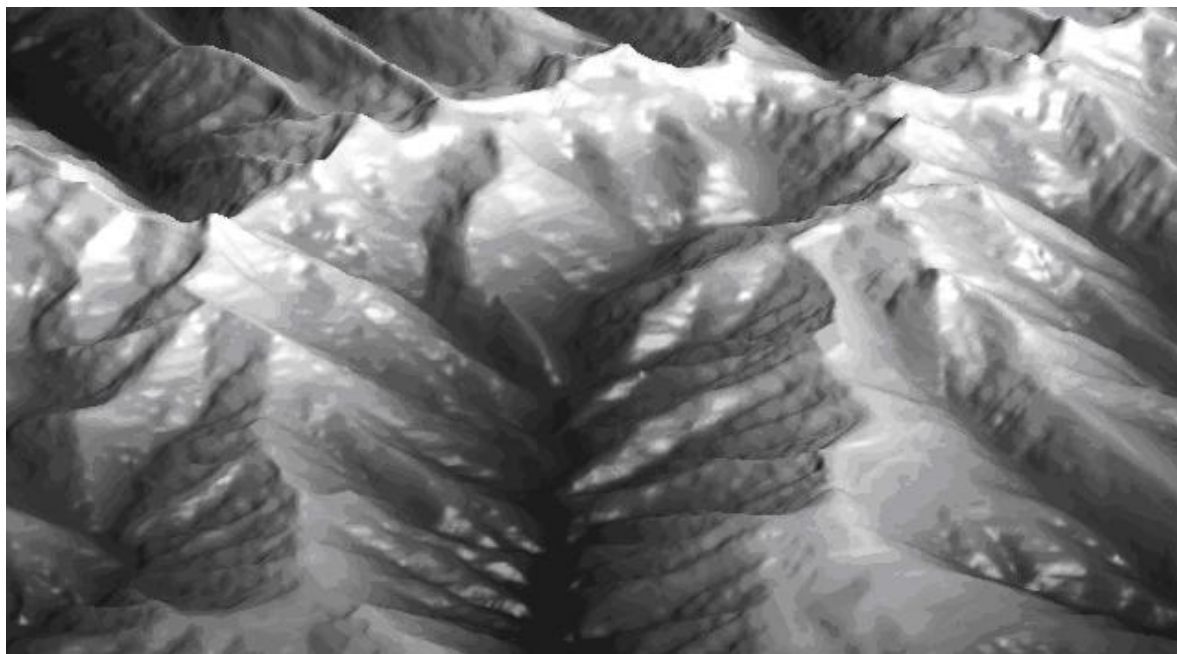


REALIZAREA MODELULUI VIRTUAL REALISTIC AL UNEI LOCALITĂȚI ÎN STANDARD CITYGML

*Activitatea 6 Elaborarea și realizarea soluției noi
pentru tehnologia „generarea modelului numeric al terenului”*

LIVRABIL 6.1

**Descrierea operațiunilor, instrumentelor și metodelor de lucru
privind generare a modelului numeric al terenului**



Decembrie 2013

Cuprins

1. Introducere	3
2. Definirea Modelului Digital al Terenului (MDT / DTM).....	5
3. Descrierea instrumentelor pentru culegerea de date de modelare a reliefului	8
3.1 Sisteme LIDAR.....	8
3.2 Batimetrie.....	8
<i>Echipamente pentru scanarea fundului de apă</i>	<i>8</i>
3.3 Metode fotogrammetrice	9
<i>Echipamente de aerofotografiere</i>	<i>9</i>
4. Generarea Modelului Digital al Terenului (MDT)	10

REZUMAT

LIVRABIL 6.1 Descrierea operațiunilor, instrumentelor și metodelor de lucru privind generarea modelului numeric al terenului

Livrabilul este structurat pe patru capitole:

- Un capitol introductiv (capitolul 1) care descrie diferite modalități de reprezentare a suprafeței terenului, principiul modelării digitale a terenului și clasificarea modelelor 3D;
- Un capitol de definiție (capitolul 2) care descrie caracteristicile modelului digital al terenului, raportul dintre modelul care descrie suprafața terenului cu tot cât și produsele derivate din MDT;
- Un capitol (capitolul 3) în care se descriu instrumentele folosite pentru culegerea datelor de modelare a reliefului;
- Un ultim capitol (capitolul 4) în care se descriu metode de obținere și generare a modelului digital al terenului.

