

# Metodologie pentru georeferențierea planșelor scanate

Autor: Mihai Terente

Beneficiar  
Institutul Național al Monumentelor Istorice



Publicat cu L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

Mihai Terente

Asistent de cercetare  
Institutul de Speologie "Emil Racoviță"  
Calea 13 Septembrie, nr. 13, București

terenteml@gmail.com  
dec.2008

În versiunea digitală acest document conține *hyperlegături*. Cuvintele cu diacritice românești nu sunt recunoscute de motorul de căutare al *Adobe® Reader®* sau *Acrobat®*. O sugestie pentru a le găsi totuși, este să se caute doar porțiunile din cuvintele respective care nu conțin diacritice. De exemplu, dacă se dorește căutarea cuvântului *georeferențiere* se va introduce în fereastra *Find* doar *georef* sau *georeferen*.

# Cuprins

<b>1</b>	<b>Noțiuni teoretice. Concepte</b>	<b>4</b>
1.1	GIS	4
1.1.1	Modele de date spațiale	4
1.2	Proiecția și sistemul de coordonate	8
1.2.1	Principii	8
1.2.2	Sisteme de coordonate care se aplică în România	13
<b>2</b>	<b>Georeferențierea planșelor scanate</b>	<b>17</b>
2.1	Georeferențierea pe baza punctelor de pe hartă	19
2.2	Verificarea acurateții georeferențierii	25
2.3	Georeferențierea pe baza punctelor comune (1)	28
2.4	Georeferențierea pe baza punctelor comune (2)	37
<b>3</b>	<b>Transformarea coordonatelor în diferite sisteme de proiecție</b>	<b>47</b>

# Capitolul 1

## Noțiuni teoretice. Concepte

### 1.1 GIS

Termenul de *GIS* este acronimul pentru *Geographic Information System*, care adaptat în limba română își găsește corespondența în *SIG*, respectiv *Sistem Informatic Geografic*.

Aceste sisteme reprezintă o suită de unelte informatice care permit analiza datelor spațiale. În general acestea nu se rezumă la o singură aplicație *software* ci conțin mai multe componente, atât *hardware* cât și programe de calculator.

Caracteristica esențială a acestor sisteme este aceea că informația pe care o manipulează se referă la locuri precise de pe suprafața terestră. Datele astfel indexate constituie reprezentări digitale, simplificate, ale elementelor de pe suprafața Pământului [Neteler and Mitasova, 2008]. Codificarea internă a acestor localizări se realizează prin georeferențiere, adică prin raportarea la un sistem de coordonate [Bonham-Carter, 1994].

#### 1.1.1 Modele de date spațiale

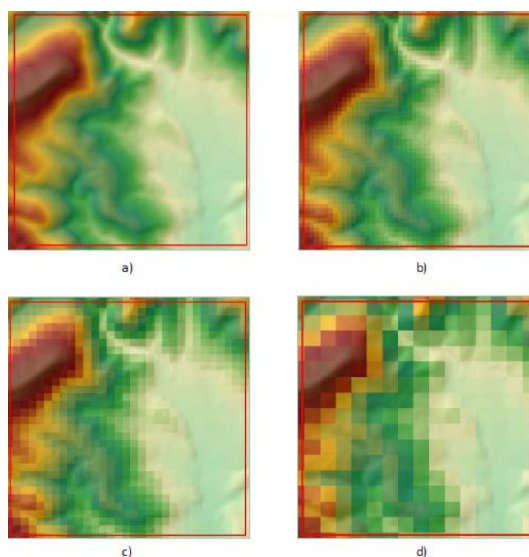
După cum s-a afirmat anterior, informația dintr-un sistem informatic geografic reprezintă o versiune simplificată și convențională a realității. Există două modele de date prin care se pot reprezenta convențional obiectele reale: modelul de date *raster* și modelul de date *vector*.

##### Modelul de date raster

Este un model de date în care informația este reprezentată sub forma unei matrici de pixeli, în care fiecare pixel are una sau mai multe valori numerice (fig. 1.2). Aceste numere pot fi valori ale unor parametri fizici (temperatură, altitudine, concentrații chimice), caz în care matricea reprezintă o distribuție spațială a celui parametrului. De asemenea, unui pixel îi pot corespunde mai multe valori, ca în cazul imaginilor color (fie scanate, fie fotografii), în care fiecărui pixel îi corespund trei valori care exprimă intensitatea celor trei culori fundamentale (roșu, albastru și verde), pe o scară de la 1 la 255. În felul acesta se poate compune tot spectrul de culori care apare pe o imagine.

Unitatea fundamentală a acestui model de date este **pixelul**. Acesta are, de cele mai multe ori, forma unui pătrat, dar poate apărea și sub forma unui dreptunghi, în anumite aplicații. Într-o imagine georeferențiată mărimea laturii fiecărui pixel se măsoară în unitățile sistemului de coordonate (metri, grade, etc.) și exprimă rezoluția imaginii. Cu cât aceasta este mai mică cu atât pixelul mediază informația de pe o suprafață mai mică și deci imaginea devine mai detaliată (fig. 1.1). Într-o imagine (ortofotoplan, sau imagine satelitară) cu cât rezoluția este mai mică, cu atât se pot distinge mai multe obiecte (copaci, clădiri, oameni). În prezent se pot obține imagini satelitare cu rezoluții între 0.82 m (imagini Ikonos<sup>1</sup> disponibile contra cost) și 30 m (imagini Landsat<sup>2</sup> disponibile gratuit).

Fig. 1.1: Rezoluția unui set de date raster: cu cât mărimea laturii pixelului este mai mare, cu atât detaliile pe care le surprinde sunt mai puține. În figură este reprezentat un model numeric altitudinal la rezoluții diferite: a) 20 m; b) 60 m; c) 100 m; d) 200 m. Fiecare pixel are o valoare de altitudine. Sursa [Terente, 2008]



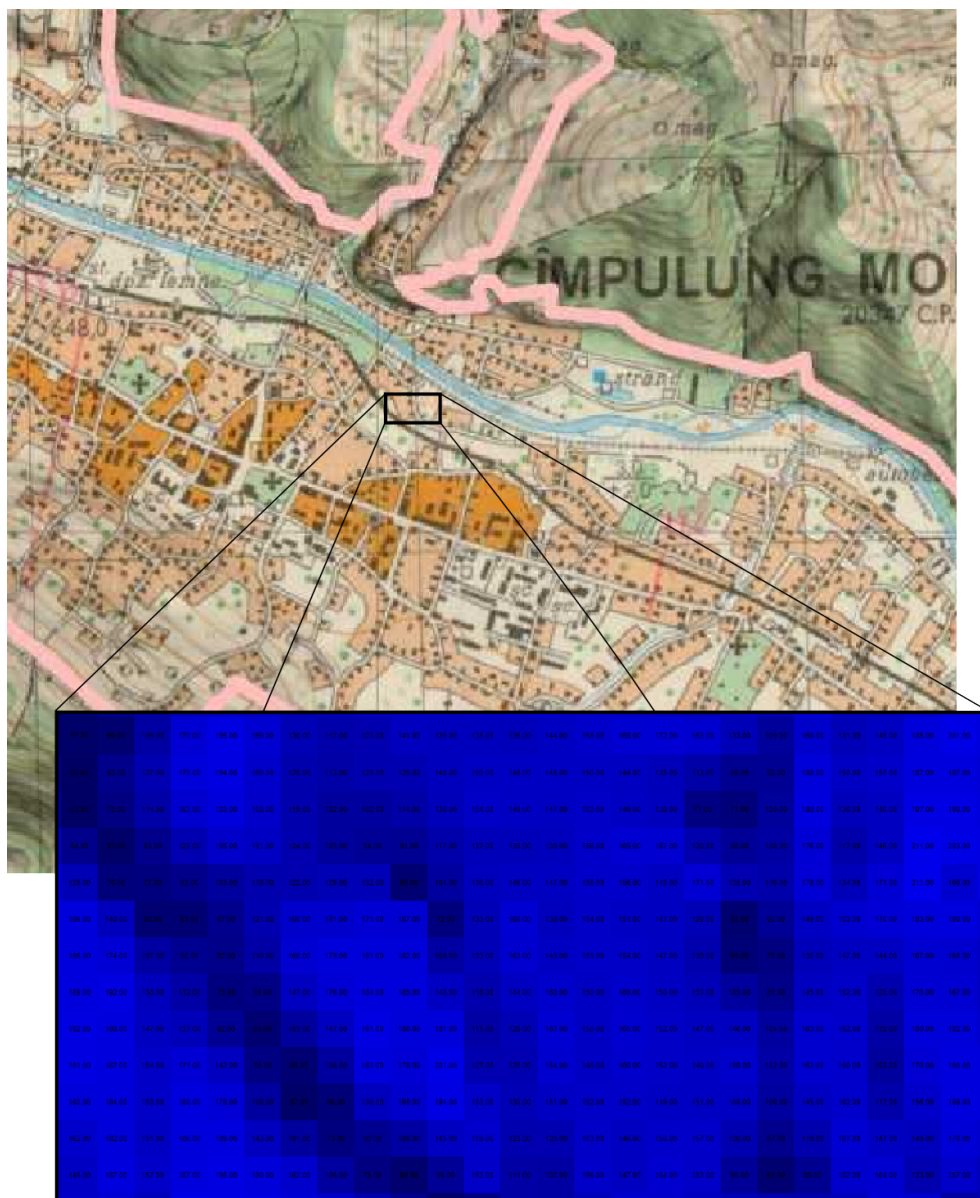
În cazul nostru, folosind imagini scanate (hărți, planuri), avem de-a face cu modele de date raster. Este mai puțin important câte valori primește fiecare pixel<sup>3</sup>, important este de reținut că imaginile sunt matrici de pixeli pătrați și, mai mult, pentru a se distinge pixelii unul de altul, imaginile conțin un sistem de coordonate intern. Pixelii sunt identificați astfel în funcție de linia și coloana pe care apar în imagine. Liniile se numerează de sus în jos, iar coloanele de la stânga la dreapta, rezultând astfel că primul pixel se află în colțul din stânga sus, iar ultimul în colțul din dreapta jos.

<sup>1</sup><http://www.geoeye.com/CorpSite/products/imagery-sources/Default.aspx>

<sup>2</sup><http://landsat.gsfc.nasa.gov>

<sup>3</sup>trei, dacă imaginea este color și una, dacă imaginea este alb-negru sau în tonuri de gri

Fig. 1.2: Modelul de date raster: Fiecare pixel al imaginii, o hartă scanată, conține informație pentru cantitatea de culoare cu care să fie reprezentat. Pentru afișarea pe monitoare se folosește schema RGB (*Red-Green-Blue*) în care fiecare culoare se compune din "cantități" diferite ale fiecărei culori fundamentale (Roșu-Verde-Albastru), pe o scară de la 1 la 255. În figură, se arată valorile pixelilor, pe canalul Albastru, din zona marcată.



Utilizat pentru a reprezenta imagini scanate, acest model de date nu este foarte eficient, deoarece nu permite distingerea elementelor reprezentate pe hartă (dru-

muri, localități, parcele, râuri, etc). Este nevoie de o *digitizare* a hărții scanate pentru ca fiecare element să devină obiect individual și să poată fi manipulat. Modelul devine foarte util atunci când se folosește pentru reprezentarea distribuției spațiale a unor fenomene naturale sau culturale (temperatură, densități de populație, altitudini, concentrații chimice ale unor poluanți, etc.). Se pot realiza diferite operații matematice între matrici care se suprapun spațial, în felul acesta obținându-se informații noi (de exemplu, panta se poate calcula doar pe baza modelului numeric altitudinal, care este o matrice cu altitudini pentru o anumită regiune).

### Modelul de date vector

Acest model se folosește pentru extragerea informațiilor de pe hărțile scanate și georeferențiate, sau de pe alte surse raster (imagini satelitare, ortofotoplanuri, etc). Este un model în care elementul fundamental este **vertexul**. Acesta este un punct definit printr-o pereche de coordonate în sistemul de coordonate în care se lucrează, este adimensional și de aceea nu își schimbă aspectul indiferent de nivelul de zoom. Pornind de la acest element se pot compune toate obiectele care apar pe o hartă astfel:

- obiectele punctiforme (vârfuri, poduri, arbori izolați, sau, depinzând de scara reprezentării, localități, case, etc) se reprezintă prin vertecși;
- obiectele liniare (râuri, drumuri, căi ferate, etc) se reprezintă prin linii poligonale (frânțe în punctele de inflexiune, care sunt vertecși);
- obiectele areale (parcele, localități, zone cu diferite utilizări ale terenurilor, situri diverse, etc) se reprezintă prin poligoane (care sunt de fapt liniile poligonale descrise anterior, închise).

Avantajul acestui model este că permite extragerea elementelor de pe hartă care devin astfel obiecte digitale unice (datorită poziției unice pe care o au în spațiu) cărora li se pot asocia atribute. În felul acesta se pot constitui baze de date spațiale cu elemente bine individualizate.

## 1.2 Proiecția și sistemul de coordonate

Faptul că Pământul are o formă neregulată, aproximativ sferică, face ca definierea unui sistem de coordonate potrivit să fie destul de complexă. Acesta trebuie să fie definit fie pe o sferă sau un elipsoid, determinând un sistem de coordonate geografice (latitudine și longitudine), fie pe o proiecție a suprafeței terestre care poate fi desfășurată în plan și pe care se poate defini un sistem de coordonate carteziane (X, Y și Z) [Neteler and Mitasova, 2008].

### 1.2.1 Principii

#### Forma Pământului

Forma Pământului este aproximată printr-un model matematic reprezentat printr-un **elipsoid**. Se consideră că, datorită mișcării de rotație a Pământului în jurul axei polilor, forma sa este mai bombată la ecuator și mai turtită la poli, adică în secțiune nu apare ca un cerc ci ca o elipsă. Elipsoidul este forma tridimensională obținută prin rotirea unei elipse în jurul axei sale mari (fig. 1.3). De-a lungul timpului s-a elaborat o varietate de elipsoizi care asigurau cea mai bună potrivire cu suprafața reală, terestră, în diferite regiuni ale lumii. Aceștia au primit denumiri în funcție, de obicei, de matematicienii care i-au elaborat. De exemplu: Clarke 1866, folosit în America de Nord, Bessel 1841, folosit în Europa, Krassowsky 1940, pentru Federația Rusă.

Fig. 1.3: Aproximarea formei Pământului printr-un elipsoid: mai bombat la ecuator și mai turtit la poli. Imaginea (ușor deformată pentru a fi mai sugestivă) este preluată de pe Google Earth (<http://earth.google.com/>), în care Pământul este reprezentat prin elipsoidul WGS84

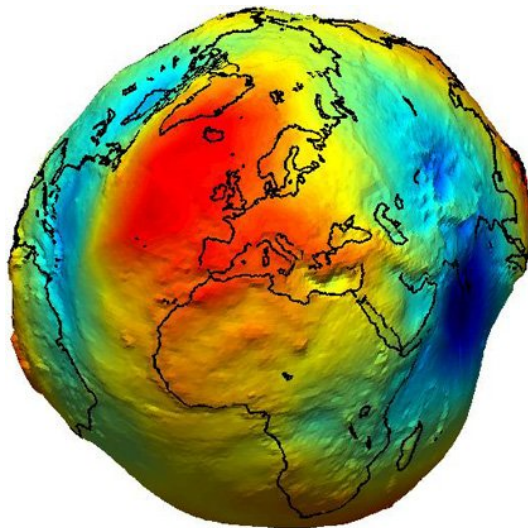


Un alt model de reprezentare a suprafeței terestre este **geoidul**. Aceasta este o formă geometrică tridimensională complexă ce reprezintă o suprafață de echipotențial gravitațional. Ea poate fi asimilată suprafeței Oceanului Planetar, neafectată

de procese dinamice precum curenți, valuri, marea, expansiune termică, etc, supusă doar acțiunii gravitației. Deoarece este o suprafață pe care gravitația se menține constantă, geoidul "ondulează" în funcție de variațiile de masă ale litosferei (fig. 1.4).

Aproximarea formei Pământului printr-un elipsoid este suficientă pentru poziționarea orizontală. Pentru determinarea cu mare acuratețe a altitudinilor se folosește ca referință suprafața geoidului [Neteler and Mitasova, 2008].

