

Fragment din:

Vasile Crăciunescu (2004), Site cartografic interactiv pentru Municipiul Suceava , Lucrarea de licență,  
Universitatea din București, Facultatea de Geografie

## 2.3. RELIEFUL: ANALIZĂ PE BAZA MODELULUI NUMERIC ALTIMETRIC AL TERENULUI (MNAT)

### 2.3.1. MNAT: aspecte generale

#### 2.3.1.a. Introducere

Modelarea terenului (studierea suprafeței topografice prin metode numerice) a devenit o componentă importantă a aplicațiilor geomorfologice, hidrologice, climatologice sau oceanografice. Mai mult în ultimul timp aceasta capătă o importanță tot mai mare și în alte domenii de activitate (amenajarea teritoriului, comunicații mobile, construcții etc.).

Primele încercări în modelarea terenului îi aparțin lui Alexander von Humboldt (sec. XIX), munca acestuia fiind continuată mai târziu de către geografi germani. Astăzi acesta reprezintă un complex de tehnologii informatice, științe ale Pământului și matematica, fiind cunoscută sub numele de analiză cantitativă a terenului (terrain analysis) sau geomorfologie cantitativă (quantitative geomorphology).

Procesarea computerizată a modelelor altitudinale ale terenului a revoluționat acest domeniu de activitate, atât partea de analiză topografică cât și cea de reprezentare (afișare, imprimare) a rezultatelor.

Modelarea numerică altimetrică a terenului presupune aproximarea unei porțiuni din suprafața topografică cu ajutorul mijloacelor electronice de calcul și a unui model matematic adecvat pe baza coordonatelor ( $X_i$ ,  $Y_i$ ,  $Z_i$ ) punctelor „cunoscute” de pe aceasta astfel ca prin interpolare să se obțină cota  $Z_j$  a oricărui punct de pe aceeași suprafață, definit prin coordonatele sale planimetrice ( $X_j$ ,  $Y_j$ ), cu o precizie corespunzătoare scopurilor avute în vedere și mijloacelor avute la dispoziție (Fig. 1, 2).

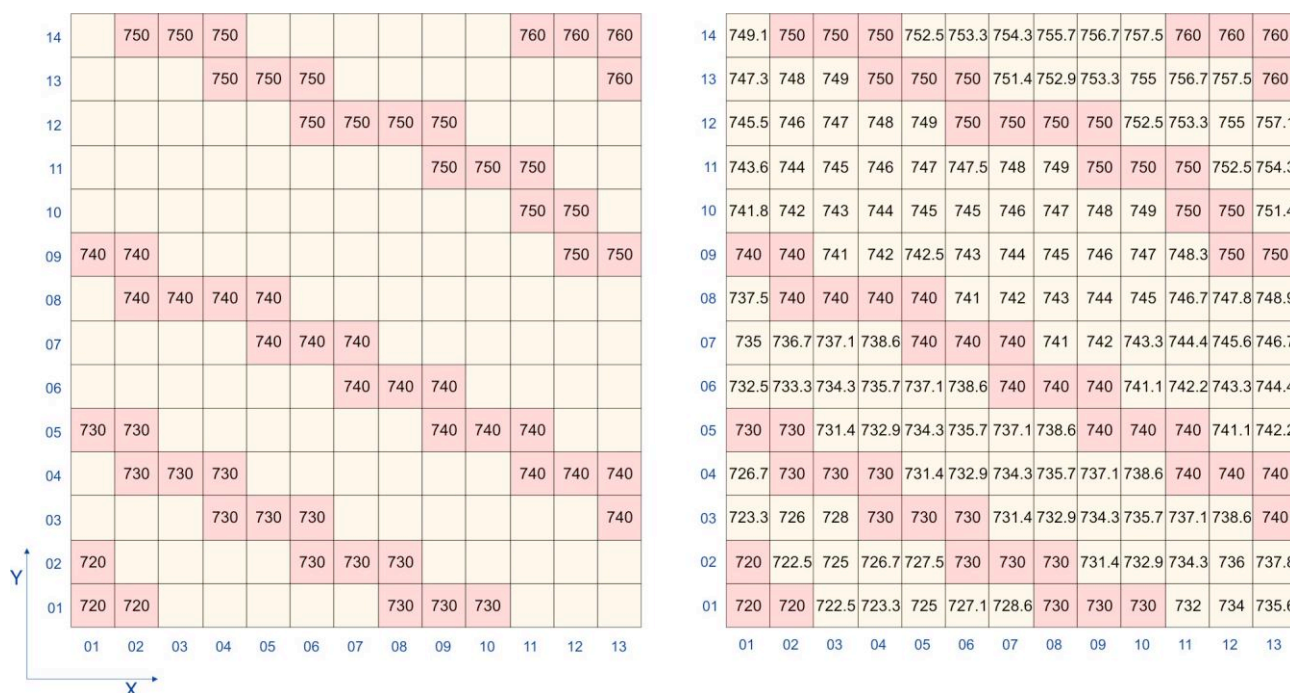
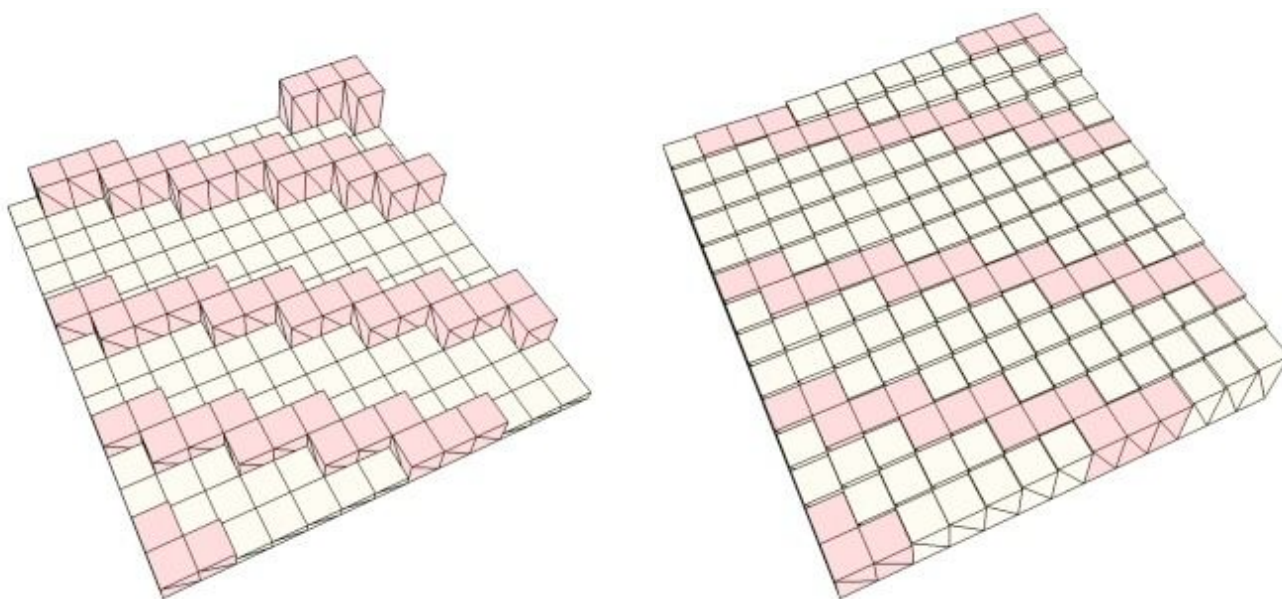
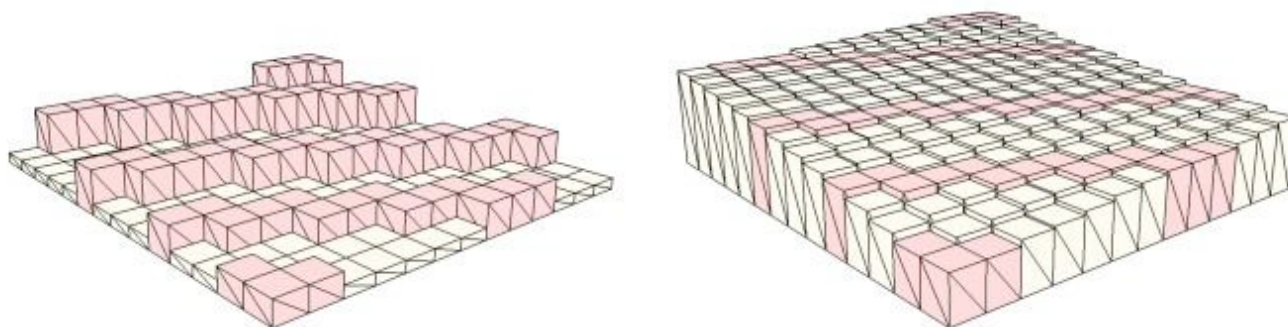


Fig. 1. Pornind de la punctele cu Z (altitudine) cunoscut – stânga, prin interpolare, se obține valoarea Z a tuturor punctelor – dreapta (vedere 2D)



Unghi 1



Unghi 2

Fig. 2. Pornind de la punctele cu Z (altitudine) cunoscute – stânga, prin interpolare, se obține valoarea Z a tuturor punctelor – dreapta (vedere 3D)

Primul pas în vederea construcției unui MNAT este obținerea, în format digital, a acelor puncte „cunoscute” în vederea interpolării.

Această informație poate fi obținută prin mijloace clasice din reprezentări cartografice (hărți și planuri topografice), aerofotograme, măsurători pe teren sau mai nou automat prin corelația automată a imaginilor satelitare optice sau radar, măsurători pe teren cu dispozitive de poziționare globală (GPS).

Astăzi, în România, singura metodă accesibilă, din punct de vedere financiar și al dotărilor tehnice cerute, pentru majoritatea celor interesați în modelarea numerică a terenului, rămâne extragerea informației altimetrice de pe hărțile și planurile topografice.

### **2.3.1.b. Metode de obținere a MNAT**

Punctelor de sprijin, necesare construirii modelelor numerice altimetrice ale terenului, pot fi obținute prin mai multe metode:

- **Colectarea de cote**

Colectarea de cote altimetrice uniform răspândite pe suprafața zonei de interes, obținându-se un schelet al terenului ce poate fi ulterior folosit în procesul de interpolare.

Culegerea punctelor se poate face prin măsurători cu instrumente ca teodolitul, stația totală, receptoare GPS (Global Positioning System – Sistem de poziționare globală) sau din stereoortofotoplanuri. Această metodă se folosește cu succes pentru zone cu extindere spațială relativ mică iar la colectarea punctelor trebuie urmărită cu atenție forma reliefului și marcarea (prin puncte cotate) a culmilor, văilor și a zonelor unde au loc schimbări bruște de pantă).

- **Extragerea curbilor de nivel**

Utilizarea curbilor de nivel și a văilor extrase (vectorizate) din planurile și hărțile topografice sau generate automat din stereo-ortofotoplanuri. Este o metodă mare consumatoare de timp dar extrem de viabilă, în contextul actual al României, datorită costurilor relativ mici de producție. Obținerea modelelor numerice altimetrice ale terenului din planuri și hărți topografice se găsește detaliată în secțiunea 2.3.1.e.

- **Utilizarea datelor colectate de senzori montați la bordul avioanelor și sateliților**

Utilizarea datelor achiziționate de senzori amplasați la bordul sateliților de pasaj sau a avioanelor. Deși tehnologiile bazate pe LIDAR (**L**ight **D**etection **A**nd **R**anging) sau INSAR (**I**Nterferometric **S**ynthetic **A**perture **R**adar) pot conduce la obținerea de MNAT-uri cu o precizie verticală centimetrică, utilizarea lor pentru acoperirea unor zone întinse este limitată de costurile mari de producție.

### **2.3.1.c. Formate de stocare a MNAT**

În funcție de modul de obținere, de cel de utilizare sau de precizia urmărită poate fi utilizată o anumită structură de stocarea modelor numerice altimetrice ale terenului. Cele mai cunoscute sunt structura tip GRID (grilă), structura tip TIN (Triangulated Irregular Network – rețea neregulată de triunghiuri) și structura liniară (tip listă). Fiecare din cele trei tipuri de structuri prezintă avantaje și dezavantaje legate de modul de reprezentare (afișare), viteza de procesare, precizie etc.

- **Structura tip GRID**

Presupune stocarea MNAT sub forma unei grile de puncte egal distanțate (Fig. 1. dreapta). Astfel se obține o matrice cu L linii (egal cu numărul de puncte al modelului pe axa Y) și C coloane (egal cu numărul de puncte al modelului pe axa X). Fiecare celulă a matricei conține altitudinea (Z) punctului respectiv precum și coordonatele (X,Y – în cazul unui sistem cartezian de coordonate sau  $\varphi, \lambda$  - în cazul unui sistem geografic de coordonate) ale acestuia. Alte informații necesare sunt distanțele (pasul) pe X și Y dintre două celule vecine. Dacă valorile celor două distanțe sunt egale vom avea o matrice cu celule pătrate (cazul cel mai des întâlnit).

Majoritatea formatelor de fișiere tip GRID conțin un header cu informații legate de dimensiunea unei celule, coordonatele unuia din colțuri (de regulă cel din stânga-jos), sistemul de coordonate, numărul de linii și de coloane, deplasare est/vest (dacă e cazul) etc.; urmat de valorile tuturor punctelor. O eroare des întâlnită în cazul acestui tip de format este incorectă corelare a celulelor cu coordonatele corespunzătoare, de regulă datorită neprecizării modului înregistrare a coordonatelor pentru fiecare celulă. Astfel în cazul unui MNAT o celulă ocupa o anumită suprafață și este important de știut căruia punct din celulă îi



corespund coordonatele. De regulă este vorba colțul din stânga sus sau de punctul central (Fig. 3.).

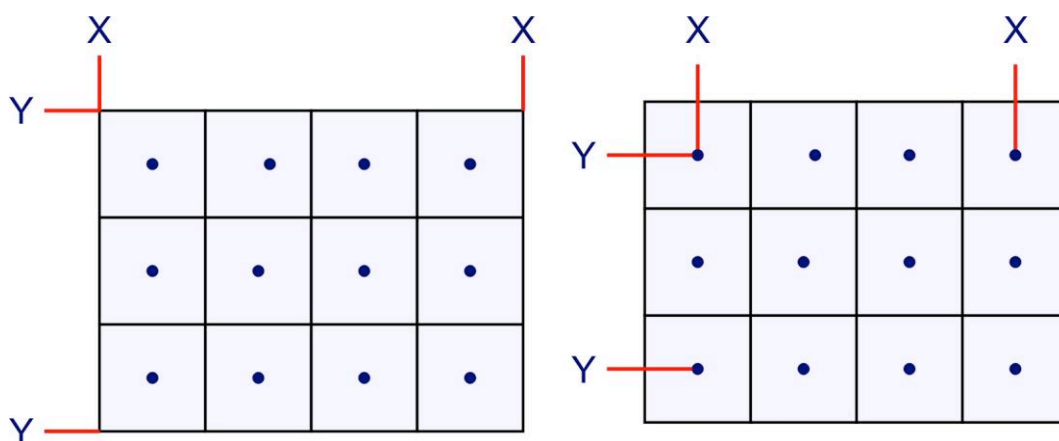


Fig. 3. Situații întâlnite la înregistrarea spațială a informațiilor tip grilă

Avantajele formatului GRID sunt date de modul (structura) simplu de stocare a datelor, ușurința în parcurgerea datelor și calculul diversilor parametri morfometrici, spațiul mic ocupat. Dezavantajul major îl reprezintă pierdea diversității locale datorită dimensiunii celulei și subevaluarea anumitor parametri morfometrici.

- **Structura tip TIN**

Este ceva mai complexă decât cea GRID și presupune conectarea (interpolarea) cotelor altimetrice după anumite reguli (Fig. 4) rezultând o rețea de triunghiuri dispuse neregulat. Înclinarea terenului este considerată constantă pe fiecare triunghi. Dimensiunea triunghiurilor variază în funcție de aspectul terenului. Astfel în zonele cu variații mici ale terenului apar triunghiuri mari iar în cele cu energie mare dimensiunea triunghiurilor scade pentru a reda cât mai fidel forma terenului.

Structura de date a unei rețele de tip TIN cuprinde puncte, muchii, triunghiuri și informații geometrice (ex: coordonatele X, Y a punctelor) și topologice (referitoare la punctele, muchiile sau triunghiurile vecine).

Ținând cont de cele spuse mai sus se poate concluziona că principalul avantaj al utilizării acestei structuri pentru stocarea/vizualizarea/interpretarea MNAT-urilor constă în posibilitatea utilizării unei baze de puncte cu densitate variabilă (puncte dese în zonele cu energie mare de relief; densitate mică de puncte în zonele cu o variație mică a altitudinii). Alte avantaje ar fi posibilitatea construirii de structuri TIN utilizând informație altimetrică stocată în mai multe fișiere, fișiere care pot fi atât de tip liniar cât și punctual; posibilitatea actualizării unei anumite zone fără a fi necesară regridarea întregului model; în cazul utilizării curbelor de nivel ca date de intrare, algoritmul de interpolare poate fi forțat să creeze rețele închise de triunghiuri între două curbe de nivel vecine. Dezavantajul major este modul greoi de reprezentare (adresare) a componentelor primare a rețelei TIN (puncte, muchii, triunghiuri) în memoria internă a calculatorului. Creșterea accentuată din ultimul timp a puterii de calcul și a capacității de memorare a calculatoarelor face viabilă utilizarea de rețele TIN cu un număr tot mai mare de puncte.

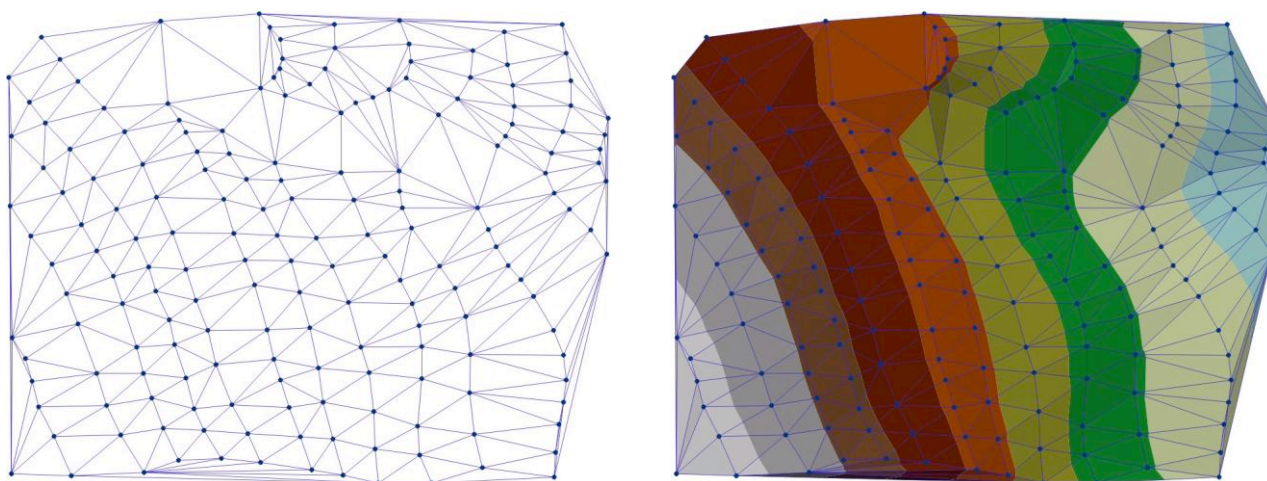


Fig. 4. Exemplu de structură TIN reprezentată în plan (stânga - reprezentare simplă a rețelei de triunghiuri; dreapta – rețea de triunghiuri + rampă de culori)

- **Structura liniară**

Presupune reprezentarea MNAT-urilor prin curbe de nivel (Fig. 5). În esență, suprafața terenului este reprezentată printr-un set de linii de diferite valori la intervale constante. Această structură are avantajul de a fi obținută direct din vectorizare (digitizare) însă este foarte dificil de utilizat pentru analiza spațială a terenului.

#### **2.3.1.d. Surse de MNAT**

Până în momentul de față în România nu există o instituție specializată care să ofere sub formă de informații publice modele numerice altitudinale de teren pentru întreg teritoriul național. Mai mult nu există nici inițiative de acest gen sau măcar o serie de specificații/standarde care să permită validarea calitativă, modul de stocare sau distribuție a MNAT-urilor.

La nivel internațional au existat și există o serie de proiecte care își propun realizarea de MNAT-uri la nivel global sau regional și la diferite scări.

- **ETOPO5**

ETOPO5 este unul din primele inițiative de acest gen. Scopul acestui proiect a fost realizarea unui model numeric care să cuprindă atât informații altimetrice cât și batimetrice pentru întreaga suprafață a Pământului. Proiectul a antrenat mai multe organizații guvernamentale din Statele Unite, Australia și Noua Zeelandă.

Modelul numeric altimetric rezultat a fost rezultatul îmbinării mai multor seturi de date. Dimensiunea unei celule este de cinci minute de arc pe latitudine și cinci minute de arc pe longitudine (Fig. 5).

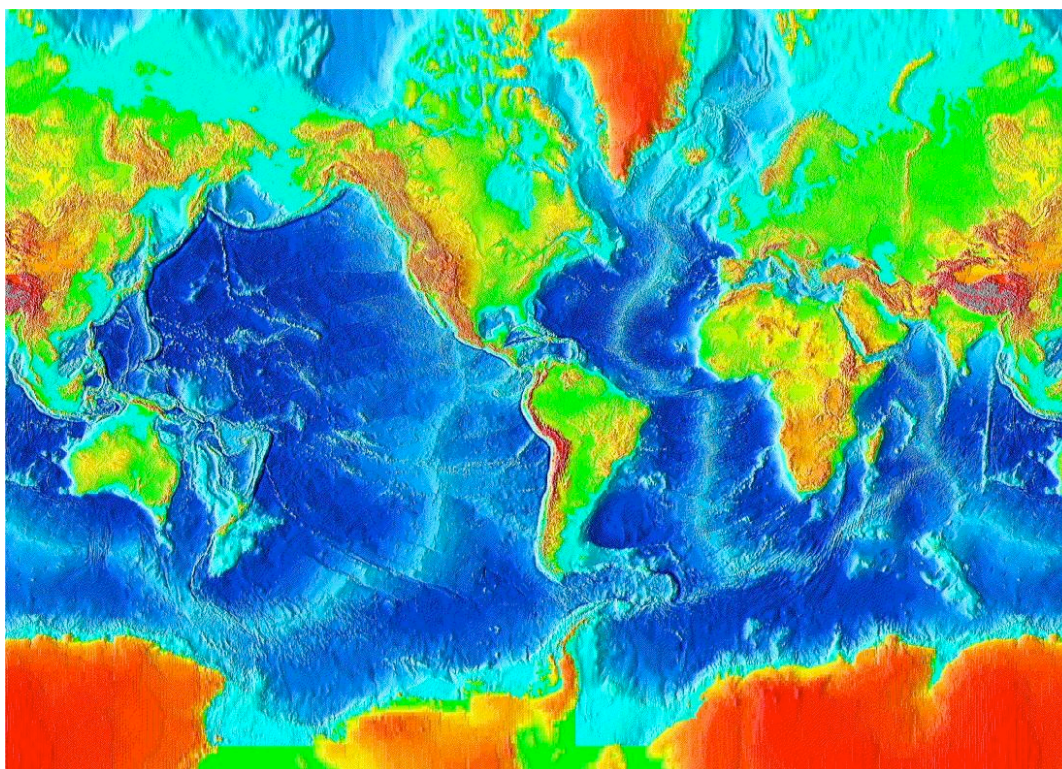


Fig. 5. ETOPO5

Prima versiune a fost făcută publică în 1985 (datele pot fi descărcate gratuit de la <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/relief/ETOPO5/>). De atunci și până în prezent datele au cunoscut mai multe actualizări și corecții, iar în octombrie 2001 a apărut ETOPO2, o versiune actualizată, compilată pe baza modelului vechi și a numeroase surse noi de date. ETOPO2 are o rezoluție spațială de 2 minute de arc și poate fi comandat pe CD sau descărcat în mod gratuit de la <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/relief/ETOPO2/> sau folosind sistemul interactiv de gestionare a bazelor de date **GEODAS**.

- **GTOPO30**

Se înscrie în aceeași linie ca și ETOPO5. Proiectul a urmărit realizarea unui model numeric altimetric pentru zonele continentale ale globului cu o rezoluție spațială de 30 secunde de arc (aproximativ 1 Km). Produsul final a fost rodul colaborării mai multor instituții și utilizării mai multor surse de date. Distribuția datelor se face gratuit prin FTP de la adresa <http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/gtopo30.asp>.

- **GLOBE**

Similar cu ETOPO30, proiectul a urmărit realizarea unui model global cu rezoluția spațială de 30 secunde de arc (Fig. 6.). Datele altimetrice pot fi descărcate gratuit de la adresa <http://www.ngdc.noaa.gov/seg/topo/gltiles.shtml>. Pentru a scurta timpul de download, modelul global a fost împărțit în 16 zone mai mici.



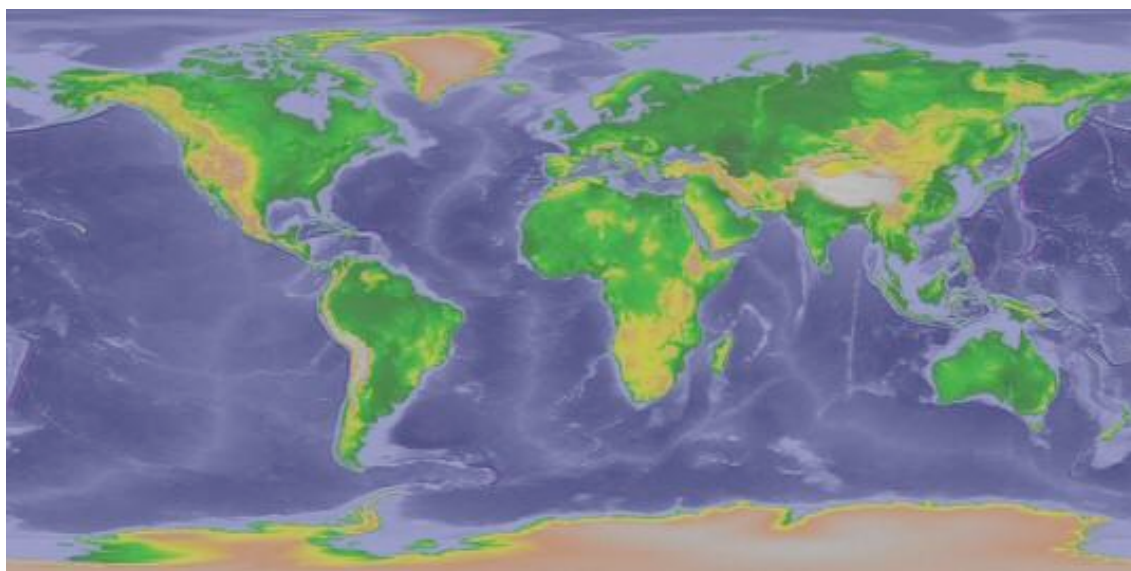


Fig. 6. GLOBE

- **DTED0**

Datele altimetrice publice distribuite de National Geospatial-Intelligence Agency SUA (<http://www.nima.mil>) au stat la baza proiectelor GTOPO30 și GLOBE. Accesarea datelor se face utilizând un motorul interactiv de căutare.

- **SRTM**

Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) este ultimul proiect de realizare a unui model numeric altimetric global utilizând datele colectate în februarie 2000 de un senzor radar montat pe naveta spațială Endeavour. Proiectul coordonat de NASA (National Aeronautics and Space Administration) și NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) urmărește realizarea și distribuția datelor la rezoluții de 30 secunde de arc (SRTM30 set de date ce urmărește să înlocuiască GTOPO30 – Fig. 7.), 90 metri (SRTM90 – datele sunt disponibile date pentru America de Nord, America de Sud, Europa, Asia și Africa – restul datelor urmând să fie puse la dispoziția comunității științifice în cursul acestui an) și 30 metri (date disponibile momentan doar pentru Statele Unite).

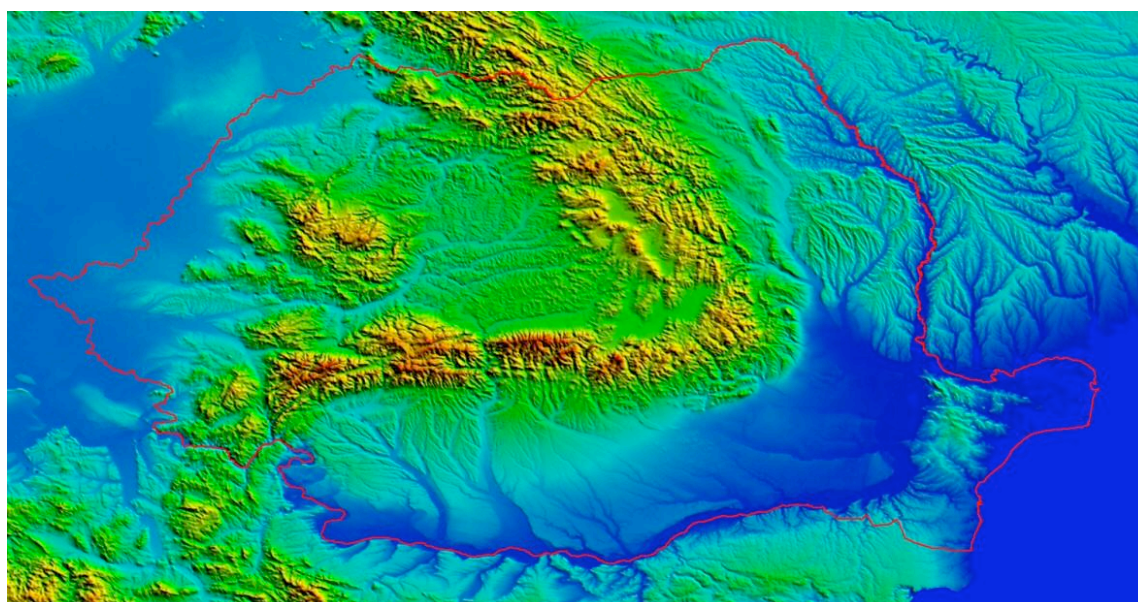


Fig. 7. România – reprezentare din date SRTM30

Datele procesate până în acest moment pot fi descărcate gratuit de la <ftp://edcs9.cr.usgs.gov/pub/data/srtm/>. Realizarea hărții cu poziția municipiului Suceava în cadrul României și în cadrul județului Suceava s-a făcut având la bază date SRTM 30 respectiv SRTM 90.

### **2.3.1.e. Producerea de MNAT-ului pe baza planurilor si hartilor topografice**

Hărțile și planurile topografice executate în România conțin printre altele și informații referitoare la altimetrie. Reprezentarea acestora pe hartă se face sub forma de curbe de nivel, cote altimetrice, semne convenționale și valori pentru rupturile de pantă. Obținerea modelelor numerice altimetrice de teren pornind de la aceste hărți presupune în mod concret extragerea acestei informații altimetrice (reprezentată pe hartă prin diferite semne convenționale) într-un format digital convenabil și interpolarea acestora utilizând algoritmi adecvați.

- **Identificarea bazei cartografice**

Primul pas în vederea construirii unui model numeric altimetric al terenului (MNAT) din hărți topografice îl constituie chiar stabilirea scării pentru hărțile baza și identificarea foilor de hartă care acoperă zona de interes. În stabilirea scării hărților bază trebuie să se țină seama de suprafața și tipul de relief a zonei de interes și mai ales de finețea produsului final. Astfel dacă se dorește un MNAT cu o dimensiune a celulei mică (Ex: sub 100 m) se vor alege hărți topografice la scară mică (Ex: 1: 25.000; 1: 50.000) sau chiar planuri topografice (Ex: 1: 5.000; 1: 10.000) care conțin o cantitate mare de informație altimetrică. Dacă modelul final va avea o dimensiune a celulei mare (Ex: peste 100 m) se poate opta pentru hărți topografice la scări mari (Ex: 1: 100.000; 1: 200.000). De asemenea dacă zona de interes prezintă atât altitudini relativ mari cât și regiuni joase se poate opta pentru utilizarea unor hărți la scară mică în zonele joase și a unor hărți la scară mai mare pentru regiunile înalte. Se mai pot folosi hărți la scări diferite în zonele unde nu există o acoperire unitară cu hărți la scara dorită.

