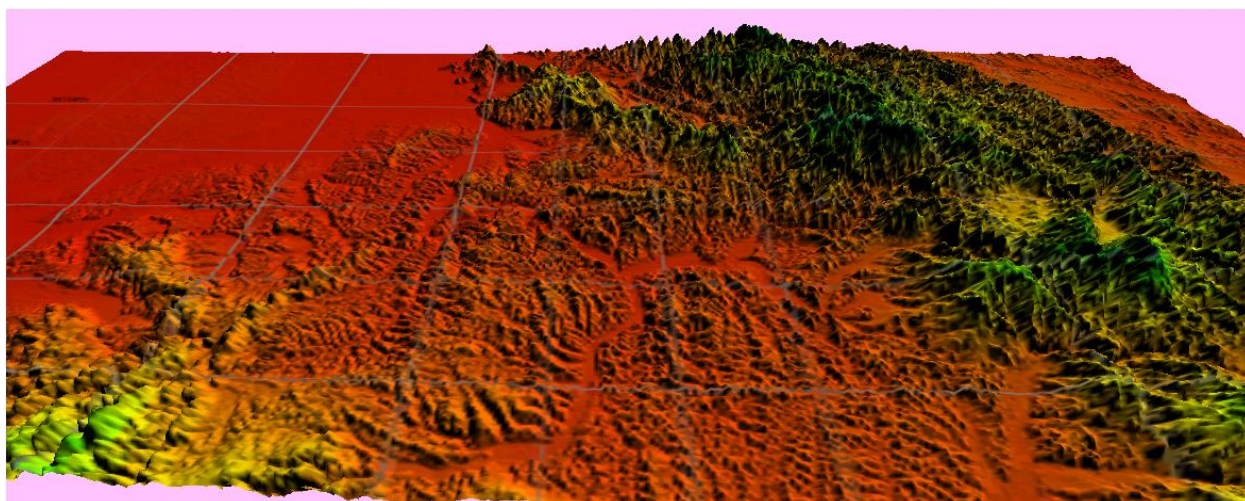


UNIVERSITATEA DIN BUCUREȘTI
FACULTATEA DE GEOLOGIE ȘI GEOFIZICĂ
ȘCOALA DOCTORALĂ DE GEOLOGIE

TEZĂ DE DOCTORAT
(rezumat)



**APLICAREA TEHNOLOGIILOR LASER LA STUDIUL TOPOGRAFIC
AL BAZINULUI HIDROGRAFIC SOMEȘ-TISA**

Conducător științific:

Prof. univ. Dr. ing. Cornel PĂUNESCU

Doctorand:

Daniela IORDAN

București-2014

CUPRINS

Utilitatea Studiului	1(1)
PRINCIPIILE SCANĂRII LASER 3D	3(2)
1. LiDAR AEROPURTAT: INSTRUMENTE, ACHIZIȚIA ȘI UTILIZAREA DATELOR	11(5)
2.1 Tehnologia de scanare cu laser-stadiul actual	11(5)
2.2 Principiile de măsurare de bază ale scanerelor cu laser	13(7)
2.3 Principiile fundamentale ale scanării cu laser	14(7)
2.3.1 Principiul scanării cu laser aerian	17(10)
2.3.2 Integrarea sistemului de bord	20(11)
2.3.3 Cuplul GNSS (Global Navigation Satellite System)-Sistemul Global de Navigație prin Satelit/Unitatea de Măsurare Inerțială	20(11)
2.3.4 Proprietățile scannerului laser	21(11)
2.3.5 Frecvența de repetiție a impulsurilor și densitatea punctelor	22(12)
2.3.6 Ecouri multiple și digitizarea formei lungimii de undă	23(13)
2.3.7 Gestionarea (Impactul) setului de erori ale scannerului laser aeropurtat	25(13)
2.4 Planificarea zborului - Aspecte operaționale ale scanării cu laser aeropurtat	25(14)
2.4.1 Zborul de studiu	27(15)
2.4.2 Prelucrarea datelor	28(16)
2.4.3 Sistemul de scanare laser aeropurtat și camerele fotografice	31(18)
2.4.4 Avantajul și limitarea sistemului de scanare laser aeropurtat	31(19)
2.5 Batimetria LiDAR aeropurtat	33(19)
2.6 Echipamentele LiDAR terestre	34(20)
3. STRUCTURI DE DATE	37(22)
3.1 Triangulația Delaunay	38(22)
3.2 Arborii octali	39(23)
4. GEOMETRIA SISTEMULUI DE SCANARE LASER AEROPURTAT	41(25)
4.1 Sistemul senzor – s	43(26)
4.2 Sistemul Cartezian geocentric-Earth-centred, Earth-fixed frame-e	44(26)
4.3 Sistemul local – l	45(27)
4.4 Sistemul de coordonate al vehicului (aerona) – b	45(27)
5. SUPRAFETE DE REFERINȚĂ ȘI OBTINEREA MDT	49(29)
5.1 Geoidul	49(29)
5.1.1 Situația pe plan internațional	52(31)
5.1.1.1 Modele globale	52(31)
5.1.1.2 Modele regionale	56(34)
5.1.1.3 Modele locale / naționale	58(35)
5.1.1.4 Situația pe plan național	58(36)
5.2 Sisteme de altitudini	59(36)
5.2.1 Altitudinile ortometrice	60(36)
5.2.2 Altitudinile normale	61(37)
5.2.3 Altitudinile elipsoidale	61(37)
5.2.4 Date și metode care pot fi utilizate la determinarea unui cvasi(geoid)	62(37)
5.2.4.1 Măsurători gravimetrice	62(37)
5.2.4.2 Măsurători ce utilizează tehnologia GNSS	62(38)
5.2.4.3 Măsurători astrono-geodezice	63(38)
5.2.4.4 Metode de determinare a unui model de cvasi(geoid)	64(38)
5.2.4.5 Alte metode	64(39)
5.3 Transformări de coordonate	66(39)