Fig. 1.4: Geoidul ca suprafață de referință pentru determinarea altitudinilor: Gravitația nu acționează uniform pe suprafața terestră. Ea variază în funcție de masa scoarței terestre. Sub continente, unde scoarța terestră e groasă, geoidul se află la o distanță mai mare față de centrul Pământului. Invers, sub oceane, unde scoarța terestră e subțire, geoidul se află la o distanță mai mică și prezintă "depresiuni", ca în imagine, în Oceanul Indian. Sursa: <http://www.dirkhartwich.com/sat2/koordinaten.html>



Între cele trei suprafețe: elipsoidul, geoidul și suprafața terestră reală există diferențe de poziție ca în fig. 1.5 și 1.6.

Fig. 1.5: Diferențele dintre elipsoid, geoid și suprafața terestră: (1) ocean; (2) suprafața elipsoidului; (3) firul cu plumb local, care arată sensul gravitației în punctul respectiv; (4) continent; (5) suprafața geoidului. Sursa: <http://en.wikipedia.org/wiki/Geoid>.

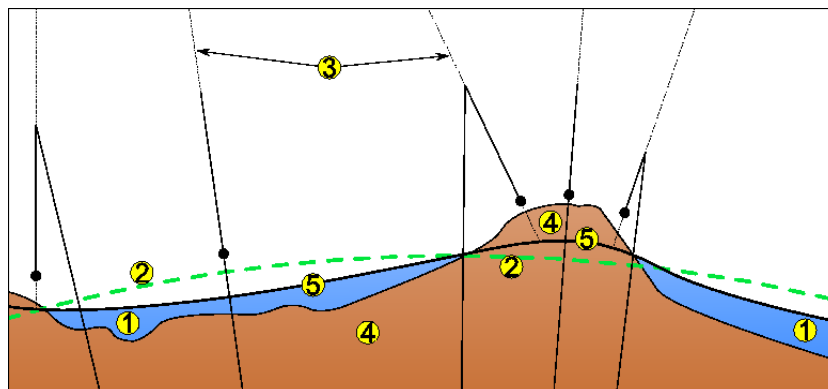
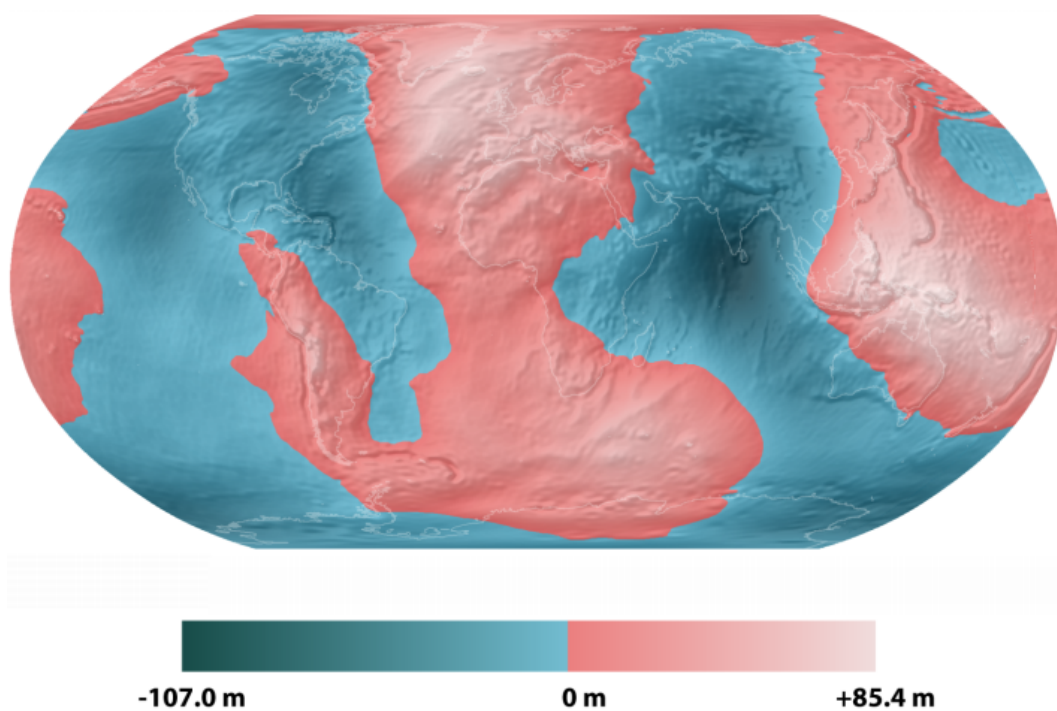


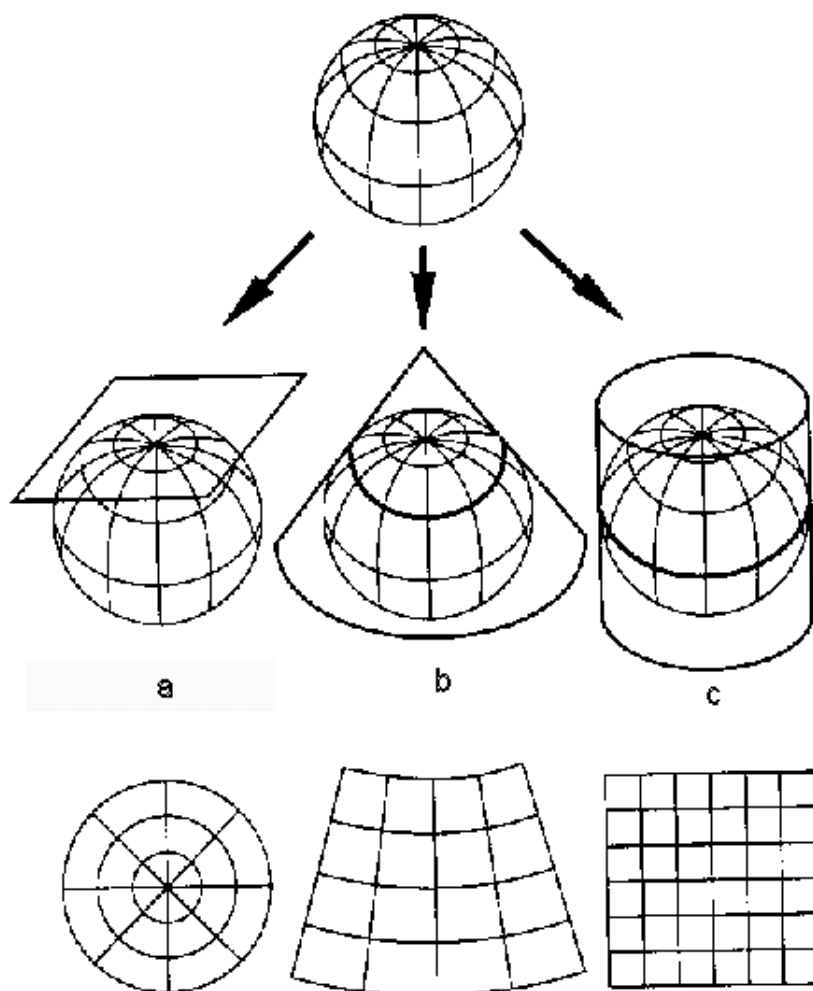
Fig. 1.6: Diferențele dintre 2 modele ale suprafeței terestre: geoidul EGM96 și elipsoidul WGS84. Cu roșu: zonele în care geoidul este deasupra elipsoidului; cu albastru: zonele în care este dedesubt. Sursa: <http://en.wikipedia.org/wiki/Geoid>



## Proiecția

Indiferent prin ce model este reprezentat, Pământul are o formă circulară. Deoarece hărțile sunt reprezentări în plan este nevoie ca suprafața Pământului să fie desfășurată. Dacă se face aceasta direct vor rezulta deformări, ca în cazul în care s-ar dori întinderea unei coji de portocală pe o coală de hârtie. De aceea s-a recurs la proiectarea suprafeței aproximativ sferice a Pământului pe o suprafață desfășurabilă, precum cilindrul, conul sau planul (fig. 1.7). Prin analogie, dacă s-ar introduce globul terestru într-un cilindru, proiecția sa ar fi umbra pe acel cilindru determinată de lumina ce vine de la un bec din centrul globului (acesta este unul din tipurile de proiecție).

Fig. 1.7: Tipuri de proiecție: (a) plană; (b) conică; (c) cilindrică. Sursa: <http://hosting.soonet.ca/eliris/gpsgis/Lec2Geodesy.html>



## ***Datum*-ul**

Un *datum* este un set de constante care specifică sistemul de coordonate folosit pentru determinarea coordonatelor punctelor de pe suprafața terestră. Când se folosește pentru calcularea coordonatelor orizontale, setul de constante descrie datele geodezice fundamentale de referință [STAS7488, 1989]:

- coordonatele punctului fundamental al rețelei de triangulație<sup>4</sup>;
- elipsoidul: lungimea semiaxei mari și turtirea (raportul dintre diferența dintre cele două semiaxe și axa mare a elipsoidului).

Când se folosește pentru măsurarea altitudinilor, *datum*-ul se referă la un plan orizontal de referință. Problema este destul de complexă și aici pentru că un nivel de referință aplicabil pentru întreaga suprafață terestră este greu de definit. S-a considerat nivelul mării, însă acesta variază în funcție de condițiile climatice locale, de marea, ba chiar și cu latitudinea, datorită expansiunii termice a apei. De aceea mulți ani statele considerau nivelul de bază pentru altitudini nivelul mării celei mai apropiate. De exemplu, Marea Britanie consideră nivelul de referință media nivelului mării dintre 1915 și 1921 măsurat la Newlyn, în Pen. Cornwall. Mai recent, mai exact odată cu extinderea sistemelor de navigație prin satelit, această problemă s-a rezolvat prin raportarea la suprafața geoidului EGM96 (*Earth Gravitational Model* folosit în sistemul de referință WGS84<sup>5</sup>, elaborat de Departamentul pentru Apărare al SUA).

## **Sistemul de coordonate**

Odată stabilite proiecția și *datum*-ul (care conține și descrierea elipsoidului), poziția unui punct pe suprafața terestră se descrie prin raportare la un sistem de coordonate. Acesta poate fi:

- cartezian:
  - raportarea se face în unități de lungime (m., ft., etc) față de două axe perpendiculare;
  - coordonatele se notează cu:
    - \* X care se determină pe axa OX, paralelă cu ecuatorul;
    - \* Y care se determină pe axa OY, paralelă cu axa de rotație a Pământului;
- geografic:
  - raportarea se face în unități de măsură de unghiuri, față de centrul Pământului (de fapt, al elipsoidului folosit ca model);

---

<sup>4</sup>Pentru determinarea coordonatelor unor puncte oarecare, orice sistem de coordonate are o rețea de puncte de coordonate cunoscute (denumite puncte geodezice), care sunt folosite ca repere locale. Punctele în care s-au realizat și măsurători de unghiuri față de alte puncte geodezice formează o rețea de triangulație (de triunghiuri). Punctul fundamental al rețelei de triangulație este primul reper, punctul din care s-au pornit măsurătorile. Rețelele de puncte geodezice (de triangulație, de sprijin, gravimetrice, etc) sunt administrate de o autoritate națională, în cazul țării noastre de Agenția Națională pentru Cadastru și Publicitate Teritorială

<sup>5</sup>Atenție! denumirea WGS84 se aplică atât unui *datum* cât și unui elipsoid, vezi secțiunea 1.2.2

– coordonatele se notează cu:

- \* latitudine: valoarea unghiului dintre verticala punctului dat și planul ecuatorului;
- \* longitudine: valoarea unghiului dintre planul meridianului punctului dat și planul meridianului Greenwich.

Sistemul coordonate se reprezintă pe hărți printr-un carioaj, de regulă rectangular, care marchează coordonate la intervale standard: 1000 km, 1°, etc. Liniile acestui carioaj sunt un bun reper pentru operația de georeferențiere, așa cum se va vedea mai departe.

### 1.2.2 Sisteme de coordonate care se aplică în România

#### Sistemul de coordonate geografice

Este folosit pentru reprezentări generale, de regulă didactice, de genul atlaselor școlare și mai nou de aplicații precum Google® Earth<sup>6</sup> sau Microsoft® Virtual Earth<sup>7</sup>. Elementele de pe hărți se descriu prin latitudine și longitudine pe *datum* WGS84.

#### Sistemul Gauss-Kruger/Pulkovo 1942

Este un sistem preluat de la URSS și introdus în România în 1951. Proiecția se numește Gauss-Kruger și este ortografică, cilindrică și transversală, adică razele de proiecție sunt paralele iar cilindrul este dispus orizontal, perpendicular pe axa de rotație a Pământului. Pentru a se evita distorsiunile, s-a împărțit suprafața terestră în 60 de fuse geografice, din 6° în 6° de longitudine (fig. 1.8). Astfel, există 60 de cilindri de proiecție, fiecare tangent la meridianul central al fusului și deci, practic, 60 de sisteme de coordonate diferite. Pe teritoriul țării noastre se suprapun două fuse, sau zone:

- zona 4, între meridianele de 18 și 24° long E;
- zona 5, între meridianele de 24 și 30° long E.

Pulkovo 1940 este denumirea *datum*-ului, care are ca punct fundamental Observatorul Astronomic Central al Academiei Ruse de Științe de la Pulkovo, lângă Sankt Petersburg, iar ca elipsoid Krassowsky, definit prin semiaxa mare de 6 378 245 m și turtirea de 1/298.3 (vezi secțiunea 1.2.1). Pe hărțile realizate în această sistem de proiecție cotele se raportează la Marea Baltică. Sistemul s-a folosit până în 1973 la întocmirea, printre altele, a planului topografic de bază, la scara 1:1000 și a hărților topografice la scara 1:25000 [Moroșanu, 2007].

#### Sistemul Stereo 70/Dealul Piscului 1970

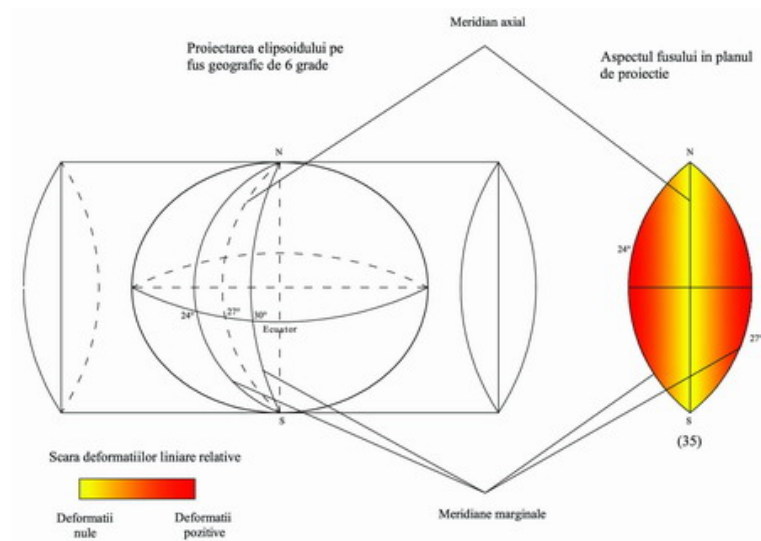
Acest sistem a fost utilizat începând cu anul 1973 și este și în prezent, oficial, sistemul național de referință. Se bazează pe proiecția Stereo 70, care este o proiecție stereografică, diferită de cea anterioară: suprafața de proiecție este un plan care intersectează suprafața terestră curbă în regiunea țării noastre. Din intersecție rezultă un cerc cu centrul aproximativ în centrul țării, la intersecția

---

<sup>6</sup>maps.google.com

<sup>7</sup>http://maps.live.com/

Fig. 1.8: Sistemul de proiecție Gauss-Kruger. Sursa: <http://earth.unibuc.ro/articole/deformatii-liniare-in-sistemele-proiectie>



paralelei de  $46^\circ$  lat. N cu meridianul de  $25^\circ$  long. E. Aceasta este punctul central al proiecției iar punctul de origine a razelor de proiecție este situat pe cerc, diametral opus (fig. 1.9).