O dată stabilită scara hărților de bază se poate trece la identificarea foilor de hartă. Pentru aceasta este necesară o cât mai precisă delimitare a zonei de interes. Identificarea foilor de hartă care acoperă zona de interes presupune aflarea indicativului fiecărei foi. În România fiecare hartă topografică prezintă pe latura de nord (centrat) un indicativ format dintr-o înșiruire de litere și cifre (Ex.: L-34-120-A-a). Această nomenclatură se regăsește atât pe hărțile în proiecție Gauss-Krüger cât și pe cele în proiecție Stereografică 1970 și este în strânsă legătură cu sistemul de împărțire al hărților, sistem adoptat în România în anul 1952.

Sistemul are ca punct de plecare proiecția folosită pentru harta internațională a lumii la scara 1: 1.000.000, unde suprafața Pământului a fost împărțită în mod unitar în trapeze de dimensiuni egale, trapeze între care nu există goluri sau suprapuneri. În latitudine s-au delimitat fâșii de 4° paralele cu Ecuatorul iar în longitudine fuse de 6°, delimitate cu ajutorul meridianelor. Astfel fiecărei foi de hartă 1: 1.000.000 îi corespunde un trapez având 6° în longitudine și 4° în latitudine. Pentru a obține un indicativ unic pentru fiecare hartă s-a procedat la numerotarea fuselor în longitudine cu cifre arabe de la 1 la 60, începând cu meridianul de 180° în sens invers acelor de ceasornic și cu majuscule ale alfabetului latin (de la A la V), începând de la Ecuator spre nord și spre sud pentru fâșiile în latitudine (Fig. 8.)





Fig. 8. Fragment de hartă ce prezintă sistemul de împărțire în trapeze egale ( $6^\circ \times 4^\circ$ ) utilizat pentru harta internațională a lumii, scara 1: 1.000.000.

Nomenclatura hărților la scări mai mici (1: 500.000; 1: 200.000; 1: 100.000) se calculează pe baza trapezului de  $6^\circ \times 4^\circ$  corespunzător hărților 1: 1.000.000. Astfel pentru hărțile 1: 500.000 se procedează la împărțirea trapezului de  $6^\circ \times 4^\circ$  în patru trapeze, fiecare având  $3^\circ$  în longitudine și  $2^\circ$  în latitudine. Cele patru trapeze noi obținute se notează cu primele patru litere ale alfabetului latin. Indicativul unic pentru fiecare hartă 1: 50.000 se obține prin adăugarea literei corespunzătoare la indicativul hărții 1: 1.000.000, de exemplu L-34-C.

Indicativul hărților 1: 200.000 se calculează pornind tot de la trapezul 1: 100.000. Astfel pentru obținerea foilor de hartă 1: 200.000 se împarte uniform fiecare trapez 1: 1.000.000 în șase zone longitudinale și șase zone latitudinale. Rezultă 36 de trapeze având dimensiunea de  $1^\circ$  în longitudine și  $40'$  în latitudine. La fel ca și în cazul hărților 1: 500.000, fiecare trapez se numerotează, de această dată utilizând cifrele romane de la 1 la 36 (I-XXXVI). Pentru obținerea indicativului unic se adaugă numărul trapezului 1: 200.000 la indicativul trapezului mare; Ex.: L-34-XXV.

Situația se repetă și în cazul hărților 1: 100.000, doar că de data aceasta trapezul corespunzător unei foi scara 1: 1.000.000 se împarte în 12 trapeze longitudinale și 12 trapeze latitudinale. Astfel se obțin 144 trapeze, fiecare având  $30'$  în longitudine și  $20'$  în latitudine. Acestea se numerotează cu cifre arabe de la 1 la 144. Indicativul unic se obține prin adăugarea cifrei corespunzătoare la indicativul foi 1: 1.000.000.

Mai departe hărțile la scara 1: 50.000 se obțin prin împărțirea trapezelor corespunzătoare foilor la scara 1: 100.000 în patru părți de câte  $15'$  în longitudine și  $10'$  în latitudine. Trapezele nou obținute se notează cu primele patru litere majuscule ale alfabetului latin (A, B, C, D). Nomenclatura hărților scara 1: 50.000 se obține prin adăugarea literei corespunzătoare la indicativul hărții 1: 100.000. Dacă se împarte foaia de hartă 1: 50.000 în patru părți având  $7'30''$  în longitudine și  $5'$  în latitudine se obțin patru foi de hartă scara 1: 25.000. Acestea se notează cu primele patru litere minuscule ale alfabetului latin (a, b, c, d), iar nomenclatura se obține adăugând litera corespunzătoare la indicativul hărții 1: 50.000.

Reprezentările cartografice la scări mai mari de 1: 20.000 se numesc planuri. În cazul României o acoperire largă o au planurile topografice la scările 1: 10.000 și 1: 5.000. Trapezele pentru aceste foi de plan se obțin în același fel ca cele pentru hărțile topografice. Astfel dacă trapezul corespunzător unei foi de hartă 1: 25.000 se împarte în patru se obțin trapezele corespunzătoare a patru planuri scara 1: 10.000. Numerotarea acestora se face cu primele patru cifre arabe (1, 2, 3, 4) iar indicativul unic se obține prin adăugarea acestor cifre la nomenclatura foi de hartă 1: 25.000 (Ex.: L-35-5-D-c-1). În cazul planurilor la 1:

5.000, trapezele corespunzătoare se obțin prin împărțirea planului 1: 10.000 în patru trapeze egale. Numerotarea se face cu primele patru cifre romane (I, II, III, IV) iar indicativul unic se obține prin adăugarea acestor numere la nomenclatură planului 1: 10.000 (Ex.: L-35-5-D-c-1-III).

Pentru o mai ușoară identificare a hărților care acoperă o anumită zonă au fost realizate mai multe hărți generale ale României (în diferite formate și scări) care prezintă pe lângă informațiile obișnuite (localități, limite administrative, ape etc.) și caroiajul care delimitează foile de hartă la diverse scări. Acest gen de reprezentări sunt foarte utile dar prezintă și unele limitări referitoare la cantitatea de informație utilă reprezentată și de scara până la care se poate merge cu reprezentarea caroiajului.

O alternativă viabilă la aceste tip hărți o reprezintă construirea (cu ajutorul unui software GIS) unui caroiaj vectorial. Ținând seama de regulile de obținere a trapezelor, pentru fiecare scară în parte se poate genera un asemenea caroiaj, iar fiecărui trapez i se poate asocia în baza de date indicativul unic corespunzător. Pentru identificarea foilor de hartă care acoperă o anumită zonă mai este necesară doar o limită vectorială a acelei zone. Având aceste informații printr-o interogare simplă (posibilă în majoritatea programelor GIS dedicate) se obține indicativul foilor de hartă din zona de interes.

- **Scanarea bazei cartografice**

Procesul de scanare constă în conversia datelor din format analogic (cum sunt hărțile tradiționale pe suport de hârtie) în format digital. Modul în care se realizează scanarea este următorul: imaginea este împărțită în puncte (matrice de puncte) fiecăruia atribuindu-i-se un număr în conformitate cu nuanța de gri sau culoarea de pe original. Procesul este analog cu fotocopierea. Un fotocopiator scanează imaginea și o reproduce pe hârtie. Un scanner copiază imaginea și apoi o stochează într-un fișier raster. Densitatea de puncte (mărimea celulelor) variază în funcție de performanțele aparatului cu care se face scanarea. Unitatea de măsură este numită dots per inch (dpi), adică numărul de puncte de pe un inch. Scanarea hărților în vederea digitizării informației altimetrice necesită un output cu calitate mare de aceea se recomandă setarea rezoluției de scanare la valori egale sau mai mari de 200 dpi. Utilizarea unei valori foarte mari duce la creșterea spațiului ocupat pe disc și la încetinirea vitezei de afișare a acestora pe ecranul calculatorului. Pentru stocarea imaginilor scanate pe disc se pot folosi diverse formate de fișiere grafice. Cele mai cunoscute sunt TIFF (Tagged Image File Format), BMP (Windows Bitmap), GIF (Compuserve Graphics Interchange), JPEG (Joint Photographic Experts Group), PCX (Zsoft Paintbrush), PNG (Portable Network Graphics). Dintre aceste formate cel mai utilizat pentru stocarea și distribuția hărților scanate este TIFF. Acesta pe lângă faptul că este recunoscut de majoritatea programelor GIS prezintă și posibilitatea compresiei (fără pierdere de calitate) a imaginilor folosind algoritmi speciali (Ex: FAX - CCITT – pentru imagini monocrome; Huffman, LZW, Packbits). Pentru fișiere grafice de dimensiuni foarte mari există și formate speciale, cu rate mari de compresie care permit și stocarea informației spațiale. Cele mai cunoscute sunt ECW (ER Mapper) și Mr. Sid (Lizardtech). În mod normal pe o hartă topografică nu există mai mult de 256 de nuanțe de culoare. Astfel scanarea hărții folosind doar o paletă de 256 culori reduce simțitor (fără pierderi de calitate) dimensiunea fișierelor pe disc și mărește viteza de afișare a acestora.

- **Georeferențierea hărților și planurilor**

Georeferențierea este procesul prin care harta digitală obținută la pasul anterior este asociată cu coordonate geografice sau carteziene reale. Concret, georeferențierea constă în identificarea cu precizie a coordonatelor geografice sau planimetrice ale unor puncte din cadrul imaginii, restul urmând a fi determinate automat pe baza formulelor de transformare.

În cazul hărților sau planurilor topografice, cea mai simplă metodă de identificare a punctelor de coordonate cunoscute este folosirea intersecțiilor caroiajului kilometric și/sau a colțurilor foilor de hartă. Coordonatele colțurilor foilor de hartă pot fi obținute din tabele speciale sau folosind aplicații software care pe baza nomenclurii hărții pot returna coordonatele colțurilor. Puncte suplimentare (utile în special în cazul georeferențierii imaginilor aeriene și satelitare) pot fi obținute prin măsurători pe teren cu ajutorul receptoarelor GPS.

O altă metodă de identificare a reperilor necesari georeferențierii este utilizarea unei alte imagini raster gata georeferențiată și care acoperă aceeași zonă. Aceasta poate fi o altă hartă, o imagine aeriană sau una satelitară.

Procesul propriu-zis de georeferențiere necesită un software adecvat (Ex: Geographic Transformer – Blue Marble Geographics; VpStudio – Softelec; AutoCAD Map – Autodesk; ARC/INFO – ESRI; Erdas Imagine – Leica Geosystems etc.) în care harta scanată se încarcă în vederea colectării punctelor necesare rectificării. De obicei această operațiune se realizează prin selectarea cu pointer-ul mouse-ului a punctelor de reper de pe hartă, urmată de introducerea într-o listă de puncte a coordonatelor reale. În această listă fiecare punct primește un indicativ unic și pe lângă coordonatele reale introduse de către utilizator sunt afișate automat coordonatele interne ale imaginii (pixeli) și erorile asociate (diferența între valorile calculate de program și valorile introduse). În funcție de erorile raportate unele puncte pot fi șterse din listă sau doar omise la calcularea erorilor. Unele programe oferă și posibilitatea vizualizării grafice a erorilor reziduale sub formă de grafice.

O alternativă la introducerea coordonatelor reale manual în tabel este încărcarea acestora dintr-un fișier text.

În funcție de numărul de puncte introdus, de tipul și scara rasterului ce se dorește georeferențiat și aplicația software utilizată pot fi aplicate diverse funcții de rectificare. Cele mai cunoscute sunt transformarea afină (Affine – necesită minimum trei puncte necoliniare), transformarea polinomială de ordinul întâi (necesită minimum patru puncte), transformarea polinomială de ordinul al doilea (necesită definirea a minimum șase puncte de referință – este recomandată pentru rectificarea hărților la scări mici, a imaginilor aeriene și satelitare).

- **Stocarea hărților georeferențiate**

Imaginea referențiată rezultată în urma georeferențierii trebuie stocată într-un format de fișier ce permite și reținerea informațiilor legate de sistemul real de coordonate. Există două posibilități: stocarea informațiilor de georeferențiere într-un header inclus în fișierul de imagine sau stocarea acestui header într-un fișier text extern.

Cea mai simplă formă de fișier extern ce conține informații privind corelarea coordonatelor imagine (pixeli) cu coordonatele reale poartă numele generic de „world file” și a fost impus de ESRI (Environmental Systems Research Institute). Fișierele tip „world file” însoțesc fișierele tip imagine având același nume cu acestea și aceeași extensie la care se adaugă litera „w” (Ex: fișierul de „world file” pentru harta.tif va fi harta.tifw). În cazul în care se folosește convenția de denumire a fișierelor 8.3 (specifica sistemul de operare MS-DOS), numele extensiei va fi format din prima și a treia literă la care se adaugă „w” (Ex: tif – tfw; bmp – bpw; jpg – jgw etc.).

Informațiile conținute de un fișier tip „world file” se referă la coordonatele reale ale colțului din stânga-sus, dimensiunea unui pixel în unitatea de măsură reală și factorul de rotație al hărții (dacă există). Un exemplu de fișier tipic „world file” se găsește în Tabelul 4.

Tabelul 4. Modul de organizare a informațiilor într-un fișier tip „ESRI world file”.

Ordinea liniilor	Valoare	Semnificație
1.	30.000000000000	Dimensiunea unui pixel în unități reale de măsură pe axa X
2.	0.000000000000	Factor de rotație
3.	0.000000000000	Factor de rotație
4.	-30.00000000000*	Dimensiunea unui pixel în unități reale de măsură pe axa Y
5.	391582.6906518	Coordonatele reale pe axa X ale centrului pixelului din stânga-sus
6.	5266497.431168	Coordonatele reale pe axa Y ale centrului pixelului din stânga-sus

\* Dimensiunea pixelului în unități reale de măsură pe axa Y apare cu semnul – în față deoarece originea sistemului de coordonate al imaginilor este diferită de originea sistemelor geografice de coordonate. Astfel originea sistemului de coordonate al imaginilor este localizat în colțul din stânga sus iar originea sistemelor de coordonate de pe hărți în colțul din stânga jos. Coordoanatele pixelilor unei imagini cresc dinspre origine în jos iar cele ale punctelor unei hărți invers.

Deoarece harta georeferențiată nu este altceva decât o matrice de pixeli, având coordonatele unui colț și pasul pe X și Y se pot calcula foarte ușor coordonatele oricărui punct.

Un mod asemănător de stocare a informației de georeferențiere a fost introdus și de MapInfo. Fișierul cu informații spațiale are același nume cu fișierul de imagine și extensia .tab. Informațiile cuprinse în acest fișier sunt mai complete față de cele tip „world file” în sensul ca stochează și informații referitoare la sistemul de coordonate și proiecția utilizată.

Avantajul major al stocării informației spațiale într-un fișier extern îl constituie posibilitatea editării fișierului de imagine cu orice editor grafic (PhotoShop, Paint Shop Pro, PhotoPaint, PhotoImpact, Gimp) în scopul ajustării unor parametri ca saturarea culorilor, luminozitate, contrast etc.

Varianta stocării informațiilor spațiale în același fișier cu datele de imagine este specifică unor formate de imagine proprietare (Ex: img – Erdas Image) și formatului GeoTiff. Acesta din urmă este o soluție complexă de stocare a imaginilor referențiate. Stocarea informației imagine se face utilizând formatul TIFF standard, suportă algoritmi de compresie ai acestuia și în plus poate stoca mai mult de 3 benzi de informație. Headerul pentru informații spațiale conține câmpuri pentru definirea tuturor caracteristicilor spațiale ale imaginii. În cazul prelucrării fișierelor GeoTiff cu editoare grafice standard se pierd informațiile spațiale din header și se poate altera informația grafică.

- **Postprocesarea hărților**

Uneori după scanarea și georeferențierea hărților de bază mai sunt necesare unele operațiuni înainte de a trece la vectorizarea informației altimetrice. De regulă acestea sunt legate de reproiectarea și mozaicarea hărților sau separarea pe straturi de culoare.

Procesul de reproiectare creează din imaginea sursă georeferențiată o nouă hartă de imagine într-un sistem de coordonate specificat. Nevoia de reproiectare apare atunci când se utilizează surse multiple de date, în sisteme diferite de coordonate și se dorește aducerea tuturor datelor într-un sistem unitar de coordonate.

Procesul de mozaicare a hărților presupune crearea unei noi hărți unind două sau mai multe hărți adiacente. Nevoia de mozaicare apare atunci când scanarea unei foi de hartă s-a făcut din mai multe bucăți sau când se dorește îmbinarea mai multor foi de hartă pentru o vectorizare unitară. Fișierele de intrare trebuie să aibă în comun o serie de parametri ca sistemul de coordonate, rezoluția imaginii (dimensiunea pixelilor), numărul de culori, paleta de culori. Un alt aspect important în obținerea unui mozaic de calitate bună este stabilirea unei culori pentru background (fundal), culoare care va fi ignorată la mozaicare. Această opțiune este prezentă în majoritatea programelor cu funcții de mozaicare a imaginilor (Geographic Transformer, Erdas Image, Envi) și este utilă deoarece de obicei suprafața utilă de pe o hartă are o formă trapezoidală și nu dreptunghiulară. Deoarece



stocarea acestora pe disc se poate face doar sub forma unei matrici dreptunghiulare, zonele rămase au înregistrată o valoare unică diferită de cele prezente în cadrul hărții. Generic valoarea pentru aceste zone se numește „no data” (Fig. 9).

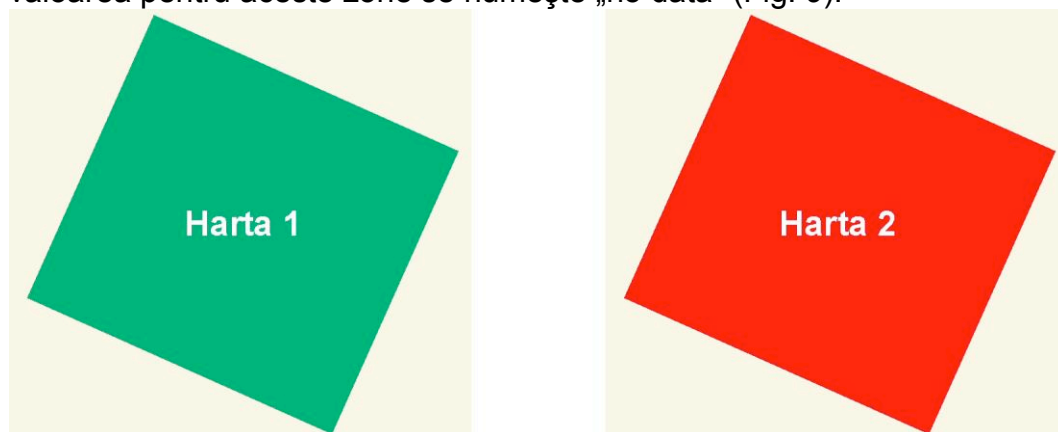


Fig. 9. Exemplu de dispunere a informației utile într-un fișier grafic



Lipsa definirii unei culorii de fundal în procesul de mozaicare duce la pierderi ale suprafeței utile (Fig. 10).

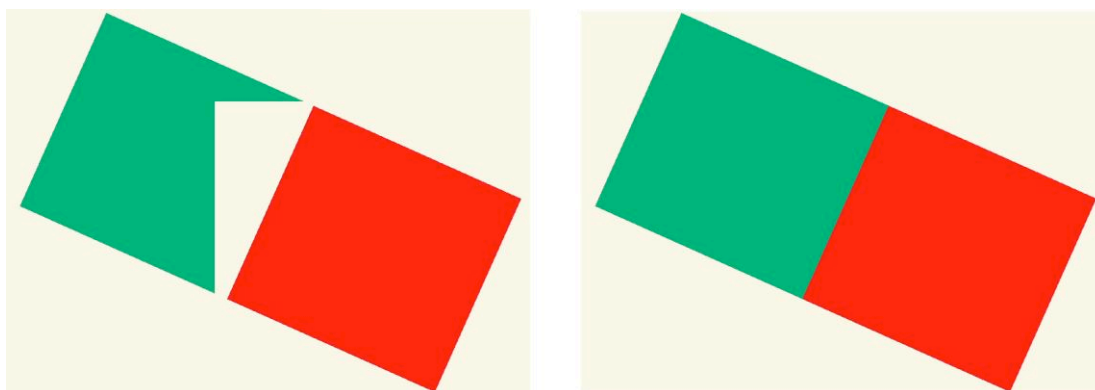


Fig. 10. Rezultatul mozaicării a două hărți cu (stânga) și fără (dreapta) definirea unei culori de fundal

Separarea unei hărți pe straturi de culoare este utilă din perspectivă utilizării unei vectorizări în regim automat sau semi-automat a informațiilor ce prezintă interes, la final se obține o imagine în două culori: 0 (valoare de fundal), 1 (elementele de interes). Acest lucru este posibil deoarece pe hărți elementele de același tip sunt reprezentate prin semne convenționale de aceeași culoare. O separare reușită pe straturi de culoare ține foarte multe de calitatea hărții inițiale și calitatea celei scanate.

- **Vectorizarea informațiilor altimetrice**

Vectorizarea curbelor de nivel de pe hărțile topografice scanate și georeferențiate se poate face în regim semi-automat cu ajutorul aplicațiilor de conversie „raster to vector” (Ex: VPStudio, WinTopo, Raster Design, R2V, Blackart etc.) sau prin digitizare „on screen”.

Vectorizarea în regim semiautomat (asistată) și automat presupune o etapă suplimentară de separare a culorilor pe straturi explicată în secțiunea anterioară (Fig. 11.). Separarea curbelor (de obicei reprezentate cu sepia) de restul informațiilor de pe harta topografică se poate dovedi deosebit de anevoioasă în zonele înalte datorită distanței mici (în plan) dintre două curbe vecine, de multe ori, pe anumite porțiuni limita dintre acestea



fiind foarte vagă iar algoritmul de vectorizare poate produce rezultate eronate. În aceste situații se poate opta pentru o combinație între vectorizarea semi-automată și cea manuală.

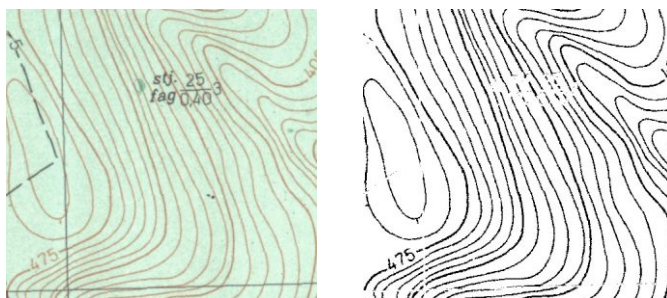


Fig. 11. Exemplu de separarea a culorilor

Vectorizarea „on screen” are avantajul evitării erorilor mai ușoare a erorilor de editare dar este mare consumatoare de timp.

Indiferent de metoda de vectorizare aleasă, în paralel, se urmărește introducerea în tabela de attribute a informațiilor altimetrice.

Digitizarea cotelor de nivel se face în cadrul unui strat de tip punct. În tabela de attribute se va introduce valoarea altimetrică.

Suplimentar mai pot fi vectorizate rupturile de pantă ce pot fi introduse în MNAT sub formă de breakline-uri, cursurile de apă și batimetria lacurilor și bălților.

- **Interpolarea informațiilor altimetrice**

Interpolarea sau gridarea are drept scop obținerea unui model numeric altimetric al terenului pornind de la informațiile vectorizate în etapa anterioară.

În funcție de tipul de fișier de intrare acceptat de aplicațiile utilizate (ArcView, ArcInfo, Surfer, MapInfo etc) pentru interpolare, datele vectorizate trebuie adaptate pentru a fi compatibile. De regulă, toate aplicațiile acceptă ca fișier de intrare o listă de cote altimetrice definite prin câmpuri ce conțin altitudinea și coordonatele geografice.

Una din cele mai importante etape este alegerea metodei de interpolare a datelor. Metodele implementate de fiecare aplicație software diferă de la una la alta, fiecare din acestea având avantajele ei și fiind potrivită pentru interpolarea unui anumit tip de date.

Pentru obținerea modelului numeric altimetric al terenului unele metode pot da rezultate foarte bune iar altele dimpotrivă generează rezultate ciudate. Acest lucru se datorează faptului că aceste metode de interpolare sunt gândite pentru diverse tipuri de date, putându-se interpola nu numai valori altimetrice ci și valori de temperatură, presiune, precipitații etc (Fig. 12). Cele mai bune rezultate, în cazul interpolării datelor altimetrice, au fost obținute cu metodele Kriging, Minimum curvature, Inverse distance to a power, triangulație și Regularized spline with tension.

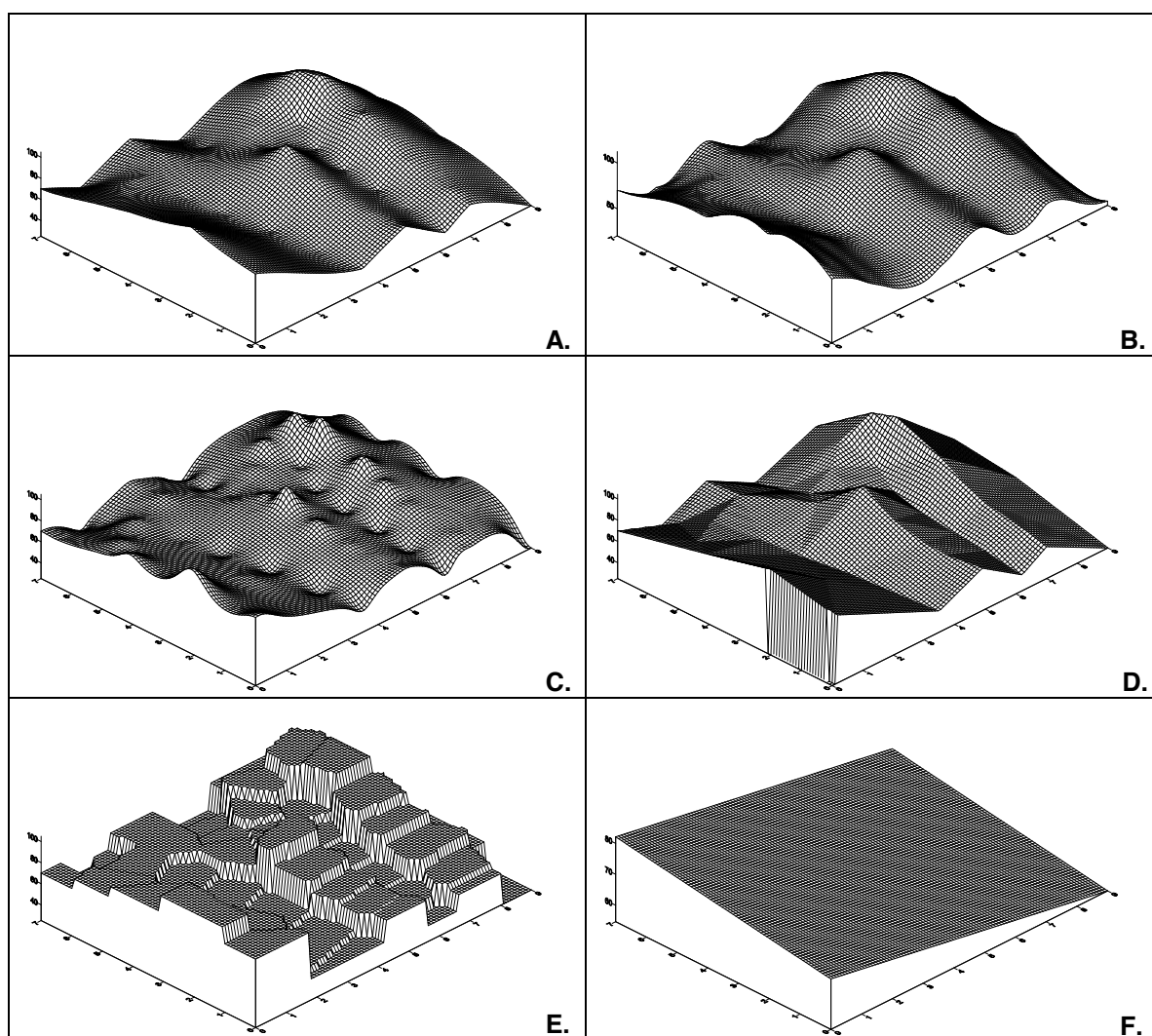


Fig. 12. Rezultatul interpolării datelor prin:

- A. Metoda *Kriging*
- B. Metoda *Minimum curvature*
- C. Metoda *Inverse Distance to a Power*
- D. Metoda *Triangulation with Linear Interpolation*
- E. Metoda *Nearest Neighbor*
- F. Metoda *Polynomial Regression*

### 2.3.2. Realizare MNAT pentru zona municipiului Suceava

Modelul numeric altimetric pentru zona de studiu a fost realizat prin interpolarea informațiilor altimetrice extrase de pe 30 de planuri topografice scara 1: 5.000 (Fig. 13).

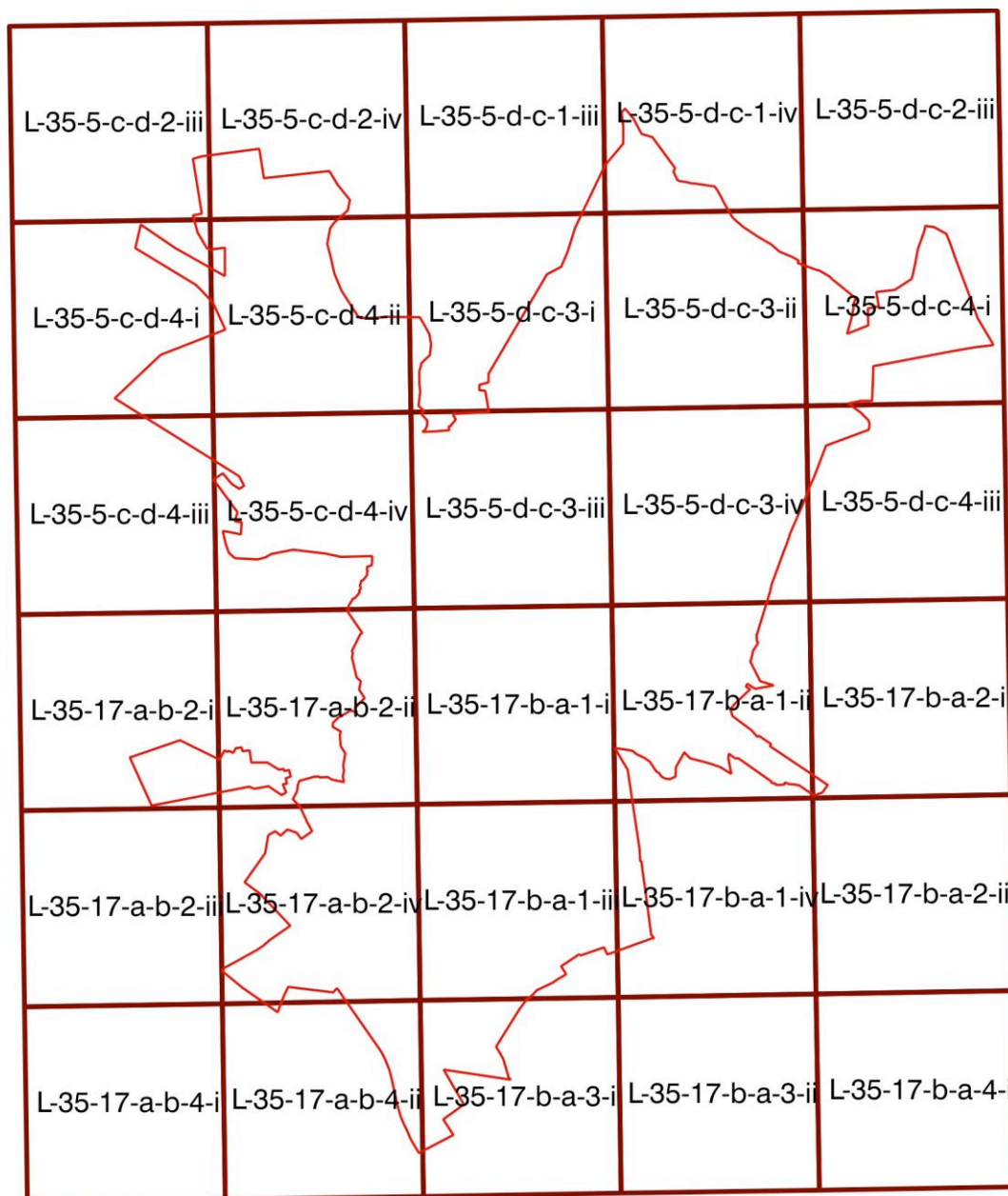


Fig. 13. Dispunerea planurilor topografice utilizate la crearea MNAT-ului

Planurile utilizate, cu referință la Marea Baltică, au fost executate de către I.G.F.C.O.T. în perioada 1978 – 1980. Pentru zona centrală s-a beneficiat de planuri reambulate în perioada 1992 – 1996.