Rezultatele obținute în urma activităților descrise în cele 3 capitole sunt prezentate în 3 anexe:

- Anexa 1 Rezultate în urma orientării interioare și exterioare - exemple
- Anexa 2 Rezultate în urma prelucrării datelor topografice și batimetrice - exemple
- Anexa 3 Generarea Modelului Numeric al Terenului - exemple

1. Introducere

Descrierea unui obiect se face adesea prin rezolvarea unor probleme tipice legate de descrierea componentelor sale simple cu atributele și proprietățile lor, a relațiilor dintre ele în contextul întregului de reprezentat.

În reprezentarea și modelarea pe calculator în principiu limbajul utilizat pentru descriere este înlocuit prin metode matematice de reprezentare. Prelucrarea datelor reale obținute din măsurători urmărește reprezentarea lumii reale cu ajutorul calculatorului. Aceste date urmăresc o reprezentare abstractă (prin geometrizare) a obiectelor și fenomenelor din spațiul obiect. Numai o reprezentare continuă a spațiului obiect poate fi considerată identică cu obiectul reprezentat. Modelele au o structură care combină geometrizarea spațiului obiect corespunzător diverselor funcții ale acestui obiect. Fiecare model are un grad de generalizare care necesită o serie de convenții privind reprezentarea sa. Reprezentarea datelor în calculator se face în concordanță cu sistemul software utilizat pentru aplicația respectivă.

Pentru culegerea datelor necesare realizării modelului digital poate fi utilizată una din următoarele metode:

- metoda topografică, este metoda prin care punctele se aleg aleator pe linii caracteristice în rețea;
- metoda fotogrammetrică, este metoda prin care punctele se culeg de pe stereomodel sau prin orice alt procedeu fotogrammetric;
- metoda cartografică, este metoda prin care punctele se culeg de pe hărți prin digitizare.

În principiu, modelele 3D se împart în trei clase independente funcție de modul de reprezentare a datelor de bază în calculator precum și de domeniul de utilizare a acestor modele.

- Modele 3D reprezentate prin puncte,
- Modele 3D reprezentate prin suprafețe,
- Modele 3D reprezentate prin elemente de volum,
- Modele 3D reprezentate prin metode hibride.

Cea mai utilizată metodă de reprezentare a suprafeței topografice și a diferitelor obiecte situate pe aceasta este de generalizare și discretizarea acestei suprafețe prin puncte independente de coordonate X,Y, Z cunoscute sau prin segmente de dreaptă cunoscute (lungime și orientare). Dispunerea acestor puncte se face conform anumitor criterii. Prin această reprezentare se urmărește forma generală și poziția reciprocă a suprafeței topografice și a obiectelor dispuse pe aceasta. Este cel mai simplu mod de reprezentare a unui model 3D. Acesta se obține prin conecxiunea segmentelor de dreaptă care leagă punctele de coordonate cunoscute.

O altă metodă interesantă de reprezentare, metoda RGO se bazează pe Reconstrucția Geometrică a Obiectelor definite în cadrul unor primitive de volum și a unor operații de bază care se fac cu aceste primitive. Ideea de bază este aceea că un obiect spațial complex este reprezentat prin alăturarea, extragerea și intersecția unor obiecte mai simple. Primitivele utilizate pentru reprezentarea secvențială a modelului sunt vizibile direct în structura datelor de bază. Volumele elementare utilizate ce formează primul nivel de reprezentare geometrică sunt de formă: cubică, conică, cilindrică etc., sunt identificabile în structura datelor de bază și sunt accesibile în mod direct.