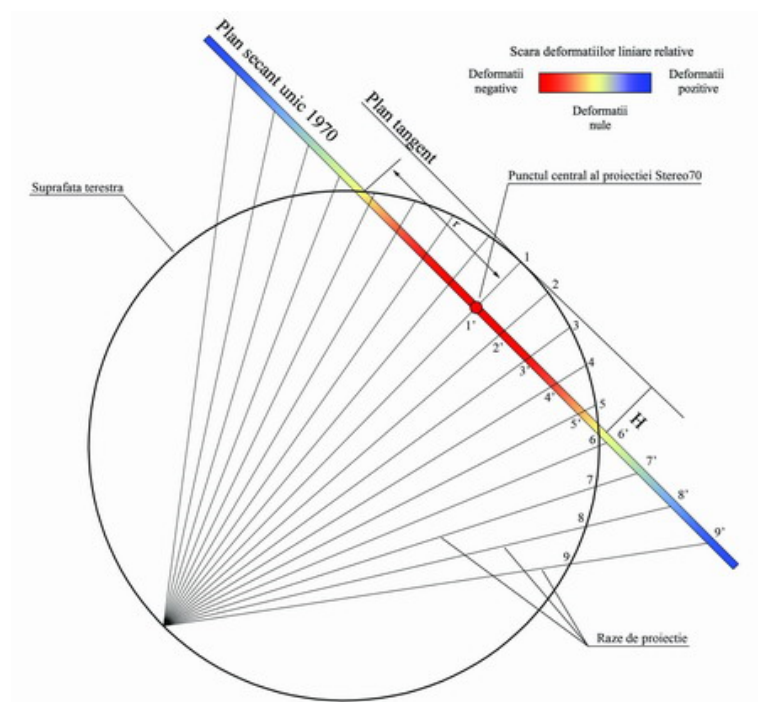
În privința *datum*-ului, Dealul Piscului 1970, există câteva incertitudini în privința denumirii. Acestea provin, probabil, din faptul că implementarea *datum*-ului Pulkovo 1942 în țările satelit ale URSS s-a realizat sub denumirea de S-42 (Sistem 42). În România s-a renunțat la acest sistem și s-a adoptat proiecția Stereo 70 cu un *datum* bazat tot pe elipsoidul Krassovsky, dar cu punctul fundamental în Observatorul Astronomic Militar din Dealul Piscului, din București (de unde și denumirea) [Mugnier, 2001]. Problema este că acest nou *datum* apare până azi și cu denumirea de S-42, după cum se observă pe site-ul ANCP<sup>8</sup>. Incertitudinile apar în anumite aplicații GIS în care se recunosc atât *datum*-ul Pulkovo 1942 cât și S-42 și Dealul Piscului. De exemplu în aplicația Global Mapper<sup>9</sup>, situația diferă de la o versiune la alta:

- în versiunea 8, nu există denumirea Dealul Piscului 1970, în schimb *datum*-ul apare cu denumirea S-42(ROMANIA) și este definit cu un set de 7 parametri de transformare către WGS84;
- în versiunea 9 apare o definiție pentru un *datum* cu denumirea Dealul Piscului 1970, dar cu doar 3 parametri de transformare (ducând la transformări cu o acuratețe mai mică), și se mențin *datum*-urile S-42(ROMANIA) și PULKOVO 1942;
- în ultima versiune s-au păstrat *datum*-urile S-42(ROMANIA), DEALUL PISULUI 1970, iar PULKOVO 1942 a devenit S-42(PULKOVO 1942).

<sup>8</sup><http://www.ancpi.ro/pages/wiki.php?lang=ro&pnu=transformariCoordonate>

<sup>9</sup>detaliem pentru această aplicație deoarece aceasta se va folosi pentru georeferențiere mai departe

Fig. 1.9: Sistemul de proiecție Stereo 70. Sursa: <http://earth.unibuc.ro/articole/deformatii-liniare-in-sistemele-proiectie>



În concluzie, din practică, s-a observat că introducerea *datum*/ului Dealul Piscului 1970 în versiunile mai noi și definirea unei transformări către WGS84 cu doar 3 parametri a dus la transformări de coordonate mai puțin precise. De aceea recomandăm ca, în aplicația Global Mapper, indiferent de ediție să se asocieze proiecția Stereo 70 cu *datum*-ul S-42(ROMANIA) și proiecția Gauss-Kruger cu *datum*-ul PULKOVO 1942 sau S-42(PULKOVO 1942).

În aplicația dezvoltată de ESRI, ArcGIS®, problema aceasta nu apare, deoarece programul selectează automat *datum*-ul în funcție de proiecția aleasă. În alte programe de GIS trebuie să se acorde mare atenție acestor detalii și să se studieze documentația de *help*, deoarece o interpretare greșită a sistemului de proiecție poate genera erori de reprezentare.

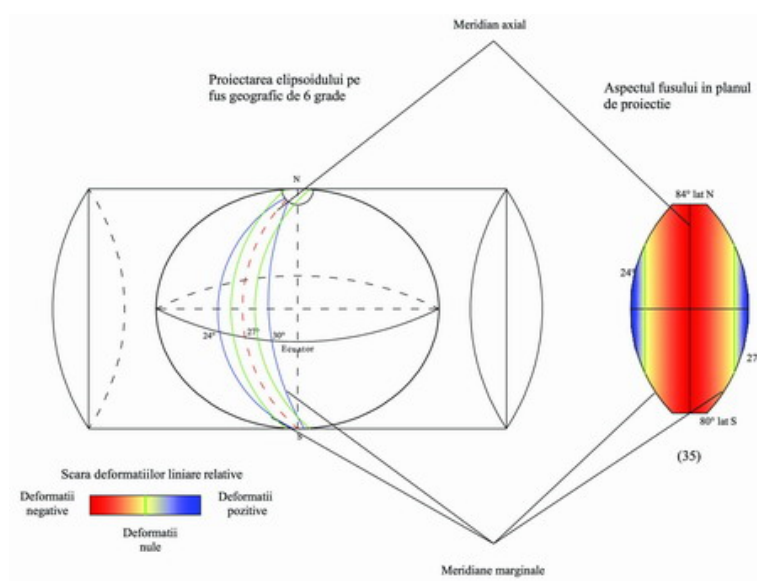
Acest sistem a fost folosit la elaborarea planurilor topografice de bază, la scările 1:2000, 1:5000, 1:10000 precum și a hărților cadastrale la scara 1:50000 [Moroșanu, 2007]. De asemenea, este folosit pentru reprezentarea ortofotoplanurilor la diferite scări, disponibile în Fondul Național Geodezic<sup>10</sup>. Pe hărțile realizate în această sistem, cotele sunt raportate la nivelul Mării Neagre.

<sup>10</sup><http://www.ancpi.ro/pages/wiki.php?lang=ro&pnu=hartiSiPlanuri>

## Sistemul UTM/WGS84

A fost introdus în România după 1989 și în prezent capătă o foarte mare importanță datorită integrării României în NATO și Uniunea Europeană, deoarece în prezent, acest sistem este unul de referință la nivel mondial și este folosit, printre altele, pentru schimbul de date între instituții din state diferite. Proiecția nu diferă fundamental de Gauss-Kruger, este tot cilindrică, ortografică și transversală. De altfel denumirea UTM este acronimul *Universal Transverse Mercator* (Proiecție Universală Transversală Mercator) care este o proiecție derivată din Proiecția Mercator, dezvoltată de cartograful flamand Gerardus Mercator în 1569. Se menține împărțirea globului în fuse de câte 6 grade, diferența constând în faptul că cilindrul de proiecție intersectează suprafața terestră la latitudinile de  $80^\circ$  S și  $84^\circ$  N și meridianele marginale care delimitează fuserile (1.10).

Fig. 1.10: Sistemul de proiecție UTM. Sursa: <http://earth.unibuc.ro/articole/deformatii-liniare-in-sistemele-proiectie>



*Datum*-ul WGS84 se bazează pe elipsoidul WGS84, definit prin semiaxa mare de 6 378 137 m și turtirea de  $1/298.257223563$  (vezi secțiunea 1.2.1). De asemenea, pentru precizarea cotelor, se folosește geoidul EGM96<sup>11</sup>. În țara noastră acest sistem de proiecție s-a folosit pentru elaborarea hărții topografice la scara 1:100000, ediția 1996.

<sup>11</sup><http://en.wikipedia.org/wiki/WGS84>

## Capitolul 2

# Georeferențierea planșelor scanate

Georeferențierea unei imagini presupune alinierea acesteia la un sistem de coordonate definit. În felul acesta imaginea un set de date spațiale, iar prima consecință a acestui fapt este că scara reprezentării devine variabilă. Se poate "naviga" deasupra imaginii la "înălțimi" diferite, controlate prin factorul de zoom.

Matematic, este o operație de translație și/sau rotație a sistemului de coordonate al imaginii (care numerotează coloanele și liniile de pixeli începând cu cel din stânga sus) față de sistemul de coordonate în care se realizează georeferențierea. Problema se rezumă la rezolvarea unor sisteme de ecuații și aflarea unor coeficienți care se aplică fiecărui pixel al imaginii pentru a-l face să corespundă unei anumite poziții geografice, definite printr-o pereche de coordonate matematice sau geografice. Concret, utilizatorul oferă ca input puncte de pe imagine ale căror coordonate le cunoaște, iar programul aplică un algoritm în funcție de numărul de puncte introduse (care oricum trebuie să fie cel puțin trei).

Selectarea punctelor de control se poate face în două feluri:

1. fie utilizatorul le alege direct de pe hartă, în cazul în care are la dispoziție puncte de coordonate cunoscute (de regulă la intersecțiile liniilor caroiajului)
2. fie se folosește de imagini sau hărți deja georeferențiate și identifică elemente comune pe harta negeoreferențiată.

Imaginea este astfel rectificată și poate fi salvată separat, împreună cu informațiile de georeferențiere (care se salvează fie într-un fișier separat, cu același nume dar cu extensie diferită, de ex. .jgw, .tfw, .eww, fie în headerul imaginii, în cazul fișierelor geotiff).

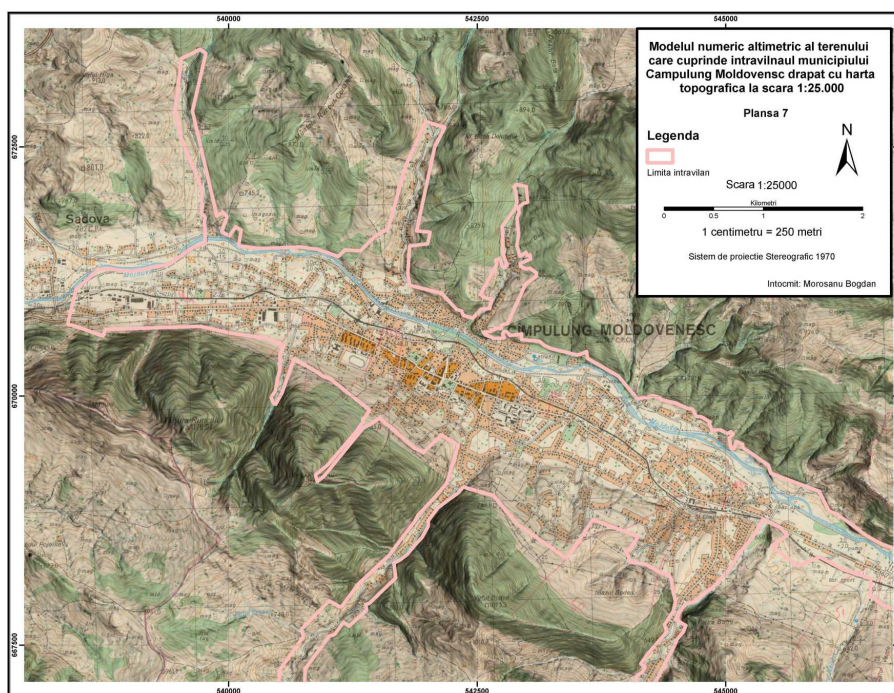
Vom detalia această operație, în ambele moduri enunțate mai sus, în aplicația Global Mapper, versiunea 10, dezvoltată de o companie din SUA.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Global Mapper LLC, [www.globalmapper.com](http://www.globalmapper.com)

Pentru început vom prelua o imagine dintr-o sursă publică. S-a ales un fragment de hartă topografică scanată, la scara 1:25000, cu zona Câmpulung Moldovenesc, de pe site-ul [geo-spatial.org](http://geo-spatial.org)<sup>2</sup> (fig. 2.1). Harta este în proiecția Stereo 70, după cum rezultă din legendă și din valorile coordonatelor de pe marginea carioajului.

Fig. 2.1: Harta scanată folosită ca exemplu pentru operația de georeferențiere



<sup>2</sup>[http://earth.unibuc.ro/galerii/?c=gal\\_topografice&p=684](http://earth.unibuc.ro/galerii/?c=gal_topografice&p=684)

## 2.1 Georeferențierea pe baza punctelor de pe hartă

Hărțile topografice, precum cea folosită pentru exemplificare, prezintă avantajul că oferă utilizatorului toate informațiile de care are nevoie: tipul de proiecție și puncte de coordonate cunoscute. În cazul nostru, harta este în proiecția Stereo 70, iar pentru selectarea punctelor de coordonate cunoscute (numite și puncte de control) vom folosi intersecțiile liniilor carioajului.

Se pornește aplicația Global Mapper și se încarcă imaginea care va fi georeferențiată: click pe *Open Your Own Data Files* apoi se selectează imaginea, în cazul nostru topo.jpg, și apoi click pe *Open* (fig. 2.2)

Fig. 2.2: Fereastra de start a aplicației Global Mapper și selecția fișierului de georeferențiat



Mesajul care apare imediat după încărcare (fig. 2.3) arată că aplicația nu a putut determina proiecția și sistemul de coordonate al imaginii. Opțiunea în cazul, acesta este selectarea butonului *Yes* pentru a georeferenția manual imaginea (*Manually rectify the image*).

Urmează un mesaj în care se explică succint procedura de georeferențiere: *click* pe *OK*.

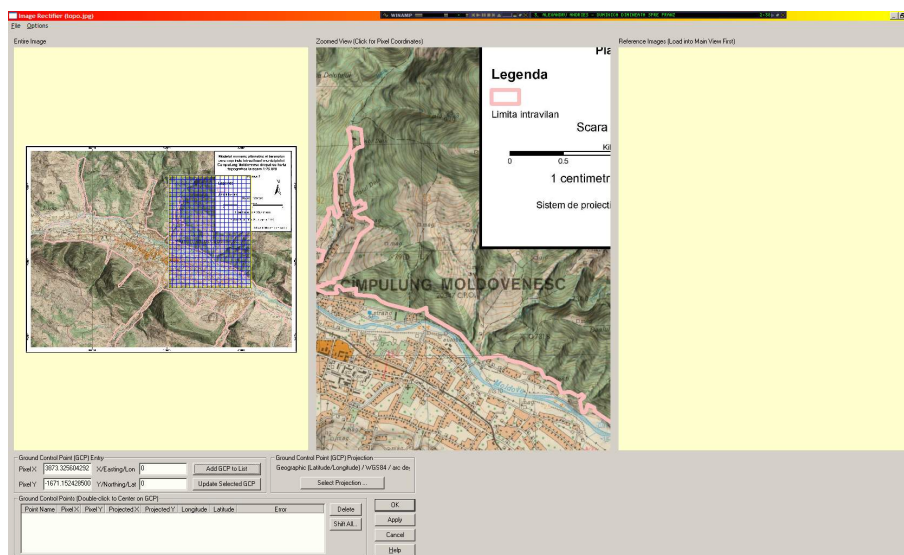
Fig. 2.3: Mesajul care anunță că imaginea nu este georeferențiată



Imaginea s-a încărcat în fereastra *Image Rectifier* care este împărțită în 2 (fig. 2.4):

- în partea de sus, și care ocupă cea mai mare parte a ferestrei, sunt 3 zone care permit vizualizarea, navigarea și selectarea punctelor de control. Aceasta se face în zona din mijloc, cu *mouse*-ul astfel:
  - cu butonul din dreapta se face *zoom out*;
  - cu butonul din stânga se selectează punctele de control, cu *click* simplu și se face *zoom in* cu *click & drag*;
- în partea de jos este o zonă în care se introduc coordonatele punctelor de control și în care se selectează proiecția.

