

# METODOLOGIA DE PUNERE ÎN PRACTICĂ A GEOREFERENȚIERII UTILIZÂND TRANSFORMAREA AFINĂ

*Conf.univ.dr. TUDOR BORȘAN, prof.univ.dr. IOAN IENCIU,  
conf.univ.dr. LUCIANA OPREA, Universitatea "1 Decembrie 1918" din Alba Iulia  
Lect.univ.dr. LARISA FILIP, Universitatea din Petroșani*

**ABSTRACT: Implementation of Geodifferentiation Methodology using the affinity transformation.** Georeferencing is the process of converting a image in file coordinates or page coordinates to a file in map coordinates in a specific map project, coordinate system, map projection and datum. For example, a scanned map can have an origin point and a raster association where each point on the map is identifiable by it's file coordinates. In order to georeference an image, you need to identify map coordinates of any 3 points on the map. There are two main methods of registration: one method is to manually type in map coordinates for points, then select those points on your image, another method is to bring up a coverage that is registered and that has features in it that are visible in the scanned file to register.

**Keywords:** GIS, georeferențiere, raster, mască vectorială, rectificare, RMS, puncte de control

## 1. Introducere

Georeferențierea unei imagini presupune alinierea acesteia la un sistem de coordonate definit. 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/ geografice.

Concret, utilizatorul oferă, ca elemente de intrare, puncte de pe harta imagine ale căror coordonate le cunoaște, iar programul aplică un algoritm în funcție de numărul de puncte introduse. Imaginea este astfel rectificată și poate fi salvată separat, împreună cu informațiile aferente procesului de georeferențiere.

## 2. Transformarea afină

Transformarea afină are loc prin următoarele procese: translație, rotație, distorsiune liniară și schimbare de scară atât pe axa  $x$  cât și pe axa  $y$ .

**Translația** reprezintă cea mai simplă transformare, presupunând că axele noi sunt paralele cu celelalte, iar originea este diferită. În primul rând trebuie localizată originea celui de-al doilea sistem față de primul, practic valorile pe  $x$  și  $y$  ale acestei deplasări.

**Rotația** apare în situația în care un sistem este rotit cu un anumit unghi față de sistemul dat, ambele sisteme păstrând aceeași origine. Deoarece rotația se face pe baza unui unghi, se implică automat utilizarea funcțiilor trigonometrice.

**Scalarea** cu factori diferiți pe direcția  $X$  și  $Y$  implică o denaturare a scării de referință prin schimbarea măsurii unui segment de linie sau modificarea ariei unui poligon în noul sistem.

**Distorsiunea** este o deformare liniară

privită ca o deplasare a unui punct doar pe o anumită axă (X), fără a deplasa originea (axa Y rămâne constantă).

### 3. Premisele transformării imaginii în entitate raster referențiată geografic

Procesul de georeferențiere se poate realiza cu multă ușurință în arborele *Arc Map*, al Desktop-ului Arc GIS utilizând comanda Georeferencing. Există două posibilități de încadrare a elementelor de conținut din cadrul hărții, în funcție de mărimea zonei de acoperire. Dacă se folosește într-un studiu doar o zonă încadrabilă într-o singură foaie de plan, se pot materializa patru puncte la intersecția axelor de coordonate, astfel crearea unui mozaic prin legarea celorlate secțiuni ale foilor de plan adiacente ar fi greu de realizat, aproape imposibil.

O a doua posibilitate constă în utilizarea unor entități vectoriale cu geometrie poligonală, construite pe limita de contact a elementelor de conținut ale secțiunilor foilor de plan cu cadrul hărții (fig. 1).

Atunci când se încarcă pentru prima dată un raster (hartă scanată sau imagine), ArcGIS afișează o casetă de dialog pentru crearea unor piramide asociate, scopul acestora, legându-se de optimizarea performanței afișărilor, practic comprimă seturile de rastere cu diferiți factori. Imaginea este adăugată în cadrul ferestrei grafice și pregătită pentru procesul de georeferențiere.

În acest scop am pregătit două foi de plan vecine la scara 1:5000 cu nomenclaturile: L-34-72-C-c-3-II și L-34-72-C-c-4-I. Așa cum s-a arătat, o a doua metodă de încadrare a elementelor de conținut din cadrul hărții în funcție de mărimea zonei de acoperire constă în utilizarea unor entități vectoriale cu geometrie poligonală construite pe limita de contact a elementelor de conținut ale secțiunilor foilor de plan cu cadrul hărții. Se adaugă astfel un *fișier shapefile* cu geometrie poligonală, constând într-un mozaic de trapeze ce păstrează aceeași scară cu foile de plan, care îmbracă teritoriul țării noastre.