O dată identificate și scanate planurile au fost georeferențiate în sistemul de coordonate Stereografic 1970 utilizându-se între 4 și 16 puncte de control.

Vectorizarea curbelor de nivel (Fig. 14) s-a făcut cu ajutorul programului ArcView, versiunile 3.2a și 8.3 printr-o temă (strat vectorial) tip polilinie. Echidistanța dintre curbele de nivel vectorizate este de 2.5 metri. Densitatea curbelor este mare și medie în zonele înalte din partea nordică și cea sudică a zonei de interes și mică în partea centrală (pe



valea râului Suceava). Valorile altimetrice au fost introduse ca atribut în baza de date asociată fișierului vectorial.

Informațiilor altimetrice furnizate de curbele de nivel s-au adăugat cele marcate prin cote și rupturile mari de pantă. Cotele altimetrice au fost vectorizate folosind o temă punctuală iar valoarea altimetrică a fost scrisă sub formă de atribut numeric în baza de date asociată fișierului vectorial.

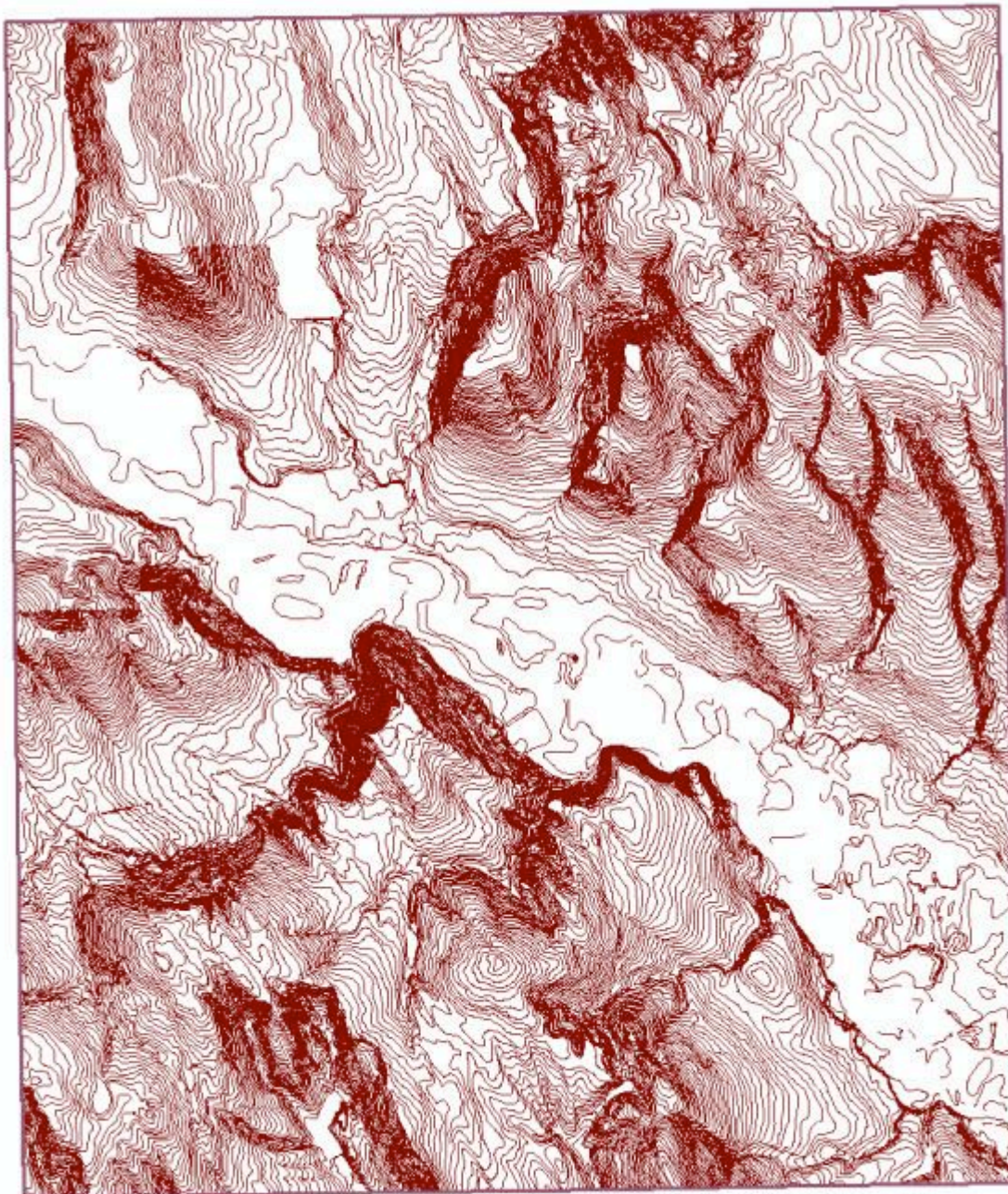


Fig. 14. Curbele de nivel extrase de pe planurile topografice

Setul final de date obținut a fost interpolat (metoda ce mai rapidă: TIN) în vederea validării. Erorile din etapa de vectorizare au fost puse în evidență prin vizualizarea directă a modelului obținut sau prin derivarea unor produse gen: pante, aspect, curbură în profil, curbură în plan, umbrire (Fig. 15.)

După corectură s-a trecut la gridarea setului de date, utilizând mai multe metode de interpolare. Modelele numerice altimetrice obținute prin metode diferite au fost comparate, iar în final metoda Kriging a fost considerată cea mai potrivită pentru setul de date utilizat.



Alte metode care au dat rezultate mulțumitoare au fost triangulația, Franklin Approximation Algorithm, RST (Regularized Spline with Tension), Natural Neighbour.

Interpolarea datelor prin metoda Kriging a fost realizată utilizând versiunea 8 a programului Surfer (<http://www.goldensoftware.com>). În acest sens, datele altimetrice obținute prin vectorizarea curbelor de nivel au fost „sparte” în puncte, fiecărui punct fiindu-i asociat în tabelul de attribute cota curbei inițiale. Aceste puncte au fost unite cu cele obținute prin vectorizarea cotelor și a altor puncte cu valoare altimetrică de pe hărți. Fișierul astfel obținut, conținând 296 621 puncte a fost încărcat și interpolat în Surfer. Modelul de bază obținut are o rezoluție spațială (dimensiunea celulei) de 2 metri și este format din 5 751 rânduri și 6 851 coloane. Timpii de procesare (interpolare) ai modelului depășesc 10 ore pe un sistem de calcul relativ puternic (procesor 3,0 Ghz, RAM 1 GB). În funcție de scopul urmărit acest model cu rezoluție spațială de 2 metri a fost re-eșantionat la rezoluții mai mari: 3,33 metri, 10 metri etc.



Fig. 15.A. Exemplu de curbe vectorizate

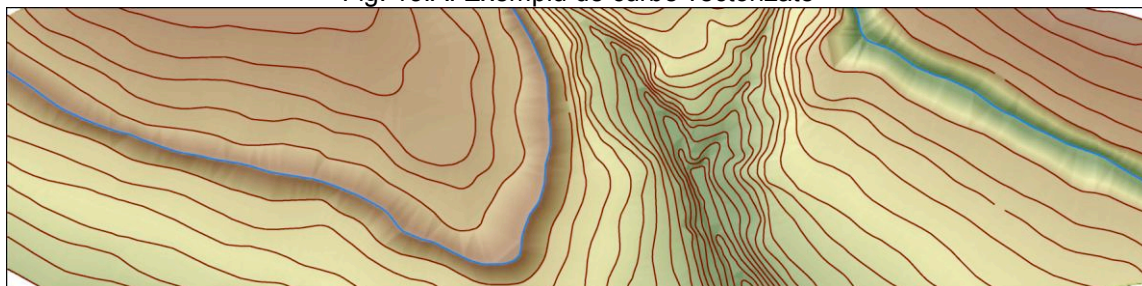


Fig. 15.B. Detectarea erorilor de vectorizare pe harta hipsometrică

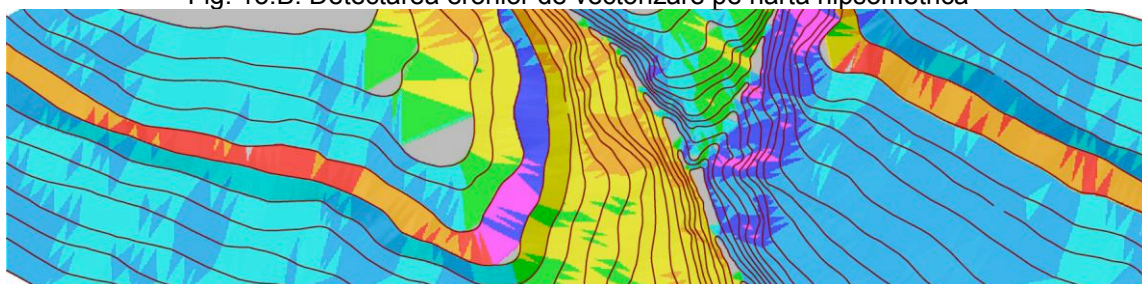


Fig. 15.C. Detectarea erorilor de vectorizare pe harta orientării versanților

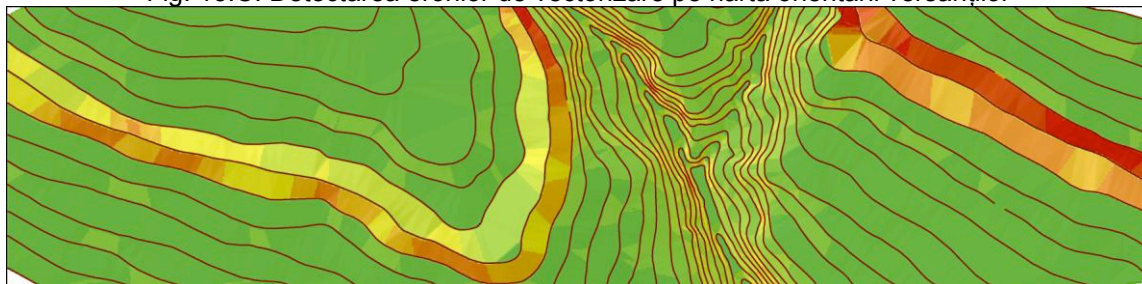


Fig. 15.D. Detectarea erorilor de vectorizare pe harta pantelor



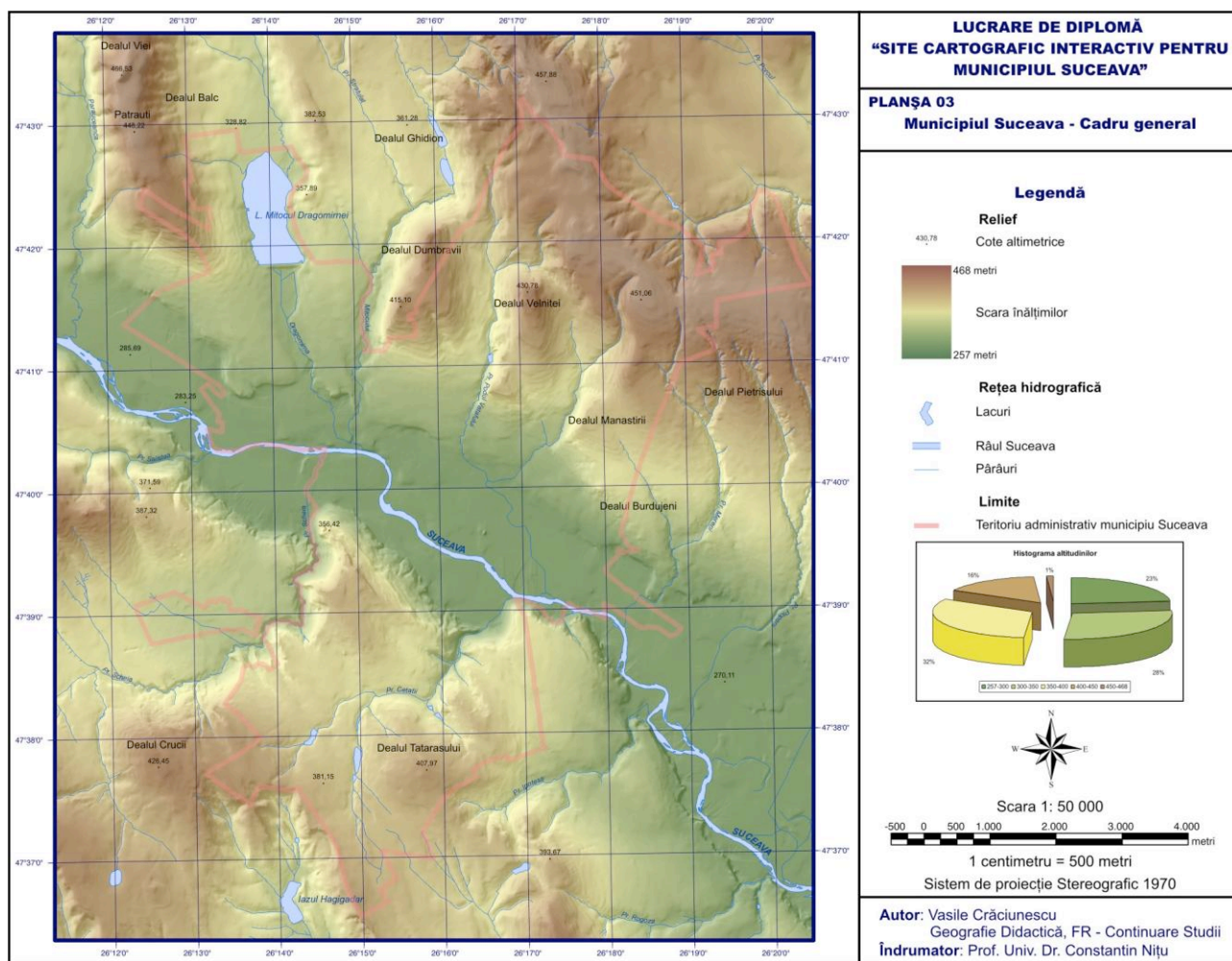
### 2.3.3. Analiza geomorfologică pe baza MNAT-ului

#### 2.3.3.a. Introducere

Folosirea modelelor numerice altimetrice ale terenului ca bază pentru studiile de geomorfologie prezintă numeroase avantaje față de utilizarea metodelor clasice. Astfel, această abordare simplifică (sporind în același timp precizia) procedura prin care sunt calculați diverșii parametri geomorfologici și ușurează reprezentarea cartografică a acestora.

Funcții de analiză spațială sunt incluse în majoritatea pachetelor de programe GIS. Cele mai cunoscute sunt: ArcView (modulul Spatial Analyst - <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgisextensions/spatialanalyst/index.html>), Idrisi (<http://www.clarklabs.org/>), GRASS (<http://grass.itc.it/>), ERDAS Imagine (modulul Interpreter/Topographic Analysis - <http://gis.leica-geosystems.com/>), Surfer (<http://www.goldensoftware.com>), MapInfo (<http://www.mapinfo.com/>), Geomedia (<http://www.intergraph.com/>), Envi (modulul Topographic - <http://www.rsinc.com/>). De asemenea există și o serie de programe mici, de cele mai multe ori gratuite, care au funcții de analiză spațială foarte puternice și bine implementate. Dintre acestea se remarcă: DiGeM (Digitales Gelände-Modell - <http://www.geogr.uni-goettingen.de/pg/saga/digem/index.html>), SAGA (<http://geosun1.uni-geog.gwdg.de/saga/html/index.php>) - ambele dezvoltate de către profesorul Olaf Conrad în cadrul tezei de doctorat „Derivation of Hydrologically Significant Parameters from Digital Terrain Models”; LandSerf (<http://www soi.city.ac.uk/~jwo/landserf/>) dezvoltat de către profesorul Joseph Wood în cadrul tezei de doctorat „The Geomorphological Characterisation of Digital Elevation Models”; Microdem (<http://www.usna.edu/Users/oceano/pguth/website/microdem.htm>) - dezvoltat de profesorul Peter Guth; MapWindow (<http://www.mapwindow.com/>) etc.

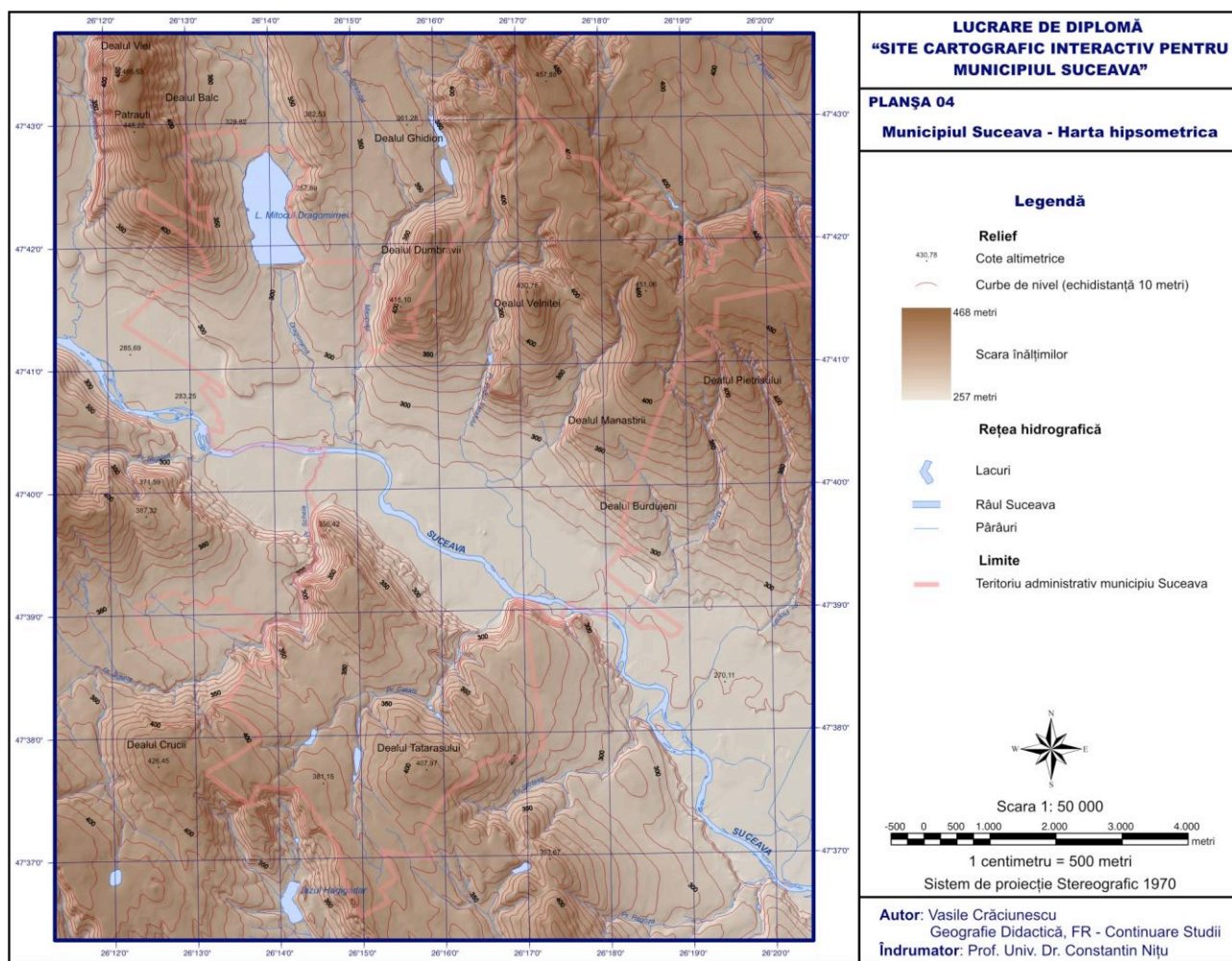
Folosind MNAT-ul construit pentru zona de studiu (Planșa 03) ca bază de intrare în unele din programele enumerate mai sus s-au putut determina valori pentru o serie de parametri geomorfologici, valori care mai apoi au fost folosite pentru executarea de hărți tematice.



Plansa 03.

### 2.3.3.b. Harta hipsometrică

Are la bază curbele de nivel extrase din MNAT (echidistanță 10 metri). Intervalele au fost colorate utilizând o paletă de culori cu nuanțe de sepia. Pentru a crește gradul de expresivitate harta clasică a fost combinată cu o hartă tip „shaded relief” și a fost completată cu informații referitoare la rețeaua hidrografică, toponimie și limita administrativă a municipiului Suceava (Planșa 04).



Plansa 04.

### 2.3.3.c. Harta pantelor

Panta este unul din cei mai importanți parametri morfometrici ai unei suprafețe, având un rol deosebit în stabilirea direcției și intensității scurgerii apei, acumulării sau depunerii materialelor erodate. Calculul acestora prin metode clasice, folosind hărțile și planurile topografice este deosebit de anevoioasă, mare consumatoare de timp, iar rezultatele finale au o acuratețe redusă. Utilizarea MNTA-urilor ca bază pentru calcularea pantei conduce la obținerea unor rezultate superioare cu un timp de procesare relativ redus.

Geometric, panta este unghiul descris de planul orizontal și cel tangențial al suprafeței în același punct (Fig. 16 - stânga). Aceasta se măsoară în grade (0 - 90°) sau procente (tangenta unghiului \* 100). Formula generală de calcul a pantei este următoarea:

$$P = \arctan(p^2 + q^2)^{1/2}$$

$$\text{unde } \arctan() \text{ se măsoară în grade, iar } p = \frac{\partial z}{\partial x}, q = \frac{\partial z}{\partial y}$$



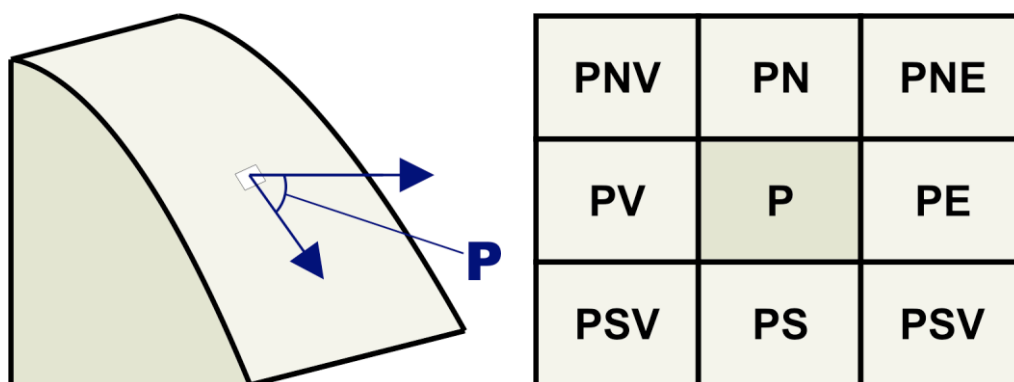


Fig. 16. Modul de calcul al pantei

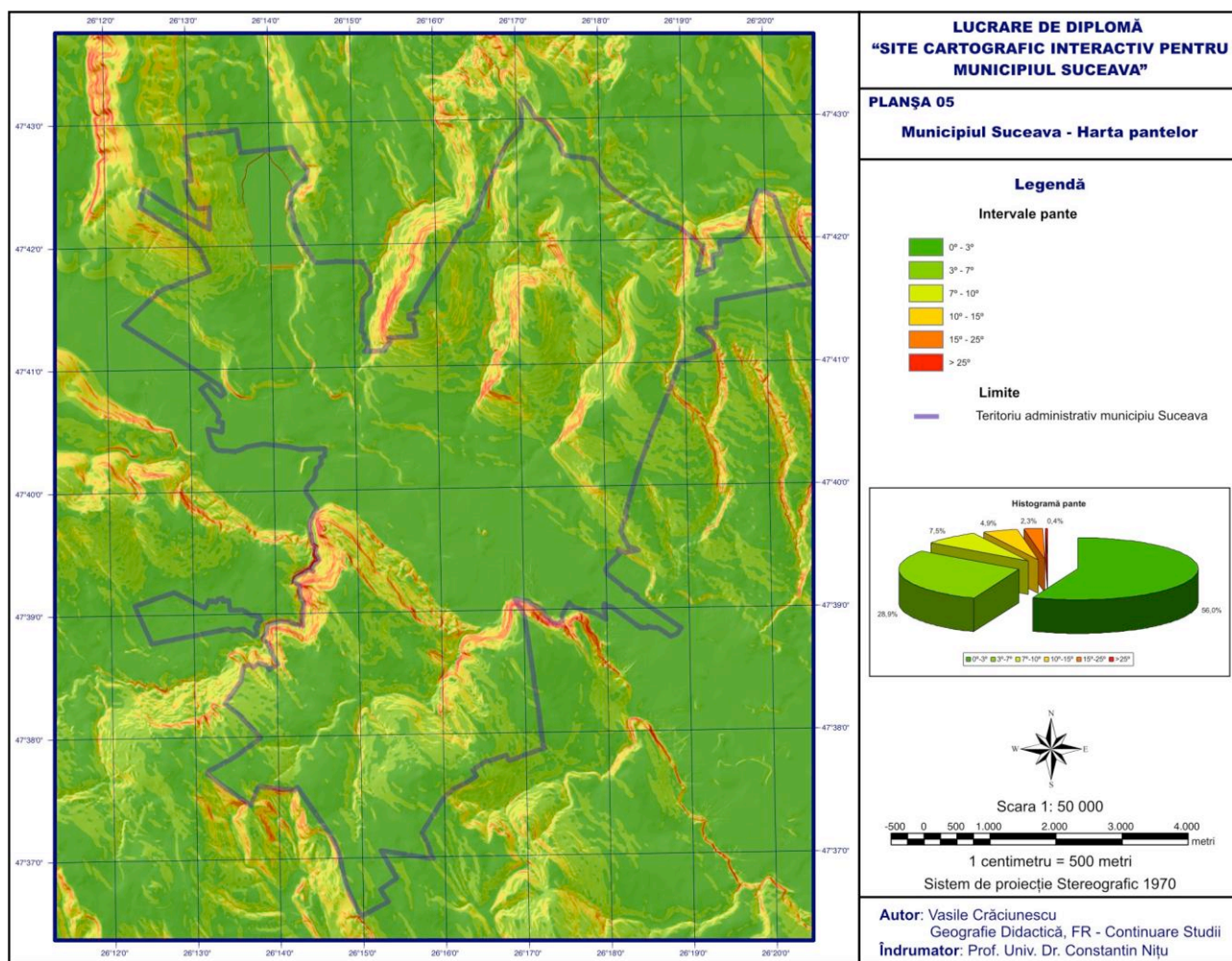
Calculul pantei având ca bază MNAT, se face utilizând valorile altitudinale ale celulelor vecine punctului vizat (Fig. 16 - dreapta). În funcție de numărul de vecini utilizați și felul în care valorile altitudinale ale acestora intră în componența formulelor de calcul s-au diferențiat o serie de algoritmi (Tabelul 2).

Tabelul 5. Principalii algoritmi de calcul al pantei pe baza MNAT-urilor

Nr. vecini	Celulele utilizate	Algoritm
2	p, pe	Batson (1975)
3	p, pn, pe	O'Neill & Mark (1987)
4	pn, pe, ps, pv	<i>Quadratic Surface Method</i> Fleming & Hoffer (1979) Ritter (1987), Zevenbergen & Thorne (1987), Band (1989), Eyton (1991), Carter (1992)
4	pnv-pse, pne-psv	Jones (1998)
8	pn, pne, pe, psv, ps, pse, pv, pnv	<i>Differential Weights:</i> Horn (1981), <i>Sobel operator.</i> Richards (1986), Jones (1998)
8	pn, pne, pe, psv, ps, pse, pv, pnv	<i>Mean method:</i> Sharpnack & Akin 1969
8	pn, pne, pe, psv, ps, pse, pv, pnv	<i>Local Trend Surface:</i> Davies (1973), Heerdegen & Beran (1992)
9	p, pn, pne, pe, psv, ps, pse, pv, pnv	<i>Steepest Adjacent Neighbor.</i> Collins (1975), Travis (1975), Shanholtz (1990)
9	p, pn, pne, pe, psv, ps, pse, pv, pnv	<i>Maximum Downhill Slope Method:</i> Hickey (1994)
9	p, pn, pne, pe, psv, ps, pse, pv, pnv	<i>Average neighbor</i>

Rezultatele obținute prin aplicarea de algoritmi diferiți de calcul al pantei diferă sensibil în funcție de specificul zonei studiate, rezoluția spațială și acuratețea modelului. Astfel unele metode pot duce la pierderea variabilității locale, inducând o uniformitate în distribuția valorilor (Ex: Neighbourhood Method – metodă folosită în mod implicit de modul GRID al pachetului GIS Arc/Info) sau supraestimează valoarea pantei (Ex: Maximum Slope Method – utilizată implicit în pachetul de programe IDRISI). Diferențele mari apar în cazul comparației între rezultatele obținute pentru zone cu energie mare de relief, utilizând metode ce utilizează 2 – 4 celule vecine și cele care utilizează 8 – 9 celule (Planșa 06.A) sau între cele care mediază valorile celulelor vecine și cele care folosesc valorile extreme.

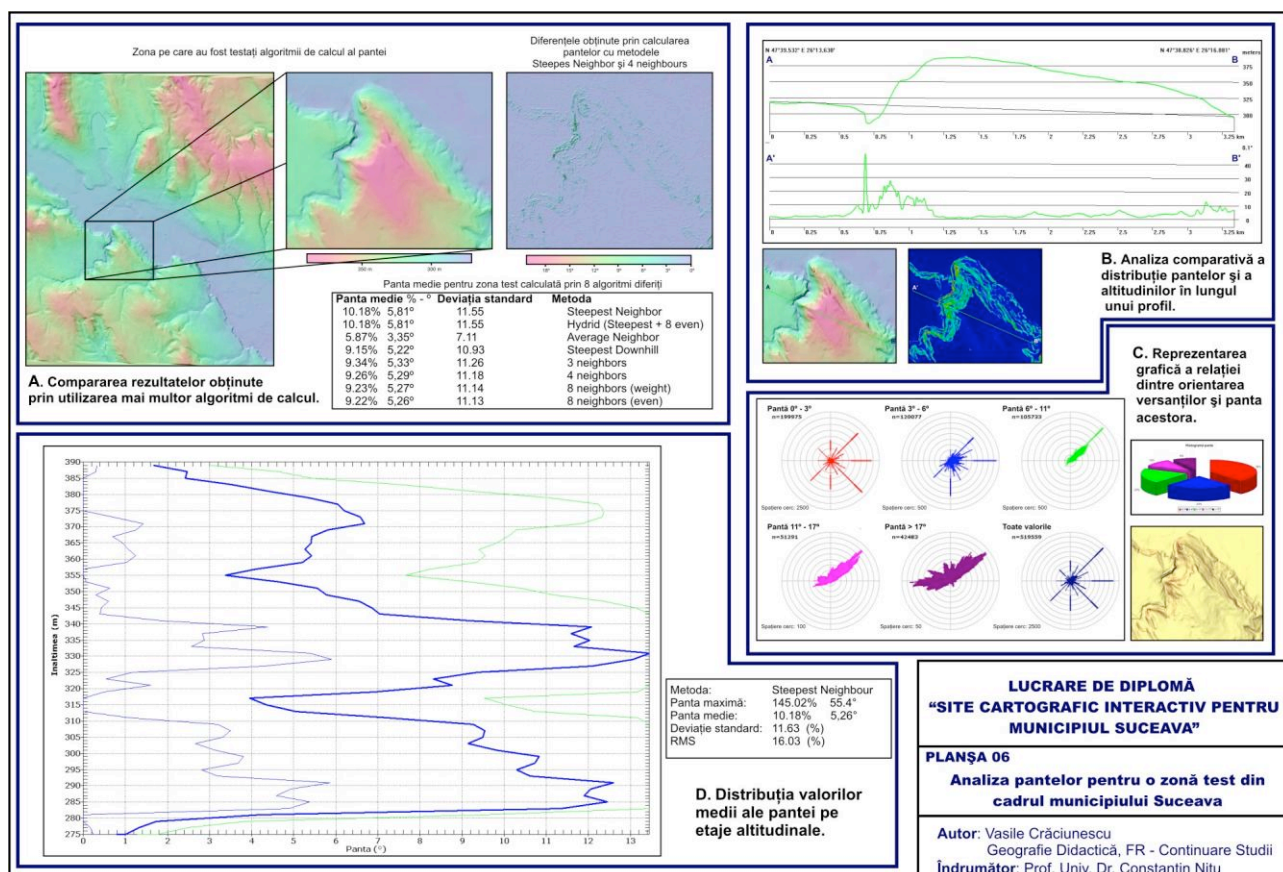
Pentru municipiul Suceava pantele se încadrează în intervalul 0 – 70 grade, cele mai mari suprafețe având pante mici: peste 84% din zona de studiu având pante cuprinse între 0 și 7 grade (Planșa 05). Pantele mari apar pe versanții principalilor afluenți ai Sucevei din această zonă (Șcheia, Dragomirna, Mitoc, Cetății etc.).