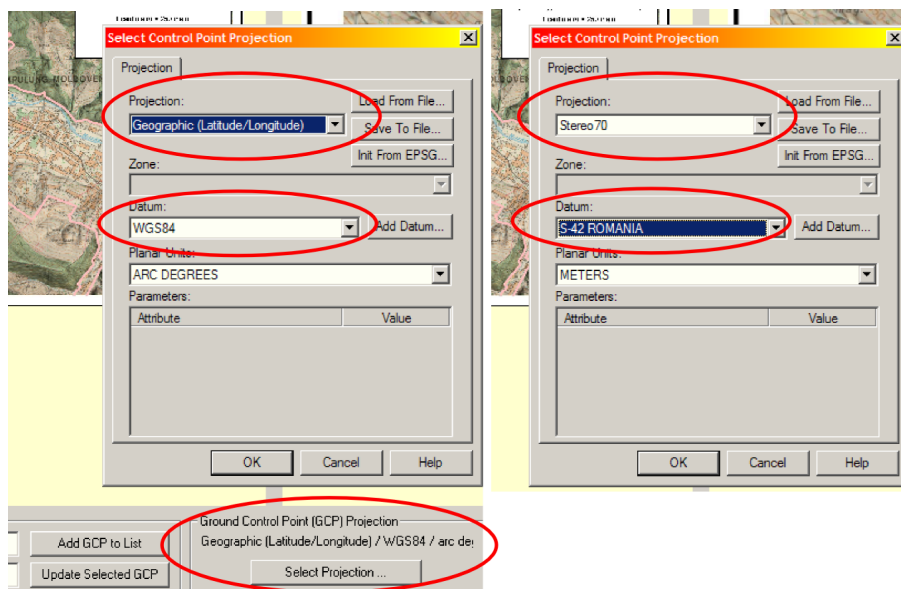
Fig. 2.4: Fereastra de georeferențiere din aplicația Global Mapper



Se observă că aplicația a selectat automat proiecția geografică pe *datum* WGS84. Georeferențierea trebuie să se realizeze în sistemul de coordonate în care este harta scanată. De aceea, în cazul nostru, trebuie selectat sistemul de proiecție corespunzător. Se face *click* pe *Select Projection*, apoi în fereastra care apare

se selectează proiecția **Stereo70** din câmpul *Projection* și *datum*-ul **S-42 ROMANIA** din câmpul cu același nume. Unitatea de măsură se modifică automat în metri: *Planar Units: METERS* (fig. 2.5). Click pe *OK*

Fig. 2.5: Selecția sistemului de coordonate



Mai departe se vor selecta puncte de coordonate cunoscute de pe imagine. Se localizează o intersecție de linii de caroiaj, cum este cea din stânga jos a hărții, între linia de abscisă 540000 și cea de ordonată 667500. Se face *zoom in* în fereastra din mijloc cu *click & drag* până la nivel de pixel, la intersecția respectivă și se face *click* cât mai aproape de centrul intersecției (fig. 2.6). În momentul acesta punctul a fost marcat prin coordonatele interne ale imaginii (în câmpurile *PixelX* și *PixelY*) iar aplicația așteaptă de la utilizator să introducă valorile coordonatelor din sistemul de proiecție ales (în câmpurile *X/Easting/Lon*, respectiv *Y/Northing/Lat*). Aceasta se va face manual, de la tastatură, iar valorile se preiau de pe hartă: 540000, valoarea de pe axa X, în câmpul *X/Easting/Lon* și 667500, valoarea de pe axa Y, în câmpul *Y/Northing/Lat*. Apoi se face *click* pe *Add GCP to List* și *OK* în fereastra care apare pentru selectarea numelui *Point 1*, iar punctul va apărea în tabelul *Ground Control Points*, din partea de jos a ferestrei.

Se continuă în mod analog până se introduc cel puțin 4 puncte<sup>3</sup>. Se va avea în vedere că rezultatele cele mai bune se obțin dacă punctele sunt distribuite uniform pe suprafața hărții, nicidecum pe o linie sau aglomerate într-o regiune a hărții (fig. 2.7).

<sup>3</sup>numărul minim suficient pentru a se aplica un algoritm de georeferențiere este de 2 puncte, dar cel mai bine este să se introducă minim 4 puncte

Fig. 2.6: Selecția unui punct de coordonate cunoscute

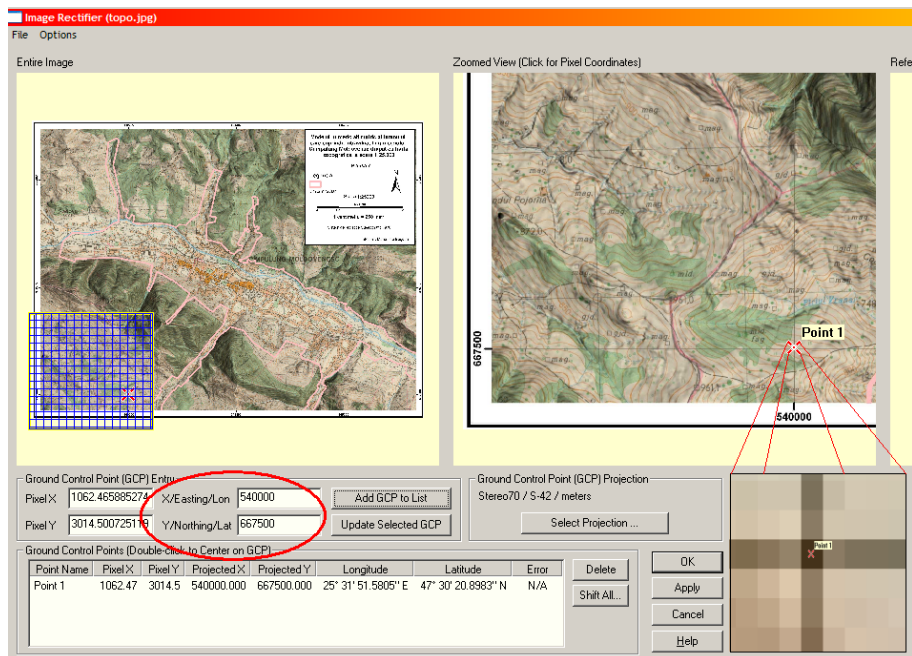
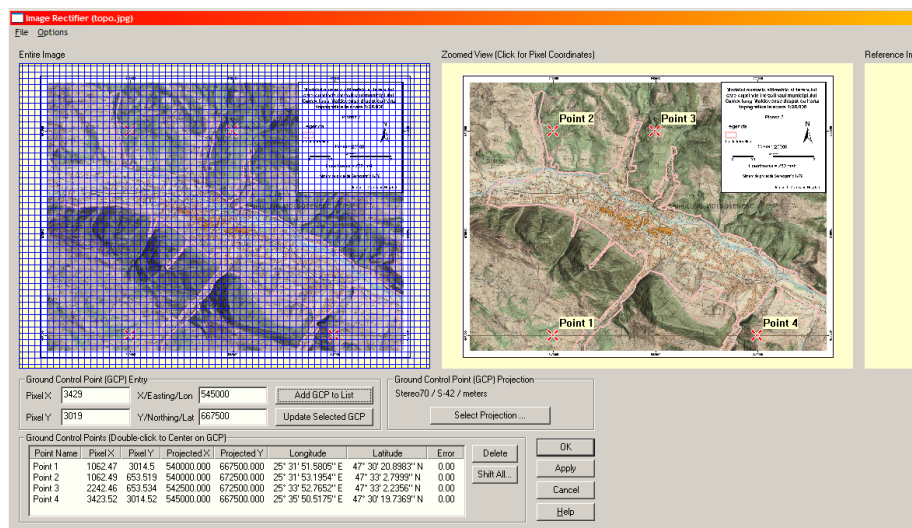


Fig. 2.7: Selecția unui număr suficient de puncte de coordonate cunoscute



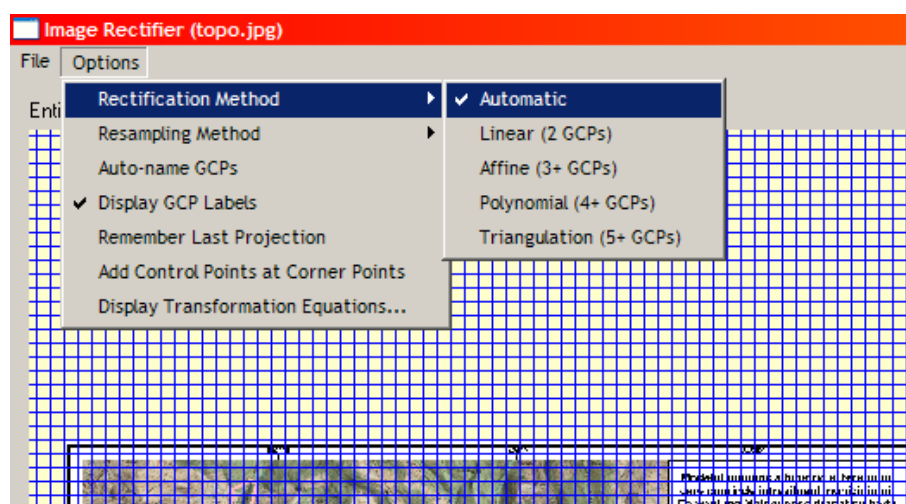
După cum s-a afirmat la început, georeferențierea este o operație de transformare (translație și/sau rotație) a sistemului de coordonate intern al imaginii în noul sistem de coordonate. Aplicația oferă posibilitatea selectării tipului de tranformare, care depinde de numărul de puncte oferite ca input.

Astfel (fig. 2.8):

- pentru o transformare liniară este nevoie de minim 2 puncte de control;
- pentru o transformare afină este nevoie de minim 3 puncte de control;
- pentru o transformare polinomială este nevoie de minim 4 puncte de control;
- pentru o transformare prin triangulație este nevoie de minim 5 puncte de control.

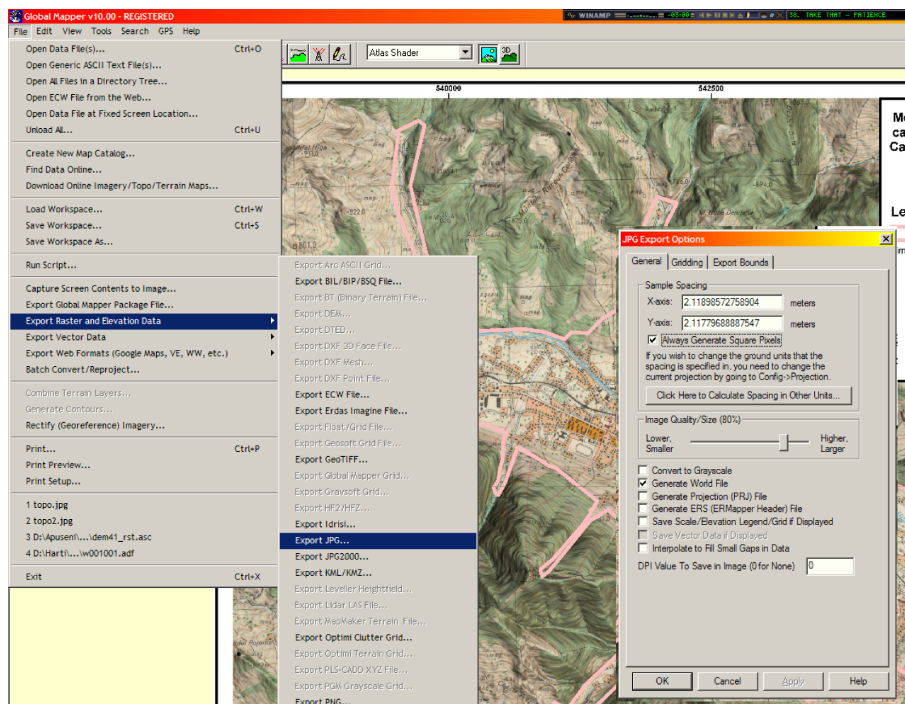
Dacă se selectează *Automatic*, ca în cazul nostru, programul va aplica algoritmul în funcție de numărul de puncte de control, care determină de asemenea și gradul de complexitate și acuratețea transformării. Din practică, s-a observat că dacă punctele se pot identifica ușor pe hartă, ca în cazul nostru, când a existat un caroiș, atunci este suficientă o transformare cu 4 puncte, iar dacă sunt și uniform distribuite, chiar 3 puncte. În tot cazul, pentru acuratețe și pentru exemplificare, am preferat introducerea a 4 puncte de control.

Fig. 2.8: Selecția tipului de transformare



În acest moment imaginea este georeferențiată. Se face *click* pe *OK* și aceasta se încarcă în fereastra principală a programului, care a stocat intern toate informațiile privind georeferențierea. Este nevoie ca acestea să se salveze pe disc, într-un fișier separat, pentru ca imaginea să poată fi recunoscută ca georeferențiată și de către alte aplicații de GIS. Pentru aceasta, se va exporta imaginea în același format, .jpg, cu o altă denumire. Se face *click* pe *File*, apoi *Raster and Elevation Data*, apoi *Export JPG* (fig. 2.9). În fereastra care apare se prezintă opțiunile pentru de salvare a imaginii. Se bifează: *Always Generate Square Pixels* și *Generate World File*. Acest fișier *World* va avea aceeași denumire cu cea a imaginii, dar extensia .jgw. Este foarte important să se păstreze acest fișier în același folder în care se păstrează imaginea, deoarece aici se salvează detaliile georeferențierii. În orice aplicație de GIS se va introduce de acum imaginea, aceea va căuta acest fișier pentru a o localiza corect pe suprafața terestră. Se debifează *Generate Projection (PRJ) File*, iar restul opțiunilor se lasă nemodificate. Se face *click* pe *OK*, apoi se alege unde se va salva și se numește imaginea (de exemplu topo\_georef.jpg).

Fig. 2.9: Exportul imaginii georeferențiate în format .jpg



Se închide Global Mapper și se pot verifica pe disc fișierele nou create: topo\_georef.jpg (imaginea în sine) și topo\_georef.jgw (datele de georeferențiere), iar imaginea inițială, topo.jpg, a rămas nemodificată.

## 2.2 Verificarea acurateții georeferențierii

În continuare, vom prezenta o modalitate prin care se poate verifica dacă o imagine a fost bine georeferențiată, folosind o aplicație care a câștigat foarte multă popularitate în ultimul timp: Google Earth. În versiunea 4.3 această aplicație oferă un model al suprafeței terestre pe care se poate naviga și vizualiza o serie de date spațiale<sup>4</sup>, precum:

- în primul rând imagini satelitare care acoperă toată suprafața Pământului, la rezoluții variind de la mai puțin de 1 m pentru zonele rezidențiale ale statelor dezvoltate, la 30 m în zonele mai puțin populate (deșerturi, junglă, munți înalți, etc);
- o perspectivă tridimensională a suprafeței terestre, pe baza unui model numeric altitudinal;
- limite de unități administrative și localități;
- o bază impresionantă de informații localizate exact, provenind de la diferite agenții guvernamentale sau neguvernamentale din întreaga lume, precum și de la utilizatori individuali: fotografii, articole, modele 3D de clădiri, etc.)

Google Earth permite deasemenea vizualizarea propriilor date spațiale pe acel model al suprafeței terestre. Această funcție este cea care permite verificarea acurateții georeferențierii: dacă imaginea a fost georeferențiată corect, la încărcarea în Google Earth ea se va suprapune exact pe suprafața terestră virtuală a aplicației și se va compara cu imaginea satelitară din zonă respectivă.

Pentru aceasta este nevoie ca imaginea în format .jpg să fie transformată în format .kmz care este formatul suportat de Google Earth, prin intermediul Global Mapper. Se deschide programul Global Mapper și se încarcă imaginea georeferențiată în secțiunea anterioară (topo\_georef.jpg). De data aceasta nu mai apare mesajul prin care se anunța că imagine nu este georeferențiată (fig. 2.3), semn că aplicația a identificat fișierul cu datele de georeferențiere (topo\_georef.jgw). În fereastra care apare ni se solicită însă precizarea proiecției și *datum*-ului<sup>5</sup>. Se alege proiecția Stereo 70 și *datum*-ul S-42(ROMANIA) și se face *click* pe *OK* (fig. 2.10).

Imaginea a fost încărcată în aplicație, iar faptul că este georeferențiată se confirmă prin aceea că pentru orice poziție a *mouse*-ului pe ecran se precizează coordonatele în colțul din dreapta jos al ferestrei.

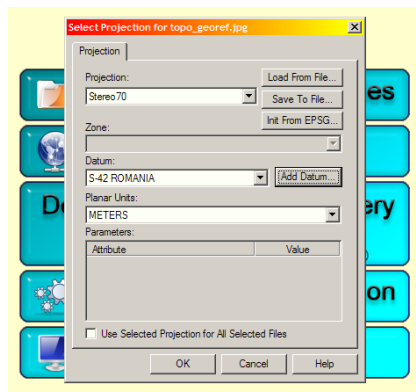
Mai departe, de aici se va exporta imaginea în format .kmz pentru Google Earth. Aceasta se face ca în mod analog cu exportul în format .jpg din secțiunea anterioară, numai că acum se va selecta *File>Export Raster and Elevation Data>Export KML/KMZ...* în loc de *Export JPG...*<sup>6</sup>.