5.3.1	Elipsoidul	66(39)
5.3.2	Definirea Datumului	66(40)
5.3.3	Coordonate carteziene și coordonate elipsoidale	67(40)
5.4	Metode de interpolare a suprafețelor	69(41)
5.4.1	Aproximarea funcțiilor prin interpolare	69(41)
5.4.1.1	Interpolarea polinomială	70(41)
5.4.1.2	Interpolarea biliniară	70(41)
5.4.1.3	Interpolarea multivariată	70(41)
5.4.1.4	Suprafața de regresie	73(43)
5.4.1.5	Metoda Delaunay de triangulare cu interpolare liniară	73(43)
5.5	Modelul Digital al Terenului	74(43)
5.5.1	Cartografierea cadrului-m (frame-m)	74(43)
5.5.1.1	Extragerea modelelor digitale ale terenului-MDT	75(44)
5.5.1.2	Îndesirea progresivă	76(44)
5.5.1.3	Determinarea structurii liniilor	77(44)
6.	STUDIU DE CAZ	81(47)
6.1	Descriere bazin hidrografic	81(47)
6.1.1	Amplasare și delimitări hidrografice	81(47)
6.1.2	Densitatea rețelei hidrografice	81(47)
6.1.3	Numărul și lungimea cursurilor de apă codificate	82(47)
6.1.3.1	Subbazinul Tisa	82(48)
6.1.3.2	Subbazinul Someș	82(48)
6.1.3.3	Subbazinul Crasna	83(48)
6.2	Realizarea rețelei geodezice de sprijin pentru bazinul hidrografic Someș-Tisa	84(49)
6.2.1	Proiectarea rețelei și efectuarea măsurătorilor de teren	84(49)
6.2.2	Prelucrarea și compensarea rețelei	85(49)
6.3	Determinarea undulațiilor	99(52)
6.4	Evaluarea calității modelului digital al terenului provenit din lidar108(56)
6.4.1	Testarea preciziei altimetrice	110(57)
6.4.2	Testarea distribuție normale	112(59)
6.5	Surse de eroare-categorii de acoperirea terenului	121(64)
6.5.1	Categorii de acoperire a terenului	121(64)
7.	CONCLUZII ȘI PREOCUPĂRI VIITOARE DE CERCETARE - CONTRIBUȚII PERSONALE	131(71)
7.1	Concluzii	131(71)
7.2	Contribuții personale	133(72)
7.3	Preocupări viitoare	134(73)
	Bibliografie	137(76)

Lista figurilor

Fig.1.1	Spectrul electromagnetic și lungimea de undă pentru laser[1]	3	<u>2</u>
Fig.1.3	Reflectanța solului, apei și vegetației mixte[1]	4	<u>3</u>
Fig.1.10	Influența pulsului laser asupra timpului de zbor pentru sistemele cu pulsuri LiDAR [1] - pentru sistemele cu pulsuri LiDAR [1] pag.32	9	<u>3</u> 9
Fig.2.1	Principiile specifice tehnologiei LiDAR-ului aeropurtat [1]	11	<u>5</u>
Fig.2.2	Clasificarea sistemelor optice de măsurare 3D [5]	12	<u>6</u>
Fig.2.3	Măsurători bazate pe triangulație [6]	14	<u>7</u>
Fig.2.4	Colectarea datelor lidar aeriane [7]	15	<u>8</u>
Fig.2.5	Geometria și componentele unui sistem ALS (Airborne laser scanning) [8]	15	<u>8</u>
Fig.2.6	Achiziția datelor LIDAR aeriene și fluxul de lucru [9]	17	<u>9</u>
Fig.2.7-b	Componentele LiDAR	19	<u>10</u>
Fig.2.8	Lățimea amprente laser [5]	21	<u>12</u>
Fig.2.9	Forme ale ecoului în diferite situații ale țintei (P: impulsuri întoarse discrete; FW: (dreptunghiuri)	26	<u>13</u> <u>15</u>
Fig.2.14	Componentele de la bordul unei aeronave cu laser scanner-adaptare [5]	28	<u>15</u>
Fig.2.15	Procesul scanării laser aeriene [12]	29	<u>16</u>
Fig.2.16-b	Răspunsul diferitelor pulsuri receptate [10]	30	<u>17</u>
Fig.2.17	Spectrul electromagnetic (sursa http://imagers.gsfc.nasa.gov/)	31	<u>18</u>
Fig.2.18	Legătura între liniile de scanare [10]	31	<u>18</u>
Fig.2.20	Principiul batimetriei LiDAR aeriene-adaptare [12]	33	<u>19</u>
Fig.2.21	Modele de scanere laser bazate pe măsurarea cu laser continuu sau pulsatoriu	34	<u>20</u>
Fig.2.23	Imagini scanarea laser terestră	36	<u>21</u>
Fig.3.1	Convertirea altitudinilor (MDT)	37	<u>22</u>
Fig.3.2	Interpolarea înălțimilor peste o suprafață ascunsă de lângă o clădire [15]	37	<u>22</u>
Fig.3.4	Nor de puncte triangulat	38	<u>23</u>
Fig.3.6	Organizarea datelor quadtree	40	<u>24</u>
Fig.4.2	Geometria sistemului de scanare laser aeropurtat-adaptare [18]	42	<u>26</u>
Fig.4.3	Parametri geometrici ai sistemului de scanare laser aeropurtat [14]	44	<u>26</u>
Fig.4.4	Coordonate carteziane și elipsoidale-adaptare [14]	44	<u>27</u>
Fig.4.5	Dificultăți ale parametrilor cheie în planificarea zborului-adaptare [20]	47	<u>28</u>
Fig.5.1	Relațiile între suprafețele de referință	49	<u>29</u>
Fig.5.2	Suprafețe de referință	49	<u>29</u>
Fig.5.3	Relațiile între altitudini	50	<u>30</u>
Fig.5.4	Variații ale altitudinilor	51	<u>30</u>
Fig.5.5	Modele de Geoid (sursa http://www.nasa.gov/)	51	<u>31</u>
Fig.5.6	Misiunea GRACE	52	<u>31</u>
	Japonia 11-martie 2011 (combinație date ESA-misiunea GOCE)	54	<u>33</u>
	<u>March 2013)</u>	55	<u>34</u>
	<u>(sursa:http://en.wikipedia.org/wiki/File:Geoid_height_red_blue.png)</u>	56	<u>35</u>
Fig.5.12	Sisteme de altitudini – adaptare [23]	59	<u>36</u>
Fig.5.13	Altitudini normale și ortometrice	61	<u>37</u>
Fig.5.15	Situația ETRF-89/EUREF -ianuarie 1995 [24]	63	<u>38</u>
Fig.5.16	Variația ondulației geoidului funcție de variația suprafeței terestre	64	<u>39</u>
Fig.5.17	Elipsoidul de rotație	66	<u>40</u>