Cu ajutorul funcției *Find* amplasată pe bara standard se pot regăsi cu ușurință

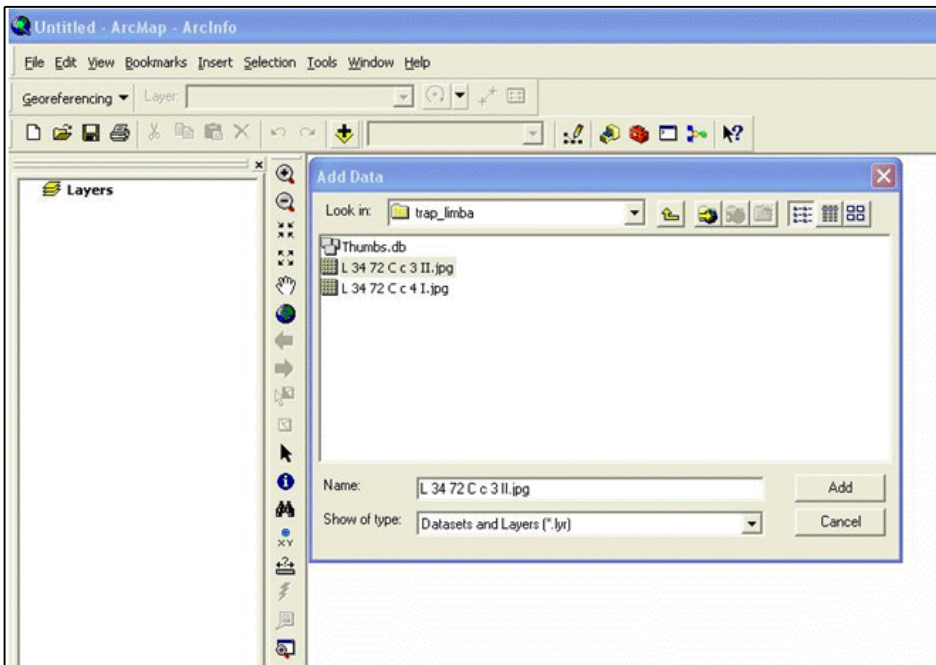


Fig. 1. Incărcarea datelor supuse georeferențierii

trapezele corespunzătoare rasterelor introduse în aplicație. În tabelul atribut asociat acestei teme (5000) există un indicator (câmp) care se referă la nomenclatura acestor planuri. Filtrarea presupune introducerea indicativului (nomenclaturii) ca atribut existent în câmpul *INDICATIV* și a stratului din care face parte acest câmp (fig. 2).

posibilitatea extragerii seturilor de coordonate pe punctele de inflexiune ale trapezelor (vectoriale), coordonate ce vor fi introduse pe cele patru colțuri ale foilor de plan în cadrul procesului de georeferențiere.

Pentru determinarea seturilor de coordonate ale punctelor de inflexiune pe poligoanele extrase este necesară activarea sarcinilor de editare (Editor) din bara de