<sup>4</sup>Atenție! Aceste date sunt supuse unor Termene și condiții care limitează folosirea lor în afara aplicației Google Earth. Referința: [http://pack.google.com/intl/en/eula\\_print.html](http://pack.google.com/intl/en/eula_print.html)

<sup>5</sup> Aceste sunt informațiile care s-ar fi salvat în fișierul .prj (*Projection File*) dacă s-ar fi bifat opțiunea aceasta în momentul exportului din Global Mapper a imaginii georeferențiate (fig. 2.9). Motivul pentru care nu s-a salvat acel fișier atunci este faptul că unele aplicații nu îl interpretează corect și aceasta poate duce la erori de reprezentare. De aceea este nevoie să se precizeze mereu tipul de proiecție al imaginii, când se încarcă într-o aplicație GIS

<sup>6</sup> De fapt, acum aplicația realizează și o transformare de coordonate a imaginii din sistemul Stereo 70 în sistemul Geografic/WGS84. Această operație va fi detaliată în capitoul următor...

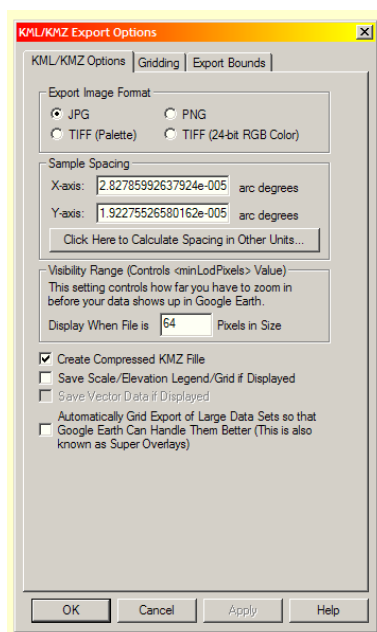
Fig. 2.10: Selectarea sistemului de proiecție



În fereastra care apare se vor selecta opțiunile de export (similiar cu cele din fig. 2.11)

- formatul de imagine JPG;
- rezoluția nu se va modifica (câmpurile *X-axis* și *Y-axis*);
- se va debifa ultima opțiune: *Automatically Grid Export of Large Data Sets so that...*

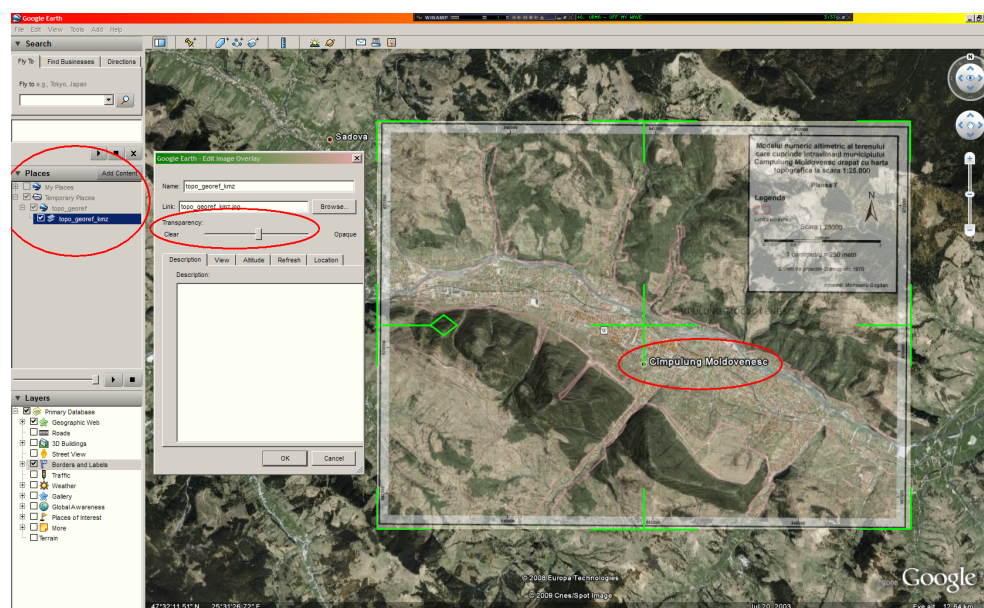
Fig. 2.11: Exportul în format .kmz pentru Google Eath



Se alege locul unde se va salva și denumirea noului fișier (de exemplu topo\_georef.kmz).

Pentru a se vizualiza orice set de date .kmz în aplicația Google Earth se face dublu-*click* pe fișierul respectiv. Efectul este spectaculos, deoarece programul simulează un zbor în coborâre de la o altitudine mare și de deasupra Americii de Nord până la setul de date încărcat, în cazul nostru, în nordul Carpaților Orientali, pe Valea Moldovei, în Câmpulung Moldovenesc. Dacă se dorește încărcarea altor seturi de date după ce s-a pornit aplicația, aceasta se face din *File>Open* sau cu combinația de taste *Ctrl+O*. În Google Earth, toate datele ce se încarcă sunt organizate în strate și afișate într-un tabel în stânga ferestrei principale, de unde se pot bifa, pentru vizualizare, sau debifa pentru ascundere sau se pot selecta pentru a li se modifica modul de afișare (transparența, culoarea, etc.). Modificarea modului de afișare a vizualizate în Google Earth se face cu *click*-dreapta pe setul respectiv, apoi *Properties*. În cazul nostru este de dorit modificarea transparenței pentru a se analiza acuratețea georeferențierii. Harta ar trebui să se suprapună exact pe imaginea satelitară din aplicație. Aceasta se face prin glisarea butonului din câmpul *Transparency* (fig. 2.12).

Fig. 2.12: Vizualizarea datelor în Google Earth: Cercurile roșii pun în evidență: în stânga tabelul de unde se pot modifica proprietățile seturilor de date încărcate; în centru butonul de unde se poate seta gradul de transparență al unui set de date, în cazul nostru imaginea georeferențiată în secțiunea trecută; în dreapta: denumirea Câmpulung Moldovenesc din aplicația Google Earth.



Verificarea se face acum vizual, prin navigare pe hartă.

## 2.3 Georeferențierea pe baza punctelor comune cu planșe georeferențiate anterior (exemplul 1)

În unele cazuri, pe imaginea scanată nu se află puncte ale căror coordonate se cunosc ca, de exemplu, în cazul fotografiilor aeriene sau ale planșelor din planurile urbanistice generale ale localităților. Pentru acestea, se impune o abordare diferită pentru georeferențiere. Mai întâi trebuie precizat faptul că, mai ales în cazul imaginilor aeriene, acestea pot conține erori de reprezentare din cauze precum:

- fotografiile au fost realizate cu camera înclinată față de suprafața terestră<sup>7</sup>;
- chiar dacă au fost realizate perpendicular, deși e foarte puțin probabil din cauza instabilității zborului avionului, s-a fotografiat suprafața curbată a Pământului; efectul este mai vizibil pe măsură ce crește altitudinea, iar un bun exemplu este chiar modelul suprafeței terestre din Google Earth;
- planurile au fost realizate defectuos, fără să se respecte pe hartă unghiurile sau distanțele (redușe la scară) dintre obiecte, din realitate.

În aceste condiții, imaginea georeferențiată poate prezenta distorsiuni față de cea inițială, iar operația în sine se realizează acum cu o acuratețe mai mică. Aceste imagini se pot georeferenția prin comparare cu seturi de date (raster sau vector) deja georeferențiate pe zona respectivă.

Pentru detalierea acestei metode se va folosi o aerofotogramă negeoreferențiată (Enisala\_1969.jpg, fig. 2.13), furnizată de INMI și un set de date vector, georeferențiate, preluate din aplicația Google Earth<sup>8</sup>. Setul de date georeferențiate va constitui sursa pentru punctele de control, iar georeferențierea se va realiza în aceeași aplicație: Global Mapper 10. Această modalitate presupune că utilizatorul știe ce zonă este reprezentată pe aerofotogramă, deoarece trebuie să o localizeze pe Google Earth. Acolo va marca puncte care se vor salva în același format .kmz, de data aceasta ca date vector, pe care le va folosi ca puncte de reper pentru georeferențiere.

---

<sup>7</sup> Ortofotoplanurile sunt un fotografii aeriene corectate de aceste distorsiuni de perspectivă ce rezultă ca urmare a înclinării camerei în momentul fotografierii

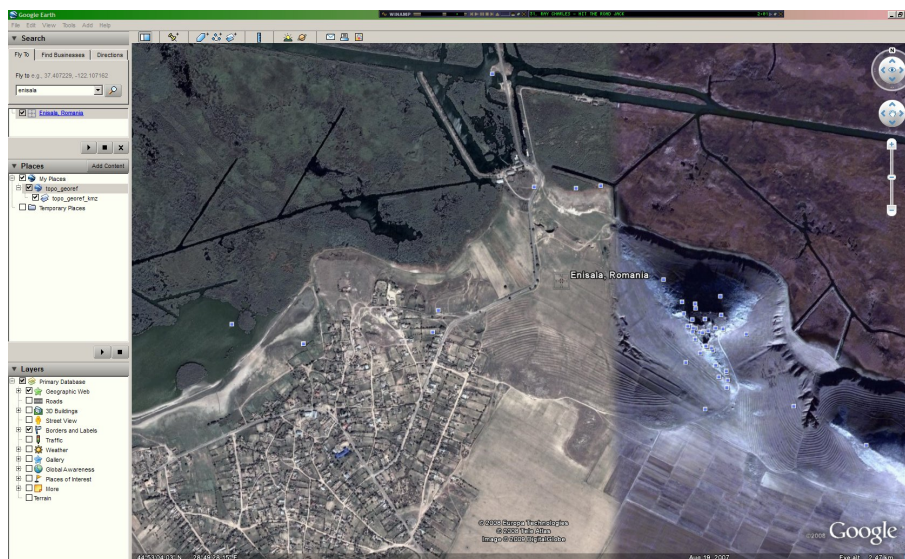
<sup>8</sup> Atenție! Google nu garantează acuratețea reprezentărilor din aplicație. Acestea pot conține erori de localizare de până la câțiva zeci de metri. Însă pentru exemplificarea în această metodologie considerăm că asigură un grad suficient de acuratețe. Este de dorit ca, în aplicații profesionale, să se folosească surse de date spațiale georeferențiate cu o acuratețe ridicată (de exemplu ortofotoplanuri furnizate de ANCPI)

Fig. 2.13: Aerofotograma care se va georeferenția



Pentru început se va porni aplicația Google Earth și se va localiza regiunea reprezentată pe aerofotogramă. Aceasta corespunde aproximativ celei din fig. 2.14.

Fig. 2.14: Zona din Google Earth corespunzătoare aerofotogramei



Se observă că între cele două imagini există diferențe. Cea disponibilă pe Google Earth este mai recentă și conține elemente în plus față de aerofotogramă. În tot cazul sunt încă suficiente elemente comune care pot fi folosite ca puncte de reper. În cazul nostru vom alege în principal puncte la intersecții de drumuri.

Se face *zoom in* către un astfel de punct care se va marca cu butonul *Add Placemark* din bara de unelte a aplicației (fig. 2.15). Activarea acestui buton are ca efect marcarea unui punct în centrul cadrului. De acolo se mută cu *mouse-ul* în locul dorit și se redenumeste în câmpul *Name* din fereastra *New Placemark* (fig. 2.16).

Fig. 2.15: Butonul *Add Placemark* cu care se vor lua punctele de control în Google Earth

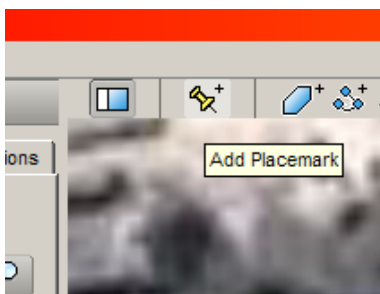
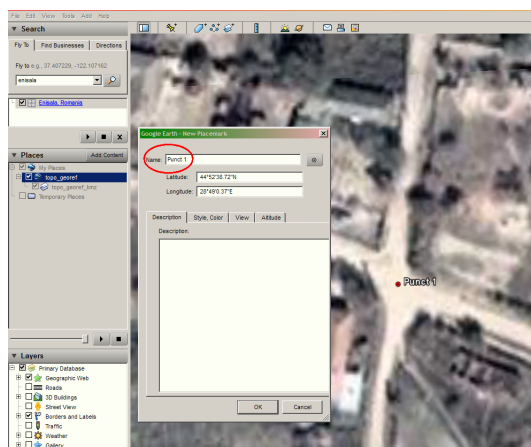
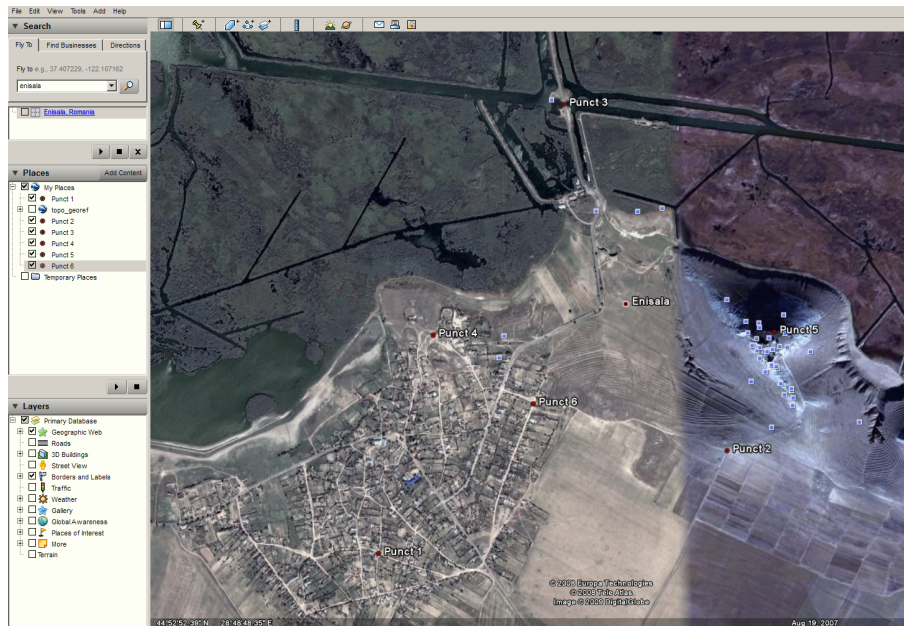


Fig. 2.16: Plasarea și denumirea unui punct în Google Earth



În mod analog se procedează și cu restul punctelor, până când se obține un număr suficient, distribuite cât mai uniform (fig. 2.17).

Fig. 2.17: Poziția punctelor de control pe imaginea din Google Earth



Aceste puncte se vor exporta într-un fișier .kmz care va fi folosit apoi în Global Mapper ca reper pentru georeferențierea aerofotogramei. Înainte de exportul propriu-zis se vor aranja punctele într-un folder în aplicația Google Earth. Acesta se creează cu *click*-dreapta pe *My Places*, apoi *Add>Folder* (fig. 2.18), iar în fereastra care apare se va menționa denumirea, în câmpul *Name* și, opțional, o descriere a setului de date, în câmpul *Description* (fig. 2.19). După crearea *folder*-ului, se introduc punctele de control: se face *click* pe denumirea punctului și se trage în dreptul denumirii folderului. Apoi se exportă tot *folder*-ul cu *click*-dreapta pe denumirea sa și *Save Places As* (fig. 2.20). Se alege locul și denumirea fișierului .kmz exportat (de exemplu puncte\_control.kmz).