Corespunzător acestei descrieri fiecare obiect este descris printr-un arbore unde diferitele nivele reprezintă primitivele utilizate iar nodurile reprezintă operațiile și transformările utilizate. Primul nod reprezintă modelul obiect. În acest mod de reprezentare ierarhică fiecare obiect este reprezentat în mod implicit. Acest mod de reprezentare stă și la baza standardului cityGML

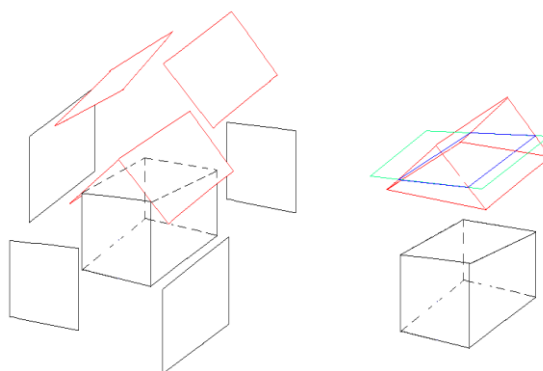


Fig.1. Reprezentarea modelului 3D prin metoda RMO și RGO

2. Definirea Modelului Digital al Terenului (MDT / DTM)

Modelarea suprafeței topografice este o etapă foarte importantă în procesul tehnologic fotogrammetric. Are aplicații dintre cele mai diverse în întocmirea ortofotohărților, studii hidrografice, telecomunicații etc. Întocmirea MDT nu este propriu zis o problemă strict fotogrammetrică, dar fotogrammetria este metoda cea mai economică și cea mai utilizată pentru colectarea datelor necesare întocmirii MDT.

Modelele digitale ale terenului și cele ale suprafețelor topografice fac posibilă crearea unei imagini de ansamblu asupra unei zone, care poate fi vizualizată și analizată. Vizualizările pot fi statice sau dinamice, sau cu posibilitatea vizualizării „în zbor” deasupra unui teren

MDT (Modelul Digital al Terenului) este reprezentarea matematică a obiectelor din spațiu și a mediului lor înconjurător precum clădiri, elemente de infrastructură etc, pentru o zonă de teren bine definită. Informația necesară pentru crearea MDT se referă numai la altitudinea punctelor teren situate pe suprafața terenului sau a suprafețelor de apă.

MDST (Modelul Digital al Suprafeței Topografice) conține pentru fiecare punct și informația altimetrică pentru obiectele situate la suprafața solului, deasupra sau sub această suprafață (înălțimea caselor, pomilor etc.).

Reprezentarea suprafeței topografice este o sarcină complexă pentru a fi modelată analitic astfel încât această suprafață este generalizată, discretizată prin eșantionare incluzând procese de interpolare între aceste eșantioane.

Modelele digitale ale terenului și cele ale suprafețelor topografice fac posibilă crearea unei imagini de ansamblu asupra unei zone, care poate fi vizualizată și analizată. Vizualizările pot fi statice, dinamice sau cu posibilitatea vizualizării „în zbor” deasupra unui teren.

Produse derivate din MDT:

A) Bloc-diagrame, profile și imagini ale orizontului

Aceste forme de reprezentare a MDT sunt preferate pentru vizualizare și pot arăta variația asociată cu oricare variabilă cantitativă (**Z**) într-o zonă. Pachetele SURFER, IDRISI, ArcINFO (TIN), ERMapper, ASPEx etc. au proceduri ce pot afișa mulțimi regulate și neregulate de date **X**, **Y** și **Z** în forma tridimensională ca desene liniare sau reprezentări raster ale umbrelor. Utilizatorul trebuie să specifice un unghi de vedere, rotirea planului orizontal **OXY**, scările pe axe etc.

B) Estimarea volumului (pământului) decopertat și de umplere

Mai întâi este construit un MDA prin ridicări topografice înainte de începerea lucrărilor de teren și apoi un al doilea îmbunătățit, care arată precis profilele și alte detalii. Pe noul MDA pot fi indicate porțiunile ce se decopertează sau se umplu și pot fi calculate prin integrare numerică volumele pământului ce se decopertează sau cu care se completează adănciturile, lucru folositor la planificarea realizării lucrărilor de artă.

C) Hărți cu izocurbe (curbe de nivel, izohipse)

Prin reclasificarea celulelor matricelor de altitudini în clase de înălțimi (după echidistanță) și tipărirea izocurbelor cu diferite culori, tipuri de linii sau tonuri de gri, pot fi obținute hărți cu izohipse. Curbele de nivel pot fi realizate folosind determinarea prin interpolare a punctelor de cotă cunoscută, prin „navigare” cu algoritmi speciali în matricea cotelor.