Plansa 05.

Alte metode de analiză a modului de distribuție a pantelor sunt: analiza comparativă a distribuției pantelor și altitudinilor în lungul unui profil (Planșa 06.B); analiza distribuției valorilor medii ale pantelor pe altitudine (Planșa 06.D) – permite identificarea etajelor altitudinale cu pante mici sau a celor cu pante mari; analiza relației între orientarea versanților și panta acestora (Planșa. 06.C)





Planșa 06.

### 2.3.3.d. Orientarea versanților

La fel ca și panta, aspectul sau orientarea versanților, joacă un rol foarte important în modul de desfășurare a proceselor geomorfologice. Calcularea acestui indicator pe baza modelelor numerice altimetrice ale terenului este facilă și extrem de precisă.

Geometric aspectul este unghiul format între direcția nordului și direcția pantei (în sensul acelor de ceasornic), putând avea valori cuprinse între 0 și 360 grade (Fig. 17).

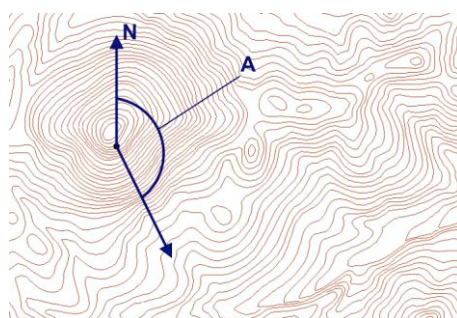


Fig. 17. Orientarea versanților

Calculul acestui indicator pe baza modelului numeric altimetric al terenului se poate face utilizând formula:

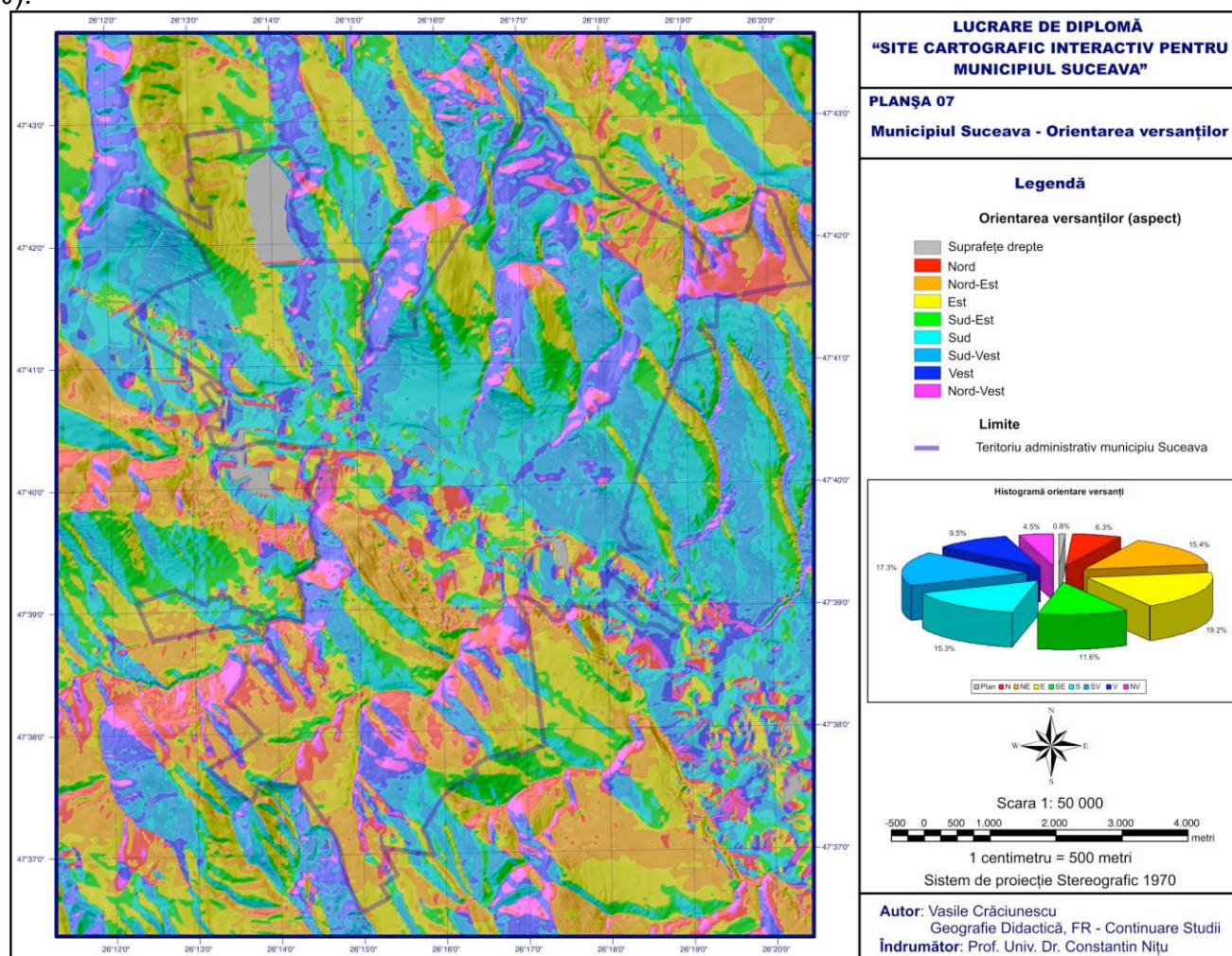
$$A = -90[1 - \text{sign}(q)](1 - |\text{sign}(p)|) + 180[1 + \text{sign}(p)] - \frac{180}{\pi} \text{sign}(p) \arccos \frac{-q}{p^2 + q^2}^{1/2},$$

unde  $\text{sign}(x) = 1$  pentru  $x > 0$ ;  $0$  pentru  $x = 0$ ;  $-1$  pentru  $x < 0$ ,

$\arccos()$  se măsoară în radiani

$$\text{și } p = \frac{\partial Z}{\partial x}, \quad q = \frac{\partial Z}{\partial y}$$

Pentru zona administrativă a municipiului Suceava (Planșa 07) ponderea cea mai mare o au versanții cu orientare estică (19.2%), sud-vestică (17.3%), nord-estică (15.4%) și sudică (15.3%). Cele mai mici procente le au cei cu orientare nord-vestică (4.5%) și nordică (6.3%).



Planșa 07.

### **2.3.3.e. Radiația solară și harta umbririi**

Pe baza modelului numeric al terenului, al valorii transmitanței atmosferice și al latitudinii se poate calcula, în mod simplist, cantitatea de energie solară recepționată de suprafața terestră la un moment dat, punându-se în evidență regimul termic al versanților. Această valoare este puternic influențată de poziția Soarelui și orientarea versanților. Poziția Soarelui este descrisă matematic prin doi parametri: înălțime și azimut. Înălțimea este unghiul descris planul suprafeței terestre și poziția Soarelui (Fig. 18) la un moment dat, acesta putând avea valori cuprinse între 0 și 90 grade. Azimutul este unghiul descris de direcția nordului și poziția Soarelui (Fig. 18), acesta putând avea valori cuprinse între 0 și 360 grade.



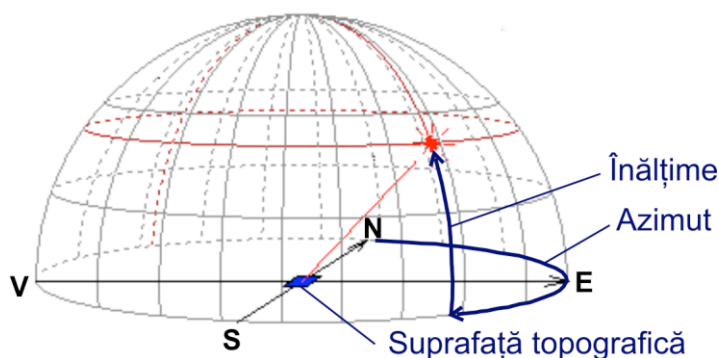
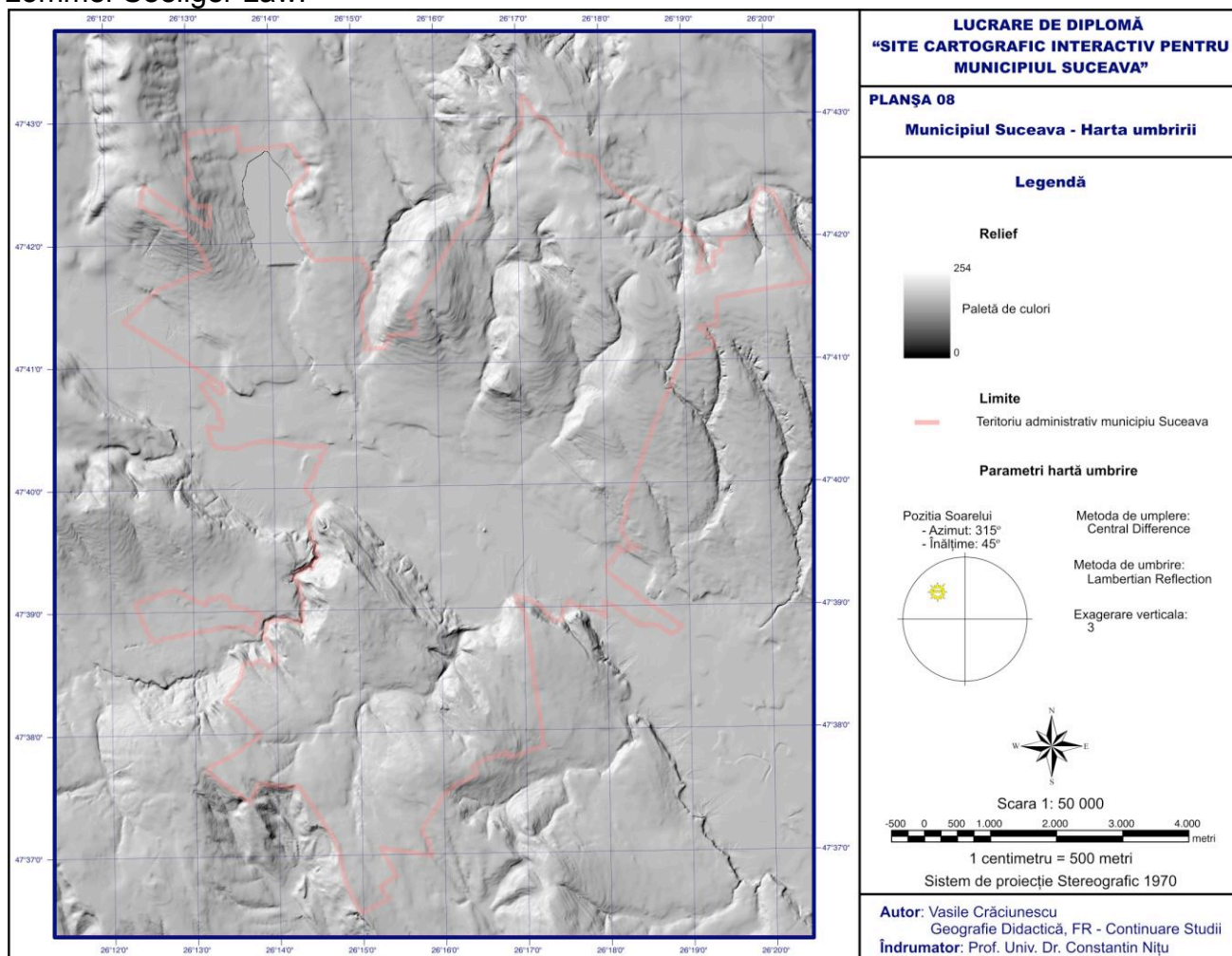


Fig. 18. Poziția Soarelui deasupra suprafeței topografice

Cunoscând poziția Soarelui pentru un moment al zilei, utilizând modelului numeric altimetric al terenului, se poate construi harta umbririi versanților. Această hartă (Planșa 08) poate fi utilizată atât pentru identificarea zonelor umbrite sau însorite la un moment dat (Fig. 19), cât și pentru identificarea caracteristicilor fizice ale suprafeței, aceasta datorită modului sugestiv (vedere aparent tridimensională – 2.5 D) sub care aceasta se prezintă. Calitatea hărții finale depinde mult de algoritmul folosit pentru calcularea luminii reflectate de fiecare din celulele modelului numeric altimetric. Pentru zona de studiu cele mai bune rezultate au fost obținute utilizând metodele: Peucker's Approximation, Lambertian Reflection și Lommel-Seeliger Law.



Planșa 08.



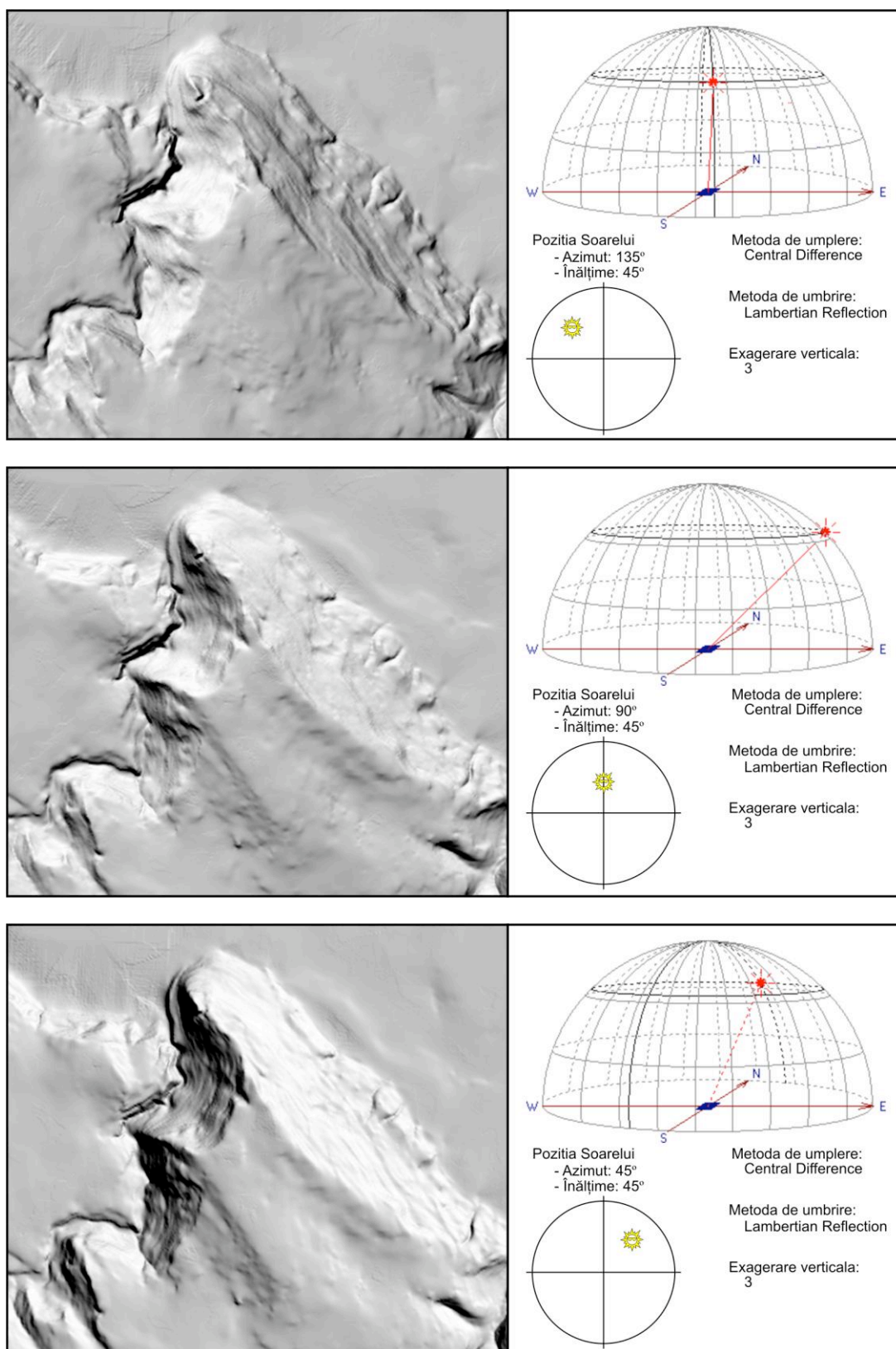
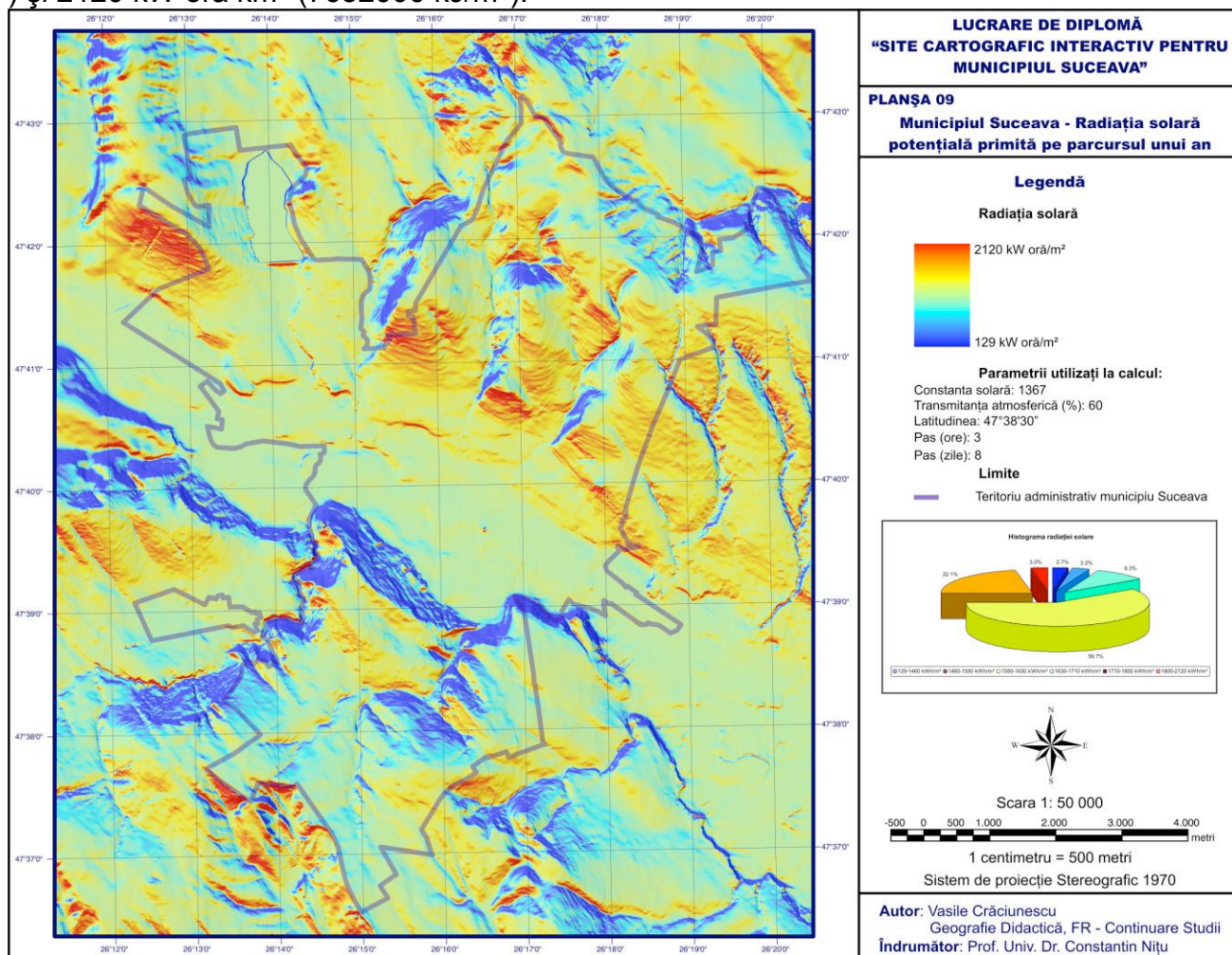


Fig. 19. Harta umbrii, pentru o zonă test din cadrul municipiului Suceava, la diferite momente ale zilei.

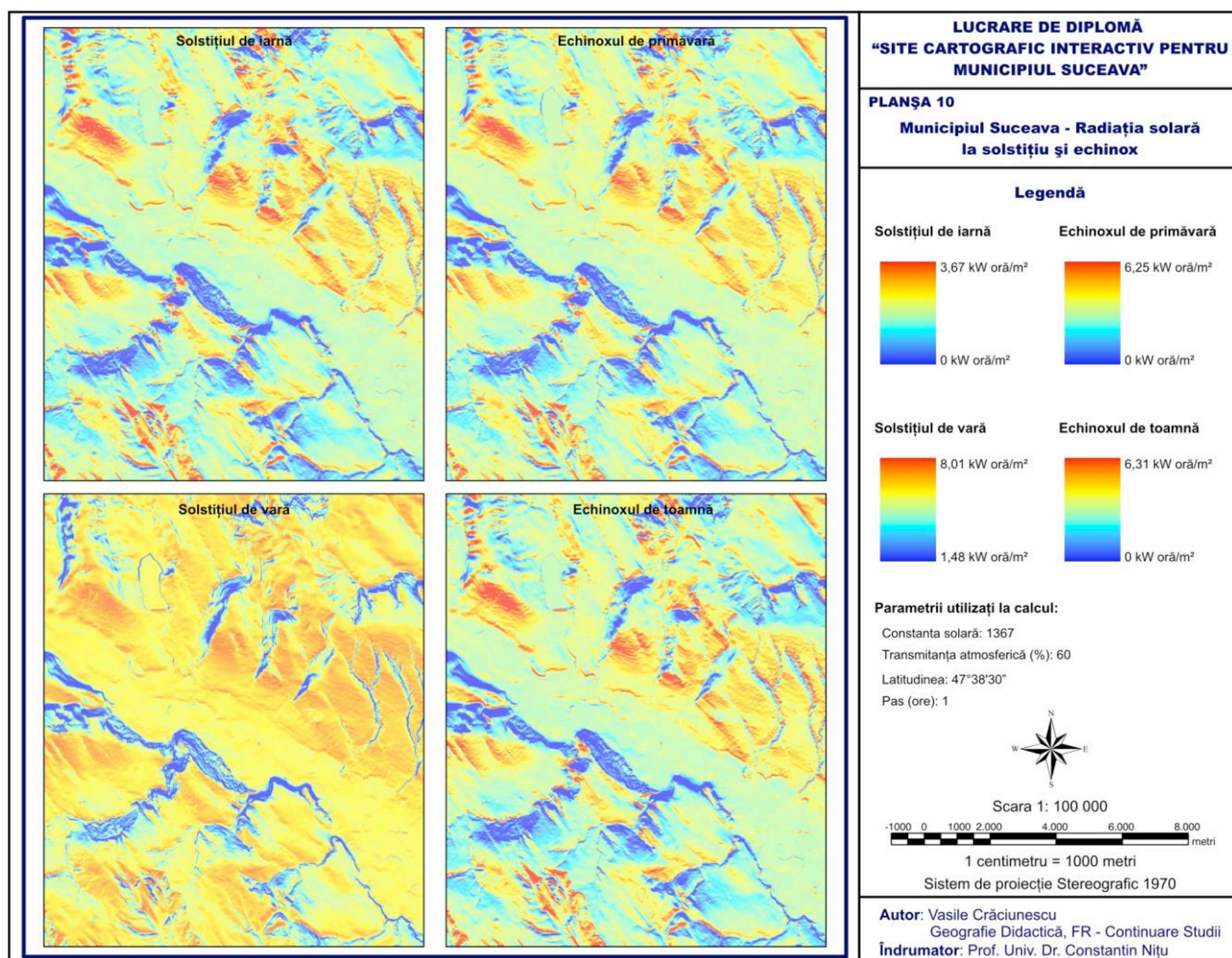
Harta cantității potențiale de energie solară primită de suprafața topografică într-un anumit moment al zilei, sau a mediilor orare, zilnice, lunare sau anuale combinată cu informații referitoare la factorii climatici, pedologici, biologici sau umani este deosebit de importantă în estimarea producției de masă vegetală, a intensității proceselor geomorfologice sau amplasării optime a construcțiilor.

Pentru zona municipiului Suceava (Planșa 09; Planșa 10) valorile anuale ale radiației solare recepționată la nivelul suprafeței topografice variază între 129 kW oră/m<sup>2</sup> (464400 kJ/m<sup>2</sup>) și 2120 kW oră km<sup>2</sup> (7632000 kJ/m<sup>2</sup>).



Planșa 09.





Planșa 10.

### 2.3.3.f. Curbura în plan (Plan Curvature; Horizontal Curvature)

Geometric, curbura în plan pentru un punct X de pe suprafața topografică este reprezentat de curbura secțiunii tangente la curba de nivel ce trece prin punctul X (Shary, 1995; Shary et al., 2002).

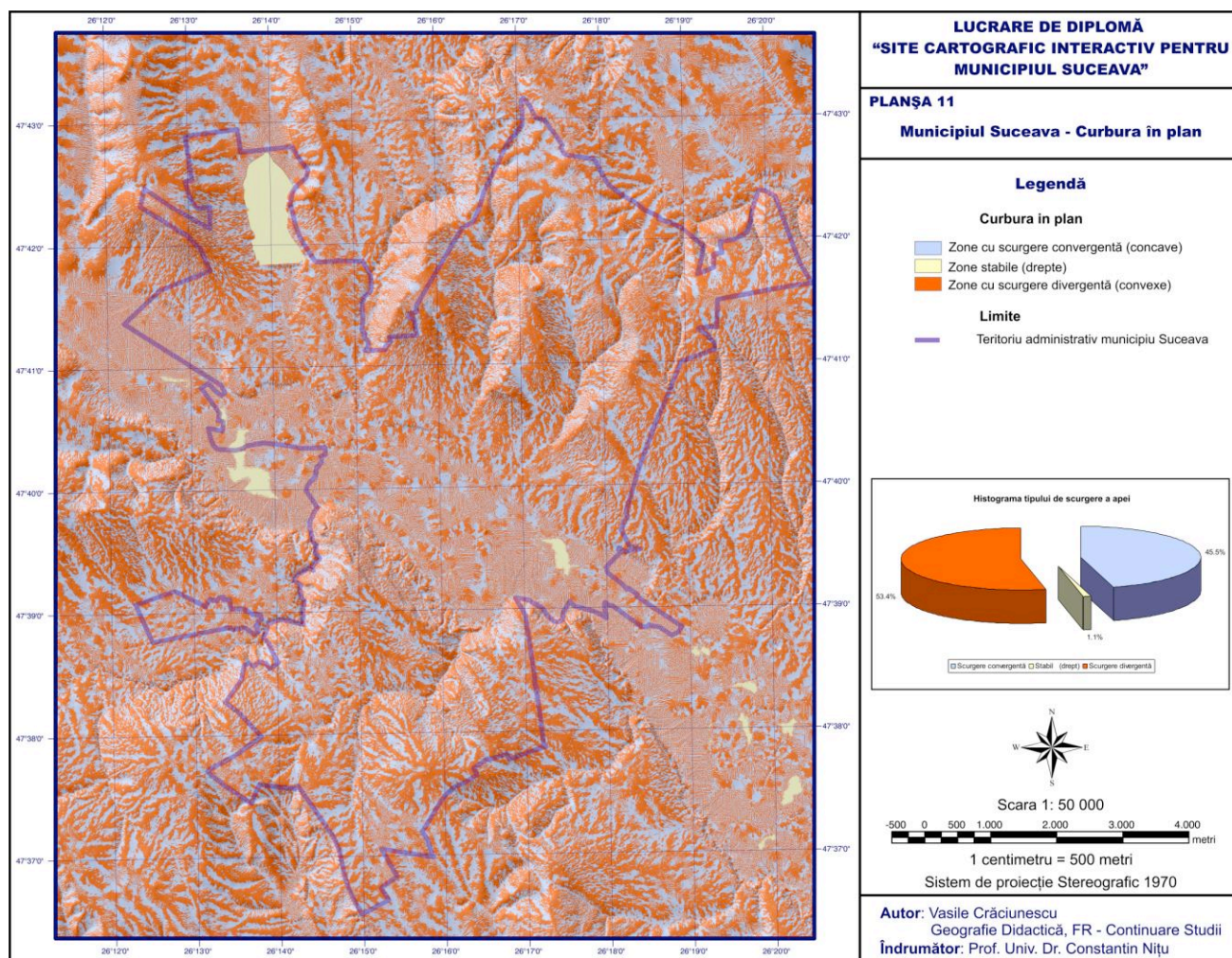
Calculul acestui indicator de pe modelele numerice altimetrice de teren se face utilizând formula:

$$\text{PlanC} = -\frac{q^2 r - 2pqs + p^2 t}{(p^2 + q^2)(1 + p^2 + q^2)^{1/2}},$$

$$\text{unde } p = \frac{\partial z}{\partial x}, q = \frac{\partial z}{\partial y}, r = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}, s = \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y}, t = \frac{\partial^2 z}{\partial y^2}$$

iar valorile obținute, măsurate în radiani, pot varia între -1 și 1. Valorile negative indică zonele unde scurgerea apei pe suprafața topografică are caracter convergent, iar cele pozitive, areale cu scurgere divergentă. Intensitatea caracterului convergent/divergent al scurgerii este cu atât mai mare cu cât valoarea curburii în plan se apropie de -1/1. Celulele cu valoarea 0 se identifică cu zonele plate. Simplificând problema și atribuind culori diferite pe intervalele -1 - 0; 0 - 1 se obține harta tipului de scurgere pe suprafața topografică (Planșa 11).





Planșa 11.

### 2.3.3.g. Curbura în profil (Profile Curvature; Vertical Curvature)

Din punct de vedere geometric, curbura în profil pentru un punct X de pe suprafața topografică este reprezentată de curbura secțiunii tangente la direcția de scurgere a apei în punctul X (Shary, 1995; Shary et al., 2002).