Fig. 2.18: Crearea unui folder pentru organizarea datelor

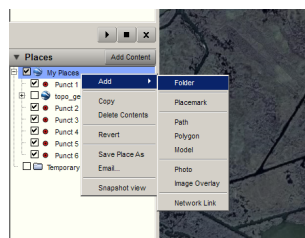


Fig. 2.19: Denumirea unui folder și adăugarea unei descrieri

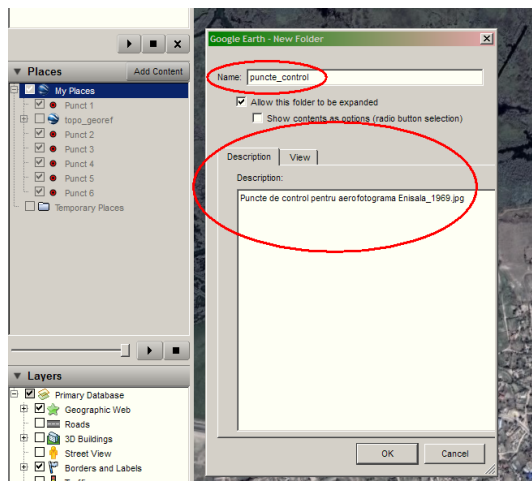
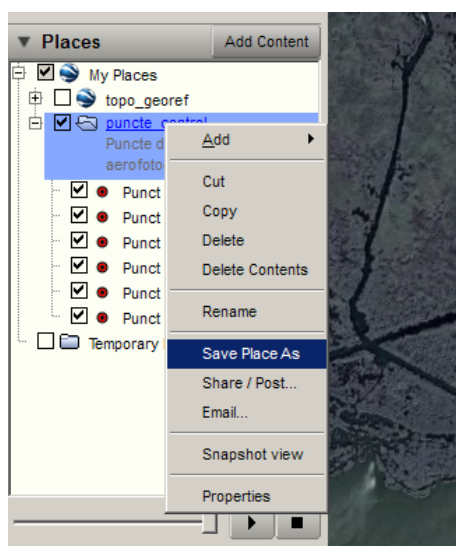
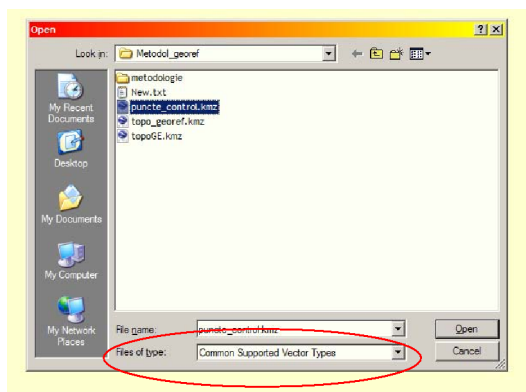


Fig. 2.20: Exportul punctelor de control



Acest fișier se încarcă apoi în aplicația Global Mapper în modul arătat în secțiunile anterioare (fig. 2.21).

Fig. 2.21: Importul punctelor de control în Global Mapper. Dacă fișierul nu este vizibil pentru selecție, se verifică tipul de fișier: în câmpul *Files of type:* se alege *Common Supported Vector Types*



Acum se poate începe georeferențierea. Se face *click* pe *File>Rectify (Georeference) Imagery...* din meniul aplicației (fig. 2.22), iar în fereastra care apare se selectează opțiunile ca în fig. 2.23. Apoi se alege imaginea (Enisala\_1969.jpg), care se va încărca într-o fereastră similară cea din fig. 2.4 și 2.24.

Fig. 2.22: Accesarea uneii de georeferențiere din meniul aplicației Global Mapper

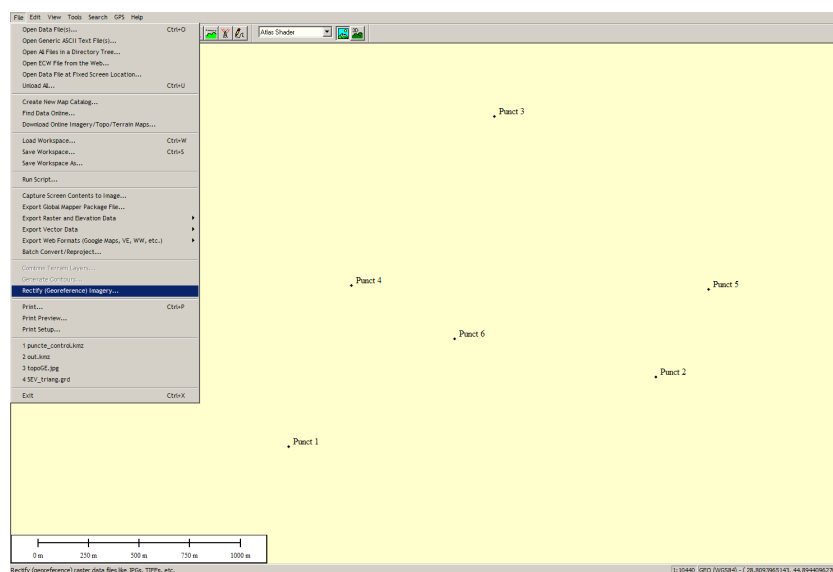


Fig. 2.23: Opțiunile premergătoare georeferențierii. Se observă că, spre deosebire de data trecută, acum imaginea georeferențiată se va exporta direct

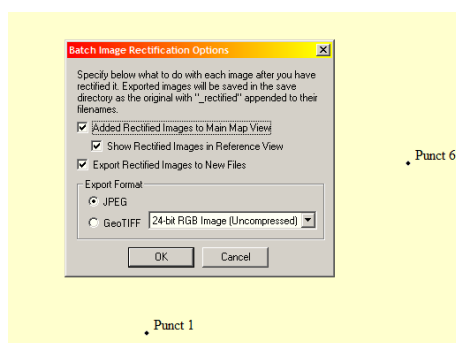
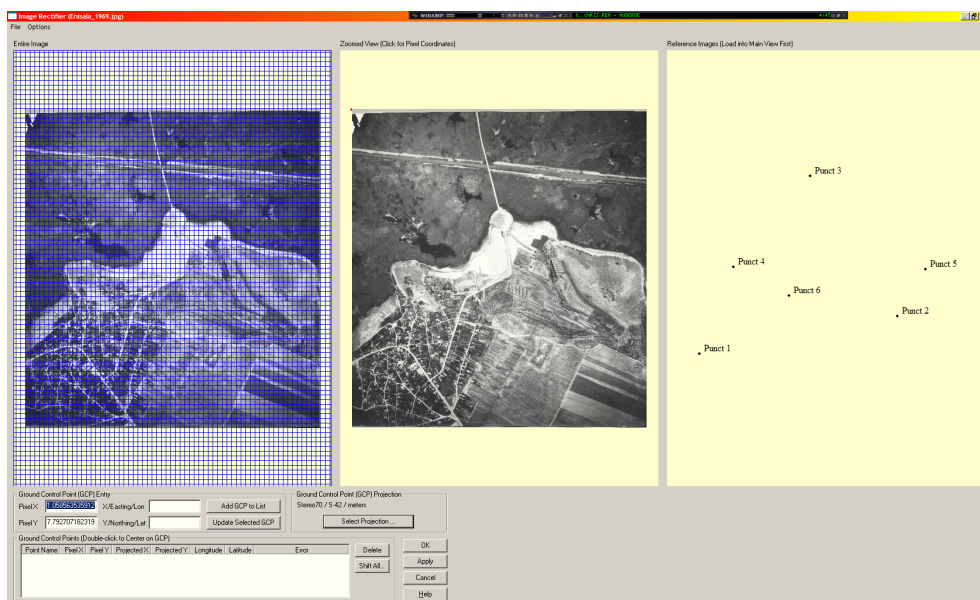


Fig. 2.24: Aceeași fereastră de georeferențiere ca cea din fig. 2.4, cu deosebirea că acum sunt reprezentate și punctele preluate de pe Google Earth, ca repere, în zona din dreapta.



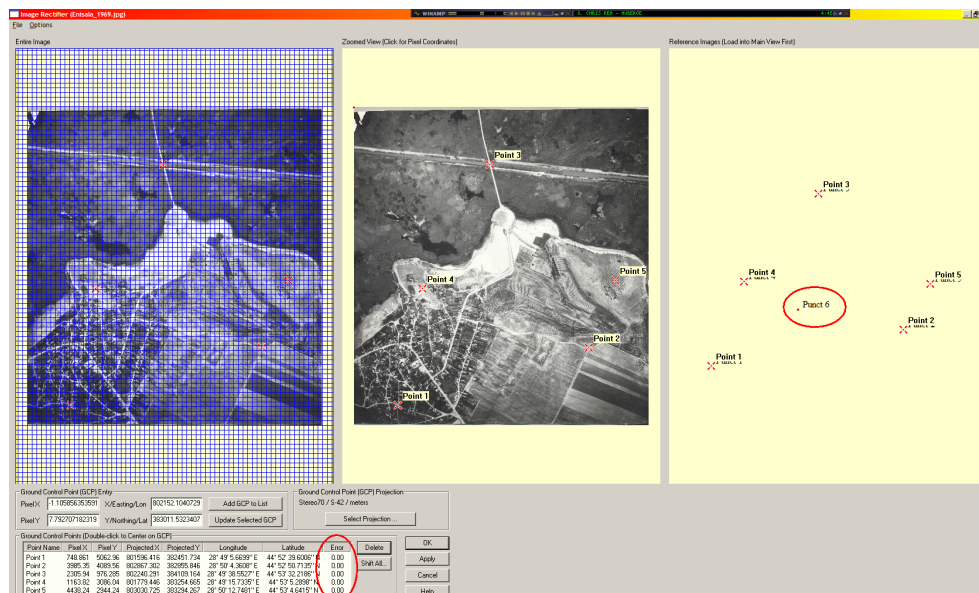
Operația de georeferențiere nu diferă fundamental de ce s-a prezentat anterior. Deosebirea este că în loc să se scrie de la tastatură coordonatele punctelor de control, se vor prelua cu *click* pe punctul de reper din zona din dreapta. Se va selecta în același mod sistemul de proiecție (vezi fig. 2.5). Apoi, pentru fiecare punct de control se va face *zoom in* până la nivel de pixel, pe aerofotograma din zona din mijloc și *click* pentru a i se determina coordonatele în sistemul intern al imaginii. Apoi se va face *click* pe punctul corespunzător din zona din dreapta, pentru a i se determina coordonatele în sistemul de proiecție. Apoi după ce se vor insera valorile în câmpurile *Pixel X*, *Pixel Y*, *X/Easting/Lon* și *Y/Northing/Lat* (ca în fig. 2.6) se va face *click* pe *Add GCP to List*, iar punctul se va salva ca punct de control în tabelul din partea de jos (fig. 2.25).

Fig. 2.25: Selecția unui punct de control. Detalii în text.



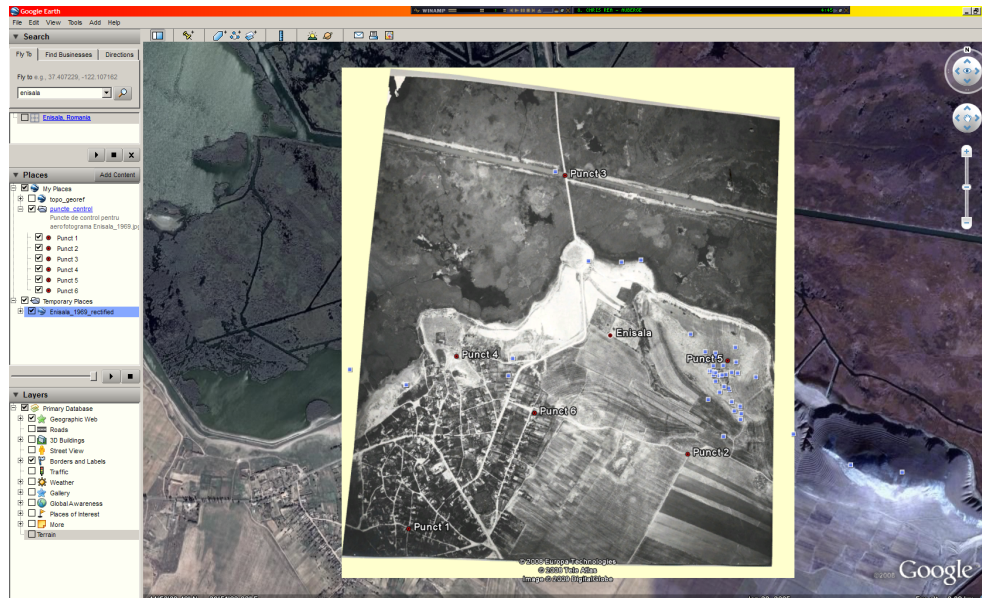
În mod analog se procedează cu restul punctelor. Această metodă prezintă o acuratețe mai scăzută decât cea anterioară, de aceea este posibil să apară erori de localizare a punctelor de control pe aerofotogramă. Aplicația oferă un control al acestora: pe coloana *Error* apar valorile acestor erori, exprimate în unitățile de măsură ale sistemului de coordonate (în cazul nostru, Stereo 70, metri). Ținând cont de precizarea de mai sus, se consideră acceptabile valori de câțiva metri. În cazul în care acestei erori sunt prea mari (valoarea de prag o stabilește utilizatorul, în funcție de acuratețea cu care vrea să realizeze georeferențierea), fie se mai șterge din punctele de control, fie se reface fișierul cu puncte de reper din Google Earth mai clar localizate. În cazul nostru, de exemplu, s-a observat că introducerea punctului 6 determină o eroare de 8.14 m la punctul 1. Ținând cont de numărul total de puncte și de distribuția uniformă a acestora s-a renunțat la folosirea punctului 6 ca punct de control (fig. 2.26).

Fig. 2.26: Pe măsură ce se aleg puncte de control se verifică eroarea de localizare



După ce s-au ales toate punctele de control se face *click* pe *OK*, iar aerofotograma astfel georeferențiată se va salva într-un fișier cu extensia .jpg și cu mențiunea *\_rectified* adăugată denumirii inițiale (în cazul nostru Enisala\_1969\_rectified.jpg). Datele de georeferențiere se vor salva, ca mai înainte, în fișierul asociat cu extensia .jgw. Rezultatul se poate verifica în Google Earth în modul prezentat în secțiunea anterioară, iar în cazul nostru se observă că imaginea a fost distorsionată față de original (fig. 2.27). Acesta este un semn posibil că imaginea inițială nu a fost ortorectificată. Aceste distorsiuni se diminuează prin îndesirea punctelor de control și distribuirea lor cât mai uniform. De aceea, aerotogramele din zone fără repere vizibile (păduri, lacuri, câmpuri, etc) sunt foarte greu de georeferențiat în acest mod: lipsesc punctele ce pot fi luate ca repere, iar imaginea, nefiind ortorectificată, este în sine o reprezentare aproximativă. În cazul nostru, în jumătatea nordică a aerofotogramei s-a folosit ca reper doar punctul 3. Acolo se observă că georeferențierea este inexactă: canalul de pe aerofotogramă nu se suprapune exact pe cel de pe imaginea din Google Earth.

Fig. 2.27: Verificarea imaginii georeferențiate în Google Earth



## 2.4 Georeferențierea pe baza punctelor comune cu planșe georeferențiate anterior (exemplul 2)

Pentru materialul de față, pentru a se asigura continuitatea, se va prelua o imagine satelitară de pe Google Earth, din zona Câmpulung Moldovenesc, care se va georeferenția pe baza hărții deja georeferențiate. Astfel se va detalia, practic, georeferențierea unei aerofotograme ortorectificate, de data aceasta în aplicația ArcMap a suitei ArcGIS, versiunea 9.2, dezvoltată de ESRI <sup>9</sup>.

În Google Earth se face *zoom in* către o zonă din orașul Câmpulung Moldovenesc după ce, dacă e cazul, se debifează din tabel harta georeferențiată care se suprapune pe imaginea satelitară. După ce s-a fixat cadrul, se alege din meniu *File>Save>Save Image...* (fig. 2.28). În fereastra care apare se indică locul de pe disc și denumirea imaginii (de exemplu topoGE.jpg). Aplicația va exporta cadrul fixat în format .jpg (fig. 2.29)<sup>10</sup>.

După ce s-a pregătit imaginea aeriană, se pornește aplicația ArcMap și se încarcă mai întâi harta georeferențiată: topo\_georef.jpg. Aceasta se face cu *click* pe butonul *Add Data* din bara de unelte a aplicației (fig. 2.30).

<sup>9</sup><http://www.esri.com/software/arcgis/>

<sup>10</sup> Atenție! Folosirea imaginilor satelitare în afara aplicației Google Earth este supusă unor termene și condiții restrictive

Fig. 2.28: Exportul unei imagini din Google Earth.