Aici sunt determinate valorile X și Y ale punctelor succesive ale curbei. Dacă datele inițiale sunt neregulate sau destul de depărtate în spațiul geometric, determinarea curbelor poate fi precedată de interpolarea înălțimilor unei grile mai fine. Produsul final poate fi obținut la imprimantă, la un ploter vectorial sau la un fotoploter raster.



Fig. 2. Harta curbelor de nivel

D) Hărți ale pantei, direcției de pantă maximă, convexității și concavității

Panta este definită de înclinarea unui plan tangent la suprafața modelată de MDA în orice punct dat și are două componente - gradientul sau tangenta unghiului de înclinare și aspectul, adică azimutul direcției de pantă maximă. Gradientul (în %) și aspectul (în grade) sunt primele două derivate ale funcției suprafeței. Derivatele de ordinul doi ale acestei suprafețe dau: convexitatea și concavitățile (convexitatea negativă) și variația modificării pantei (în grade la 100 m). Sunt determinate local valorile derivatelor suprafeței pentru fiecare celulă din matricea altitudinilor, folosind o fereastră (submatrice sau kernel) de 3 x 3 celule care este mutată succesiv peste hartă. Este determinată o funcție cuadrică cu 6 parametri din cele nouă celule din fereastră, folosind diferențele finite și nu metoda celor mai mici pătrate, iar pentru a afișa rezultatele este utilizat un tabel de căutare sau conversie (look-up table), pentru a repartiza claselor nuanțe corespunzătoare de culoare sau de gri. Pentru hărțile direcției de pantă maximă sunt definite în mod uzual nouă clase, 8 pentru azimute ce aparțin celor 8 octante și una pentru teren plat orizontal.

La nivelul actual al tehnicilor de modelare și de culegere a informațiilor, cuprinde trei subsisteme de bază: modelul digital al reliefului (MDR) sau altimetric (MDA) - totalitatea informațiilor care redau relieful, modelul digital planimetric (MDP) - compus din informații metrice, sintactice și semantice corespunzătoare planimetriei la care se adaugă rețeaua hidrografică și modelul digital al naturii

obiectelor (MDNO) - informațiile referitoare la proprietățile calitative, fizice, chimice, biologice, etc. ale obiectelor topografice.

Toate cele trei componente prezintă o importanță deosebită pentru sfera activităților științifice, tehnice, economice și sociale. Se detașează totuși modelul digital de relief, datorită numărului considerabil de domenii unde este sau poate fi aplicat. În concordanță cu definiția prezentată anterior, tehnologic, modelul digital al reliefului se compune dintr-o mulțime ordonată de informații, privind poziția planimetrică și cota unor puncte, ce descriu configurația desfășurării spațiale a structurilor de relief și facilitează în urma prelucrării pe un sistem de calcul folosind programe specializate, reconstrucția suprafețelor, în noi puncte. Pe lângă informațiile altimetrice cu rol de element primordial, modelul digital al reliefului cuprinde și unele trăsături specifice planimetriei, strâns legate de acestea, astfel cum ar fi: limitele lacurilor și râurilor, liniile pentru delimitarea formelor existente în compunerea suprafeței, liniile structurale, firele de vale și creastă sau diverse alte elemente ce marchează schimbări în desfășurarea curentă a reliefului.

Modelarea digitală a terenului necesită îndeplinirea următoarelor condiții:

- datele necesare construirii modelului digital al terenului trebuie obținute într-un mod simplu și eficient;
- modelul digital realizat să aproximeze cu suficientă precizie configurația terenului;
- numărul de puncte utilizate să fie cât mai mic posibil, fără a afecta precizia de determinare a cotei;
- calculele de interpolare automată a cotei de pe modelul digital să nu necesite timp mare.