Formula de calcul a acestui parametru având ca suport modelul numeric altimetric al terenului se face după o formulă asemănătoare cu cea a curburii în plan:

$$\text{ProfilC} = -\frac{p^2 r - 2pqs + p^2 t}{(p^2 + q^2)(1 + p^2 + q^2)^{3/2}},$$

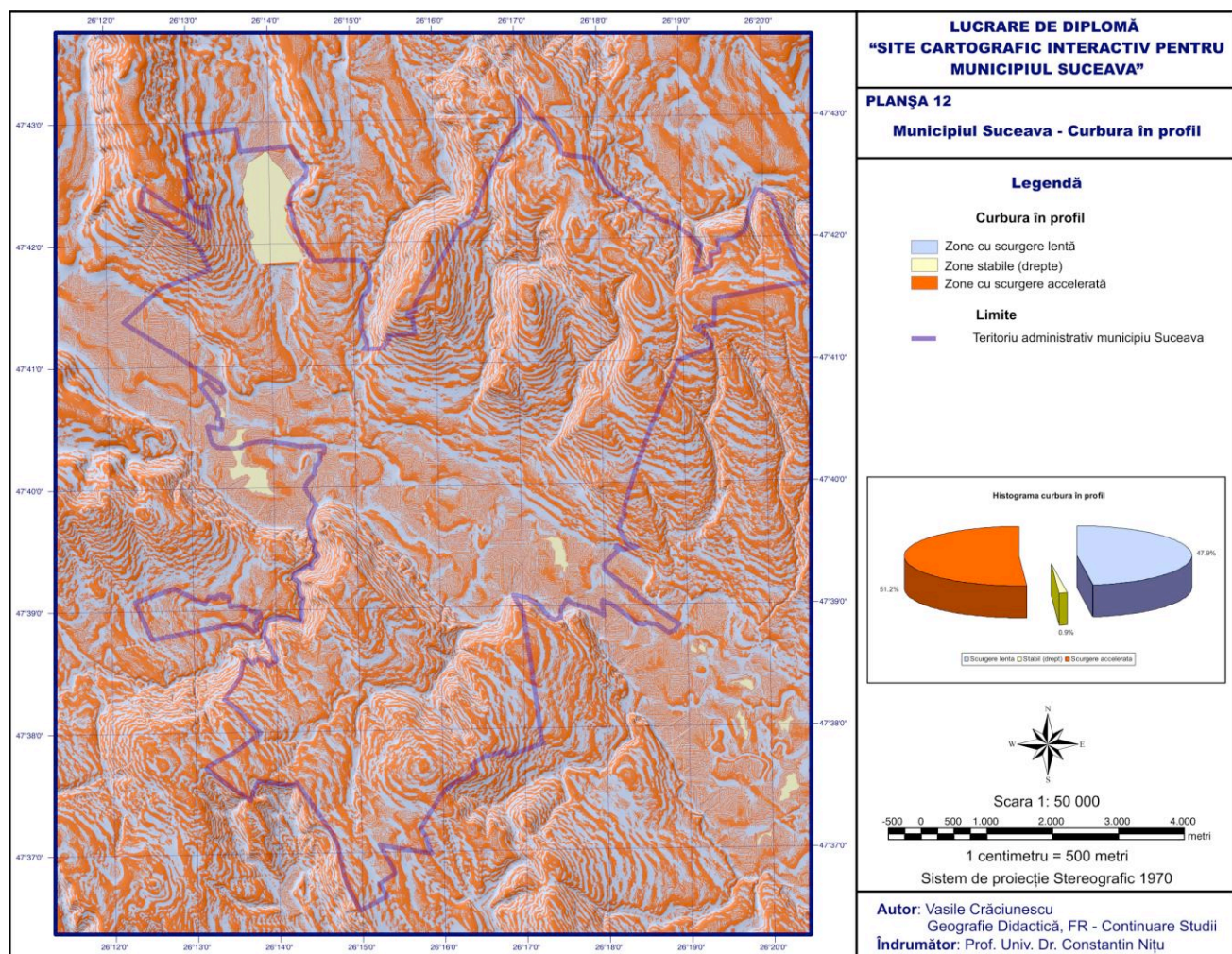
$$\text{unde } p = \frac{\partial Z}{\partial x}, \quad q = \frac{\partial Z}{\partial y}, \quad r = \frac{\partial^2 Z}{\partial x^2}, \quad s = \frac{\partial^2 Z}{\partial x \partial y}, \quad t = \frac{\partial^2 Z}{\partial y^2}$$

valorile obținute fiind de asemenea măsurate în radiani.

Acest indicator exprimă gradul de convexitate sau concavitate a versanților. Valorile negative exprimând intensitatea concavității iar cele pozitive intensitatea convexității celulelor.

Curbura în profil influențează viteza de scurgere a apei pe suprafața topografică, acesta fiind accelerată în zonele convexe (valori pozitive) și decelerată în cele concave (Planșa 12).





Plansa 12.

### 2.3.3.h. Adâncimea fragmentării

Harta adâncimii fragmentării reprezintă o formă foarte potrivită de exprimare a caracteristicilor cantitative a reliefului. Concepută de către Sobolev, aceasta urmărește identificarea energiei de relief dintre cumpele de apă și nivelul râurilor. În varianta complexă, calculul adâncimii medii a fragmentării reliefului prin media altitudinală între inflexiunile vecine ale unor profile orientate perpendicular pe liniile majore ale reliefului. Astfel dacă numărul total de inflexiuni din lungul unui profil este  $M$ , atunci adâncimea medie a fragmentării caracteristice zonei străbătute de profilul dat va fi:

$$H_m = h_1 + h_2 + h_{m+1} / m + 1,$$

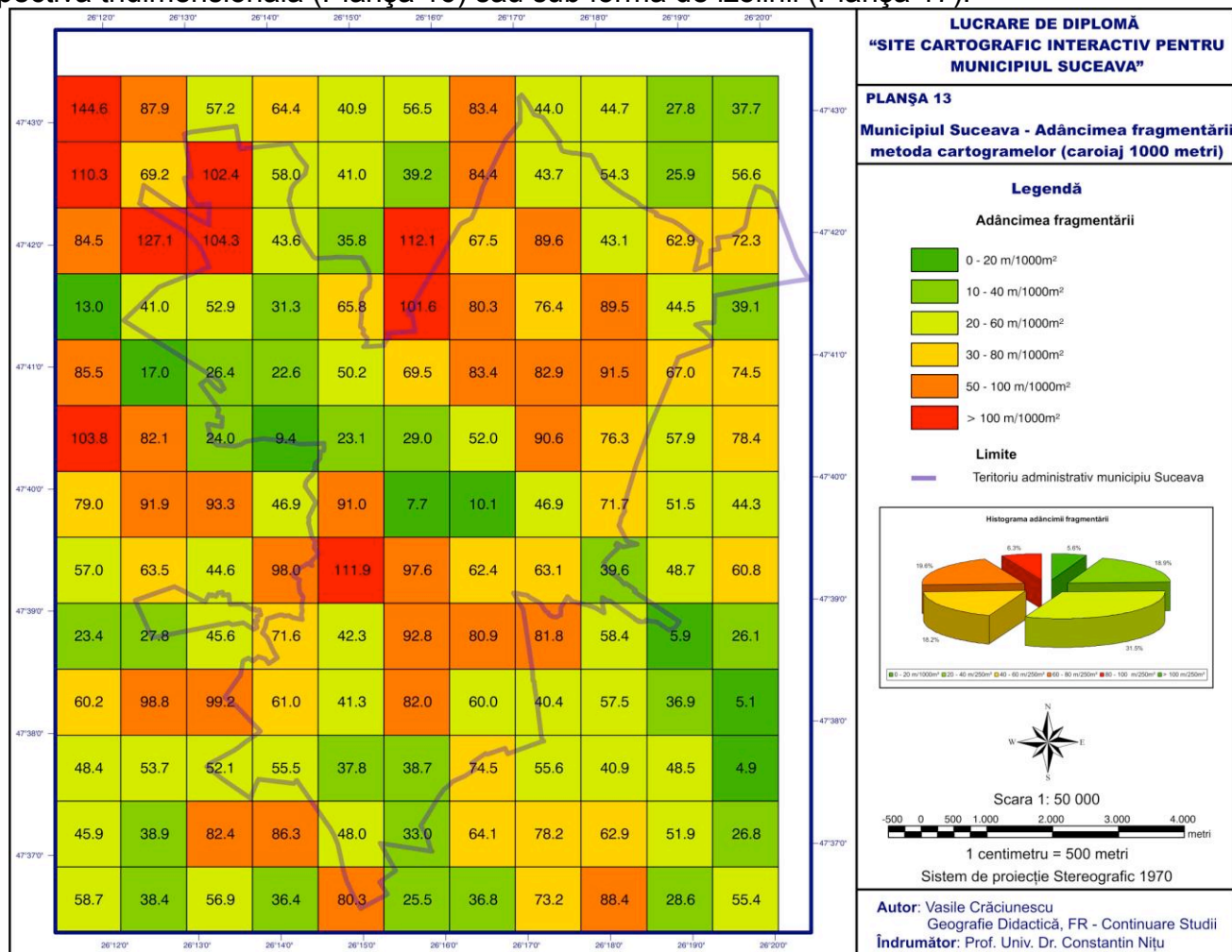
Unde  $h_1, h_2, \dots$  reprezintă diferențele de altitudine între inflexiunile vecine

Varianta simplificată presupune definirea unui caroiaj rectangular și calcularea adâncimii fragmentării pentru fiecare din celulele acestuia. Metoda clasică utilizează caroiajul kilometric prezent pe hărțile topografice, iar stabilirea punctelor cu altitudine maximă și minimă din cadrul unei celule nu se poate face cu o precizie deosebită.

Pachetele de programe GIS oferă un mediu mult mai flexibil de calcul al acestui indicator. Astfel dimensiunile caroiajului pot fi stabilite de către utilizator, iar calculul valorilor minime și maxime dintr-o celulă se face extrem de precis.

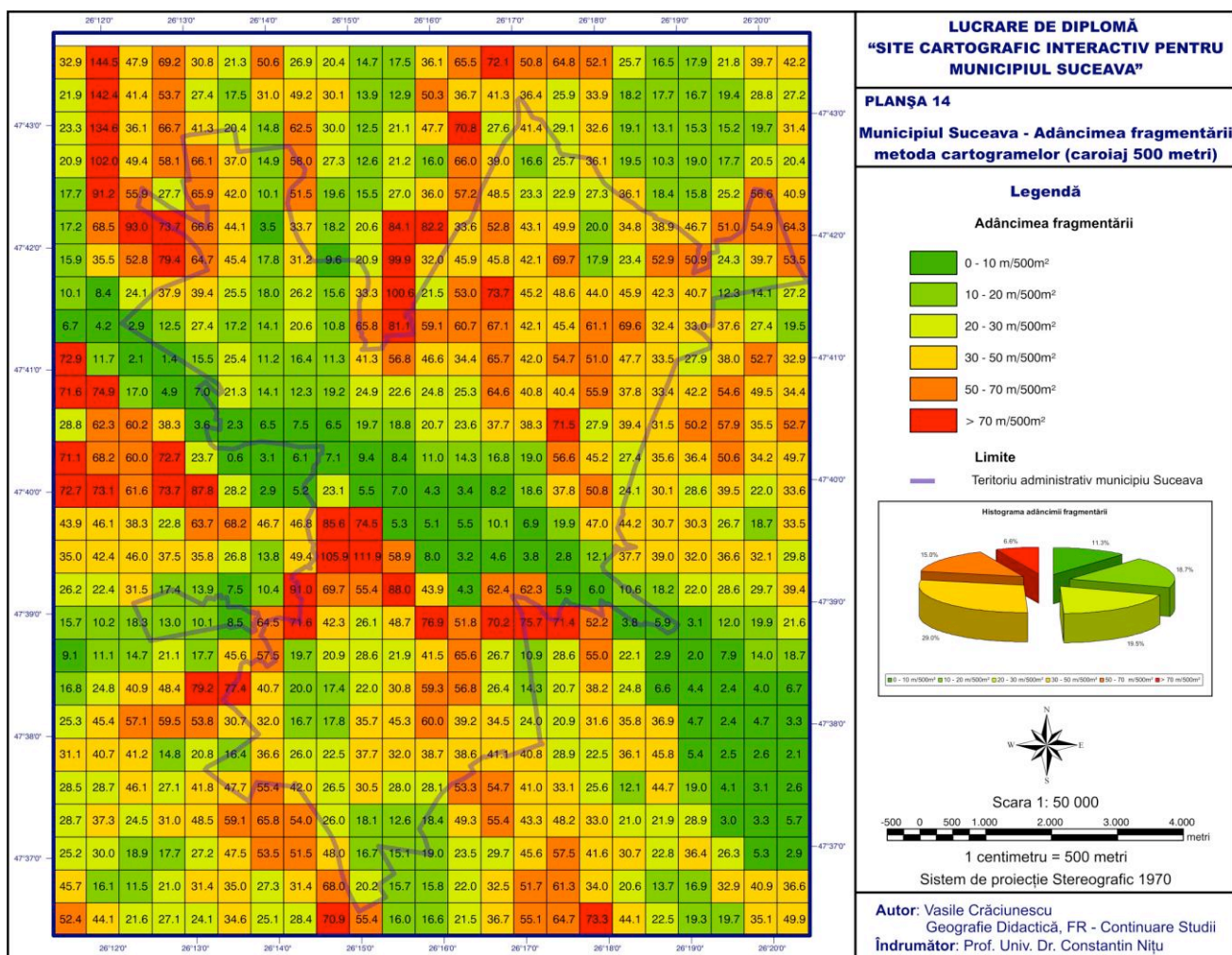
Reprezentarea pe hartă se poate face colorând celulele caroiajului diferit în funcție de valoarea adâncimii fragmentării (Planșa 13, Planșa 14, Planșa 15) – metoda cartogramelor.

O altă metodă de reprezentare presupune interpolarea valorilor și se afișează acestea din perspectivă tridimensională (Planșa 16) sau sub formă de izolinii (Planșa 17).

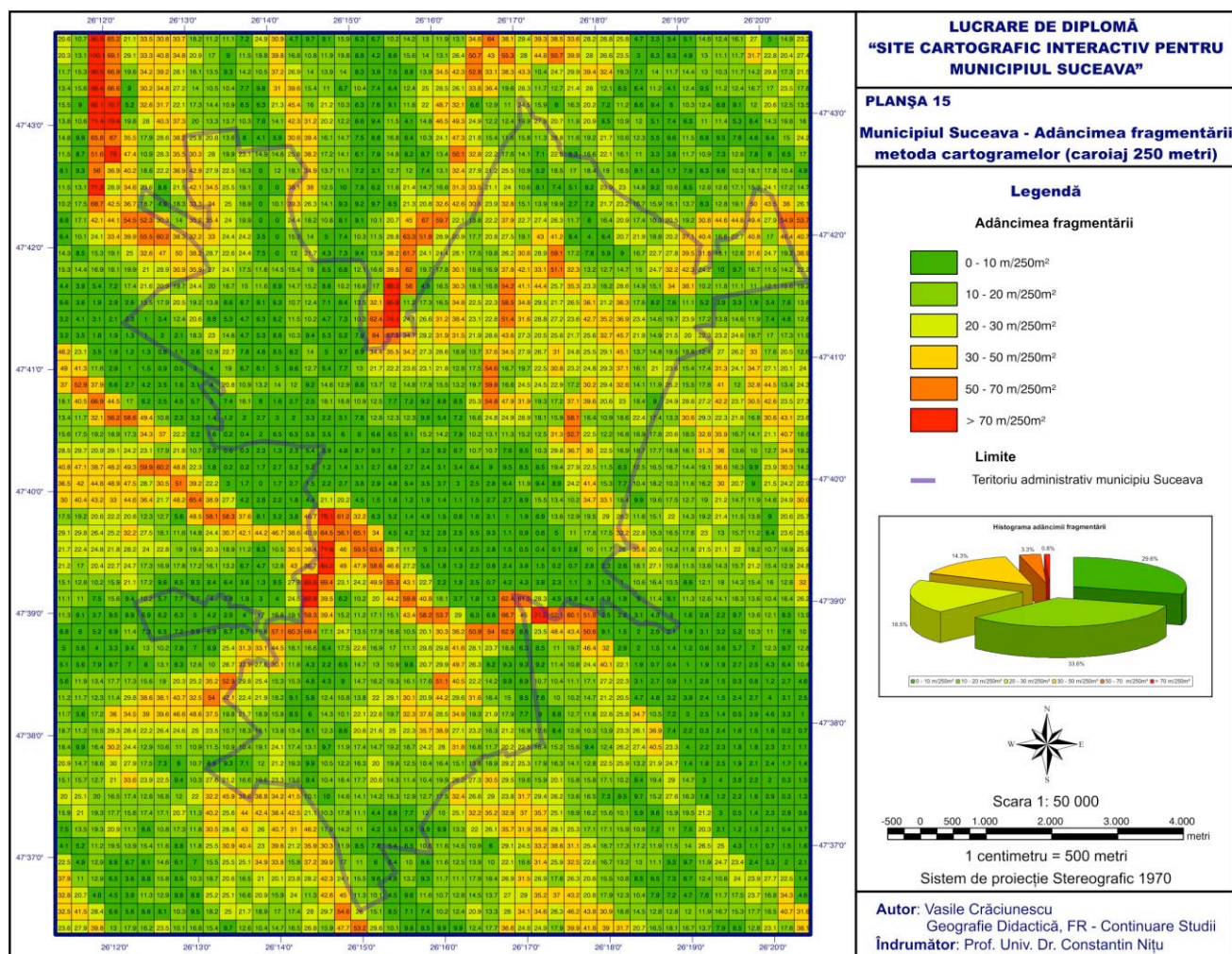


Planșa 13.



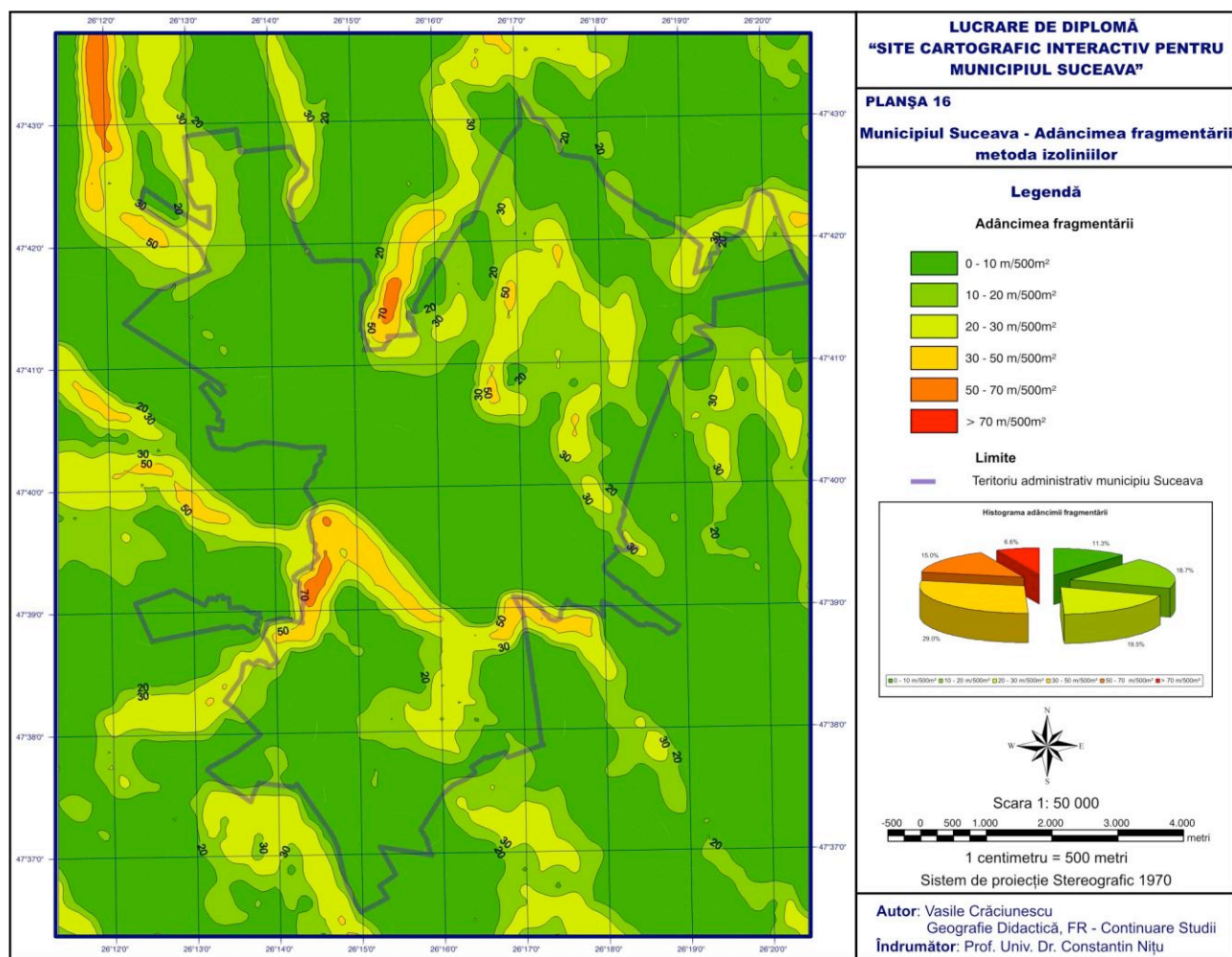


Plansa 14.



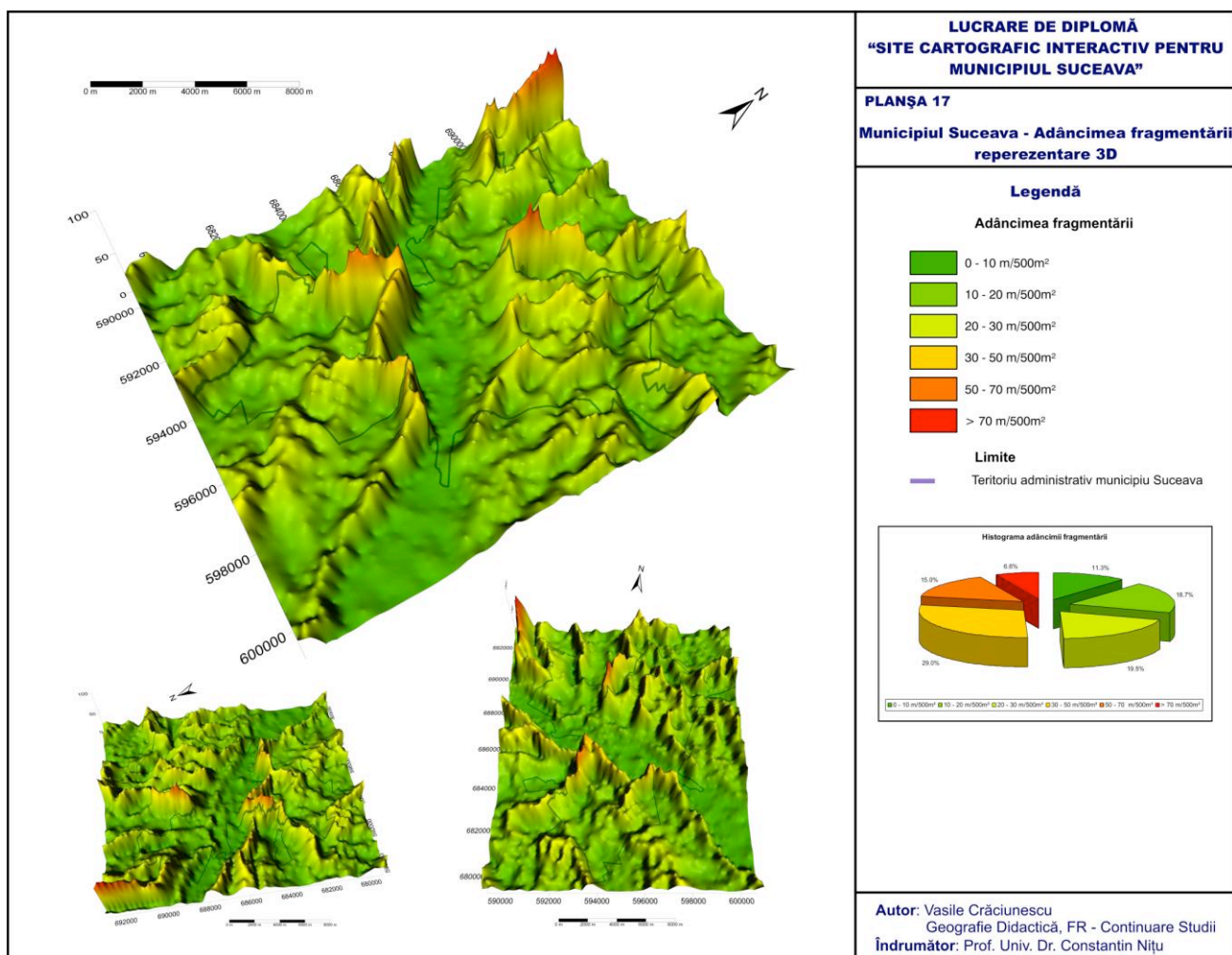
Plansa 15.





Plansa 16.





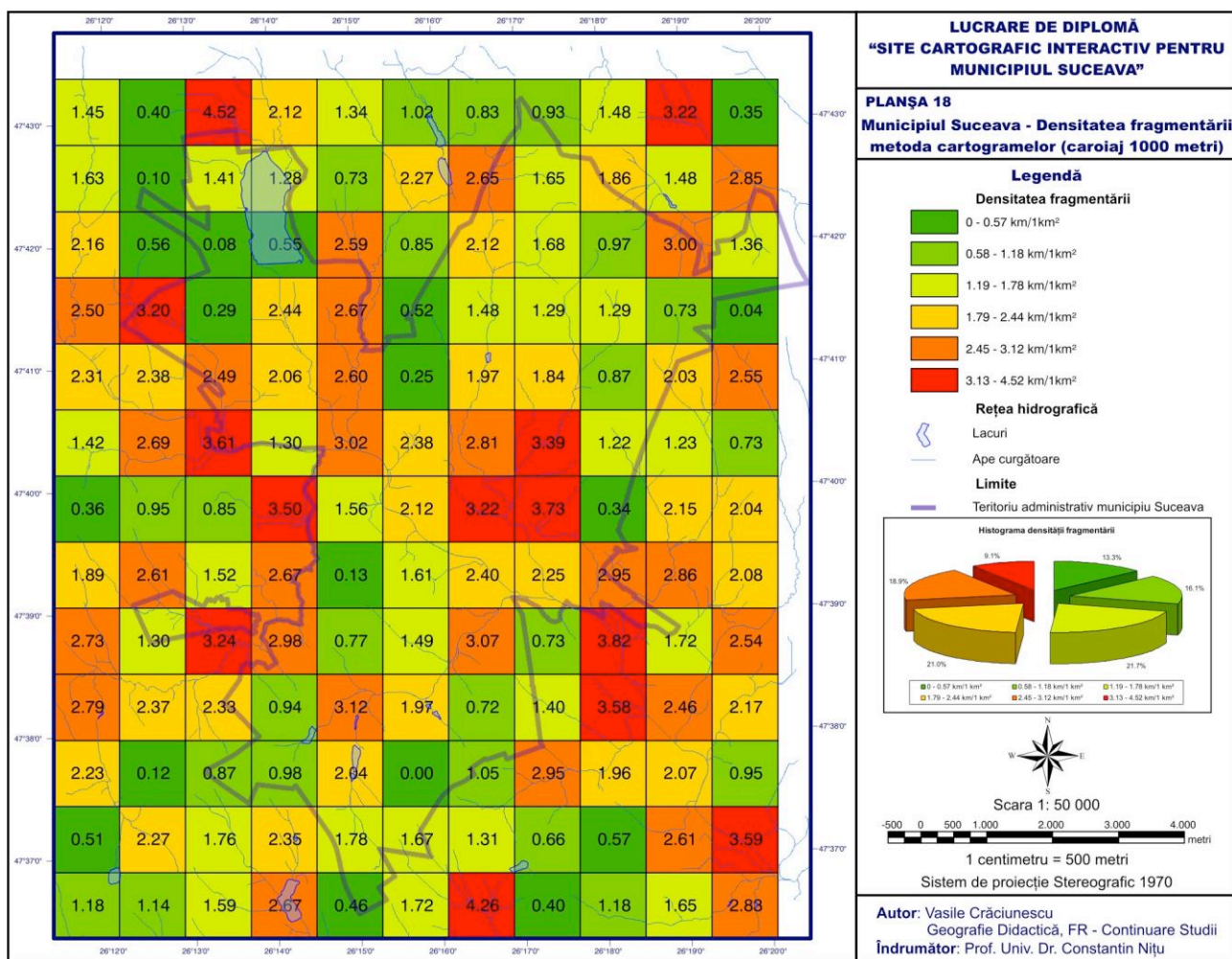
Planșa 17.

### 2.3.3.i. Densitatea fragmentării

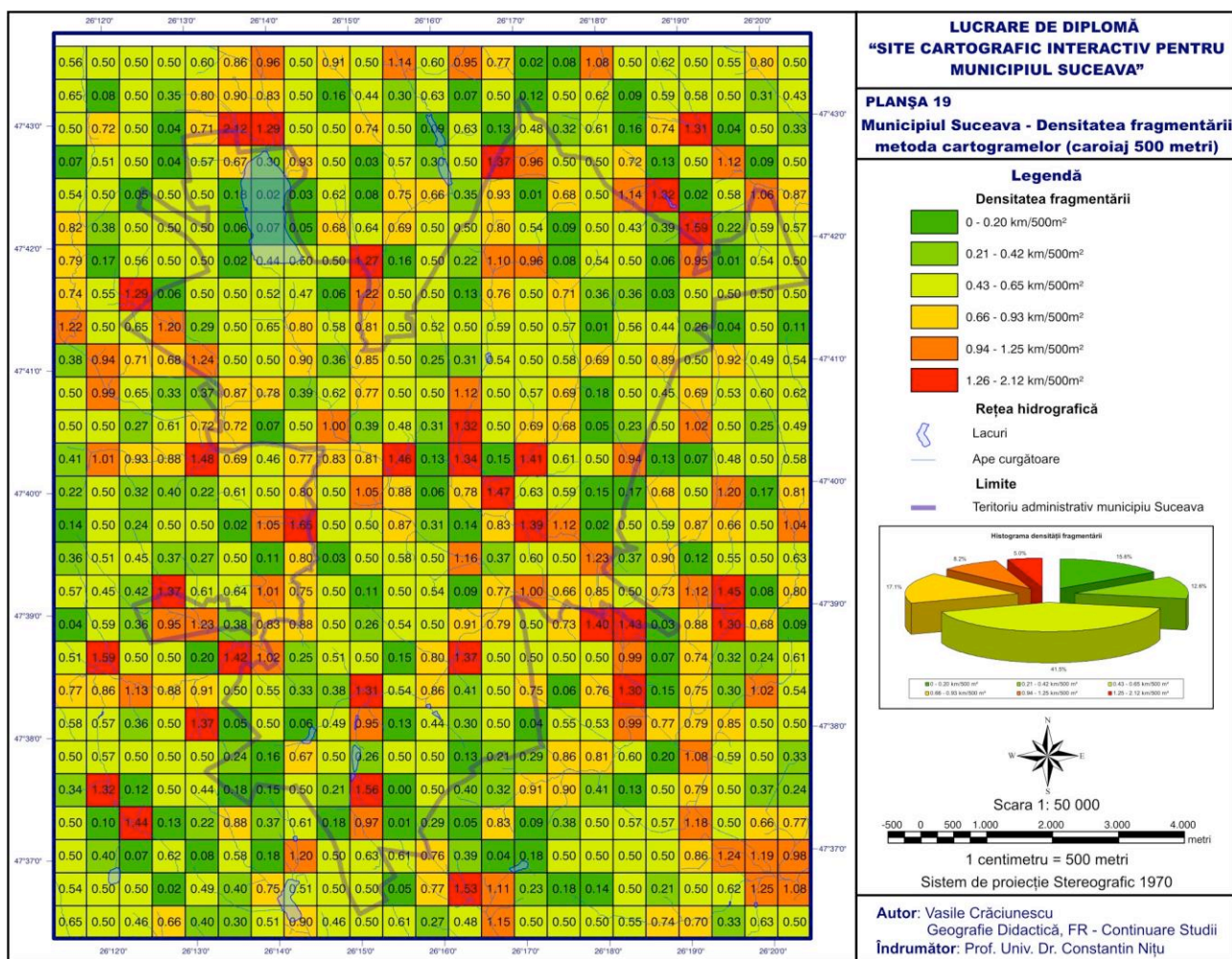
Reprezintă un alt indicator morfometric de bază, cel al lungimii rețelei erozionale raportată la unitatea de suprafață.