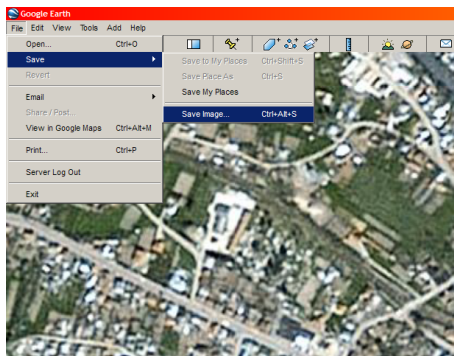
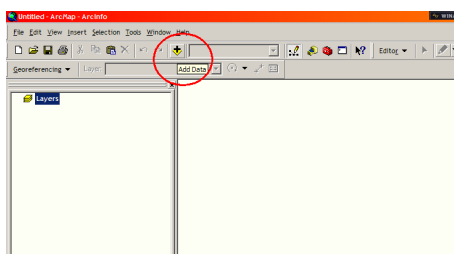


Fig. 2.29: Imaginea preluată de pe Google Earth: topoGE.jpg



Fig. 2.30: Încărcarea unui set de date în ArcMap



În fereastra care apare se alege imaginea și se face *click* pe *Add*. În fereastra următoare se face *Yes* pentru crearea *pyramids*<sup>11</sup> (fig. 2.31), iar în continuare apare un mesaj care anunță că setul de date care se încarcă nu conține informații despre sistemul de proiecție (fig. 2.32) (în mod similar s-a întâmplat și la încărcarea în aplicația Global Mapper). Se face *click* pe *OK* și se observă că în colțul din dreapta jos apar coordonatele care corespund poziției *mouse*-ului, cu precizarea *Unknown Units* (unități de măsură neidentificate). Deci, aplicația poziționează corect imaginea, însă nu ”știe” în ce unități de măsură pentru că nu găsește nici un fișier cu extensia .prj în care să se specifice acestea. Faptul nu afectează operația de georeferențiere, deoarece este suficient să se cunoască sistemul de proiecție doar de către utilizator.

Fig. 2.31: Selecția opțiunii *Add pyramids*

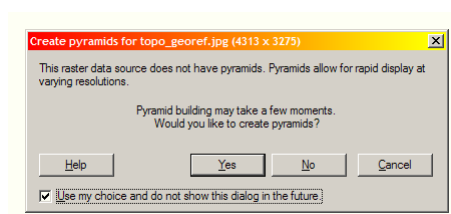
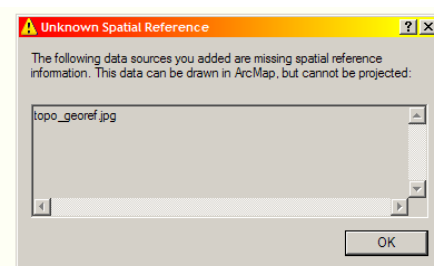


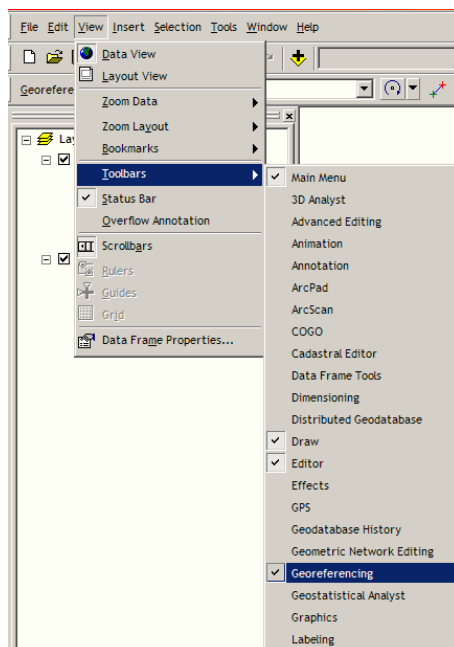
Fig. 2.32: Mesajul de avertizare că aplicația nu regăsește denumirea sistemului de proiecție



În mod analog se încarcă și imaginea aeriană (topoGE.jpg). Diferența va fi că, din cauză că imaginea nu este georeferențiată, aplicația o va încărca însă va ”citi” coordonatele interne ale imaginii (cele care pornesc din colțul din stânga sus cu valorile  $X=0$  și  $Y=0$ ) și o va poziționa ca atare, fără legătură cu datele deja încărcate. În ArcMap operația de georeferențiere este accesibilă dintr-o bară de unelte care se accesează din meniul *View>Toolbars>Georeferencing* (fig. 2.33).

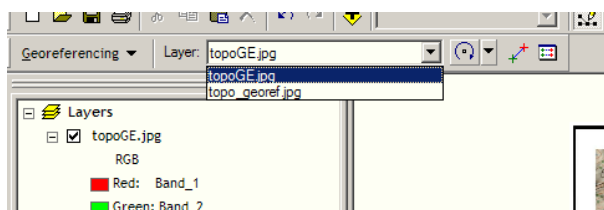
<sup>11</sup> Aceasta este o opțiune ce permite vizualizarea mai rapidă a datelor raster de mari dimensiuni. Nu vom insista asupra acestui aspect aici.

Fig. 2.33: Accesarea barei de unelte pentru georeferențiere



Pe această bară de unelte există un câmp denumit *Layer*. Aici se va selecta imaginea care va fi georeferențiată (în cazul nostru topoGE.jpg.) (fig. 2.34). Acest detaliu este foarte important, deoarece dacă se omite, există riscul este să se "strice" imaginile deja georeferențiate care sunt și ele încărcate în aplicație.

Fig. 2.34: Bara de unelte pentru georeferențiere și selectarea imaginii care va fi georeferențiată



Pentru a putea fi georeferențiată prin raportare la o harta deja georeferențiată trebuie să se găsească puncte comune între cele două. Aceste puncte pot fi intersecții de drumuri sau colțuri ale unor clădiri, sau copaci, movile, stâlpi izolați. Trebuie să se acorde o mare atenție selecției punctelor comune și să se țină cont de faptul că între cele două reprezentări este posibil un decalaj de timp în care obiectele de pe suprafața terestră să se fi modificat (e posibil să fi apărut clădiri noi, să se fi modificat trama stradală, etc.). De aceea rezultatele bune prin această metodă presupun o experiență anterioară de lucru și intuiție.

După ce s-a ales imaginea care va fi georeferențiată este necesar ca aceasta să fie reprezentată în același cadru cu cea georeferențiată pentru a facilita ”legarea” punctelor comune. Pentru aceasta, după ce se face *zoom in* pe imaginea georeferențiată, se face *click* pe butonul *Georeferencing* din bara de unelte. Opțiunile care apar în acest meniu se aplică doar imaginii selectate în câmpul *Layer* de alături. Se alege *Fit to Display* (fig. 2.35), iar imaginea va fi ”mutată” în același cadru cu cea georeferențiată (fig. 2.36).

Fig. 2.35: Bara de unelte pentru georeferențiere și selectarea opțiunii *Fit to Display*

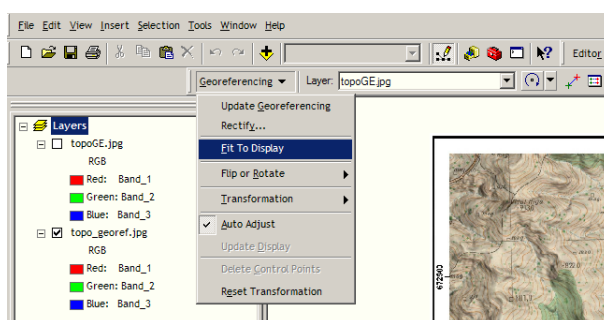
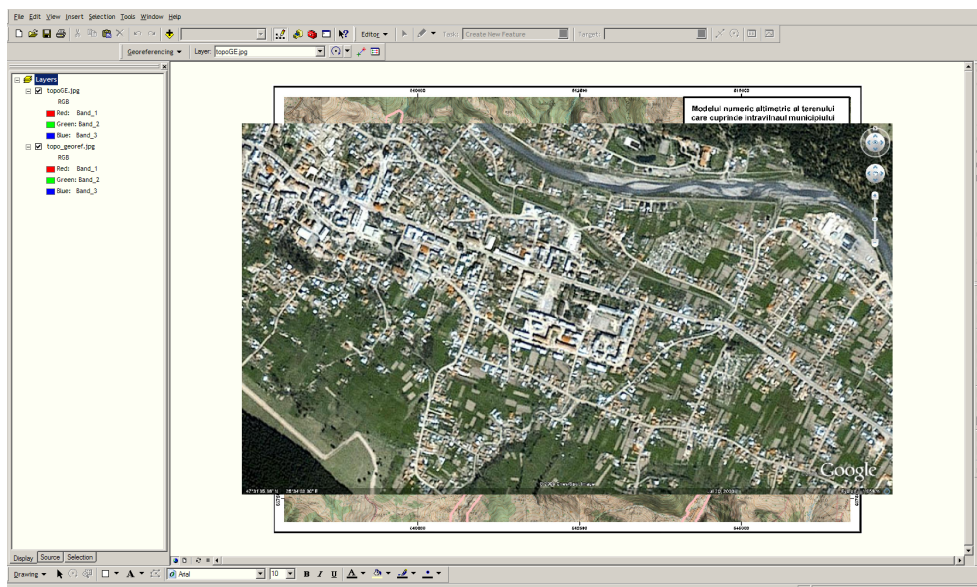


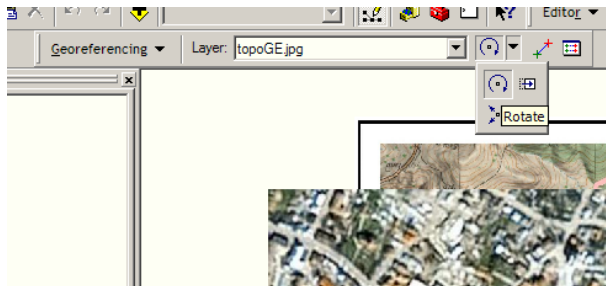
Fig. 2.36: Suprapunerea imaginii negeoreferențiate în același cadru cu cea georeferențiată



Dacă este cazul, tot în bara de unelte *Georeferencing* se găsesc și butoane pentru rotirea, redimensionarea sau mutarea imaginii într-o poziție mai bună (fig.

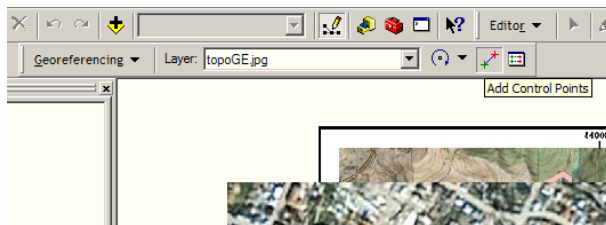
2.37).

Fig. 2.37: Bara de unelte pentru georeferențiere și opțiunile de mutare, redimensionare și rotire a imaginii



În acest moment imaginile sunt suprapuse aproximativ, dar doar vizual. Pentru a stabili punctele de coordonate cunoscute de pe imaginea negeoreferențiată utilizatorul selectează mai întâi punctul pe acea imaginea apoi selectează punctul corespondent de pe imaginea georeferențiată. În felul acesta aplicația va prelua coordonatele acelui punct de pe imaginea georeferențiată. Aceasta se face cu butonul *Add Control Points* (fig. 2.38). Cu acest buton activat, cursorul *mouse*-ului devine o cruce. Se face *zoom in* către punctul ales pe imaginea **negeoreferențiată** și se face *click* pe acel punct. În acest moment aplicația a reținut coordonatele pixelului (pe care l-a marcat cu o cruce verde) pe imaginea negeoreferențiată (cele din sistemul intern al imaginii) și "așteaptă" de la utilizator specificarea coordonatelor în sistemul de coordonate în care se face georeferențierea (fig. 2.39). Aceasta se face cu un al doilea *click*, cu același buton activat, pe imaginea georeferențiată, în punctul corespunzător<sup>12</sup>. Acesta va fi marcat cu o cruce roșie și va fi considerat primul punct de coordonate cunoscute de pe imaginea negeoreferențiată (fig. 2.40).

Fig. 2.38: Bara de unelte pentru georeferențiere și butonul *Add Control Points* care permite selecția punctelor de coordonate cunoscute de pe imaginea negeoreferențiată



<sup>12</sup> Pentru a face vizibilă harta georeferențiată se debifează din tabel imaginea negeoreferențiată (similar cu Google Earth), care "stă" deasupra

Fig. 2.39: Selectarea punctului de coordonate cunoscute pe imaginea negeoreferențiată

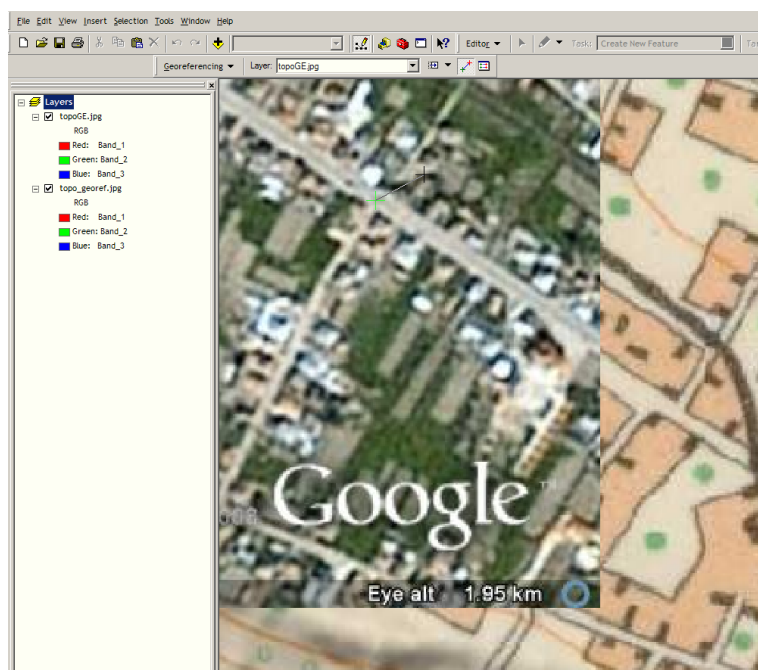
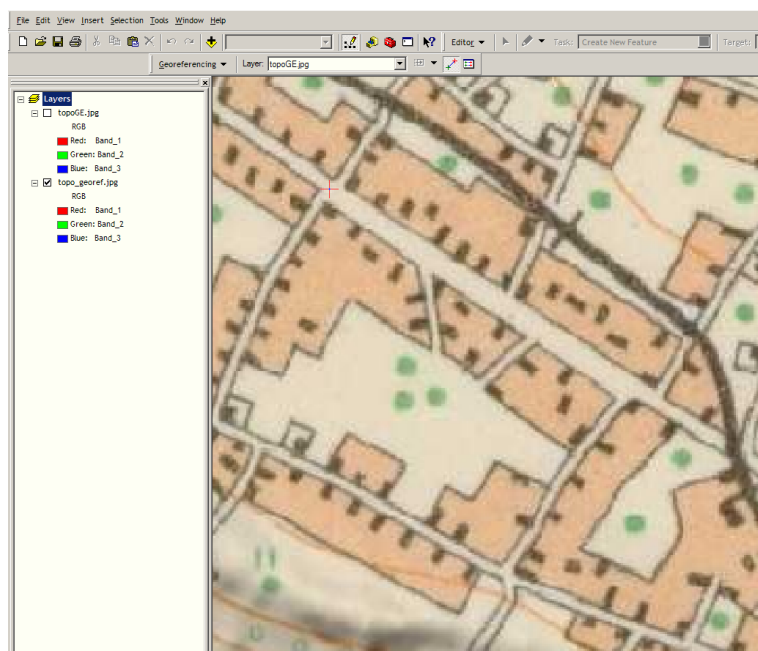
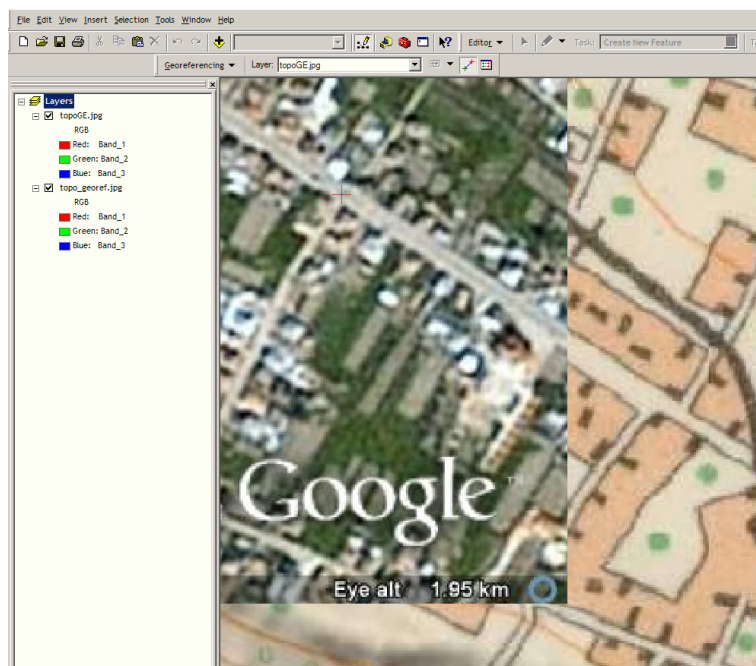


Fig. 2.40: Selectarea punctului de coordonate cunoscute pe harta georeferențiată



Rezultatul este vizibil imediat: ca urmare a legăturii dintre cele două puncte, imaginea negeoreferențiată s-a deplasat astfel încât cele două puncte să se suprapună exact (fig. 2.41).