Rețeaua de triunghiuri neregulate - T.I.N. (Triangulated Irregular Networks) face o distincție referindu-se strict la modelele digitale structurate sub formă de rețele de triangulație neuniforme. Ele includ seturi de triunghiuri adiacente, ce nu se suprapun, obținute prin calcul folosind puncte distribuite neuniform, pentru care se cunosc coordonatele x, y, z . De asemenea, stochează legăturile topologice dintre triunghiuri și vecinii lor adiacenți.

TIN – Rețeaua de triangulație are importanță în studierea altitudinii terenului reprezentat deoarece TIN este o tehnică consacrată de modelare a suprafețelor 3D. În cadrul software-urilor specializate pe modelarea tridimensională a terenurilor se poate importa/exporta modelul digital dinspre/inspre standard TIN, DEG (Digital Elevation Grid) sau text ASCII XYZ.

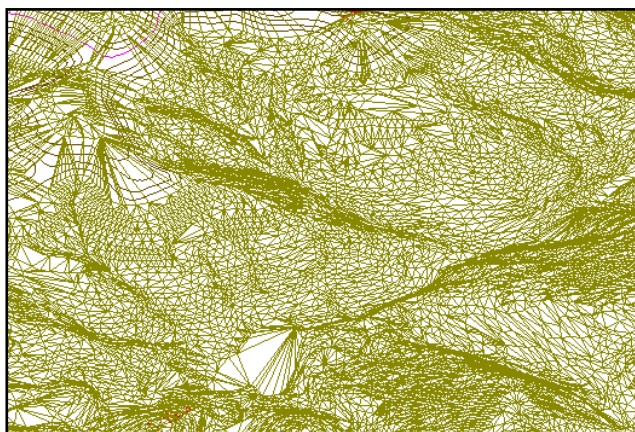


Fig. 3. Rețeaua de triangulație (T.I.N.)

3. Descrierea instrumentelor pentru culegerea de date de modelare a reliefului

3.1 Sisteme LIDAR

LiDAR (Light Detection And Ranging) este o tehnologie optică de sondare la distanță (remote sensing) cu ajutorul căreia, prin intermediul măsurării proprietăților luminii împrăștiată pe obiecte aflate la depărtare, se pot extrage informații despre acestea. Este același principiu ca la tehnologia RADAR, diferența constând în lungimea de undă a radiației electromagnetice utilizate.

3.2 Batimetrie

Echipamente pentru scanarea fundului de apă

În termeni uzuali, procesul de măsurare a adâncimilor se mai numește și ridicare batimetrică și cuprinde ansamblul lucrărilor de măsurare, calcul și reprezentare a reliefului subacvatic al unei zone. În acest scop se urmăresc și se determină un număr suficient de puncte pe suprafața apei, judicios alese ca număr și poziție, în funcție de scara planului ce se va redacta și precizia urmărită.

Linii de sondaj

Sondajul este o lucrare specială de măsurare a adâncimii apei în puncte situate în plan, de-a lungul unor direcții numite linii de sondaj. Pe aceste linii situate la suprafața apei se deplasează ambarcațiunea de sondaj. În terminologia hidrografică, pe lângă linia de sondaj se mai folosește și noțiunea profil. Profilul rezultă din intersecția unui plan vertical care conține linia de sondaj (la suprafața apei) și fundul apei.

Măsurarea adâncimilor

Măsurarea adâncimilor și determinarea pozițiilor punctelor ce se găsesc pe linia de sondaj sunt activități ce se desfășoară simultan.

Sonde

Pentru determinarea precisă a adâncimilor prin procedeul sondajelor a fost necesară crearea unor aparate și dispozitive de măsurare utile acestui scop, numite sonde.

Din punct de vedere a ridicării batimetrice, sondele pot fi cu măsurare directă sau indirectă. Sondele cu măsurare directă, denumite și sonde simple pot fi: sonda de mână și sonda de lemn. Aceste sonde se folosesc când nu se dispune de echipamente ultrason sau ca rezervă. Sondele cu măsurare indirectă sunt sondele ultrason.

SONAR-ul (din engleză - **SO**und **N**avigation **A**nd **R**anging) sau hidrolocatorul, este un aparat destinat descoperirii și determinării de la suprafață a albiei râurilor, mărilor și oceanelor, sau a unor obiecte din interiorul acestora. Funcționarea sa este bazată pe fenomenul de reflexie a undelor ultrascurte. Este folosit pe larg în navigație, la pescuitul industrial, în misiunile navale ale armatei și în topografie.