Fig.5.21	Unirea cu precizie a ochiurilor prin triangulație	73	<u>43</u>
Fig.5.24-b	Reprezentarea izoliniilor pentru realizare MDT	75	<u>44</u>
Fig.5.25	Determinarea liniilor de pantă prin unirea perechilor cu ajutorul suprapunerilor-adaptare [29]	78	<u>45</u>
Fig.5.26	Reprezentarea suprafeței TIN cu elipsoidul de eroare atașat fiecărui punct-adaptare [4]	78	<u>45</u>
Fig.6.1	Bazinul hidrografic Someș-Tisa sursa:www.rowater.ro/Directiva20Inundatii	81	<u>47</u>
Fig.6.2	Bazinul hidrografic Crasna sursa: http://www.rowater.ro/Directiva20Inundatii	83	<u>48</u>
Fig.6.3	Transformarea tridimensională între 2 sisteme spațiale metoda HELMERT	86	<u>50</u>
Fig.6.4	Realizarea rețelei geodezice-bazin hidrografic Someș-Tisa	87	<u>51</u>
Fig.6.5	Identificare zona de studiu	99	<u>53</u>
Fig.6.8	Crearea modelului 3D și identificare puncte eronate din zona (a și b)	101	<u>53</u>
Fig.6.11-b	Reprezentarea prin izolinii a suprafeței cvasigeoidului	107	<u>56</u>
Fig.6.14	Date de referință: 40 profile transversale	109	<u>57</u>
Fig.6.15	Extragere valori altitudini	110	<u>58</u>
Fig.6.16	Asimetria negativă a erorilor	112	<u>59</u>
Fig.6.18	Datele de intrare pentru generarea valorilor normale	115	<u>60</u>
Fig.6.20	Extragerea punctelor în funcție de Buffer	116	<u>61</u>
Fig.6.22	Surse de erori	117	<u>62</u>
Fig.6.24	Diferențe între altitudinile punctelor din profilul transversal 46	118	<u>62</u>
Fig.6.25	Testarea diferențelor altitudinilor pentru cele 2 seturi de date-P17	120	<u>63</u>
Fig.6.27	Clase de elemente	122	<u>64</u>
Fig.6.31	Parametri celulei Raster	124	<u>65</u>
Fig.6.32	Suprapunere puncte LiDAR peste Raster	124	<u>65</u>
Fig.6.33	Date de referință-puncte testate	125	<u>66</u>
Fig.6.35	Identificare folosință a) și b)	126	<u>67</u>
Fig.6.38	Graficul erorii RMSE în funcție de Categoria de Acoperire Teren	128	<u>68</u>

Lista tabelelor

Tabelul 2.1	Parametrii sistemului IMU(Performance data of a high-end IMU)	21
Tabelul 2.2	Parametri caracteristici pentru sistemul lidar aerian batimetric: a)-modul hidrografic, b)-modul topografic	33/(20)
Tabelul 2.3	Principalele caracteristici ale unor scanere din cele două clase	35/(21)
Tabelul 5.1	Preocupări asupra determinării undulațiilor geoidului în România	58
Tabelul 5.2	Rețeaua gravimetrică de ordinul 1	62
Tabelul 6.1	Coordonate zona cvasigeoid	102
Tabelul 6.2	Coordonate zona cvasigeoid	103
Tabelul 6.3	Rezultate comparative ale diferențelor între cvasigeoid și geoid	104/(55)
Tabelul 6.4	Erorile altitudinilor LiDAR	111/(58)
Tabelul 6.5	Testarea rezultatelor distribuției altimetrice	113/(30)
Tabelul 6.6	Valori caracteristice Categoriilor de Acoperire Teren	128/(68)

Mulțumiri

Pentru realizarea acestei lucrări am avut sprijinul permanent al domnului prof. univ. dr. ing. Cornel PĂUNESCU, căruia îi mulțumesc pentru sprijinul, sfaturile și răbdarea acordate în toată această perioadă.

De asemenea, mulțumesc domnului Decan al Facultății de Geologie și Geofizică, prof. univ. dr. ing. Victor MOCANU, domnului director al Școlii Doctorale de Geologie, prof. univ. dr.ing. Daniel SCRĂDEANU, celorlalți profesori din facultate pentru sprijinul acordat pe întreaga perioadă de pregătire a tezei de doctorat.

Cu respect mulțumesc membrilor comisiei de doctorat care au avut bunăvoința să citească și să aprecieze această lucrare, formată din:

Președinte, prof. univ. dr. ing. Victor MOCANU

Referenți:

1. prof. univ. dr.ing. Daniel SCRĂDEANU ,
2. prof. univ. dr. ing. Raluca Margareta MANEA, U.S.A.M.V.B – F.I.F.I.M
3. prof. univ. dr. ing. Alexandru BADEA, , U.S.A.M.V.B – F.I.F.I.M

și comisie de îndrumare pentru sprijinul acordat pe perioada realizării tezei de doctorat, formată din:

1. prof. univ. dr. ing. Victor MOCANU, Facultatea de Geologie
2. conf. univ. dr. ing. Ioan NOAJE, U.T.C.B.-Facultatea de Geodezie
3. dr. cercetător Manuel VAIS, Centrul GEOMATICA

Le mulțumesc pentru sprijinul acordat domnului Decan al Facultății de Îmbunătățiri Funciare și Ingineria Mediului, conf. dr. Răzvan TEODORESCU, conf. dr. ing. Gabriel POPESCU, dl.prof. dr.ing. Sorin CÎMPEANU, doamnei prof. dr. ing. Ana VÎRSTA, șl.dr. ing. Mihai DORU, conf. dr. ing. Augustina TRONAC din cadrul aceleiași facultăți.

În același timp doresc să mulțumesc pentru ajutorul, și schimbul de idei constructive colegilor șl. dr.ing. Daniela DOCAN și asist. dr. ing. Vlad OLTEANU.

Cu respect mulțumesc pentru sprijinul și ajutorul acordat la efectuarea lucrărilor de teren echipei TOPOEXIM, în special colegilor ing. Dragoș NECULA și ing. George MERCIU.

Prezenta lucrare este structurată în șapte capitole , începând cu utilitatea studiului apoi capitolele 1 până la 5 sunt destinate noțiunilor teoretice. Capitolul 6 aferent studiului de caz demonstrează utilitatea tehnologiilor laser (tehnologia LiDAR). O problemă importantă o constituie obținerea altitudinilor punctelor din măsurători folosind tehnologia LiDAR referite la elipsoidul GRS80 și transformarea acestora într-un sistem unitar și coerent pe întreg bazinul hidrografic Someș Tisa. Un alt obiectiv al studiului a fost de a estima obținerea modelului digital al terenului, unde a fost necesar ca pe lângă realizarea rețelei geodezice de sprijin să se efectueze măsurători GNSS suplimentare pentru determinarea altitudinilor.

Capitolul 1, “*PRINCIPIILE SCANĂRII LASER 3D*”, prezintă modul în care radiația electromagnetică se comportă în raport de obiectele pe care le întâlnește atunci când este dirijată spre aceste obiecte. Suprafețele absorb anumite părți ale spectrului electromagnetic reflectând în același timp la anumite lungimi de undă.

Capitolul 2, “*LIDAR AEROPURTAT: INSTRUMENTE, ACHIZIȚIA ȘI UTILIZAREA DATELOR*”, este prezentat modul în care se utilizează un asemenea sistem și cum sunt prelucrate datele.

Capitolul 3, “*STRUCTURI DE DATE*”, se referă la un mod optim de a gestiona milioanele de puncte (norul de puncte) rezultate dintr-o scanare laser.

Capitolul 4, “*GEOMETRIA SISTEMULUI DE SCANARE LASER AEROPURTAT*”, prezintă modul în care se poate ajunge de la norul de puncte preluate în sistem laser (senzor) la coordonatele utilizate într-o țară (cazul României Stereografic 1970).

