai bine cunoscută sub denumirea de *unitate de reprezentare vizuală* (VDU = **V**isual **D**isplay **U**nit). Orice ecran este compus dintr-un număr de celule numite *pixeli* (*picture elements* = elemente ale tabloului). Pentru a forma o imagine, fiecărui pixel i se atribuie o intensitate luminoasă și o culoare. Termenii de *raster* și *vectorial* provin tocmai de la metodele prin care pixelilor le sunt atribuite aceste caracteristici (intensitate și culoare).

În cazul graficii vectoriale, calculatorul indică în coordonate poziția precisă a unui fascicul de electroni, iar intensitatea se reglează în funcție de vizibilitatea dorită a punctului respectiv. În cazul graficii raster, fascicolul de electroni baleează permanent suprafața ecranului, de la o stânga la dreapta și de sus în jos, cunoscând atributele imaginii (intensitate și culoare) pentru fiecare pixel, pe baza datelor furnizate de calculator. În prezent, această deosebire tehnologică nu mai există. Toate monitoarele moderne utilizează abordarea grafică raster pentru afișarea informației, această metodă fiind mai rapidă și mai ieftină. Terminologia celor două abordări a rămas totuși valabilă, existând în continuare două metode prin care procesorul grafic al oricărui calculator poate reprezenta imaginile grafice în memorie, înainte și după ce acestea au fost transmise monitorului.

În sistemul raster, celulele individuale sunt cele utilizate pentru crearea imaginii formate din puncte, linii, suprafețe, rețele sau S3D; celulele sunt atașate unele de altele pentru a forma suprafețe sau sunt plasate într-un "patern" specific pentru a forma linii sau rețele; informația pentru fiecare celulă trebuie reținută în memoria calculatorului. În sistemul vectorial, celula este înlocuită cu punctul; punctele sunt legate între ele prin linii (sau arce), pentru a construi suprafețe sau rețele; trebuie reținute numai informațiile referitoare la puncte, liniile și suprafețele fiind create de către calculator prin algoritmi specifici.

Detalii asupra structurii datelor în cele două sisteme sunt prezentate în paragrafele următoare.

2.4.2 STRAT DE DATE (DATA LAYER)

Complexitatea lumii reale este atât de mare încât aplicațiile GIS necesită construirea unor modele mult mai complicate decât exemplele anterioare. De

pildă, pentru aceeași zonă geografică pot fi necesare informații legate de relief, hidrologie, temperatură, vegetație, populație etc. În acest caz informația este organizată în straturi distincte tematice, numite *layer-e* (layer = strat), referențiate în mod identic, poziția lor în spațiu fiind legătura primară. Calitatea și puterea unui GIS constă și în raportarea tuturor layer-elor la o hartă de bază (utilizând standarde consacrate comune). Layer-ele conțin informații asupra fiecărei entități conținute în model, specificând poziția (geografică), relațiile spațiale, atributele și eventual informațiile temporale. Primele două informații sunt informații grafice, celelalte sunt informații non-grafice. Datele non-grafice pot fi de natură cantitativă și/sau calitativă și pot conține erori datorate generalizării. De obicei, datele grafice și cele non-grafice sunt separate din punct de vedere al sistemului de gestiune, informațiile fiind legate prin intermediul identificatorilor (cheilor de identificare).

În figura 2.6 este prezentat exemplul conceptual al procesului.

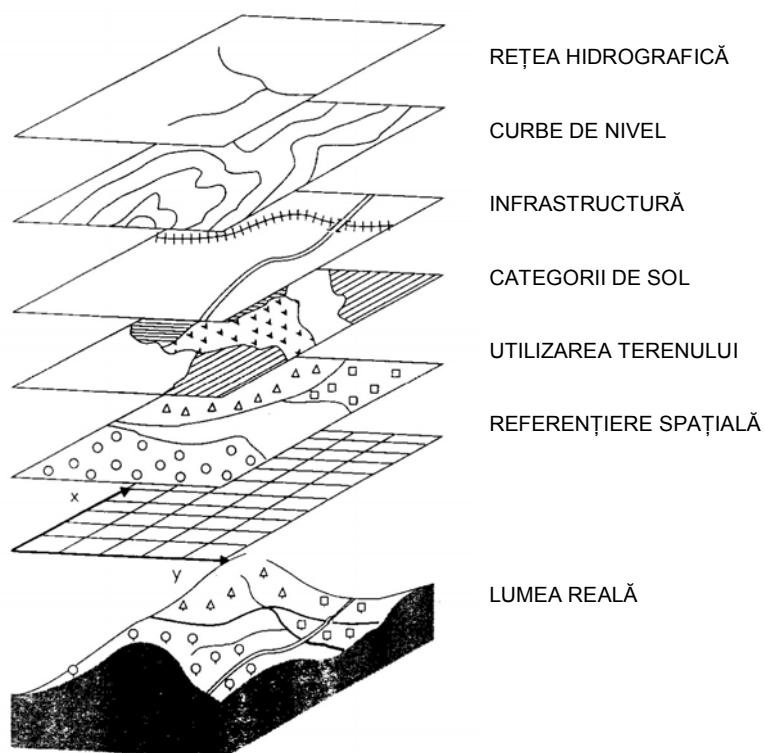


Figura 2.6 Compunerea modelului din layer-e tematice (după Bernhardsen, T.).

Astfel, se construiesc straturi individualizate, care conțin fiecare un anumit tip de date, prin folosirea diferitelor tipuri de entități: S3D pentru relief, rețeaua pentru hidrologie, suprafața pentru construcții etc. Fiecare strat se stochează în memorie independent, fie raster, fie vectorial. Ele pot fi apoi folosite, separat sau împreună, în funcție de necesitățile aplicației.

Utilizând abordarea vectorială, este posibilă reprezentarea grafică simultană a unui număr nelimitat de straturi, prin suprapunerea acestora. Singura problemă este aceea că pe măsură ce numărul straturilor crește, imaginea devine mai încărcată. În schimb, dacă se încearcă suprapunerea mai multor straturi realizate în sistem raster, se va observa că numai cel de deasupra este vizibil. Acest lucru se datorează faptului că fiecărui pixel de pe ecran i se poate atribui numai o singură caracteristică (valoare ce corespunde intensității și culorii fascicolului). Există totuși și excepții, anumite produse GIS permițând transformarea unor pixeli individuali în zone “transparente” pentru vizualizarea stratului anterior.

2.5 STRUCTURA DATELOR SPAȚIALE

În conformitate cu cele arătate la începutul acestui capitol, *structura datelor spațiale* reprezintă al treilea stadiu de abstractizare în procesul modelării. Prin structură a datelor se înțelege setul de instrucțiuni și formate necesare calculatorului pentru a reconstrui modelul de date spațiale în formă digitală. Numeroase tipuri de structuri ale datelor spațiale sunt utilizate în produsele soft comerciale specifice GIS, iar multe altele există sub formă de produse personale sau ale diferitelor instituții. Această diversitate creează una dintre problemele majore ale sistemelor: dificultatea schimbului (transferului și compatibilității) de date spațiale. Schimbul de informații între două sisteme GIS nu poate fi făcut decât dacă structurile de date utilizate pentru stocarea informației sunt compatibile.

Deși utilizatorul GIS nu definește structura datelor în cadrul softului pe care îl utilizează, el trebuie să poată decide între mai multe opțiuni. Pentru a putea face o alegere corectă și în cunoștință de cauză, este foarte important ca acesta să înțeleagă caracteristicile diferitelor tipuri de structuri.

Toate structurile de date utilizate pot fi clasificate în două categorii: cele folosite pentru a stoca informații spațiale în *sistem raster* și cele folosite pentru a stoca informații spațiale în *sistem vectorial*. Cele mai simple structuri de date sunt cele asociate modelelor spațiale raster.

2.5.1 STRUCTURI PENTRU MODELUL RASTER

În cazul structurii raster, informația geografică este stocată sub formă de matrice uniformă, harta fiind codificată pe baza unei rețele de celule (cu mărimi și forme identice). Pentru un layer dat, cu cât numărul de celule este mai mare, cu atât cantitatea de informații spațiale crește.

În același timp crește spațiul necesar pentru stocare în memoria calculatorului. Cu cât dimensiunea celulei crește, informația devine tot mai generală, în schimb se utilizează mai puțină memorie. Dimensiunea celulei definește rezoluția spațială a modelului raster. Pentru exemplificare, în figura 2.7 sunt prezentate câteva modalități de reprezentare a unei hărți simple în sistem raster, corespunzând fiecare unei alte dimensiuni a celulei.

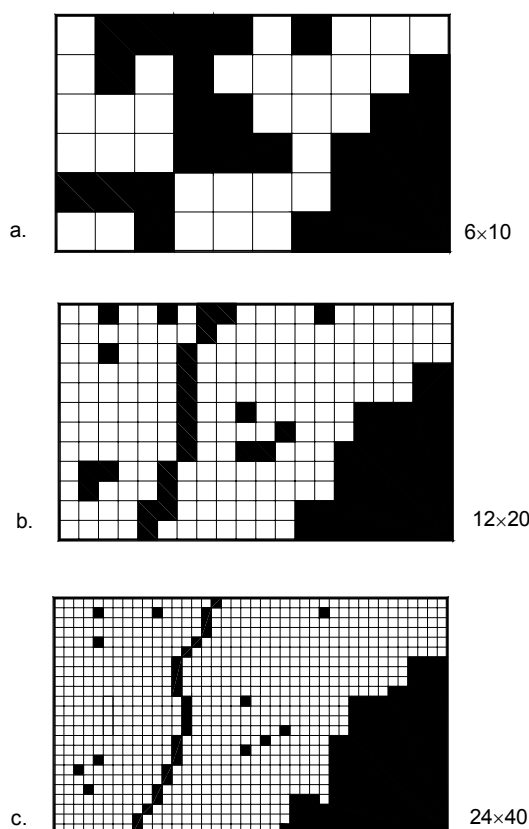


Figura 2.7 Reprezentarea aceleiași imagini pe grile raster cu diferite densități.

În timpul rasterizării, spațiul este descompus cantitativ prin intermediul rețelei, harta cu reprezentare *continuuă* a entităților transformându-se într-un set de informații *discrete*. Fiecare celulă descrie o arie reală, dar informația este generalizată în interiorul celulei (are valoare constantă). Entitățile (puncte, linii, poligoane) sunt reprezentate prin aproximare. Fiind identice ca dimensiune și formă, pentru a acoperi complet o suprafață plană, forma celulelor poate fi rectangulară (patrate), triunghiulară (triunghiuri echilaterale) sau hexagonală (fig. 2.8).

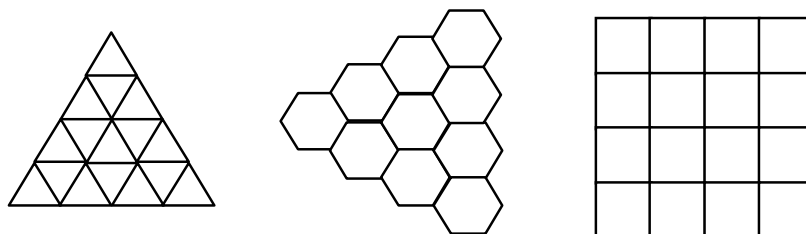


Figura 2.8 Tipuri de grile raster.

Deși nu este disponibilă pentru produse soft comerciale, rețeaua hexagonală prezintă un interes special datorită echidistanței celulelor adiacente, spre deosebire de cazul rețelelor rectangulare sau triunghiulare. Principalul dezavantaj al rețelei hexagonale îl reprezintă imposibilitatea divizării ei prin recurență sau agregarea celulelor în celule mai mari cu aceeași formă.

Dimensiunea celulei este definită în mod obișnuit în funcție de următoarele cerințe empirice: în cazul unei rețele rectangulare, pentru entități liniare dimensiunea maximă a celulei este de $\frac{1}{2}$ MMU (Minimum Mapping Unit = unitatea cartografică minimă), iar pentru poligoane (suprafețe) dimensiunea maximă a celulei este de $\frac{1}{4}$ MMU.

În continuare sunt prezentate câteva structuri ale datelor pentru reprezentarea entităților în sistem raster, a căror complexitate crește treptat.

2.5.1.1 Rasterul simplu. În cazul structurii de date raster simplu, informația este stocată pentru fiecare celulă a imaginii. Informația transmisă calculatorului este foarte simplă: o entitate este prezentă sau nu într-o anumită celulă. Atunci când se constată existența unor entități ce ocupă numai parțial o anumită celulă, rezolvarea problemei se poate face prin două reguli: regula 50% și regula prezenței sau absenței. Prima afirmă că dacă mai mult de 50% din suprafața unei celule este ocupată de o entitate (sau parte a ei), atunci entitatea se consideră prezentă în celula respectivă (pe care o ocupă în totalitate). Cea de a doua regulă afirmă că dacă o entitate este prezentă într-o celulă, chiar și numai parțial, atunci ea se consideră prezentă în celula respectivă (pe care o ocupă în totalitate). Exemplificarea celor două reguli este făcută în figura 2.9.

În cazul sistemului raster simplu, calculatorul nu poate face distincție între linia care reprezintă un râu, punctele reprezentând copaci și suprafața reprezentând clădirile. Aceasta se datorează faptului că tehnologia raster utilizează codul binar pentru stocarea informației asupra imaginii. Celulele conținând o entitate vor fi înregistrate ca având valoarea 1, iar cele libere valoarea 0. Astfel, imaginea este percepută ca o serie de valori 1 și 0 și nu sub forma unor informații diferențiate pe categorii de entități. Pentru a diferenția informația utilizând rasterul simplu este necesar ca aceasta să fie introdusă în straturi separate pentru fiecare clasă. Structura datelor de tip raster simplu pentru stratul conținând construcțiile din harta precedentă (v. fig. 2.7,a) arată după cum urmează:

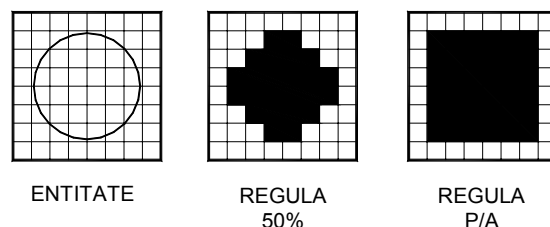


Figura 2.9 Reguli pentru stabilirea prezenței unei entități în celula raster.

rând 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
rând 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
rând 3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
rând 4	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
rând 5	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
rând 6	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

Pentru celelalte categorii de entități se construiesc fișiere raster asemănătoare.

2.5.1.2 Rasterul complex. Principalul inconvenient al structurii datelor corespunzătoare rasterului simplu este cantitatea mare de informații ce trebuie înregistrată pentru a reprezenta o hartă oricât de simplă. Spre exemplu, pentru harta din figura 2.5 sunt necesare trei straturi (unul pentru arbori, altul pentru râu și al treilea pentru clădiri). Structura datelor pentru rasterul complex reduce volumul informației prin atribuirea unor etichete codate celulelor grilei. Acestea comunică calculatorului nu numai prezența sau absența entității în celula, ci îi identifică și caracterul. Astfel, utilizând harta anterioară, celulelor reprezentând puncte corespunzătoare arborilor le poate fi atribuită valoarea 1. În tabelul 2.1 se prezintă modul în care pot fi reprezentate alte entități. A fost introdusă o coloană care indică culoarea, pentru a mări gradul de complexitate al imaginii.

Tabelul 2.1

Entitate reală	Tip entitate	Cod	Culoare
Arbori	punct	1	Verde
Râu	linie	2	Albastru
Clădiri	suprafață	3	Roșu

2.5.2 COMPACTAREA DATELOR PENTRU SISTEMUL RASTER

Problema majoră a sistemului raster este cantitatea mare a datelor stocate inițial. Pentru că în fiecare celulă trebuie înregistrată câte o valoare, o imagine complexă sub forma unui mozaic de entități diferite (de exemplu o hartă

conținând 20 de clase diferite de teren) necesită același spațiu de stocare necesar unei hărți cu dimensiuni și definiție similare, dar care reprezintă doar traseul unui drum (majoritatea celulelor având în acest caz atribuită valoarea 0).

Reducerea spațiului necesar pentru stocare, corespunzător informațiilor inutile, constituie o prioritate a metodei. Câteva dintre tehnicile de reducere a spațiului necesar pentru stocarea informației sunt prezentate în continuare.

2.5.2.1 Codificarea în linie (run length encoding). Una dintre cele mai simple tehnici de reducere a datelor asociate unei imagini raster este cea numită *codificare în linie*. Aceasta reduce informația pentru fiecare linie a matricii raster, prin stocarea unei singure valori pentru un număr de celule ce formează un grup de un anumit tip (în loc să stocheze o valoare pentru fiecare celulă). Considerând exemplul din figura 2.10, în care este reprezentată distribuția argilei pe o hartă pedologică, codificarea în linie conduce la un fișier de forma:

rând 1	13,04,13
rând 2	13,04,13
rând 3	12,05,13
rând 4	11,05,12,02
rând 5	13,02,12,03
rând 6	13,02,11,04

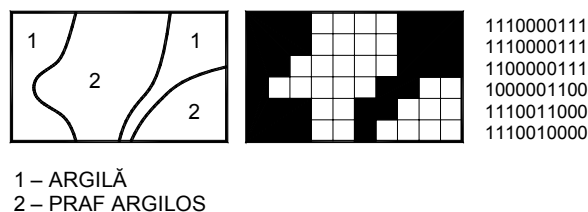


Figura 2.10 Structura datelor raster simplu pentru o hartă pedologică
(adaptare după Heywood, I.).

În prima linie, valoarea 1 indică prezența entității. A doua valoare (3) indică numărul de celule ocupate de această entitate, parcurgând linia de la stânga la dreapta. Al treilea număr (0) indică absența entității. Al patrulea număr indică numărul de celule neocupate, de la stânga la dreapta ș.a.m.d. Virgulele au fost introduse numai pentru simplificarea citirii, ele fiind înlocuite în fișierul real cu un format declarat pentru citire. Dacă se presupune că o valoare numerică utilizează 1 byte = 8 biți de memorie, primul rând al fișierului rezultat prin codificarea în linie utilizează 6 byți față de 10 în varianta necodificată.

Exemplul următor (fig. 2.11) arată cum volumul de informație asociat stocării unei imagini raster complex poate fi redus în mod similar, prin codificarea în linie. Valorile 0 și 1 indicând prezența sau absența entității, au fost înlocuite cu coduri utilizate pentru identificarea celor 4 entități diferite prezente în imagine.

Fișierul corespunzător codificării în linie este:

13, 24, 33
 13, 24, 33
 12, 25, 33
 11, 25, 32, 42
 13, 22, 32, 43
 13, 22, 31, 44

În anumite tehnici de codificare în linie se stochează și numărul rândului.

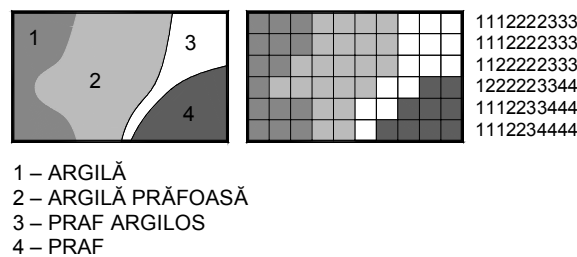


Figura 2.11 Structura datelor raster complex pentru o hartă pedologică
 (adaptare după Heywood, I.).

2.5.2.2 Codificarea în bloc (block encoding). Aceasta tehnică extinde codificarea în linie la două dimensiuni, folosind o serie de blocuri patrute pentru stocarea informațiilor privind suprafețele reprezentate pe hartă. În figura 2.12,a poate fi observată o hartă raster simplă în care o entitate a fost divizată într-o serie ierarhică de blocuri patrute.

Pentru stocarea informației asupra elementelor imaginii raster sunt necesare în total 6 blocuri de date: 3 pătrate a câte 1 celulă, 2 pătrate a câte 4 celule și 1 pătrat a câte 16 celule.

Prin această metodă, spațiul necesar pentru stocarea imaginii este de 19 numere față de 64 numere în raster simplu sau 43 numere în metoda codificării în linie. De remarcat că fișierul nu mai stochează informația în ordinea liniilor sau coloanelor, ci pe baza dimensiunii blocurilor.

Structura datelor pentru reproducerea acestei imagini arată în felul următor (tab. 2.2):

Tabelul 2.2

Mărimea celulei	Nr. blocuri	Perechea de coordonate corespunzătoare poziției blocului
1	3	3,4 4,4 6,2
4	2	5,4 5,6
16	1	1,8

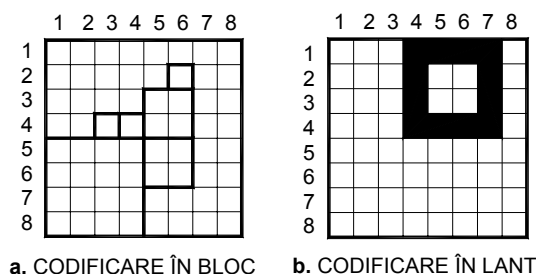


Figura 2.12 Metode de compactare a datelor în sistem raster
(adaptare după Heywood, I.).

2.5.2.3 Codificarea în lanț (chain encoding). Metoda codificării în lanț este utilizată pentru definirea graniței unei entități. Granița este definită ca o succesiune de celule, pornind și întorcându-se la același punct de origine. Tot ceea ce este cuprins în interiorul graniței respective se consideră ca făcând parte din entitate. Direcțiile de parcurs sunt date prin folosirea unui sistem de numerotare, spre exemplu: 0 = nord, 1 = est, 2 = sud și 3 = vest.

În figura 2.12,b sunt reprezentate celulele care formează granița entității raster. Presupunând că celula aflată la intersecția coloanei 4 cu rândul 1 este originea, fișierul pentru codificarea în lanț se scrie după cum urmează:

1,4 2,4 3,4 0,4,

primul număr din fiecare pereche reprezentând direcția, iar al doilea, numărul de celule. Pentru a stoca această imagine sunt necesare 8 numere.

2.5.2.4 Metoda descompunerii în quadranți (quadtree). Avantajul unui model de date raster cu grilă rectangulară este acela că fiecare celulă poate fi subdivizată în celule mai mici de aceeași formă. Ceea ce este important la grila rectangulară este că, prin diviziune, rezultă celule cu aceeași formă și orientare. Această proprietate unică a determinat apariția unor metode de reducere a spațiului de stocare, bazate pe subdivizarea regulată a entității geografice. Cea mai utilizată dintre acestea este cea a descompunerii în quadranți.

Descompunerea funcționează pe principiul divizării prin recurență a celulelor în quadranți până la atingerea unei definiții suficiente pentru descrierea unei entități geografice sub forma unei grile-matrice. Procesul de divizare continuă până când fiecare celulă din matrice poate fi caracterizată ca având entitatea prezentă sau absentă. Numărul subdiviziunilor depinde de complexitatea stratului și de diviziunea acceptată ca definiție suficientă pentru a reprezenta obiectul. Principiul este exprimat cel mai bine prin exemplul simplu din figura 2.13. În figura 2.13,b imaginea este împărțită inițial în 4 quadranți. Pentru că doi dintre aceștia nu pot fi clasificați ca *neconținând* entitatea, fiecare trebuie divizat la rândul lui în alți 4 quadranți. Rezultatul este prezentat în figura 2.13,c.

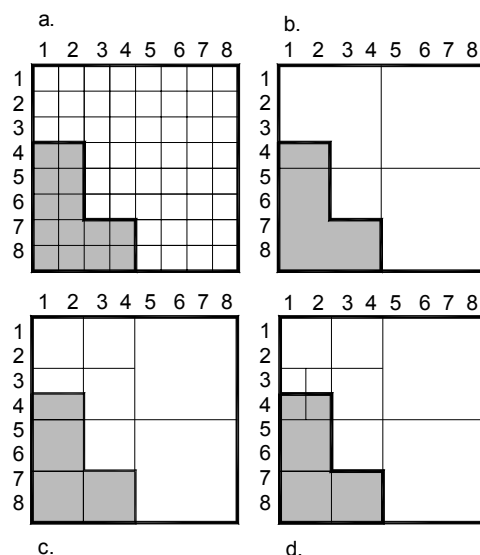


Figura 2.13 Metoda descompunerii în quadranți
(adaptare după Heywood, I.).

Acum pot fi identificați 6 quadranți care nu conțin entitatea, 3 quadranți ce conțin entitatea în întregime și 1 quadrant ce conține entitatea parțial. De aceea este necesară o nouă divizare a acestuia din urmă. Rezultatul este prezentat în figura 2.13,d: 8 quadranți nu conțin entitatea și 5 care conțin entitatea în întregime (deci nu mai este necesară continuarea procesului de divizare).

În figura 2.13 se regăsesc 3 dimensiuni ale quadranților (1 celulă, 4 celule și 16 celule). De aceea, această descompunere poate fi descrisă ca având 3 niveluri ierarhice. Cea mai mică dimensiune a unui quadrant este determinată de dimensiunea unui pixel. Natura ierarhică a descompunerii este și mai evidentă în reprezentarea din figura 2.14, ca imagine *binară ramificată* sau *arbore binar*. Putem distinge clar cele 3 niveluri de date care, prin codificare binară a fiecărei ramuri, indică faptul că un quadrant conține sau nu o parte a entității.

Pentru a urmări cum se codifică acest sistem de descompunere și cum este apoi extrasă informația pentru reprezentare, să examinăm figura 2.15.

Numerotarea utilizată reprezintă cheia găsirii și extragerii informației din reprezentarea ramificată. Spre exemplu, primul nivel al ramurii din stânga are identificatorul 0, nivelul următor (dincolo de ramificație) păstrează în componența fiecărei subramuri acest identificator ca referință a ramurii inițiale, ș.a.m.d. În tabelul asociat, prezența sau absența entității este înlocuită cu codurile binare 1 sau 0 pentru a fi stocată în memorie.

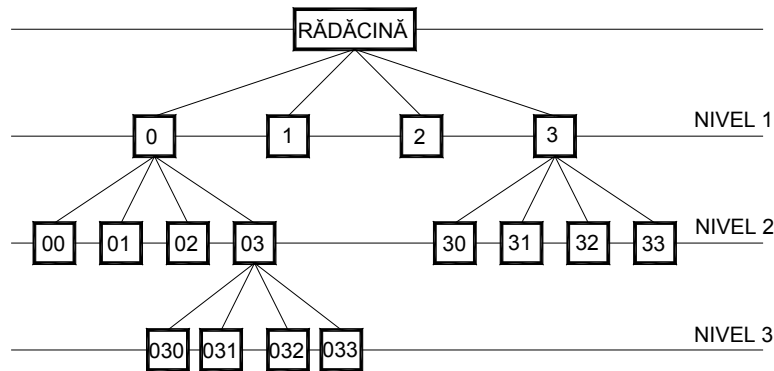


Figura 2.14 Natura ierarhică a descompunerii în quadranți.

00		01	1
030	031	02	
032	033		
30		31	2
33		32	

NIVELUL			ENTITATE
1	2	3	
0			Prezentă
	00		Absentă
	01		Absentă
	02		Absentă
	03		Prezentă
		030	Absentă
		031	Absentă
		032	Absentă
		033	Prezentă
1			Absentă
2			Absentă
3			Absentă
	30		Prezentă
	31		Absentă
	32		Prezentă
	33		Prezentă

Figura 2.15 Extragerea informației în sistemul descompunerii în quadranți.

2.5.3 STRUCTURI PENTRU MODELUL VECTORIAL

Modelul vectorial stochează informația grafică sub forma unei secvențe de puncte și segmente de legătură, pentru a reprezenta puncte, linii și granițe ale poligoanelor. Pentru reprezentarea entităților geografice, segmentele de dreaptă sunt direcționale (vectori) și între ele există relații de conexiune. Entitatea punct în modelul vectorial poate fi un *punct* (definit printr-un set de coordonate), un *nod* (început sau sfârșit de segment) sau un *vertex* (în care o linie frântă își

schimbă direcția). Entitatea linie cuprinde segmente, curbe sau arce conectate în noduri, *lanțuri* (linii sau arce complexe, cu mai mult de un segment) și *inele* (entități închise, la care punctele inițial și final coincid, având de aceea cel puțin trei puncte necolineare). Entitățile de tip suprafață pot fi defalcate în *suprafețe interioare* (delimitate de inele, mai puțin conturul acestora) și *poligoane* (suprafețe care cuprind și conturul propriu-zis). Spre deosebire de modelul raster, spațiul coordonatelor este continuu. Fiecare entitate de tip punct are o poziție precisă și unică (nu se găsește “undeva” în interiorul unei celule).

În sistem vectorial, cele 5 tipuri de entități (punct, linie, suprafață, S3D și rețea) pot fi definite prin coordonatele lor. Punctele sunt reprezentate prin perechile de coordonate, liniile prin segmente sau arce care unesc punctele, suprafețele prin poligoanele care le mărginesc, rețelele prin linii conectate ș.a.m.d. Totuși, pentru a dezvolta o structură a datelor aparținând entităților spațiale în sistem vectorial, mai sunt necesare informații suplimentare ce se referă la relația geografică între entități, denumită *topologie*. Topologia reprezintă un concept matematic a cărui origine este legată de principiile de adiacență și conectivitate. Ea arată modul în care entitățile geografice sunt legate între ele. Structurile de date topologice sunt denumite și structuri inteligente deoarece pe baza lor, relațiile spațiale între entitățile geografice se obțin cu ușurință.

La fel ca în cazul modelelor raster, structurile caracteristice sistemului vectorial pot avea diferite complexități.

2.5.3.1 Structuri simple, fără topologie. Cea mai simplă structură a datelor vectoriale pentru reprezentarea unei imagini spațiale este un set de coordonate x și y . Figura 2.16 conține una din hărțile anterioare într-o reprezentare vectorială. Pentru acest model, o structură simplă a datelor, fără topologie, poate fi construită după cum urmează:

- *Suprafață* (clădiri): C1(100,47), C2(90,47), C3(90,39), C4(65,39), C5(65,27), C6(60,27), C7(60,20), C8(55,20), C9(55, 0), C10(100, 0), C11(100,47). Se observă că prima și ultima pereche de coordonate sunt aceleași, pentru a asigura închiderea suprafeței sau poligonului.
- *Linie* (râu): R1(45,60), R2(41,53), R3(32,43), R4(34,32), R5(29,22), R6(25,12), R7(23,0).
- *Puncte* (arbori): A1(18,55), ..., A11(52,22).

Descriptorul se adaugă în fișier pentru a cunoaște ce reprezintă fiecare set de date. Coordonatele x și y sunt pozițiile punctelor ce urmează a fi conectate pentru a forma entități.

Limitele acestei structuri simple se observă o dată cu necesitatea modelării unor entități spațiale mai complexe.

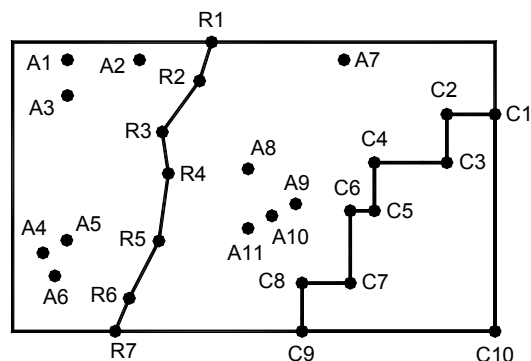


Figura 2.16 Reprezentarea entităților în sistem vectorial.

Aplicând aceeași schemă pentru cele două suprafețe din figura 2.17,a, ele pot fi reprezentate prin următoarea structură:

Suprafața 1 $(x_a, y_a), (x_b, y_b), (x_c, y_c), \dots, (x_k, y_k), (x_l, y_l), (x_m, y_m) \dots$
 Suprafața 2 $(x_u, y_u), (x_v, y_v), (x_w, y_w), \dots, (x_k, y_k), (x_l, y_l), (x_m, y_m) \dots$

La reconstruirea imaginii, conform acestei structuri se constată că zona de graniță comună a celor două poligoane este stocată de două ori (informație redundantă). În cazul unor hărți complexe, spre exemplu organizarea administrativă a țării pe județe, numărul informațiilor stocate în duplicat devine exagerat de mare în raport cu cantitatea totală de informații. Verificarea erorilor este și ea dificilă datorită lipsei informațiilor privind adiacența și conectivitatea.

În figura 2.17,b apare o problemă diferită. Rețeaua ar putea fi stocată ușor folosind structura simplă după cum urmează:

Linia 1 $(x_1, y_1) (x_2, y_2) (x_3, y_3)$ etc.
 Linia 2 $(x_4, y_4) (x_5, y_5) (x_3, y_3)$ etc.
 Linia 3 $(x_3, y_3) (x_6, y_6) (x_7, y_7)$ etc.
 Linia 4 $(x_8, y_8) (x_9, y_9) (x_7, y_7)$ etc.
 Linia 5 $(x_7, y_7) (x_{10}, y_{10}) (x_{11}, y_{11})$ etc.

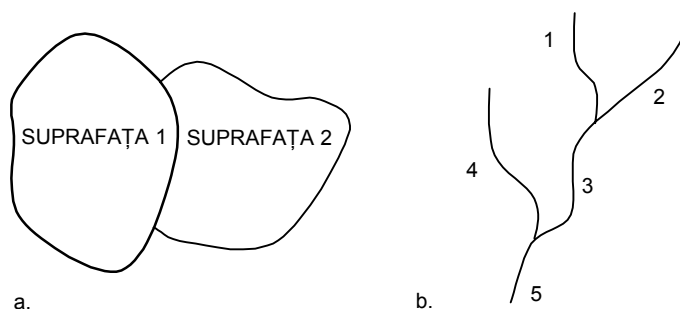


Figura 2.17 Limitele structurilor de date vectoriale simple.

Calculatorul poate reproduce imaginea, însă această informație nu poate fi folosită pentru a *interoga* modelul în legătură cu rețeaua reprezentată. Calculatorului nu i-au fost furnizate date prin care să se comunice conectarea liniei 1 cu linia 2, care la rândul ei este conectată cu linia 3 ș.a.m.d. Legăturile spațiale se fac numai mental, în momentul afișării imaginii pe ecran, însă ele nu sunt conținute explicit în fișier. Aparența vizuală a unei structuri, fără topologie, este denumită în limbaj specific *spaghetti cartografic* sau *puncte unite*. Fișierele digitale corespunzătoare nu conțin nici un fel de informații topologice, deși sunt înregistrate toate entitățile spațiale.

Două probleme specifice structurilor de date de tip *spaghetti* ilustrează importanța informațiilor topologice: în primul rând, datele de acest tip nu conțin informații referitoare la vecinătăți și, în al doilea rând, structura datelor nu rezolvă așa numitele “goluri” sau “poligoane insulare”.

Așa cum rezultă din exemplul anterior, liniile reprezentate pe baza structuri simple dau impresia unei rețele, cu toate că fișierul folosit pentru construirea imaginii nu conține informații în legătură cu conectarea acestora. În același mod, un set de poligoane create folosind aceeași structură pot apărea ca fiind conectate, deși în realitate sunt entități separate ce nu țin seama de prezența poligoanelor vecine. Atribuirea unor etichete acestor poligoane nu rezolvă problema. Sunt necesare instrucțiuni care să dea calculatorului informații asupra vecinătății. Structurile de date care conțin astfel de instrucțiuni sunt denumite *structuri corecte topologic*.

Un exemplu pentru ilustrarea problemei poligoanelor insulare este reprezentat în figura 2.18. Poligonul astfel clasificat încât să conțină tipul de sol *argilă* este conținut în întregime în poligonul clasificat să conțină *praf* (se face referire adesea la poligoane ierarhice). O structură de date simplă nu poate informa calculatorul asupra poligonului insular, parte de fapt a unui poligon mai mare (un “gol” sau un “lac”). Punerea corectă a problemei necesită de asemenea o structură a datelor completă topologic.

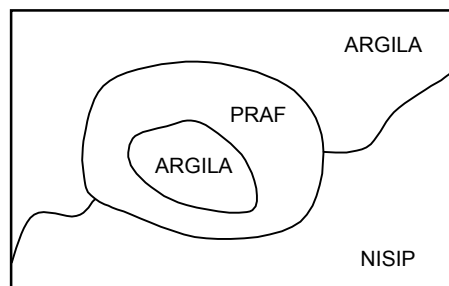


Figura 2.18 Poligoane ierarhice (adaptare după Heywood, I.).

2.5.3.2 Structuri de date cu topologie. Punctul este entitatea spațială cea mai simplă ce poate fi reprezentată vectorial cu topologie completă. Pentru a-i stabili

poziția în raport cu alte entități spațiale, deci a fi corect topologic, tot ceea ce este necesar pentru un punct este reperul sau referința sa geografică. Acest lucru se face prin atribuirea coordonatelor.

Liniile simple nu conțin informații implicite asupra conectivității lor. Atunci când fac parte dintr-o rețea, suprafață sau S3D, ele necesită informații topologice asociate. Informația topologică este adăugată liniilor prin folosirea unor *indicatori* ce semnalează legăturile în structura de date. Cel mai utilizat indicator într-o structură de date vectorială este *nodul*. Figura 2.19 pune în evidență tipul de informații necesare pentru a identifica conexiunile într-o rețea de linii.

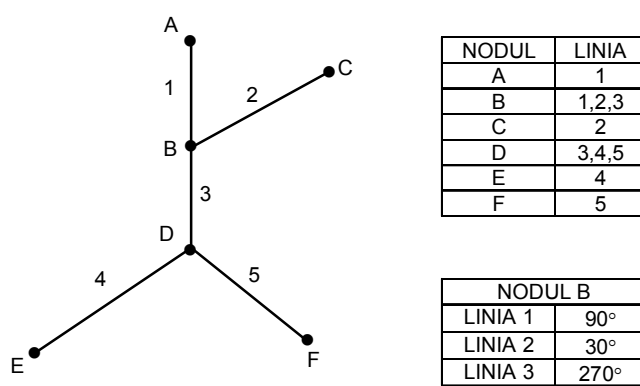


Figura 2.19 Conectarea liniilor în rețea (după Heywood, I.).

Prima etapă în transformarea unui set de linii într-o rețea inteligentă este identificarea punctelor de pornire, de capăt și de intersecție. Nodurile sunt utilizate pentru înregistrarea informației asupra conexiunilor, sensului și naturii fluxurilor de informații în rețea. În figura 2.19. au fost identificate 6 noduri, dintre care 4 reprezintă puncte de pornire și de capăt (B, D, E, F) și două (A, C) intersecții.

A doua etapă este reprezentată de identificarea liniilor sau arcelor care se conectează în noduri. Această informație este reprezentată în tabelul asociat. În multe cazuri, direcția este și ea o caracteristică importantă a rețelei. În figura 2.19 este prezentată înregistrarea direcției la pornirea unei linii din nod.

Pentru un set de suprafețe (poligoane în reprezentarea vectorială), topologia se construiește și ea în mai multe etape. Deși ordinea de parcurgere a acestora diferă de la un produs soft la altul, principiile rămân aceleași.

- *Generarea unei rețele perimetrare.* Primul pas în generarea topologiei complete pentru entitățile din figura 2.20 ar fi identificarea acelor segmente care se intersectează. În punctele de intersecție se creează automat segmente separate și se introduc noduri (fig. 2.20, a, b). Urmează sortarea segmentelor pe baza coordonatelor (x, y), astfel încât segmente apropiate topologic să fie apropiate și

în fișierul de date. Acest proces mărește viteza de extragere a informației atunci când sunt căutate entități adiacente. Se trasează, în continuare, o graniță exterioară a rețelei în care sunt incluse toate celelalte poligoane. Utilitatea acestei limite este aceea de a construi topologia pentru rețeaua de segmente. Poligonul perimetral este construit prin identificarea segmentelor care îl compun (fig. 2.20,c). Parcurgerea fiecărui segment trebuie semnalată printr-un indicator.

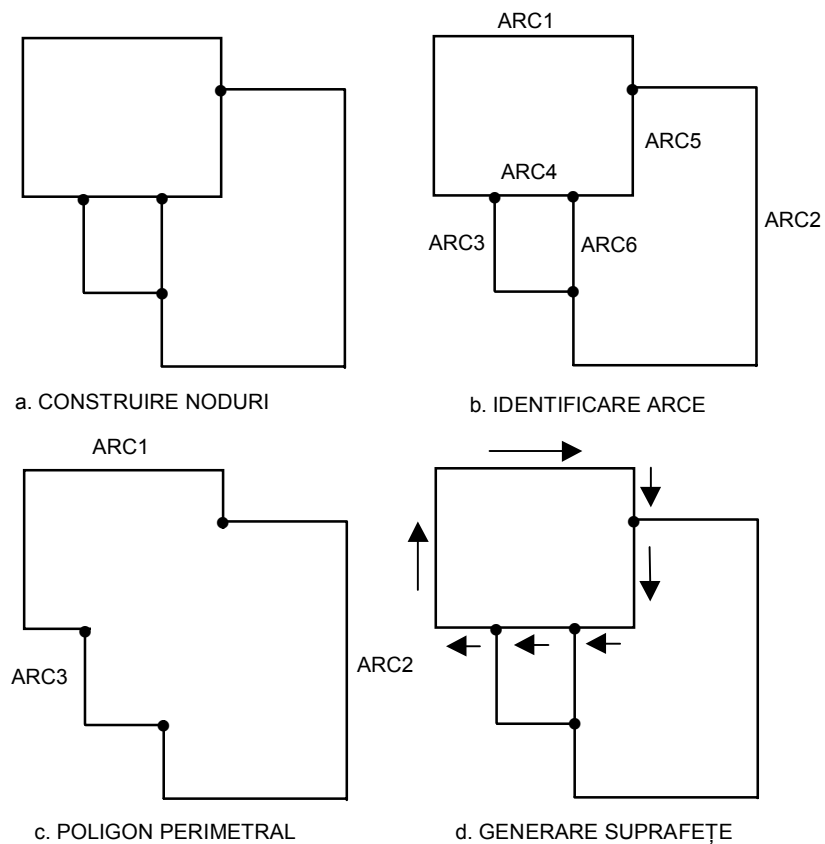


Figura 2.20 Construirea topologiei pentru suprafețe (după Heywood, I.).