Există mai multe tipuri de sonare, a căror funcționare depinde de modul în care operează traductorul ultrason:

- într-un singur plan (fie orizontal, fie vertical sau perpendicular pe direcția de deplasare)
- în două plane (unul orizontal sau fix și altul vertical sau rotativ).

3.3 Metode fotogrammetrice

Echipamente de aerofotografiere

Aparatul de zbor

Trebuie sa satisfaca cerintele:

- Operare bimotor,
- Stabilitate de zbor
- Incarcatura suficienta pentru trei membri de echipaj si sistemul de la bord.

Elemente ale aparatului de zbor

Camera DMC

Camera digitala ZI/Imaging Digital Mapping Camera (DMC™).

Calitatea imaginilor este asigurata si de componenta Forward Motion Compensation (FMC). Dispozitivele Charge Coupled Device (CCD) au arhitectura ce permite inregistrari pe toate cele 4 zone

ale cipului. Senzorii fiind 2-dimensionali imaginile au geometrie în direcțiile X și Y, rata de repetiție de o imagine la 2.1 sec dând un raport semnal-zgomot (Signal-to-Noise S/N) foarte bun.

Sistemul IMU-DGPS

În general, se folosește un IMU (Inertial Measurement Unit) și GPS pentru determinarea parametrilor de orientare exterioară cu sistemul AEROcontrol GPS/IMU de la IGI ce determină precis poziția și orientarea în zbor.

Sistemul de navigație GPS/CCNS

CCNS (Computer Controlled Navigation System, de generația a 4-a) constă din o unitate centrală (Central Computer Unit - CCU), o unitate display TFT (Command and Display Unit - CDU), și accesoriile lor

Proiectul de zbor

Pentru acoperirea zonei de aerofotografiere se va executa un proiect de zbor care ține cont de camera, de acoperirea impusă de 80/80% și de rezoluția cerută.

4. Generarea Modelului Digital al Terenului (MDT)

Se cunosc mai multe tehnici de obținere a MDST în funcție de modul de colectare a datelor de bază astfel :

- digitizarea hărților topografice existente și interpolare,
- exploatarea stereogramei prin corelație,
- din nivelele de gri ale imaginii,
- interferometrie pe baza imaginilor radar,
- baleiaj laser în spațiul obiect,
- ridicări topografice de teren.
- scanarea fundului de apă pentru lacuri, râuri și fluvii.

Toate tehnicile enumerate mai sus pot fi descrise ca un proces tehnologic în două etape astfel:

- prima etapă constă în colectarea punctelor de bază prin coordonatele lor X, Y, Z.
- a doua etapă constă în reșantionarea datelor în scopul obținerii unei rețele ordonate într-un format dat.

Calitatea MDST constă în capacitatea rezultatelor obținute de a reda suprafața reală a terenului și este afectată de precizia de determinare a punctelor de bază și de eficiența reșantionării.

Colectarea datelor din imagini preluate în domeniul vizibil

Suprafața care rezultă în urma procesului de măsurare a imaginilor este suprafața observabilă. Pentru imaginile preluate în domeniul vizibil aceasta este suprafața terenului, dar și infrastructura care se desfășoară pe teren, vegetația, construcțiile, podurile etc. Prelucrarea datelor obținute se face funcție de posibilitățile de la preluare și de tehnologiile disponibile, particularitățile legate de senzor și platformă au un impact mare asupra procesului tehnologic adoptat.

O problemă actuală în fotogrammetria digitală este găsirea punctelor corespondente în imaginile unei stereograme în mod automat. Acest lucru se realizează prin corelație plană, corelarea formelor liniare sau dacă s-a efectuat orientarea relativă și absolută prin corelație pe liniile nucleale.

Metodele de identificare a punctelor corespondente se pot clasifica astfel:

- corelarea imaginilor prelucrate radiometric în mod preliminar prin "filtrare trece sus" sau "filtrare trece jos", a imaginilor gradient sau binarizate;
- calculul coeficientului de corelație pe baza formelor liniare din imagine;
- corelarea pe baza unei informații suplimentare (relații, vecinătăți sau poziții de grup între diferitele obiecte reprezentate pe fotogramele de corelat).