Capitolul 5, “*SUPRAFEȚE DE REFERINȚĂ ȘI OBȚINEREA MDT*”, este complex din punct de vedere teoretic și pregătește studiul de caz. Prima suprafață de referință este, firește, geoidul. În țara noastră se utilizează cvasigeoidul, o suprafață de referință mai ușor de calculat. Important este modul în care se calculează undulațiile geoidului sau, respectiv, anomaliile altitudinilor.

Capitolul 6, “*STUDIU DE CAZ*” Unul dintre obiectivele studiului a fost de a estima obținerea modelului digital al terenului, unde a fost necesar ca pe lângă realizarea rețelei geodezice de sprijin să se efectueze măsurători GNSS suplimentare pentru determinarea altitudinilor.

Parte importantă a studiului își propune să prezinte principalele aspecte legate de evaluarea calității datelor altimetrice ale Modelul Digital al Terenului (MDT), obținut din scanarea laser aeriană. Lucrarea se referă la date colectate pe râul Crasna, zona de nord-vest a subbazinului Crasna unde au fost efectuate zboruri atât cu elicopterul pe cursul râului Crasna cât și cu avionul pentru restul zonei.

În **Capitolul 7**, sunt prezentate concluziile contribuțiile personale și preocupările viitoare.

Utilitatea Studiului

Tehnologia LiDAR de scanare cu laser, (constituie scopul tezei de doctorat), se bazează pe tehnica măsurării cu laser asociată cu un cuplu GNSS/IMU (sistem satelitar de navigație globală/unitate inerțială de măsurare) atașat pe o platformă aeriană. O caracteristică certă a utilizării tehnologiei LiDAR este aceea că poate achiziționa, procesa și livra datele într-un format digital, exemplu tipic de tehnologie geomatică. Acest lucru face ca sistemul să poată crea seturi de date ce îndeplinesc o gamă largă de lucrări și aplicații.

Seturile de date LiDAR sunt o componentă importantă a sistemelor informaționale de colectare a datelor. Cea mai simplă formă de date LiDAR este fișierul în format ASCII, coordonate (x,y,z), acestea corespund poziției 3D a traiectoriei de întoarcere a fascicului laser. Aceste răspunsuri sunt asociate pozițiilor pentru orice obiect pe care raza laser a atins-o și a fost reflectată. Datele cantitative și calitative oferite de această tehnologie pot furniza informații suplimentare privitoare la starea vegetației, studii necesare studiului riscului la incendii forestiere, calitatea mediului (*poluarea*), construcții cu regim special (*conducte, poduri, linii de înaltă tensiune*), amenajarea bazinelor hidrografice (*evaluarea impactului inundațiilor*), gestionarea activelor de infrastructură (*rețele rutiere și feroviare, rețele de telefonie*), inventarierea terenurilor ș.a.

Studiul are ca obiectiv principal necesitatea realizării unui model digital al terenului (MDT) în vederea cartografierii cât mai exacte a terenului utilizând tehnologia LiDAR aeriană. Sistemul aerian de colectare a datelor LiDAR oferă mai multe avantaje față de studiile topografice convenționale care sunt necesare, dar consumatoare de timp. Colectarea și transferul de date cu această tehnologie duce la o mai bună prelucrare a datelor dar și gestionarea eficientă a datelor. Unul din scopul cercetării este de a determina altitudini normale cu eforturi minime folosind tehnologia GNSS corelată cu măsurători provenite din nivelmentul geometric, cu precizie ridicată. Dar, pe de altă parte determinările provenite din măsurătorile de nivelment geometric necesită timp îndelungat de măsurare, număr mare de echipe implicând costuri ridicate, astfel că modalitatea de obținere a altitudinilor normale (cvasigeoid) folosind tehnologia GNSS ar fi cunoașterea unui model de cvasi(geoid) pentru zona de lucru.

O altă etapă a studiului își propune să prezinte principalele aspecte legate de evaluarea calității datelor altimetrice ale Modelul Digital al Terenului (MDT), obținut din scanarea laser aeriană (tehnologia LiDAR). Lucrarea se referă la date colectate pe râul Crasna, zona de nord-vest a subbazinului Crasna.

În ultimul deceniu s-au făcut mari progrese a metodelor de scanare laser aeriană și aplicațiilor acestora pentru realizarea MDT. În principal se cer informații actualizate aferente terenului, vegetației, clădirilor, resurselor naturale, impactul asupra mediului și populației, sit-uri arheologice.

În conformitate cu Directiva 60 din 2007 a Parlamentului European privind managementul riscului la inundații, la capitolul V, articolul 9 se solicită dezvoltarea primelor hărți de hazard și de risc de inundații și revizuirea ulterioară a acestora.

Pentru o evaluare preliminară a riscului de inundații și evitarea potențialelor consecințe negative ale viitoarelor inundații sunt necesare informații (date) și studii privind evoluția pe termen lung a efectelor schimbărilor climatice.

Astfel, în funcție de cerințele unui studiu în afară de obținerea MDT-ului pot fi atașate și alte dispozitive suplimentare (*imagini termice*).

1. PRINCIPIILE SCANĂRII LASER 3D

Radiația electromagnetică (inclusiv lumina) manifestă proprietățile undelor și particulelor.

Este caracterizată de lungimea de undă, frecvență și intensitate.

Ecuția (1) exprimă lumina formată din fotoni care nu au masă dar au energia E invers proporțională cu lungimea de unda λ.

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \tag{1}$$

unde h=constanta Planck(6,6262 10⁻³⁴J.s) și c=viteza luminii(299.792.458 m/s).

Figura 1.1 descrie clasificarea radiației electromagnetice în funcție de lungimea de undă.

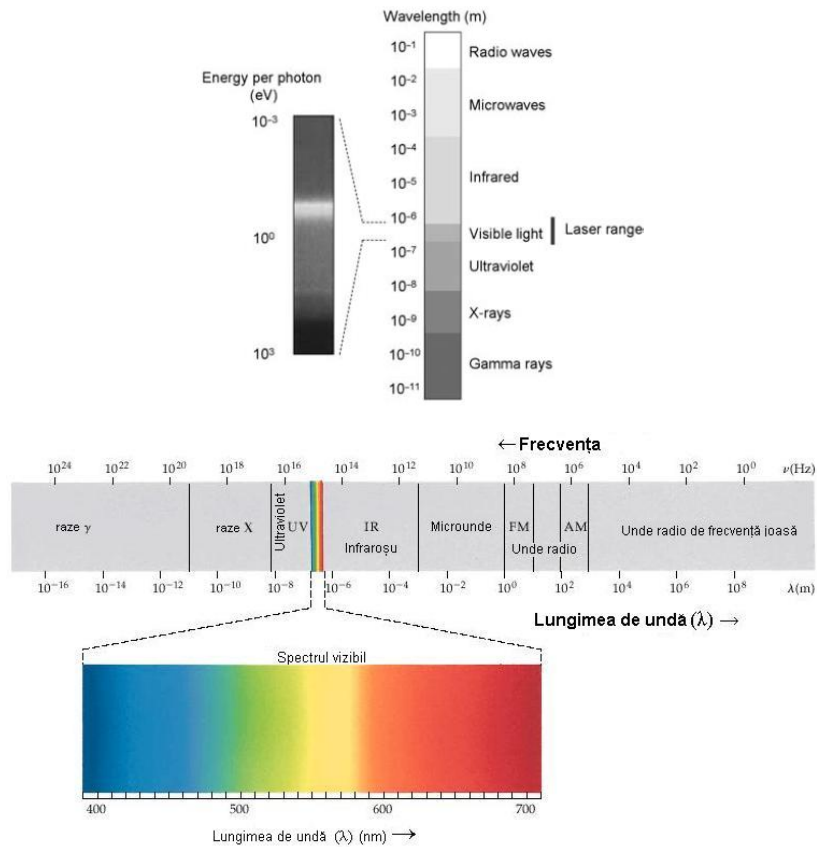


Fig.1.1 Spectrul electromagnetic și lungimea de undă pentru laser [1]