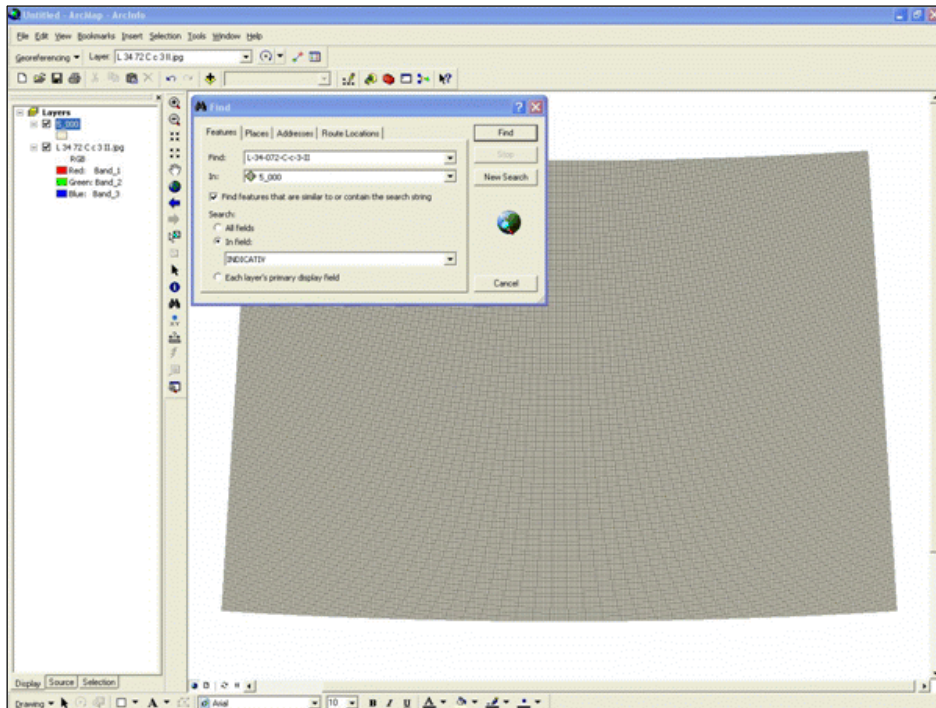


Fig. 2. Adăugarea mozaicului vectorial în scopul regăsirii poligonului cu nomenclatura aferentă

Odată localizate, cele două trapeze vor fi selectate, iar din meniul contextual al stratului vectorial se va executa export de date vectoriale pentru cele două obiecte geografice conținute de către stratul de referință. Realizarea exportului atrage după sine și posibilitatea integrării obiectelor noi în straturi distincte. Este o alternativă la îndemâna operatorului, dacă dorește să introducă obiectele imediat după export sau mai târziu.

Importanța asocierii acestor obiecte vectoriale cu elementul raster derivă din

comenzi. Suita de etape care va face posibilă recuperarea seturilor de coordonate în scopul introducerii acestora este următoarea: Start Editing - urmărirea targetului prin stratul curent (Export\_Output\_2) - selecția butonului Edit Tool - dublu click pe unicul obiect din stratul curent (trapezul) - afișarea vertecșilor - poziționarea cursorului pe unul dintre vertecși - click dreapta pe aceeași poziție - Properties.

În acest mod se vor afișa seturile de coordonate pentru colțurile primei foi de plan cu nomenclatura L-34-72-C-c-3-II

evidențiate în cadrul unei căsuțe de dialog. Se poate reveni astfel la entitatea raster pentru a localiza centrele celulelor grilei (cele patru colțuri) pe limita de contact a elementelor de conținut ale secțiunilor foilor de plan cu cadrul hărții.

Punctarea în sensul georeferențierii se poate face atât prin înscrierea seturilor de coordonate, cât și grafic prin cuplarea centrele celulelor grilei cu pozițiile vertecșilor din structura vector (fig. 3).

$$\begin{cases} X_2 = ax_2 + by_2 + c \\ Y_2 = dx_2 + ey_2 + f \end{cases}$$

Dacă vom crea un al treilea punct (3) se va ajunge la un sistem de șase ecuații cu șase necunoscute care este compatibil determinat cu condiția necoliniarității punctelor.