Metoda corelației imaginilor de prelucrat are mai multe variante funcție de tipul imaginii, de conținutul informațional al acesteia, de raportul semnal/zgomot și de tipul prelucrărilor radiometrice preliminare efectuate.

Metoda de corelație aleasă trebuie să fie robustă față de zgomotul din imagine, să producă un coeficient mare de corelație pentru imaginile aduse în același sistem al valorilor de gri, să fie tolerantă cu variațiile diferențiale de scară și translațiile locale ale punctelor din imaginile de corelat.

Cea de a doua metodă presupune întărirea liniilor, limitelor în imaginile de corelat, extragerea liniarizarea și parametrizarea acestora după care se calculează coeficientul de corelație.

Construcția MDT din curbe de nivel în mod vectorial

Considerăm descrierea suprafeței topografice prin curbele de nivel. Acestea pot fi, pentru o anumită zonă, curbe închise sau deschise, care ies din cadrul zonei.

Fiecare curbă de nivel este reprezentată în mod vectorial și sunt descrise prin o secvență de puncte pentru care se cunosc cele trei coordonate X , Y și Z , ordonate în mod secvențial în fișier. Cota Z este aceeași pentru toate punctele care corespund unei curbe. Coordonatele X și Y sunt reprezentate în sistemul rectangular al hărții.

Prin interpolare noi trebuie să ne asigurăm că punctul determinat este pe suprafața topografică definită de curbele de nivel prin metoda de reprezentare a reliefului prin curbe de nivel. Conform acestei metode suprafața topografică este intersectată cu plane orizontale, linia de intersecție proiectată în plan orizontal reprezintă curba de nivel. Echidistanța planelor orizontale se alege astfel încât relieful să

poată fi reprezentat cu precizie. Dacă dorim să trasăm o curbă intermediară între două curbe normale aceasta va fi trasată la mijlocul distanței orizontale dintre cele două curbe succesive. Scările planimetrică și altimetrică fiind egale și constante pe toată suprafața reprezentată, putem interpola cu suficientă precizie cotele pe baza curbelor de nivel.

Datele necesare modelării digitale a terenului pot fi obținute pe mai multe căi dintre care pot fi menționate cele mai uzuale:

- prin extragere cotelor punctelor caracteristice de pe hărți la scară mare;
- pe cale fotogrammetrică de pe modelul stereoscopic al terenului;
- din bazele de date cartografice prin utilizarea curbelor de nivel.

Pentru culegerea datelor necesare realizării modelului digital poate fi utilizată una din următoarele metode:

- metoda topografică-metoda prin care punctele se aleg aleator pe linii caracteristice , în rețea;
- metoda fotogrammetrică- metoda prin care punctele se culeg de pe stereomodel sau prin orice alt procedeu fotogrammetric;
- metoda cartografică – metoda prin care punctele se culeg de pe hărți prin digitizare.