Pentru poligonul perimetral se stochează următoarele informații:

- un identificator unic;
- un cod care îl identifică drept poligon perimetral;
- un indicator al direcției de legare a segmentelor pentru formarea graniței;
- listă a segmentelor din poligonul perimetral;
- limitele x și y ale poligonului.

- *Conectarea segmentelor în poligoane.* După definirea perimetrului se poate construi topologia pentru oricare alt poligon. Se utilizează același punct de plecare ca și pentru poligonul perimetral, păstrând același sens de parcurs (orar sau trigonometric). La fiecare nod se parcurge segmentul orientat către dreapta. Segmentele se parcurg de cel mult două ori. Procesul continuă până când se construiesc toate poligoanele.

- *Verificarea închiderii poligoanelor.* Esențial pentru construirea topologiei unui set de poligoane este ca acestea să fie închise. Un poligon deschis este incorect din punct de vedere topologic. Închiderea poligoanelor poate fi verificată prin consultarea tabelului de segmente.

- *Furnizarea unui identificator unic pentru fiecare poligon.* Etapa finală în construirea topologiei complete pentru un set de poligoane o constituie atribuirea unei etichete unice fiecărui poligon. Etichetarea este importantă pentru atașarea unor artibute (nespațiale) poligoanelor create sau pentru poziționarea reciprocă a acestora. În figura 2.21 este prezentat rezumatul informațiilor necesare a fi stocate în vederea reconstituirii topologiei poligoanelor.

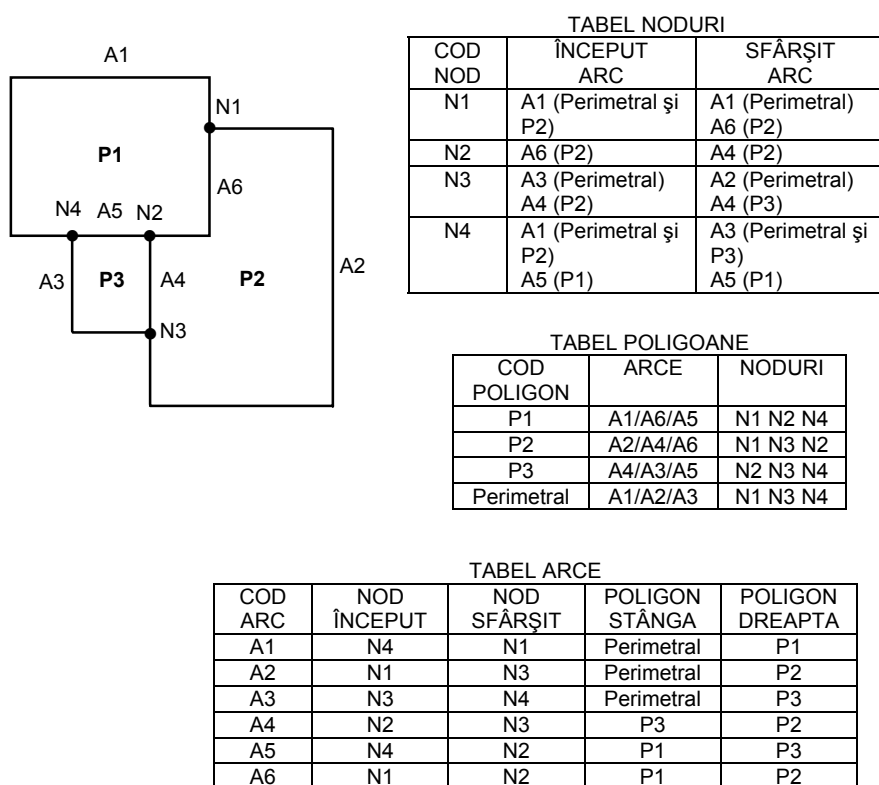


Figura 2.21 Stocarea informației; topologia poligoanelor (după Heywood, I.)

2.5.4 AVANTAJE ȘI DEZAVANTAJE ALE SISTEMELOR RASTER ȘI VECTORIAL

Nici una dintre abordările raster sau vectorial nu prezintă un avantaj absolut. Ele au calități și lipsuri relative în descrierea condițiilor din lumea reală. Avantajele și dezavantajele celor două metode pot fi apreciate în funcție de următoarele categorii: volumul datelor, interogări topologice, generalitate, acuratețe și precizie, capacitate analitică.

2.5.4.1 Volumul de date. În ceea ce privește volumul datelor necesare reprezentării în cele două sisteme, constatarea că datele în sistem raster ocupă un volum mai mare decât în sistem vectorial nu este suficient de relevantă; depinde de caracterul și complexitatea entităților spațiale ce trebuie înregistrate. Un raster simplu sau complex pentru stocarea unei entități spațiale cu câteva limite poligonale poate necesita tot atâta spațiu cât este necesar pentru stocarea unei entități spațiale complexe cu multe limite poligonale. În același mod, o structură vectorială fără topologie poate fi mult mai mică decât o structură cu topologie completă. Cu cât entitatea spațială devine mai complexă, cu atât se diferențiază necesitățile de stocare în cele două sisteme.

Ca regulă generală, modelele raster necesită un volum inițial de stocare mai mare decât echivalentele lor vectoriale. În schimb, acestea din urmă au nevoie de mai multă memorie pentru procesarea informației.

2.5.4.2 Interogări topologice. Capacitatea diferitelor modele de date de a furniza răspunsuri la interogări de tipul: *unde se găsește? Ce este alături de? Ce este conținut în?* prezintă o importanță vitală pentru utilizatori. Ambele sisteme (raster sau vectorial) au calități și lipsuri privind răspunsul la diferite interogări cu caracter spațial. În mod obișnuit, modelele vectoriale sunt considerate mai potrivite pentru a răspunde interogațiilor topologice referitoare la conținere, adiacență și conectivitate. Totuși, prin utilizarea unor structuri raster mai inteligente, cum ar fi metoda descompunerii în quadranți, două interogări spațiale pot fi efectuate eficient și cu modele raster: identificarea entității celei mai apropiate de un punct dat și a suprafeței în care este situat un punct. Acolo unde interogațiile topologice constituie aplicația principală a unui proiect GIS, este necesar un model de date vectorial.

2.5.4.3 Gradul de generalitate. Într-un GIS este necesară uneori modificarea scării și rezoluției tematice. Generalitatea entităților spațiale este în acest caz esențială. Spre exemplu, poate fi necesară "dizolvarea" unui număr de 200 de poligoane reprezentând diferite tipuri de teren în numai 10 clase generale. În ceea ce privește reprezentarea vizuală a entităților, modelul vectorial modifică scara cu mai multă ușurință decât modelul raster. Această capacitate se datorează preciziei cu care informația este înregistrată ca un set de coordonate (x, y). Dacă rezoluția necesară este sub dimensiunea celulei, schimbarea scării pune probleme în reprezentarea raster.

Pe de altă parte, generalizarea formei unei suprafețe este mai simplă în sistem raster, deoarece agregarea unei hărți pedologice într-una mai generală necesită numai *reclasificarea* unor celule și regenerarea imaginii. Aceeași operație în sistem vectorial necesită o mulțime de calcule pentru stabilirea intersecțiilor și adiacenței diferitelor poligoane cu atribute similare. De aceea, în cazul operațiilor de acest tip, modelele raster sunt mai potrivite.

2.5.4.4 Acuratețe și precizie

- *Acuratețea* este fidelitatea cu care entitatea spațială este reprezentată în imaginea lumii reale, cuprinzând poziția (acuratețea spațială) și caracteristicile (atributele) sale.

- *Precizia* este independentă de acuratețe și reprezintă gradul de exactitate folosit pentru înregistrarea poziției și caracteristicilor entității spațiale. Un GIS tipic vectorial alocă 8 caractere zecimale preciziei fiecărei coordonate, iar multe altele alocă 16. Nivelul acestei precizii este mult superior acurateții datelor tipice GIS.

Prin folosirea unui GIS vectorial, entitățile vor fi mai precis reproduse decât cu un GIS raster, unde punctele apar ca celule, liniile sunt frânțe și suprafețele au un contur neregulat. Un GIS vectorial nu are însă neapărat o acuratețe mai mare decât unul raster în privința poziției și caracteristicilor entităților. Toate datele spațiale au o acuratețe limitată, la aceasta contribuind caracterul subiectiv al achiziției. De asemenea, mulți utilizatori de GIS consideră că zona de tranziție din sistemul raster este mai potrivită pentru reprezentarea lumii reale, unde nu există granițe distincte între entități sau fenomene.

2.5.4.5 Capacitatea analitică. Între cele două sisteme de reprezentare există diferențe clare în ceea ce privește capacitatea analitică. Această problemă va fi analizată în detaliu în alt capitol.

2.6 MODELAREA SUPRAFEȚELOR 3D. MODELE DIGITALE ALE ELEVĂȚIEI

Acronimele MDE (**Model Digital al Elevației**) sau MDT (**Model Digital al Terenului**) sunt folosite pentru seturi de date digitale utilizate la modelarea unor suprafețe topografice (3D): în fiecare punct ele conțin informații asupra elevației. Prin această metodă o suprafață continuă este modelată utilizând un număr finit de observații. “Rezoluția” unui MDE este determinată de frecvența observațiilor utilizate. Suportul poate fi o reprezentare raster (rețea regulată de celule) sau o reprezentare vectorială a unui set de puncte de observare (măsurare). Pentru fiecare celulă sau punct trebuie cunoscute coordonatele plane (x , y), iar valorile elevației (z) se înregistrează. Valoarea z este *atributul* suprafeței plane (proiecției) și reprezintă de obicei înălțimea, deși orice atribut

observat care se caracterizează printr-o suprafață continuă poate fi utilizat pentru realizarea unui MDE (nivelul poluării, umiditatea solului, grosimea stratului de zăpadă etc.).

MDE poate avea numeroase aplicații practice: calcule de terasamente la proiectele de amenajări rutiere; suport pentru afișarea altor informații (tipuri de vegetație, utilizarea terenului); analize de vizibilitate pentru a determina ce caracteristici sau obiecte pot fi observate dintr-o anumită poziție; studii de impact; identificarea zonelor cu risc ridicat pentru amplasarea construcțiilor (alunecări posibile de teren, zone inundabile); reprezentarea altor suprafețe, precum distribuția temperaturii sau a gradului de poluare.

2.6.1 SURSE DE DATE PENTRU CONSTRUIREA MDE

2.6.1.1 Transformarea curbelor de nivel. Primul pas în transformarea unei hărți cu curbe de nivel într-un MDE este înregistrarea informației sub formă digitală. Cele mai utilizate metode sunt scanarea și digitizarea. Ambele produc o rețea neregulată de puncte sau celule, ce trebuie apoi etichetate cu o valoare potrivită a elevației (z). Pentru a realiza un MDE se obișnuiește interpolarea cu o rețea regulată de puncte sau celule, pe baza valorilor citite de pe curbele de nivel ale planului inițial.

2.6.1.2 Utilizarea fotografiilor aeriene. Utilizarea fotografiilor aeriene necesită o deprindere a utilizatorului în interpretarea acestora. Principial, stereoploterul indică elevația (cota) unui anumit punct al imaginii stereofotografice, în momentul în care, prin reglare, cele două imagini ce compun stereofotografia se suprapun perfect. Cota suprafeței nu poate fi însă determinată acolo unde terenul este acoperit de construcții sau vegetație deasă.

2.6.1.3 Metode automate. În prezent există o serie de metode pentru determinarea directă a elevației folosind echipamentul topografic. Acestea cuprind scanări ale bornelor aeriene (tehnici radar ce permit determinarea înălțimii unui avion deasupra pământului), precum și utilizarea sateliților de poziționare globală GPS¹ (stabilirea locației oricărui punct de pe suprafața terestră față de un sistem de referință cunoscut).

2.6.2 MODELE DE DATE SPAȚIALE PENTRU MDE

Atât modelele spațiale raster, cât și cele vectoriale, sunt utile pentru stocarea informației unui MDE. În abordarea vectorială, *rețeaua de triangulație neregulată* reprezintă abordarea cea mai frecventă (TIN = Triangulated Irregular Network). În figura 2.22,a este reprezentat un model raster al elevației,

¹ GPS = Global Positioning System = Sistem de Poziționare Globală, în lb. Engleză.

cu valoarea acesteia stocată în fiecare celulă. Cel mai important factor îl reprezintă densitatea grilei. Cu cât aceasta este mai fină, cu atât caracteristicile terenului vor fi mai bine reprezentate. Cu o grilă rară, detaliile sunt omise. La alegerea dimensiunii optime a grilei, obiectivul principal este de a minimiza cantitatea de date stocate, dar în același timp MDE să rezulte în conformitate cu suprafața modelată. Pentru produsele soft comerciale, rezoluția unui MDE este prestabilită, depinzând de prețul de achiziție.

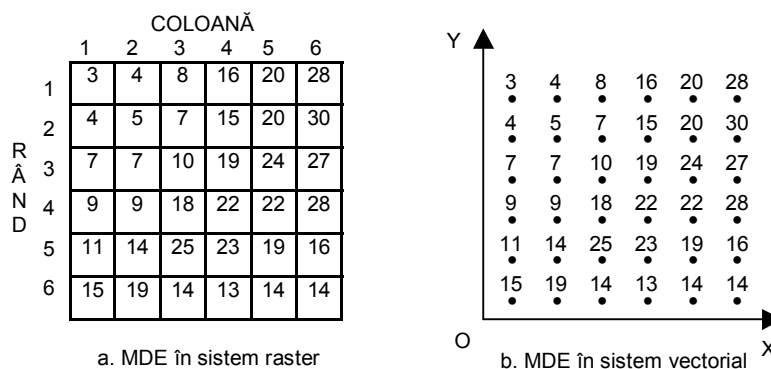


Figura 2.22 Model digital al elevației în reprezentare raster și vectorială.

Un MDE vectorial simplu stochează informația în mod obișnuit sub forma unui set de puncte distribuite la intersecțiile unei rețele uniforme (fig. 2.22,b). Fiecare punct este caracterizat prin coordonatele (x, y) și valoarea elevației (z). Un avantaj al acestui tip de model este acela că este posibilă îndesirea grilei în zonele conținând mai multe detalii (sau pante mai accentuate) și o rărire a acesteia în zonele omogene. Problema rezoluției legată de capacitatea de stocare a informației este aceeași ca și în cazul MDE raster.

2.6.2.1 Triangulația. Metoda triangulației are mai multe variante în produsele soft specifice. Modelul rețelei de triangulație neregulate (TIN) a fost conceput la începutul anilor '70, ca mijloc simplu de construire a unei suprafețe pornind de la un set de puncte cunoscute (utilă în special pentru distribuții neuniforme în plan). Punctele cunoscute sunt conectate prin linii, formând o serie de triunghiuri. Fiecare triunghi este definit prin trei muchii, iar fiecare muchie este limitată de două intersecții. În contextul unui MDE, intersecțiile reprezintă caracteristici ale terenului, precum vârfurile, iar muchiile dolii, precum văile (fig. 2.23). Deoarece valoarea în fiecare nod este cunoscută, iar distanța poate fi calculată, o ecuație liniară simplă poate fi utilizată pentru interpolarea unei valori în interiorul limitelor unui model.

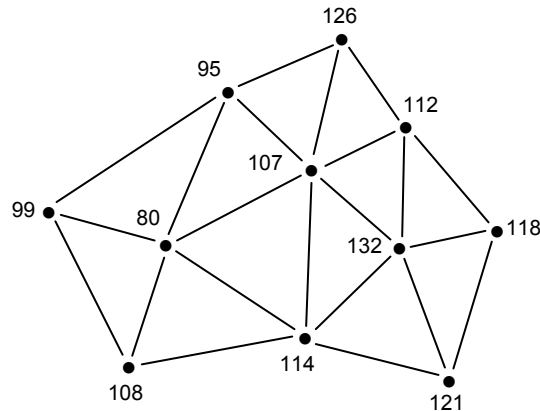


Figura 2.23 Model de triangulație neregulată (adaptare după Heywood, I.).

2.6.2.2 Construirea rețelei neregulate de triangulație. O rețea de triangulație este cu atât mai corectă cu cât triunghiurile ce o compun sunt mai puțin aplatizate.

- *Ordonarea distanțelor.* Se calculează diferențele de cotă între toate perechile de puncte și se sortează începând cu cele mai mici. Se conectează perechile cele mai apropiate. Se conectează în continuare perechi cu diferențe de cotă mai mari, cu condiția ca liniile rezultante să nu intersecteze liniile anterioare. Inconvenientul metodei este acela că deseori rezultă triunghiuri aplatizate.

- *Triunghiurile Delaunay.* Trei puncte formează colțurile unui triunghi Delaunay numai când cercul circumscris nu conține alte puncte. Singura problemă este aceea că nu pot fi formate triunghiuri mai mari, neputându-se astfel crea o rețea de triangulație ierarhică.

2.6.2.3 Stocarea rețelelor de triangulație. Acestea pot fi stocate fie triunghi cu triunghi ca serie de poligoane cu attribute asociate, fie ca o serie de puncte și vecinătățile lor. În primul caz, se atribuie un număr de referință pentru fiecare triunghi, împreună cu coordonatele (x , y , z) ale fiecărei intersecții. De asemenea, sunt reținute numerele de referință ale triunghiurilor adiacente. În al doilea caz, se atribuie un număr de identificare fiecărei intersecții, asociat cu coordonatele sale (x , y , z). Acestea sunt stocate împreună cu punctele (intersecțiile) vecine, parcurse în sens trigonometric sau orar.

Principalul avantaj al unui model bazat pe o rețea neregulată de triangulație este eficiența stocării, fiind necesar un număr minim de puncte pentru reproducerea suprafeței. În plus, fiind vorba de triunghiuri ale căror coordonate ale vârfurilor sunt cunoscute, calculele sunt foarte simple (pante, suprafețe etc.).

2.7 TENDINȚE DE DEZVOLTARE ÎN VIITOR

Posibilitățile de vizualizare a imaginilor, precum și modul de structurare a informației în calculator, au determinat dezvoltarea Sistemelor Informatice Geografice în două dimensiuni. Deși există deja aplicații GIS tridimensionale, acestea au fost construite numai pentru cazuri speciale. Evoluția rapidă a suportului hard va permite, fără îndoială, dezvoltarea în viitor a produselor soft comerciale, care vor cuprinde modelarea, structurarea datelor și construirea topologiei pentru modele în trei dimensiuni.

Un parametru important care lipsește din modelele spațiale este *timpul*. Valorile atributelor din baza de date și reprezentările grafice corespunzătoare reflectă starea entităților la un anumit moment (ca și în cazul unei fotografii). Mai mult decât atât, baza de date conține informații *achiziționate* la momente de timp diferite. Dincolo de necesitatea actualizării permanente a informației, timpul *real* necesar pentru construirea și utilizarea unui model impune unele restricții referitoare la:

- posibilitatea ca, pentru o anumită perioadă de timp, să poată coexista mai multe variante ale bazei de date, datorită accesului simultan al mai multor utilizatori (deoarece fiecare poate actualiza informația într-un alt domeniu);
- intervalul de timp pentru care baza de date poate fi considerată corectă (acesta depinde, în general, de timpul necesar procesului de obținere a datelor).

Aceste restricții se concretizează prin protocoale de acces la bazele de date, prin care se stabilește *cine* și *când* poate să facă actualizarea.

În ceea ce privește modelarea fenomenelor care evoluează în timp, structurile de date trebuie să fie suficient de flexibile pentru a ține seama de caracteristicile temporale ale entităților. Modelarea presupune selectarea acestor caracteristici, stabilirea frecvenței necesare pentru actualizarea informației și a momentului în care informația veche poate fi eliminată din baza de date.

BIBLIOGRAFIE

Bernhardsen T., *Geographic Information Systems*, VIAK IT and Norwegian Mapping Authority, 1992.

Coppin P.R., *Geographic Information Systems (I202)*, FLTBW – KU Leuven.

Heywood I., *Spatial Data Modelling*, Course Notes, 7th Edition, Manchester Metropolitan University, 1997.

3 SISTEME GEODEZICE DE REFERINȚĂ, SISTEME DE PROIECȚIE, GEOREFERENȚIERE

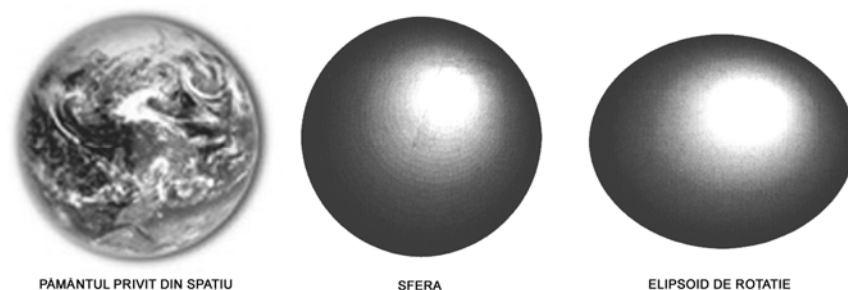
3.1 SISTEME GEODEZICE DE REFERINȚĂ

Sistemele geodezice de referință definesc forma și mărimea Pământului, originea și orientarea sistemului de coordonate utilizat în realizarea hărților. Ele sunt vitale pentru activitățile ce presupun folosirea datelor spațiale. Utilizate de către cartografie, topografie și astronomie, ele aparțin domeniului de studiu al geodeziei. Sistemele geodezice de referință furnizează suprafața de referință pe care se fundamentează întocmirea hărților și Sistemele Informatice Geografice. Denumirea acestora în limba engleză este *geodetic datums*, dar adesea este utilizat doar termenul *datums*. Dintre definiții o vom menționa pe cea dată de dicționarul GIS (ESRI 1996): “un datum este un set de parametri și puncte de control utilizat pentru a defini cu acuratețe forma tridimensională a Pământului (de exemplu ca un elipsoid)”.

3.1.1 GEOIDUL ȘI ELIPSOIZII DE REFERINȚĂ

Într-o primă aproximație, se consideră că forma Pământului este cea a unei sfere a cărei rază este de 6371 km (fig. 3.1). Uneori, această aproximație este adoptată pentru a ușura calculele matematice. Ea servește, de asemenea, la întocmirea unor hărți la scări mai mici de 1:5000000.

În realitate, Pământul este turtit la poli și bombat la Ecuator. Corpul geometric a cărui formă este cea mai apropiată de cea a Pământului este elipsoidul de rotație – obținut prin rotirea unei elipse meridiane în jurul axei mici.



PĂMÂNTUL PRIVIT DIN SPAȚIU

SFERA

ELIPSOID DE ROTĂȚIE

Figura 3.1 Aproximarea formei Pământului.

În consecință, semi-axa majoră va descrie raza ecuatorială, iar semi-axa minoră va reprezenta raza polară (fig. 3.2).

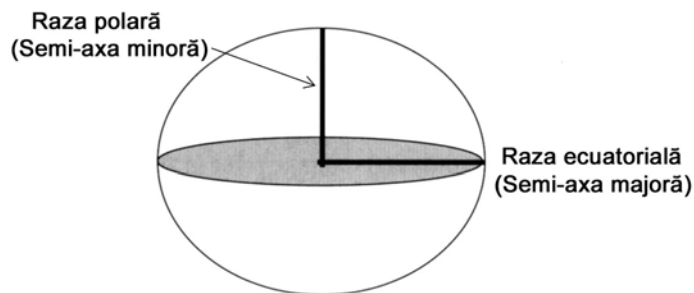


Figura 3.2 Elipsoidul de rotație.

Din cauza variației gravitaționale și a suprafeței neregulate, Pământul nu este un elipsoid perfect. Prin extinderea imaginată a suprafeței liniștite a oceanelor pe sub continente rezultă o suprafață numită *geoid*. Fiind o suprafață neregulată, echipotențială, peste tot normală la direcția gravitației, geoidul nu se poate exprima din punct de vedere geometric.

De aceea, în practica geodezică și în GIS se utilizează elipsoizii de rotație care aproximează foarte bine geoidul (fig. 3.3).

De-a lungul vremii, începând cu prima estimare a mărimei Pământului, realizată de Aristotel și în mod științific după 1700, au fost dezvoltate sute de elipsoizi de referință. Împreună cu sistemul de referință bazat pe aceștia este descrisă poziția geografică necesară în navigație, în ridicări topografice și la realizarea hărților. În tabelul 3.1 sunt prezentați o parte din elipsoizii cei mai frecvent utilizați și care sunt implementați în majoritatea pachetelor de programe GIS.

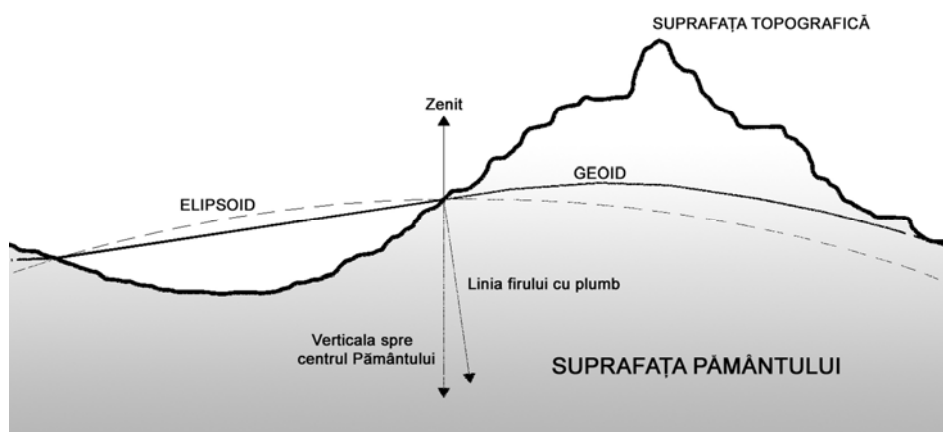


Figura 3.3 Comparație între configurația geoidului și cea a elipsoidului.

Așa după cum se poate observa din tabelul 3.1, valorile semiaxelor variază în limite destul de mici în raport cu dimensiunile Pământului.

Tabelul 3.1

Elipsoizi de referință

Denumirea	Anul	Semi-axa majoră	Semi-axa minoră	Utilizat în:
Airy	1830	6377563,396	6356256,91	Marea Britanie
Bessel	1841	6377397,155	6356078,96284	Europa Centrală, Chile, Indonezia
Clarke	1866	6378206,4	6356583,8	America de Nord, Filipine
Clarke	1880	6378249,145	6356514,86955	Franța, Majoritatea Africii
Everest	1830	6377276,3452	6356075,4133	India, Burma, Ceylon, Malezia (parțial)
Fischer	1960	6378166	6356784,28	
Fischer	1968	6378150	6356768,33	
GRS80	1980	6378137	6356752,31414	America de Nord
Hough	1956	6378270	6356794,343479	
International	1909	6378388	6356911,94613	
Krasovsky	1940	6378245	6356863,0188	Fosta URSS, România și alte țări Est Europene
America de Sud	1969	6378160	6356774,72	
WGS66		6378145	6356759,769356	
WGS72		6378135	6356750,519915	întreaga lume
WGS84	1984	6378137	6356752,31	întreaga lume

Sistemele geodezice de referință se clasifică în două categorii: sisteme locale și sisteme geocentrice.

- *Sistemele locale* aproximează foarte bine o anumită zonă a suprafeței terestre (fig. 3.4). Centrul elipsoidului nu coincide cu centrul de greutate al geoidului. Până de curând sistemele de informații spațiale ale multor țări se bazează pe sisteme locale.

- *Sistemul geocentric* aproximează mărimea și forma întregului Pământ. Centrul elipsoidului de referință coincide cu centrul de greutate al Pământului (fig. 3.5). El nu urmărește o aproximare pentru orice zonă particulară. Este utilizat în activități sau proiecte cu aplicații globale. Cele mai utilizate sunt WGS72 și WGS84. WGS 84 (**World Geodetic System of 1984**) este de altfel sistemul pe care se bazează măsurătorile GPS.

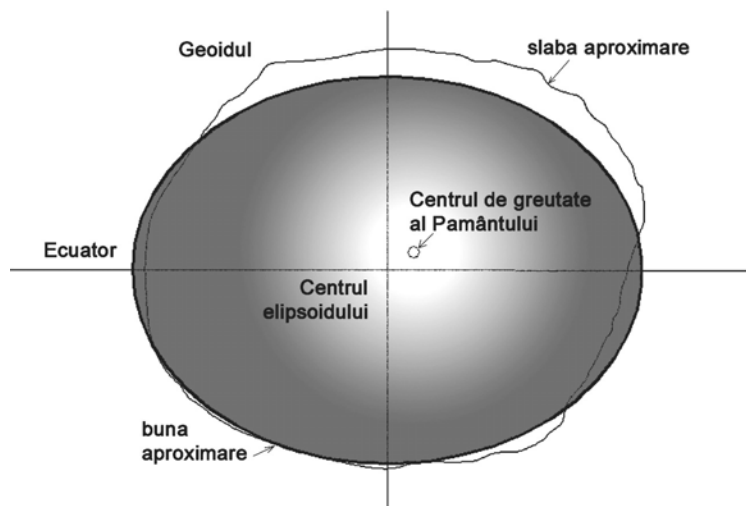


Figura 3.4 Sisteme de referință locale.

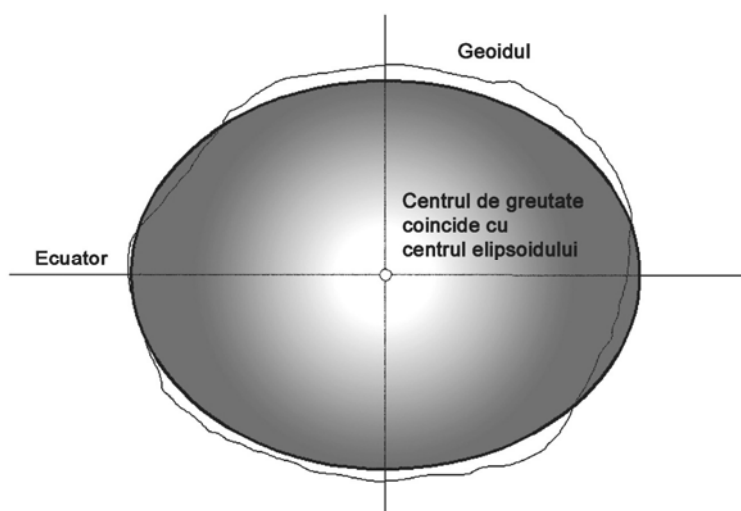


Figura 3.5 Sisteme de referință geocentrice.

Geoidul, numit și suprafață de nivel zero, se ia ca *suprafață de referință* pentru determinarea cotelor.

- *Cota altimetrică* a unui punct reprezintă distanța dintre acel punct și suprafața de referință. Cotele absolute se raportează la suprafața de nivel zero, iar cele relative se raportează la suprafețe de nivel locale.

- *Altitudinile* absolute ale punctelor de pe suprafața topografică a unei țări se raportează la un punct de sprijin sau de bază ce aparține geoidului, numit punct zero fundamental. El se alege în zona litorală deoarece aici suprafețele elipsoidului și geoidului se intersectează. Cu toate acestea există diferențieri între punctele fundamentale. De aici apar diferențele între hărți ale diferitelor regiuni. Există numeroase pachete de programe GIS ce permit racordarea hărților prin operații de aducere la același nivel de referință a acestora.

Tehnologia GIS folosește pentru planimetrie suprafața elipsoidului de referință, iar pentru altimetrie, ca și în cazul geodeziei și topografiei, utilizează punctul zero fundamental al geoidului.

3.1.2 SISTEME DE COORDONATE

Poziția unui punct din spațiu este definită în cadrul unui sistem de coordonate care poate fi: sistem de coordonate carteziane, sistem de coordonate polare, sistem de coordonate geografice și sistem de coordonate al unui anumit tip de proiecție.

- *Sistemul de coordonate geografice* ale unui punct definește latitudinea φ , longitudinea λ și altitudinea absolută a acelui punct față de nivelul zero absolut (fig. 3.6).

Softurile GIS sunt echipate cu algoritmi ce permit transformarea coordonatelor dintr-un sistem în altul. Această operație este necesară în cazul unor aplicații care utilizează hărți ce nu se corelează între ele, fiind editate în diverse perioade de timp.

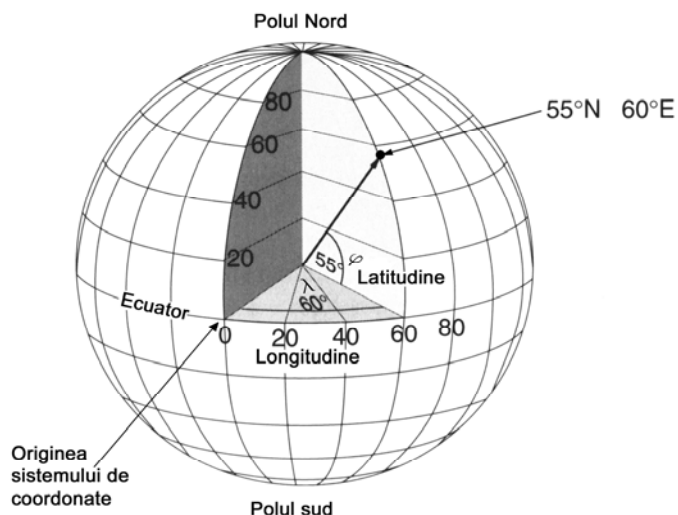


Figura 3.6 Definirea sistemului de coordonate geografice.

De asemenea, transformările de coordonate sunt necesare în cazul trecerii de la coordonatele geografice la cele carteziane atunci când urmărim detalierea conținutului hărții prin modificarea scării.

3.2 SISTEME DE PROIECȚIE

3.2.1 NOȚIUNI GENERALE

Reprezentarea suprafeței curbe a Pământului pe o suprafață plană este o problemă ce i-a preocupat pe oamenii de știință din cele mai vechi timpuri. De-a lungul secolelor au fost propuse numeroase sisteme de reprezentare în plan a suprafeței Pământului.

Prin *sistem de proiecție* sau *proiecție cartografică* se înțelege procedeul matematic cu ajutorul căruia este reprezentată suprafața curbă a Pământului pe o suprafață plană, numită hartă. În funcție de caracteristicile proiecției, rețeaua cartografică reprezentând proiecția meridianelor și paralelelor ia diferite forme.

Această transpunere a suprafeței curbe pe suprafața plană a hărții este destul de dificilă, datorită distorsiunilor inerente ce apar și care afectează forma elementelor reprezentate, distanțele și unghiurile dintre acestea. Diferitele proiecții produc diferite distorsiuni. O ilustrare sugestivă a modului în care sunt alterate proprietățile spațiale prin proiecție este dată de figura 3.7.

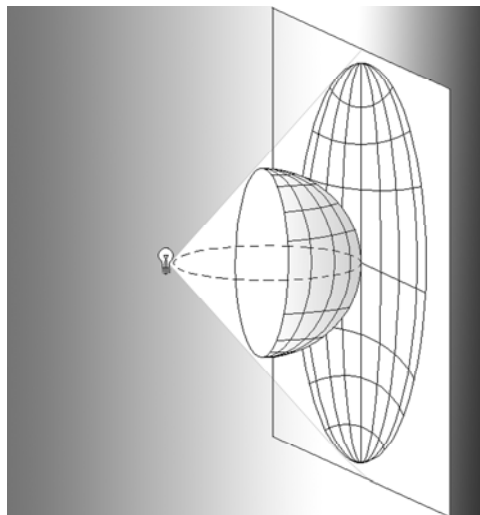


Figura 3.7 Proiecția rețelei geografice.

Elementele unui sistem de proiecție sunt:

- **planul de proiecție** - poate fi o suprafață plană sau o suprafață desfășurabilă (cilindrică sau conică), tangentă sau secantă la elipsoid;
- **punctul de vedere sau de perspectivă** - este punctul din care se consideră că pleacă razele proiectante;
- **punctul central al proiecției** - este punctul situat de obicei în centrul suprafeței de proiectat;
- **scara reprezentării** - indică raportul dintre elementele de pe elipsoid și cele de pe proiecție;
- **rețeaua geografică** - este formată din meridianele și paralelele considerate pe elipsoidul de referință;
- **rețeaua cartografică sau canevasul** - reprezintă rețeaua rezultată din proiecția în plan a rețelei geografice;
- **rețeaua kilometrică** - este un sistem de drepte echidistante (1 km), paralele la axele sistemului de coordonate rectangular, cu ajutorul cărora se pot stabili coordonatele X și Y ale unui punct de pe hartă.

3.2.1 TIPURI DE PROIECȚII

Clasificarea proiecțiilor se poate face în funcție de criterii precum: specificul deformațiilor produse, poziția planului de proiecție în raport cu elipsoidul de referință, suprafața geometrică cu ajutorul căreia se face trecerea în plan sau poziția punctului de perspectivă.

În funcție de specificul deformațiilor produse, proiecțiile se numesc:

- **proiecții conforme sau ortogonale** – sunt proiecțiile ce păstrează nedeformate unghiurile, elementele deformat fiind suprafețele și distanțele;
- **proiecții echivalente** – sunt cele care păstrează nedeformate suprafețele;
- **proiecțiile arbitrare** – sunt cele care nu păstrează nici unghiurile, nici distanțele; din această categorie fac parte proiecțiile echidistante care păstrează nedeformate distanțele pe anumite direcții.

În funcție de poziția punctului de vedere sau de perspectivă, proiecțiile pot fi:

- **proiecții gnomonice** - când punctul de vedere este amplasat în centrul Pământului;
- **proiecții stereografice** - când punctul de vedere este diametral opus punctului central al proiecției;
- **proiecții ortografice** - când punctul de vedere se află situat la infinit, liniile de proiecție fiind paralele între ele.

În funcție de suprafața geometrică cu ajutorul căreia se face trecerea în plan există:

- **Proiecții azimutale** – suprafața geometrică este un plan; de obicei, planul este tangent la elipsoid într-un punct, dar poate fi și secant (fig. 3.8). În funcție de poziția planului de proiecție față de elipsoid, proiecțiile azimutale pot fi polare, ecuatoriale sau oblice (fig. 3.9).
- **Proiecții cilindrice** – când suprafața desfășurabilă este un cilindru (fig. 3.10). Poziția planului de proiecție poate fi tangentă sau secantă, normală, transversală sau oblică (fig. 3.11). Mercator este una dintre proiecțiile cilindrice cele mai frecvente, ecuatorul fiind în mod obișnuit linia sa de tangență. În final prin desfășurare rezultă un canevas în care meridianele sunt egal distanțate, în timp ce distanța între paralele crește spre cei doi poli.

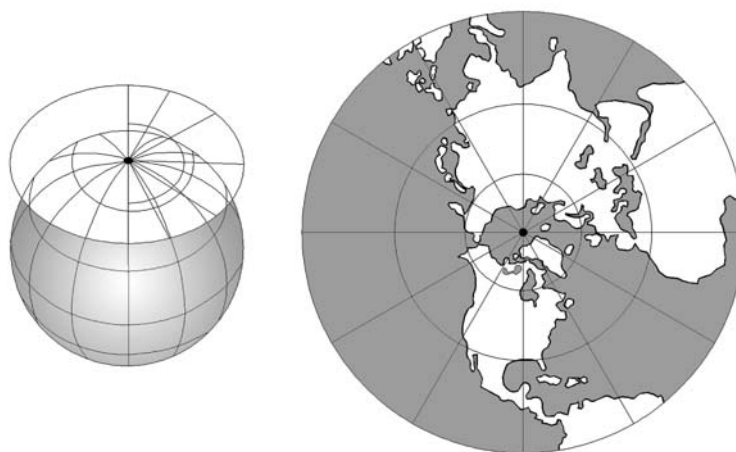


Figura 3.8 Principiul proiecției azimutale.

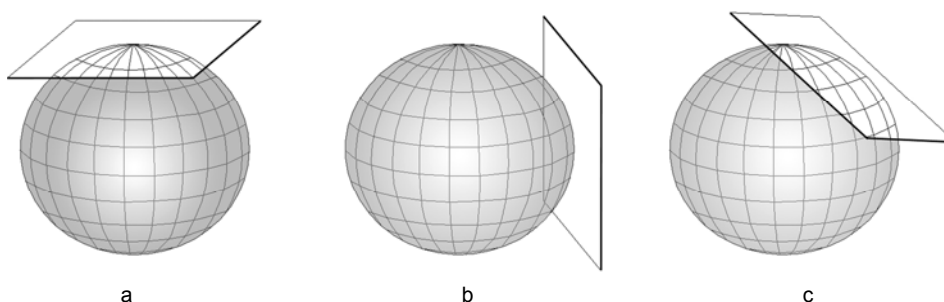


Figura 3.9 Diferite poziții ale planului de proiecție în cazul proiecției azimutale:
a - polară; b - ecuatorială; c - oblică.

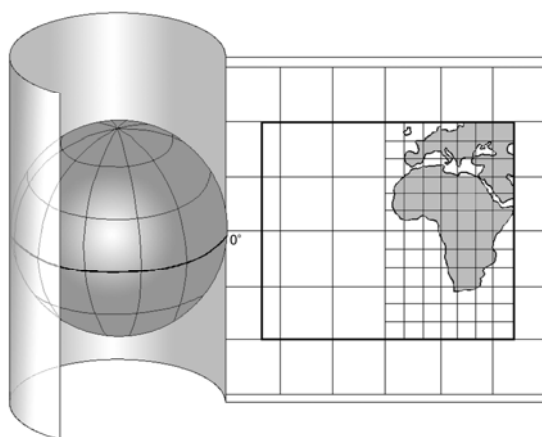


Figura 3.10 Principiul proiecției cilindrice.