Harta densității fragmentării se realizează tot prin cartograme sau izolinii și atribuirea unei anumite scări valorice.

Pentru zona municipiului Suceava, rețeau de văi extrasă prin vectorizarea planurilor topografice a fost completată cu văile extrase în mod automat de pe modelul numeric altimetric al terenului (Planșa 18, Planșa 19, Planșa 20).

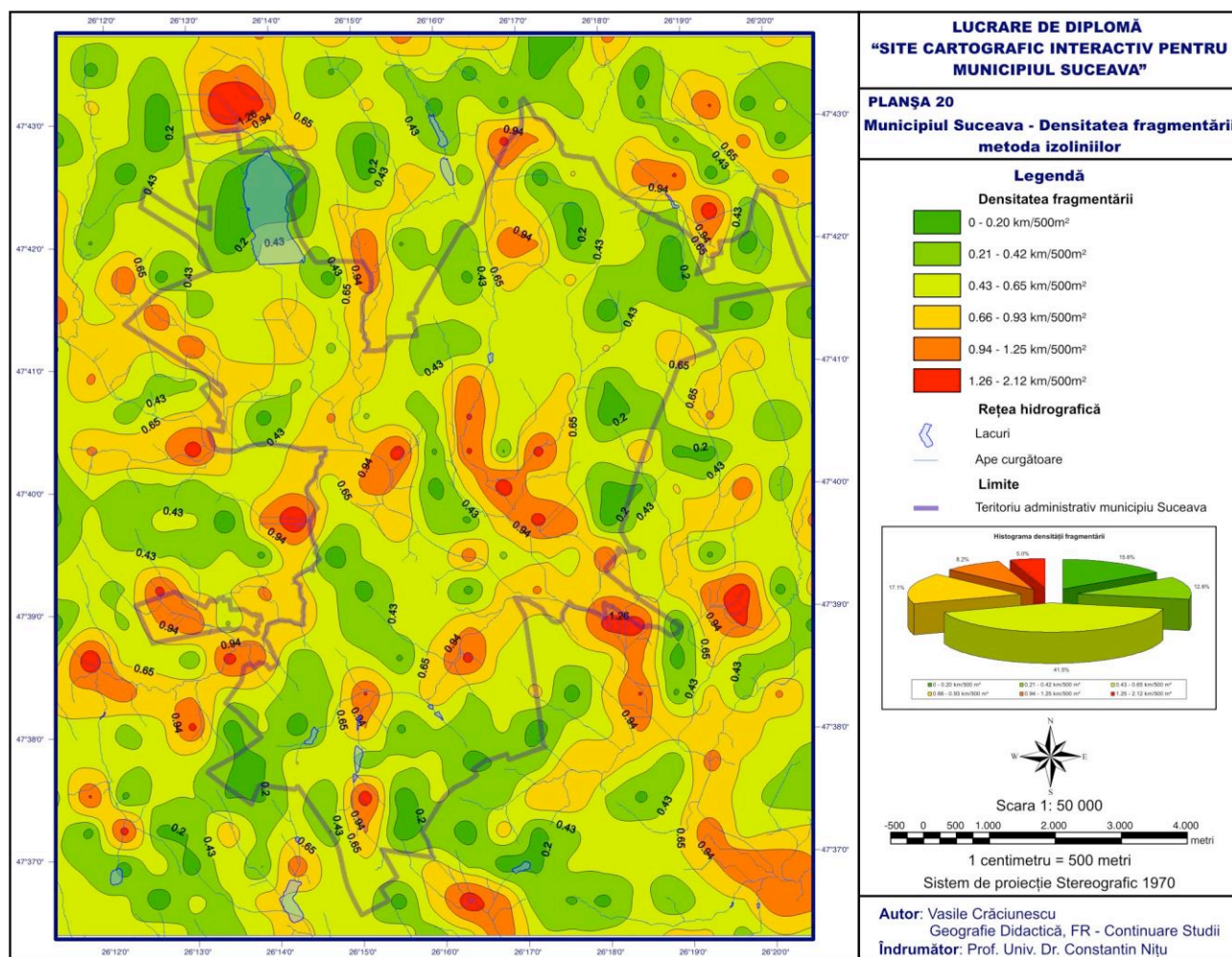


Planșa 18.



Planșa 19.

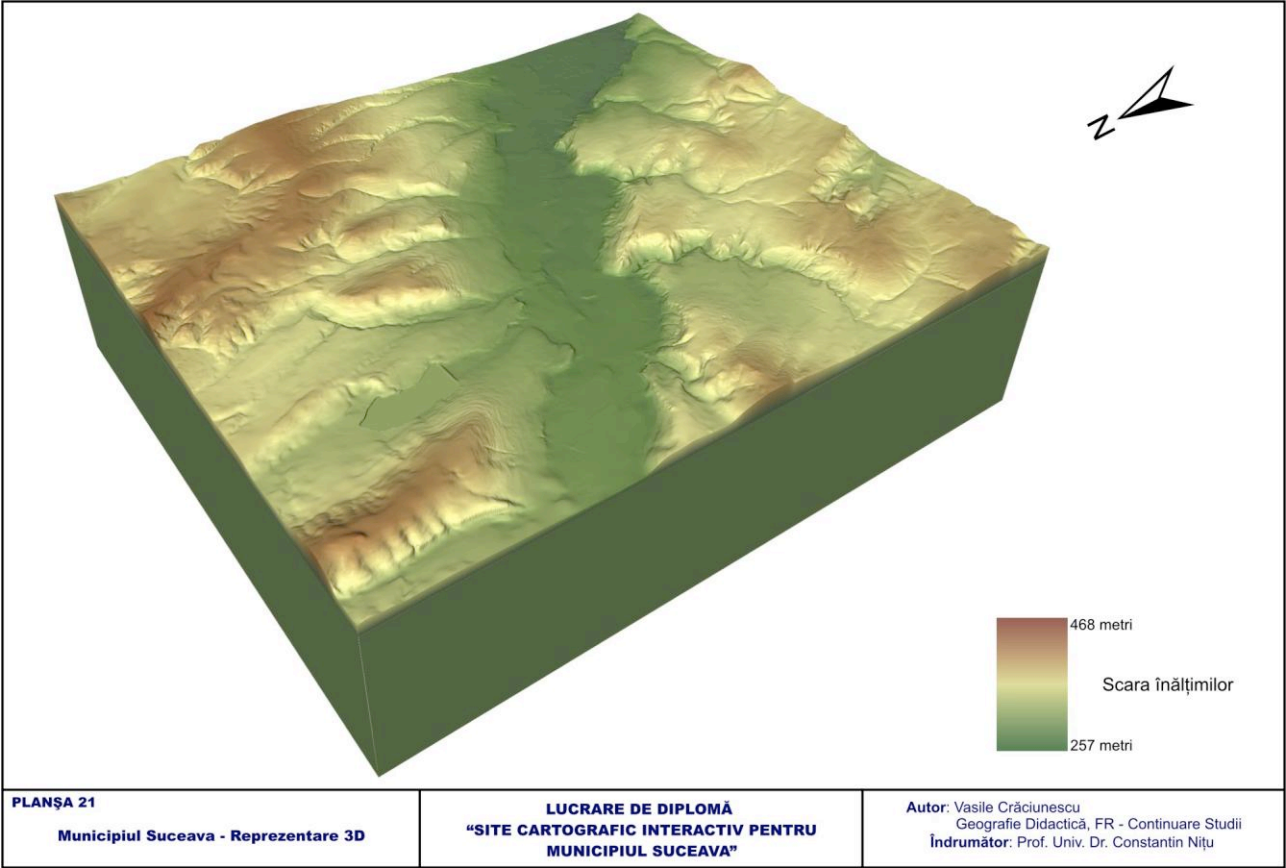




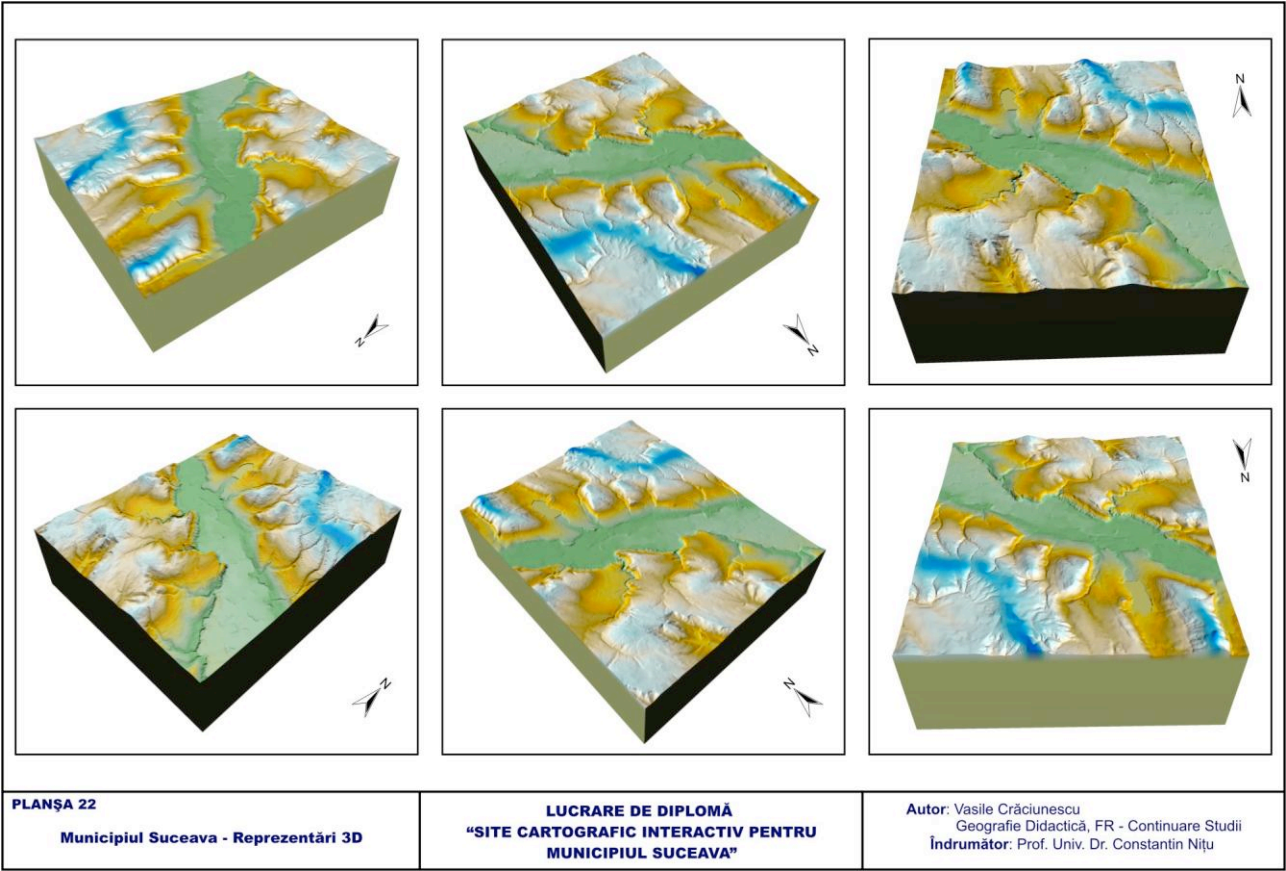
Planșa 20.

## 2.3.4. Vizualizare MNAT

În afară de calcularea și reprezentarea diferiților indici geomorfologici și hidrologici, modelele numerice altimetrice de teren pot fi utilizate în obținerea unor imagini de perspectiva 3D (Planșa 21, Planșa 22, Planșa 23) sau crearea de animații (zboruri virtuale deasupra zonei studiate) care ajută foarte mult la cunoașterea zonei și la formarea unor idei despre procesele ce se pot manifesta aici. Modelul numeric poate fi exportat în formate utilizate în grafica tridimensională și deschise cu aplicații dedicate, în care utilizatorul poate mișca liber modelul într-un spațiu 3D. În acest sens, un format 3D deosebit este VRML (Virtual Reality Modelling Language) care permite publicarea și vizualizarea MNAT-urilor în pagini Web.

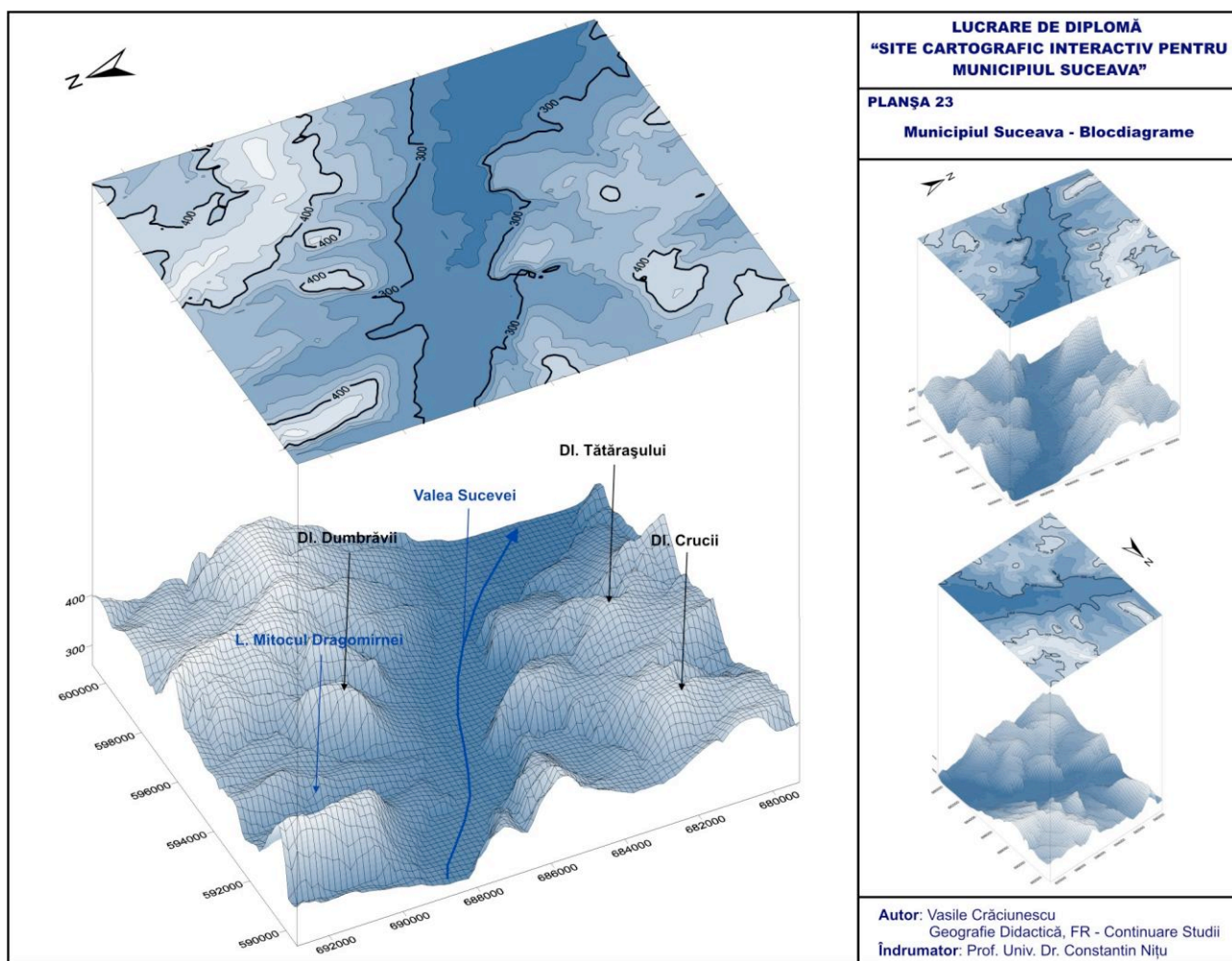


Plansa 21.



Plansa 22.

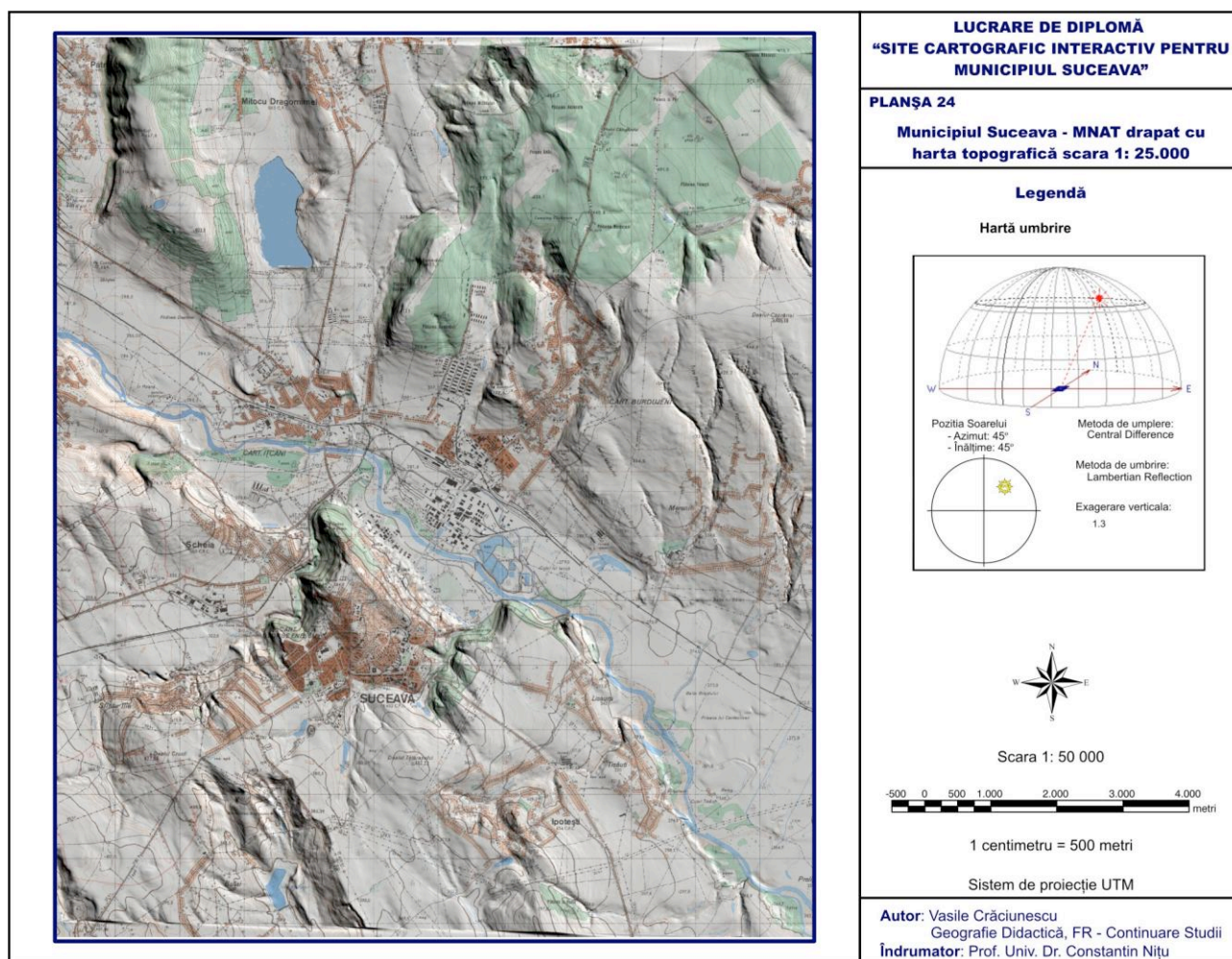




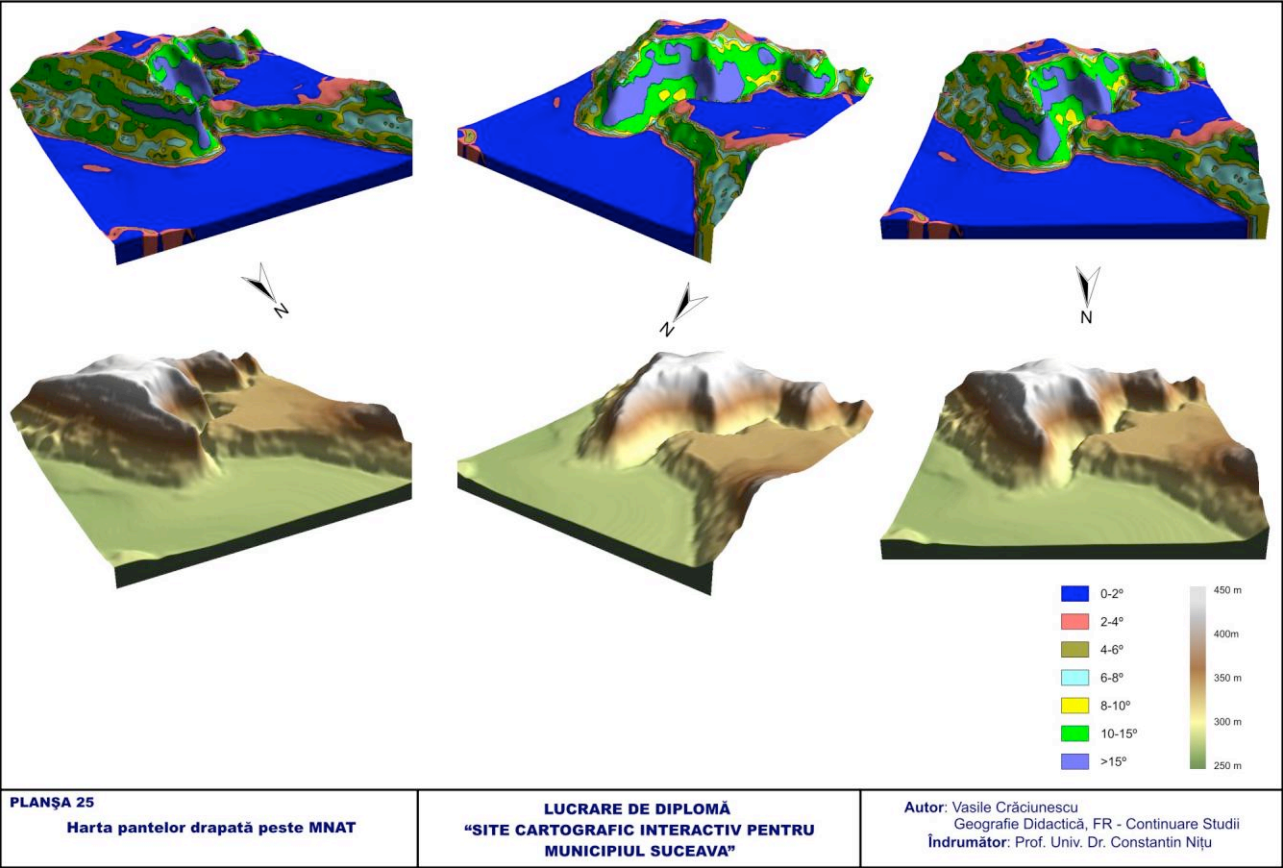
Planșa 23.

Pentru o mai buna orientare, peste modelul numeric al terenului pot fi drapate (overlay) diverse tipuri de hărți (Ex: harta topografică scanată – Planșa 24) sau imagini satelitare și aeriene. Foarte sugestivă este și draparea diversilor indicatori morfometrici, calculați inițial pe baza modelului (Ex: pante – Planșa 25; orientarea versanților – Planșa 26).

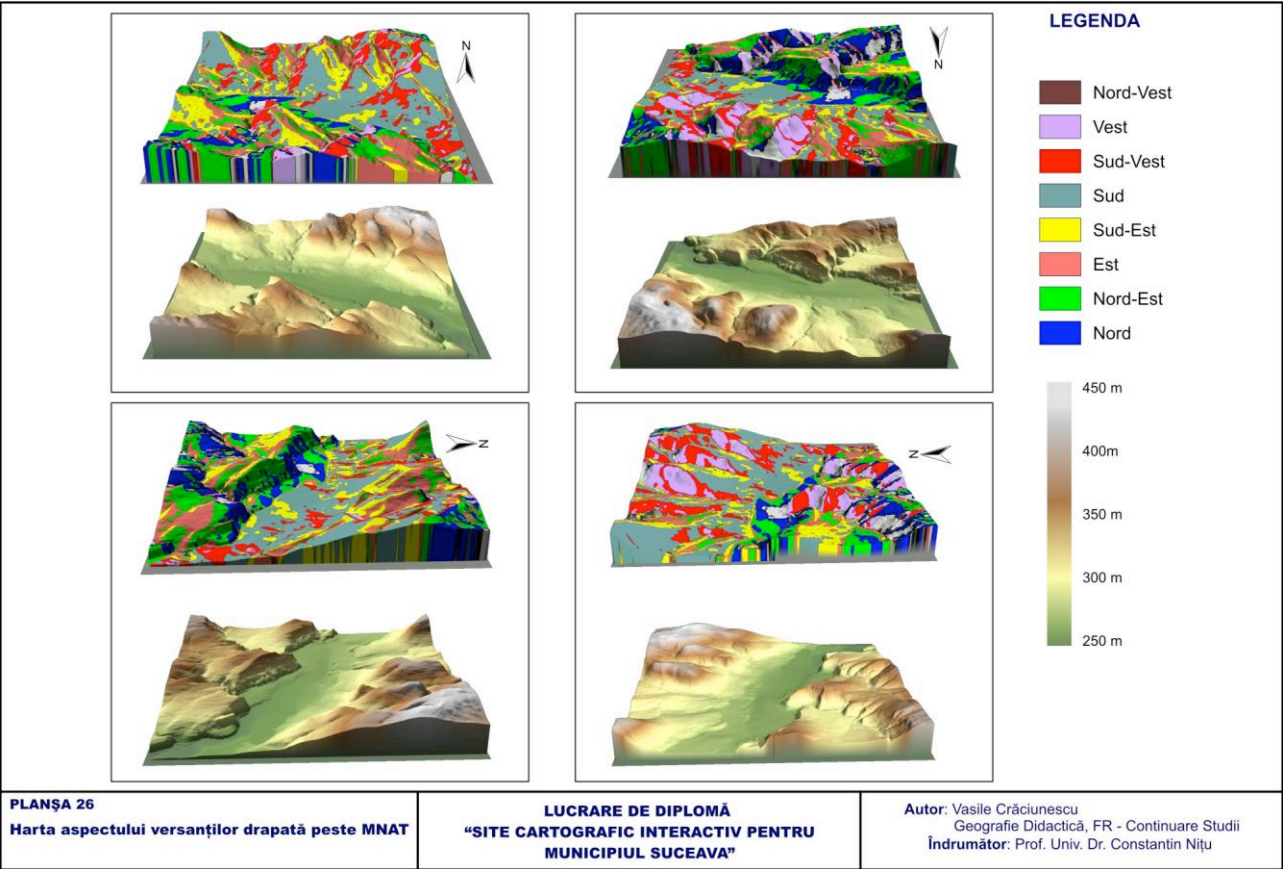




Planșa 24.



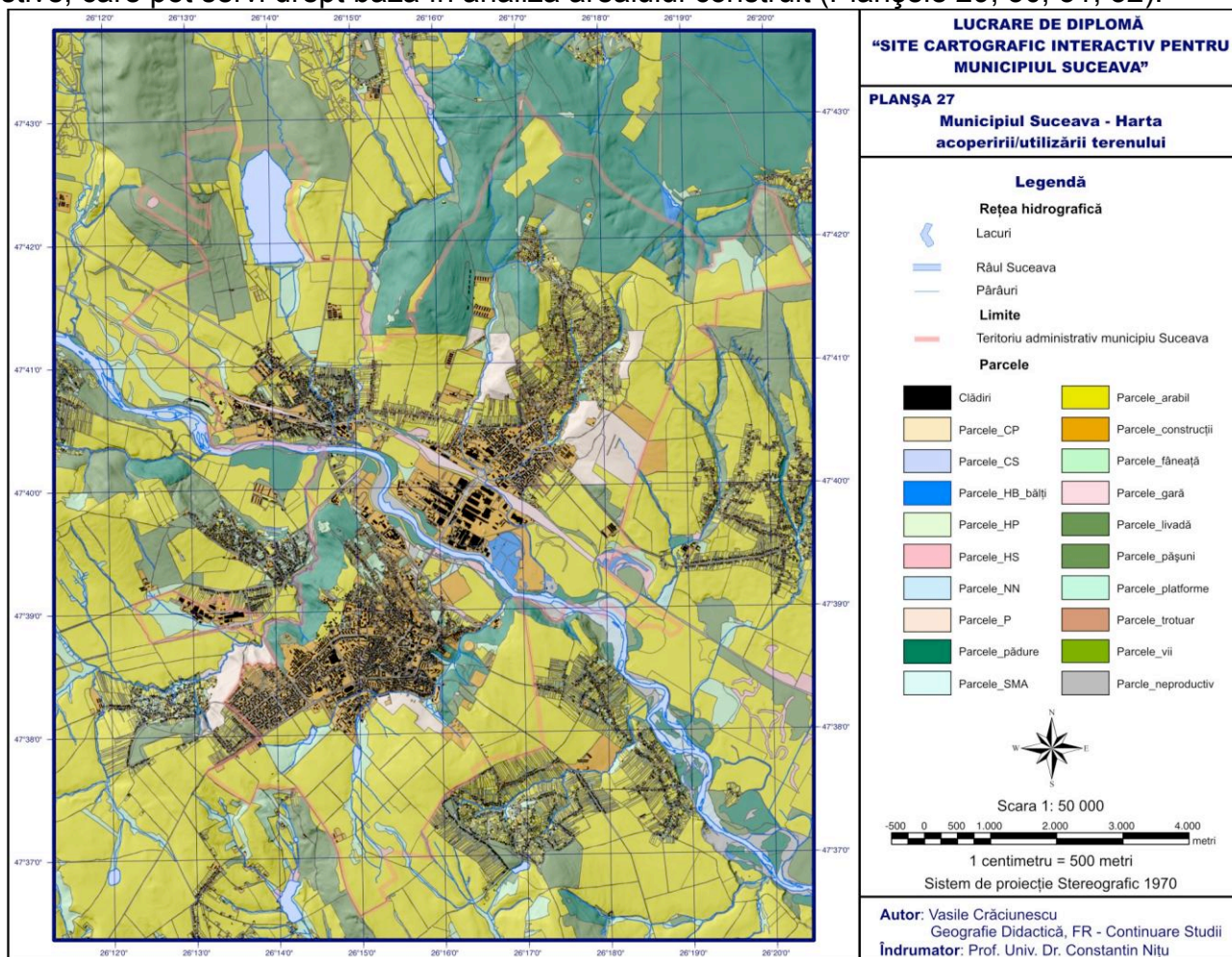
Plansa 25.



Plansa 26.