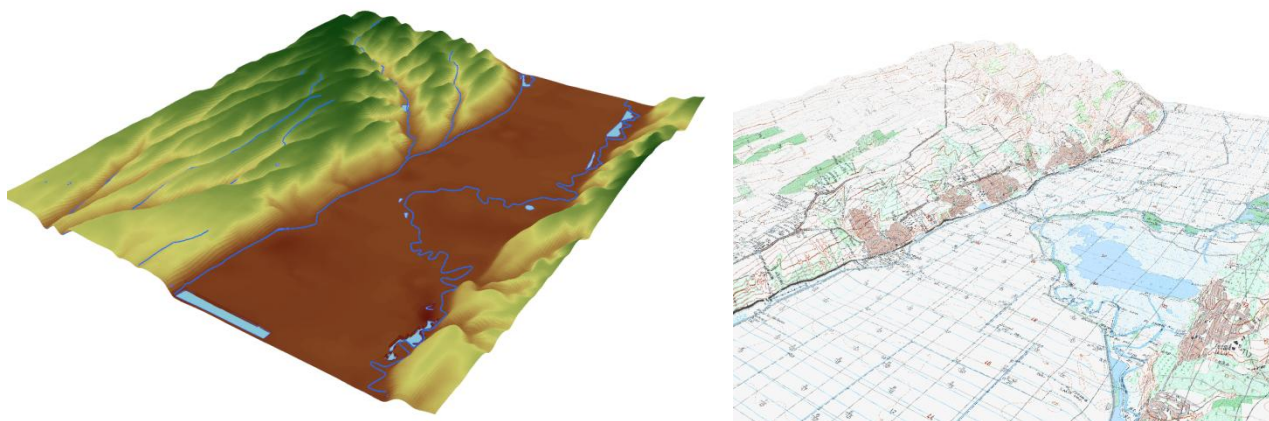
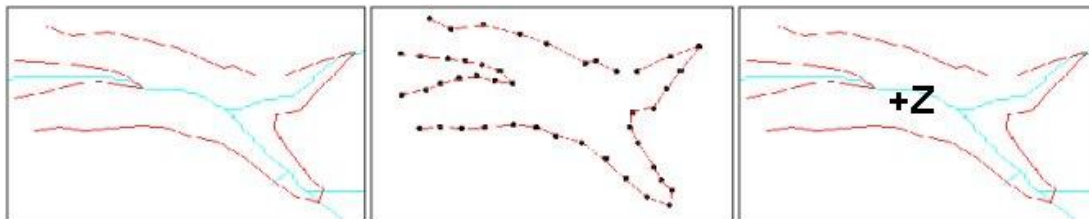


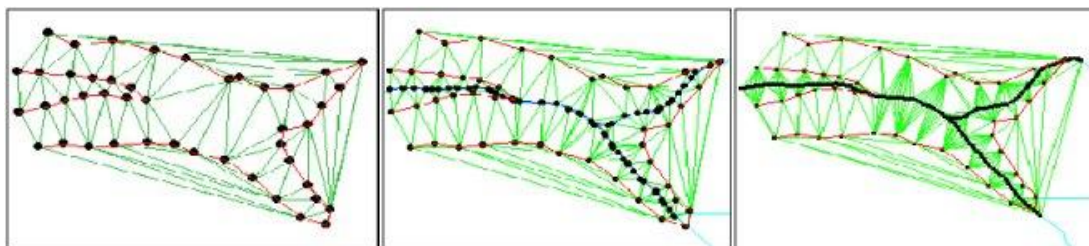
Fig. 2. Vizualizarea 3D a MDT

Curbele reprezintă o sursă comună pentru datele digitale altimetrice. În general toți vertecșii unei curbe de nivel sunt folosiți ca puncte de triangulație. În multe cazuri aceștia vor determina prezența triunghiurilor plate în suprafață. Triunghiurile plate sunt create de fiecare dată atunci când un triunghi este format din trei vertecși (cu aceeași valoare de cotă). Triunghiurile plate sunt create frecvent de-a lungul curbelor, atunci când punctele ce apar de-a lungul curbelor sunt la o distanță mai mică decât

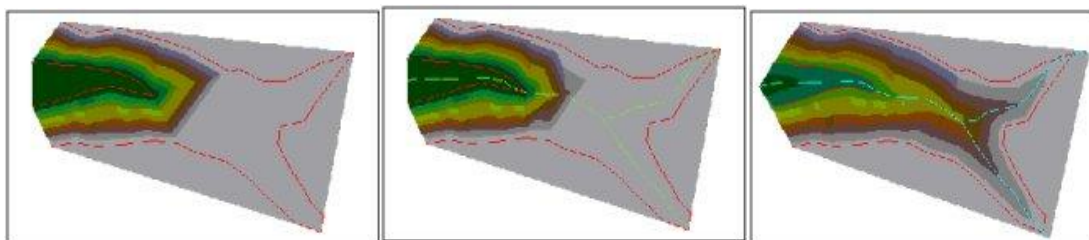
distanța dintre curbe. Când acești vertecși în plus nu sunt îndepărtați, metoda de triangulație descoperă că punctele cele mai apropiate sunt cele de-a lungul aceleiași curbe generând triunghiuri plate.



Triangulația



Stratul de suprafață



Vedere 3D