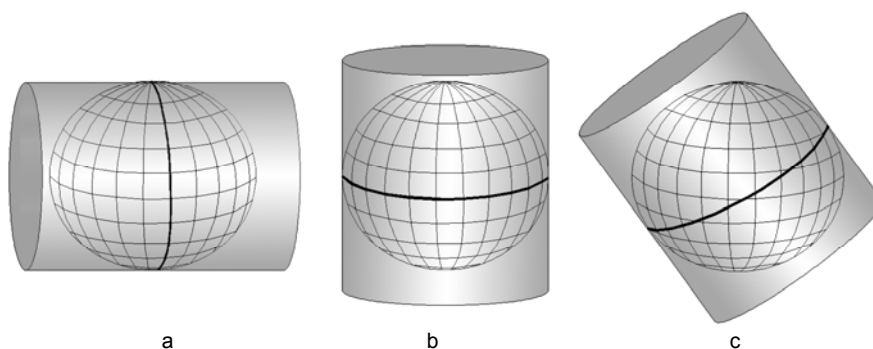


Figura 3.11 Diferite poziții ale planului de proiecție în cazul proiecției cilindrice:
a - transversală; b - normală; c - oblică.

Pentru proiecții cilindrice mult mai complexe, cilindrul este rotit astfel încât se schimbă linia de tangentă sau de intersecție. Proiecția Universal Transversal Mercator (UTM) utilizează meridianul zero ca linie de tangentă, păstrând nedeformate unghiurile (proiecție conformă). Mai este cunoscută și sub numele de proiecție conformă Gauss. În proiecțiile cilindrice, linia de tangentă sau liniile de intersecție nu sunt distorsionate.

- **Proiecțiile conice** utilizează o suprafață de proiecție desfășurabilă conică. În funcție de poziția planului de proiecție, ele pot fi tangente sau secante (fig. 3.12), polare, ecuatoriale și oblice. Canevasul va fi alcătuit din paralele reprezentate prin arce de cerc concentrice față de vârful conului și meridiane convergente în același vârf.

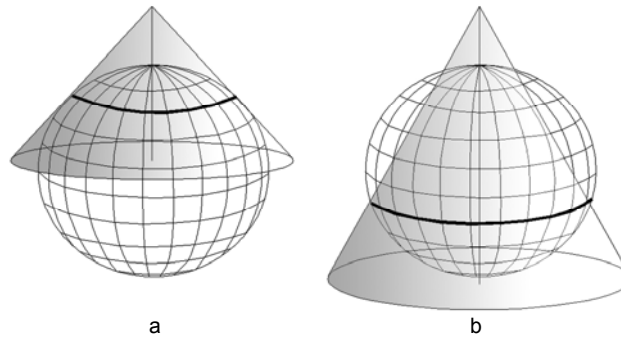


Figura 3.12 Diferite poziții ale planului de proiecție în cazul proiecției conice:
a - tangentă; b - secantă.

Un exemplu de proiecție conică este proiecția conică conformă Lambert (fig. 3.13), în care paralelele centrale sunt mai apropiate între ele decât cele de la margini, iar anumite forme geografice mici se mențin atât la scări mici, cât și la scări mari.

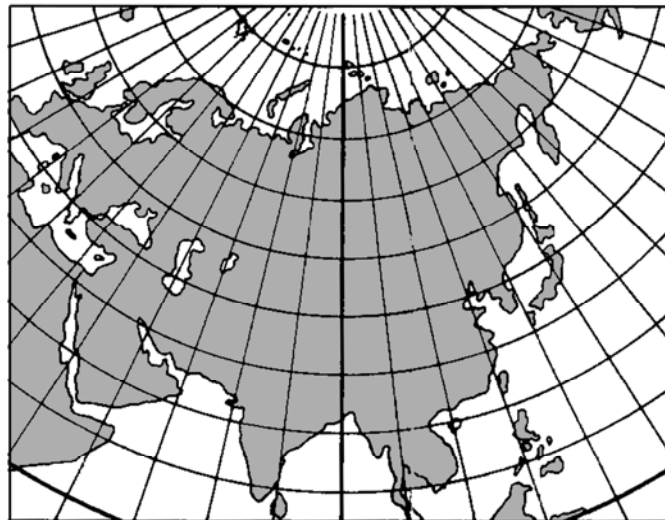


Figura 3.13 Proiecție conică conformă Lambert.

În cazul utilizării unei suprafețe de proiecție alcătuite din mai multe conuri tangente la paralele foarte apropiate proiecția se numește *policonică*.

În funcție de caracteristicile sale un sistem de proiecție poate fi potrivit pentru anumite aplicații GIS, dar nepotrivit pentru altele. Alegerea unui sistem de proiecție potrivit unei aplicații trebuie să țină cont de distanțe și de arii.

3.3 GEOREFERENȚIEREA

Înainte de a fi utilizate în cadrul unui GIS, datele spațiale disparate trebuie raportate la un sistem comun, în care să se stabilească cu exactitate pozițiile corespunzătoare din natură. Aceasta se realizează în cadrul unui proces numit georeferențiere, prin care se identifică elipsoizii și proiecțiile cartografice ce simulează spațiul real. Există numeroase sisteme de georeferențiere ce descriu în moduri și cu precizii diferite realitatea. Sistemele de georeferențiere ar putea fi împărțite în două mari categorii: *sisteme de georeferențiere continue* și *sisteme de georeferențiere discrete*.

- *Sistemele de georeferențiere continue* presupun măsurători continue ale poziției fenomenului. Multe fenomene sunt măsurate într-o bază continuă ce include hotare, poziția unui cămin de vizitare, detaliul unei clădiri și alte detalii ale unei hărți. Un astfel de sistem implică coordonate geografice, coordonate rectangulare corespunzătoare unui sistem de proiecție și coordonate geocentrice ce se bazează pe un sistem de coordonate rectangulare cu originea în centrul Pământului.

- În *sistemele de georeferențiere discrete*, poziția fenomenului este măsurată relativ la unități fixe și limitate ale suprafeței Pământului. Unitățile tipice de referință includ: adresa și codul străzii, codul poștal, unități statistice și zone administrative, rețele de triangulație. Precizia înregistrării este determinată de mărimea unității. Sistemele de referință discrete sunt ușor de utilizat și de aceea foarte convenabile în cazul în care nu se cere o acuratețe prea mare. Aceste sisteme se bazează adesea pe un indice de cod fără o utilitate imediată în reprezentarea pe hartă. Totuși, datele înregistrate pot fi legate de un sistem de coordonate rectangular prin transformări sau prin fixarea cartografică a unităților de referință într-un sistem rectangular de coordonate.

BIBLIOGRAFIE

Bernhardsen T., *Geographic Information Systems*, VIAK IT and Norwegian Mapping Authority, 1992.

Brett Bryan, *GIS III Lecture Notes*, <http://www.gisca.adelaide.edu.au/~bbryan/lectures>

Clarke, Keith C., *Getting started with geographic information systems*, Prentice-Hall, 1997.

Cornelius C., Heywood I., Jordan G., *GIS: An Overview- Course Notes*, Department of Environmental and Geographical Sciences, The Manchester Metropolitan University, 1994.

DeMers M. N., *Fundamentals of Geographic Information Systems*, John Wiley & Sons, Inc. 1997.

Haidu I., Haidu C., S.I.G. Analiză Spațială, Editura *H*G*A*, București, 1998.

- ***, ESRI, *Map Projections - Georeferencing spatial data*, 1994.
- ***, *Map History/History of Cartography Index*,
<http://ihr.sas.ac.uk/maps/mapsindex.html>
- ***, *Historic World Maps*, <http://geography.miningco.com/>
- ***, *The Geographer's Craft*,
<http://www.utexas.edu/depts/grg/gcraft/contents.html>
- ***, DLSR, <http://www.dlsr.com.au/home.htm>
- ***, Hammond, Inc., <http://192.41.39.25/hammond20.html>
- ***, GITA, <http://www.gita.org>
- ***, NCGIA Home Page, <http://ncgia.ucsb.edu/>
- ***, *Geography on the Web*,
http://terra.geo.orst.edu/.user/groups/home/geog_web.html
- ***, GISCA Courses,
<http://www.gisca.adelaide.edu.au/kea/gisrs/gisrsrc/courses.html>
- ***, *The GIS Glossary* ESRI Inc., 1996
- ***, U.S. Geological Survey -*Geographic Information Systems*
<http://www.usgs.gov/research/gis/titile.html>

4 DATELE - ELEMENTE ESENȚIALE ÎN ORICE GIS

În cadrul acestui capitol sunt prezentate succint noțiunile de bază referitoare la datele folosite într-un GIS. După asimilarea cunoștințelor prezentate în acest capitol studenții vor înțelege care este rolul datelor spațiale într-un GIS, care sunt etapele de definire a datelor necesare într-un proiect, ce este o metadată, care sunt etapele de achiziționare a datelor necesare și de verificare a calității datelor.

Datele sunt elementele folosite într-un Sistem Informatic pentru a modela sau reprezenta realitatea (URISA, 1993).

Cu scopul de a îmbunătăți accesul la informație prin intermediul clasificării, etichetării și/sau organizării individuale a activităților sau a datelor, sunt dezvoltate modele sau reprezentări ale mediului înconjurător. Astfel, pentru a pune în evidență entitățile relevante studiului și relațiile care există între ele, se utilizează diverse metode de prezentare a datelor pentru a transmite informația de tip spațial sau descriptiv.

4.1 CE SUNT DATELE

Datele referite geografic alimentează sistemul informatic în cazul unei aplicații. Dar ce este data? Care este diferența între date și informații? De ce se folosește denumirea de sistem informatic geografic și nu sisteme de procesare a datelor cu distribuție spațială? Care sunt componentele datei și câte tipuri de date există? Noțiunile prezentate în continuare vizează clarificarea acestor probleme.

4.1.1 CÂTEVA DEFINIȚII

- *Data* este „un semn, un șir de caractere, un număr depus pe un suport, în vederea regăsirii lui ulterioare” (Săvulescu, 1996) sau „o informație codificată și structurată pentru o procesare ulterioară, în general de către un sistem de calcul” (British Computer Society, 1989).

- *Informația* este „o dată care a primit semnificație” (Săvulescu, 1996) sau „o semnificație atribuită datei prin modul în care este interpretată” (British Computer Society, 1989).

- *Informația geografică* este „o dată care caracterizează o anumită poziție sau locație din spațiul terestru” (Săvulescu, 1996) sau „o dată care poate fi

corelată cu o anumită poziție de pe Pământ” (Departamentul de Mediu, 1987).

Aceste informații sunt prelucrate automat sau automatic (neologism provenit din cuvântul francez *automatique*) prin intermediul calculatorului. Etimologia cuvântului “informatic” poate fi demonstrată prin compunerea cuvintelor „informație” și „automatic”. Se poate concluziona că sistemul care prelucrează informații geografice cu ajutorul calculatorului se numește Sistem Informatic Geografic.

4.1.2 COMPONENTELE DATEI GEOGRAFICE

Datele geografice definesc o anumită entitate în spațiu, prin patru elemente caracteristice:

- poziție - exprimată de regulă prin coordonate spațiale sau adresă poștală;
- attribute - caracteristici ale entităților geografice (denumiri, altitudini, diametre, tipuri de soluri etc.);
- relații spațiale - poziția relativă față de alte entități, caracteristică importantă în analize care introduce noțiunea cunoscută în GIS sub numele de *topologie*;
- timp - momentul în care a fost culeasă data.

4.1.3 FUNCȚIONALITATEA DATELOR

Datele pot avea diverse roluri în cadrul sistemului:

- furnizează material pentru modelări și analize GIS,
- oferă cadrul geografic pentru baza de date,
- ajută în procesul de căutare și extragere a informațiilor,
- furnizează fundalul pentru prezentarea rezultatelor,

4.1.4 TIPURI DE DATE

Într-un GIS sunt prelucrate două tipuri de date: spațiale și descriptive. Datele spațiale cu care operează GIS-ul sunt punctul, linia și poligonul, cu ajutorul cărora se reprezintă orice entitate considerată relevantă studiului. În funcție de aplicație, prin compunerea acestor elemente, se pot crea elemente de tip nod, vertex, arc, rețea, suprafață sau arie (ca în fig. 4.1.). După cum s-a arătat în capitolul al doilea, aceste elemente pot fi create în format vector sau în format raster. Datele descriptive sau de tip atribut prezintă magnitudinea entităților sau fenomenelor studiate.

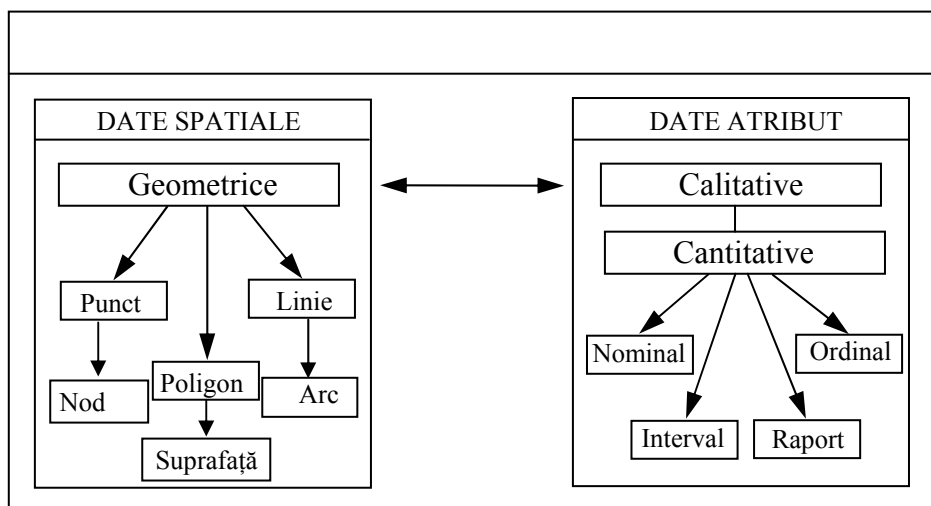


Figura 4.1 Tipuri de date.

Toate aceste date sunt stocate în memoria calculatorului, într-o serie de fișiere independente și conțin fie informații spațiale, fie de tip atribut (descriptive) despre obiectul studiului.

Avantajul oferit de GIS față sistemele de tip CAD (**C**omputer-**A**ided **D**esign) constă în „posibilitatea de a interconecta aceste tipuri de date și de a gestiona relațiile spațiale care există între entitățile considerate în studiu” (ESRI - **E**nvironmental **S**ystems **R**esearch **I**nstitute, 1990).

4.1.5 SELECȚIONAREA DATELOR NECESARE

Pentru reducerea costurilor, în achiziție există două tendințe contrare de definire a datelor: restrângerea datelor la strictul necesar sau utilizarea datelor pentru mai multe aplicații.

Datorită costului ridicat¹ de achiziționare și introducere (70-80% din valoarea întregii aplicații), decizia asupra identificării datelor necesare și modului lor de colectare este o problemă delicată (este necesar un compromis). Selecționarea datelor necesare se realizează în mai multe etape.

În figura 4.2. este prezentată schema acestui proces complex.

În funcție de rezultatul obținut și de condițiile practice se reia analiza până când sunt satisfăcute condițiile stabilite inițial, principalul aspect urmărit fiind obținerea unor date de calitate la un preț convenabil.

¹ În multe cazuri, costul datelor pentru un proiect depășește prețul componentelor hard și soft împreună!

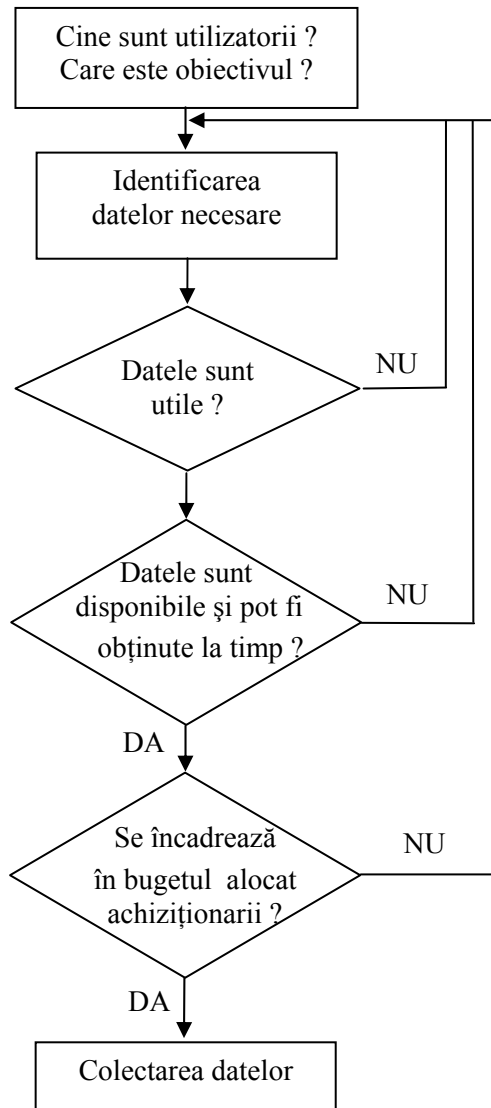


Figura 4.2 Etapele procesului de selecționare a datelor.

Calitatea datelor introduse în sistem afectează calitatea rezultatului final. Este de dorit utilizarea în sistem a unor date de calitate cât mai bună, dar nu trebuie pierdut din vedere că odată cu creșterea calității crește și costul datelor.

În figura 4.3 este prezentată relația dintre calitate și preț.

GIS-ul are semnificații diferite putând fi un instrument de lucru pentru rezolvarea unor probleme din domenii specifice sau un mijloc de cercetare.

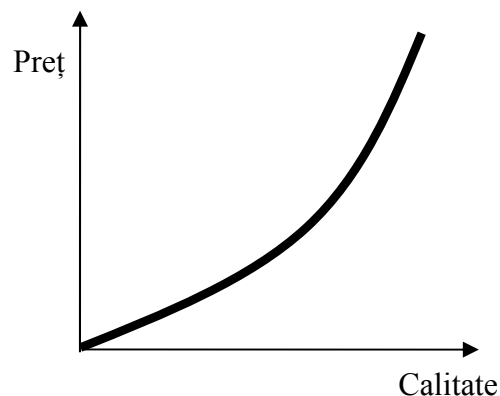


Figura 4.3 Relația dintre calitatea și prețul de achiziționare a datelor.

Aceste două puncte de vedere nu sunt în opoziție. Cercetarea și dezvoltarea aplicațiilor sunt tot atât de necesare pentru testarea sistemului ca și descoperirea de noi domenii de aplicabilitate.

Indiferent de scop, datele necesare unei analize GIS sunt deosebit de importante. Probleme esențiale ca timp, cost sau calitate trebuie tratate cu mare atenție având în vedere efortul consumat numai pentru achiziția și introducerea datelor.

4.2 SURSE DE DATE

Așa cum s-a arătat în figura 4.2, una din etapele premergătoare achiziției datelor este identificarea surselor de date. O abordare tradițională este verificarea *metadatelor*. Metadatele sunt „date despre conținut, calitate, condiții și alte caracteristici ale datelor” (FGDC ², 1994). Principiul de funcționare a metadatelor este căutarea secvențială. Există două soluții:

- sistem de codificare riguroasă legat la un dicționar de termeni;
- legarea bazei de date la un dicționar de sinonime.

Crearea și întreținerea unei metadate care să faciliteze un acces rapid, să ofere posibilități de căutare multicriterială și să răspundă necesităților tuturor posibilelor utilizatori, este foarte complexă. Rețeaua de calculatoare reprezintă una din posibilele soluții. Există o serie de avantaje asociate acestora: descentralizarea informației și accesul rapid. Soluția prezintă și o serie de dezavantaje precum: discrepanțe în definirea termenilor, diferențe în protocolul de căutare, formate de stocare diferite sau incompatibilități hardware și software.

² Federal Geographic Data Committee
<http://geology.usgs.gov/tools/metadata/standard/metadata.html>

Ideea de bază în proiectarea unei metadate este construirea unor sisteme care să permită introducerea sau extragerea datelor cu ușurință.

Principalele grupe de informații conținute într-o metadată sunt:

- informații despre deținătorii datelor (nume, adresă, specific);
- informații despre sursa de date (titlu și tip);
- descrierea fiecărui element din bazele de date ale deținătorilor (categorii și tipuri de date, calitatea datelor, gradul de completare, forma de stocare, scară și rezoluție de reprezentare, sisteme de proiecție, posibilități de transfer, nivel de actualizare, unitate de măsură etc.).

În ultimul timp s-au înregistrat progrese semnificative în utilizarea tehnicilor de tip WWW (World Wide Web) în dezvoltarea metadatelor, în câteva țări fiind promovată dezvoltarea metadatelor *on-line*³.

O altă abordare o constituie *infrastructurile naționale de date*. Acestea sunt mari depozite de date, care „includ materiale, tehnologii și personal, în vederea achiziționării, procesării, stocării și distribuției datelor spațiale” (Yunfeng, 1999).

Această metodă a fost adoptată în peste 20 de țări, fiind rezultatul creșterii exponențiale a utilizării GIS-ului, producției de date spațiale, cerințelor de utilizare în comun a datelor în cadrul unor proiecte internaționale și nu în ultimul rând, ca metodă de menținere sau inducere de competitivitate economică la nivel regional sau național.

După ce au fost localizate sursele potențiale, trebuie stabilit care sursă de date este mai potrivită pentru aplicație. Există mai multe surse de date care vor fi tratate în continuare. Vor fi prezentate: hărțile - colecție de date spațiale; datele obținute prin teledetecție; date din bazele de date deja existente și date din măsuratori, un loc aparte ocupându-l aici tehnica bazată pe GPS - Global Positioning Systems.

4.2.1 HARTA – PRINCIPALA SURSĂ DE DATE SPAȚIALE PENTRU GIS

Harta este un instrument de lucru tradițional pentru utilizatorii de date geografice, fiind până în prezent cea mai importantă și des utilizată sursă de date pentru GIS. În capitolul 2 au fost prezentate deja noțiunile introductive despre hărți. În continuare vor fi prezentate numai aspecte legate de avantajele și dezavantajele utilizării hărților în GIS.

Se pot enumera următoarele avantaje:

- sunt mai ușor de procurat;
- sunt disponibile la diferite scări;

³ Consultarea metadatei se poate face prin intermediul Internetului.

- există multe hărți tematice care prezintă diferite fenomene spațiale;
- oferă perspectivă istorică (evoluția în timp a unor fenomene spațiale);
- au standarde de reprezentare bine stabilite;
- datele sunt prezentate într-un sistem de referință geodezic.

Deși toate aceste caracteristici prezintă harta ca sursă ideală de date, există și dezavantaje care fac dificilă integrarea acestor date într-un GIS:

- au scări diferite (spațiale sau temporale) – scara influențează cantitatea și calitatea datelor introduse în GIS;
- sunt o reprezentare generalizată a realității - nu oferă o imagine exactă a lumii reale;
- sunt o reprezentare simplificată - prezintă doar o selecție de caracteristici într-un mod simbolic;
- conțin erori și distorsiuni introduse în procesul de cartografiere;
- au sisteme de proiecție sau sisteme de coordonate diferite:
 - Marea Britanie - proiecție Mercator și rețea națională de sprijin.
 - Franța - proiecție Lambert.
 - Irlanda - sistem de coordonate geografice (latitudine/longitudine).
 - Germania - sistem de coordonate Gauss-Kruger.
 - România - proiecție stereografică 1970, sistem de coordonate Gauss-Kruger.
- au conținut diferit și simboluri de reprezentare diferite (integrarea hărților din diferite zone implică deseori interpretări și interpolări considerabile);
- prezintă o uzură morală rapidă, procesul de cartografiere fiind costisitor și consumator de timp (harta în momentul editării trebuie deja reactualizată!);
- sunt asemănătoare unor documente - datele conținute în hărți trebuie capturate și transformate în formă digitală pentru a fi utilizate în GIS;
- sunt supuse restricțiilor legii dreptului de autor.

4.2.2 TELEDETECTIA

Teledeteția este știința și arta de obținere a informației despre un obiect, arie sau fenomen, prin analizarea datelor culese cu ajutorul unui instrument ce nu este în contact direct cu obiectul, aria sau fenomenul studiat (Lillesand, 1994).

Pentru a înțelege principiul de funcționare în teledeteție un bun exemplu îl constituie ochii. Prin intermediul lor sunt culese din mediul înconjurător informații despre obiecte care reflectă sau emit energie luminoasă. Sunt situații în care energia luminoasă este insuficient reflectată sau emisă pentru a percepe unele obiecte din mediul înconjurător. În aceste cazuri, nivelul radiației

electromagnetice nu poate fi perceput de ochiul uman sau, altfel spus, lungimea de undă corespunzătoare acestui nivel nu aparține spectrului vizibil ($0,4\ \mu\text{m}$, $0,75\ \mu\text{m}$).

În funcție de lungimea de undă cu care se propagă energia, se poate face o clasificare a radiațiilor electromagnetice. În figura 4.4 este prezentat spectrul electromagnetic.

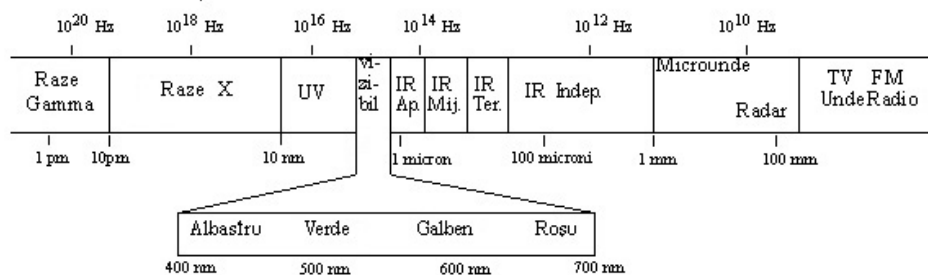


Figura 4.4 Spectrul electromagnetic în funcție de lungimea de undă.

Au fost create o serie de aparate ce permit înregistrarea nivelului energetic pentru diverse benzi spectrale. Din punct de vedere al datelor captate cu ajutorul acestor aparate, sursele se pot clasifica în două mari categorii: aerofotograme și date satelitare, prezentate în paragrafele următoare. În figura 4.5 sunt prezentate câteva modalități de capturare de imagini folosind metode specifice teledetecției.

Este important de precizat că tot în această categorie (teledetecție) se încadrează și alte metode care nu vor fi prezentate în paragrafele ce urmează. În această categorie intră culegerea datelor prin utilizarea sonar-ului (**s**ound **n**avigation and **r**anging), laser-ului (**l**ight **a**mplification by **s**timulated **e**mission of radiation) sau prin metode astronomice.

4.2.2.1 Aerofotograme. Aerofotogrammetria este cea mai veche și mai răspândită metodă utilizată în teledetecție. Cu ajutorul unui aparat de fotografiat special, montat la bordul avioanelor se realizează fotografiile aeriene (aerofotograme) ale zonelor de studiu, de la altitudini ce variază între 200 și 15000 metri. În funcție de aparatul utilizat, aerofotogramele pot fi furnizate în format mare ($23\text{ cm} / 23\text{ cm}$) sau mic ($35\text{ mm} / 35\text{ mm}$ sau $70\text{ mm} / 70\text{ mm}$). În figura 4.6 este prezentat modul de obținere a aerofotogramelor pentru o zonă de studiu. Este important de reținut că pentru a avea o ridicare de calitate a zonei respective, aerofotogramele trebuie să se suprapună în proporție de 60% longitudinal (pe direcția de zbor) și 20% transversal.

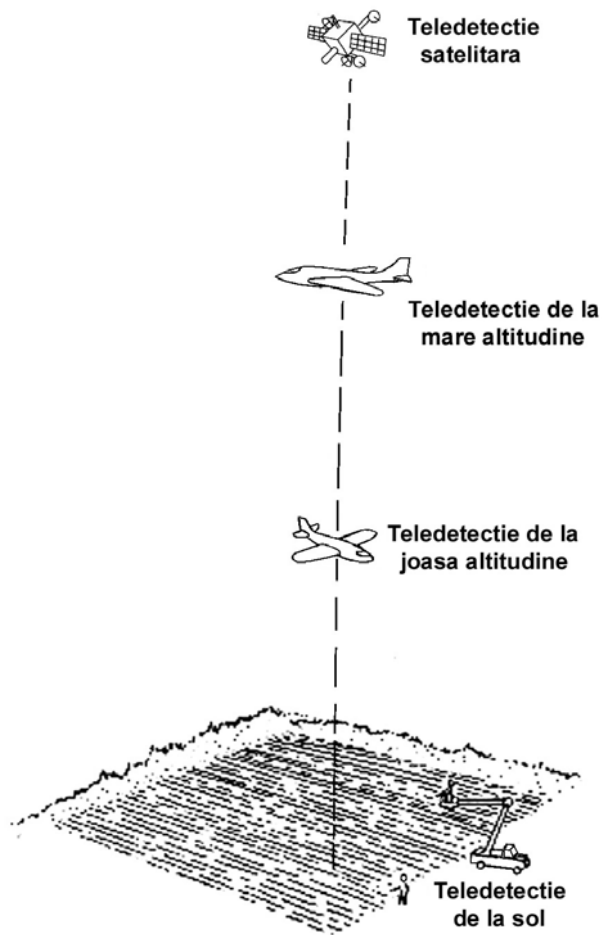


Figura 4.5 Tipuri de teledetectie (adaptat după Lillesand, 1994).

Caracteristicile aerofotogramelor sunt:

- lungimea de undă - spectrul vizibil și infraroșu;
- scara (rezoluția) 1:5000 -1:50 000;
- culoarea - alb/negru sau color;
- conțin distorsiuni și deplasări ce trebuie corectate.

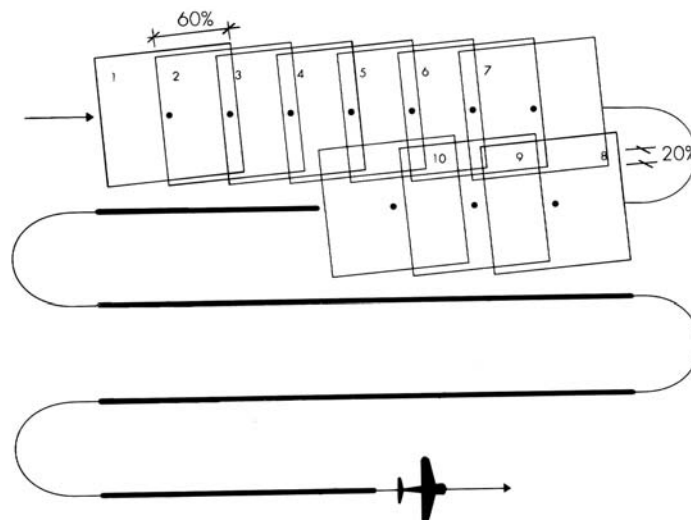


Figura 4.6 Obținerea aerofotogramelor (adaptat după Bernhardsen, 1992).

4.2.2.2 Date satelitare. În prezent, există câteva sisteme satelitare care colectează și distribuie date pentru diverși utilizatori. Datele culese direct în format digital în diferite benzi spectrale sunt trimise la sol la anumite intervale de timp. Datele nu reprezintă imagini, ci matrici care conțin valori ale nivelului radiațiilor electromagnetice măsurate prin scanare în zona de studiu. Fiecare valoare reprezintă răspunsul spectral sau semnătura electromagnetică a celulei din caroiajul în care a fost împărțită zona de studiu.

În funcție de acest răspuns, prin procesarea datelor se obțin ulterior imagini. În funcție de lungimea de undă prin care se propagă energia reflectată, fiecare element scanat are o „semnătură” proprie care permite înlocuirea valorilor din matricea inițială transmisă de satelit cu culori, astfel încât „imaginile satelitare” devin similare ca aspect aerofotogramelor. În figura 4.7 sunt prezentate trei „semnături” spectrale (sau răspunsuri spectrale).

Datorită structurii digitale raster, acest tip de date este preferat în proiectele de tip GIS.

Există două caracteristici care diferențiază acest tip de date:

- rezoluția spațială sau dimensiunea celei mai mici celule din zona scanată;
- rezoluția spectrală dată de numărul și lățimea benzilor spectrale detectate de sateliți.

LANDSAT și SPOT⁴ sunt unele dintre cele mai intens utilizate surse de date satelitare. În figura 4.8 sunt prezentați doi sateliți, unul din sistemul SPOT, iar celălalt din sistemul LANDSAT și câteva caracteristici ale acestora.

⁴ **Système Probatoire d’Observation de la Terre.**

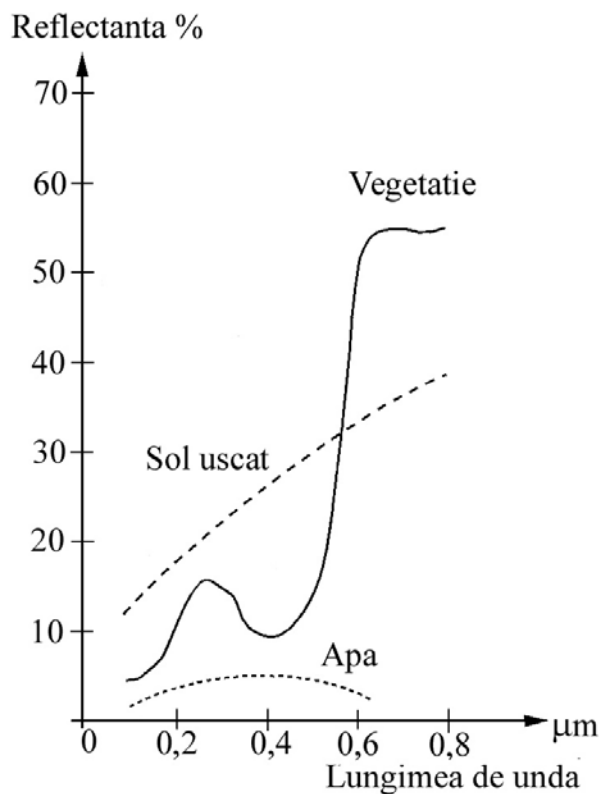


Figura 4.7 Reflectanța specifică: vegetație, sol uscat și apă
(adaptat după Bernhardsen, 1992).

- LANDSAT, sistem operat de compania EOSAT⁵ și-a echipat sateliții cu două scanere: MSS (Multi-Spectral Scanner) care operează în 4 benzi spectrale, 80 m rezoluție spațială și TM (Thematic Mapper), ce poate culege date pe 7 benzi spectrale cu o rezoluție spațială de 30 metri. EOSAT procesează aceste date realizând imagini fals color și alb negru, pe care le comercializează.

- SPOT, sistem lansat și utilizat de Centrul Național de Studii Spațiale, Agenția Spațială din Franța, colectează datele prin doi senzori de tip HRV (High Resolution Visible) care operează în 3 benzi spectrale cu o rezoluție spațială de 20 m pentru imagini fals color și 10 m pentru imagini alb/negru.

⁵ Earth Observation Satellite Company.

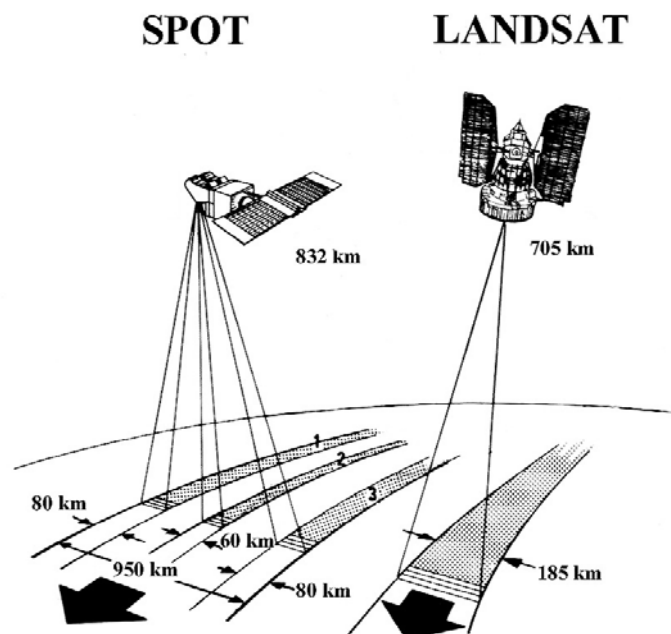


Figura 4.8 Obținerea datelor satelitare
(adaptat după Bernhardsen, 1992).

În afara sistemelor descrise mai sus mai există și alte sisteme satelitare, cum ar fi: Resurs-R din Rusia, IRS din India, RADARSAT din Canada, ADEOS colaborare americano-niponă, NOAA sistem internațional utilizat în meteorologie și altele.

Procesarea imaginilor se face în mai multe etape:

- rectificare și corectare (eliminarea efectelor de curbura a Pământului, interferențe radiometrice, influențe atmosferice);
- procesare propriu-zisă (mărirea contrastului, filtrarea imaginii);
- clasificarea imaginii, supervizată (set predeterminat de categorii obținute din analiza lungimilor de undă selectate pentru construirea suprafețelor) sau nesupervizată (gruparea automată a claselor de acoperire cu valori digitale similare).

Avantajele și dezavantajele utilizării datelor satelitare sunt enumerate mai jos:

- conțin un volum mare de date;
- sursă importantă pentru multe aplicații GIS;
- monitorizare ușoară a modificărilor;
- perspectivă istorică (comparare în timp);

- costul este încă destul de ridicat.

4.2.3 BAZE DE DATE SPAȚIALE EXISTENTE

O importantă sursă de date o reprezintă bazele de date spațiale deja existente. Problematika bazelor de date va fi prezentată în detaliu în capitolul 5. Este de subliniat că este mai ieftin ca datele să fie cumpărate decât introduse în sistem de către cel ce dezvoltă aplicația. Problemele care apar aici sunt legate de transferul datelor și de format.

4.2.4 DATE DIN MĂSURĂTORI

În cazul în care nu există date pentru o anumită zonă se realizează măsurători. În funcție de scopul aplicației, timpul avut la dispoziție, buget, etc., se apelează la o firmă specializată. Se poate opta pentru măsurători topografice de la sol sau prin GPS.

4.2.4.1 Măsurători topografice convenționale. Pentru suprafețe mici o altă sursă de date spațiale o reprezintă măsurătorile și releveele topografice. Acestea se realizează cu scopul de a calcula coordonatele relative ale punctelor necesare pentru proiectarea grafică a obiectelor și entităților geografice (Haidu și Haidu, 1998).

În măsurătorile topografice se pleacă de la unghiuri și distanțe cunoscute pentru a determina poziția altor puncte. Reperele geodezice cunoscute fac parte dintr-o rețea numită rețea de triangulație (astronomo-geodezică de ordinul I în România).

De obicei, aceste măsurători se realizează în coordonate polare care apoi prin intermediul unor formule trigonometrice sunt transformate în coordonate plane.

Sistemele moderne bazate pe instrumente optico-electronice (sisteme laser pentru măsurarea distanțelor) permit introducerea unor date cu o acuratețe de ± 1 cm. *Stațiile totale* permit achiziționarea, stocarea și procesarea măsurătorilor realizate pe teren furnizând date de intrare sigure pentru GIS.

Utilizarea acestei surse de date aduce o serie de avantaje majore printre care:

- acuratețe mare în determinarea pozițiilor unor entități de dimensiuni mici⁶;
- existența rețelei de triangulație permite determinarea poziției entității în sisteme de coordonate autohtone.

Există și o serie de dezavantaje cum sunt: timpul relativ mare de achiziție a

⁶ Scara recomandată este de 1:500.

datelor, dependența de condițiile meteo și scara relativ mare la care se realizează determinările.

4.2.4.2 GPS. GPS este o constelație de 24 de sateliți lansați de Departamentul Apărării Statelor Unite (21 operaționali și 3 de rezervă), cu ajutorul cărora se determină poziția unei entități pe suprafața Pământului (McDonnell & Kemp, 1995).

Metoda se bazează pe măsurarea distanțelor dintre sateliți și receptor, ce se calculează automat pe baza vitezei de deplasare a semnalelor emise de sateliți și a timpului înregistrat de receptorul GPS.

Folosind un receptor GPS este posibilă determinarea cu acuratețe a poziției entității la sol sau aproape de sol (până la 100 m), fără a fi nevoie de reperele geodezice tradiționale.

Metoda presupune o dotare corespunzătoare, care diferă de la caz la caz în funcție de marja de eroare admisă. Pentru o determinare în timp real, sistemul TRIMBLE este compus din stație fixă și rover⁷, fiecare dotate cu antenă GPS, antenă și modem radio, un receptor GPS și un colector de date (fig. 4.9).

În același timp trebuie ca în momentul determinării să existe în zona respectivă cel puțin cinci⁸ sateliți. În aceste condiții, determinarea poziției se realizează cu o precizie de ± 1 cm (în plan orizontal) și ± 2 cm (în plan vertical).