Spectrul vizibil se află între lungimile de undă 400nm și 700nm. Intervalul laser se întinde între zona infraroșu și ultraviolet al spectrului electromagnetic.

Lumina este emisă pe traiectorii diferite; când aceasta atinge obiectul, o parte din radiația electromagnetică este reflectată de suprafața acestuia.

Raportul dintre radiația reflectată și cea primită de suprafață definește reflectivitatea. O suprafață reflectă (R_λ), transmite (T_λ) și/sau absoarbe (A_λ) energia (E) radiației incidente (I_λ) primită, conform Ecuției 2.

$$E_{I_\lambda} = E_{T_\lambda} + E_{A_\lambda} + E_{R_\lambda} \tag{2}$$

unde λ=lungimea de undă a radiației electromagnetice.

Pentru majoritatea suprafețelor, cu cât crește unghiul de incidență cu atât crește cantitatea de lumină reflectată. Acest efect este pronunțat pentru suprafețele reflectoare sau lucioase (exemplu: la răsărit sau apus când lumina soarelui lovește suprafața apei). Din Ecuația 2 reiese că gradul de reflexie depinde de lungimea de undă.

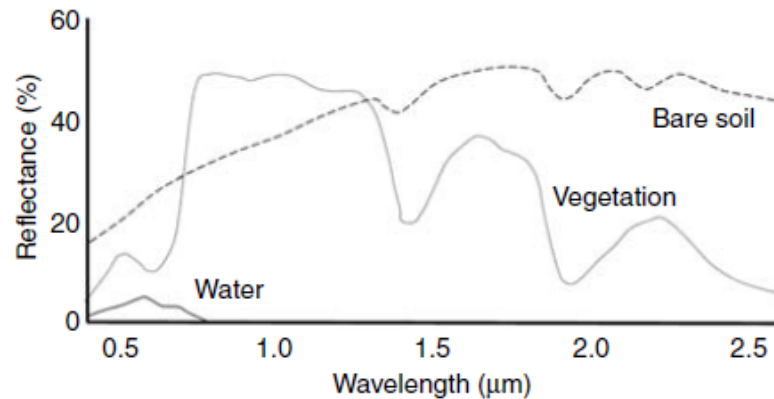


Fig.1.3 Reflectanța solului, apei și vegetației mixte[1]

Suprafețele absorb anumite părți ale spectrului electromagnetic reflectând în același timp la anumite lungimi de undă (Figura 1.3). Rezultatele absorbției și reflectanței sunt culorile pe care le vedem în spectrul vizibil. LiDAR (**L**ight **D**etection **A**nd **R**anging/**D**etectarea **u**ndelor **e**lectromagnetice (**l**uminii) și **d**eterminarea **d**istanței) este o tehnică a teledetecției care utilizează proprietățile luminii dispersate pentru a determina anumite caracteristici ale obiectelor aflate la distanță. Synge[1930] a fost primul care a afirmat că se poate determina densitatea unui fascicul de lumină prin detectarea dispersiei acestuia în atmosferă.

Sistemele scanner se pot clasifica în trei tipuri având diferite funcții:

1. LiDAR cu Absorbție Diferențială (DIAL-Differential Absorption LiDAR) - măsoară concentrația elementelor chimice din atmosferă utilizând două lungimi de undă ale luminii laser[1];

2. LiDAR Doppler - măsoară viteza unui obiect pe baza schimbărilor lungimii de undă și frecvenței pentru semnalul returnat de obiectul aflat în mișcare [1];

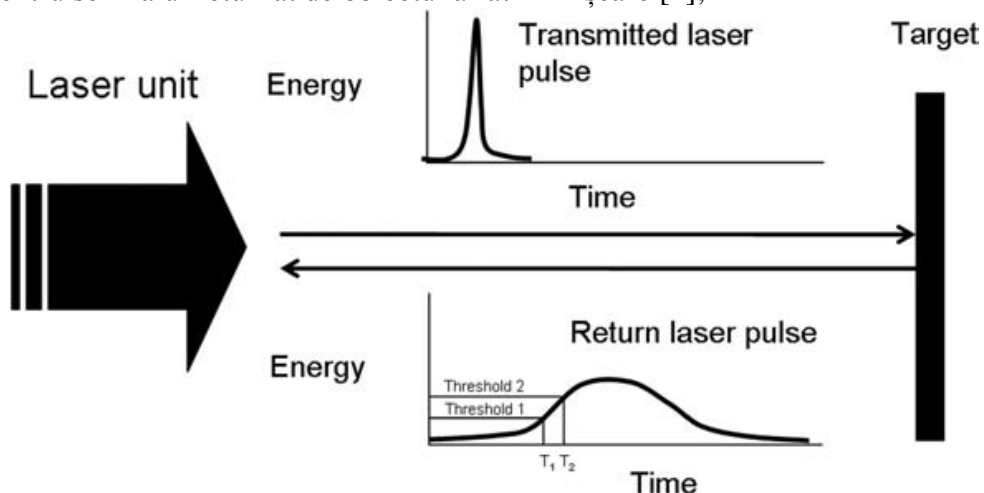


Fig.1.10 Influența pulsului laser asupra timpului de zbor pentru sistemele cu pulsuri LiDAR;[1]

3. LiDAR cu împrăștiere retrogradă - se referă la reflexia particulelor sau undelor în direcția emisie fasciculului; o parte din pulsul laser se reîntoarce la instrument determinându-se timpul de zbor dus-întors al semnalului care împreună cu relația (3) și cu informația optico-geometrică a instrumentului se determină poziția 3D în spațiu a obiectului vizat [1].