Fig. 2.41: Primul punct de coordonate cunoscute marcat pe imaginea negeoreferențiată.



În mod analog se procedează cu restul punctelor, până se obțin cel puțin 4, distribuite uniform și pe o suprafață cât mai mare din imagine (fig. 2.43). Aceste puncte se salvează într-un tabel similar cu cel din Global Mapper, care este accesibil cu *click* pe butonul *View Link Table* (fig. 2.42). În acest tabel oferă și o primă modalitate de verificare a acurateții georeferențierii: în coloana *Residual* se dau valorile de eroare exprimate în unitatea de măsură a sistemului de coordonate (în cazul nostru metri). După cum se observă în fig. 2.43, pentru nici un punct valoarea aceasta nu este 0, iar acest fapt este normal pentru modul în care s-a realizat georeferențierea. Condiția este ca valoarea residuală să nu depășească totuși 4-5 m, pentru ca georeferențierea să se considere acceptabilă. Dacă se întâmplă acest fapt, măsura de remediere este să se ștergă din puncte și să se aleagă altele, sau aceleași, dar cu atenție mai mare. Punctele se șterg din acest tabel cu butonul marcat cu X de pe marginea din dreapta a tabelului.

Fig. 2.42: Bara de unelte pentru georeferențiere și butonul *View Link Table* care permite vizualizarea coordonatelor punctelor de control.

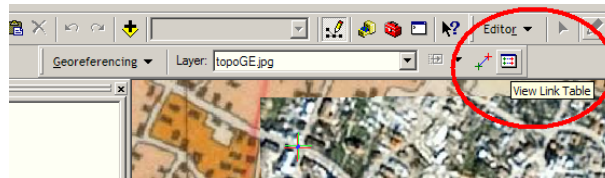
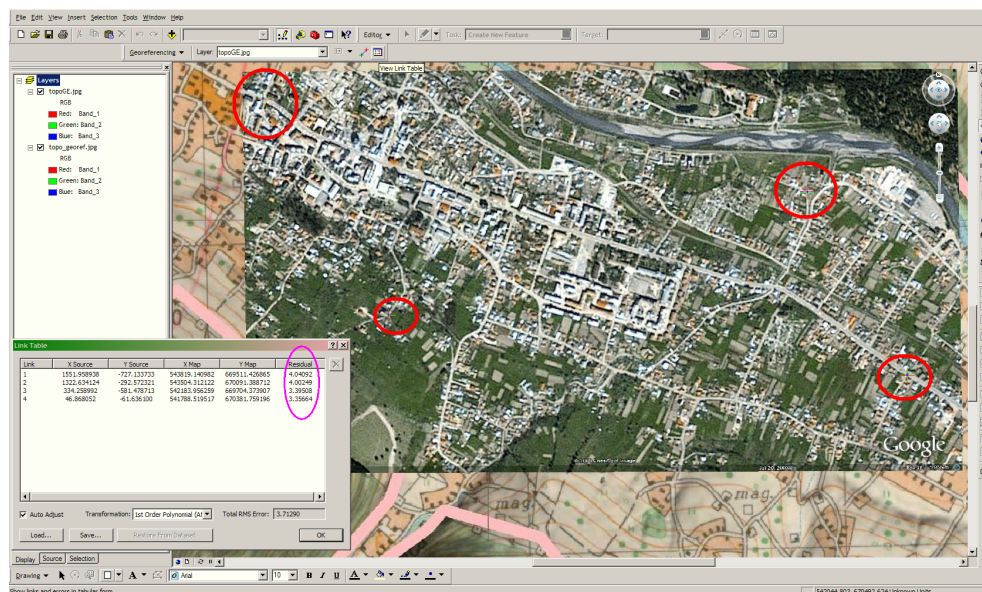


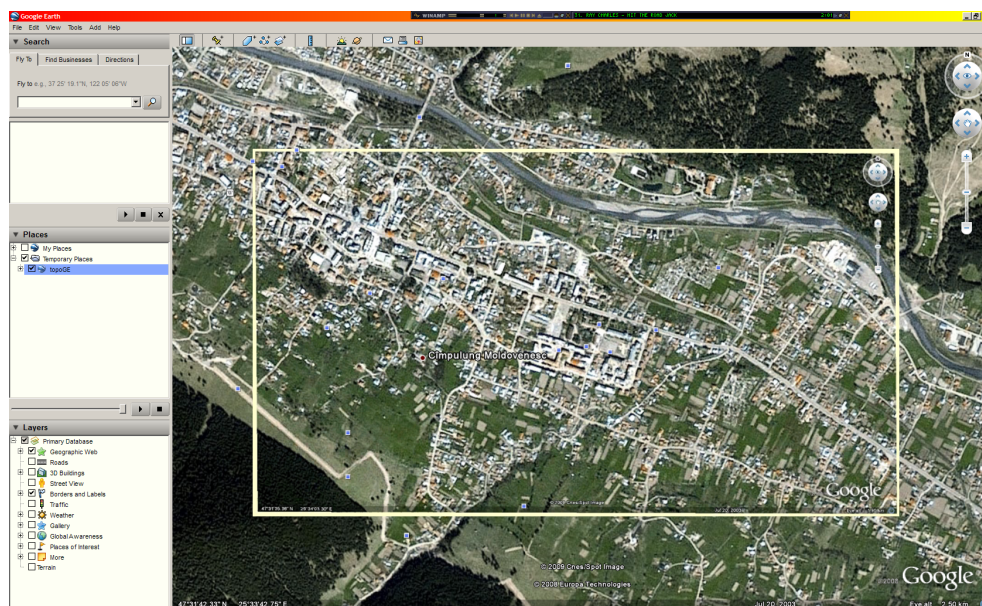
Fig. 2.43: Punctele de control și valoarea erorii pentru fiecare punct în parte



Imaginea este georeferențiată și tot ce mai trebuie făcut este să se salveze informațiile de georeferențiere într-un fișier *WORLD*. Aceasta se face cu *click* pe *Georeferencing>Update Georeferencing*, iar fișierul creat va avea aceeași denumire ca a imaginii dar extensia .jgw (în cazul nostru topoGE.jgw).

Pentru vizualizare și verificare, se încarca imaginea din nou în Google Earth, în același mod care s-a descris la secțiunea 2.2. Rezultatul ar trebui să fie similar cu cel din fig. 2.44

Fig. 2.44: Vizualizarea în Google Earth a imaginii georeferențiate, pentru verificare



## Capitolul 3

# Transformarea coordonatelor în diferite sisteme de proiecție

O situație des întâlnită în lucrul cu date spațiale este aceea că pot exista seturi de date în sisteme de proiecție diferite, din cauză că provin din surse diferite. Este nevoie ca aceste date, fie în model raster, fie în model vector, să fie re-proiectate. Se modifică așadar sistemul de proiecție în care este georeferențiat setul respectiv pe baza unei transformări matematice<sup>1</sup>. La nivel mondial există foarte multe sisteme de coordonate definite pentru diverse regiuni. Conversia între aceste sisteme de coordonate se realizează prin raportare la sistemul WGS84: datele se transformă mai întâi din sistemul local în sistemul WGS84 apoi din WGS84 în sistemul dorit. De aceea, practic, problema transformărilor de coordonate se rezumă la transformarea dintr-un sistem oarecare (în cazul nostru unul din sistemele care sunt în vigoare în țara noastră) în WGS84. Pentru exemplificare vom detalia o transformare a unui set de date din proiecție Stereo 70 în proiecție UTM pe *datum* WGS84. Din experiență s-a observat că o astfel transformare, cu foarte bună acuratețe, este implementată în aplicația Global Mapper. După cum s-a arătat și în secțiunea 1.2.2, pentru proiecția Stereo 70, în Global Mapper există se pot defini practic 2 *datum*-uri: DEALUL PISCULUI 1970 și S42-ROMANIA. Pentru primul, programul aplică un algoritm de transformare către WGS84 cu 3 parametri, iar pentru al doilea cu 7 parametri, rezultând astfel o transformare mult mai exactă.

Concret, transformarea este foarte simplă de realizat. Se încarcă setul de date (cu mare atenție la definirea sistemului de proiecție), se schimbă sistemul de proiecție apoi se exportă setul de date în același format, sau în format diferit, dacă e cazul<sup>2</sup>. Pentru exemplificare vom folosi harta georeferențiată în secțiunea 2.1. Aceasta este în proiecție Stereo 70, și în format .jpg. O vom transforma în

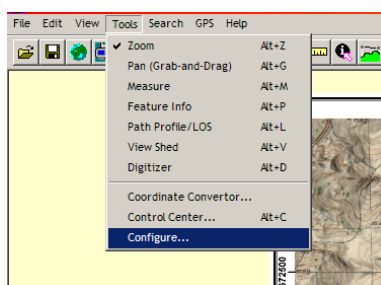
<sup>1</sup>Detaliile acestor transformări nu intră în competența autorului și nu vor fi prezentate aici. Pentru un utilizator obișnuit nici nu este nevoie de acestea, fiind suficientă înțelegerea la nivel conceptual a operației

<sup>2</sup> Acesta este al doilea mare atu al aplicației Global Mapper, pe lângă cel al transformării exacte: suportă un număr foarte mare de formate de date și asigură conversia între ele.

proiecție UTM pe datum WGS84 și în format .tif<sup>3</sup>.

Se deschide aplicația Global Mapper și se încarcă fișierul cu harta respectivă (topo-georef.jpg), în modul arătat în secțiunea 2.2. Se aleg sistemul de proiecție Stereo 70 și *datum*-ul S42(ROMANIA) (vezi fig. 2.10). Transformarea în alt sistem de coordonate se realizează din meniul *Tools>Configure...* (fig. 3.1).

Fig. 3.1: Accesarea meniului de configurare



În fereastra care apare, *Configure* se pot executa numeroase modificări ale mediului de lucru din Global Mapper. Acestea sunt organizate pe secțiuni și accesibile din *tab*-uri: *General*, *Vector Display*, *Area Style*, etc. Cea care ne interesează este secțiunea *Projection*. Aici sunt informațiile despre sistemul de proiecție introduse la încărcarea setului de date: proiecție Stereo 70 și *datum* S-42(ROMANIA). În câmpurile respective se alege noul sistem de proiecție: în câmpul *Projection*: UTM, în câmpul *Zone*: 35 (24° - 30° - Northern Hemisphere)<sup>4</sup>, iar în câmpul *Datum*: WGS84 (fig. 3.2). Modificarea sistemului de proiecție va determina modificarea modului de reprezentare a hărții. Aceasta va apărea ca în fig. 3.3.

Exportul imaginii se realizează cu *File>Export Raster and Elevation Data >GeoTIFF...*, apoi se aleg opțiunile (de exemplu, ca în fig. 3.4). Se aleg locul și denumirea (de exemplu topo-georef-UTM.tif), iar aplicația va crea fișierul WORLD cu extensia .tfw.

<sup>3</sup> Este aceeași abordare ca în secțiunea 2.2, cu deosebirea că acum vom realiza explicit transformarea între cele două sisteme de coordonate

<sup>4</sup> Acesta este fusul proiecției UTM (vezi secțiunea 1.2), și dacă inițial sistemul de proiecție a fost ales corect, aplicația selectează fusul potrivit pe baza coordonatelor setului de date.

Fig. 3.2: Noul sistem de coordonate în care se va reprezenta harta topografică

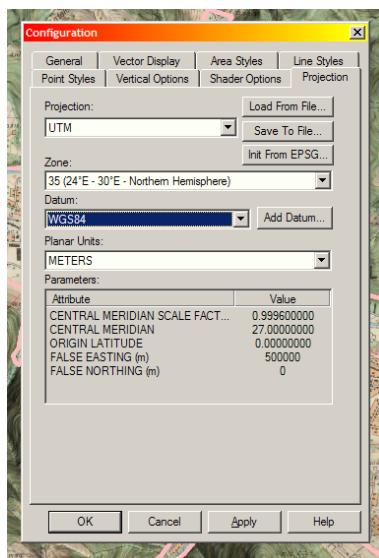


Fig. 3.3: Harta reproiectată în UTM-WGS84

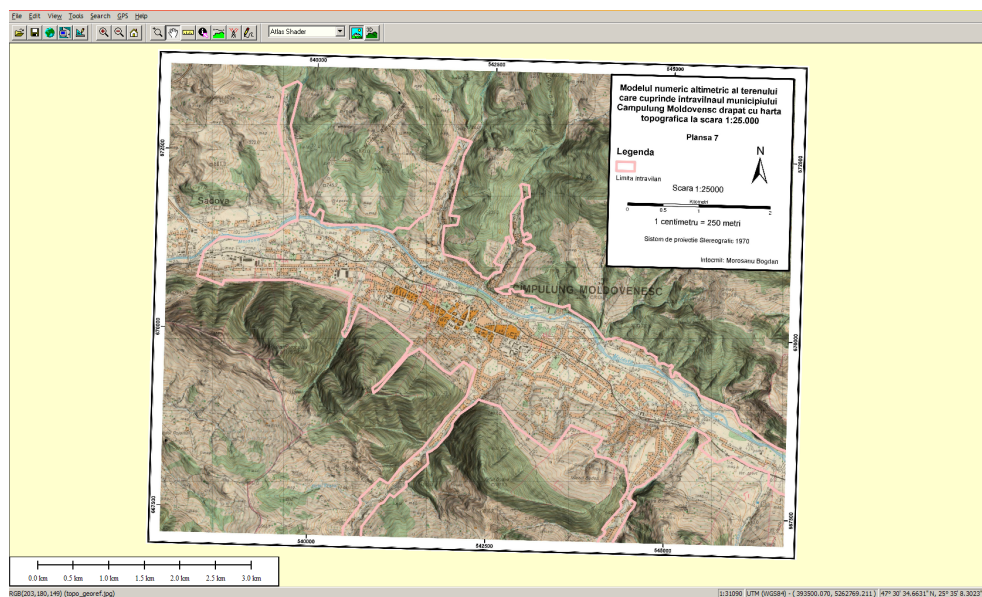
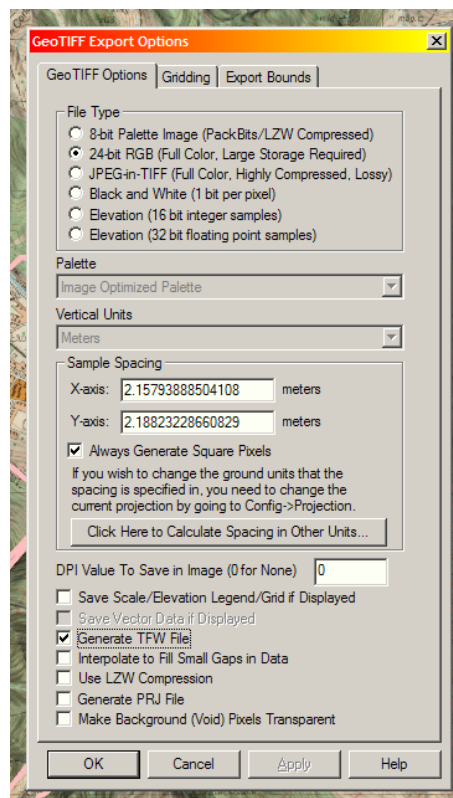


Fig. 3.4: Opțiuni de export în format .tif



# Bibliografie

- Graeme Bonham-Carter. *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. Computer Methods in Geosciences. Pergamon, 1994.
- Bogdan Moroşanu. Deformațiile liniare relative în sistemele de proiecție stereografic 1970, gauss-krüger, utm și comparații între acestea. *www.geospatial.org*, 2007.
- Clifford J. Mugnier. Grids and datums: Romania. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Mai 2001.
- Markus Neteler and Helena Mitsova. *Open Source GIS. A GRASS GIS Approach*. Springer, 3rd edition, 2008.
- STAS7488. *STAS 7488-89: Geodezie, Topografie, Fotogrammetrie, Cartografie și Cadastru*. Institutul Român pentru Standardizare, 1989.
- Mihai Terente. *Analiza și modelarea digitală a terenului. Cu aplicații în bazinele montane al Teleajenului. Teză de Licență*. Universitatea din București, Facultatea de Geografie, 2008.