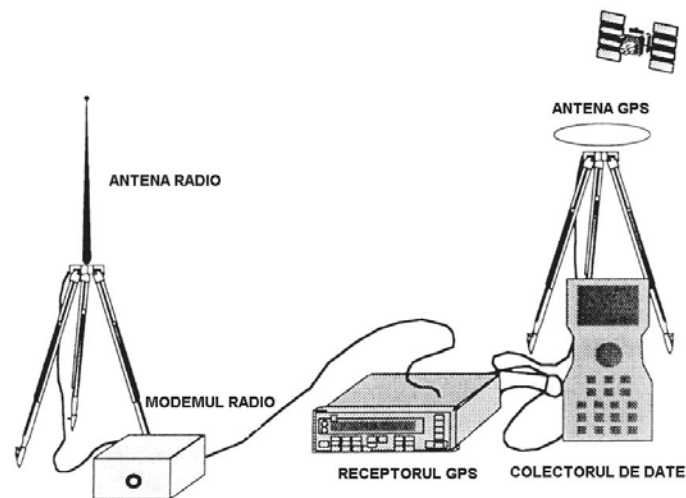


Figura 4.9 Aparate utilizate în determinarea poziției, folosind tehnici GPS.

⁷ Sistem mobil.

⁸ De regulă, sunt suficienți patru.

De regulă, poziția entităților este stabilită în coordonate polare⁹, folosind elipsoidul **World Geodetic System - WGS 84**.

Avantajele oferite de această metodă sunt: timpul scurt de determinare a poziției entităților, acuratețea ridicată (asigurată de utilizarea unor sisteme competitive) și formatul digital al datelor de intrare pentru GIS. Dezavantajele rezidă în prețul ridicat de achiziționare a echipamentelor și uneori în dificultatea de a integra în sistemele de referință proprii, datele furnizate în sistemul de referință WGS 84¹⁰.

4.3 COLECTAREA ȘI INTEGRAREA DATELOR ÎN SISTEM

GIS-ul permite integrarea datelor în sistem, operație extrem de dificil de realizat prin alte metode. Prin această operație se urmărește combinarea datelor diverse pentru obținerea prin analize succesive a unor informații noi.

Există două etape importante în cadrul acestui proces: etapele de colectare și de integrare a datelor.

4.3.1 COLECTAREA DATELOR

Datele din diferite surse trebuie colectate și transformate în format digital. Seturi diferite de date spațiale au deseori o structură diversă (scară, proiecție, unități de măsură), deci trebuie efectuate conversii pentru a asigura consistența bazei de date. Colectarea datelor se poate realiza în patru moduri: codificare manuală, digitizare, scanare și transfer electronic de date.

4.3.1.1 Codificare manuală. Codificarea manuală se folosește atât pentru introducerea datelor spațiale cât și pentru introducerea datelor de tip atribut. Este o metodă simplă și nu necesită instrumente de lucru scumpe. Există și sisteme de verificare a datelor introduse în unele programe de calcul tabelar (ex: Excel) sau programe de baze de date (ex: Acces). Folosind un procesor de text (ex: Word) există posibilitatea de a verifica greșelile folosind funcția spelling. În momentul în care volumul datelor este mare, metoda necesită un timp îndelungat de lucru.

4.3.1.2 Digitizare. Digitizarea reprezintă cel mai uzual proces de transformare a datelor din format analog în format digital. Această operație se realizează cu ajutorul unei tablete digitizoare, conectată la un calculator. Sistemul necesită și un soft de digitizare compatibil cu tableta digitizoare.

⁹ Poziția se poate stabili și în sistem de coordonate rectangulare, ECEF.

¹⁰ Dezavantaj pentru țările care nu s-au integrat în sistemul de referință WGS 84.

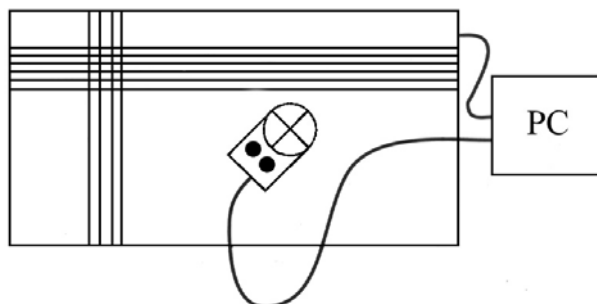


Figura 4.10 Tabletă digitizoare.

Tableta digitizoare (fig. 4.10) se compune dintr-o planșetă dreptunghiulară cu o suprafață netedă având dimensiuni standard ¹¹, în interiorul căreia există o rețea densă de conductori electrici foarte subțiri. Această rețea, alimentată cu electricitate, generează un câmp electromagnetic. În afara acestei plăci, digitizorul este dotat cu un cursor care prevăzută cu 4 sau 16 butoane și cu o mică lupă în care există două fire reticulare poziționate perpendicular. În momentul digitizării, harta în format analog (hârtie, carton, material plastic etc.) se fixează pe tabletă, iar cu ajutorul cursorului se poziționează intersecția firelor reticulare pe elementul de pe hartă vizat pentru digitizare. Fără a schimba poziția cursorului, se folosește unul dintre butoane, transmițând un semnal tabletei care înregistrează poziția punctului respectiv. Datorită câmpului electromagnetic existent, acestui punct i se asociază automat o poziție într-un sistem de coordonate carteziane, poziție ce este transmisă calculatorului prin softul de digitizare utilizat. Astfel punctul apare pe monitorul calculatorului ce deservește digitizorul. În acest mod se crează un element de tip vector – punctul. În mod similar se procedează pentru a obține linii sau poligoane.

Cantitatea și calitatea informațiilor obținute prin digitizare depinde de următorii factori:

- performanțele echipamentului (hardware și software),
- calitatea sursei de date,
- factorul uman, în speță operatorul.

Digitizarea este un proces complex care se realizează în mai multe faze prezentate în continuare:

a) **Colectarea și selectarea** documentelor sursă, unde vor fi urmărite următoarele aspecte:

- calitatea digitizării depinde de calitatea documentului sursă;
- trebuie evitate distorsiunile și lipsurile de reprezentare a datelor;

¹¹ A3, A2, A1 sau A0 .

- trebuie asigurată potrivirea exactă a marginilor foilor de hartă.

b) **Descrierea documentului** este utilă pentru identificarea datelor din surse diferite, pentru actualizarea datelor și facilitează transferul de date între diferite aplicații. Elemente de descriere sunt titlul și seria hărții, numărul foi de hartă, numele editorului, data compilării și publicării, zona acoperită, scara, sistemul de proiecție (originea, pătratele standard, meridianul central).

c) **Selectarea datelor** introduce o serie de probleme cum ar fi:

- hărțile conțin o multitudine de elemente, dar nu toate sunt necesare;
- trebuie definite exact elementele care trebuie digitizate și regulile de clasificare.

d) **Pregătirea documentului** cuprinde:

- indicarea elementelor necesare și adăugarea informațiilor auxiliare care trebuie înregistrate;
- definirea straturilor de suprapunere;
- identificarea punctelor de control;
- definirea ariei de digitizat.

e) **Digitizarea propriu-zisă** constă în două operații principale: urmărirea elementelor hărții pe tableta digitizoare și codificarea informațiilor descriptive asociate elementelor.

4.3.1.3 Scanarea. Principiul de funcționare al scannerului constă în înregistrarea intensității de reflexie a unui fascicol luminos, care baleiază imaginea linie cu linie. Rezultă un fișier care reprezintă imaginea scanată. Acesta este compus din celule de formă rectangulară dispuse pe linii și coloane. Formatul se numește raster. Densitatea rețelei exprimă rezoluția de scanare. Softul atașat scannerului și performanțele hardware ale acestuia permit alegerea rezoluției dorite. Rezoluția reprezintă numărul de puncte pe unitatea de lungime. Cu cât numărul de puncte (dots) este mai mare pe unitatea de lungime (inch), cu atât rezoluția este mai fină.

Scanarea este totodată și o etapă intermediară în digitizarea pe monitorul calculatorului (sau *on screen*). Numită și vectorizare această metodă se deosebește de digitizarea pe planșetă prin înlocuirea digitizorului cu un program care permite realizarea elementelor vector cu ajutorul mouse-ului pe harta scanată afișată de monitorul calculatorului. Această metodă prezintă avantajul oferit de funcția *zoom*, care permite mărirea de câte ori este nevoie a unor elemente greu de distins direct pe harta în format analog. De asemenea, au fost perfecționate programe cu ajutorul cărora vectorizarea se poate realiza semi-automat¹².

¹² Metodă prezentă în sub-subcapitolul 4.4.3.

Această metodă poate genera erori considerabile, de aceea nu sunt folosite scanere obișnuite ci scanere cartografice. Acestea introduc erori foarte mici, dar sunt foarte scumpe.

4.3.1.4 Transferul electronic de date. Față de limitele codificării manuale a datelor sau costul echipamentelor de scanare și digitizare, colectarea datelor prin transfer electronic de date este o metodă fezabilă și atractivă.

Este o soluție bună și datorită faptului că există deja multe baze de date în instituții guvernamentale sau în domeniul comercial care folosesc ca sursă de date imagini satelitare care sunt furnizate în majoritate în format digital. Totuși acest proces nu se desfășoară fără probleme. Transferul implică un furnizor (emițător sursa), un receptor și un mediu corespunzător de transfer. Mediul de transfer a evoluat de la benzi magnetice la CD-uri sau rețele de telecomunicații.

Deși îmbunătățirile aduse tehnologiei au redus posibilitatea apariției unor eșecuri în procesul de transfer, apar în continuare probleme datorită coruperii datelor prin deteriorarea suportului lor sau datorită incompatibilității care există între hardware, software și sistemul de codificare (formatul de transfer).

Cauzele de incompatibilitate dintre acestea pot fi datorate diferențelor ce apar între:

- caracteristicile dispozitivelor de citire/scriere la nivel fizic de stocare;
- sistemele de operare sau SGBD-uri;
- sisteme de caractere diferite (binar, ASCII etc.);
- sisteme de codificare diferite (RLE, codificare în bloc sau în lanț etc.);
- structura fișierelor diferită;
- modele de date spațiale diferite (raster sau vector);
- sisteme de referință geografică diferite (coduri poștale, coordonate rectangulare sau geografice);
- scară, rezoluție spațială, nivel de generalizare a datelor diferite;
- definiții, clasificări și valori măsurate pentru entitățile geografice diferite.

Soluția acestor probleme este crearea unor sisteme de interfață care să permită conversia datelor necesare din sistem sursă într-un format acceptat de către GIS.

Acesta este un concept viabil pentru multe aplicații de tip GIS, dar implică anumite dezavantaje: consum mare de timp, amplificarea considerabilă a eforturilor diferiților utilizatori prin reproducerea unor interfețe între sisteme care deja au fost dezvoltate de către alți utilizatori; în același timp, pentru fiecare sistem este necesar un program de conversie.

Avantajul soluției este că răspunde cerințelor în totalitate, se reduc pierderile de date, iar efortul pentru dezvoltarea programelor de transfer se amortizează repede.

Există situații care impun ca un GIS să conțină funcții de tip import-export.

Unde transferul direct nu este posibil, acest proces se realizează prin intermediul unui al treilea sistem cu care cele două sisteme sunt compatibile. Există deci necesitatea unui anumit grad de standardizare; acolo unde este posibil, aceste formate standard se bazează pe un format de transfer frecvent utilizat (ex: DXF).

Totuși, pentru a nu limita posibilitatea de a lucra cu diferite sisteme și totodată pentru a reduce problemele de transfer de date există necesitatea de standarde la nivel național și internațional¹³ (ex: Marea Britanie – National Transfer Format; Europa – European Transfer Format; USA – National Committee for Digital Cartographic Data Standards).

4.3.2 INTEGRAREA DATELOR

În etapa de integrare datele primare obținute în etapa anterioară de colectare vor fi supuse unor tehnici specifice GIS în vederea utilizării lor în sistem. Există mai multe stagii dintre care amintim aici: corectare și editare, potrivirea marginilor (în cazul în care digitizarea s-a realizat pe mai multe foi de hartă), schimbarea proiecției, generalizarea, înregistrarea și conversia raster-vector. În această etapă nu este necesar ca datele să suporte toate aceste transformări.

4.3.2.1 Corectare și editare. Corectarea și editarea datelor sunt etape importante pentru evitarea erorilor. Rareori datele obținute sunt perfecte pentru GIS. Ele conțin erori de diferite tipuri.

GIS-ul furnizează metode de identificare și corectare a erorilor prin care se poate îmbunătăți calitatea datelor. Aceste operații trebuie efectuate imediat după culegerea datelor, dar este necesar un control continuu al calității datelor în toate etapele dezvoltării unei aplicații.

- *Datele atribut* pot fi afectate de erori provenite din datele inițiale, erori de codificare sau erori induse de procesul de transfer
- *Datele spațiale*, fie că sunt de tip vector sau raster, devin vulnerabile la erori în anumite situații.
 - În cazul datelor spațiale de tip vector erorile sunt greu de identificat și corectat. Erorile pot proveni din datele inițiale sau pot apărea în timpul procesului de achiziție.

Erori curente:

- lipsa / duplicarea unor elemente;
- lipsa / duplicarea unor etichete;
- etichete amplasate greșit;
- elemente localizate greșit;

¹³ Această problemă va fi prezentată și în secțiunea 4.5.1.

- efecte de digitizare (pseudonoduri, linii false);
- fenomenul de zgomot.

Pentru a preveni sau corecta erorile există câteva soluții, dintre care:

- reprezentarea setului de date inițial și suprapunerea cu documentul sursă, corecții manuale (redigitizare, ștergere, rectificare) sau automate (stabilire de toleranțe), filtrare;
 - reconstruirea topologiei.
- În cazul datelor spațiale de tip raster posibilele surse de erori sunt fenomenul de zgomot, utilizarea unor date inițiale de calitate îndoielnică sau îngroșarea liniilor.

Ca soluții se recomandă:

- filtrarea;
- identificarea tuturor pixelilor de o mărime definită și reclasificarea automată a valorilor;
- subțierea liniilor.

4.3.2.2 Generalizarea. Generalizarea este procesul prin care prezența unor fenomene sau evenimente dintr-un spațiu de referință este esențial redusă și/sau modificată din punct de vedere al mărimii, formei sau numărului de apariții.

Se impune folosirea acestui procedeu în următoarele situații:

- pentru conversia datelor obținute la o scară mai detaliată decât cea a bazei geografice de referință;
- pentru integrarea seturilor de date în cazul suprapunerii și analizei;
- permite o vedere de ansamblu a zonei studiate;
- permite descoperirea paternurilor care sunt evidente doar la o scară de cartografiere mai mică;
- reduce gradul de variație locală și micșorează numărul erorilor.

În figura 4.11 este prezentat un exemplu de generalizare pentru un bazin hidrografic. Au fost considerate trei scări diferite pentru reprezentarea bazinului. Prin aplicarea generalizării apar o serie de modificări specifice trecerii de la o scară de reprezentare la alta. În cadrul bazinului se observă reducerea numărului de afluenți pentru o scară mai mică și mici modificări ale traseului în plan al cursului de apă considerat.

Pentru a aplica generalizarea sunt folosite următoarele proceduri:

- eliminarea fenomenelor nedorite pentru analiză din setul de date;
- eliminarea excesului de coordonate obținute prin digitizare;
- agregarea datelor în unități spațiale mai mari;
- reclasificarea datelor în clase mai generale.

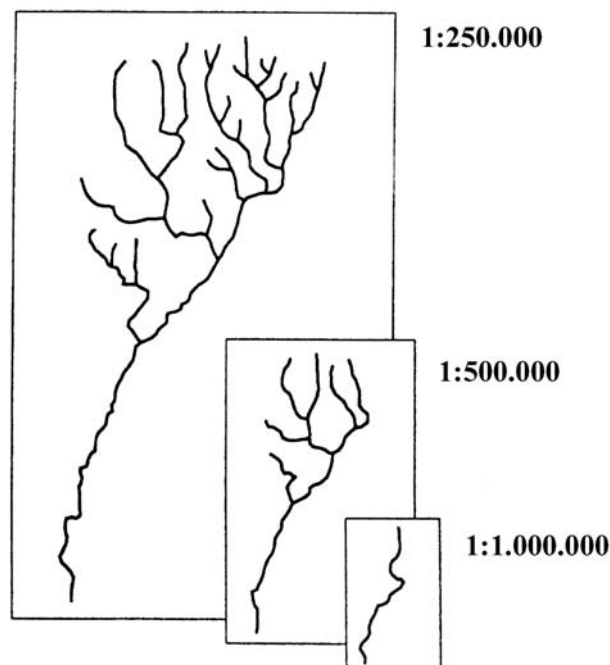


Figura 4.11 Generalizare (adaptat după Trodd, 1998).

Toate aceste proceduri necesită o analiză atentă în funcție de datele și rezultatele dorite.

GIS-ul este mai puțin restrictiv, dar după generalizare rămân totuși unele discrepante: sunt situații în care apar nepotriviri ale marginilor, dispar unele entități, uneori apar dificultăți în procesul de căutare.

Astfel, schimbarea gradului de detaliere poate genera următoarele dezavantaje:

- reducerea numărului de elemente incluse în setul de date;
- simplificarea și abstractizarea simbolurilor;
- relocalizarea unor elemente pentru evitarea suprapunerilor;
- modificarea formei elementelor.

Modalitățile de rezolvare a acestor probleme sunt: editarea manuală, aglomerarea de noduri, reconstruirea topologiei și utilizarea „foii elastice”.

4.3.2.3 Conversia raster-vector. După cum s-a aratat în paragrafele anterioare, un mare volum de date se găsește în format raster (ex: date satelitare), iar scanarea reprezintă o tehnică des folosită de producere a datelor în format raster. În cazul în care sistemul de bază este orientat format vector, datele în format raster vor fi transformate folosind conversia raster-vector. Există și

posibilitatea conversiei vector-raster dacă sistemul folosește cu precădere date în format raster. Formatul datei de lucru este cel preferat de sistem.

4.4 SURSE DE EROARE

Este un deziderat atât pentru beneficiarii, cât și pentru proiectanții unui produs final de tip GIS, ca acesta să corespundă din punct de vedere calitativ. În GIS calitatea reprezintă măsura în care produsul respectă cerințele stabilite de beneficiar. Într-o primă fază, beneficiarul dorește ca acuratețea rezultatului final să fie foarte ridicată. Cum aceasta depinde de acuratețea sursei, de cele mai multe ori apare o limită impusă fie de tehnologia furnizorului de date, fie de costul unui set de date disponibil la un preț mai ridicat, determinat de o tehnologie superioară de preluare a datelor.

În consecință, în GIS, calitatea datelor reprezintă un compromis între cerințe și cost (Bernhardsen, 1992).

Un set de date poate fi evaluat din punct de vedere calitativ în funcție de: acuratețea georeferențierii și a datelor descriptive, consistența legăturilor realizate între datele spațiale și cele descriptive, actualitatea, completitudinea și rezoluția datelor.

Acuratețea reprezintă gradul în care valoarea estimată se apropie de valoarea reală (Aronoff, 1989). Trebuie să acceptăm ideea că rezultatul final este afectat de eroare.

Eroarea reprezintă diferența dintre valoarea utilizată și valoarea reală. Ea provine atât din măsurarea datelor de intrare, cât și din operațiile diferite specifice GIS, după cum se va vedea în continuare.

În acest context, eroarea trebuie privită ca o componentă a calității prin care se determină cât de potrivite sunt datele și/sau procedurile GIS pentru aplicații specifice. Precizia este dictată de mantisa acceptată pentru variabilă.

Pentru a face diferența între acuratețe și precizie, în figura 4.12 sunt prezentate rezultatele a două ședințe de trageri: în stânga acurată, dar lipsită de precizie, iar în dreapta precisă, dar mai puțin acurată.

Sursele de eroare în GIS se pot încadra în trei mari categorii: **eroarea umană**, care apare de regulă la introducerea datelor de către operator prin digitizare sau vectorizare, **eroarea instrumentului de lucru**, unde există *erori sistematice* care apar datorită trunchierii seturilor de date și *erori aleatoare*, mai greu de depistat și **eroarea de tip GIS**, care poate fi *eroare de tip software*, generată prin aplicarea unor interpolări și/sau algoritmi și *eroare hardware*, generată de grafică sau afișare necorespunzătoare.

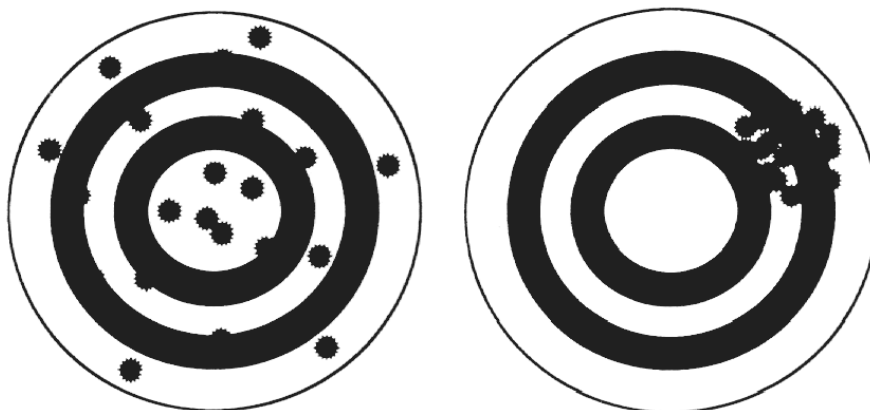


Figura 4.12 Acuratețe și precizie (adaptat după Briggs, 1997).

4.4.1 TIPURI DE ERORI

Se consideră că erorile ce pot afecta un produs de tip GIS sunt de două tipuri: de poziționare și erori de tip atribut.

Erorile de poziționare sau spațiale provin din georeferențierea incorectă a elementelor spațiale (puncte, linii și poligoane). Acest tip de eroare se manifestă printr-o mică deplasare a poziției elementului față de poziția reală pe harta de bază. Acest tip de eroare poate fi controlat prin funcții specifice GIS atașate procedurii de georeferențiere. În figura 4.13 se prezintă eroarea de poziționare la georeferențiere, inerentă oricărei operații de acest tip.

Formula de calcul pentru eroarea de tip RMS (**R**oot **M**ean **S**quare) este prezentată în formula de mai jos. Termenul e_i reprezintă diferența dintre valoarea măsurată, folosită în aplicație și valoarea reală.

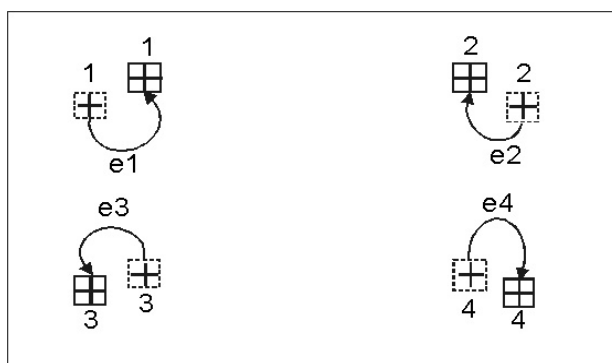


Figura 4.13 Eroarea RMS (după ESRI).

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n}};$$

$$\text{Pentru cazul din figura 4.14, } RMS = \sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + e_4^2}{4}}.$$

Erorile de tip atribut provin din etichetarea incorectă a elementelor spațiale considerate. În figura 4.14 sunt prezentate ambele tipuri de erori: ① eroare de poziționare și ② eroare de etichetare.

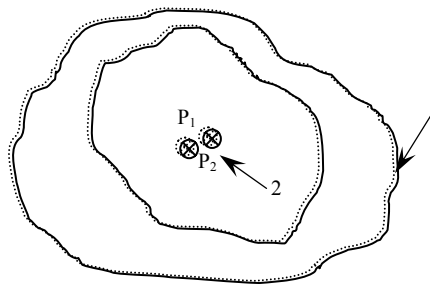


Figura 4.14 Tipuri de erori.

4.4.2 CONCEPTUALIZAREA REALITĂȚII

Eroarea de conceptualizare poate fi încadrată atât în cadrul erorilor de poziționare, cât și în cadrul celor de tip atribut și se manifestă prin alegerea neinspirată a unui element spațial pentru reprezentarea sau definirea unei anumite entități în cadrul modelului.

4.4.3 PREGĂTIREA DATELOR

Procesul complex de pregătire a datelor pentru a fi integrate în sistem, reprezintă o sursă importantă de producere a erorilor, în fiecare etapă. Pregătirea datelor presupune parcurgerea etapelor de culegere, integrare și generalizare.

Aceste etape au fost prezentate în subcapitolul 4.3 Vom reveni asupra lor pentru a puncta situațiile care favorizează apariția erorilor. În etapa de *colectare*, fiecare stadiu - teledetecția, digitizarea, vectorizarea sau transferul - pot introduce erori specifice. Astfel, în cadrul etapei de *digitizare manuală* erorile pot fi de două tipuri: psihologice și fiziologice (Jenks, 1981). Cele *psihologice* provin din dificultatea operatorului de a percepe centrul liniei ce

urmează a fi digitizată și apar sub forma unor deplasări sistematice ale elementelor digitizate față de poziția entităților pe hartă, amplificând astfel potențialele erori introduse la întocmirea hărții în format analog, iar cele *fiziologice* se datorează unor ticuri nervoase sau spasme musculare involuntare ale operatorului. Pentru a înlătura aceste inconveniente, există două alternative de *digitizare semi-automată*.

Prima metodă se bazează pe principiul trasării automate a vectorului prin mijlocul liniei în format raster. Această metodă introduce o mare acuratețe, dar, în același timp, prezintă inconvenientul ca procesul să se oprească în momentul în care elementul linie de tip raster este întrerupt sau când acesta se intersectează cu o altă linie pe harta suport. În aceste situații operatorul trebuie să ghideze digitizarea pentru următorul tronson.

A doua metodă, de vectorizare semi-automată, se bazează pe scanarea hărții suport, urmată de transformarea în format vector a tuturor elementelor conținute în harta suport. Necesită o memorie mult mai mare pentru stocarea datelor, dar înglobând și tehnici OCR (**O**ptical **C**haracter **R**ecognition), permite realizarea digitizării într-un timp mult mai redus. Si această metodă presupune intervenția operatorului, care trebuie mai întâi să elimine elementele nedorite ce apar datorită vectorizării tuturor entităților, apoi să unească elementele întrerupte și la sfârșit, să opereze modificările necesare în componenta vector de tip text.

În cadrul conversiei de tip vector-raster apar probleme în cazul alegerii necorespunzătoare a mărimii celulei care formează harta digitală în format raster.

Situațiile care permit apariția erorii în stagiul de corectare și editare sunt rare, dar datorită implicațiilor ulterioare procesul trebuie urmărit cu atenție. Alegerea necorespunzătoare a toleranței în procesul de editare poate împiedica joncțiunea dorită între noduri (toleranță prea mică) sau poate realiza joncțiuni nedorite (toleranță prea mare). Având în vedere aceste situații, procesul de filtrare devine extrem de util.

Stagiul de generalizare presupune atât generalizarea informației de tip atribut, cât și a celei de tip pozițional. Revenind la paragraful 4.3.2.2, unde a fost ales exemplul cu bazinul hidrografic, trebuie subliniat că reclasificarea elementelor pentru obținerea hărții digitale generalizate poate introduce erori majore (cum ar fi înlocuirea unui afluent important cu unul mai puțin important).

4.5 CONTROLUL CALITĂȚII DATELOR

Calitatea reprezintă conformarea la cerințe, nu lipsa de bună-voință a celor ce verifică aplicația (Trodd, 1998). Controlul calității trebuie privit ca o posibilitate de validare a datelor utilizate sau comercializate. Au fost create o serie de instrumente prin care să se mențină un nivel ridicat de calitate a datelor, fiind discutate aici aspecte legate de standarde, rapoarte de calitate și metode de detectare a erorilor.

4.5.1 STANDARDE ȘI RAPOARTE DE CALITATE

Standardul de date este definiția formatului datei care permite transferul către și din aplicații diferite. Existența unor standarde de date atrage posibilitatea transferului între diverși utilizatori sau aplicații, mențin un nivel de calitate corespunzător și reprezintă o garanție în momentul achiziționării setului respectiv de date.

Pentru exemplificare să alegem cazul programului Idrisi for Windows. Prin utilizarea acestui soft obținem fișiere de tip **.vec**. Acestea nu sunt formate standard. Funcțiile de tip import-export permit introducerea **vec**-ului în program și transformarea acestuia în **.dxf**, care este format standard.

În prezent există mai multe tipuri de standarde. Unul dintre cele mai cunoscute este **ISO TC 211**, impus de International Standards Organisation. Un alt standard este **CEN TC 287**, promovat de European Standards Organisation. Țări precum: Australia, Canada, Germania, Franța etc., au standarde proprii pentru datele geografice.

4.5.2 METODE DE DETECTARE A ERORILOR

Pentru a depista erorile se folosesc mai multe metode, printre care:

- compararea valorilor codificate cu datele sursă;
- căutarea valorilor imposibile;
- controlul valorilor extreme;
- controlul consistenței interne (calcul - total, medii);
- diagrame de distribuție a valorilor și identificarea valorilor celor mai depărtate de dreapta de regresie;
- prin analize comparative se depistează discrepanțele din structura spațială (hărți de reprezentare a datelor culese);
- programe de modelare și analiza rezultatelor;
- analiza suprafeței de tendință și evidențierea abaterilor de la tendința generală.

Alegerea variantei de testare depinde de tipul, volumul datelor, de nivelul de cuprindere și înțelegere a elementelor reale la care se referă datele (*pattern-urile*), de gradul de efort și posibilitatea de influență asupra rezultatelor.

4.6 CONCLUZII

Cu scopul de a fixa noțiunile de bază, în continuare va fi prezentată o sinteză a elementelor prezentate în cadrul acestui capitol.

- *Datele* sunt elementele folosite într-un Sistem Informatic pentru a modela sau reprezenta realitatea. Componentele caracteristice datei geografice sunt:

poziția, atributele, relațiile spațiale și timpul. Într-un GIS sunt prelucrate **două tipuri de date**: *spațiale și descriptive*. Datele spațiale cu care operează GIS-ul sunt *punctul, linia și poligonul*, cu ajutorul cărora se poate reprezenta orice entitate considerată relevantă studiului. Avantajul oferit de GIS față sistemele de tip CAD constă în "posibilitatea de a interconecta aceste tipuri de date și de a gestiona relațiile spațiale care există între entitățile considerate în studiu".

- *Datele necesare* folosite într-un GIS trebuie identificate. Mai întâi datele sunt definite, stabilindu-se un raport calitate preț cât mai avantajos. Căutarea datelor definite se realizează fie prin intermediul *metadatelor*, date despre conținut, calitate, condiții și alte caracteristici ale datelor fie consultând *infrastructurile naționale de date*. Sursele posibile, identificate în urma căutării datelor necesare cu ajutorul metadatelor, sau prin consultarea infrastructurilor naționale de date, se împart în mai multe categorii după cum urmează. Harta este un instrument de lucru tradițional pentru utilizatorii de date geografice. *Teledetecția*, o altă sursă importantă de date, este "știința și arta de obținere a informației despre un obiect, arie sau fenomen, prin analizarea datelor culese cu ajutorul unui instrument ce nu este în contact direct cu obiectul, arie sau fenomenul studiat". Aerofotogramele și datele satelitare reprezintă surse de date ce treptat vor înlocui hărțile în format analog. *Bazele de date spațiale* deja existente reprezintă o altă sursă de date. Ar fi de reținut că "este mai ieftin ca datele să fie cumpărate decât introduse în sistem de către cel ce dezvoltă aplicația". Problemele care apar aici sunt legate de transferul datelor și de format.

Măsurătorile în teren reprezintă o altă importantă sursă de date. Cele două categorii prezentate în acest capitol au fost măsurătorile topografice convenționale și cele de tip GPS.

- După ce datele necesare au fost achiziționate urmează etapa de integrare a datelor în sistem. GIS-ul permite *integrarea datelor* în sistem, operație dificil de realizat prin alte metode. Prin această operație se urmărește combinarea datelor diverse pentru obținerea prin analize succesive a unor informații noi. Există două etape în cadrul acestui proces: *colectarea datelor* prin *digitizare, scanare + vectorizare și transfer* (atenție la standarde) și *integrarea propriu-zisă* a datelor, ce constă în "corectare și editare, generalizare și conversie raster-vector sau vector-raster".

Calitatea este o caracteristică a datelor integrate în GIS, reprezentând un compromis între cerințe și cost. Un set de date poate fi evaluat din punct de vedere calitativ în funcție de mai mulți factori: *acuratețea* georeferențierii și a datelor descriptive, *consistența* legăturilor realizate între datele spațiale și cele descriptive, *actualitatea, completitudinea și rezoluția* datelor și altele.

- *Eroarea* reprezintă diferența dintre valoarea utilizată și valoarea reală. Ea provine atât din măsurarea datelor de intrare, cât și din operațiile diferite specifice GIS. Sursele de eroare în GIS se pot încadra în trei mari categorii: *eroarea umană, eroarea instrumentului de lucru și eroarea caracteristică tehnicilor de tip GIS*. Se consideră că erorile ce pot afecta un produs de tip GIS

sunt de două tipuri: de poziționare și erori de tip atribut. Procesul complex de pregătire a datelor pentru a fi integrate în sistem, reprezintă o sursă importantă de producere a erorilor, în fiecare etapă a sa. Pregătirea datelor presupune parcurgerea etapelor de culegere, integrare și generalizare.

Controlul calității trebuie privit ca o posibilitate de validare a datelor utilizate sau comercializate. Au fost create o serie de instrumente prin care să se mențină un nivel ridicat de calitate a datelor precum: *standarde, rapoarte de calitate și metode de detectare a erorilor*. *Standardul de date* este definiția formatului datei care permite transferul către și din aplicații diferite.

Pentru a depista erorile se folosesc mai multe metode printre care: *compararea* valorilor codificate cu datele sursă, "căutarea valorilor imposibile, controlul valorilor extreme, controlul consistenței interne" și altele. Alegerea variantei de testare depinde de tipul, volumul datelor, de nivelul de cuprindere și înțelegere a elementelor reale la care se referă datele.

BIBLIOGRAFIE

Bernhardsen T., *Geographic Information Systems*, ViakIt, 1992.

Briggs D., *Data Acquisition*, UNIGIS Modules, 6th Edition, 1997.

McDonnell, Rachel & Karen Kemp, *International GIS Dictionary*, GeoInformation International, 1995.

Jenks G.F., *Lines, computers and human frailties*. Ann. Assoc. American Geographers, 1981.

Kong Y., Ph.D. *Comprehensive Examination*, Paper three, The Chinese University of Hong Kong, 1999.

Haidu I., Haidu C., *SIG. Analiză spațială*, Editura *H*G*A* București, 1998.

Lillesand M. Thomas, *Remote sensing and image interpretation*, John Wiley&Sons Inc., 1994.

Săvulescu, C., *Note de curs*, 1996.

Trodd, N., *Data Quality*, UNIGIS Modules, 7th Edition, 1998.

***, *URISA Introduction to GIS GIS/LIS Workshop*, Minneapolis, Minnesota, 1993.

***, *Department of Environment, Handling Geographic Information*. Report of the Committee of Enquiry chaired by Lord Chorley. HMSO, Londra, 1987.

***, Environmental Systems Research Institute Inc., *PC Understanding GIS, The ARC/INFO Method*, 1990.

***, British Computer Society, *A Glossary of Computing Terms: An Introduction*. 6th edition, Cambridge University Press, 1989.

***, GeoSystems România, *Curs de introducere în tehnologiile GIS*, 2000.

***, *Standards for digital spatial metadata*. Federal Geographic Data Committee, Washington DC 1994. <http://geology.usgs.gov/tools/metadata/standard/metadata.html>

5 ELEMENTE DE BAZE DE DATE ÎN GIS

5.1 INTRODUCERE

Pentru a descrie mai exact locul și rolul bazelor de date în GIS, se vor reaminti pașii parcurși până acum în procesul de abstractizare a lumii reale.

Într-o călătorie virtuală prin zona studiată, se începe acest proces grupând obiectele din lumea reală în primitivele grafice cunoscute (puncte, linii, arii și suprafețe), anticipând întrebările la care trebuie să răspundă modelul și cum se intenționează a se răspunde la ele.

După ce au fost stabilite care obiecte din lumea reală sunt importante în model și care se pot ignora, se va decide asupra unei metode de colectare a datelor și a modului în care sunt ele reprezentate în formă grafică.

Prin organizarea și gruparea datelor, alegerea proiecției, a sistemului de coordonate orizontal și a altor informații cartografice, se trece la introducerea datelor în GIS, formând *baza de date geografică*. Pentru extinderea capacității de analiză, modelul este completat cu **date de tip atribut** (fig. 5.1) care descriu diferite caracteristici ale entităților spațiale, formând ceea ce se numește *baza de date de attribute*.

Așa cum a fost explicat în capitolele precedente, toate datele colectate și integrate din diverse surse sunt grupate într-un **proiect**.

În interiorul unui astfel de proiect, informațiile geografice legate de zona studiată sunt stocate în principal sub formă de hărți și tabele. Informația grafică este păstrată sub formă de *hartă*; informația non-grafică (textuală) este stocată sub formă de *tabele* într-o *bază de date*.

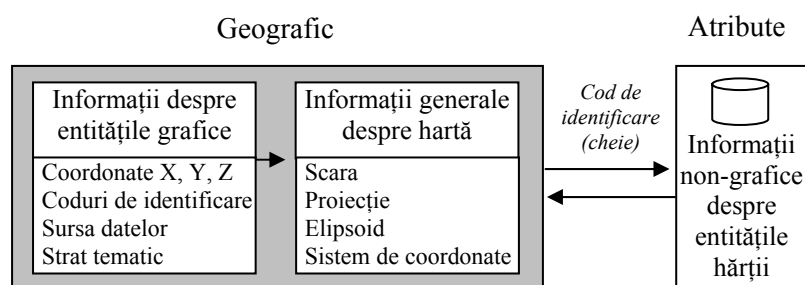


Figura 5.1 Organizarea datelor în GIS: de tip geografic și de tip atribute.

Metoda uzuală de legare a atributelor de entitățile grafice este aceea prin care identificatori unici ai entităților reprezentate pe hartă sunt folosiți ca valori de chei primare în tabelele relaționale (noțiunile vor fi explicate în acest capitol).

Pentru a înțelege mai bine utilitatea acestei legături, se poate considera în exemplul următor cazul unui proiect GIS destinat exploatarei unui sistem de alimentare cu apă dintr-o zonă urbană. Pentru a rezolva o anumită situație apărută prin deconectarea unor consumatori de la rețea datorită unor lucrări de reparații, este necesar să identificăm prin analiză spațială următoarele elemente:

- vanele ce trebuie închise pentru a izola o anumită conductă (această operație implică existența unei topologii corect generate și a funcțiilor de analiză de rețea în GIS-ul utilizat) → operație spațială;
- conductele aflate între vanele respective → operație spațială;
- nodurile rețelei care aparțin conductelor respective și în care există consum de apă → operație spațială + operații cu atribute (după determinarea pe cale grafică a nodurilor de rețea de interes în analiză, acestea devin selecție curentă în baza de date; printr-o condiție suplimentară aplicată în baza de atribute acestei mulțimi de puncte, și anume ca atributul *consum de apă* să fie > 0 , se obține o nouă mulțime de puncte care se află poziționate pe conductele ce nu vor mai fi alimentate cu apă și în plus sunt noduri la care sunt conectați consumatori);
- consumatorii care vor rămâne fără apă pe durata intervenției → operații cu atribute (presupune existența unei tabele relaționale *consumatori*, în care identificatorii nodurilor rețelei să fie cheie străină și care să stabilească relația dintre consumatori și noduri; având această tabelă, selecția din baza de date de la punctul precedent se transformă în selecție de entități grafice poligoane ce reprezintă consumatorii afectați de oprirea alimentării cu apă).

Analiza spațială descrisă mai sus ar fi fost extrem de greu de realizat (sau imposibilă) fără existența unor baze de date de atribute.

GIS stochează așadar datele în două forme: date spațiale (geografice) și date textuale (atribute), iar posibilitatea de a lega și integra cele două tipuri de date este una dintre funcțiile care fac din GIS un instrument extrem de puternic. El devine astfel nu doar un sistem computerizat pentru producția automatizată de hărți sau diagrame, ori un sistem de grafică computerizată cu uz general; GIS poate stoca, procesa, combina, analiza date și informații despre entități spațiale într-un context integrat cu baze de date, putând astfel produce noi informații, cu valoare adăugată.

Există în mod curent două percepții asupra tehnologiei GIS, care depind de specificul activității sau domeniului de interes al utilizatorului, percepții ce pot fi descrise astfel:

- un punct de vedere tinde să sublinieze capacitățile de analiză geografică, cartografică și de producție de hărți; accentul este pus pe cuvântul *geografic*, iar sistemul este perceput astfel în principal de cartografi și geografi;
- un al doilea punct de vedere se referă la facilitățile oferite de GIS pentru managementul informațiilor într-un mediu de baze de date la care referințele spațiale sau geografice sunt adăugate într-o fereastră separată; se urmărește astfel îmbunătățirea capacităților operaționale și eficiența, din punct de vedere al managerului sau a celui care ia deciziile, iar accentul este pus pe cuvintele *managementul informațiilor*.

Deși în majoritatea aplicațiilor sunt necesare date textuale, sistemele GIS diferă în capacitatea lor de a manipula datele de tip atribut, unele oferind mai multe funcții pentru analiză spațială și o funcționalitate limitată în gestionarea atributelor, iar altele pot încorpora pachete convenționale destinate bazelor de date.

Cunoașterea și înțelegerea capacităților de gestiune a bazelor de date specifice unui anumit GIS reprezintă un element important pentru un utilizator al acestei tehnologii.

5.2 NOȚIUNI DE TEORIA BAZELOR DE DATE

5.2.1 ABORDAREA ORIENTATĂ SPRE APLICAȚIE

Pentru a se înțelege mai bine conceptele bazelor de date, va fi explicat mai întâi în ce constă abordarea de tip aplicație și, ca o evoluție, abordarea de tip bază de date.