$$\begin{cases} X_3 = ax_3 + by_3 + c \\ Y_3 = dx_3 + ey_3 + f \end{cases}$$

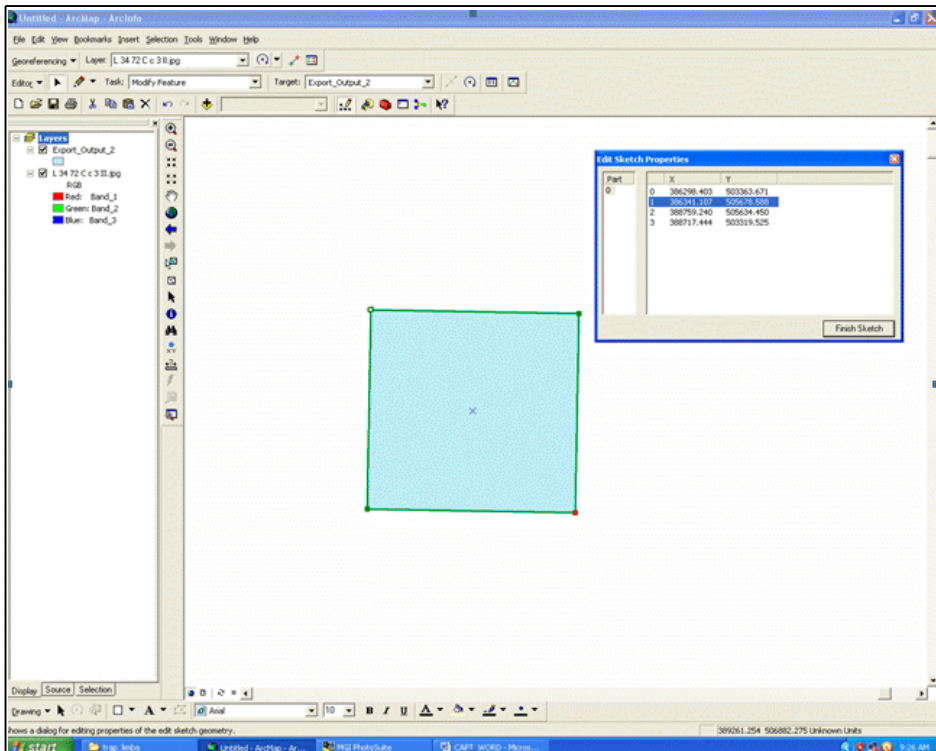


Fig. 3. Activarea vertecșilor poligonului și afișarea seturilor de coordonate

Presupunând că se introduce prin soft primul punct (1) prin setul de coordonate impus, această acțiune va genera două ecuații cu șase necunoscute, astfel, sistemul nu poate fi determinat:

$$\begin{cases} X_1 = ax_1 + by_1 + c \\ Y_1 = dx_1 + ey_1 + f \end{cases}$$

Un al doilea punct (2) va genera încă două ecuații, obținând patru ecuații cu șase necunoscute, din nou nedeterminat.

Introducerea perfectă a punctelor prin coordonatele lor pe poziții corecte va atrage după sine validarea transformării, însă una sau mai multe greșeli de punctare vor avea ca efect denaturarea hărții și incertitudinea gradului de eroare.

În acest sens se va impune materializarea celui de-al patrulea punct ajungând astfel la un sistem de opt ecuații cu șase necunoscute ce se va rezolva prin metoda celor mai mici pătrate.

Mai mult decât atât vom cunoaște erorile coeficienților ecuațiilor (a, b, c, d, e, f), care se numesc parametri transformării și reprezintă:

- lățimea unei celule exprimată în unitățile hărții;
- d. parametri care exprimă rotația;
- valoarea lui  $X$  pentru centrul celulei din partea stângă sus;
- înălțimea unei celule exprimată în unitățile hărții;
- valoarea lui  $Y$  pentru centrul celulei din partea stângă sus;

Localizarea în noul sistem se va încadra în toleranța de eroare respectivă, practic, poziția punctelor se va afla într-un cerc cu raza erorii în cauză. Suma pătratelor erorilor se numește *eroare medie pătratică* ce evidențiază distanțele de la punctele de control georeferențiate la coordonatele specificate pentru acestea. Cu cât eroarea reziduală calculată prin software este mai mică cu atât georeferențierea este mai

precisă (fig. 4).

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i^m - x_i^c)^2 + (y_i^m - y_i^c)^2}{N}}$$

#### 4. Rectificarea imaginii

În această fază, procesul de georeferențiere nu s-a încheiat, întrucât formulele de transformare aplicate nu s-au înregistrat în header-ul fișierului, adică nu s-a executat o rectificare a modelului după impunerea seturilor de coordonate.

Header-ul este partea de început a unui fișier raster în care se înscriu toate caracteristicile rasterului (număr de linii și coloane, sistemul de coordonate, etc), iar atunci când se citește rasterul, transformarea de coordonate se face automat. Se recomandă ca structura raster originală să se păstreze și în formatul inițial. La finalul georeferențierii avem două opțiuni: fie să se genereze un