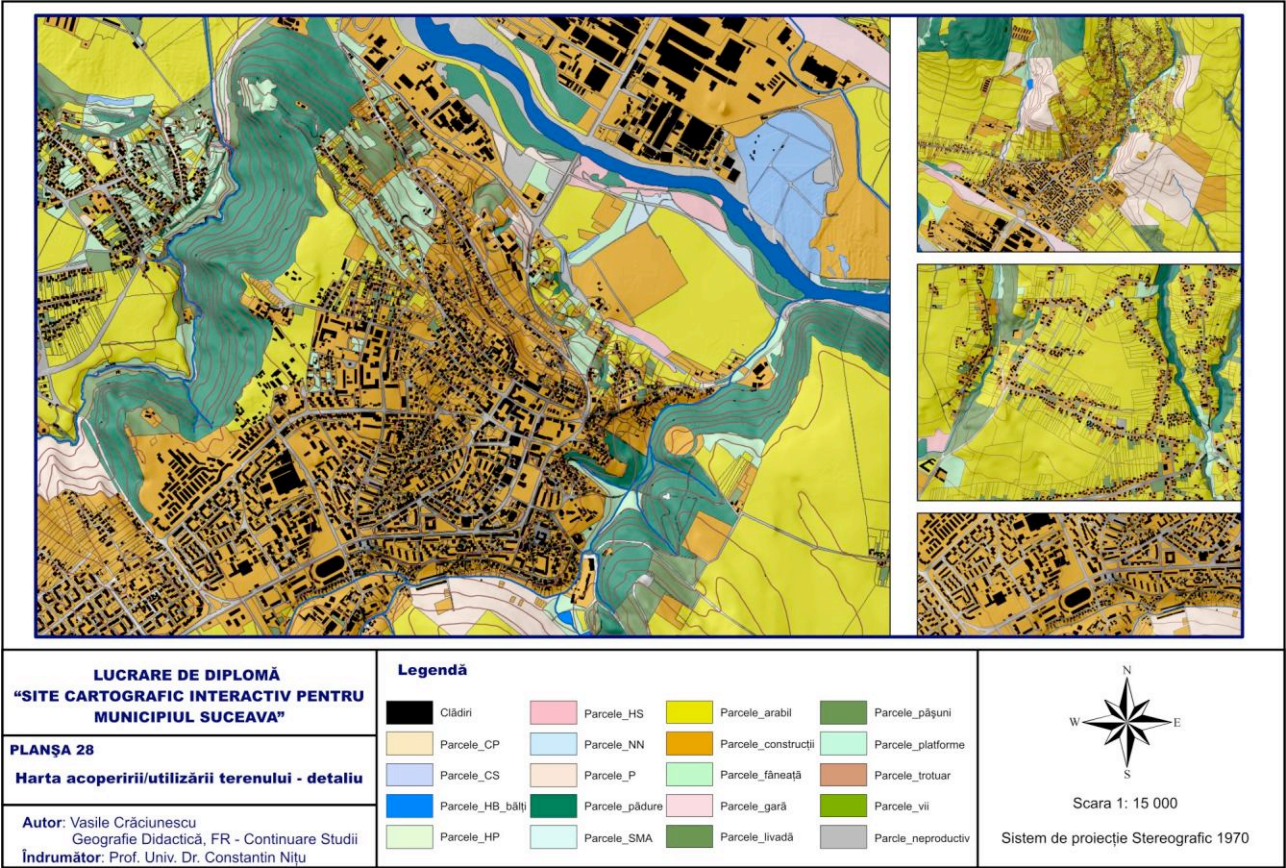


Pentru o buna evaluare a spațiului natural și a celui construit, pentru zona municipiului Suceava, au fost vectorizate de pe planuri și informațiile legate de modul de acoperire/utilizare a terenului (Planșa 27, Planșa 28) precum și amprenta structurilor construite. Deoarece în tabelul asociat stratului tematic cu cladiri au fost introduse și date referitoare la înălțimea acestora s-au putut construi reprezentări grafice deosebit se sugestive, care pot servi drept bază în analiza arealului construit (Planșele 29, 30, 31, 32).

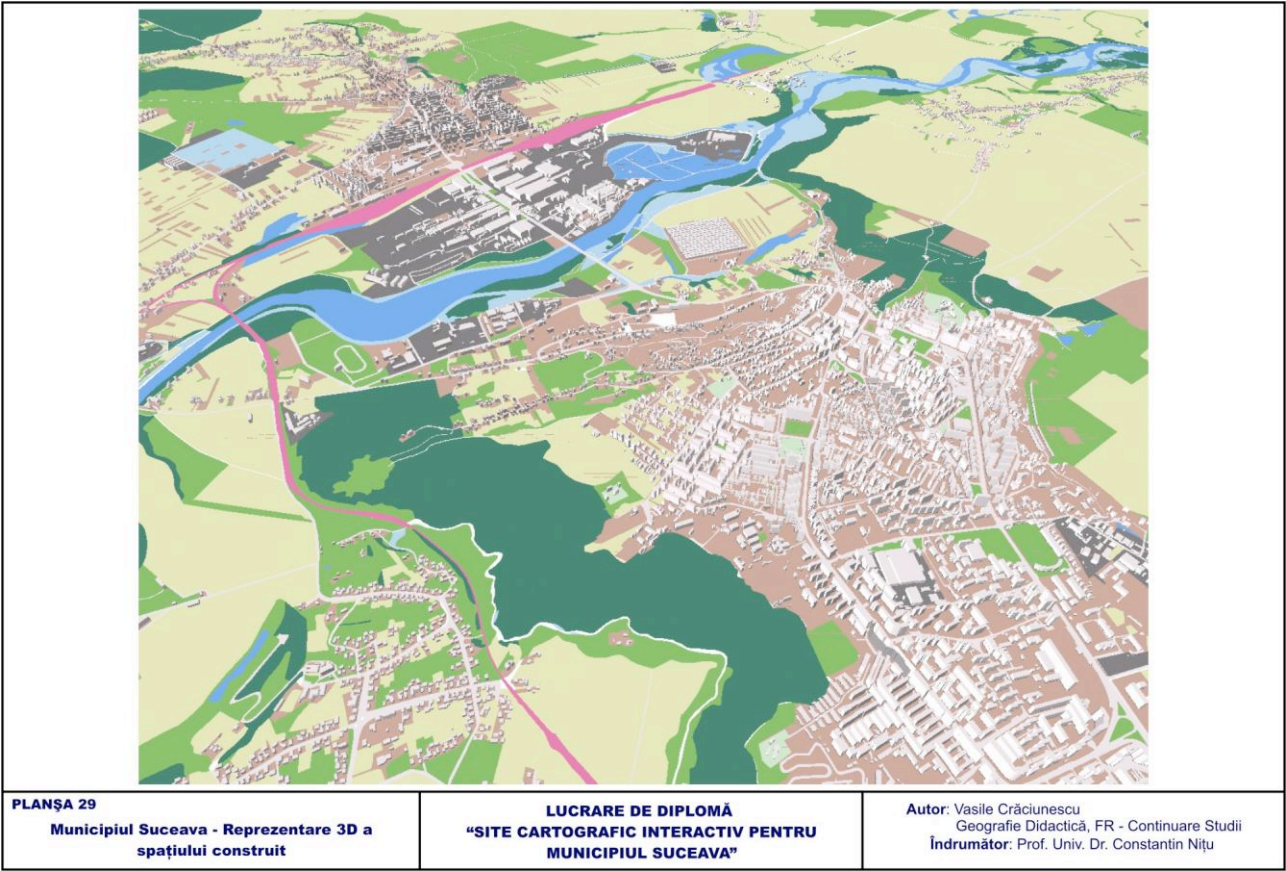


Planșa 27.



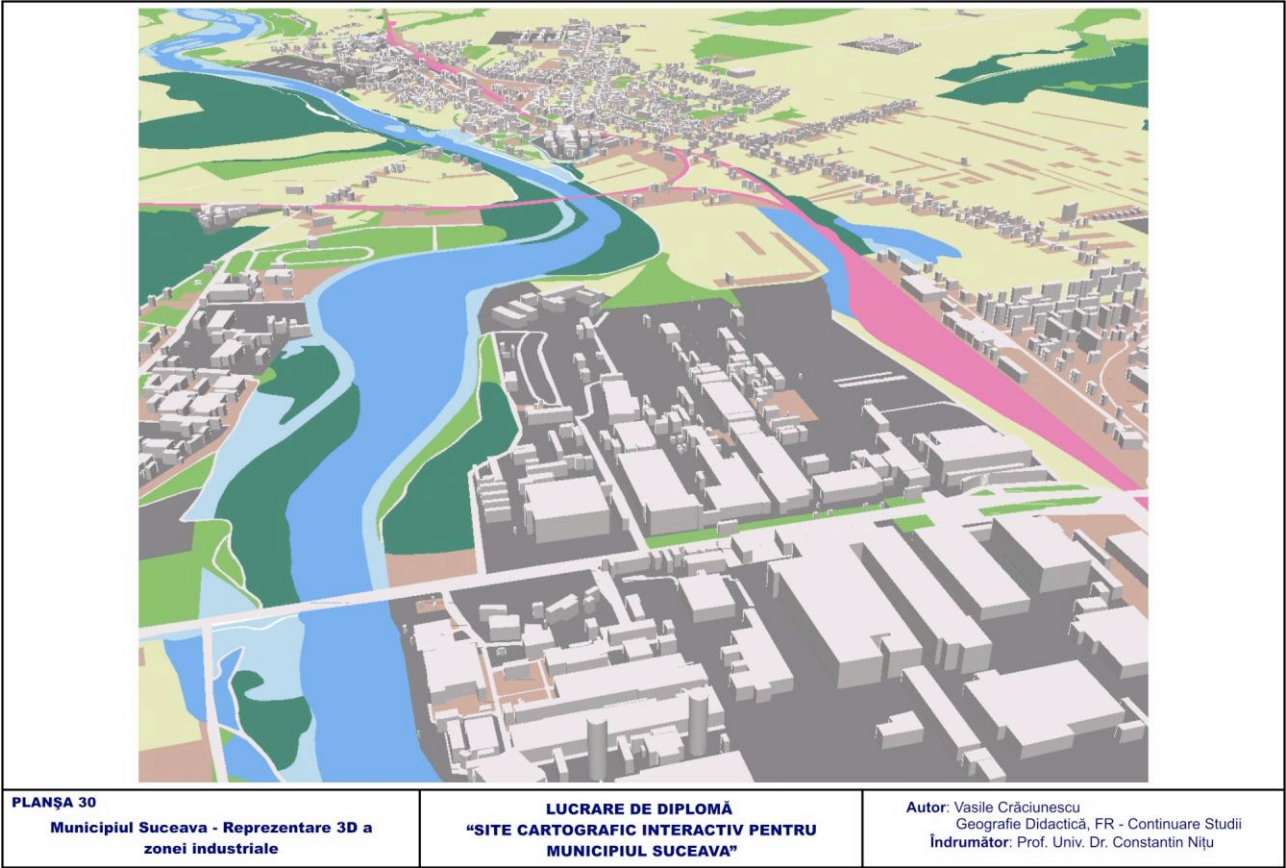


Plansa 28.

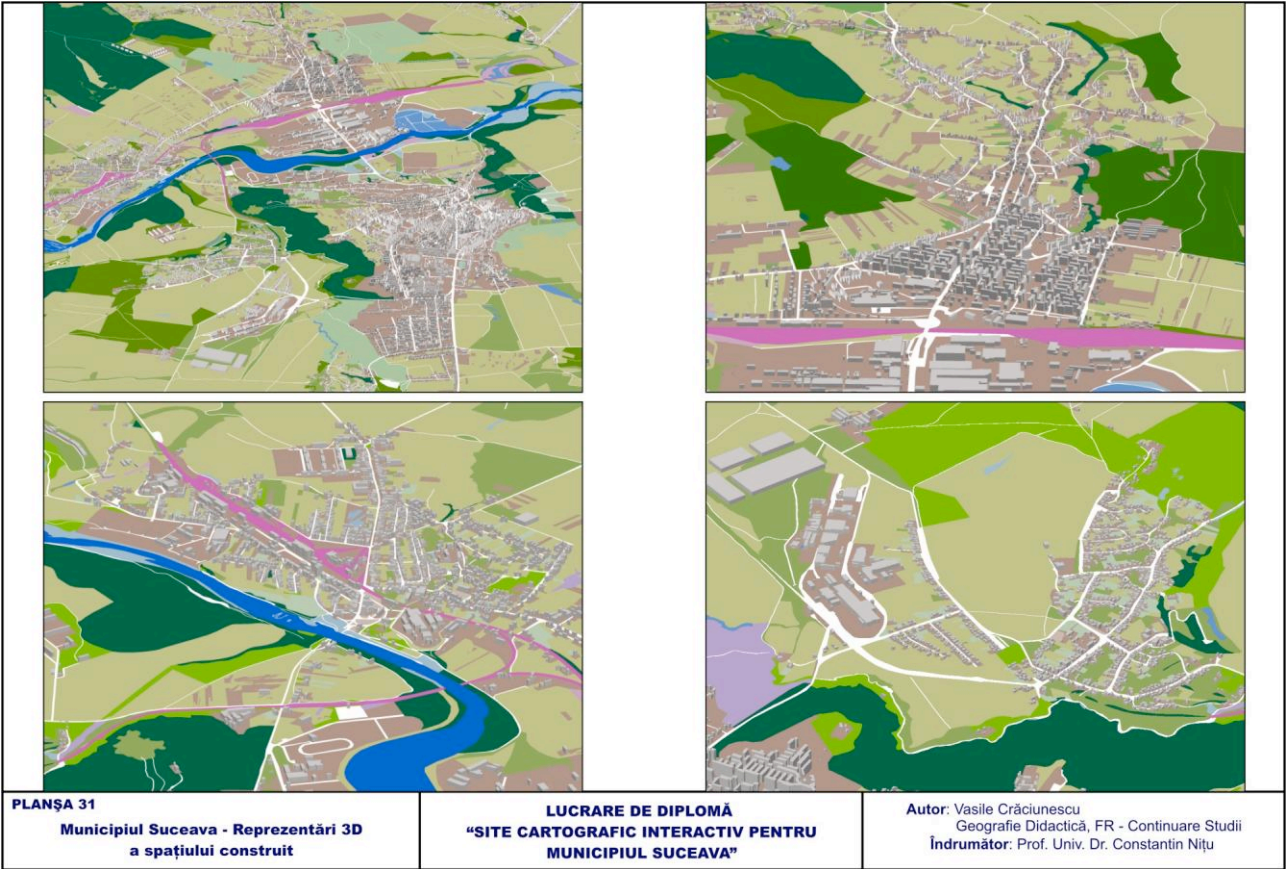


Plansa 29.

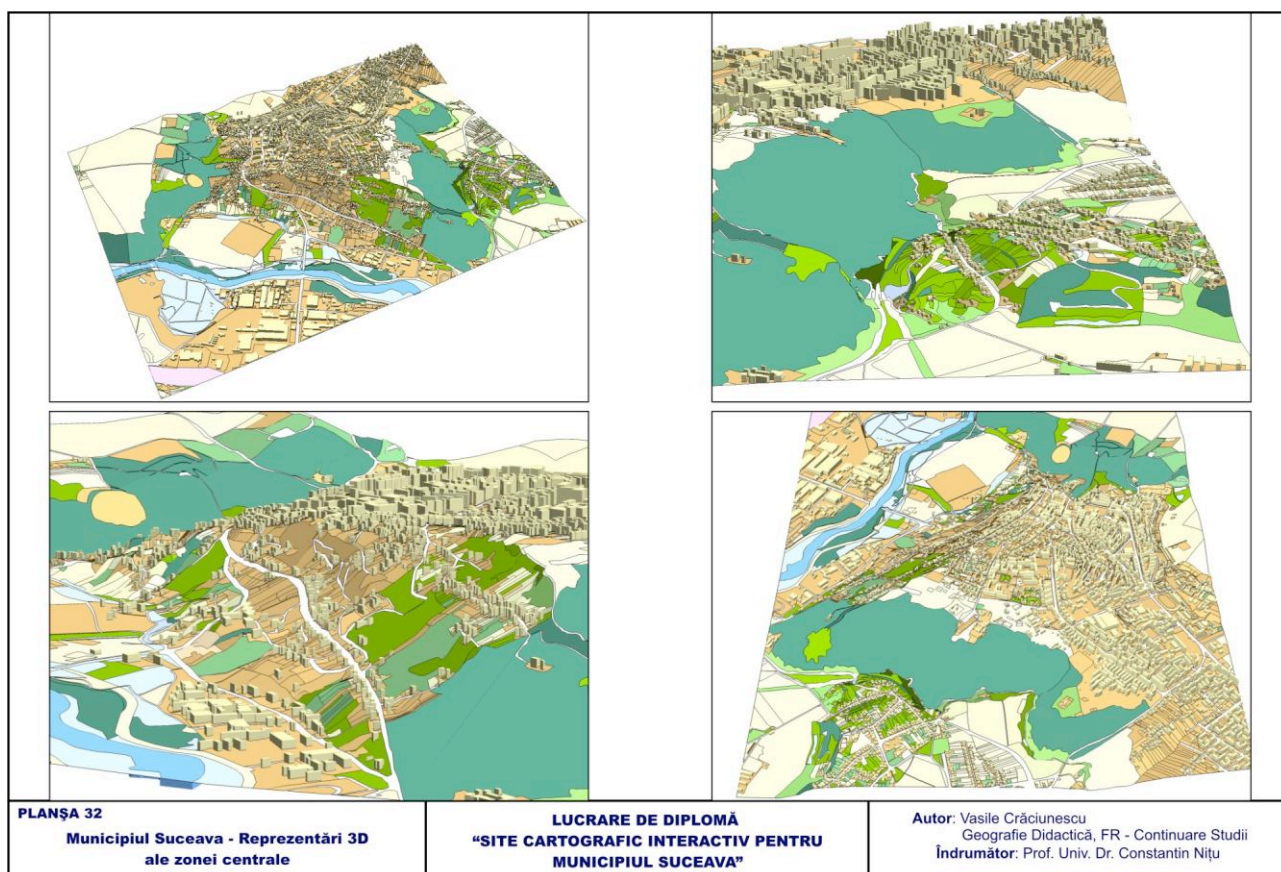




Plansa 30.



Plansa 31.



Plansa 32

## 2.4. Apele

### 2.4.1. Apele subterane

Cele mai vechi depozite sunt de vârstă cretacică, reprezentate prin calcare marnoase și grezoase, dispuse pe gresii și nisipuri. Sunt mineralizate (peste 3g/l) și au o temperatură de cca. 17°C (în Zona Horodnic-Rădăuți la adâncimi de peste 1000m). În orașul Suceava apele subterane captate în cursul lucrărilor la fundații și consolidări au debite cuprinse între 0,04 și 0,8 l/s fiind de origine sarmatică, ușor mineralizate datorită dizolvării sărurilor reziduale. Debite importante se obțin și din aluviunile râului Suceava. S-au obținut 1 – 15 l/sec la denivelări de 0,35-2,5m; pentru fronturile de captare din lunca Sucevei se menționează debite de 50 l/sec la Mihoveni și 16 l/sec la Burdujeni.

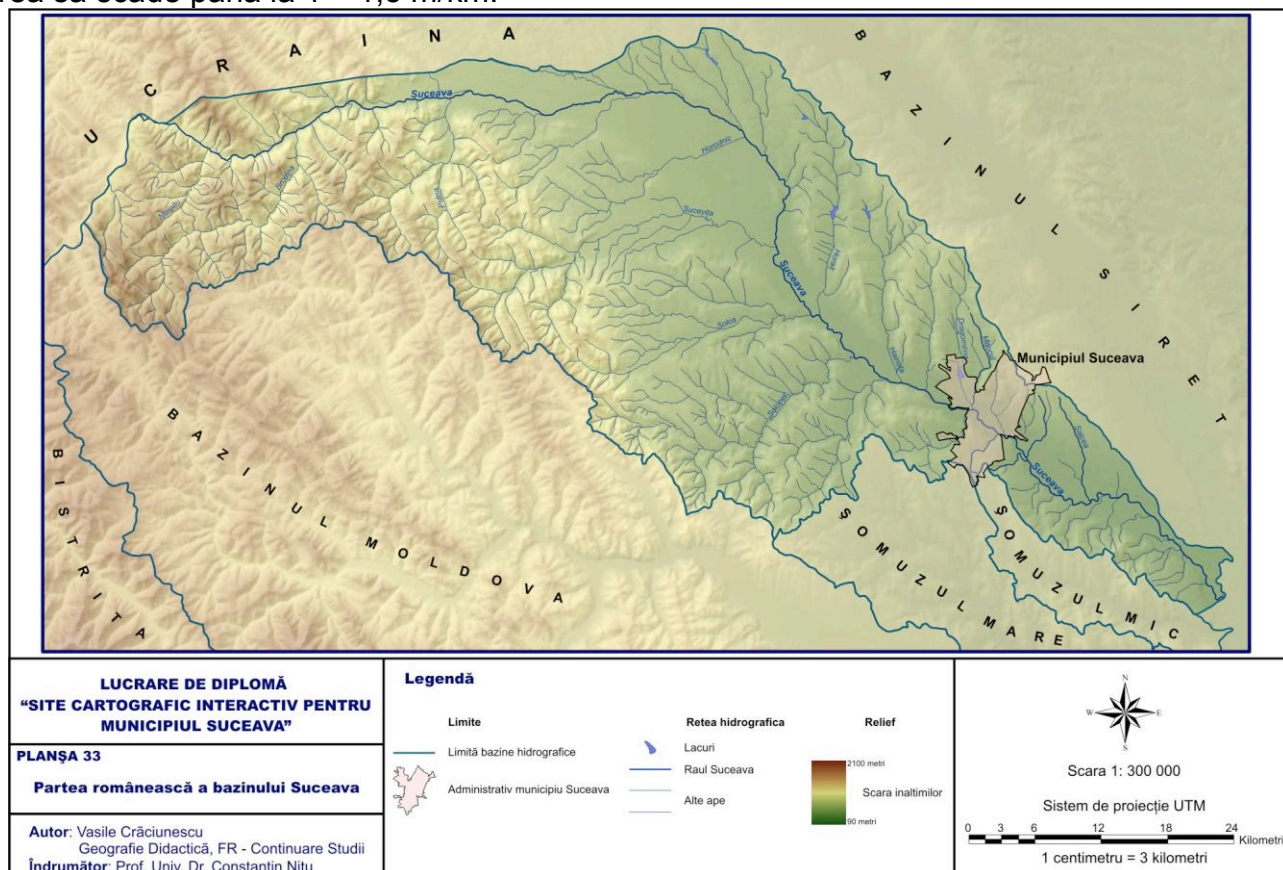
Alimentarea cu apă a municipiului Suceava a fost studiată de Gheorghe P. Constantinescu. În urmă cu 20 de ani orașul se alimenta cu apă din vechea captare Thiem, din apropierea acestuia și din captarea Mihoveni. Ulterior s-au construit cea de la Berchișești, pe valea Moldovei și cea de la Lipoveni. În sectorul amonte de Baia, pe partea stângă aluviunile au grosimi de 1 – 10 m, fiind acoperite de un complex prăfos care lipsește în zona de luncă. Nivelul piezometric se află la adâncimi de 1 – 4 m, debitele pompate au avut valori de 10 – 17 l/sec, la denivelări de 0,6 – 2 m; cu duritate totală între 8 – 14 grade germane iar reziduul fix 270 – 540 mg/l. Între Păltinoasa și Baia au fost studiate ambele maluri; grosimea aluviunilor este între 5 – 15 m; debitele pompate au fost de 8 – 12 l/sec la denivelări de 1 – 3 metri; duritatea totală este între 8 – 10 grade germane iar reziduul fix are



valori de 185 – 230 mg/l. Frontul de captare s-a studiat pe malul stâng al văii Moldovei, între Capul Codrului și Brăiești, forajele de exploatare debitând maxim 10 l/sec iar la Gura Humorului 7 l/sec. În zona Berchișești, aluviunile se găsesc între 7 și 14 metri adâncime, iar depozitele terasei inferioare la 22m. Debitul obținut sunt cuprinse între 2,5 - 4,5 l/sec pentru denivelări de 0,4 – 5 m. Hidrochimic apele sunt în general potabile, cu mineralizare sub 1 g/l de tip bicarbonatato – calcic și bicarbonatato – calcic – magnezian.

### 2.4.2. Apele de suprafață

Cursul de apă principal este râul Suceava ( $S = 2\,616\text{ km}^2$ ;  $L = 172,3\text{ km}$ ) Acesta își are izvoarele în zona flișului paleogen din nordul Carpaților Orientali, în regiunea Obcinilor bucovinene (Planșa 33, Planșa 34). Străbătând în avale până la vărsare șirul depresiunilor de contact și Podișul Sucevei, în cursul râului se distinge bine sectorul montan de contact cu pante medii în jur de 16 m/km, sectorul depresiunilor submontane cu intense colmatări și divagări, despletiri de cursuri, și sectorul de podiș cu un curs mai stabil, mai liniștit, unde căderea sa scade până la 1 – 1,5 m/km.

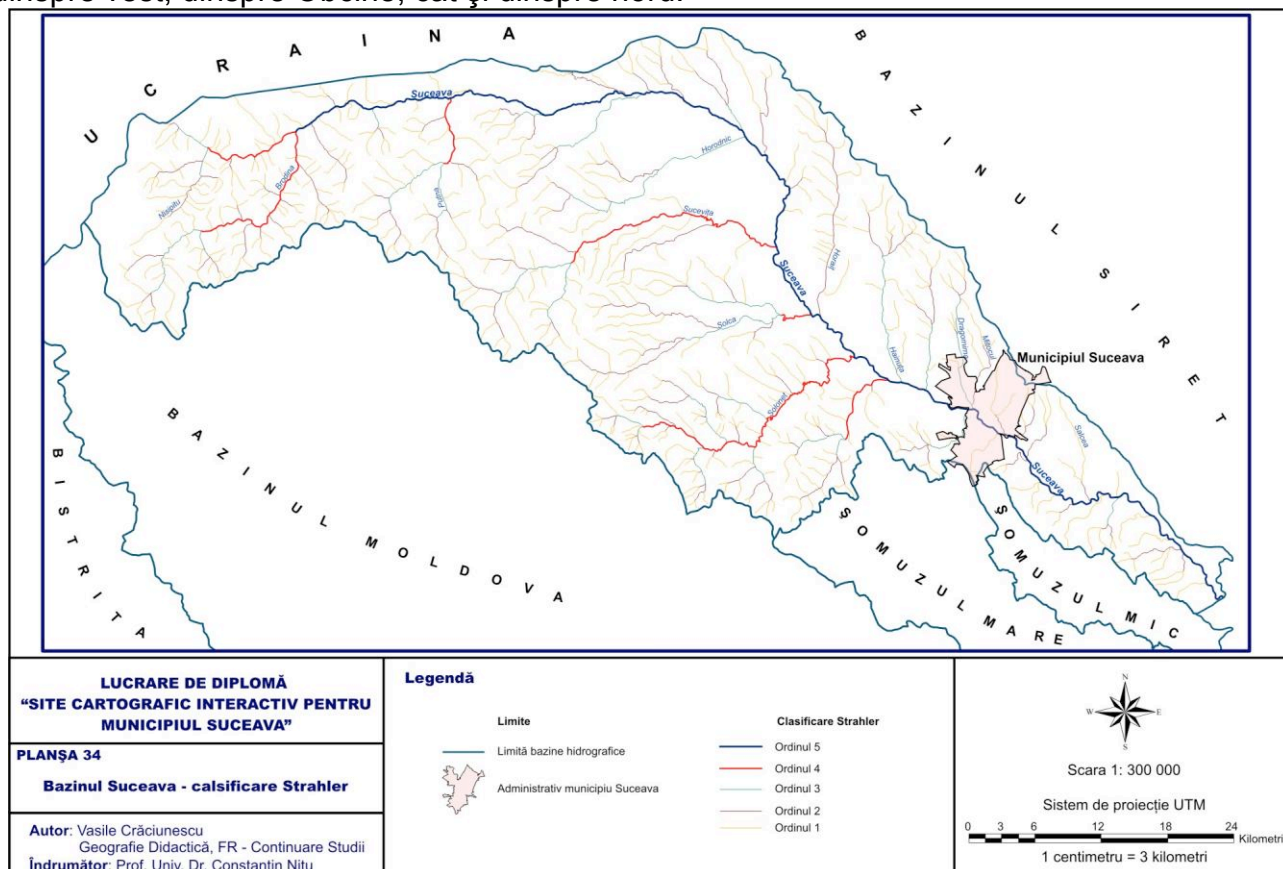


Planșa 33.

Obârșia Sucevei se află la sud de satul Izvoarele Sucevei, în apropierea izvoarelor Moldovei, la 1250 m altitudine. Versantul său vestic este dominat de masivul Tomnatecului (1567 m), dinspre care primește trei pâraie mai însemnate: Alunișul, Izvorul și V. Cobelor, ultimul vărsându-se în Suceava pe teritoriul republicii Ucraina la Șepot. Între această localitate și Ulma, Suceava formează granița cu Ucraina pe o distanță de 21 km. Zona montană este părăsită de către râu la Falcău.

În regiunea Obcinilor, care au o structură tectonică foarte variată, râul și-a format o serie de depresiuni de eroziune favorabile așezărilor omenești. În cadrul acestora se găsesc satele Izvoarele Sucevei, Bobeica, Straja, Ulma și Brodina, dinspre care se

deschide deja perspectiva golfului erozional al râului spre est, spre zona depresiunilor de contact. Munții sunt alcătuiți în acest sector din depozite eocene în axele anticlinale (sedimente calcaroase cu marne) și oligocene (în sinclinale cu conglomerate, gresii micacee de tip flișoid etc.) ceea ce favorizează eroziunea diferențială și acumularea apelor freatice în condiții foarte variate. Ele se întâlnesc în cantități mari, mai ales în formațiunile aluvionare din avale de Vicovul de Jos, unde începe depresiunea aluvială largă a Rădăuților, care de altfel este și un nod hidrografic de seamă. În ea se adună afluenți veniți atât dinspre vest, dinspre Obcine, cât și dinspre nord.



Plansa 34.

În sectorul montan și cel depresionar de contact, Suceava primește un număr mare de afluenți, care-i îmbogățesc în cea mai mare parte scurgerea.

Dintre afluenții pe care-i primește din stânga, cu izvoarele pe teritoriul republicii Ucraina se remarcă Șepotul, Seleatinul, Ruskaia, Sadăul, Laura, Sicova, Bâlca Mare ( $S = 94 \text{ km}^2$ ;  $L = 35 \text{ km}$ ), Petrimiasa, Tărnăvuca, Rusului și Ruda, care la un loc drenează dinspre Ucraina o suprafață totală de circa 340 km.

Afluenții care vin din dreapta, dinspre Obcina Feredeului și Obcina Mare, au văi adânci, cu lunci destul de bine dezvoltate în lungul cursurilor mai mari. Între aceștia se remarcă Pogonișoara, Nisipitu ( $S = 45 \text{ km}^2$ ;  $L = 12 \text{ km}$ ), Brodina ( $S = 156 \text{ km}^2$ ;  $L = 28 \text{ km}$ ), Ascunsul, V. Boului, Putna ( $S = 132 \text{ km}^2$ ;  $L = 19 \text{ km}$ ), Remezelul, Voitinul sau Pietroasa ( $S = 32 \text{ km}^2$ ;  $L = 16 \text{ km}$ ), Pozenul ( $S = 148 \text{ km}^2$ ;  $L = 28 \text{ km}$ ), care are o ramificație spre pârâul Toplița care drenează apele reziduale ale municipiului Rădăuți, Sucevița ( $S = 199 \text{ km}^2$ ;  $L = 36 \text{ km}$ ), cu afluenții săi Rusca, Drăgoșina, Bercheza, Voevodeasa, Soarecul și Volovățul, Solca ( $S = 166 \text{ km}^2$ ;  $L = 27 \text{ km}$ ), care trece prin depresiunea marginală de la Solca, Solonețul ( $S = 217 \text{ km}^2$ ;  $L = 31 \text{ km}$ ), care traversează depresiunea Cacica, ambele cu iviri de izvoare sărate pe linie diapirică și două pâraie mici de podiș, Ilișeștii ( $S = 82 \text{ km}^2$ ;  $L = 18 \text{ km}$ ) și Șcheia care se varsă în colectorul principal chiar pe teritoriul administrativ al municipiului Suceava.

Dintre râurile de podiș primite de Suceava din partea stângă se remarcă Horaițul ( $S = 76 \text{ km}^2$ ;  $L = 22 \text{ km}$ ), Hătnuța sau Haina ( $S = 71 \text{ km}^2$ ;  $L = 19 \text{ km}$ ), Pătrăuțeanca ( $S = 33 \text{ km}^2$ ;  $L = 14 \text{ km}$ ), Dragomirna ( $S = 50 \text{ km}^2$ ;  $L = 15 \text{ km}$ ), Plopenilor și Salcea.

Între confluența Sucevei și Moldovei, în Siret se mai varsă câteva pâraie importante din dreapta, cum sunt Șomuzu Mic și Șomuzul Mare.