În general, aplicațiile software sunt proiectate pentru a îndeplini anumite funcții specifice și a rezolva anumite probleme (limitate). Pentru a atinge acest scop, dezvoltarea se concentrează asupra algoritmilor aplicației în sine, iar o mai mică atenție este acordată problemelor de stocare și a structurii datelor. În acest caz datele sunt stocate în fișiere al căror format răspunde necesităților *particulare* ale aplicației (fig. 5.2).

După cum se poate observa în figura 5.2, la baza reprezentării schematice se află *fișierele* ce conțin datele care ne interesează. Una din structurile elementare ale unui sistem computerizat, *fișierul*, permite de fapt stocarea, ordonarea și căutarea unor date.

Există trei tipuri de structuri de bază pentru fișiere:

1. Cea mai simplă structură de fișier este cea de tip *listă simplă*, care poate fi comparată cu un Rolodex ce păstrează file pe care sunt înscrise nume, adrese sau numere de telefon. Caracteristic pentru acest tip de structură (de fapt și

unicul său avantaj) este că adăugarea unei noi înregistrări (sau filă în Rolodex) se face plasând-o în urma celorlalte. Evident, toate înregistrările se află acolo în ordinea în care au fost introduse, iar lipsa unei structurări adecvate face regăsirea unei informații extrem de dificilă. Deoarece căutarea se face examinând fiecare înregistrare, pentru a regăsi o înregistrare din n înregistrări este nevoie de $(n + 1)/2$ operații de căutare (Burrough, 1983), ceea ce poate constitui o problemă serioasă în cazul bazelor mari de date.

2. Dacă se ordonează alfabetic înregistrările Rolodex-ului, se obține modelul unei structuri *ordonate secvențial*, în care fiecare înregistrare poate fi comparată cu cea anterioară sau cu cea de după, stabilindu-se ordinea sa în secvență. Algoritmul de căutare al unei înregistrări conduce în acest caz la $\log_2 (n + 1)$ operații de căutare, care reprezintă o reducere de aproximativ 14 ori a timpului de căutare (DeMers, 1997).

3. Fișierele cu structură *indexată* sunt cele mai potrivite pentru căutările specifice GIS; acestea presupun existența unei chei care poate fi căutată în fișier, model foarte asemănător cu un catalog gen “Pagini Aurii”. Algoritmul de căutare a înregistrărilor poate fi direcționat către acele locații specifice sau numere de înregistrări prin crearea unui index care leagă direct codurile (cheile) căutate de poziția lor în fișier, iar înregistrările care nu conțin codurile respective sunt ignorate. Prin acest mecanism, în GIS nu se urmărește vizualizarea liniei cu numărul 3564 (așa cum a fost introdusă inițial în sistem), ci se va cere autostrada cu 4 benzi – aceste atribute fiind asociate prin intermediul unui cod (cheie) entității grafice.

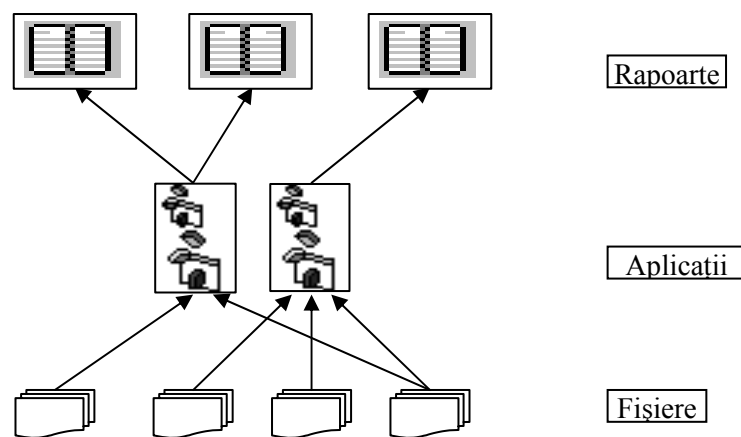


Figura 5.2 Abordare de tip aplicație.

5.2.2 ABORDAREA ORIENTATĂ SPRE BAZE DE DATE

În aplicațiile curente GIS se utilizează o combinație de mai multe structuri de fișiere organizate într-o colecție ce permite metode mai complexe de gestiune a datelor. O astfel de colecție se numește *bază de date*.

Pe măsură ce aplicațiile devin din ce în ce mai complexe, cu un număr mai mare de atribute textuale necesar a fi legate de entitățile grafice, apare necesitatea ca datele să fie împărțite de mai multe aplicații. În acest punct pot apărea probleme legate de formatul datelor și modalitatea de stocare, cum ar fi:

- redundanța datelor;
- costuri de întreținere;
- lipsa de integritate a datelor;
- conflicte sau restricții determinate de partajarea datelor;
- probleme de securitate.

Bazele de date au evoluat tocmai pentru a rezolva acest tip de probleme. În acest caz datele sunt create, structurate și stocate într-o *bază de date*, în loc de fișiere cu format specific pentru o anumită aplicație. Pentru exploatarea bazei de date, aplicațiile pot extrage datele de care au nevoie prin intermediul unui Sistem de Gestiune a Bazelor de Date (SGBD).

SGBD-urile (în limba engleză DBMS) sunt sisteme software care pun la dispoziție unelte pentru crearea, accesul și întreținerea bazei de date. Abordarea specifică bazelor de date este reprezentată schematic în figura 5.3.

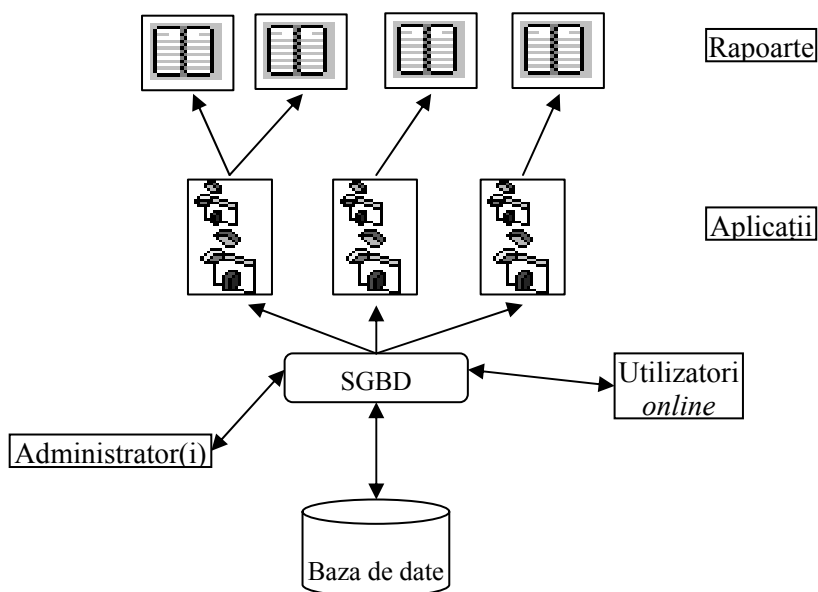


Figura 5.3 Abordare specifică bazelor de date.

Funcțiile principale ale unui SGBD pot fi formulate pe scurt după cum urmează :

- creează, modifică și șterge structuri de date;
- adaugă, aduce la zi și șterge înregistrări;
- extrage informații din datele disponibile (regăsire, interogare, generare rapoarte și grafice sintetice);
- menține integritatea datelor și securitatea (acces controlat la date, verificarea consistenței datelor);
- interfața cu aplicații externe prin SQL (*Structured Query Language*, v. pag. 111) sau alte componente de limbaje de programare.

5.2.3 PROIECTAREA BAZEI DE DATE

Procesul de proiectare a aplicației GIS implică pe lângă designul vizual și proiectarea bazei de date textuale, în special dacă se preconizează structuri de date de volum important.

Etapela parcurse în proiectarea bazei de date sunt similare celor din procesul mai general al dezvoltării aplicațiilor software:

- *Analiza inițială* este prima fază, de cele mai multe ori necesară, în care se clarifică obiectivele bazei de date.
- *Structura logică* și modelul conceptual se bazează pe analiza anterioară. Ideea este de a identifica entitățile de interes, relațiile dintre entitățile grafice și atributele acestora ce vor fi stocate în baza de date. Modelul conceptual al datelor este alcătuit din diagrame de structuri, note și tabele având ca obiectiv principal identificarea tipurilor corecte de date, astfel încât să fie asigurată disponibilitatea acestora pentru toate aplicațiile. El trebuie să fie independent de SGBD (teoretic, modelul conceptual ar putea fi implementat cu orice SGBD convențional).
- Stadiul de *design fizic* constă în fapt în transpunerea structurii logice în structura de fișiere, înregistrări, câmpuri, index și algoritmi, formând nucleul bazei de date pentru software-ul de SGBD ales.
- *Testarea* este un pas necesar în secvență și trebuie să stabilească dacă baza de date funcționează și corespunde cerințelor pentru care a fost proiectată.
- *Implementarea* urmează unei testări încununate de succes, în care baza de date este încărcată cu date reale, iar documentația și, eventual, instruirea utilizatorilor sunt puse la punct.
- *Întreținerea* și menținerea la zi a bazei de date este o fază care se desfășoară pe toată durata sa de viață și care trebuie să evolueze odată cu necesitățile utilizatorilor.

Procesul și etapele descrise mai sus nu se desfășoară niciodată liniar, ci mai degrabă într-un ciclu cu multiple reveniri (mecanism de tip *feed-back*), încercări, erori, iterații și re-gândiri ale unor etape deja parcurse etc.

5.3 ARHITECTURA UNUI SGBD

Unul dintre obiectivele principale ale unui SGBD este cel al *independenței* față de date, obiectiv atins printr-o organizare pe mai multe nivele a software-ului (fig. 5.5).

La baza acestei structuri se află *nivelul fizic*, care materializează în fapt cea de-a treia etapă descrisă mai sus la proiectarea bazei de date.

Deasupra nivelului fizic regăsim *nivelul logic*, care conține modelul conceptual al bazei de date, exprimând entitățile, atributele și relațiile existente între acestea. Modelul logic (fig. 5.4) este vizibil în majoritatea SGBD-urilor convenționale, într-o formă grafică sugestivă (exemplul aparține Microsoft Access):

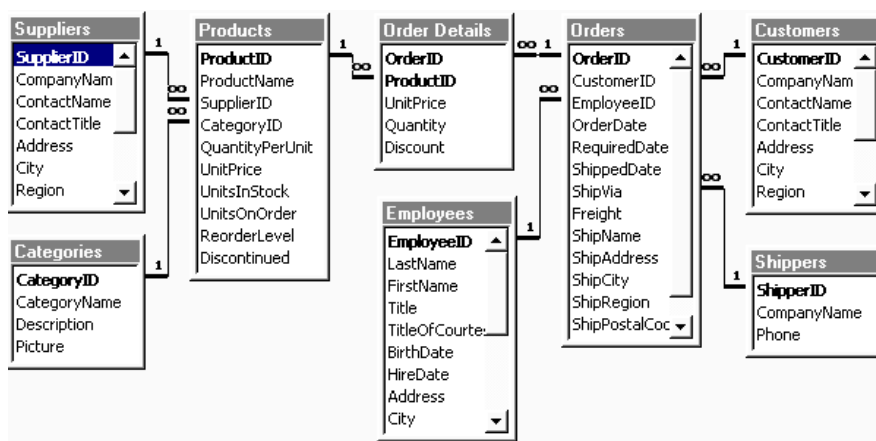


Figura 5.4 Vizualizarea modelului logic al unei baze de date.

Următorul nivel este cel *de acces al utilizatorilor* direct la baza de date, în care un utilizator poate avea o viziune (vedere) parțială asupra bazei de date, constând în acele entități și atribute pe care dorește sau are dreptul să le acceseze. La acest nivel, utilizatorul poate manipula datele direct în baza de date, în limita drepturilor sale.

În majoritatea cazurilor de aplicații GIS, utilizatorul dispune de interfețe specifice, programe ce permit, înlesnesc și controlează accesul la baza de date. Este cazul utilizatorilor unor mari baze de date, utilizatori care nu sunt specialiști în folosirea unui anumit SGBD și pentru care *nivelul de aplicație* constituie o interfață convenabilă la baza de date. Acest nivel este ultimul în structura ierarhică a unei arhitecturi specifice bazelor de date.

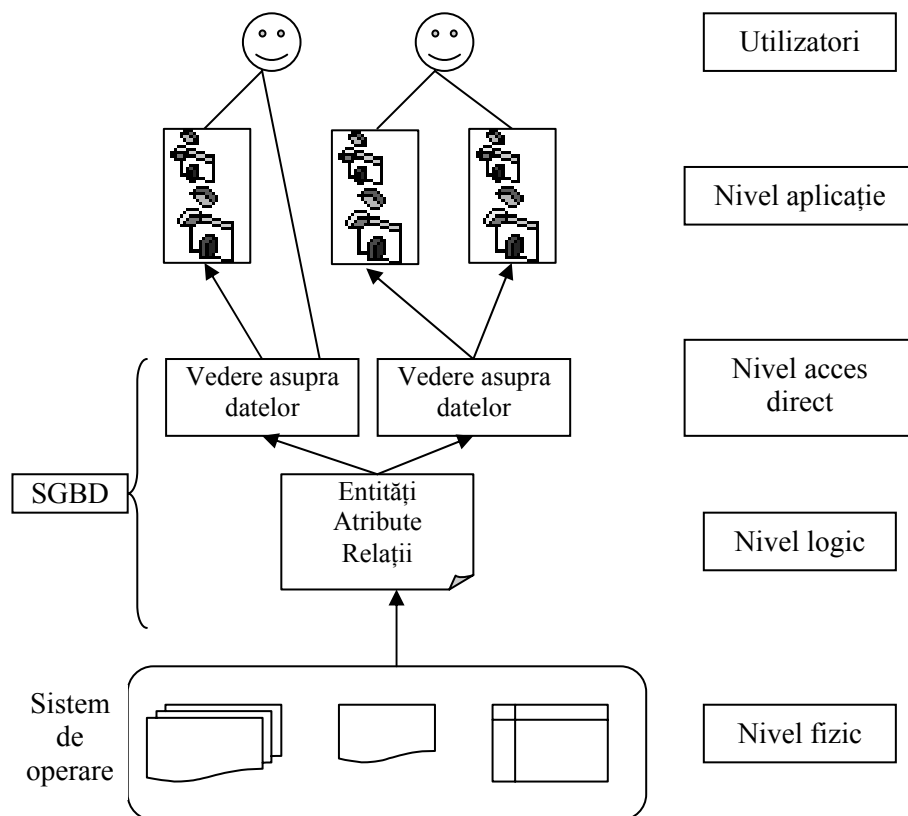


Figura 5.5 Reprezentare schematizată a arhitecturii multi-strat a unei baze de date.

Sistemul de gestiune a bazei de date asigură canalul de comunicație și toate transformările dintre nivelele structurii bazei de date pentru a duce la îndeplinire acțiunile cerute de utilizator.

Dacă este cerută o interogare, aceasta se poate transmite fie prin intermediul unei aplicații, fie direct prin clauze SQL sau comenzi specifice SGBD-ului folosit. Software-ul transmite interogarea de la nivelul de acces direct, la nivelul conceptual, apoi către cel fizic, de unde extrage datele sau informațiile cerute. Fluxul datelor urmează acum calea inversă, furnizând un răspuns consistent către nivelul de acces al utilizatorului. Prin acest mecanism este asigurată cea importantă independență a datelor.

Așa cum s-a menționat la începutul acestui capitol, referitor la date există trei nivele de abstractizare: **a)** lumea reală, în care identificăm entitățile spațiale, atributele și relațiile dintre acestea, **b)** modelul logic al bazei de date, în care vorbim despre *meta-date* sau date despre date și **c)** datele stocate curent în baza de date.

Într-o arhitectură specifică bazelor de date, datele nu sunt direct legate de o anumită aplicație; informațiile despre structura logică și definițiile datelor (nivelul **b** de mai sus) sunt păstrate într-o componentă specială a SGBD-ului, numită *dicționar de date*. Prin această modalitate de organizare, modificarea definiției unei entități se face doar în dicționarul central al bazei de date, și nu în fiecare aplicație ce utilizează datele respective. Deoarece definiția unei entități aparține în fapt bazei de date, toate aplicațiile conectate pot utiliza simultan entitatea cu noua definiție.

5.4 TIPURI DE BAZE DE DATE

Structura stratificată este comună tuturor bazelor de date; diferențierile apar în modul cum este organizat nivelul logic, prin dezvoltarea unor modele de date specifice. Deși noi forme de baze de date se dezvoltă și implementează în pachete convenționale de SGBD, există patru tipuri fundamentale și anume: *structura de date ierarhică*, *structura de tip rețea*, *structura relațională* de baze de date și *modelul orientat pe obiecte*.

În continuare, se vor prezenta pe scurt structurile mai puțin folosite în GIS, și se va detalia modelul *relațional* de baze de date – cel mai răspândit la ora actuală în pachetele comerciale GIS.

5.4.1 STRUCTURA DE DATE IERARHICĂ

Modelul de organizare ierarhică a datelor (fig. 5.6) a fost dezvoltat în mod natural ca o îmbunătățire a procedurilor inițiale de procesare a fișierelor, bazându-se pe o structură de tip arborescent. Relația ce caracterizează acest model este cea în care o entitate denumită “părinte” are o asociere directă cu mai multe entități, denumite “copil”, dar fiecare “copil” poate avea un singur “părinte”.

Literatura de specialitate denumește aceste **relații** cu *one-to-one* pentru o legătură simplă “părinte” - “copil” și *one-to-many* pentru o legătură “părinte” cu mai multe entități “copil”.

În acest model este nevoie de o duplicare a datelor atunci când un “copil” este asociat sau aparține la mai mult de o entitate “părinte”.

Unul dintre avantajele acestui model este acela că părinții și copii sunt legați direct, ceea ce face accesul la date simplu și rapid. Cel mai simplu exemplu (cu anumite restricții) de astfel de alcătuire este cel al organizării arborescente a sistemului de fișiere pentru sistemele de operare MS-DOS sau Windows. Un alt exemplu este ierarhia de plante și animale: animalele sunt vertebrate și nevertebrate; vertebratele conțin un grup denumit mamifere, grup care, la rândul lui, se împarte în mai multe specii etc.

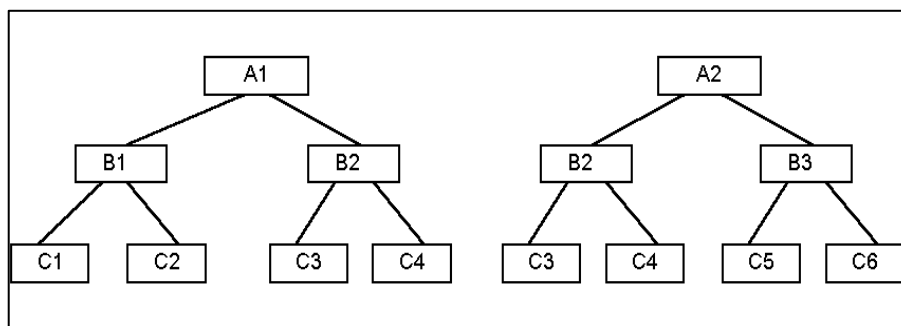


Figura 5.6 Reprezentarea schematizată a structurii ierarhice.

Dezavantajul acestei model, care constituie de altfel principalul motiv pentru care nu este folosit în GIS, este acela al unei relative rigidități, în sensul că examinarea structurii pe baza unui criteriu valid, dar care nu a fost inclus de la început, devine imposibilă.

În GIS este foarte probabilă utilizarea unor criterii de căutare vagi sau a unora ce nu au fost prevăzute de la începutul analizei, făcând astfel din structura ierarhică un model nepotrivit exigențelor unei analize spațiale complexe.

5.4.2 STRUCTURA DE DATE DE TIP REȚEA

Modelul de organizare a datelor într-o structură de tip rețea (fig. 5.7) a apărut ca o necesitate de a reduce duplicarea datelor atunci când o entitate “copil” este asociată la mai mult de o entitate “părinte”. Tehnic, problema este rezolvată printr-un sistem de așa numiți *pointers* (adrese de memorie), care leagă împreună înregistrările într-o rețea, permițând astfel ca o entitate “copil” să aparțină la mai multe entități “părinte”.

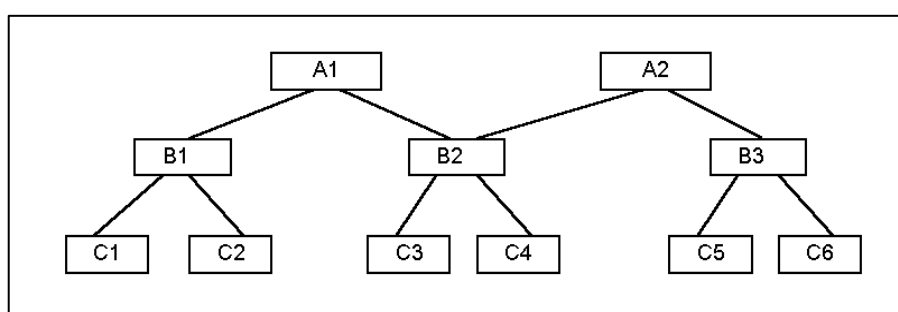


Figura 5.7 Reprezentarea schematizată a structurii de tip rețea.

Avantajul acestui model este că permite bazelor de date GIS să implementeze relații de tipul *many-to-many*, în care o singură entitate “părinte” poate avea mai multe atribute “copil”, fiecare din aceste atribute putând fi legate explicit de mai multe entități “părinte”.

Această structură este mai puțin rigidă decât modelul ierarhic (restricționat la parcurgerea ramurilor arborelui) și permite prin sistemul de *pointers* legarea oricărei entități de orice alt atribut, oriunde în baza de date.

Dezavantajele modelului rețea sunt, într-un fel, consecințe ale utilizării extensive a sistemului de *pointers* care generează o adevărată “pânză de păianjen” în baza de date, deoarece toate legăturile trebuie declarate explicit. Pentru utilizatorii începători de GIS ce exploatează baze de date complexe, poate fi descurajator, de multe ori apărând confuzii și legături greșite.

5.4.3 STRUCTURA RELAȚIONALĂ A BAZELOR DE DATE

Cel mai utilizat model în domeniul bazelor de date GIS este modelul relațional, nu numai pentru manipularea atributelor textuale, ci, în unele cazuri, și pentru gestiunea datelor spațiale sau geografice.

Modelul relațional (fig. 5.8) este bazat pe conceptul de **relație**, reprezentat fizic sub forma unui tabel; datele sunt aranjate în tabele în care liniile corespund unor înregistrări pentru entități, iar coloanele corespund atributelor asociate. Legăturile dintre tabele semnifică relațiile dintre entități și sunt realizate prin intermediul unor coloane comune mai multor tabele.

Sistemele relaționale au fost dezvoltate pe un set de principii matematice grupate în *Algebra Relațională* (Ullman, 1982), ce se bazează în fapt pe teoria mulțimilor. Astfel, fiecare tabelă de relații operează ca o mulțime și în consecință apare condiția de unicitate a membrilor: o tabelă nu poate avea două linii (denumite și *tuple*) identice (tuple duplicat).

Structura Sistemelor de Gestiune a Bazelor de Date Relaționale (SGBDR), conceptual destul de simplă, prezintă câteva caracteristici necesare pentru a asigura consistența, acuratețea, flexibilitatea, integritatea datelor și robustețea generală a bazei de date.

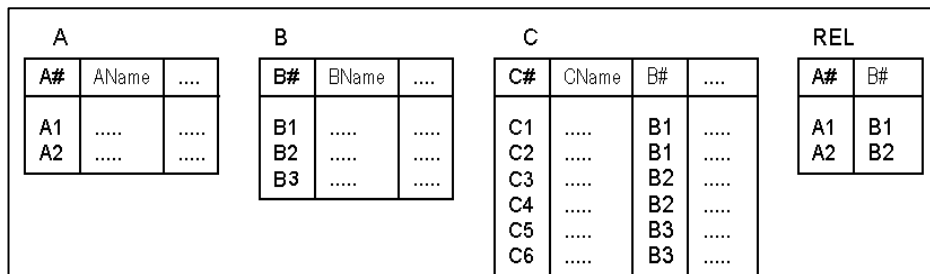


Figura 5.8 Modelul relațional al bazelor de date.

Pe scurt, aceste cerințe sunt următoarele:

- a) *Numele* coloanelor trebuie să fie distincte.
- b) Valorile introduse într-o coloană trebuie să fie de același tip sau să aparțină aceluiași *domeniu* – un set de valori posibile pe care data le poate lua.
- c) Fiecare linie trebuie să fie în întregime distinctă; acest lucru este necesar pentru a putea identifica în mod unic o înregistrare prin intermediul unei *chei* unice (cu alte cuvinte, *cheia* este o coloană care conține pentru fiecare linie o altă valoare). În consecință, nici o valoare a coloanei *cheie* nu poate avea valoare nulă, altfel s-ar putea permite duplicarea unei înregistrări, încălcând regula unicității. Dacă o tabelă nu conține în mod natural o coloană *cheie*, atunci ar trebui adăugată (este indicat ca aceasta să conțină coduri alfanumerice indexate).
- d) Fiecare celulă a tabelului trebuie să conțină o singură valoare (condiția de *atomizare* a tuplelor).
- e) Conceptul de *valoare nulă* este utilizat pentru a specifica faptul că pentru intrarea respectivă nu există valoare din domeniul coloanei sau că valoarea ei nu este cunoscută. Valoarea nulă nu trebuie confundată cu valoarea zero.

Modelul relațional este folosit pe scară, largă deoarece permite colectarea datelor în tabele relativ simple, fiecare tabelă conținând, de obicei, informații de aceeași natură.

Dacă este necesar, datele unui tabel pot fi relaționate cu datele altui tabel, printr-un proces de asamblare pe baza unei coloane comune. Procesul constă în a găsi egalitatea dintre *cheia primară* a primului tabel și o coloană a altui tabel. Coloana celui de-al doilea tabel care este legată de cheia primară a primului tabel se numește *cheie străină* sau *cheie importată*. Valorile unei coloane *cheie străină* trebuie să existe ca intrări în *cheia primară* a unui alt tabel relaționat. Dacă această regulă este încălcată, este posibil ca o linie dintr-o tabelă să existe, dar să nu poată fi accesată.

În figura 5.8, în tabelele A și B, coloanele A# și B# sunt chei primare. În tabelul C, coloana C# este cheie primară, iar B# este cheie străină. Tabelele A și B sunt legate într-o relație *one-to-one* prin intermediul tabelului REL, attributele entității A1 devin AName, BName, etc. Tabela C stabilește o relație *one-to-many* între B și C; astfel, entitatea B1 va avea atât attributele BName cât și CName, corespunzătoare entităților C1 și C2 etc.

Prin mecanismul descris mai sus, denumit *relational join*, pot fi legate mai multe tabele simple într-o structură clară (mai clară decât structura tip rețea) ce permite operații de căutare extrem de complexe. O condiție pentru ca aceasta să funcționeze este ca fiecare tabelă să conțină cel puțin o coloană în comun cu altă tabelă pe care vrem să o relaționăm. Apare astfel o anumită redundanță a

datelor, fără de care nu ar fi posibilă legarea tabelelor, dar care, pe cât posibil, trebuie redusă.

Pentru reducerea volumului de date din tabelele bazei de date relaționale, un set de reguli (denumit *normal forms*) a fost stabilit de Codd în 1970. Primele trei forme de bază pe care tabelele le pot lua sunt următoarele:

Prima regulă (*first normal form*) stabilește că, deoarece coloanele vor fi utilizate ca și chei de căutare, fiecare locație dintr-o linie a tabelului nu poate avea decât o singură valoare.

A doua regulă (*second normal form*) cere ca fiecare coloană care nu este cheie primară să fie total dependentă de cheia primară; cu alte cuvinte, orice coloană să poată fi găsită prin intermediul cheii sale primare. Această cerință simplifică tabela și reduce redundanța datelor.

A treia regulă (*third normal form*) este legată de cea precedentă și stabilește: cheia primară nu trebuie să depindă de nici o cheie străină; cu alte cuvinte, se poate folosi cheia primară pentru a căuta alte coloane, dar nu se pot folosi alte coloane pentru a căuta valori în cheia primară.

Pentru a putea opera asupra datelor, un model de bază de date are nevoie de un set de comenzi pentru manipularea înregistrărilor. Există o varietate de limbaje utilizate în managementul bazelor de date relaționale, dar cel mai utilizat în GIS (și nu numai) este un limbaj declarativ de nivel înalt denumit **Structured Query Language**, pe scurt **SQL**.

SQL – limbaj specific bazelor de date relaționale. SQL este limbajul specific, implementat în sistemele de gestiune a bazelor de date relaționale (SGBDR) ca o interfață la dispoziția utilizatorilor pentru manipularea algebrei relaționale în gestiunea și operarea bazei de date.

SQL conține declarații și comenzi necesare implementării elementelor structurale, manipularii datelor și verificării integrității acestora, într-un model relațional de baze de date. Este de asemenea, un limbaj declarativ, care stabilește cerințele, iar SGBDR determină cea mai bună cale de a răspunde.

Ca formă generală, comenzile SQL încep cu un verb care specifică acțiunea, urmat, de regulă, de un obiect asupra căruia se acționează (de ex. un tabel). Deși există ușoare diferențieri în implementarea comenzilor SQL în diferite pachete comerciale de baze de date relaționale, cele mai frecvente comenzi utilizate în SGBDR existente pe piață sunt prezentate mai jos:

- Comenzi pentru operații cu tabele și fișiere ale bazei de date:
 - a) Pentru a defini sau modifica tabele și fișiere:
CREATE, MODIFY, ALTER.
 - b) Pentru a utiliza tabele sau fișiere ale bazei de date:
OPEN, USE, CLOSE.
 - c) Pentru a manipula tabele sau fișiere:
SELECT, JOIN, UPDATE, COPY, APPEND FROM.

- Comenzi pentru operații cu linii (înregistrări):
 - a) Pentru adăugare, modificare și ștergere înregistrări:
INSERT, APPEND, REPLACE, RECALL, EDIT, CHANGE, DELETE, PACK.
 - b) Pentru a căuta sau localiza elemente în baza de date:
SEARCH, SEEK, FIND, LOCATE, GO TO, SKIP.
 - c) Pentru a vizualiza sau lista date:
LIST, DISPLAY, REPORT.
 - d) Pentru a sorta și ordona înregistrări:
SORT, INDEX.
- Comenzi pentru operații cu variabile:
 - Pentru declararea și stocarea variabilelor:
DECLARE, RESTORE, SAVE, STORE.
- Comenzi pentru operații de calcul:
 - Pentru a executa anumite calcule:
SUM, AVERAGE, COUNT, TOTAL.
- Comenzi pentru controlul operațiilor:
 - Pentru aplicarea controlului asupra operațiilor:
IF...ELSE, ENDIF, DO WHILE, ENDDO, EXIT, RETURN, FUNCTION, PROCEDURE.

În exemplul numărul 1 (fig. 5.9), datele pentru analiză sunt conținute în două tabele, care trebuie legate printr-o declarație de tip JOIN. Clauza SQL folosită pentru selectarea tuturor conductelor ce îndeplinesc condițiile următoare: viteza de curgere a apei prin conducte de material 'BP' să fie mai mare decât 0.7 m/s, ar putea fi asemănătoare cu cea de mai jos.

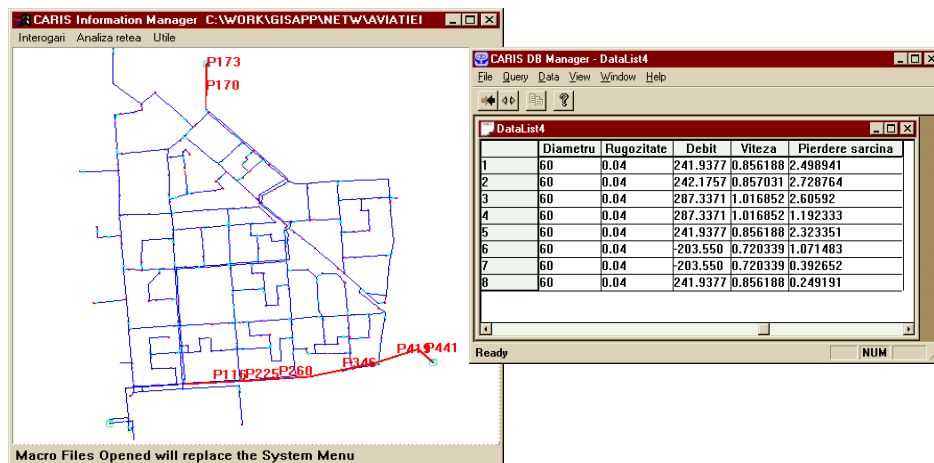


Figura 5.9 Rezultat al interogării (exemplul 1).

În exemplul numărul 2 (fig. 5.10) s-a urmărit realizarea unei hărți tematice prin clasificarea după presiunea apei în nodurile rețelei. Rezultatul vizualizat în fereastra GIS a fost obținut prin folosirea unor condiții transpuse în clauze SQL:

```
SELECT FROM ENconducte
WHERE Presiune >= 33
AND Presiune < 40
```

ceea ce este echivalent cu a scrie $33 \leq P < 40$ m.

Similar se procedează și pentru celelalte două intervale, pentru care:

$0 \leq P < 33$ m ,
respectiv:
 $40 \leq P$.

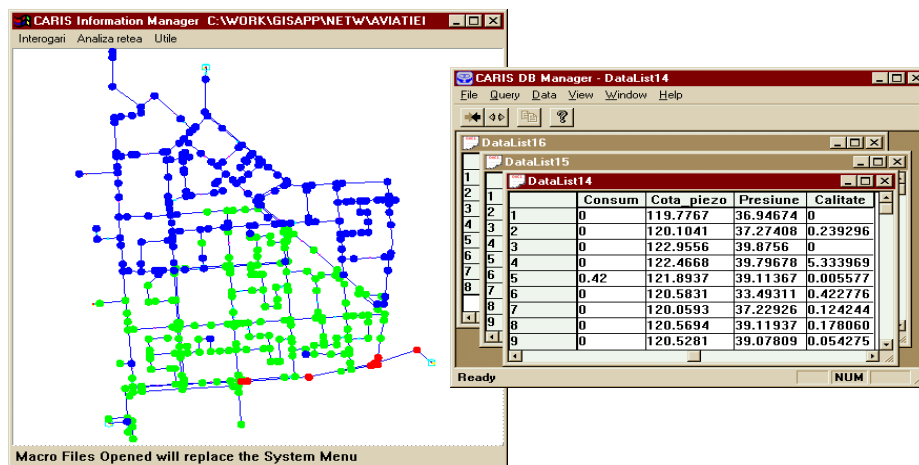


Figura 5.10 Rezultat al interogării (exemplul 2).

În exemplul numărul 3 (fig. 5.11), concentrația unei substanțe chimice (de regulă clor) este urmărită de-a lungul rețelei de conducte.

Interogarea realizată urmărește două atribute numerice:

- în care concentrația substanței este > 0 în nodurile rețelei,
- unde există consumatori, deci consumul > 0 .

Selecția rezultată este vizualizată în fereastra alăturată, pe hartă fiind marcată de asemenea și sursa de poluare. Entitățile grafice implicate în această analiză au ca identificator cheia primară a tabeli ENnoduri:

```
SELECT FROM ENnoduri
WHERE Calitate > 0
AND Consum > 0
```

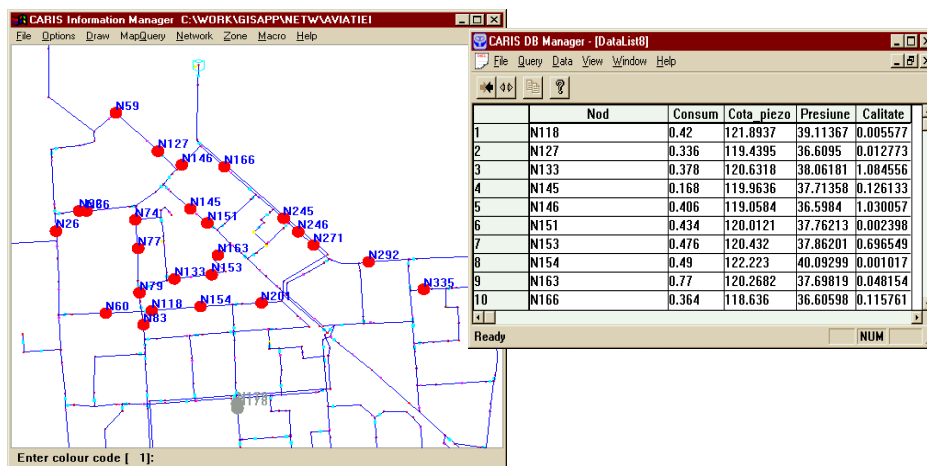


Figura 5.11 Rezultat al interogării (exemplul 3).

5.4.4 MODELUL ORIENTAT PE OBIECTE

Modelul de baze de date relaționale, respectiv SGBDR, sunt în prezent dominante pe piața de software specifică bazelor de date, în general, și în tehnologia GIS, în particular.

Dezvoltări recente în GIS și în domeniul bazelor de date au adus în prim plan abordarea orientată pe obiecte – OOGIS, respectiv OODBMS (Object Oriented).

Deși nu este o tehnologie foarte nouă, abordarea orientată pe obiecte este o adevărată modă a anilor '90. Conceptul s-a impus în lumea dezvoltatorilor de software odată cu succesul limbajului de programare C++ și a dus la ideea că modelul orientat pe obiecte ar putea fi unul din curente principale în dezvoltarea bazelor de date și a GIS în aceeași măsură.

Obiectivul fundamental al unei dezvoltări bazate pe modelul orientat pe obiecte (OO) este atingerea unui nivel mai înalt de abstractizare. Modelul OO este în mod particular util pentru aplicațiile GIS, deoarece permite manipularea unor obiecte și structuri de date complexe, modelând mai fidel realitatea.

Modelarea conceptuală în abordare OO folosește tehnici specifice ingineriei software ca generalizare, clasificare, moștenire și agregare. Pentru a explica modelul orientat pe obiecte, se vor prezenta în continuare, pe scurt, câteva din noțiunile fundamentale introduse de această tehnologie.

- *Obiectul* este o reprezentare a oricărei entități din lumea reală despre care OODBMS trebuie să stocheze date; obiectul reprezintă o instanță a unei clase (v. definiția clasei mai jos).

- *Identitatea obiectului* reprezintă un identificator unic, asociat obiectului atunci când acesta este creat și permite accesul la o entitate *via* obiect în sine și nu prin intermediul unui atribut al obiectului.

- *Atributele obiectului* sunt proprietăți ale acestuia.
- *Datele de tip abstract* sunt permise, în sensul că nu există o limitare la tipul clasic de dată ca întreg, real, caracter, logic etc. Pentru un GIS, astfel de tipuri de date pot fi definite: linie, punct etc.
- *Clasa* reprezintă un grup de obiecte care împart proprietăți comune. Clasele conțin un set de atribute ce descriu starea și caracteristicile obiectului și un set de metode care operează asupra datelor;
- *Metodele* obiectului pot fi moștenite de la o clasă “părinte” sau definite explicit pentru clasa respectivă. Astfel, toate obiectele pot avea atât metode comune cât și metode specifice tipului de obiect.

Modelul orientat pe obiecte încearcă să grupeze laolaltă toate datele care descriu o entitate din lumea reală precum și operațiile care se pot efectua cu entitatea respectivă într-un singur obiect al bazei de date, operație care se numește *încapsulare*. Spre deosebire de modelul relațional, care împarte datele în tabele și înregistrări, modelul orientat pe obiecte încearcă să rețină o relație mai strânsă între entitățile lumii reale și obiectele bazei de date.

Implementarea unui model orientat pe obiecte este destul de dificilă, din care cauză la ora actuală există doar câteva software-uri GIS complet dezvoltate în tehnologie OO, iar majoritatea se bazează pe o combinație între modelul relațional și abordarea orientată pe obiecte.

5.5 TIPURI DE SISTEME GIS DIN PUNCT DE VEDERE AL RELAȚIEI CU BAZA DE DATE

Problemele discutate în acest capitol se referă nu numai la stocarea atributelor textuale, ci și la stocarea și manipularea datelor spațiale sau geografice (coordonatele și relațiile topologice ale obiectelor spațiale).

Sistemele GIS diferă prin metodele pe care le folosesc pentru stocarea datelor, în mod particular în legătura dintre atributele textuale și datele geografice. Primele sisteme GIS, construite pe modelul raster, aveau capacități limitate de a stoca atribute, în principal legate de celulele grilei raster. Dar aceste soluții nu sunt satisfăcătoare atunci când există un volum mare de atribute.

Majoritatea sistemelor GIS actuale încorporează în arhitectura lor SGBDR dezvoltat de companii specializate în software pentru baze de date, sau dezvoltat chiar de producătorul GIS pentru propriile nevoi. Unul dintre marile avantaje ale utilizării SGBDR pentru atributele textuale este acela că se evită duplicarea datelor și se oferă posibilitatea legării tabelor, prin intermediul cheilor străine, cu alte tabele de atribute.

Diferențele care apar între sistemele GIS constau în aceea că unele folosesc SGBDR numai pentru atributele textuale, preferând propriul software pentru manipularea datelor geografice, iar altele folosesc SGBDR pentru a gestiona

ambele tipuri de date textuale și spațiale. Primele sisteme formează așa numitul grup al *sistemelor duale*, din care fac parte celebrii ARC/INFO sau MGE INTERGRAPH, iar cea de-a doua categorie formează grupul *sistemelor integrate* (SYSTEM9, MapInfo).