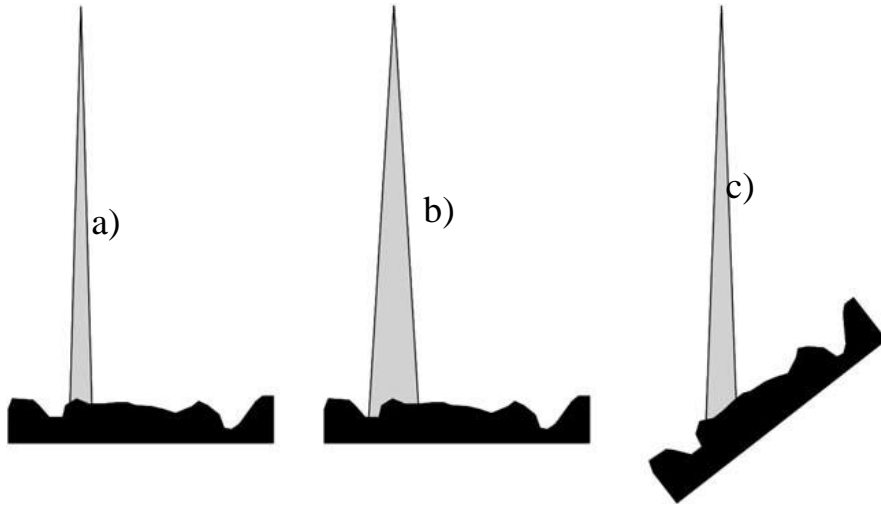


Fig.1.11 Influența divergenței fasciculului asupra
 a) fascicul cu deschidere mică pe un teren orizontal
 b) deschidere mai mare pe teren orizontal și
 c) deschidere mică pe un teren în pantă - pentru sistemele cu pulsuri LiDAR [1] pag.32

$$d = \frac{c \cdot t}{2} \quad (3)$$

unde c =constantă, viteza luminii și t =timpul de parcurgere dus-întors a pulsului emis.

2. LiDAR AEROPURTAT: INSTRUMENTE, ACHIZIȚIA ȘI UTILIZAREA DATELOR

Evoluția tehnologiilor în ultima jumătate de secol a dus la progrese în domeniul electronicii cu semiconductori, fotonicii, domeniul IT și graficii (modele digitale) făcând posibilă dezvoltarea tehnologiei de scanare cu laser terestre și aeriene de precizie. Astfel, posibilitatea de prelucrare a norilor denși de puncte într-un mod eficient și rentabil a facilitat o multitudine de aplicații privitoare la achiziția de date 3D în domenii cum ar fi: topografia, mediu, controlul proceselor industriale, patrimoniul cultural, evaluarea resurselor forestiere.



Fig.2.1 Principiile specifice tehnologiei LiDAR-ului aeropurtat [1]

2.1 Tehnologia de scanare cu laser-stadiul actual

LiDAR, (Light Detection And Ranging), este o tehnologie de detectare prin senzori la distanță în continuă dezvoltare din industria de teledetectie. LiDAR este considerat un instrument activ de teledetectie întrucât are sursă de energie proprie. Acesta utilizează sursa proprie de energie pentru a ilumina o țintă pentru a obține măsurători sigure fără a avea contact fizic direct. Este similar cu alte tehnologii active cunoscute de teledetectie precum RADAR (Radio Detection and Ranging) și SONAR (Sound Navigation and Ranging). Deosebirea între fiecare dintre aceste tehnologii o constituie sursa de energie care este utilizată pentru a efectua măsurătorii. În timp ce RADAR utilizează energie în secțiunea de microunde a spectrului electromagnetic și SONAR utilizează energia sunetului, LiDAR utilizează energia cu laser (amplificarea luminii prin emisia stimulată de radiații).

Sistemele 3D optice de măsurare, cu deschidere maximă (full-field), în general, pot fi împărțite în mai multe categorii (Figura 2.2). Scanerile cu laser aeropurtate și terestre fac, de obicei, parte din dispozitivele clasificate ca sisteme de măsurare optice 3D „time-of-flight” (bazate pe timpul de zbor). Aceste sisteme folosesc o sursă laser pentru a scana o suprafață, în scopul de a obține date la intervale scurte de timp [4].

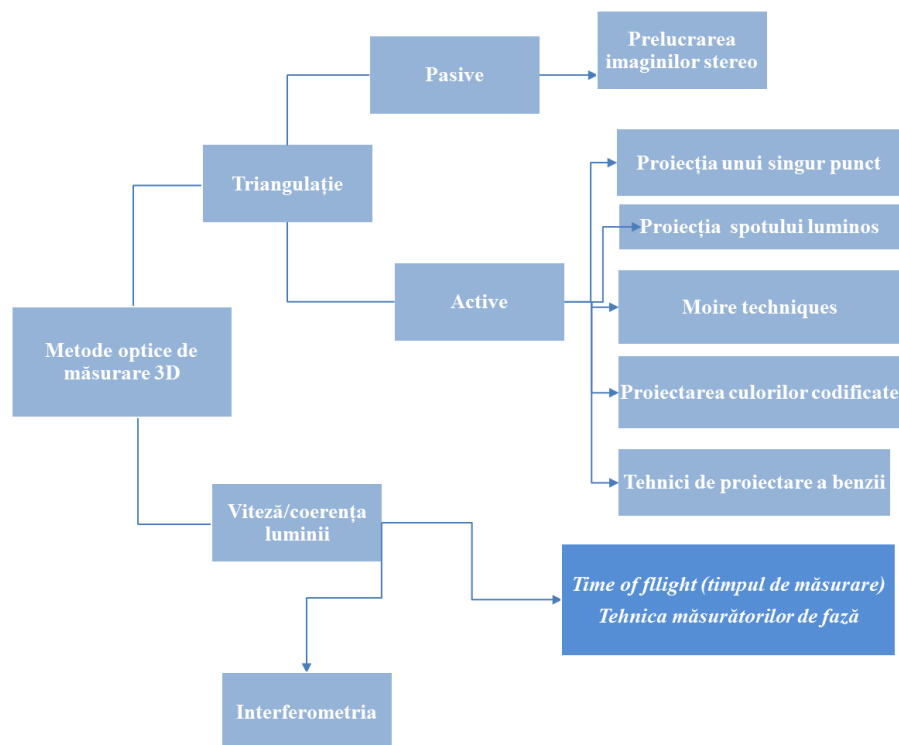


Fig.2.2 Clasificarea sistemelor optice de măsurare 3D 5]

LiDAR este utilizat de obicei pentru a furniza modele digitale ale terenului (MDT), deși există și alte aplicații. MDT-urile erau, de obicei, furnizate în trecut prin măsurători topografice terestre, analiza stereofotogrammetrică, și mai recent, prin intermediul radarului cu apertură sintetică (SAR). Topografia terestră, deși este exactă, consumă foarte mult timp și necesită accesul adecvat la teren. Analiza stereofotogrammetrică și radarul cu apertură sintetică pot furniza o soluție mai rapidă, deși perioadele de prelucrare sunt mari, exactitatea poate fi variabilă și spațierea punctelor este adesea rară. MDT-urile LiDAR sunt capabile să realizeze o spațiere a punctelor de mai mult de un punct pe metru pătrat, sunt mai exacte și necesită rutine de prelucrare mai puțin complicate. [Maune, 2007] descrie câteva aplicații comerciale:

- Silvicultură – Determinările LiDAR au abilitatea unică de a penetra golurile mici din coronamentul pădurii și, de asemenea, de a recepționa reveniri multiple de la un singur impuls. Atunci când observările sunt efectuate pe zone de vegetație, reveniri multiple ale pulsului pot fi utilizate pentru a descrie structura coronamentului, a stratului emergent și a detritusului pădurii. Aceasta oferă ocazia unei analize suplimentare a inventarului forestier întrucât se pot investiga înălțimea copacilor și densitatea vegetației. În plus, dacă sunt recepționate suficiente reveniri ale impulsului de la *detritusul* forestier, se poate obține un model al terenului (*teren neacoperit*).
- Inginerie de coastă – Zonele de contrast limitate, cum ar fi zonele de nisip, se dovedesc problematice pentru determinarea DSM-urilor (*modele digitale de suprafață*) prin abordări fotogrammetrice.
- Cartografierea coridorului sau traseului cu prioritate – majoritatea aplicațiilor LiDAR implică observarea suprafețelor mari de teren cu mai multe linii de zbor. Cu toate acestea, a apărut necesitatea de a cartografia coridoare liniare utilizate pentru a include conducte de gaz, autostrăzi, căi ferate, stâlpi și rețele de utilități, precum și echipamente de telecomunicații. În consecință infrastructura necesită studii după finalizare sau recunoaștere înainte de construcție. Acestea sunt efectuate, de obicei, cu un elicopter pentru că platforma este capabilă să răspundă schimbărilor bruște de direcție ale Evaluarea daunelor – tehnologia LiDAR poate fi implementată rapid după ce un eveniment important care a avut loc dăunează mediului sau zonelor dezvoltate. DSM-urile obținute pot fi utilizate pentru a

evalua daunele în scopuri de *asigurare*, de ajutor în *gestionarea dezastrelor* și de planificare pentru *reconstrucție*. Un studiu de acest gen a fost realizat la scurt timp după prăbușirea World Trade Center din New York, la 11 septembrie 2001. Această listă demonstrează că tehnologia a devenit un instrument important în industria de teledetecție și are un mare potențial de piață [4]. Cartografierea luncilor inundabile – În urma dezastrului cauzat de uraganul Katrina, *Federal Emergencies Management Agency* (FEMA), (Agenția Națională pentru Gestionarea Urgențelor), agenție guvernamentală pentru dezastre naturale și-a dat seama de necesitatea imediată de a crea modele digitale ale suprafațelor (*DSM*) luncilor inundabile de-a lungul întregii coaste a Statelor Unite. Ca urmare, FEMA a dezvoltat, la nivel intern “Specificațiile LiDAR pentru cartografierea riscurilor de inundații”, care prezintă în detaliu practicile și procedurile standard necesare pentru cartografierea detaliată a luncilor inundabile cu ajutorul LiDAR.

- Modelare urbană - modelarea tridimensională a zonelor urbane poate fi utilizată pentru o varietate de aplicații. De obicei, distorsiunile geometrice și umbrele pe structuri înalte provoacă dezavantaje atunci când se încearcă modelarea centrelor urbane prin metodele SAR sau fotogrammetrice. LiDAR evită aceste probleme datorită spațiilor dense între puncte și dimensiunii mici a amprentei.

2.2 Principiile de măsurare de bază ale scanerelor cu laser Există două metode *active* de bază pentru măsurarea optică a unei suprafețe 3D: *estimarea timpului de tranzit al luminii* și *triangulația*. Undele luminoase se deplasează cu o viteză cunoscută într-un anumit mediu. Astfel, măsurarea întârzierii temporale creată de lumina care se deplasează de la o sursă la o suprafață țintă reflexivă și înapoi la un detector de lumină oferă o metodă foarte convenabilă pentru evaluarea distanței. Aceste sisteme sunt, de asemenea, cunoscute ca sisteme *time-of-flight* sau LiDAR (*light detection and ranging*). Cuantificarea timpului de zbor (*time-of-flight*) poate fi, de asemenea realizat indirect prin intermediul măsurării continue a fazei de undă laser – CW (*continuous wave*). Prin folosirea legii cosinusului, triangulația (Figura 2.3) construiește un triunghi utilizând o direcție de iluminare (unghi) îndreptată spre o suprafață reflectorizantă și o direcție de observare de la sursa de iluminare.[5]

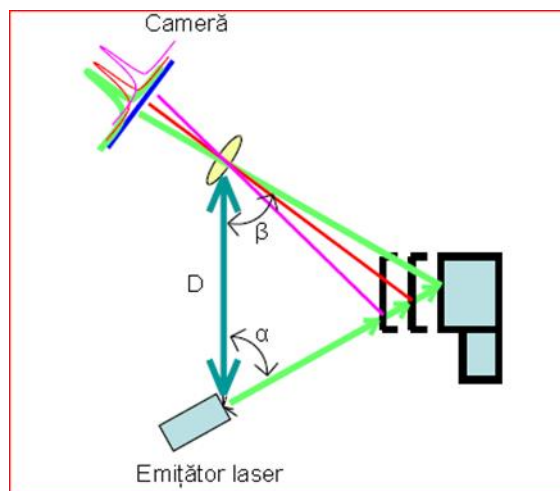


Fig.2.3 Măsurători bazate pe triangulație[6]

2.3 Principiile fundamentale ale scanării cu laser

La începutul anilor 1970, sistemele LiDAR aeropurtate erau capabile să măsoare distanțele dintre aeronave și țintele terestre la o precizie mai mică de 1 m. Cu toate acestea, sistemele altimetru cu laser nu au fost utilizate pe scară largă pentru cartografiere topografică exactă în principal din două motive.

Au fost efectuate cercetări pentru a determina altitudinea aeronavei prin înregistrarea datelor de presiune cu un altimetru-barometru aneroid precis de aeronavă [Arp, 1982] și accelerometre verticale [Walsh, 1984; Krabill și alții, 1984].

Controlul orizontal este un proces greu deoarece este făcut după zbor prin intermediul fotografiilor cu indicarea orei (time-tagged) și rareori prin intermediul IMU. Odată cu disponibilitatea GPS-ului(global positioning system), la sfârșitul anilor 1980 a fost elaborată o metodă care permite înregistrarea precisă a poziției și orientării pe zone mai mari.