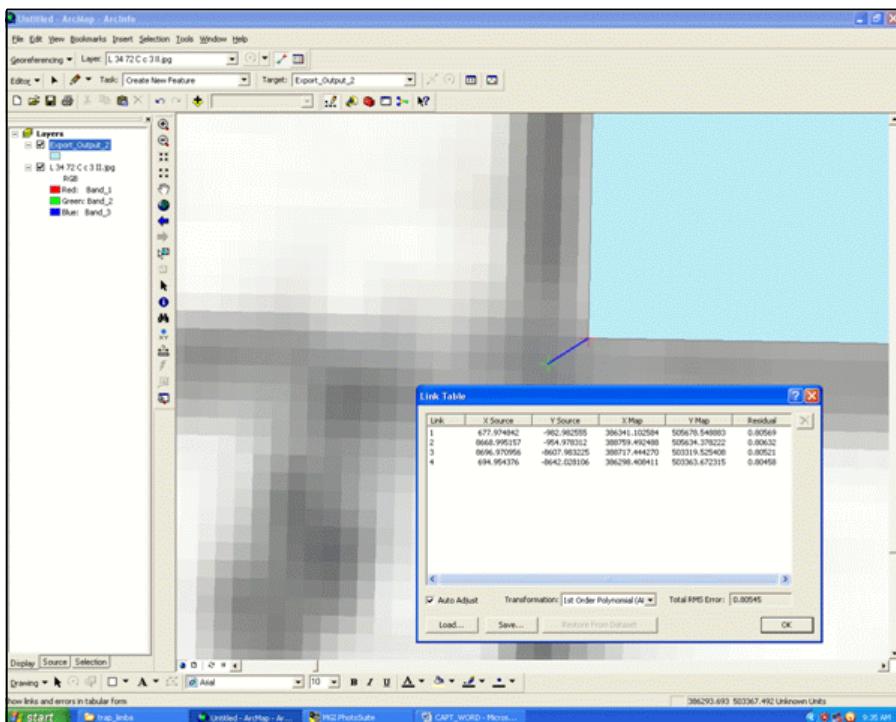


Fig. 4. Vizualizarea RMS după punctarea finală



fișier auxiliar (\*.aux în cazul ArcGIS), fie să se rectifice toate celulele în sistemul de referință dorit (fig. 5).

Tools-Extraction-Extract by Mask sau Spatial Analyst Tools-Extraction-Extract by Polygon, din cadrul ArcToolbox. În primul

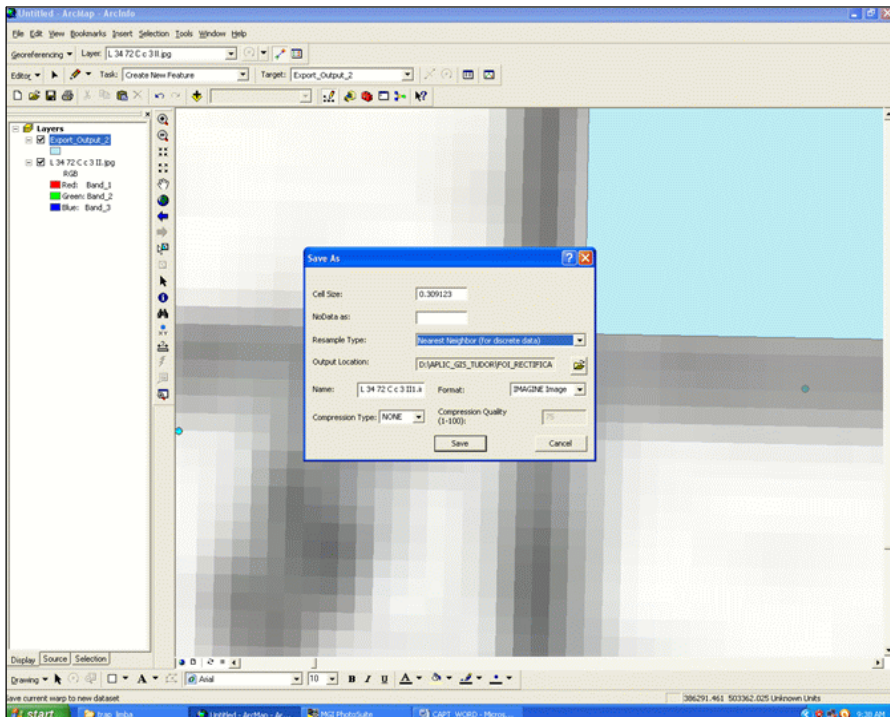


Fig. 5. Aplicarea transformării în vederea rectificării modelului

Rectificarea propriuzisă se realizează prin intermediul comenzii Georeferencing-Rectify, alegându-se metoda Nearest Neighbour prin care fiecare celulă generată preia valorile cromatice de la cea mai apropiată celulă de referință.