Ambele tipuri de sisteme au avantaje comparative: pentru sistemele duale s-a argumentat faptul că datele geografice sunt prea complexe pentru a fi gestionate de SGBDR clasice, fiind deci necesar a fi dezvoltat un software adecvat pentru acest tip de date.

Sistemele integrate gestionează cu un SGBDR extins ambele tipuri de date, evitând astfel problemele de integritate a bazei de date (sincronizarea dintre baza de date grafică și cea de atribute este un neajuns al sistemelor duale și poate duce la inconsistența bazei de date).

Opinia curentă este aceea că sistemele duale sunt mai potrivite acestui tip de problemă și datorită faptului că pot asigura unele din cerințele standardelor OpenGIS, prin legarea la baze de date externe *via* protocoale de comunicație deschise gen ODBC, dar și pentru faptul că utilizând software proprietar special proiectat pentru a gestiona date spațiale, performanțele de ansamblu ale sistemului GIS sunt mai bune în domeniul analizei spațiale.

BIBLIOGRAFIE

Reeve D., *Attribute Data and Database Theory*. Course Notes. GIS Diploma Programme, Manchester University, 1994.

Ionescu F., Marinescu V., Marinescu M., Barbu C., *Essential GIS*. Conspress, București, 1999.

DeMers M., *Fundamentals of Geographic Information Systems*. John Wiley & Sons, 1997.

Mahoney R., P., *GIS and Utilities*. In: Maguire D. J., Goodchild M. F., Rhind D. W. (editori.) *Geographical Information Systems: principles and application*. Longman, London, pp. 101-113.

Laurini R., Thompson, D., *Fundamentals of Spatial Information Systems*. Academic Press, 1992.

Petch J., Cornelius S., Heywood I., *Visualisation*. Course Notes. GIS Diploma Programme, Manchester University, 1997.

Fotheringham A. S., Rogerson P., *Spatial Analysis and GIS*. Taylor and Francis, London, 1994.

Green A., *Simulating for success*. Water21. Magazine of the International Water Association, Nov.-Dec. Elsevier Science Ltd., Oxford, pp. 48-49.

Barbu C., *GIS Application for Water Distribution Networks Management*. UNIGIS – UTCB, GIS Diploma Programme “Geographical Information Systems in Environmental Protection and Edility”, București, 2000.

6 ANALIZA DATELOR SPAȚIALE

6.1 OPERAȚII ANALITICE ASUPRA UNUI SINGUR LAYER (SINGULARE)

6.1.1 MANIPULĂRI GEOMETRICE

Majoritatea programelor GIS au o serie de funcții care permit realizarea unor operații precum:

- scalare (modificări de scară);
- corectarea erorilor și distorsiunilor;
- ajustări ale marginilor hărților și între suprafețele învecinate;
- schimbarea proiecției;
- modificarea coordonatelor, etc.

6.1.1.1 Scalare (modificări de scară). Modificările de scară (*zoom*) sunt foarte utile în cazul generării unor imagini pe ecran. *Zoom*-ul poate fi activat atât în modulul GIS principal, cât și în programe utilitare, de vizualizare, cu mențiunea că ultimele sunt mai rapide.

Deși mai lent, *zoom*-ul din programul GIS poate include o serie de funcții “inteligente” care pot altera textul, grosimile de linii etc. în rapoarte diferite de ale scalării globale. În multe sisteme GIS există o limită de mărire a unei imagini.

6.1.1.2 Corectarea erorilor și distorsiunilor. Datele obținute prin digitizare conțin adesea erori și omisiuni, ca de exemplu: linii care au intersecții eronate, linii cu “șerpuiți” incorecte, puncte și chiar linii lipsă etc. Omisiunile sunt cel mai ușor corectate introducând date direct de la digitizor. Cea mai simplă și mai directă metodă de corectare a erorilor este prin utilizarea mouse-ului sau a tastaturii.

Cele mai multe sisteme GIS au o serie de funcții de editare a hărților care permit:

- suplimentarea datelor;
- copierea unor date;
- ștergerea unor date;
- mutarea unor puncte sau linii;
- rotirea unor linii;
- divizarea unor linii;
- unirea unor linii;
- alterări de formă a liniilor etc.

Figurile 6.1 și 6.2 prezintă două posibilități de corectare a datelor digitizate. În primul caz este făcută o completare a unor linii acolo unde apar întreruperi având o anumită mărime. Corecția automată este controlată de un parametru care trebuie ales cu discernământ de utilizator, deoarece în caz contrar se pot crea intersecții nerealiste. În al doilea caz corecția hărții s-a făcut prin eliminarea unor date (linia întreruptă) și reținerea formei corecte.

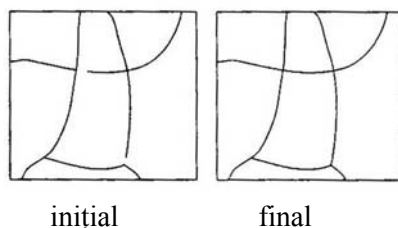


Figura 6.1 Corectarea automată a liniilor întrerupte (adaptare după T. Bernhardsen, 1992).

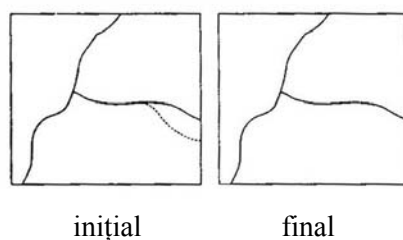


Figura 6.2 Corectarea hărții prin eliminarea (ștergerea) unor date (adaptare după T. Bernhardsen, 1992).

Datele corectate pot produce o hartă inacceptabilă din punct de vedere al utilizatorului. Uneori, imaginea afișată pe ecran poate să pară corectă, dar în realitate pot exista unele erori, care nu vor putea fi puse în evidență decât la încercarea de stabilire a conexiunilor logice.

Astfel, unele pachete GIS au funcții care calculează automat noduri și legături și compilează tabele de topologie. Prin crearea unor topologii inițiale sunt identificate erori precum: ① poligoane deschise; ② linii neconectate; ③ coduri de identificare a entităților lipsă sau care se repetă; ④ lipsa unor poligoane; ⑤ poligoane cu prea multe puncte de identificare.

Aceste erori pot fi marcate pe imaginile afișate cu simboluri specifice, ceea ce va ușura identificarea lor în vederea corectării manuale sau automate și obținerii topologiei finale.

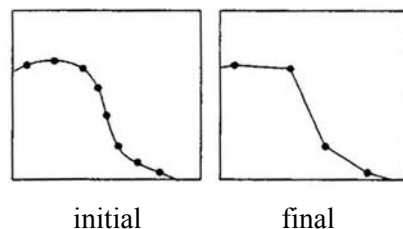


Figura 6.3 Eliminarea redundanței prin ștergerea unor puncte (adaptare după T. Bernhardsen, 1992).

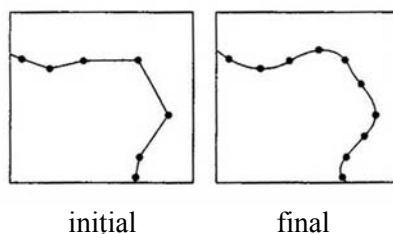


Figura 6.4 “Netezirea” liniilor prin suplimentarea numărului de puncte (adaptare după T. Bernhardsen, 1992).

Procesul de digitizare produce, adeseori, mai multe date decât cele strict necesare descrierii entităților geografice. Ca o măsură de corecție, majoritatea pachetelor GIS au funcții care permit eliminarea unor date considerate redundante¹ (fig. 6.3). Eliminarea acestor date este realizată prin diverse metode, dintre care cea mai simplă este ștergerea fiecărui al n -lea punct. În final, liniile inițial digitizate vor fi descrise de un număr mult mai mic de puncte sau vor fi înlocuite cu funcții de tip spline, ceea ce va reduce volumul de date cu până la 60-80%, fără a altera calitatea datelor.

Liniile definite printr-o serie de puncte par adeseori să aibă discontinuități. Pentru ameliorarea calității grafice a liniilor se folosesc metode de “netezire”, “îndulcire” a discontinuităților și obținerea unor curburi armonioase. De regulă, tehnicile de “netezire” sunt necesare doar la prezentarea pe ecran a hărților.

După cum se prezintă în figura 6.4, este necesară suplimentarea punctelor care definesc o linie. Printre metodele cele mai cunoscute se poate da ca exemplu utilizarea funcțiilor polinomiale de gradul 3.

Trebuie reținut că această “netezire” este folosită doar pentru a îmbunătăți imaginea care se afișează; liniile care au suferit această transformare nu sunt mai corecte decât cele inițiale.

¹ *Thinning coordinates*, în lb. Engleză.

6.1.1.3 Ajustări ale marginilor hărților și între suprafețele învecinate. Dacă o suprafață analizată se extinde pe două sau chiar mai multe foi de hartă, fiecare dintre acestea trebuie digitizată separat. Digitizarea introduce o serie de mici diferențe și nepotriviri între foile de hartă adiacente. Pentru a reconstitui harta, este necesară “lipirea” foilor adiacente după ce fiecare dintre acestea a trecut prin fazele de corectare și editare a datelor prezentate mai înainte. Procesul de “lipire” a foilor de hartă este cunoscut sub denumirea de *potrivirea marginilor*² și presupune parcurgerea a 3 etape:

1. rezolvarea nepotrivirilor de pe marginile fiecărei foi de hartă;
2. recrearea topologiilor, deoarece prin unirea liniilor de pe mai multe foi au luat naștere noi linii și/sau poligoane;
3. ștergerea liniilor de graniță considerate a fi redundante.

Procesul de *potrivire a marginilor* este ilustrat în figura 6.5. Metoda poate fi realizată automat, prin programul GIS, dar numărul mare de erori care pot apărea face necesară intervenția factorului uman într-o măsură relativ importantă.

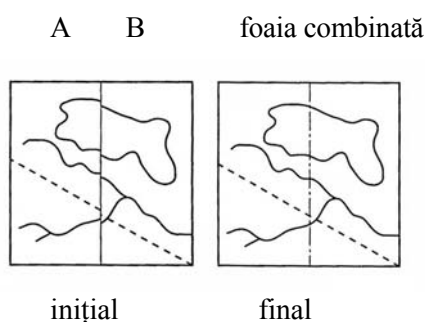


Figura 6.5 Ajustarea marginilor
(adaptare după I. Heywood et al., 1999).

Unele surse de date pot introduce distorsiuni în hărțile produse, distorsiuni care nu pot fi corectate prin funcții de transformare. Remedierea acestei probleme este realizată prin metoda denumită *deformarea elastică a hărții*³. Aceasta presupune deformarea hărții pe diverse direcții, ceea ce va obliga entitățile plasate greșit sau având forme eronate să se deformeze și să se deplaseze, menținându-se fixă doar poziția acelor entități corect reprezentate (fig. 6.6). Entitățile corect reprezentate sunt definite de o serie de puncte de control, a căror poziție poate fi identificată ușor, atât pe teren, cât și grafic, pe hartă.

² *Edge matching*, în lb. Engleză.

³ *Rubber sheeting*, în lb. Engleză.

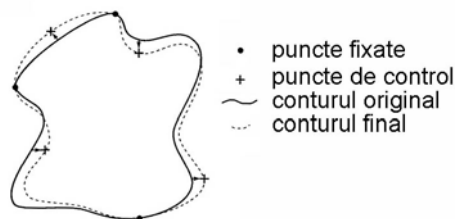


Figura 6.6 Corectarea distorsiunilor prin metoda deformării elastice a hărții (**adaptare după** I. Heywood et al., 1999).

Existența unui număr insuficient de puncte de control va conduce la obținerea unor rezultate nesatisfăcătoare ale metodei.

6.1.1.4 Schimbarea proiecției. Date provenind din diferite surse sunt, adeseori, raportate la diferite proiecții cartografice. Pentru a se putea efectua operații cu 2 sau mai multe layer-e de hartă este necesar ca datele să fie raportate la același sistem de proiecție. Acest deziderat este realizat prin transformarea datelor dintr-un sistem de proiecție în altul (fig. 6.7). Transformările se bazează pe o serie de relații matematice care descriu diverse proiecții cartografice existente sau definite de utilizator. De fapt, mărimile afectate de aceste transformări sunt coordonatele punctelor, care se vor raporta la noul sistem de proiecție.

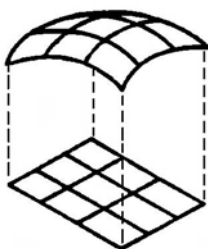


Figura 6.7 Ilustrare a conceptului de modificare a sistemului de proiecție a datelor geografice (**adaptare după** P.R. Coppin).

6.1.1.5 Modificarea coordonatelor. Necesitatea transformării coordonatelor datelor geografice este reliefată de următoarele aspecte:

- Uneori, erorile sistematice pot fi compensate dacă datele sunt transformate la o bază *error-free* (fără erori).
- Coordonatele aparținând punctelor unui layer trebuie să fie transformate pentru a le face compatibile cu cele ale unor puncte din alte layer-e. Această compatibilitate este necesară dacă se urmărește efectuarea unor operații între aceste layer-e.

Cele mai multe pachete GIS pot efectua o mare varietate de transformări de coordonate. Aceste transformări presupun folosirea unor funcții matematice care să relaționeze diferitele coordonate geografice între ele. O funcție de conversie conține, de asemenea, parametri bazați pe cunoașterea coordonatelor unor puncte comune sistemelor inițial, respectiv final, în care se dorește transformarea.

6.1.2 MĂSURĂTORI: LUNGIMI, PERIMETRE, ARII

Există mai multe metode de măsurare care se pot aplica asupra modelelor de tip raster sau vector. Orice măsurătoare reprezintă o aproximare (datele de tip vector sunt stocate sub forma unor colecții de segmente de dreaptă scurte, iar cele de tip raster sunt realizate printr-o matrice de celule grafice). Din această cauză este foarte posibil să se obțină rezultate diferite ale măsurătorilor efectuate, în funcție de modelul GIS (raster sau vector) și de metoda de măsurare utilizată.

6.1.2.1 Măsurători în modul raster. Distanța între punctele A și B (fig. 6.8) se poate calcula în mai multe moduri, obținându-se, în funcție de acestea, mai multe rezultate. Dintre cele mai cunoscute metode de calcul se pot da ca exemplu:

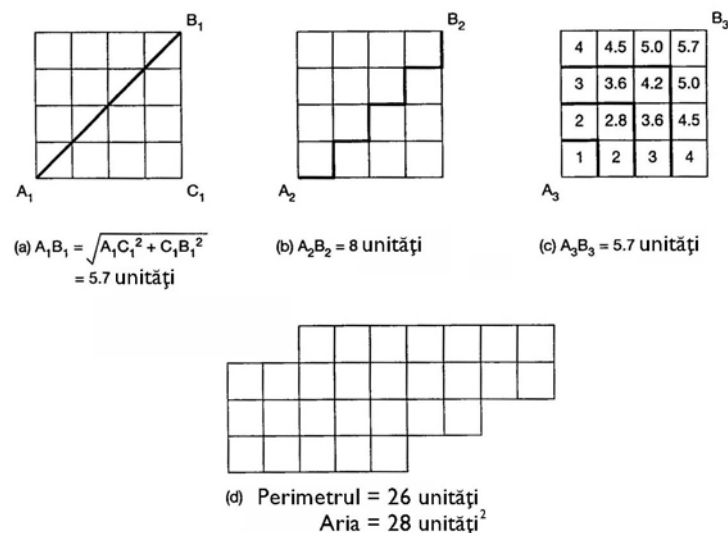


Figura 6.8 Măsurători în modelele raster: (a) distanța euclidiană; (b) distanța Manhattan; (c) distanțe calculate prin metoda proximității; (d) perimetrul și aria (adaptare după I. Heywood et al., 1999).

(a) *Distanța euclidiană* reprezintă cea mai scurtă distanță și se bazează pe binecunoscuta teoremă a lui Pitagora. Aplicând relația geometrică se determină lungimea segmentului AB:

$$AB = \sqrt{AC^2 + CB^2} \quad (6.1)$$

Distanța calculată în acest mod, fiind cea mai scurtă, se mai numește “distanță zbor-de-cioară”.

(b) *Distanța Manhattan* se calculează numărând laturile celulelor grafice necesare ajungerii din punctul A în punctul B pe drumul cel mai scurt. Denumirea provine din modul în care un pieton poate parcurge distanța dintre două puncte într-un oraș american, în care străzile alcătuiesc o rețea rectangulară.

(c) *Metoda proximității* (J.K. Berry, 1993) presupune crearea unor zone concentrice, echidistante, în jurul punctului de plecare. În acest mod se pot vizualiza direct pe ecran distanțele cele mai scurte dintre oricare dintre punctele de pe hartă și punctul de referință.

Pentru calculul perimetrelor în modelele raster, numărul pixelilor care formează laturile unui poligon se înmulțește cu rezoluția rețelei raster.

Pentru calculul ariilor se evaluează într-o primă etapă numărul de pixeli ocupați de poligonul de interes. Acest număr se înmulțește, în final, cu aria unui pixel.

Un factor care influențează calculul distanțelor, perimetrelor și ariilor în modelele raster este rezoluția. Aceasta influențează precizia reprezentării. Calculul perimetrelor și ariilor poate fi afectat, de asemenea, de originea și orientarea rețelei raster. Pentru a evita acest tip de probleme se recomandă orientarea rețelelor pe aliniamentul Nord-Sud și folosirea unor origini “consistente”.

În cazul reprezentării *quadtree* calculul ariei va depinde de nivelul de cuadratură folosit.

6.1.2.2 Măsurători în modul vector. În modelele vector distanțele sunt măsurate cu ajutorul teoremei lui Pitagora, deci se obțin distanțe euclidiene.

Perimetrele se evaluează însumând lungimile laturilor componente ale poligonului.

Ariile se obțin prin însumarea ariilor unor poligoane mai simple în care se poate împărți poligonul analizat (fig. 6.9).

Pentru calculul ariilor, metoda cel mai frecvent folosită este cea “a trapezelor”. Astfel, pornind de la laturile poligonului se construiește un set de trapeze, fiecare definit de o latură a poligonului, de două perpendiculare coborâte din capetele laturii pe o axă orizontală și de axa orizontală (fig. 6.10).

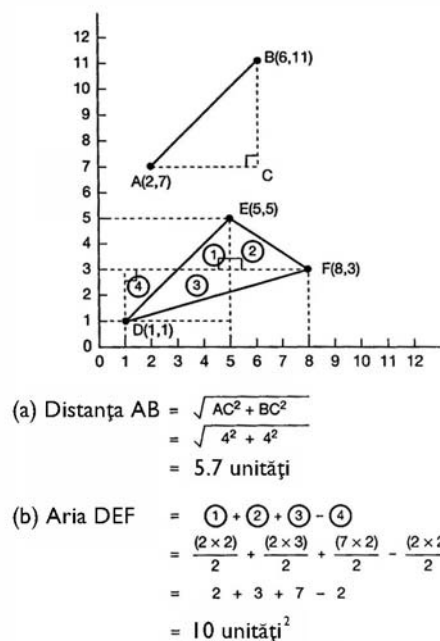


Figura 6.9 Măsurători în modelele vector: (a) distanța euclidiană; (b) aria (adaptare după I. Heywood et al., 1999).

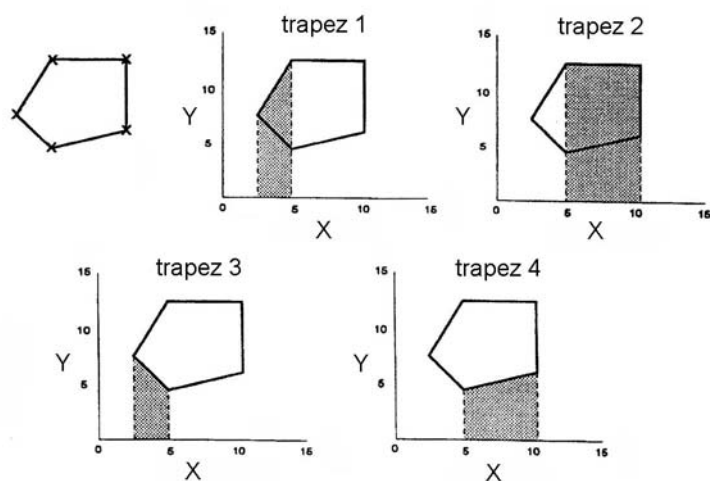


Figura 6.10 Măsurători ale ariilor în modelele vector prin metoda trapezelor (adaptare după S. Cornelius et al., 1998).

Calculul ariei fiecărui trapez se face după relația:

$$\text{Aria} = (x_2 - x_1) * (y_1 + y_2) / 2 . \quad (6.2)$$

De exemplu, în cazul trapezului 1 aria este:

$$A_1 = (5 - 2,5) * (8 + 13) / 2 = 26,25 \text{ unități}^2 . \quad (6.3)$$

Aria poligonului se calculează scăzând din aria totală a trapezelor situate parțial în interiorul, cât și în exteriorul poligonului, aria totală a trapezelor situate în întregime în exteriorul poligonului analizat.

$$A = (A_1 + A_2) - (A_3 + A_4) . \quad (6.4)$$

În modelele vector lungimile, perimetrele și ariile pot fi stocate într-o bază de date, ca atribute. Avantajul este că acestea se vor calcula o singură dată, valorile rezultate fiind salvate în baza de date asociată, din care se vor citi ori de câte ori este necesar.

6.1.3 INTEROGĂRI

Interogarea bazei de date ocupă un loc central în majoritatea aplicațiilor GIS. Prin interogare se realizează “recuperarea” datelor, operație utilă în toate etapele elaborării unui proiect GIS.

Interogările se pot realiza asupra unor date care fac parte din baza de date existentă, dar se pot realiza și asupra unor date rezultate în urma unor operații analitice.

Majoritatea specialiștilor identifică două tipuri de interogări:

1. **Aspațiale** (nespațiale). Aceste interogări se referă la atributele entităților analizate și de aceea se mai numesc și “*interogări după atribut*”. De exemplu: “Câte spații comerciale se găsesc în zona X?” Acest tip de interogare, care nu presupune analiza componentei spațiale a datelor, poate fi efectuată cu ușurință de programul de gestiune a bazei de date. Rezultatul se va afișa sub forma unei liste sau tabel.

2. **Spațiale**. O interogare de genul “Unde se află spațiile comerciale din zona X?” presupune analiza componentei spațiale a bazei de date și este realizată în cadrul programului GIS. Rezultatul (amplasarea spațiilor comerciale) poate fi sub forma unui raport (listă) și se poate reprezenta grafic, pe hartă.

Conform J. Dangermond (1983), există 5 tipuri de metode de “recuperare” a datelor: ① căutare în baza de date; ② utilizarea unei ferestre de selectare;

③ utilizarea unei ferestre de generare de interogări; ④ interogarea hărților cu foi multiple și ⑤ recuperarea Booleană a atributelor entităților.

Primele trei metode nu presupun recuperarea propriu-zisă a atributelor, dar pot reprezenta o etapă pregătitoare importantă, prin localizarea corectă a zonei cuprinzând datele de interes. Ultimele două metode sunt cele mai importante pentru realizarea interogărilor bazelor de date GIS.

Cu ajutorul operatorilor Booleani se pot realiza interogări complexe, care să satisfacă mai multe criterii. Astfel, se pot combina interogări spațiale cu cele aspațiale, ca de exemplu: “Unde se află spațiile comerciale din zona X **ȘI** care vând produse de panificație?”

În figura 6.11 sunt ilustrați operatorii algebrei Booleane utilizați în proiectele GIS. Aceștia sunt: **AND (ȘI)**, **OR (SAU)**, **NOT**, **XOR (SAU EXCLUSIV)**.

Interogările se referă, de regulă, la un singur layer analizat, dar ele pot opera și asupra mai multor layer-e, în acest caz ele devenind operații binare sau “n”-are.

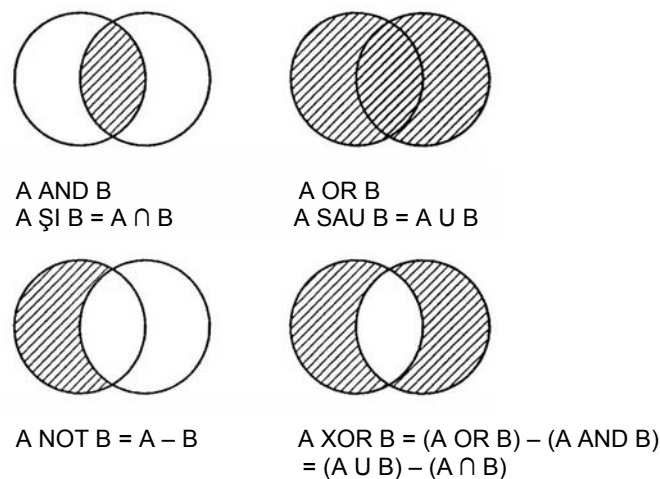


Figura 6.11 Operatori logici (Booleani) utilizați în proiectele GIS.

Există unele particularități ale interogării, în funcție de tipul de model GIS la care se aplică.

Astfel, în cazul modelelor vector ușurința cu care se pot realiza interogările depinde de relațiile dintre datele de tip grafic și cele de tip atribut. Avantajul modelelor vectoriale este crearea legăturii între cele două tipuri de date imediat ce se crează o topologie. Dacă fiecărei entități grafice îi este atribuit un identificator unic, acesta poate fi utilizat pentru a referenția un tabel al unei baze de date conținând toate atributele asociate datelor grafice.

În cazul modelelor raster, interogările se referă la un anumit pixel (care este conținutul acestuia sau care este poziția sa). Răspunsul la aceste interogări va depinde de tipul structurii de date folosite:

- raster simplu;
- codificare pe linii;
- codificare în lanț;
- codificare în bloc;
- o structură ierarhică, ca de exemplu *quadtree*.

În fiecare din aceste cazuri determinantă este metoda de indexare folosită pentru a identifica poziția fiecărui pixel în fișierul GIS.

6.1.4 FUNCȚII DE VECINĂTATE

Funcțiile de vecinătate evaluează caracteristicile ariei din jurul unei locații grafice specificate. De regulă, orice funcție de acest tip necesită precizarea a cel puțin 3 parametri:

- una sau mai multe “ținte” (locații de interes);
- o caracteristică a vecinătății din jurul fiecărei “ținte”;
- o operație care se va efectua asupra elementelor din acea vecinătate.

Aplicarea multor operații de vecinătate necesită folosirea unor diviziuni regulate ale stratului geografic analizat. De aceea, modelele raster par a fi mai convenabile în cazul acestor operații. Aceasta face ca unele modele vector să fie transformate în modele raster pentru analizele de vecinătate, după încheierea cărora are loc revenirea la formatul vector inițial. Există însă programe GIS care folosesc algoritmi specifici în cazul operațiilor de vecinătate ale modelelor vectoriale.

Printre cele mai cunoscute funcții de vecinătate se pot enumera **buffering-ul** și **funcția de căutare**.

- *Buffering-ul* presupune crearea de zone de interes la anumite distanțe în jurul entităților (puncte, linii, poligoane). Pentru o serie de entități se pot genera zone tampon cu lățime constantă sau variabilă, în funcție de valorile unor anumite atribute asociate entităților geografice. Zonele tampon sunt create ca poligoane deoarece ele reprezintă arii în jurul, în exteriorul sau în interiorul unor entități. Figura 6.12 prezintă exemple de zone tampon create în jurul entităților GIS cunoscute.

Generarea de zone tampon se bazează pe măsurarea distanței de la entitatea respectivă și, posibil, pe valoarea unor anumite atribute ale entităților selectate. În funcție de aceste atribute se pot genera zone tampon la diferite distanțe. De exemplu, zona de influență a unei autostrăzi este mai mare decât a unui drum național, a cărei zonă de influență este, la rândul ei, mai mare decât în cazul unui drum județean sau comunal. Pe baza considerentelor de mai înainte, într-o analiză se vor genera zone tampon la distanțe mai mari (de exemplu, la 3 km) în jurul autostrăzilor decât în cel al drumurilor naționale (de exemplu, la 1,5 km),

cele mai mici distanțe fiind în cazul drumurilor comunale (de exemplu, la 250 m).

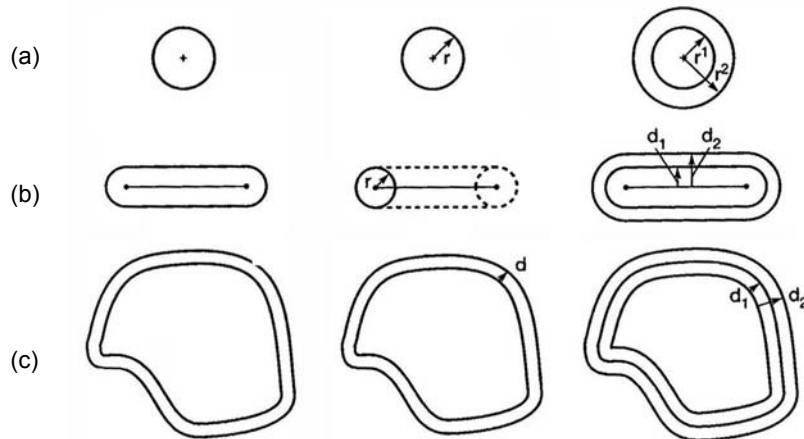


Figura 6.12 Zone tampon create în jurul entităților GIS: (a) punct; (b) linie; (c) poligon (**după** I. Heywood et al., 1999).

Buffering-ul este, de regulă, izotrop (bazat pe arii circulare), dar există unele programe GIS care pot genera zone tampon anizotrope (doar într-o anumită direcție).

În sistemele raster zonele tampon rezultă din calculul distanțelor cu metoda proximității (numărul de celule grafice * mărimea celulei). Ca rezultat este produs un nou layer raster în care fiecare celulă grafică are ca atribut distanța calculată. În modelele vector zonele tampon sunt create de regulă prin folosirea unei singure comenzi sau opțiuni dar aceasta lansează un calcul geometric, ceea ce poate fi un proces consumator de timp. În concluzie, *buffering*-ul se poate realiza mult mai rapid în sistemele raster.

- *Funcția de căutare* atribuie o valoare fiecărei entități “țintă” pe baza unor atribute ale celulelor grafice învecinate. Funcțiile de căutare sunt, de regulă, predefinite în cadrul programelor GIS. Suprafața de căutare este, în cele mai multe cazuri, de formă circulară, dreptunghiulară sau pătrată, având dimensiuni stabilite de utilizator. Alteori, această suprafață poate avea o formă neregulată, generată de o funcție specificată de utilizator.

Funcțiile de căutare sunt de două tipuri:

1. Care operează asupra atributelor de tip numeric (valori continue): valoarea totală, media, moda, maxima, minima, precum și măsuri ale variabilității (abaterea pătratică medie, dispersia etc.).

2. Care operează asupra atributelor de tip tematic. Aceste funcții sunt similare celor din prima categorie, având însă semnificații diferite, ca de exemplu: “majoritatea” este similară cu moda; “cea mai ridicată” este similară cu maxima; “cea mai scăzută” este similară cu minima.

Există cazuri (în special în sistemele raster) în care se aplică funcții de căutare fiecărei celule grafice, prin aplicarea și deplasarea în layer-ul respectiv a unei ferestre cu o anumită dimensiune. Fereastra se numește *filtru* și ea permite modificarea valorii atributului unei celule grafice pe baza valorilor atributelor celulelor grafice învecinate. Pe scurt, filtrul reprezintă un grup de celule grafice care au în centru celula-țintă. Noua valoare, atribuită celulei-țintă odată cu operația de filtrare, este calculată cu ajutorul funcțiilor de căutare descrise anterior.

6.1.5 RECLASIFICAREA

Filtrarea datelor deja clasificate va avea ca rezultat o **reclasificare** a celulelor grafice. Reclasificarea poate fi de două tipuri:

1. Asistată (supervizată); în acest caz utilizatorul deține controlul procesului de reclasificare, stabilind clasele care să se folosească, reglementându-se astfel modificările asupra unei anumite celule grafice (pixel).
2. Neasistată (nesupervizată); în acest caz este utilizat un algoritm care compară valoarea celulei grafice selectate pentru modificare (țintă) cu valorile tuturor celorlalte celule grafice.

Reclasificarea poate fi utilizată pentru a izola entități având aceleași valori ale unui anumit atribut. Spre exemplu, atribuind tuturor celulelor grafice reprezentând spații comerciale valoarea 1 și tuturor celorlalte valoarea 0, această reclasificare va produce o nouă imagine, de tip Boolean (cu valori ale atributelor egale numai cu 0 și 1). În noua imagine se vor distinge clar spațiile comerciale.

Reclasificarea se poate aplica și în cazul modelelor vectoriale. Figura 6.13 prezintă un astfel de exemplu, în care poligoanele având atributele A1, A2, A3 au fost reclasificate, atribuindu-li-se noul atribut A. După reclasificare a fost posibilă eliminarea frontierelor poligoanelor cu același atribut, obținându-se un singur poligon A, de dimensiuni mai mari.

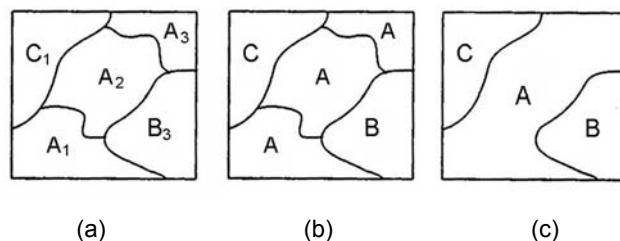


Figura 6.13 Reclasificarea în modelele vectoriale: (a) situația inițială; (b) reclasificare prin modificarea atributelor; (c) reclasificare prin agregarea poligoanelor având același atribut (după T. Bernhardsen, 1992).

6.2 OPERAȚII ANALITICE ASUPRA MAI MULTOR LAYER-E (ANALIZĂ SPAȚIALĂ MULTIPLĂ SAU OPERAȚII “n”-ARE)

Operațiile de analiză spațială multiplă presupun utilizarea datelor provenind din:

- două sau mai multe straturi (layer-e) GIS;
- două sau mai multe obiecte într-un GIS bazat pe obiect;
- un layer GIS și o sursă externă de date.

Există o serie de probleme în aplicarea operațiilor cu mai multe layer-e, care vor fi prezentate, succint, în cele ce urmează.

- *Sursele de date și calitatea acestora.* Dacă există 2 layer-e GIS care trebuie integrate și unul din ele este de calitate slabă sau are erori necunoscute de utilizator, rezultatul integrării poate fi eronat. Dacă se cunosc diverse informații despre erorile unui layer utilizatorul ar putea face o serie de corecții, prin compensări sau transformări. Există, de altfel, programe GIS care au operații care transformă datele cu scopul compensării distorsiunilor sistematice. Dacă nu există informații privind erorile apărute în anumite porțiuni ale unui layer utilizatorul poate apela la tehnici de tip *fuzzy*, care operează cu mulțimi nuanțate, cu elemente de incertitudine.

- *Scara.* În cazul a 2 layer-e care se integrează este recomandat ca acestea să provină din surse realizate la aceeași scară, având, deci, același nivel de detaliu.

- *Sistemul de proiecție.* Pentru ca rezultatele operațiilor “n”-are să fie corecte trebuie ca toate layer-ele să conțină date reprezentate în același sistem de proiecție. Multe pachete GIS au comenzi care convertesc datele dintr-un sistem de proiecție în altul. Această conversie trebuie efectuată înainte de a se trece la integrarea propriu-zisă a layer-elor.

- *Structura de date.* Pentru majoritatea operațiilor care se efectuează cu două sau mai multe layer-e este necesar ca acestea să fie reprezentate utilizând același model de date și aceeași structură de date. Astfel, dacă un layer este raster, atunci și celălalt/ celelalte trebuie să fie raster. Există însă și unele excepții de la această regulă. Pachetele moderne GIS au chiar posibilitatea integrării raster – vector.

- *Referențierea spațială.* Toate layer-ele care se integrează trebuie să utilizeze un sistem de referențiere spațială unic.

6.2.1 INTEGRAREA DATELOR. SUPRAPUNEREA HĂRȚILOR

Capacitatea de a integra date provenind din două surse diferite cu ajutorul operației de suprapunere (*overlay*) a hărților este, probabil, funcția fundamentală a unui program GIS. Astfel, este posibil să fie selectate două layer-e diferite tematic ale aceleiași suprafețe care vor fi, ulterior, suprapuse pentru a forma un nou layer. Originile acestei operații datează din 1969, o contribuție deosebită datorându-i-se lui I.L. McHarg.

Overlay-ul este una din operațiile care fac ca programele GIS să se deosebească de sisteme precum CAD⁴ sau DBMS⁵.

Ca și în cazul altor operații și analize efectuate în proiectele GIS, există o serie de diferențe în modul de realizare a suprapunerii layer-elor în sistemele raster și cele vector. În cazul unui model vectorial *overlay*-ul este o operație consumatoare de timp, complexă și scumpă din punct de vedere al calculului automat. În cazul unui model raster aceeași operație este destul de rapidă, simplă, cu desfășurare liniară, clară, eficientă.

6.2.1.1 Overlay în modul raster. După cum s-a menționat anterior, această operație este simplă, constând în crearea unui nou layer, cu ajutorul valorilor provenind din două sau mai multe layer-e sursă.

Pentru fiecare pixel al layer-elor sursă se pot aplica diverși operatori numerici sau logici. Pixelul-*output* va lua o valoare egală cu rezultatul expresiei numerice sau logice respective.

Dintre metodele uzuale de combinare a layer-elor de date se pot menționa:

- **Adunarea;** fie x și y valorile pixelilor-*input* din cele 2 layer-e care se integrează iar z valoarea pixelului-*output*, aparținând layer-ului rezultat. Pixelul-*output* ia valoarea $z = x + y$.
- **Înmulțirea (multiplicarea):** $z = x * y$.
- **Scăderea:** $z = x - y$.

⁴ *Computer-Aided Design* = Proiectare Asistată de Calculator, în lb. Engleză.

⁵ *Data Base Management System* = Sistem de Gestiune a Bazelor de Date, în lb. Engleză.

- **Împărțirea:** $z = x / y$.
- z ia **valoarea maximă:**
$$\begin{matrix} z = x & \text{dacă} & x > y \\ z = y & \text{dacă} & y > x \end{matrix}$$
- z determinat de verificarea unor **condiții logice:**
$$\begin{matrix} \text{if } y > 50, & z = y \\ \text{else} & z = x \end{matrix}$$
- z determinat de valori-*output* noi pentru fiecare combinație unică a

valorilor-*input*:

x	y	z
10	20	1
10	30	2
20	20	3
20	30	4
- z determinat prin ponderare sau alte calcule.

Figura 6.14 exemplifică suprapunerea a 2 layer-e, utilizând câțiva dintre operatorii enumerați anterior.

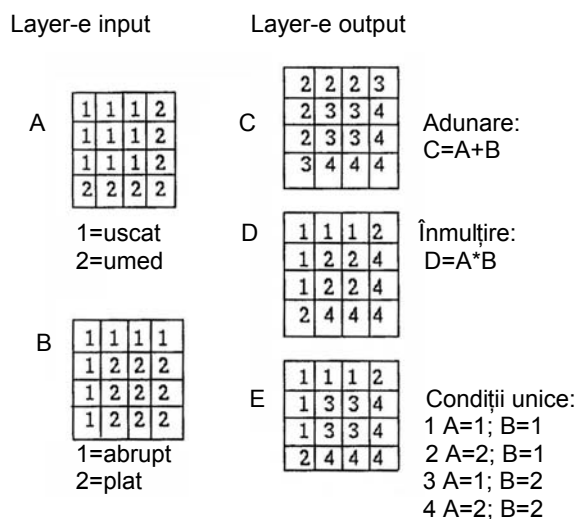


Figura 6.14 Overlay în modul raster
(adaptare după S. Cornelius et al., 1998).

În cazul unei structuri de date de tip *quadtree* operația de *overlay* nu se poate efectua la fel de simplu ca în cazul modelelor raster propriu-zise. De regulă, arborii *quadtree-input* sunt parcurși simultan, cu scopul obținerii unui arbore *quadtree-output* în care fiecare element să conțină atribute din toți arborii-*input*.

Printre problemele apărute în timpul operației de *overlay* se pot enumera:

- *Rezoluția*. Cele două sau mai multe layer-e care se integrează trebuie să fie codificate folosind aceeași rezoluție. Spre exemplu, suprapunerea unui layer cu rezoluția de 10 m cu un alt layer cu rezoluția de 40 m va produce un layer cu rezoluția de 10 m, care va conține însă informații cu erori provenind din layer-ul cu rezoluția mai mică (de 40 m), pentru că în acest layer nu se dispune de date având nivelul necesar de detaliere.

- *Scările de măsură*. Combinarea layer-elor având scări diferite, incompatibile, de măsură, pot genera rezultate fără sens. Dintre scările de măsură se pot aminti:

- *nominală*, echivalentă cu un număr de identificare. Numerele atribuite nu au altă semnificație decât aceea că reprezintă categorii distincte.
- *ordinală*, provenind din sortarea și ordonarea datelor, fără a se preciza nimic altceva despre relațiile numerice dintre date.
- *interval*; spre exemplu, valorile temperaturii, măsurate în grade Celsius sau Fahrenheit.
- *raport (rată)*, în cazul în care valorile pot fi exprimate ca rapoarte, cum este cazul ratei inflației, al distanțelor, al debitelor etc.