### **2.4.3. Analiza parametrilor hidrologici pe baza MNAT-ului**

#### **2.4.3.a. Introducere**

Suprafața topografică are un impact major asupra modului în care se desfășoară și evoluează în timp procesele hidrologice, iar modelelor numerice altimetrice ale terenului reprezintă o bază extrem de utilă în analiză spațială a acestora.

Astfel este posibilă extragerea și clasificarea automată a rețelei hidrografice, delimitarea automată sau interactivă a bazinelor hidrografice precum și calculul unor indici asociați (Ex: capacitatea de transport a sedimentelor, indicele convergență – divergență, panta medie a bazinelor, altitudinea medie a bazinelor, potențialul de infiltrare a apei etc.).

#### **2.4.3.b. Preprocesarea MNAT-urilor în vederea analizei hidrologice**

Valorile obținute pentru diverșii indicatori care influențează caracteristicile regimul de scurgere sunt strâns legate de rezoluția spațială și precizia modelului numeric altimetric utilizat. Erorile introduse în etapele de creare a modelului și nedepistate la simpla vizualizare a acestuia pot conduce la obținerea unor rezultate nesatisfăcătoare. Alte probleme pot apărea în zonele cu energie mică de relief, unde algoritmii de interpolare tind să inducă în model numeroase erori pe verticală (de cele mai multe ori minore), dificil de depistat, dar care influențează în mod negativ rezultatele analizei.

La erorile cauzate de modul de generare a modelelor se adaugă cele induse de scalarea (discredizarea) datelor. Astfel în procesul de reprezentare a suprafeței reale, topografice, prin intermediul modelului numeric altimetric de teren se stabilește o corespondență fixă între dimensiunea unei celule a modelului și suprafața reală. Practic, unui pixel de pe ecran îi corespunde o anumită suprafață din realitate. Valoarea asignată de regulă pixelului respectiv reprezintă o medie a valorilor altimetrice de pe suprafața reală de teren. În acest fel are loc o uniformizare a reliefului, iar entitățile morfologice cu dimensiuni (suprafețe) mai mici decât celula MNAT-ului se pierd. Acest lucru poate afecta serios analiza hidrologică bazată pe MNAT. De exemplu îngustarea unei văi sub valoarea celulei modelului de bază (în chei, defilee etc.) duce la pierderea amprentei acestuia și apariția unei valori de elevație mai mari decât cele din amonte. Acest lucru conduce la apariția unui „baraj” artificial în lungul cursului de apă. Celulele situate în amonte de „baraj” formează o depresiune (sink, pit); în acest caz algoritmul de stabilire a direcției de curgere oprindu-se datorită discontinuității induse de „baraj” (Fig. 20). Sink-urile mai pot apărea și datorită Soluția este reprezentată de identificarea acestor zone și „umplerea” treptată a acestora până se ajunge la nivelul „barajului”, când algoritmul găsește o soluție de continuare a cursului de apă.



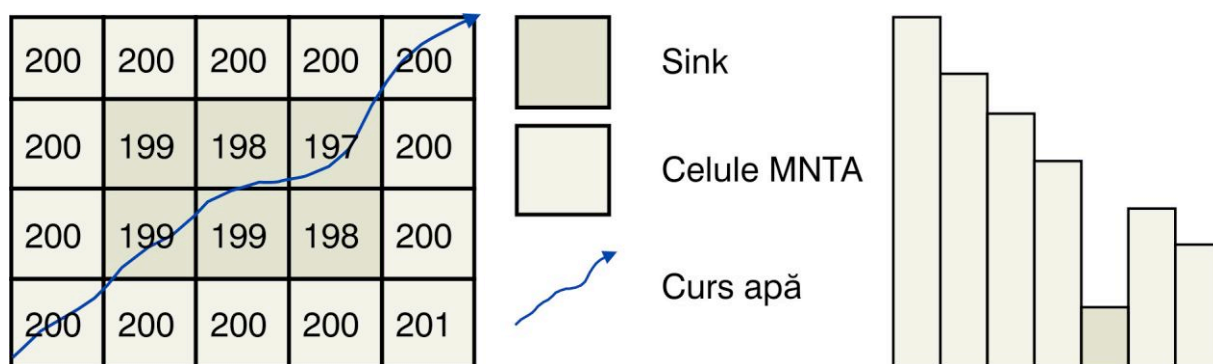


Fig. 20. Sink – vedere în plan (stânga) și vedere în profil (dreapta)

O altă soluție pentru prevenirea situației descrise mai sus este utilizarea rețelei hidrografice vectorizate de pe hartă ca informație suplimentară în faza de interpolare (ANUDEM) sau „arderea” acestuia în modelul numeric de teren. Concret acest lucru presupune adâncirea rețelei hidrografice în MNAT înainte de analiza hidrologică a acestuia.

#### 2.4.3.c. Direcția de scurgere (Flow Direction)

Calculul direcției de scurgere a apei pe suprafața topografică, utilizând modelul numeric altimetric al terenului, presupune identificarea pantei maxime dintre celula centrală și celulele vecine (Fig. 21. stânga). După identificarea direcției de scurgere, celulei centrale i se atribuie o valoare care exprimă acest lucru, de obicei puterile lui 2 aranjate în sensul acelor de ceasornic (2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 – Fig. 21. dreapta; Planșa 35).

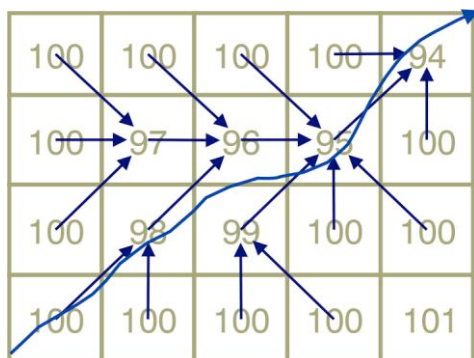
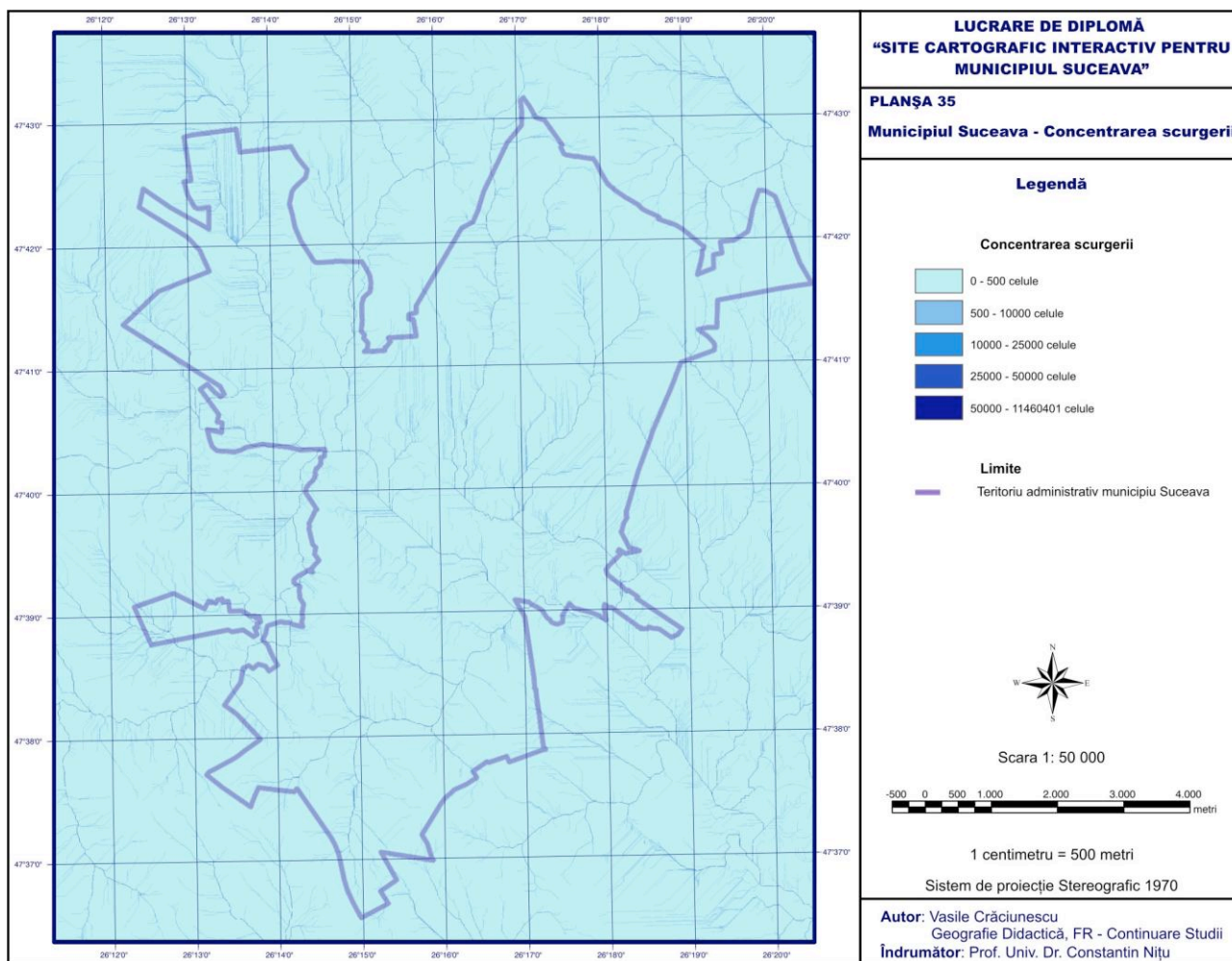


Fig. 21. Direcția de scurgere a apei (stânga) și modul de atribuire a valorilor (dreapta)



Planșa 35.

#### 2.4.3.d. Concentrarea scurgerii (Flow Accumulation)

Se calculează însumând celulele care „se scurg” în celula vizată. Astfel fiecare celulă care nu primește apă din alte celule primește valoarea 1, iar pentru celulele care primesc apă din surse multiple valoarea se calculează însumând valorile celulelor respective, adăugându-se și valoarea 1 (Fig. 22; Planșa 36).

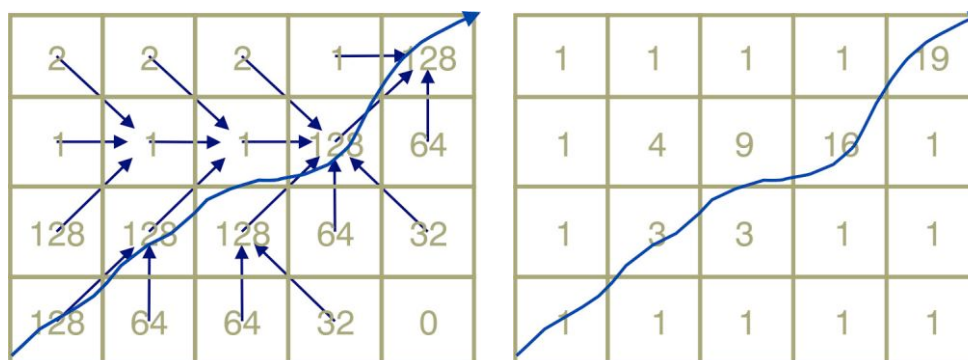
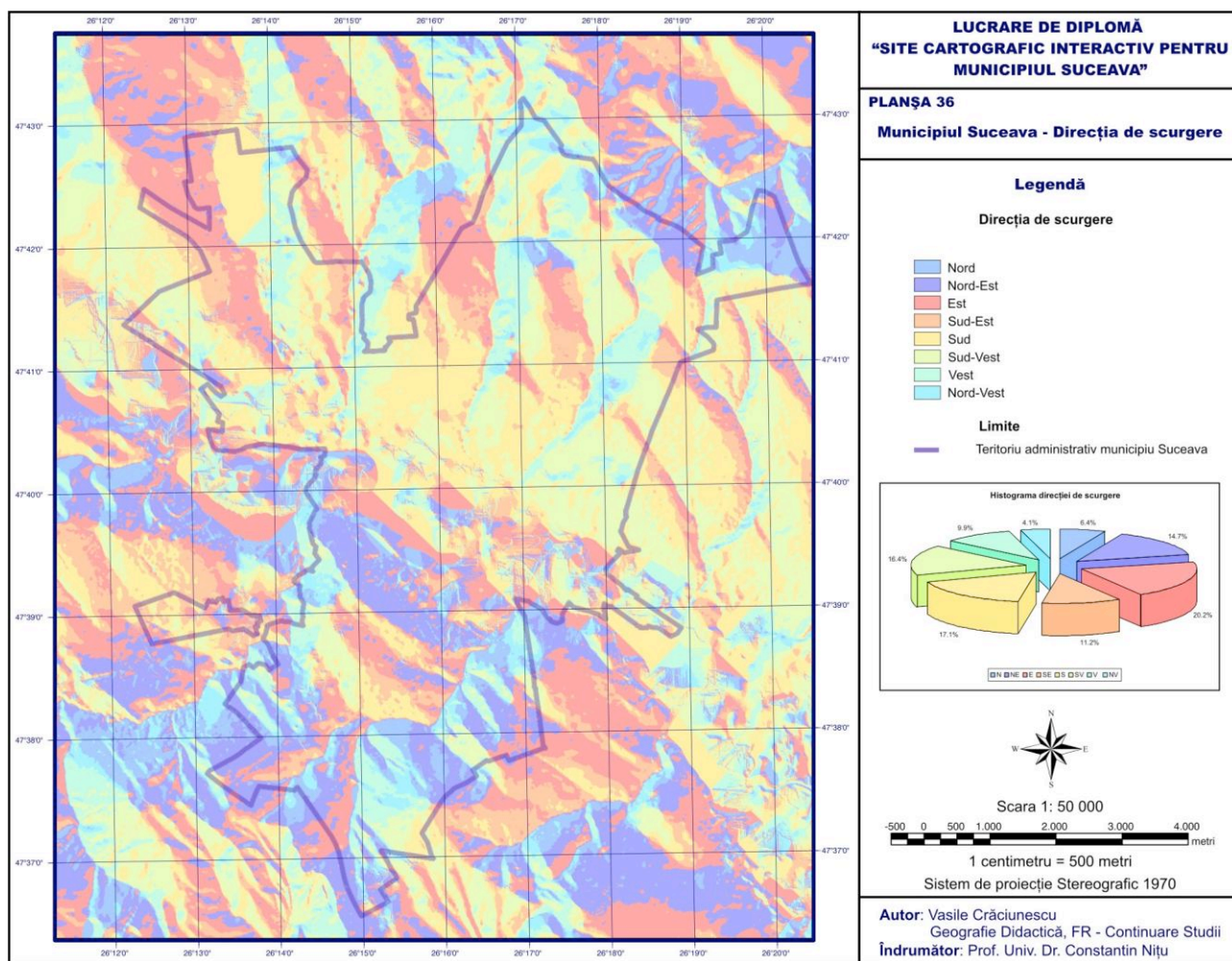


Fig. 22. Modul de calcul al concentrării scurgerii



Plansa 36.

#### 2.4.3.e. Lungimea scurgerii (Flow Length)

Reprezintă lungimea canalelor de scurgere. Utilizând ArcView acest lucru se face la nivel de celulă, algoritmul de calcul fiind asemănător cu cel utilizat la concentrarea scurgerii, doar că în loc de cantitatea de apă se folosește lungimea celulelor (Fig. 23).

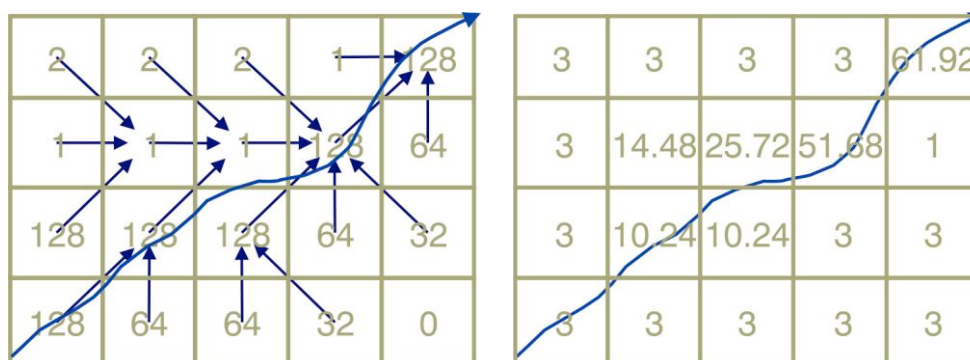


Fig. 23. Modul de calcul al lungimii scurgerii considerând dimensiunea celulei de 3 m

#### 2.4.3.f. Suprafața zonei tributare (Upslope Contributing Area)



Similară cu lungimea scurgerii doar că se urmărește calculul suprafeței celulelor tributare celei vizate (Fig. 24).

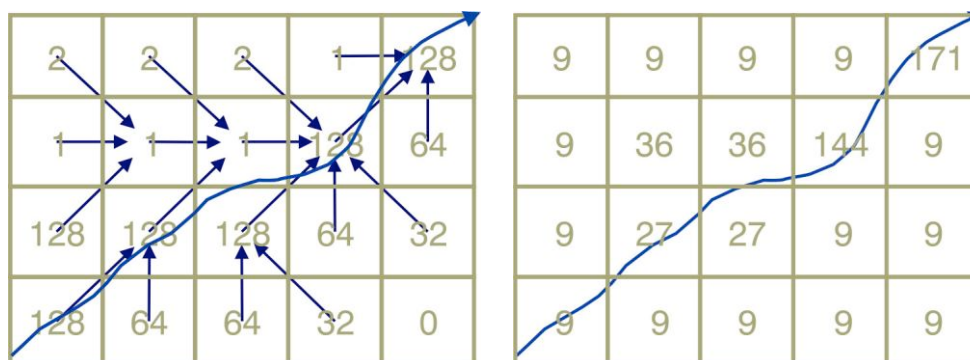


Fig. 24. Modul de calcul al suprafeței zonei tributare considerând suprafața celulei de 9 m<sup>2</sup>

#### 2.4.3.g. Delimitarea automată a bazinelor hidrografice

Se face pe baza parametrilor calculați anterior: direcția de scurgerii și concentrarea scurgerii (Fig. 25). Bazinele pot fi identificate pentru întreaga suprafață a modelului sau

interactiv pentru puncte de închidere definite de utilizator (Planșa 37). Opțional, în delimitarea tuturor bazinelor de pe model, se poate utiliza o valoare minimă a suprafeței unui bazin. Suprafețele bazinale obținute în acest fel pot fi utilizate mai departe în calculul diversilor indicatori: altitudinea medie a bazinelor, panta medie, suprafața ocupată cu anumite tipuri de culturi etc.

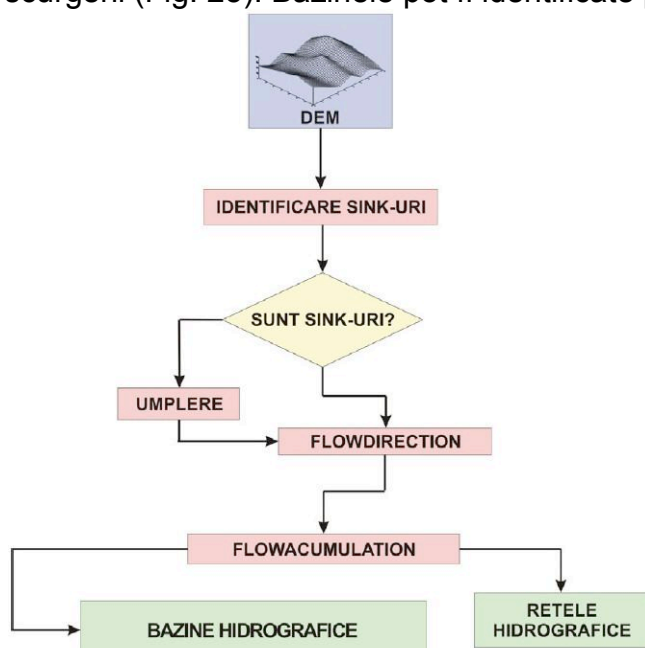
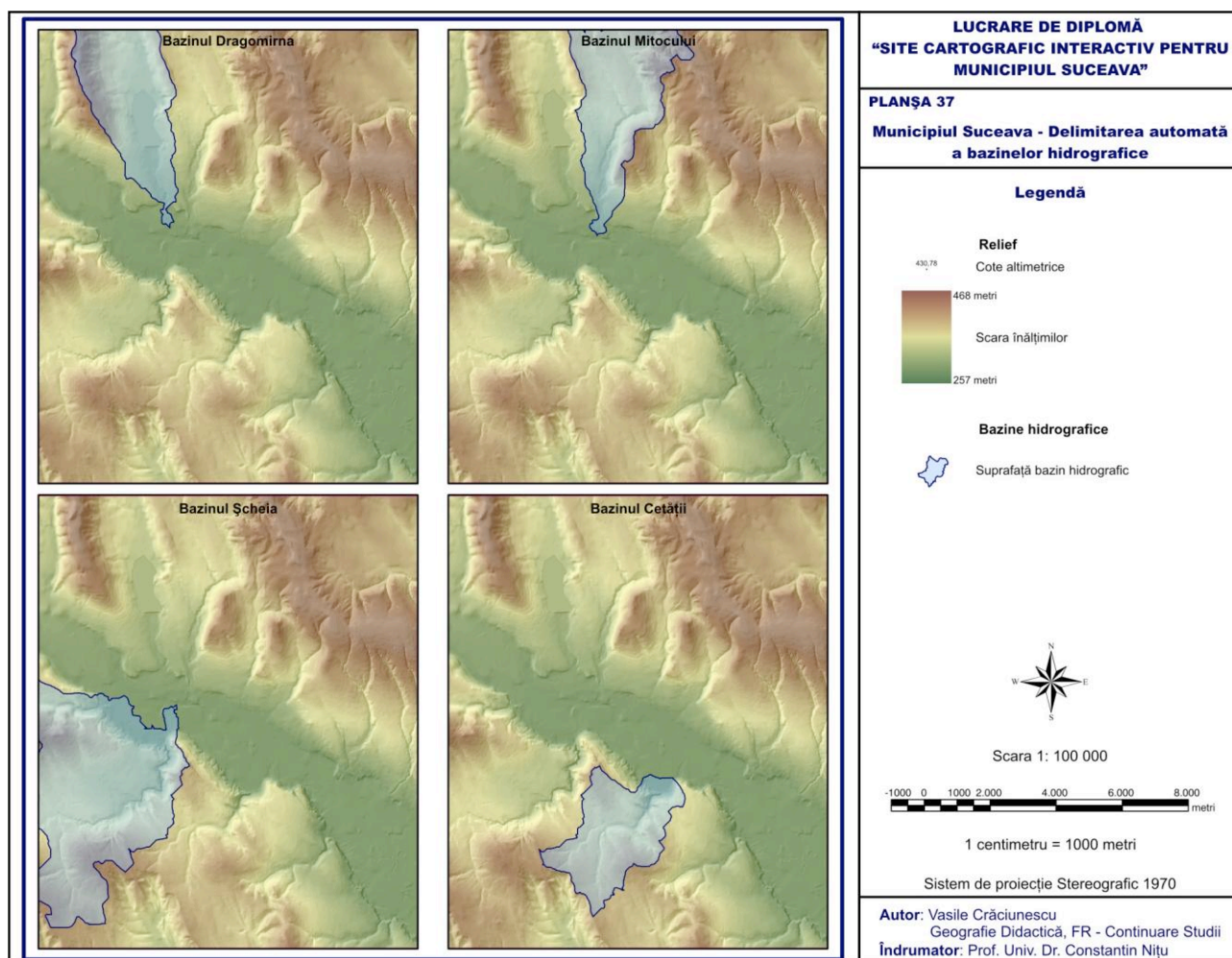


Fig. 25. Etapele obtinerii rețelei hidrografice și a bazinelor pe baza MNAT

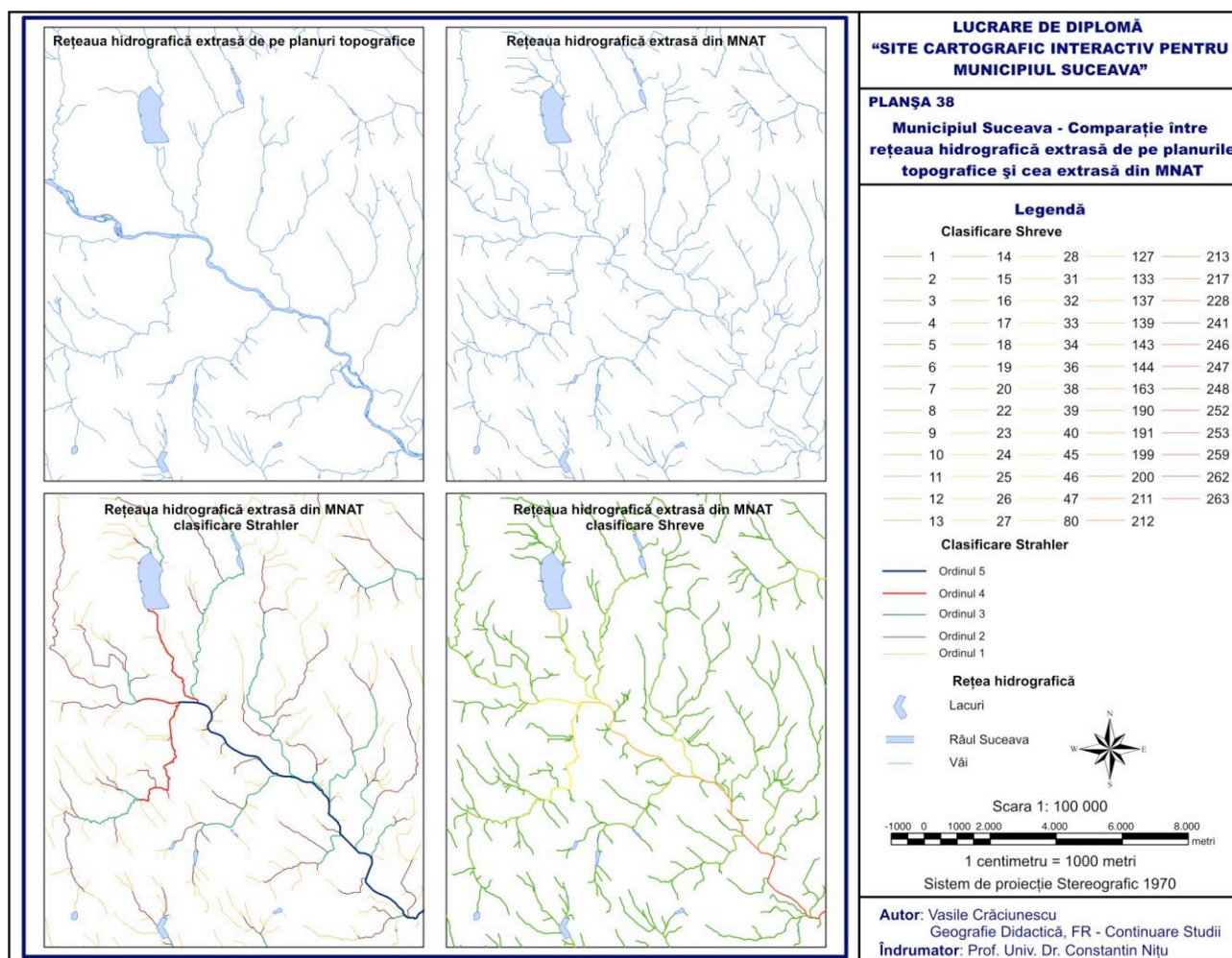


Planșa 37.

#### 2.4.3.h. Extragerea automată a rețelei de văi

Permite obținerea în format vectorial a văilor pornind de la modelul numeric altimetric de teren al zonei de interes. Densitatea acesteia rețelei extrase poate fi controlată utilizând un prag reprezentând lungimea minimă a văilor.

Pentru zona municipiului Suceava, rețeaua extrasă pe baza modelului numeric altimetric de teren urmărește destul de exact rețeaua de văi extrasă manual de pe planurile topografice (Planșa 38).



Planșa 38.

#### 2.4.3.i. Clasificarea automată a rețelei de văi

Se poate face atât utilizând rețeaua de văi extrasă din hărți cât și cea extrasă automat de pe model. Condiția esențială este ca vectorii care reprezintă rețeaua de văi să aibă o structură topologică omogenă și același sens de scurgere.

Cele mai cunoscute metode de stabilire a ordinului rețelei de văi au fost dezvoltate de Strahler (1957) și Shreve (1966); și se bazează pe numărul de tributari ai fiecărei văi (Fig. 26; Planșa 38).

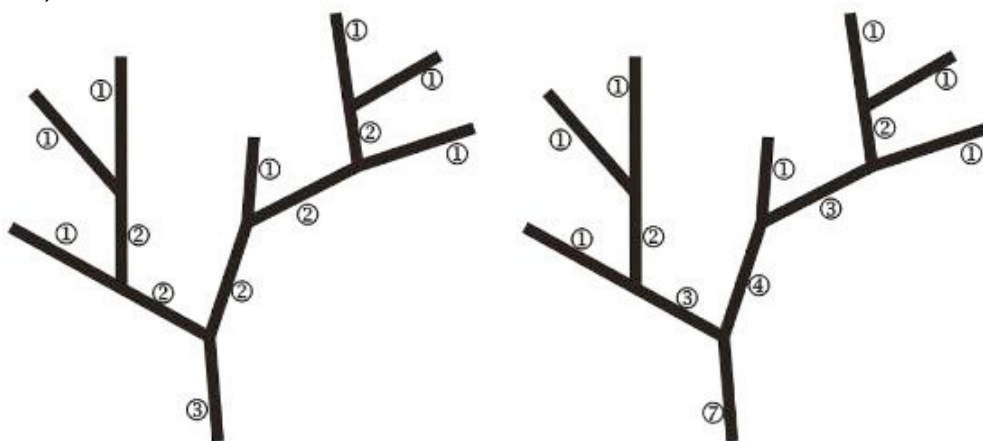


Fig. 26. Clasificarea rețelei de văi după metoda Strahler (stânga) și Shreve (dreapta)



## BIBLIOGRAFIE

Bojoi I, Cârlan N, Cocuz I, Iacobescu M, Iosep I, Monorandu O, Popescu-Argeșel I, Ursulescu N. – 1979. *Suceava – ghid turistic al județului*. Editura Sport-Turism. București.

Buraga S – 2001. *Tehnologii Web*. MatrixRom. București.

Emandi E, Cucu V, Ceașu M – 1989. *Suceava – ghid de oraș*. Editura Sport-Turism. București

Emandi E – 1985. *Muzeul de Istorie Suceava*. Editura Sport-Turism. București

Grigoroviță M – 1996. *Din istoria colonizării Bucovinei*. Editura Didactică și pedagogică. București

Imbroane M, Moore D – 1999. *Inițiere în GIS și Teledetecție*. Editura Presa Universitară Clujeană. Cluj-Napoca.

Monorandu O, Iacobescu M, Paulencu D – 1979. *Suceava – mic îndreptar turistic*. Editura Sport-Turism. București

Năstase A, Osaci – Costache Gabriela – 2000. *Topografie – Cartografie. Lucrări practice*. Editura Fundației „România de mâine”. București.

Nițu C-tin, Nițu C, Tudose C, Vișan M – 2002. *Sisteme informaționale geografice și cartografie computerizată*. Editura Universității din București. București.

Toderaș T, Răducanu D – 2002. *Baze de date cartografice – Creare și actualizare*. Editura Academiei Tehnice Militare. București.

Toderaș T, Dragomir V – 2002. *Teledetecție și fotointerpretare*. Editura Universității „Lucian Blaga”. Sibiu.

Ujvari I – 1972. *Geografia apelor României*. Editura științifică. București.

Ungureanu Irina Brândușa – 1978. *Hărți geomorfologice*. Editura Junimea. Iași.

Wilson J, Galant J – 2000. *Terrain Analysis – Principles and Applications*. John Wiley & Sons

\*\*\* - 2002. *Măsurători terestre. Fundamente*. MatrixRom. București.

<http://www.terrainmap.com>

<http://www.vterrain.org>

<http://www.w3.org>

<http://www.landserf.org>

[http://members.fortunecity.com/eco4/research\\_shary/](http://members.fortunecity.com/eco4/research_shary/)

<http://134.76.76.30/saga/html/index.php>