Aceeași procedură se va aplica și asupra rasterului cu nomenclatura L-34-72-C-c-4-I, la final integrând cele două foi de plan georeferențiate și rectificate (sunt salvate cu extensia \*.img), caracterizate în această fază de un atribut de discontinuitate, reflectat prin prezența chenarelor care se întrepătrund, neajuns ce poate fi înlăturat prin extragerea elementelor de conținut cu ajutorul măștilor vectoriale poligonale aplicate peste fiecare dintre cele două foi de plan.

Decuparea chenarelor foilor de plan georeferențiate se poate face utilizând una dintre comenzile Spatial Analyst

cas, decuparea se execută după shape-urile trapezelor corespunzătoare fiecărui plan, iar în al doilea prin introducerea coordonatelor colțurilor hărților (fig. 6, 7).

Și într-un caz, și-n celălalt, rezultatul este același: evidențierea elementelor de conținut ale celor două foi de plan, astfel încât după procesul de vectorizare, obiectele conținute de prima foaie de plan să prezinte o continuare firească pe parcursul celei de-a doua, astfel, păstrându-se ca atribute spațiale contiguitatea, configurația, scara.

Pentru a rezolva aceste probleme, arborele Arc Toolbox permite realizarea unui mozaic format prin unirea celor două foi de plan păstrând ca referință unul din cele două integrate. Pentru securitatea și integritatea datelor ar fi de preferat ca înainte de executarea mozaicării, să se stabilească backup-uri pentru elementele de intrare.