6.2.1.2 Overlay în modul vector. Dacă se dorește *overlay*-ul a două layer-e vector utilizatorul trebuie să se asigure că acele layer-e sunt topologic corecte, adică liniile se intersectează formând noduri și toate poligoanele sunt închise. Astfel, harta rezultată va fi, la rândul ei, corectă din punct de vedere topologic.

Principalele etape în desfășurarea unei operații de *overlay* între două layer-e în format vectorial sunt:

- calculează punctele de intersecție între linii;
- formează noduri și legături;
- stabilește topologia pentru noul layer (deci definește și o serie de noi obiecte);
- acolo unde este cazul, elimină poligoanele excesiv de mici și unește poligoanele având aceleași atribute;
- compilează atribute noi și suplimentează tabelele de atribute din baza de date asociată.

Crearea topologiei pentru layer-ul rezultat în urma operației *overlay* necesită, prin urmare, adăugarea unor noi intersecții între linii și apariția unor noi poligoane, lucru posibil printr-o serie de calcule geometrice. În cazul unor layer-e complexe, această etapă este un proces destul de complicat și necesită putere de calcul considerabilă pentru a se realiza în timpi acceptabili. Spre exemplu, pe un calculator puternic sunt necesare 15...60 minute pentru *overlay* între două layer-e de complexitate medie.

Figura 6.15 exemplifică *overlay*-ul a două layer-e vector și crearea de noi topologii în layer-ul rezultat.

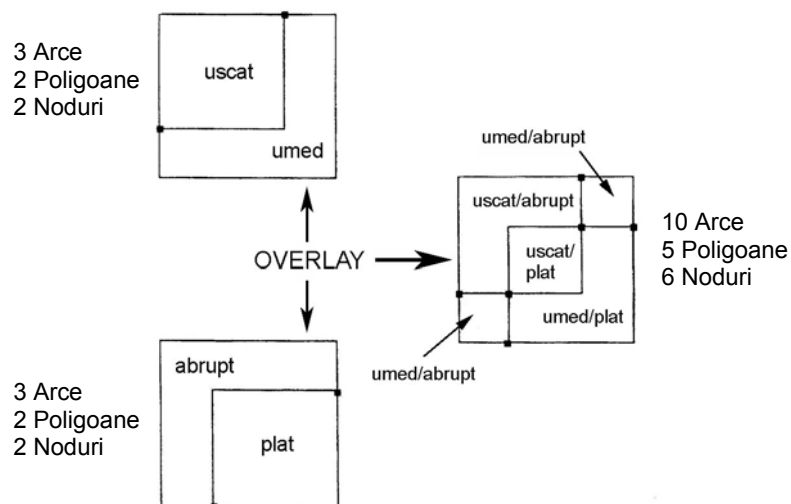


Figura 6.15 Overlay în modul vector (adaptare după S. Cornelius et al., 1998).

Există 3 tipuri de *overlay* în sistemele vector:

1 - Punct-în-poligon (fig. 6.16) - o operație spațială destul de comună este aflarea dacă un anumit punct "cade" în interiorul unui poligon dat.

Pentru fiecare punct din layer-ul de puncte se va crea un nou atribut, care este atributul poligonului în interiorul căruia se va afla punctul respectiv. Astfel, punctul din interiorul poligonului va avea 2 atribute: pe cel inițial și pe cel al poligonului. Există mai multe metode de rezolvare a problemelor de suprapunere *punct-în-poligon*, dar cea mai cunoscută este metoda Jordan.

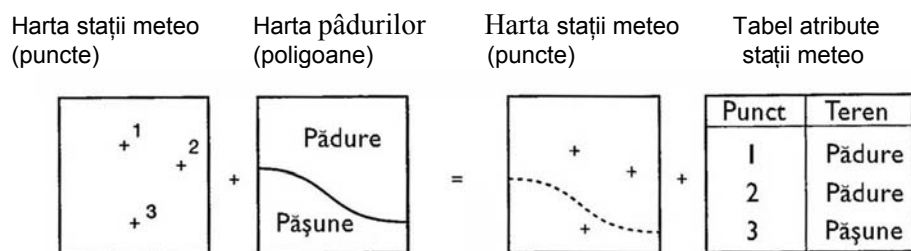


Figura 6.16 Overlay vectorial de tip punct-în-poligon (adaptare după I. Heywood et al., 1999).

Figura 6.17 ilustrează această metodă, care presupune parcurgerea următoarelor etape:

- se duc linii orizontale/verticale de la fiecare punct până în marginea layer-ului;
- se numără intersecțiile liniilor ajutătoare cu laturile poligonului. Dacă acest număr este impar, punctul se află în interiorul poligonului. Dacă numărul este par, punctul se află în exterior.

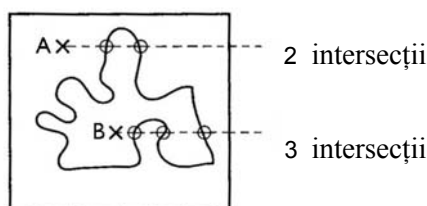


Figura 6.17. Metoda Jordan de *overlay* punct-în-poligon
(adaptare după I. Heywood et al., 1999).

Pot exista unele probleme dacă punctul se află chiar pe latura poligonului. Rezolvarea acestor probleme depinde de criteriul de decizie implementat în pachetul GIS.

2 - Linie-în-poligon - aceasta este o operație mai complexă decât *overlay*-ul punct-în-poligon, deoarece o linie poate să “cadă” în interiorul a 2 sau mai multe poligoane. Astfel, nu va fi suficientă adăugarea unui singur set de attribute noi layer-ului conținând linia. Linia trebuie să fie divizată la fiecare punct de intersecție cu o latură a unui poligon. Fiecare segment astfel obținut va “moșteni” attributele poligonului în care este conținut. Rezultatul va fi crearea unui nou layer pentru linia respectivă care va conține mai multe segmente decât ale liniei inițiale (fig. 6.18).

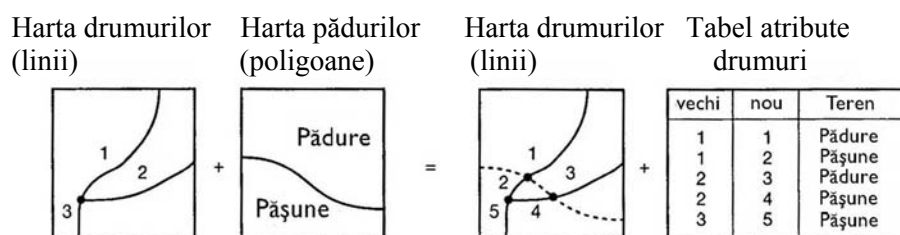


Figura 6.18. *Overlay* vectorial de tip linie-în-poligon
(adaptare după I. Heywood et al., 1999).

3 - Poligon-pe-poligon - sunt analize care se fac frecvent în proiectele GIS și pentru utilizarea lor eficientă este necesar ca utilizatorul să înțeleagă elementele algebrei Boolene și a teoriei eșantionării. Figura 6.19 ilustrează câteva posibilități de *overlay* de tip poligon-pe-poligon, în care se folosesc diferiți operatori logici (Boole).

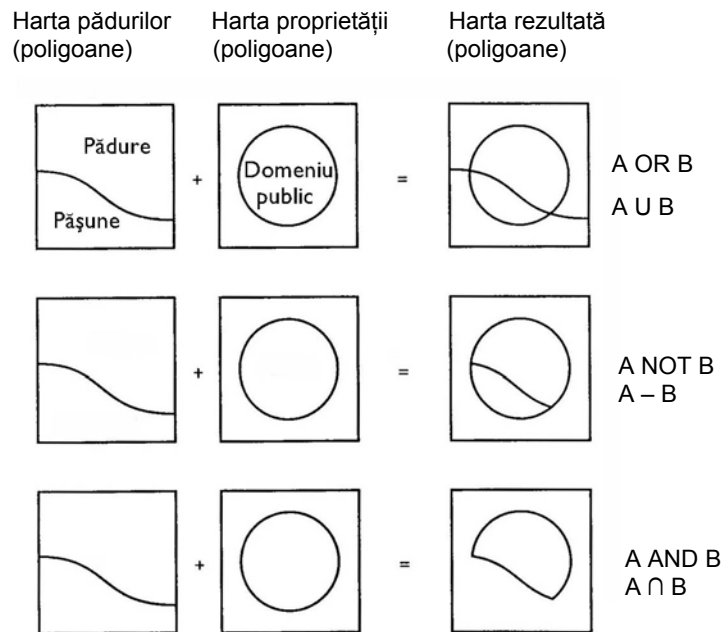


Figura 6.19 *Overlay* vector de tip poligon-pe-poligon
(adaptare după I. Heywood et al., 1999).

Una din problemele care pot afecta *overlay*-ul vector este posibila generare de poligoane *sliver* (“false”, “ciudate”). Acestea pot apărea dacă se încearcă suprapunerea a două layer-e conținând aceleași entități spațiale, de suprafețe egale, provenind din două surse diferite sau digitizate de două persoane diferite. Rezultatul operației de *overlay* va fi apariția unor poligoane alungite și înguste pe laturile poligoanelor, în locul unei singure linii. Aceste poligoane *sliver* apar ca urmare a inconsistenței și lipsei de acuratețe a datelor digitizate (fig. 6.20). Frecvent aceste erori rămân nedetectate până la punerea lor în evidență în timpul *overlay*-ului de tip vector. Ca metode posibile de eliminare a poligoanelor *sliver* utilizatorul are la dispoziție două variante:

- ștergerea lor **în timpul** operației de *overlay*;
- ștergerea lor **după** efectuarea *overlay*-ului.

O altă problemă este aceea că layer-ul rezultat va produce un fișier mai mare decât cel inițial. O explicație este că noul layer conține un număr mai mare de puncte, linii și poligoane, iar numărul atributelor acestora este mai mare decât al layer-ilor sursă. În acest mod pot apărea probleme legate de spațiul de stocare și de operare pe calculator a acestor fișiere de dimensiuni mari. De asemenea, procesarea acestor fișiere va necesita durate de timp mai mari.

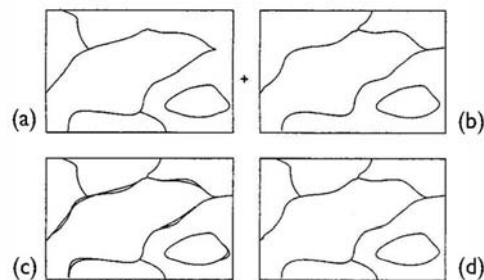


Figura 6.20 Overlay-ul layer-elor (a) și (b) poate produce poligoane *sliver* (c). Corectarea lor se poate face automat (d) (după T. Bernhardsen, 1992).

6.2.1.3 Overlay combinat raster - vector. Este posibilă suprapunerea entităților vectoriale peste cele raster. Acest *overlay* este *virtual* sau *grafic* și nu presupune integrarea celor 2 layer-e de hartă. Cu alte cuvinte nu se produc modificări în baza de date.

Un *overlay* grafic necesită o ordine bine definită a operațiilor. Este posibilă suprapunerea unei imagini vectoriale peste un fundal raster, în timp ce operația inversă va produce acoperirea imaginii vectoriale de cea în sistem raster (fig. 6.21).

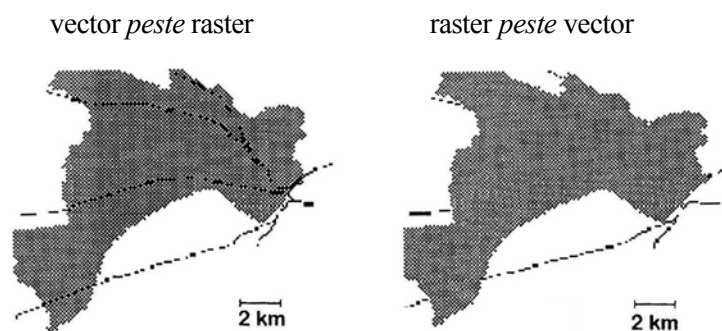


Figura 6.21 Overlay combinat raster – vector (adaptare după S. Cornelius et al., 1998).

În ultimii ani au apărut pachete GIS care au capacitatea unei integrări complete raster-vector. De regulă, operația de *overlay* necesită etichetarea entităților vector cu atributele pixelilor layer-ului în sistem raster pe care-i intersectează și invers.

6.3 MODELAREA CARTOGRAFICĂ

Conceptul de modelare cartografică sau algebră cartografică⁶ a fost introdus pentru prima oară de C.D. Tomlin, în 1983. Algebra cartografică aplică relații aritmetice de ordinul I, operatori relaționali, operatori logici (Booleani) sau combinații ale acestor operatori asupra valorilor atributelor layer-elor de hartă în format raster.

Modelarea cartografică este o metodologie de procesare a datelor geografice care consideră hărțile și componentele hărților ca părți ale unor ecuații algebrice. Hărțile sunt transformate sau combinate, rezultând hărți noi prin utilizarea operațiilor spațiale specifice.

În același mod în care operațiile algebrice convenționale pot fi combinate pentru a forma un sistem de ecuații cu comportare mai complexă, așa și modelarea cartografică poate fi utilizată pentru a se modela relații spațiale complexe.

O ilustrare simplificată a modelării cartografice este prezentată în figura 6.22.

C.D. Tomlin recunoaște rolul limbajului natural în exprimarea logicii analizei spațiale și concepe un pachet GIS cu o interfață în limbaj natural. Astfel, fiecare operație spațială este un **verb** care acționează asupra unor **nume_subiect**, reprezentate de layer-e de hartă, pentru a crea **nume_obiect** sau layer-e noi de hartă.

Modelarea cartografică furnizează o abordare structurată proiectării în sistemele GIS. Cel mai mare dezavantaj al metodei este lipsa unor standarde în utilizarea unor expresii sau construcții algebrice și a terminologiei limbajului natural între programe GIS diferite.

⁶ *Map Algebra* (C.D. Tomlin, 1983); *Mapematics* (J.K. Berry, 1987), în lb. Engleză.

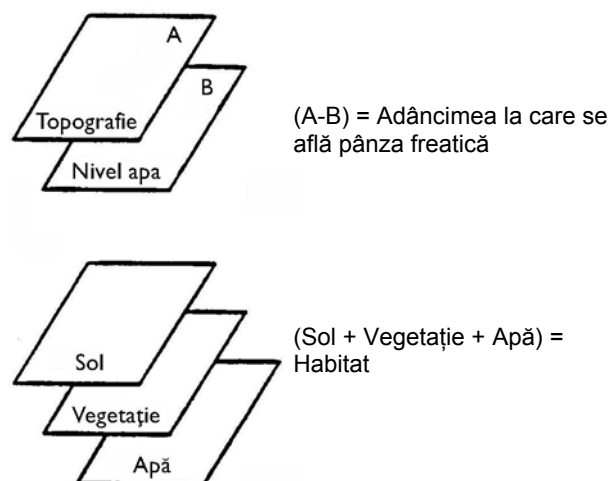


Figura 6.22 Ilustrare simplificată a conceptului de modelare (algebră) cartografică (**adaptare după** P.R. Coppin).

Cu toate aceste dezavantaje, se apreciază că modelarea cartografică este una din zonele-cheie ale unui pachet GIS, a cărei perfecționare este unul din obiectivele prioritare ale specialiștilor.

6.4 INTERPOLAREA SPAȚIALĂ

Interpolarea spațială reprezintă un ansamblu de metode pe baza cărora se pot estima valorile proprietăților din unele puncte în care nu există informații pe baza valorilor cunoscute din alte puncte, în care există informații, din aceeași suprafață de studiu.

Într-o situație ideală un set de date ar trebui să furnizeze câte o valoare pentru fiecare punct de pe hartă. Cu toate acestea, cel mai adesea datele furnizate se încadrează într-una din următoarele cazuri (fig. 6.23):

- alcătuiesc o rețea regulată pentru care există valori, dar nodurile acestei rețele nu acoperă toate punctele de pe layer-ul de hartă;
- alcătuiesc un strat de “petice”, de grupuri de puncte pentru care există valori observate;
- există valori în puncte cu așezare aleatoare în layer-ul de hartă.

Rolul interpolării este de a “umple” golurile dintre punctele pentru care există informații în layer-ul analizat.

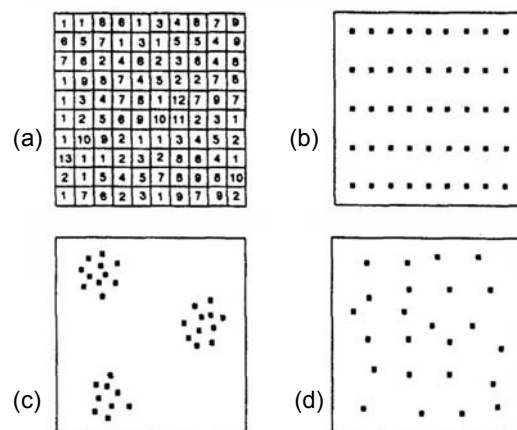


Figura 6.23 Situații în care se găsesc datele geografice cunoscute, din punct de vedere al distribuției spațiale: (a) cazul ideal, cu valori în fiecare punct de interes; (b) datele cunoscute alcătuiesc o rețea regulată; (c) datele cunoscute alcătuiesc un strat de “petice”; (d) datele cunoscute au distribuție aleatoare pe hartă (adaptare după S. Cornelius et al., 1998).

Conform M.N. Waters (1989), câteva dintre cele mai frecvente utilizări potențiale ale interpolării spațiale sunt:

- construirea de contururi pentru afișarea grafică a datelor;
- calculul unor proprietăți ale suprafeței într-un punct dat;
- schimbarea unității de comparație la utilizarea diferitelor modele de date în layer-e diferite;
- să ofere suport în procesul de decizie spațială în geografia fizică și cea umană (asociată repartiției geografice a populației), precum și în disciplinele asociate, ca de exemplu prospectarea minerală și explorarea resurselor.

Cele mai multe pachete GIS oferă utilizatorilor mai multe metode de interpolare care să fie aplicate în funcție de entitățile asupra cărora se aplică, adică pentru puncte, linii și poligoane. Printre cele mai cunoscute metode de interpolare se pot menționa următoarele:

- *Metode de interpolare locală sau globală.* Metodele de interpolare globală aplică o singură funcție matematică pentru toate punctele analizate, iar rezultatul este obținerea unei variații cu suprafețe “netede”, “aplatizate”. Metodele de interpolare locală aplică câte o singură funcție matematică, în mod repetat, unor mici submulțimi de puncte selectate din mulțimea totală de puncte analizate. Pentru submulțimile selectate se obțin suprafețe locale, regionale, care

ulterior se conectează pentru a forma o suprafață compozită, care să acopere întreaga mulțime de puncte.

- *Metode de interpolare aproximative sau exacte.* Metodele exacte produc suprafețe care trec prin toate punctele pentru care există valori. Nu vor exista “neteziri” ale suprafeței care să altereze, eventual, valorile din unele puncte. Aceste metode sunt recomandate atunci când există un grad ridicat de încredere privind valorile din punctele pentru care există informații. Metodele aproximative de interpolare generează suprafețe care nu trec prin toate punctele cu valori cunoscute. Valorile din unele puncte pot fi chiar modificate pentru a se poziționa pe o suprafață generată de metoda de aproximare. Metodele de acest tip sunt recomandate, de regulă, în cazurile în care există un grad oarecare de incertitudine privind valorile din punctele pentru care există informații.

- *Metode de interpolare graduală sau abruptă.* Metodele de interpolare graduală produc suprafețe cu variație continuă, netezită, între punctele pentru care există valori cunoscute, în timp ce metodele de interpolare abruptă produc suprafețe discontinue, cu variație în trepte.

- *Metode de interpolare deterministe sau stochastice.* Metodele deterministe pot fi utilizate dacă există suficiente informații despre suprafața geografică care trebuie modelată, astfel încât va fi posibilă exprimarea variației acesteia printr-o funcție matematică. În lumea reală însă, această ipoteză este doar de domeniul idealului, ceea ce face necesară folosirea unor modele stochastice, care să țină seama și să exprime variațiile aleatoare ale suprafețelor studiate.

După cum s-a prezentat mai înainte, există un mare număr de metode de interpolare spațială. În cele ce urmează se vor prezenta numai patru dintre cele mai cunoscute metode de interpolare exactă.

1. Metoda manuală de interpolare⁷. Această metodă este cea tradițională și datează din timpurile în care hărțile erau întocmite manual. Ea presupune trasarea unor linii de cotă, printr-o aproximare “la ochi”, între puncte cu date cunoscute, cu obiectivul includerii în aceste linii și a altor puncte, care vor moșteni, astfel, cotele asociate liniilor respective. Se presupune că între 2 linii de cotă succesive panta se menține constantă, ceea ce va permite aprecierea cotelor pentru oricare alte puncte dintre linii. Metoda, rapidă și expeditivă, “suferă” de o serie de probleme:

- ipoteza constanței pantei între linii de cotă cunoscută este, în natură, falsă;
- erorile umane, subiectivismul;
- dificultatea manevrării unui număr mare de puncte;
- procesul este consumator de timp, datorită interpolării folosind un număr mare de puncte.

⁷ Denumirile în lb. Engleză sunt: *Line Threading* sau *Eye-balling*.

2. Metoda poligoanelor Thiessen. Metoda poligoanelor Thiessen sau Voronoi reprezintă o metodă exactă de interpolare care presupune că valorile din punctele necunoscute sunt egale cu cele din cel mai apropiat punct cunoscut. Metoda este, în același timp, una de interpolare locală, deoarece caracteristicile globale ale datelor nu influențează procesul de interpolare. Interpolatorul este, de asemenea, abrupt, pentru că variația suprafeței create este discontinuă între poligoanele învecinate. Figura 6.24 ilustrează modul de construire a rețelei de poligoane Thiessen.

După cum se observă, se formează triunghiuri din segmentele determinate de punctele învecinate. Se construiesc mediatoarele laturilor triunghiurilor, iar intersecțiile dintre aceste mediatoare vor determina vârfurile unor poligoane. În final, se assemblează o serie de poligoane, formate de mediatoarele triunghiurilor rețelei și limitele domeniului analizat. Fiecărui punct dintr-un poligon i se atribuie valoarea atributului din punctul central, de valoare cunoscută.

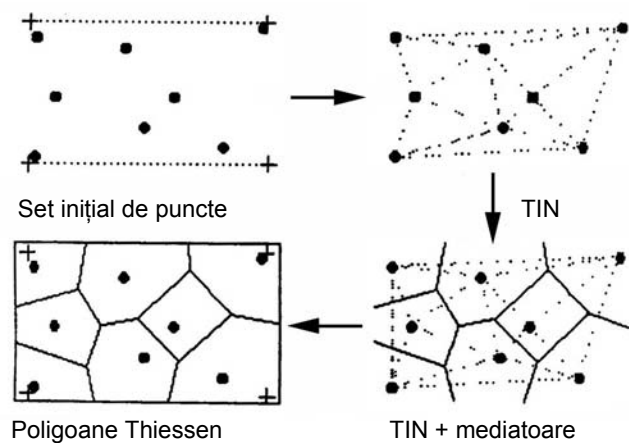


Figura 6.24 Etape în construirea rețelei de poligoane Thiessen
(adaptare după P.R. Coppin).

3. Metoda rețelei neregulate de triunghiuri (TIN⁸). Conform acestei metode, se construiește o suprafață cu ajutorul unui set de puncte de valori cunoscute ale atributelor, puncte cu distribuție spațială neregulată. Metoda este frecvent folosită pentru generarea modelelor digitale ale terenului. Interpolatorul este de tip exact, bazat pe un subset local de puncte de date cunoscute. Rețeaua de triunghiuri este generată de punctele adiacente care se conectează între ele prin segmente de dreaptă (fig. 6.25).

⁸ TIN = Triangulated Irregular Network, în lb. Engleză.

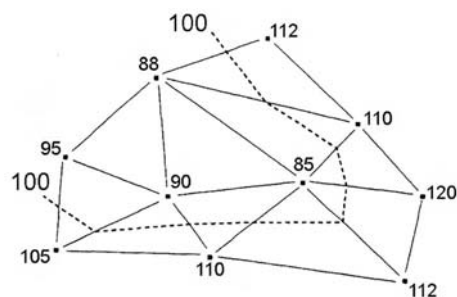


Figura 6.25 Interpolarea spațială cu ajutorul rețelei neregulate de triunghiuri (TIN)
(adaptare după S. Cornelius et al., 1998).

Valorile cunoscute sunt cele ale atributelor din vârfurile triunghiurilor, precum și coordonatele acestora, pe baza cărora se pot calcula distanțele dintre puncte. Cu ajutorul unor relații liniare simple se pot obține valori ale atributelor pentru orice alt punct aparținând laturilor triunghiurilor.

4. Metoda mediei dinamice⁹. Metoda mediei dinamice este cea mai răspândită și cunoscută metodă de interpolare utilizată în programele GIS. Ea presupune calculul valorii dintr-un punct pe baza valorilor dintr-o serie de puncte vecine, aflate la o distanță stabilită de utilizator. Se definește, astfel, un filtru de vecinătate, care este trecut pe întreaga suprafață analizată și care calculează valori noi în punctele din interior (fig. 6.26). Prin urmare, metoda este una aproximativă, deoarece suprafața generată nu trece prin toate punctele cunoscute, folosite la interpolare. O serie de valori sunt chiar recalculat, pe măsură ce filtrul trece prin zona ocupată de acestea.

În modelele vectoriale se folosește, de regulă, un filtru circular, deoarece punctele având valori cunoscute vor avea aceeași probabilitate, în toate direcțiile, de a se afla în interiorul filtrului. Modelele raster folosesc filtre de formă dreptunghiulară sau pătrată, datorită formei rectangulare a rețelei de pixeli.

Mărimea filtrului aplicat se bazează pe aprecierea utilizatorului privind variabilitatea locală a unei suprafețe analizate. Metoda de interpolare poate include și o funcție de ponderare, pentru a mări influența punctelor mai apropiate.

Metoda mediei dinamice este bine adaptată cazurilor în care valorile din punctele cunoscute nu sunt sigure, dar ele reflectă corect, totuși, variabilitatea spațială globală a suprafeței.

⁹ *The Spatial Moving Average*, în lb. Engleză.

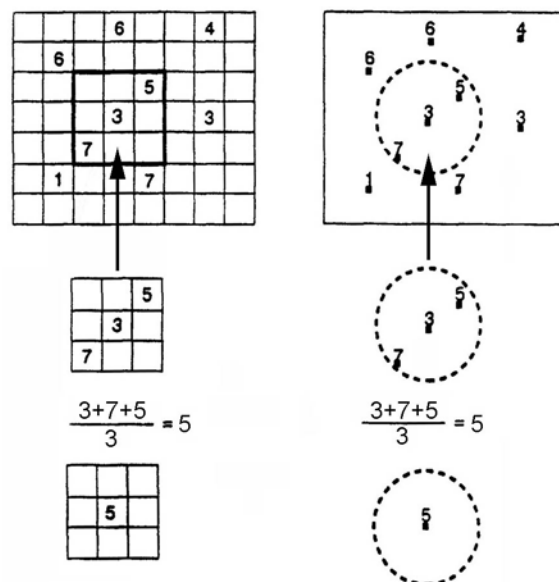


Figura 6.26 Interpolarea spațială folosind metoda mediei dinamice (adaptare după S. Cornelius et al., 1998).

Printre celelalte metode importante de interpolare spațială se pot enumera cele care folosesc serii Fourier sau spline și B-spline, “kriging” (interpolare optimă), analiza tendințelor suprafețelor etc.

6.5 ANALIZA SUPRAFEȚELOR

Cotele punctelor unei suprafețe sunt descrise de Modelul Digital de Elevație (DEM¹⁰) iar relieful acestei suprafețe este determinat printr-o serie de funcții topografice. Parametrii de teren cei mai utilizați rezultând din funcțiile topografice sunt:

- panta;
- aspectul;
- vizibilitatea.

- *Panta* sau *gradientul* reprezintă denivelarea pe verticală raportată la distanța pe orizontală și este frecvent exprimată în procente sau în măsuri de unghiuri (fig. 6.27).

¹⁰ Digital Elevation Model, în lb. Engleză.

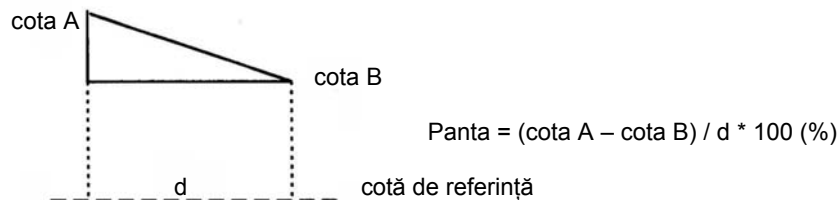


Figura 6.27 Modul de calcul al pantei în MDE
(adaptare după Haidu I. et al., 1998).

- *Aspectul* reprezintă direcția de expunere a unității de teren, de regulă exprimată prin unghiul format de linia de cea mai mare pantă a terenului cu direcția geografică Nord (fig. 6.28).

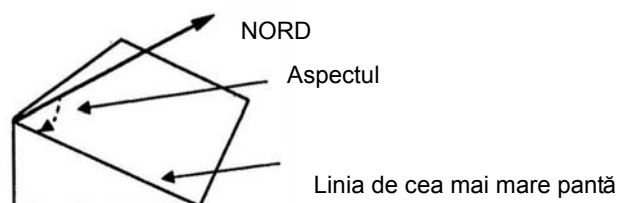


Figura 6.28 Definirea aspectului în MDE
(adaptare după I. Haidu et al., 1998).

Panta și aspectul se pot calcula în diverse moduri, în funcție de codificarea datelor din modelul digital de elevație. În modelele raster calculele se fac cu ajutorul unei ferestre cu dimensiunea de 3x3 celule grafice (pixeli) care este trecută peste zona selectată cu scopul determinării planului înclinat care aproximează cel mai bine suprafața analizată. Aceasta face posibilă determinarea constantelor ecuației:

$$z = a + bx + cy, \quad (6.5)$$

în care:

- z este cota în punctul de interes (centrul ferestrei);
- x, y sunt coordonatele centrului ferestrei;
- a, b, c - constante.

Panta și aspectul se pot calcula acum cu relațiile:

$$\text{panta} = b^2 + c^2 \quad (6.6)$$

$$\text{aspectul} = \text{tg}^{-1} (c/b) \quad (6.7)$$

În modelele vectoriale panta și aspectul sunt calculate pe baza unor ecuații liniare ale căror parametri sunt valabili și pentru rețeaua neregulată de triunghiuri TIN generată.

- *Analiza de vizibilitate.* Analiza de vizibilitate presupune identificarea zonelor din teren care pot fi văzute dintr-un anumit punct al suprafeței studiate. Conform M.N. DeMers (1997) metoda decurge în felul următor: se trasează câte o linie din punctul în care este situat observatorul spre diverse puncte-țintă ale terenului analizat (fig. 6.29). Se urmăresc aceste linii (raze) dinspre fiecare punct-țintă înapoi spre punctul în care este situat observatorul, căutându-se punctele mai înalte, care vor împiedica vizibilitatea punctelor situate în spatele lor. Analizând toate razele posibile se poate construi o hartă de vizibilitate asociată unui anumit observator. Figura 6.29 prezintă, simplificat, o singură linie a matricei de vizibilitate.

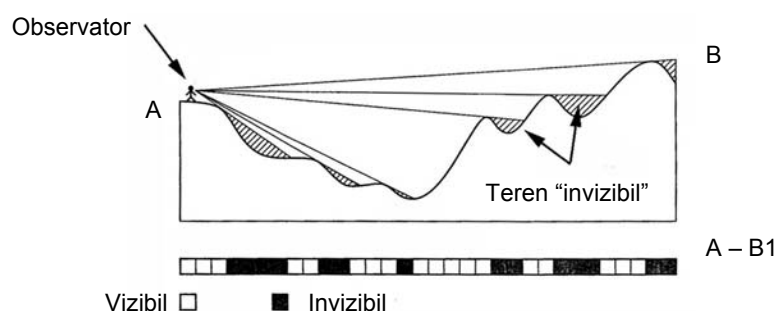


Figura 6.29 Conceptul de analiză de vizibilitate (A – B₁ reprezintă o singură linie din matricea de vizibilitate) (adaptare după I. Heywood et al., 1999).

Metoda de calcul al vizibilității este similară pentru modelele raster și vector și în ambele cazuri se va construi o hartă de vizibilitate de tip Boolean (cu două valori posibile pentru punctele studiate: vizibil sau invizibil).

Programele GIS moderne permit analize de vizibilitate sofisticate, în care să se poată ține seama de existența unor obstacole care să afecteze vizibilitatea (copaci, clădiri etc.) și, de asemenea, de posibilitatea situării observatorului la o anumită înălțime deasupra terenului.

6.6 ANALIZA DE REȚEA

O rețea se poate defini ca fiind un set de linii interconectate reprezentând o serie de entități grafice prin care poate circula un flux de resurse. Printre caracteristicile liniilor care alcătuiesc rețeaua se pot menționa:

- lungimea;
- direcția;
- conectivitatea (liniile trebuie să fie conectate în cel puțin 2 puncte);
- tiparul.

Lumea reală este plină de sisteme organizate în rețele. Se pot da ca exemple: rețelele de drumuri, rețelele electrice, rețelele hidrografice, rețelele de alimentare cu apă, rețelele de irigații, rețelele de transport gaze, rețelele de căi ferate etc.

Cele mai multe rețele sunt bidimensionale, dar există și cazuri de rețele tridimensionale (de exemplu, rețelele de distribuție a apei).

Conform R. Laurini și D. Thompson (1992), există 4 mari tipuri de rețele (fig. 6.30): ① neorientate; ② orientate; ③ neorientate cu bucle; ④ orientate cu bucle.

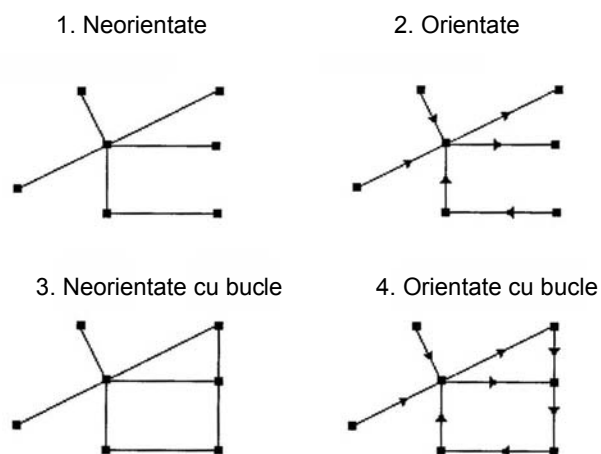


Figura 6.30 O posibilă clasificare a rețelelor
(adaptare după S. Cornelius et al., 1998).

Operațiile cu rețele se bazează pe principii precum:

- rețelele trebuie să fie continue, conectate;
- existența unor reguli de deplasare în interiorul rețelei;
- definirea unităților de măsură utilizate;
- acumularea valorilor atributelor datorită deplasării prin rețea;

- existența unor reguli de manipulare a valorilor atributelor.

Dintre aplicațiile analizei rețelelor se pot enumera:

- problema celui mai scurt drum (optimizarea deplasării resurselor dintr-un punct în altul);
- problema comis-voiajorului (cercetare operațională);
- problema alocării resurselor;
- trasarea rutelor (în special în cazul unor fluxuri cu circulație unidirecțională: canalizare, televiziune prin cablu, telefonie etc.);
- trasarea izocronelor (linii care unesc puncte în care se ajunge în același timp).

Modelele de tip rețea din GIS reprezintă abstractizări ale lumii reale. Ele sunt adaptări ale modelelor de date în format vectorial și de aceea modelele raster se recomandă mai puțin a fi utilizate în analizele de rețea.

BIBLIOGRAFIE

Bernhardsen T., *Geographic Information Systems*, VIAK IT and Norwegian Mapping Authority, 1992.

Clarke K. C., *Getting Started with Geographic Information Systems*, Prentice-Hall, Inc., 1999.

Coppin P. R., *Geographic Information Systems (I202)*, FLTBW – KuLeuven.

Cornelius S., Heywood I., *Spatial Operations*, Course Notes, 7th Edition, Manchester Metropolitan University, 1998.

Haidu I., Haidu C., *S.I.G. Analiză Spațială*, Editura *H*G*A*, București, 1998.

Heywood I., Cornelius S., Carver S., *An Introduction to Geographical Information Systems*, Addison Wesley Longman Limited, 1999.

***, *Dicționar GIS*, Editura I.C.I., București, 1997.

7 APLICAȚII

Tehnologia GIS este utilizabilă în toate domeniile pentru care informația spațială este relevantă. Altfel spus, tehnologia GIS se poate aplica în toate domeniile care folosesc harta geografică pentru stocarea, analiza și reprezentarea datelor pe care le prelucrează.

Indiferent de domeniu, orice aplicație GIS include o bază de date spațiale (o hartă digitală) și un program (un “soft”) care exploatează această bază de date (fig. 7.1). Harta digitală trebuie să conțină datele spațiale specifice domeniului căruia îi este destinată aplicația. Așa cum s-a mai arătat, pentru a furniza informații utile, baza de date trebuie să fie actuală, adică să reprezinte corect terenul (spațiul geografic) aflat în permanentă schimbare. Softul de exploatare este format din mai multe funcții de analiză a datelor spațiale conținute în harta digitală și de reprezentare (vizualizare) a informațiilor rezultate, specifice domeniului aplicației. De asemenea, aplicația poate include și funcții de actualizare a bazei de date¹. Pentru a obține informațiile specifice domeniului, pornind de la datele conținute în harta digitală, funcțiile de analiză utilizează operațiile spațiale aferente tehnologiei GIS.



Figura 7.1 Structura unei aplicații GIS.

Având în vedere numărul mare de domenii care utilizează harta, ca și necesitatea unei referințe unice pentru toate aceste domenii, este normal ca furnizorul de hartă digitală (baza de date a aplicațiilor GIS) să fie o agenție națională

¹ În orice caz, trebuie să existe posibilitatea înlocuirii totale sau parțiale a bazei de date, atunci când aceasta devine inactuală.

de specialitate (în România aceasta este **Oficiul Național de Cadastru, Geodezie și Cartografie - ONCGC**). Alternativa constă în existența unui număr relativ restrâns de furnizori, ale căror produse să fie elaborate pe baza unor standarde riguroase, pentru a putea fi reciproc compatibile. În orice caz, este total inefficient ca fiecare utilizator să-și creeze propria hartă digitală.

În general, orice aplicație GIS se proiectează și se dezvoltă urmărind mai multe principii și elemente comune:

- trebuie stabilite entitățile geografice relevante pentru domeniul respectiv;
- pentru fiecare entitate geografică selectată pentru a fi reprezentată, trebuie stabilite atributele (caracteristicile) relevante domeniului și aplicației;
- trebuie ales modelul de bază al datelor (raster, vector);
- trebuie definit utilizatorul aplicației (nivelul de cunoștințe în domeniul specific, nivelul de cunoștințe GIS, gradul de abilitate în operarea echipamentelor de calcul, condițiile în care urmează să exploateze aplicația);
- trebuie definite funcțiile principale ale aplicației (ce urmează să facă);
- trebuie stabilite informațiile pe care aplicația le va furniza și modul de prezentare a acestora (structura și forma rapoartelor grafice și tabelare).

În cadrul acestui capitol se vor prezenta succint câteva dintre domeniile în care există sau se pot dezvolta aplicații GIS, urmărind evidențierea diversității acestora, precum și a specificității fiecăruia dintre ele.

7.1 CADASTRU

“Pământul este sursa oricărei bogății materiale. De la el luăm tot ce folosim sau prețuim, fie că este vorba de hrană, îmbrăcăminte, petrol, adăpost, metale sau pietre prețioase. Trăim pe pământ și din pământ și în pământ ne întoarcem când murim. Disponibilitatea pământului este cheia existenței omului, iar distribuția și utilizarea lui sunt de importanță vitală.”²

Pornind de la rolul determinant pe care îl are pământul în existența noastră, rezultă importanța deosebită a evidenței exacte a proprietății și utilizării terenurilor, evidență cunoscută sub denumirea “**Cadastru**”. Conform Legii nr.7/1996 a Cadastrului și Publicității Imobiliare, cadastrul este “sistemul unitar și obligatoriu de evidență tehnică și juridică, prin care se realizează identificarea, înregistrarea, descrierea și reprezentarea pe hărți și planuri cadastrale a tuturor

² Simpson S.R.: *Land Law and Registration*. Cambridge University Press, Cambridge, 1976.

terenurilor, precum și a celorlalte bunuri imobile de pe întreg teritoriul țării, indiferent de destinația lor și de proprietar”. O definiție mai succintă și mai exactă găsim în Webster’s Dictionary: cadastrul este “o înregistrare oficială a proprietății, mărimii și valorii terenurilor”.

Principalele elemente care determină necesitatea cadastrului sunt:

- garantarea dreptului de proprietate asupra terenului (proprietatea funciară) și asupra celorlalte bunuri imobile legate de acesta (construcții etc);
- baza sistemului de taxare a proprietății funciare;
- sursă de informații obiective și certe pentru administrația centrală și locală privind proprietatea și utilizarea teritoriului.

Introducerea evidenței cadastrale presupune, desigur, costuri, dar produce și numeroase beneficii directe sau indirecte, principalele dintre acestea fiind:

a) Directe: sursă de majorare sensibilă a veniturilor statului, prin impozitarea și taxarea corectă a proprietății funciare și a veniturilor rezultate din exploatarea acesteia;

b) Indirecte:

- diminuarea posibilității de evaziune fiscală în domeniul funciar;
- îmbunătățirea calității informațiilor privind utilizarea teritoriului;
- creșterea încrederii populației în statul de drept, prin consolidarea și garantarea drepturilor de proprietate funciară și prin publicitatea imobiliară.

În general, funcție de categoria datelor pe care le manipulează, cadastrul este împărțit în trei componente principale:

1. Cadastrul tehnic, care are ca obiect identificarea parcelelor și determinarea exactă a limitelor acestora. Punctele care definesc hotarele dintre parcele se marchează și se înregistrează prin determinarea coordonatelor acestora într-un sistem unic de referință pentru întregul teritoriu național. Fiecare parcelă este identificată printr-un cod unic.

2. Cadastrul juridic, care are ca obiect identificarea proprietarilor terenurilor și stabilirea drepturilor și obligațiilor acestora, precum și a sevituiților care grevează terenurile respective (drept de trecere, ipotecă etc.). Pentru fiecare parcelă se identifică și se înregistrează proprietarul, pe baza actelor de proprietate. De asemenea, se determină și se înregistrează drepturile și obligațiile juridice aferente proprietății respective.

3. Cadastrul economic, care are ca obiect determinarea valorii terenurilor. Pentru fiecare parcelă se stabilește și se înregistrează o valoare de taxare, cât mai apropiată de valoarea de piață. În acest scop se stabilesc o serie de criterii de evaluare, diferite, funcție de localizarea parcelei: teren agricol, zonă urbană, teritoriu silvic, zonă balneară etc.).

Pe lângă datele fundamentale menționate mai sus, sistemul de evidență cadastrală poate include și alte date de interes pentru suportul deciziei în administrarea, gestiunea și planificarea teritoriului, cum sunt:

- *Utilizarea terenului* (categoria de folosință). Pe baza acestui criteriu, terenurile pot fi clasificate în intravilan (urban) și extravilan (rural), funcție de modul de exploatare (rezidențial, agricol, silvic, exploatare minieră, agrement și sport, industrial etc.), funcție de tipul de cultură agricolă (arabil, livadă, vie, fâneată etc.), funcție de tipul de sol, funcție de structura geologică, funcție de caracteristicile geotehnice etc..

- *Construcțiile existente*. Destinația și utilizarea construcției (locuință, școală, biserică, comerț, administrativ, spectacol etc.), dimensiuni (număr nivele, suprafață la sol, suprafață desfășurată, suprafață utilă, înălțime etc.), capacitate (număr camere, apartamente, spectatori, locuri, paturi etc.), dotări (apă, canalizare, energie electrică, gaze, încălzire etc.), stare, valoare (de piață, istorică, arhitecturală, culturală), structură de rezistență etc..

- *Populația*. Numărul și vârsta locuitorilor, gradul de educație, ocupația, religia etc.

Pornind de la această extindere a cadastrului tradițional, a apărut noțiunea de “cadastru multiscop” (*multipurpose cadastre*), precum și cea de “cadastru de specialitate”, definit ca “subsistem de evidență și inventariere sistematică a bunurilor imobile sub aspect tehnic și economic” (Legea nr. 7/1996).

Sistemele de evidență a terenurilor, bazate pe date suplimentare celor specifice cadastrului “tradițional”, sunt cunoscute și sub denumirea de Sisteme Informaționale ale Teritoriului (**Land Information System - LIS**), ele fiind tot mai larg utilizate ca suport în procesul de decizie economică și administrativă, la nivelul administrației centrale și al administrațiilor locale.

În figura 7.2 este ilustrat un exemplu de raport grafic și tabelar (afișare pe ecran) dintr-un sistem de evidență a unui teritoriu urban. După cum reiese din tabelul atașat figurii, sunt stocate date privind parcelele (numărul cadastral, proprietarul, suprafața). În figurile 7.3 și 7.4 sunt prezentate exemple din aceeași aplicație, din care se poate observa că există și date privind construcțiile, rețelele edilitare etc.

În sistemele de evidență cadastrală, calitatea datelor de poziție are o importanță deosebită, date fiind necesitatea de a asigura posibilitatea reconstituirii limitelor parcelelor, precum și gradul ridicat de detaliere. Astfel, în zonele urbane, unde valoarea terenurilor este mai ridicată și unde este necesar să se cunoască exact poziția diferitelor detalii (de exemplu, traseul unei linii telefonice subterane) sunt necesare precizii de determinare de ordinul a +/- 10 cm.

Precizia ridicată, ca și necesitatea reprezentării exacte a formelor parcelelor, impun modelul vectorial.

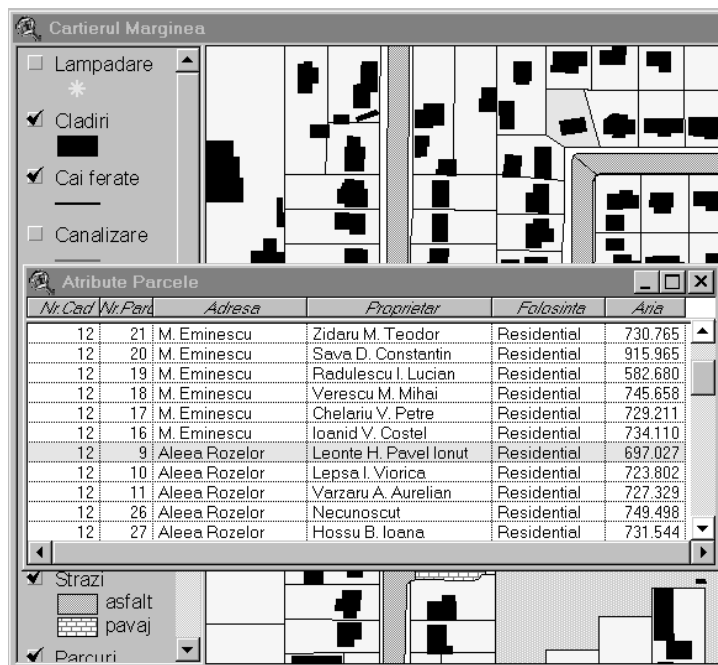


Figura 7.2 Fragment din stratul "PARCELE" într-o aplicație de cadastru în localități.

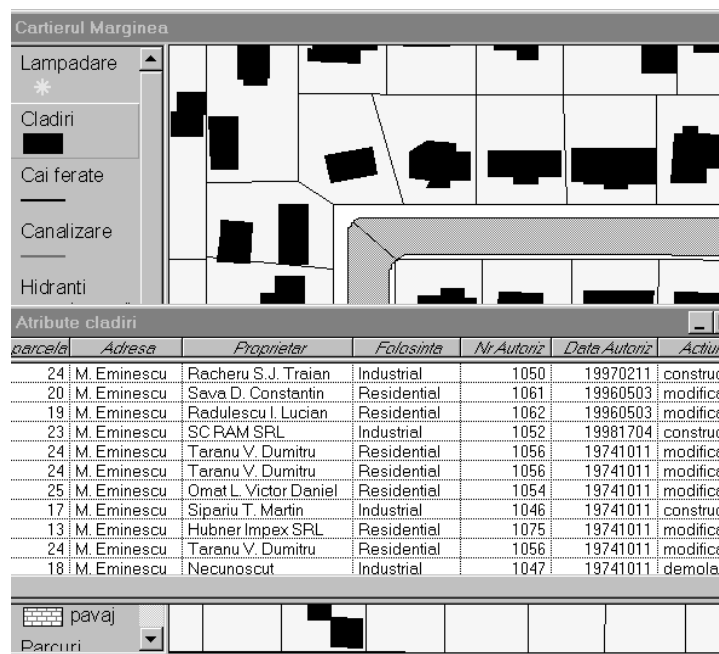


Figura 7.3 Fragment din stratul "CLĂDIRI" al aplicației din exemplul precedent.

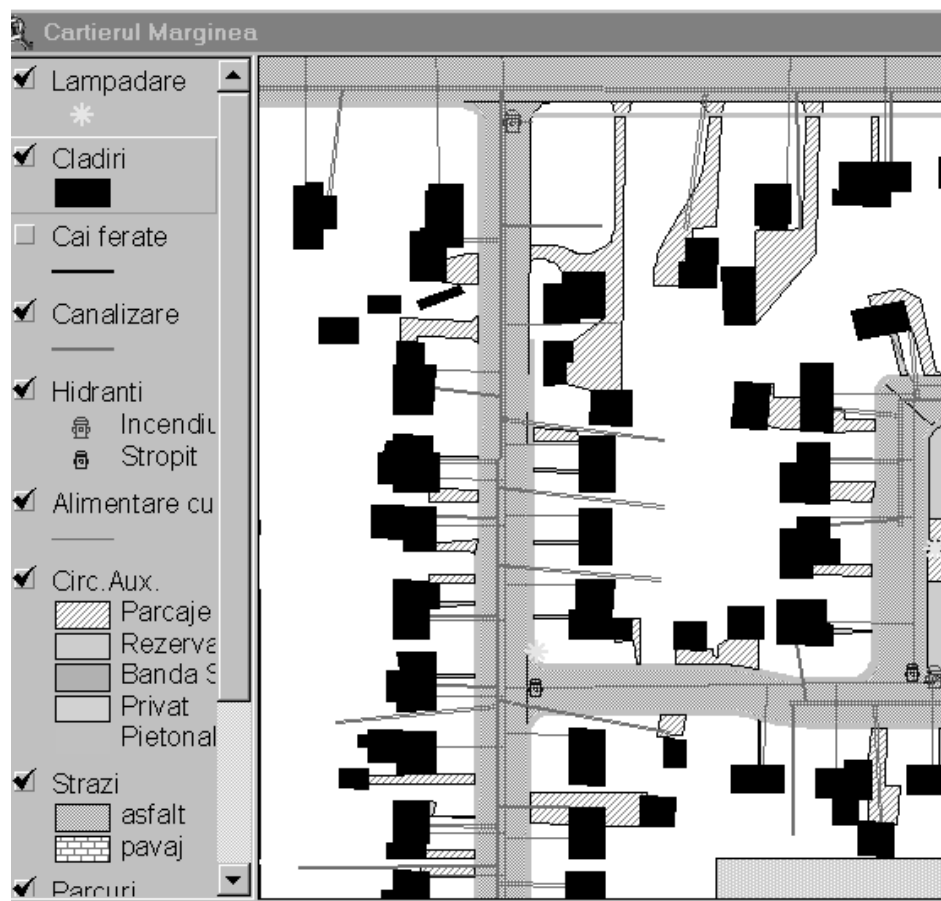


Figura 7.4 Straturi de rețele edilitare (canalizare, alimentare cu apă) și elemente aferente (hidranți).

7.2 SILVICULTURĂ ȘI EXPLOATARE FORESTIERĂ

Este interesant de arătat că, la originea a ceea ce este considerat primul GIS³ a stat necesitatea identificării celor mai adecvate locații pentru tăieri de arbori și pentru noi plantații silvice.

Într-adevăr, în multe țări pentru care pădurea reprezintă un important factor economic și de mediu s-au dezvoltat și se utilizează aplicații GIS destinate acestui domeniu⁴.

³ Canada, **Geographic Information System**, creat în 1966, ca urmare a inițiativei lui R. Tomlinson.

Problemele specifice care pot fi rezolvate cu ajutorul GIS sunt diverse; în continuare sunt prezentate numai câteva din acestea.

- *Stabilirea locațiilor optime pentru tăieri.* Printre factorii luați în considerare sunt: vârsta și densitatea arborilor, specia arborilor, panta terenului și tipul de sol (pentru a evita pericolul de eroziune), căile de comunicație (posibilitatea de transport a materialului tăiat), flora și fauna (pentru a evita efectele negative asupra acestora).

- *Monitorizarea tăierilor.* Sunt înregistrate zonele în care s-au efectuat tăieri, determinându-se volumul și calitatea masei lemnoase recoltate.

- *Stabilirea locațiilor optime pentru plantații.*

- *Determinarea zonelor afectate de boli sau insecte și urmărirea efectelor tratamentelor aplicate sau a măsurilor întreprinse.* Sunt înregistrate locațiile în care s-au semnalat boli ale arborilor sau au apărut insecte dăunătoare. Funcție de tipul afecțiunii constatate și luând în considerare factorii care influențează evoluția acesteia (ceea ce presupune culegerea și înregistrarea datelor cantitative și calitative care caracterizează factorii respectivi), se fac previziuni asupra evoluției posibile (determinarea zonelor care vor fi afectate în următoarea perioadă de timp) și se stabilesc tratamentele adecvate și măsurile de întreprins. După realizarea acestora, sunt urmărite, tot cu ajutorul GIS, efectele lor.

- *Evidența și monitorizarea vânatului.* Sunt culese date privind specia, vârsta animalelor și păsărilor, starea de sănătate etc., referențiate geografic ("legate" de un anumit areal). De asemenea, sunt culese date care caracterizează factorii naturali și antropici ce influențează dezvoltarea acestora, ceea ce permite elaborarea de prognoze.

- *Evidența, monitorizarea și predicția incendiilor.* Sunt înregistrate date privind incendiile produse în trecut (modul de declanșare, condițiile meteorologice în care au apărut și s-au dezvoltat, modul de evoluție etc.). Pe baza acestor date se urmărește stabilirea riscului de declanșare a incendiilor, pentru a întreprinde măsurile adecvate de prevenire.

Spre deosebire de alte domenii, cum ar fi cadastrul, în care schimbările sunt punctuale și înregistrarea lor, de regulă, nu implică măsurători de anvergură, ci doar de precizie ridicată, în cazul pădurilor avem de-a face cu suprafețe întinse, în care modificări importante pot apare în perioade relativ restrânse (câteva săptămâni sau chiar zile). Această situație, la care trebuie adăugate cerințele de precizie relativ redusă (limite difuze, pentru care erori în poziție de ordinul metrilor nu afectează calitatea informației), precum și accesul dificil (terenuri accidentate, fără vizibilitate) determină ca principalele tehnologii de culegere a datelor să fie teledetecția și

⁴ Și în România există preocupări în acest sens, chiar dacă încă nu se poate vorbi de un sistem informatic geografic funcțional la nivel național.

fotografia aeriană la scară mică. Din acest motiv, majoritatea aplicațiilor GIS destinate domeniului silvic includ (sau sunt însoțite de) funcții specifice de prelucrare a imaginilor digitale fotogrametrice și de teledetecție.

De asemenea, faptul că majoritatea fenomenelor reprezentate și analizate au caracter areal, determină adoptarea modelului raster, în special în cazul aplicațiilor elaborate cu mai mult timp în urmă.

7.3 PROTECȚIA MEDIULUI

Protecția mediului a devenit una dintre prioritățile actuale ale oamenilor, tot mai conștienți de pericolele majore pe care le reprezintă degradarea acestuia. Preocuparea pentru calitatea mediului se manifestă și prin numeroasele aplicații GIS destinate acestui domeniu.

Aria de cuprindere a aplicațiilor variază de la nivel global (monitorizarea fenomenului de despădurire sau evoluția stratului de ozon), până la nivel regional și local (monitorizarea surselor punctuale de noxe).

Un loc important îl au funcțiile de modelare, care permit determinarea efectului unor surse de noxe, cunoscând legile sale de propagare, pe baza factorilor care o influențează (efectul amplasării unui aeroport în vecinătatea unei zone rezidențiale sau a unei fabrici de ciment într-o zonă turistică).

Datele necesare în aplicațiile de mediu sunt extrem de variate și se prezintă în cele mai diverse forme:

- *Date privind pământul* (date geologice, geotehnice, geofizice, geochimice). Provin, în cea mai parte din foraje (puncte) și includ, pe lângă poziție, și adâncimea. În unele cazuri (date seismice, geomagnetice) este necesar și timpul.
- *Date oceanografice*. Se referă atât la suprafața mării (valuri, de exemplu), cât și interiorul acestora (date fizice, chimice, biologice, curenți etc.). Și în acest caz apare necesitatea înregistrării adâncimii și a timpului.
- *Date privind suprafața solului*. Includ atât date calitative (denumire, clasă de vegetație etc.), cât și date numerice (temperatură, pH etc.).
- *Date privind atmosfera*. Zilnic este culeasă o enormă cantitate de date privind atmosfera, date necesare pentru prognozele meteo și pentru studiile privind evoluția climei. Este necesar ca dintre acestea să fie reținute numai cele relevante pentru scopul aplicației respective.

Așa cum rezultă din sumara trecere în revistă de mai sus, se acumulează permanent o mare cantitate de date utilizabile în analiza mediului, situație ce determină atenția specială ce trebuie acordată funcțiilor de gestiune a bazelor de date în cazul aplicațiilor din această categorie. La aceasta se adaugă complexitatea fenomenelor analizate, ceea ce explică faptul că nu se poate vorbi

de aplicații destinate mediului, în general, ci doar de aplicații destinate unei probleme specifice din domeniu.

7.4 AGRICULTURA

În mare măsură, aplicațiile GIS din acest domeniu sunt similare prin funcții și modele de analiză celor menționate în subcapitolul 7.2, dedicat silviculturii și exploatărilor forestiere.

Și în acest caz, interesează în mod particular datele care influențează calitatea și cantitatea recoltei, cum sunt: categoria de sol (în fig. 7.5 este prezentată o clasificare a tipurilor de sol realizată de FAO pentru continentul african), umiditatea solului, conținutul în minerale, categoria de cultură, starea de sănătate a culturii, starea de vegetație, infestarea cu dăunători (vegetație parazită, insecte etc.).

Aplicațiile tipice urmăresc monitorizarea culturilor agricole și evaluarea recoltei. În țările în care agricultura primește subvenții de la stat este importantă urmărirea respectării regimului de cultură subvenționată.

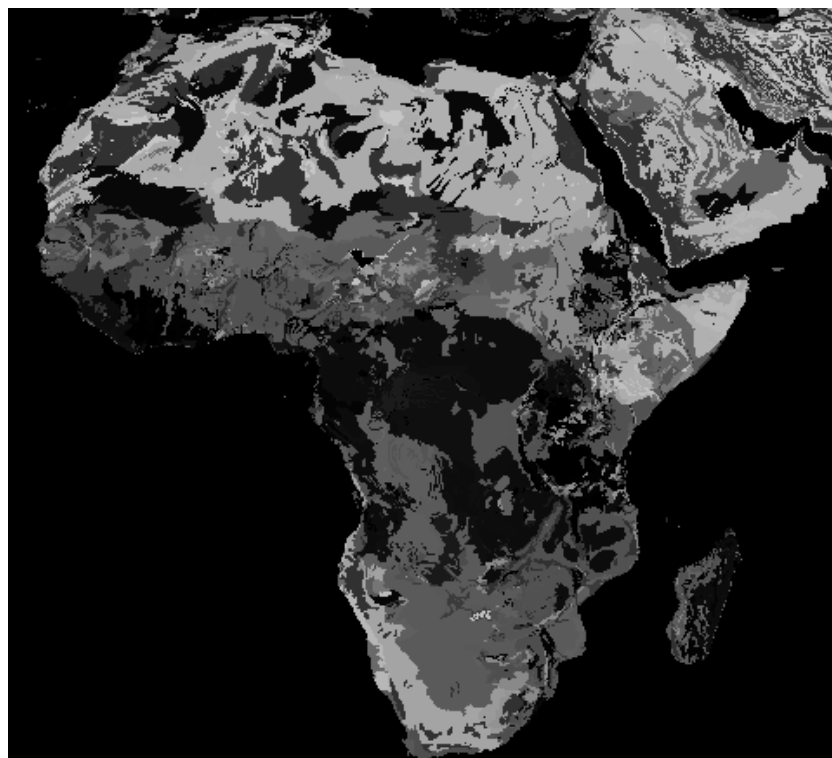


Figura 7.5 Clase de soluri în Africa (studiu UNESCO/FAO – documentație IDRISI).

Și în aplicațiile GIS pentru agricultură, actualizarea datelor privind caracteristicile cu dinamică ridicată (umiditate, stare de vegetație etc.) se realizează în mod frecvent, utilizând teledetecția.

Pentru terenurile agricole irigate sunt dezvoltate aplicații prin care se planifică, se dirijează și se monitorizează procesul de udare. Asemenea aplicații presupun, pe lângă baza de date și funcțiile GIS corespunzătoare, existența unei infrastructuri specifice, formate din senzori cuplați *on-line* la calculatorul care dirijează procesul respectiv.

7.5 TRANSPORTURI ȘI NAVIGAȚIE

Acest domeniu beneficiază, în afara tehnologiei GIS, și de tehnologia GPS (Global Positioning System), prin care este posibilă determinarea instantanee a poziției pe baza semnalelor recepționate de la o rețea de sateliți artificiali ai Pământului.

Vehiculul aflat în deplasare (automobil, vapor etc.) este dotat cu un receptor GPS, care permite stabilirea poziției acestuia în orice moment, singura condiție fiind vizibilitatea directă către minim patru sateliți din constelația GPS.

Se asigură astfel posibilitatea urmăririi traseului parcurs de vehicul (de exemplu, de către administrația firmei de transport), precum și orientarea pilotului, care poate observa în orice moment, pe harta digitală instalată pe computerul de bord, unde se află (fig. 7.6) și ce traseu are de urmat.

Altă gamă de aplicații, care nu implică în mod necesar dotarea cu un receptor GPS, permite stabilirea traseului între două locații indicate prin adresele lor. Există mai multe astfel de sisteme, dedicate firmelor de taximetre.

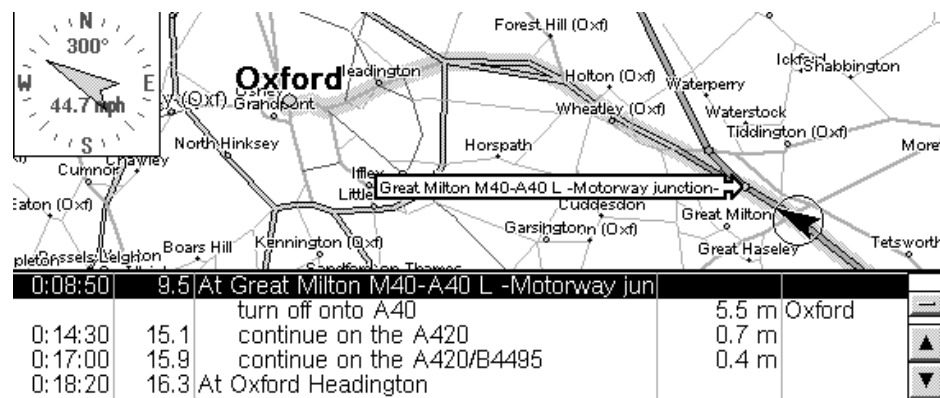


Figura 7.6 Harta zonei, poziția actuală, traseul de urmat până la destinație, indicații privind timpii necesari etc. (sursa: www.off-road.com).

Aplicațiile din această categorie presupun, cel mai adesea, utilizarea unor calculatoare dedicate (fig. 7.7), special concepute pentru a fi instalate pe autovehicule (sistem adecvat de alimentare de la baterie, rezistență la șocuri, dimensiuni mici, sistem de operare simplu, cu minim de taste etc).

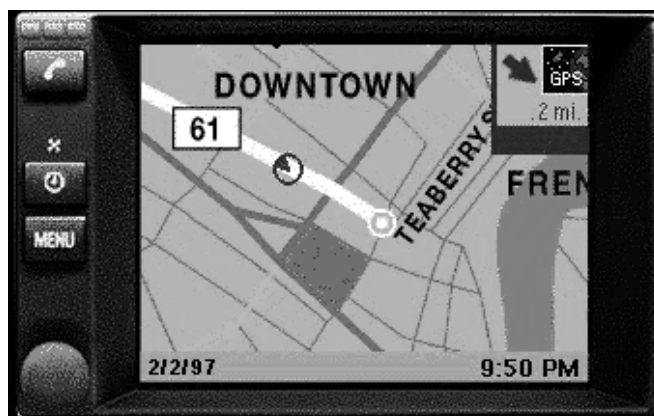


Figura 7.7 Sistem de navigație GPS la bordul automobilului
(sursa: www.bmwusa.com).

7.6 PLANIFICARE ȘI GESTIUNE URBANĂ

Utilizarea GIS în aplicații urbane cunoaște o tot mai largă răspândire. Există preocupări în acest sens și în România, prin lucrările de cadastru imobiliar-edilitar, chiar dacă nu se poate vorbi încă de un sistem funcțional.

Aplicațiile GIS urbane au în general două scopuri distincte: administrarea și monitorizarea teritoriului localităților și planificarea dezvoltării urbane.

Cele două categorii de aplicații utilizează, în mare măsură, aceeași bază de date, pe care însă o exploatează cu funcții diferite. Astfel, în aplicațiile care urmăresc administrarea și monitorizarea localității, predomină funcțiile de interogare a bazei de date (starea clădirilor, gradul de ocupare, starea arterelor de circulație, evidențierea construcțiilor ilegale, evidența și eliberarea diverselor categorii de avize, evidențierea locațiilor în care s-au produs infracțiuni etc.). La această categorie, o importanță deosebită o are ținerea la zi a datelor.

În aplicațiile destinate planificării predomină funcțiile de analiză și modelare.

Desigur, aceeași aplicație poate include ambele categorii de funcții, chiar dacă se adresează unor utilizatori diferiți.

Datele necesare în aplicațiile urbane sunt diverse și numeroase, ceea ce presupune costuri importante pentru culegerea și actualizarea lor. Pe de altă parte, trebuie subliniat că în administrarea unei localități există mai multe instituții care folosesc aceleași categorii de date, pe lângă cele specifice

activității lor (de exemplu, datele privind populația sunt necesare la poliție, la inspectoratele școlare, la direcțiile sanitare, la primărie etc.; datele privind arterele de circulație sunt necesare întreprinderilor de transport de călători și mărfuri, la poștă, unităților de pompieri, inspectoratelor de poliție rutieră etc.).

Această situație impune colaborarea tuturor acestor instituții, pe de o parte pentru a evita redundanța datelor, iar pe de altă parte pentru a utiliza aceeași referință geografică (aceeași hartă digitală de bază, pe care fiecare o completează cu datele specifice domeniului său de activitate).

7.7 MONITORIZAREA REȚELELOR EDILITARE

Multe pachete soft GIS includ funcții de gestiune și monitorizare a rețelelor, indiferent de categoria acestora. În principiu, o rețea este reprezentată printr-un graf format din noduri unite prin linii de transport. Nodurile pot fi furnizori (de apă, de călători, de mărfuri, de corespondență, de deșeuri etc), consumatori (sau receptori) și ramificații. Liniile de transport pot fi conducte, cabluri, căi ferate, rute maritime etc. Pornind de la această abordare generală se pot dezvolta (și sau dezvoltat) numeroase aplicații pentru orice categorie de rețea.

În figura 7.8 este prezentat un exemplu dintr-o aplicație destinată monitorizării rețelei de canalizare dintr-o localitate.

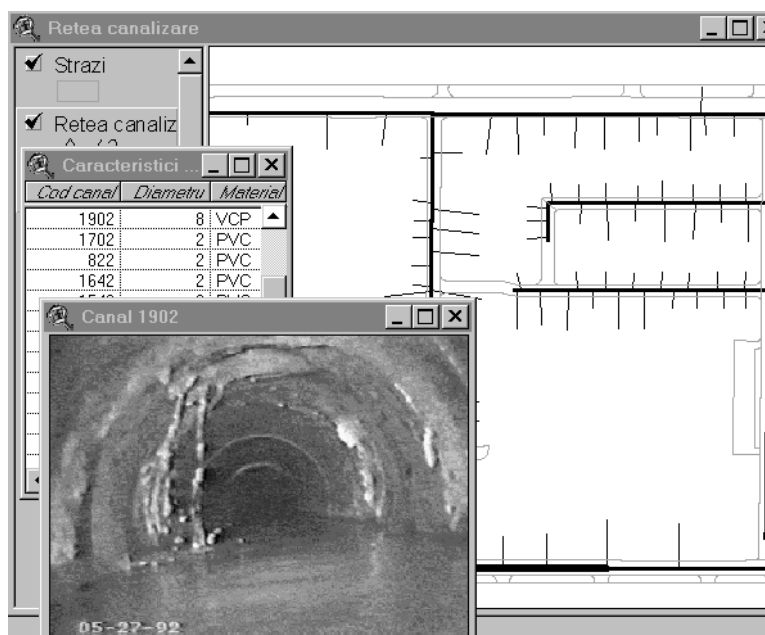


Figura 7.8 Fișiere imagine ce pot fi atașate entităților geografice dintr-o bază de date GIS (puncte, linii, poligoane).

7.8 GIS PE INTERNET

Chiar dacă pare oarecum exagerată, comparația Internet-ului cu apariția tiparului este justificată prin deschiderea accesului tuturor la un mare volum de date și servicii, inclusiv date și servicii GIS, disponibile anterior numai unui număr redus de specialiști și inițiați⁵.

Trebuie remarcat că accesul la informația geografică pe Internet nu implică în mod necesar prezentarea imaginii unei hărți. De fapt, în numeroase cazuri, de exemplu când un utilizator vrea să obțină cele mai apropiate hoteluri față de o adresă dată, nici nu realizează că folosește o aplicație GIS.



Figura 7.9 Atlas electronic pe Internet (**sursa:** www.nationalgeographic.com).

În general, prin Internet se obține acces atât la date geografice, cât și la aplicații GIS din cele mai diverse domenii. Practic, orice aplicație GIS poate fi implementată pe Internet, funcționalitatea sa fiind însă afectată de de specificul acestuia (viteza de transmisie a datelor, posibilul acces simultan al mai multor utilizatori). În continuare sunt prezentate câteva exemple:

- servicii de stabilire a locațiilor funcție de anumite criterii (cele mai apropiate hoteluri, muzeele dintr-o categorie specifică, magazinele cu un anumit profil etc.);

⁵ Afirmația presupune că Internet-ul este larg accesibil, ceea ce, din păcate, încă nu este cazul în România.

- baze de date cadastrale deschise publicului;
- baze de date demografice;
- stabilirea traseelor optime funcție de anumite criterii (cea mai scurtă rută, cel mai rapid traseu, trecerea prin puncte obligate etc.);
- atlase electronice (fig. 7.9).

Există mai multe posibilități de furnizare a informației geografice prin Internet, fiecare dintre acestea oferind grade diferite de interacțiune cu utilizatorul.

7.8.1 HĂRȚI “STATICIE”

Din punct de vedere tehnic, cel mai simplu de realizat sunt site-uri Web care oferă imagini digitale ale unor hărți statice (fig. 7.10).

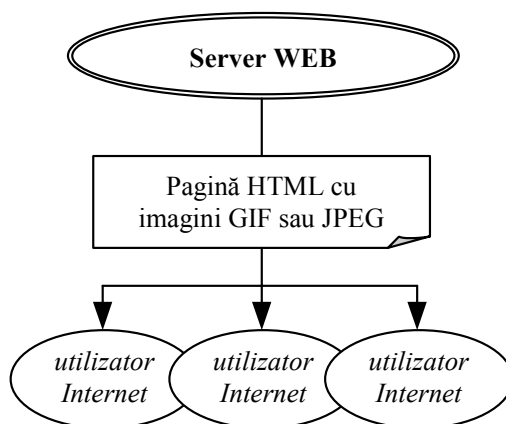


Figura 7.10 Prezentarea hărților statice.

Imaginea este scanată după o hartă “clasică” (eventual obținută ca raport grafic dintr-un GIS) în format GIF sau JPEG (standarde pentru HTML) și inclusă apoi într-un document HTML. Exemple de asemenea abordări sunt hărțile care apar pe paginile Web ale unor universități, instituții, hoteluri etc., indicând situarea acestora și modul de acces.

7.8.2 HĂRȚI “DINAMICE”

Rezolvarea este similară celei prezentate anterior. Diferența constă în actualizarea automată a hărții oferite ca imagine (fig. 7.11), prin intermediul unui script care rulează în fundal și înlocuiește imaginea existentă imediat ce una nouă devine disponibilă. Ca exemplu pot fi date site-urile care prezintă hărți meteo ale unui teritoriu dat.

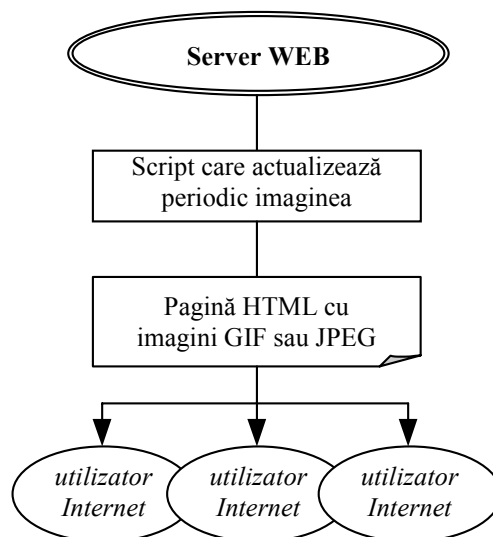


Figura 7.11 Prezentarea hărților actualizate periodic.

7.8.3 HĂRȚI CREATE INTERACTIV

Site-ul Web posedă o bază de date geografice din care utilizatorul poate selecta zona de interes și tipul de entități (straturi) pe care dorește să le reprezinte. Utilizând protocolul TCP/IP, serverul Web se conectează cu un pachet soft GIS, care generează harta solicitată sub formă de imagine GIF sau JPEG (fig. 7.12). Aceasta este inclusă într-un document HTML sau într-un *applet* Java, pentru a fi prezentată utilizatorului.

În figura 7.13 sunt prezentate câteva dintre straturile de date geografice oferite de un site al universității Harvard, din care utilizatorul poate alege pe cele care îl interesează.

7.8.4 ANALIZE GEOGRAFICE

Abordarea este similară celei prezentate anterior, în sensul că utilizatorul trimite o cerere către server, care îi furnizează harta solitată. Diferența constă în faptul că cererea implică efectuarea unor analize geografice (distanța de la hotel la centrul de conferințe, traseul optim între două poziții date, restaurantele cu un specific dat, aflate la cel mult 1,5 km față de hotel etc.). Aceasta presupune ca serverul GIS să includă pe lângă funcțiile de vizualizare, necesare pentru afișarea hărții, și funcții de analiză corespunzătoare.

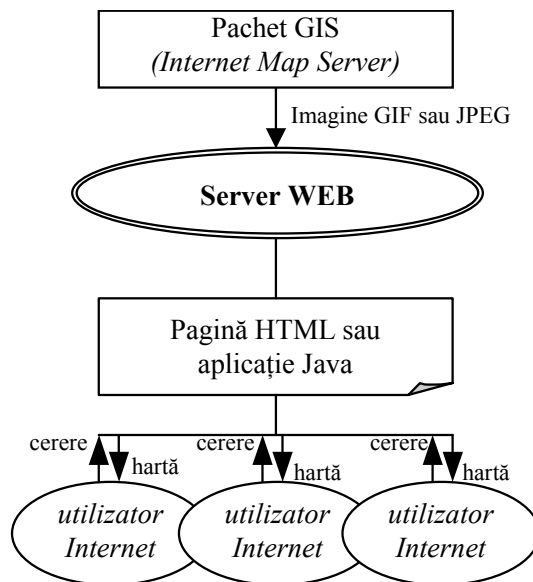


Figura 7.12 Realizarea hărților "la cerere".

	Towns <input type="button" value="v"/>
Communication	Telecommunications Establishments by N Transmission Lines Telephone Area Codes - 1998
Construction/Development	Total Commercial Building Permits 1980- Total Commercial Building Permits 1990- Total Commercial Building Permits 1980-
Crime	Aggravated Assaults per 1000 Residents Aggravated Assaults Per 1,000 Residents Aggravated Assaults Per 1,000 Residents
Education	Colleges and Universities (1995) 10th Grade Iowa Test Scores (1995) MAF Average Total SAT Score (1994)
Employment	Biotechnology Establishments (MAPC Re Service Percent Change 1989-1996

Figura 7.13 Opțiuni (straturi) oferite utilizatorilor pentru generarea unei hărți
(sursa: <http://massatlas.hcl.harvard.edu>).

În figurile 7.14 - 7.16 sunt prezentate imagini preluate dintr-o pagină Web dedicată Olimpiadei 2000 de la Sidney. Comparând figurile 7.15 și 7.16, se poate observa că prin mărirea scării s-a modificat structura informației prezentate, ceea ce presupune existența unor funcții de analiză.



Figura 7.14 Hărți "olimpice" oferite pe Internet
(sursa: <http://citymap.cityofsydney.nsw.gov.au>).

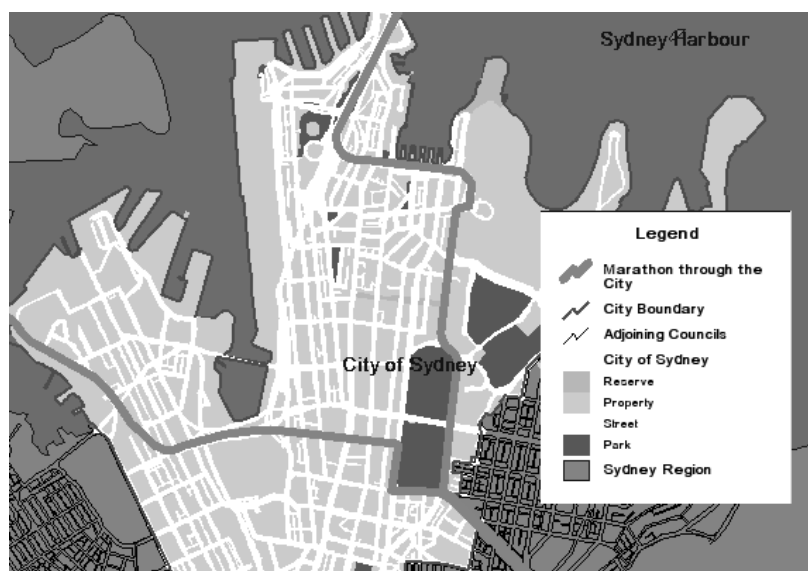


Figura 7.15 O parte a traseului probei de maraton la Olimpiada 2000.

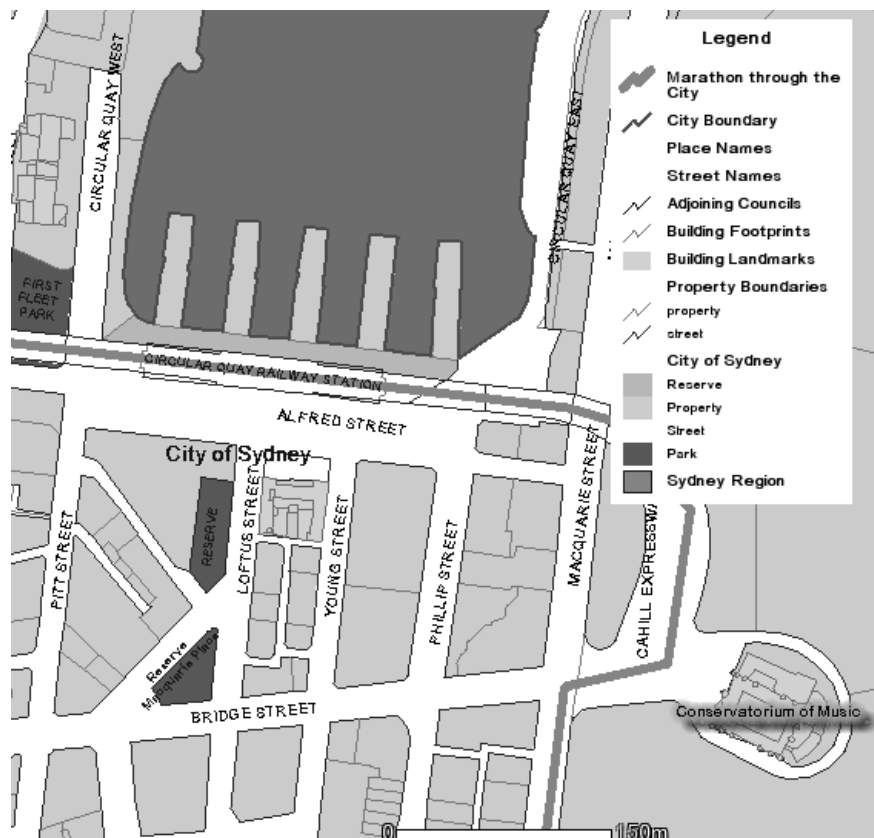


Figura 7.16 Harta din exemplul precedent, prezentată la o scară mai mare.

7.9 CONCLUZII

Prezentarea tuturor aplicațiilor GIS este practic imposibilă.

Așa cum s-a mai arătat, orice domeniu pentru care informația spațială este importantă poate utiliza tehnologia GIS. Depinde numai de imaginația noastră și de abilitatea de a utiliza puterea funcțiilor GIS pentru a rezolva problemele specifice fiecărui domeniu de activitate.

BIBLIOGRAFIE

Maguire D., *Geographical Information Systems*, Longman Scientific & Technical, Essex, England, 1991.

Lang. L., *Natural Ressources with GIS*, ESRI, Redlands, California, 1998.

Harder C., *Maps on the Internet*, ESRI, Redlands, California, 1998.

"Gestionarea informației din punct de vedere geografic a apărut odată cu realizarea primelor hărți. Cu toate acestea, gestionarea unor cantități mari de informații, cu rapiditate și flexibilitate, a fost posibilă relativ recent, prin dezvoltarea tehnologiei computerelor.

Astăzi, aproape orice fenomen care se modifică în spațiu și/sau timp poate fi măsurat și convertit în informație digitală, permițându-ne organizarea activităților și a mediului la nivele de detaliu și acuratețe fără precedent.

[...] La începutul anilor '80 numărul utilizatorilor GIS era de ordinul sutelor. Astăzi aceștia reprezintă cel puțin un sfert de milion și se apreciază că la începutul secolului următor vor fi câteva zeci de milioane."

Jack Dangermond, 1998
Fondator și președinte ESRI

ISBN : XXX - XXX - X - X