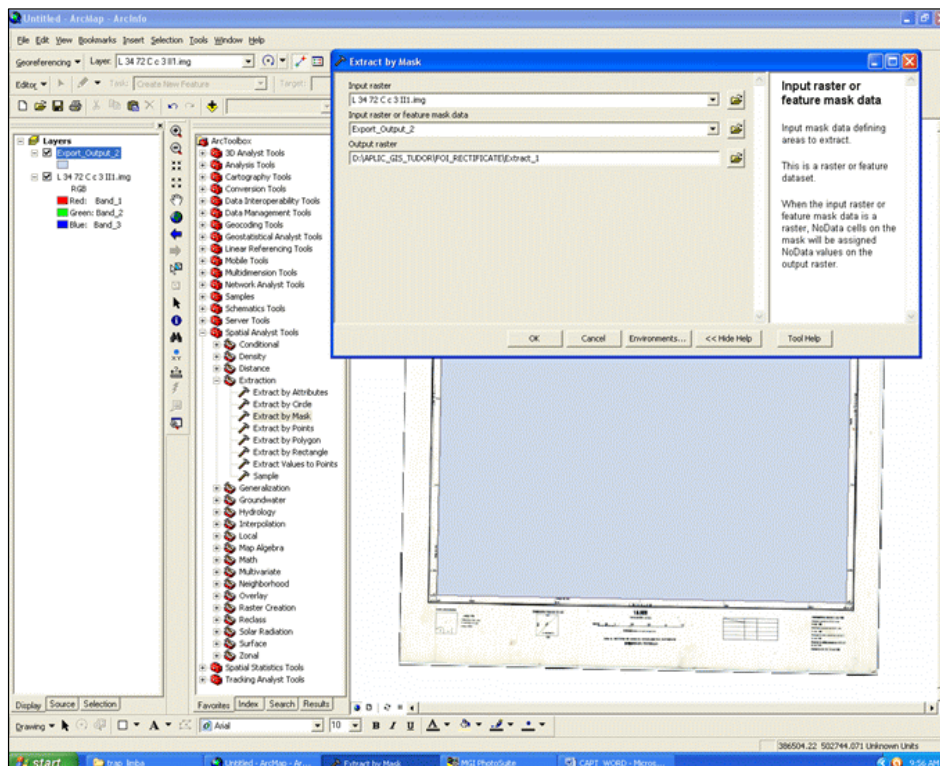


Fig. 6. Intrarea și compunerea datelor în procesul de mozaicare

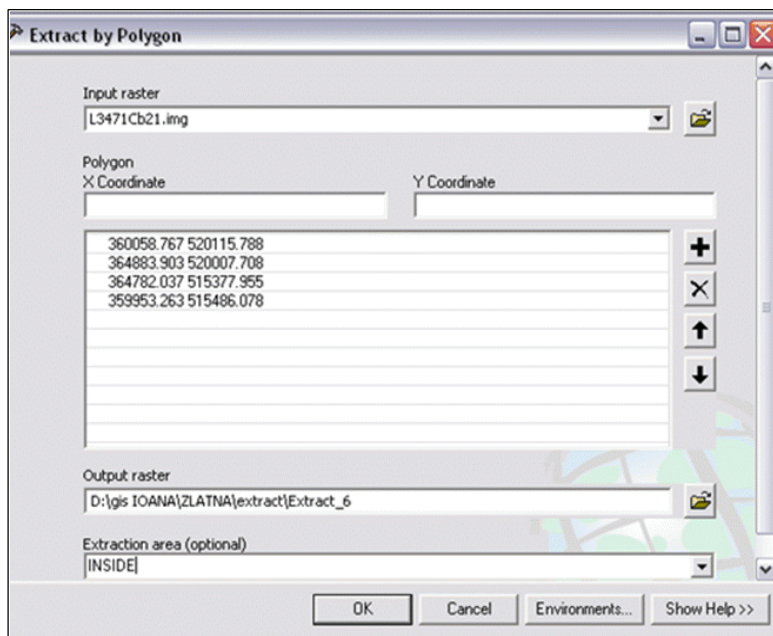


Fig. 7. Executarea și validarea procesului de mozaicare

## 5. Concluzii

Precizia operației de georeferențiere este determinată prin evidențierea și controlul asupra diferențelor valorilor coordonatelor aferente punctelor de control sursă (imagine) și cele aferente punctelor din lumea reală. În mod cert, cu cât eroarea reziduală generată de program este mai mică, cu atât procesul de georeferențiere este mai precis.

Alegerea și modul de dispunere a punctelor de control rămâne la îndemâna utilizatorului, de aceea, uneori e mai bine să fie alocat un număr mai redus de puncte de control pentru efectuarea transformării, puncte ce pot asigura garanția acurateții.

Acuratețea reprezintă distanța la care o valoare estimată diferă de valoarea reală, fiind strâns legată de precizie, cu care se confundă adesea. În măsurătorile fizice, precizia reprezintă numărul de cifre

semnificative exprimate într-un anumit sistem, iar acuratețea este exprimată, în mod obișnuit, în termeni ai unui interval.

Acuratețea pozițională este una din problemele esențiale ale georeferențierii, fiind invers proporțională cu scara. De exemplu, un plan la scara 1:5000 are o acuratețe mai bună decât o hartă la scara la 1:100000. În cazul hărților digitale, situația este mai complexă, deoarece în cadrul GIS există hărți și planuri în diferite sisteme de coordonate (din punct de vedere vectorial) sau diferite rezoluții (în cazul raster).

Există o legătură strânsă între georeferențiere și rezoluție. Atunci când se face asocierea unor puncte de coordonate cunoscute din teren cu componentele de pe o hartă sau plan, precizia asocierii este la limita rezoluției. Cu alte cuvinte, determinarea cu o precizie mai bună a unui punct din teren decât rezoluția hărții devine un lucru util.

## BIBLIOGRAFIE

1. Băduț, M., *GIS – Sisteme Informatice Geografice – Fundamente practice*, Editura Alabastră, Cluj Napoca, 2004.
2. Borșan, T., *GIS, Fundamente teoretice și practice*, Seria Didactica, Alba Iulia, 2013.
3. Borșan, T., *Topografie arheologică și GIS – Fundamente teoretice și aplicații practice*, Editura Risoprint, Cluj Napoca, 2015.
4. Carter, G.B., *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. Computer Methods in Geosciences, Pergamon, 1994.
5. Dimen, L., Borsan, T., Ludușan, N., Vințan, I., *GIS Analysis of Morphometric Factors in the Zlatna Depression, Alba County*, RevCAD, Journal of Geodesy and Cadastre, Vol. 14, 2014.
6. Ienciu, I., Oprea, L., Popescu, C., Vorovencii, I., Voicu, G.E., *Survey Mapping of Romanian Forestland and its Update Through Low-Cost Applications*, 13th SGEM GeoConference on Informatics, Geoinformatics And Remote Sensing, ISBN 978-619-7105-01-8 / ISSN 1314-2704, June 16-22, 2013, Vol. 2, p. 443 – 450.
7. Imbroane, A.M., *Sisteme Informatice Geografice – volumul I – Structuri de date*, Editura Presa Univeritară Clujană, Cluj Napoca, 2012.
8. Minami, M., *(GIS by ESRI), Using Arc Map*, Enviromental Systems Research Institute, Inc., 380 New York Street, Redlands, CA 92373-8100, USA.