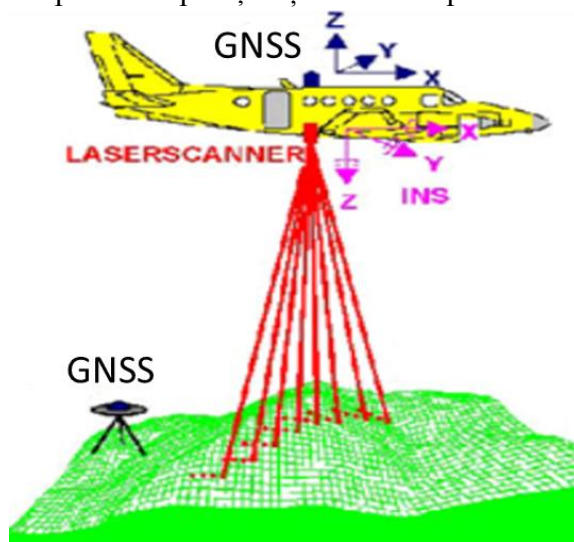


Fig.2.4 Colectarea datelor LiDAR aeriane [7]

La începutul anilor 1990, aceste dispozitive (profilere) au fost înlocuite de dispozitive de scanare care generau între 5000 și 10000 de impulsuri laser pe secundă în acel moment. În prezent, ratele de impuls cu laser ajung la 300 kHz, însă, în funcție de tipul mecanismului de scanare, 100% din rata impulsului instrumentului, poate să nu fie cu adevărat disponibilă pe teren.[5]

Scanarea cu laser aeropurtat este în prezent o tehnică obișnuită pentru generarea modelelor 3D de calitate superioară (*modele digitale de elevație*) ale terenului (Figura 2.4) care vor prezenta principiul și componentele scanării cu laser aeropurtat.

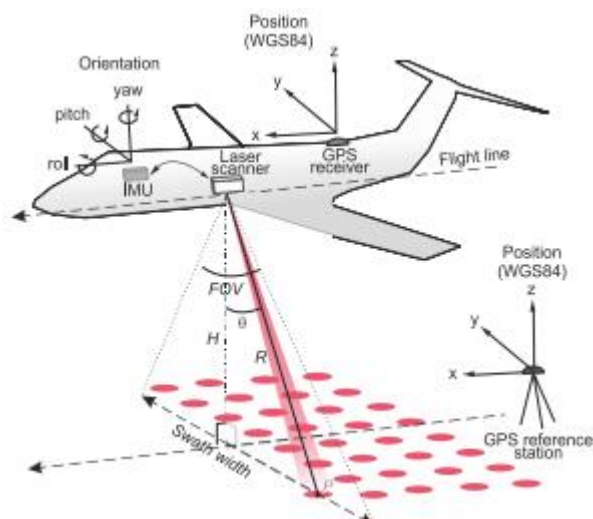


Fig.2.5 Geometria și componentele unui sistem ALS (Airborne laser scanning) [8]

Caracteristicile acestei tehnici de măsurare cu laser aerian sunt disponibile comercial și sunt operaționale, precum și preciziile și limitările. Caracteristicile

specifice de calibrare, prelucrare a datelor obținute și de generare a produselor sunt prezentate de Lemmens (2009).

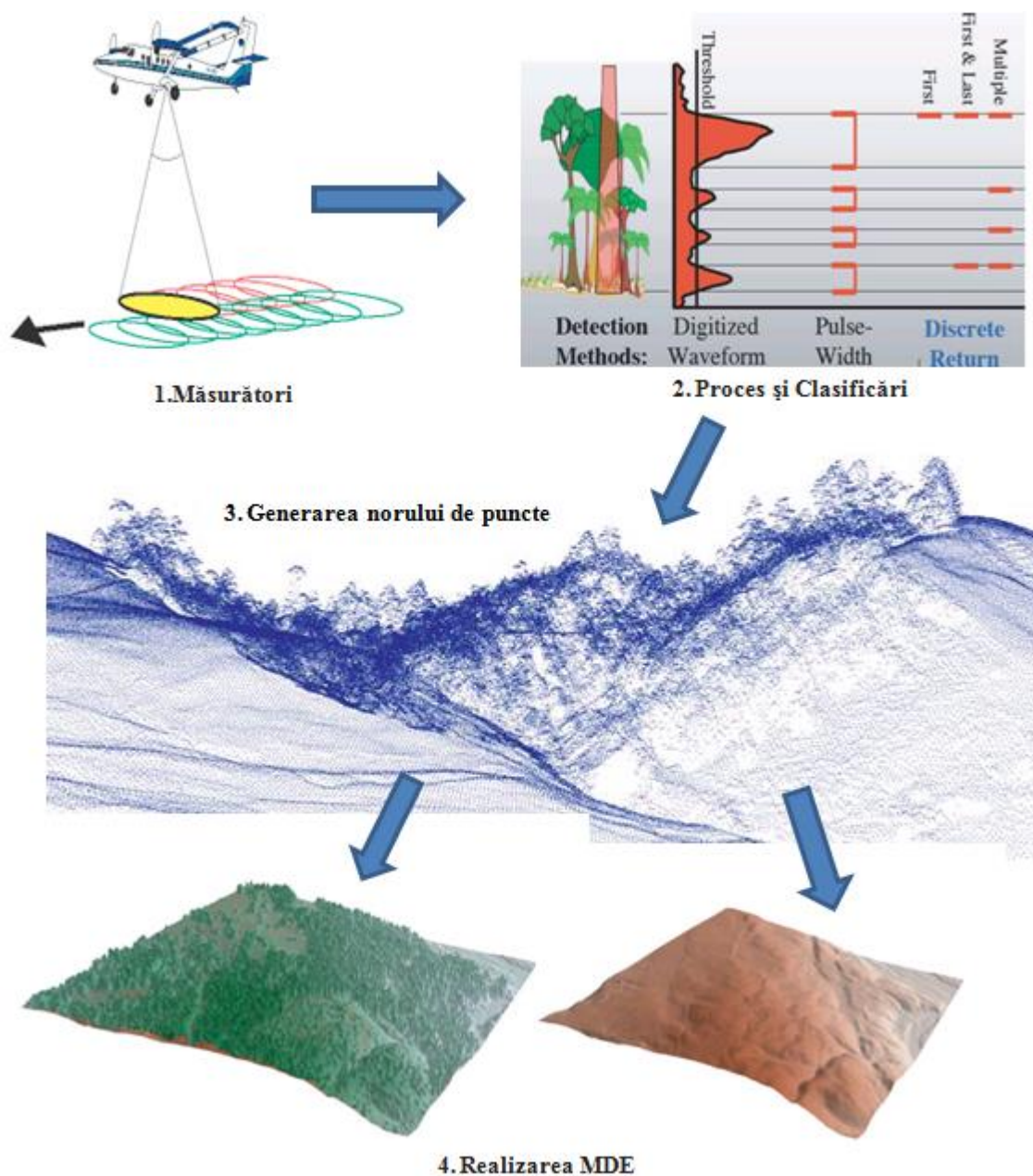


Fig.2.6 Achiziția datelor LIDAR aeriene și fluxul de lucru [9]

Prelucrarea datelor constă din parcurgerea a patru etape:

1. achiziția datelor aeriene-scanner, IMU, și GNSS (modificat de R.Haugerud, USGS: http://duff.geology.washington.edu/data/raster/lidar/About_LIDAR.html)
2. procesarea distanțelor cu laser, date GNSS și IMU pentru a generarea norului de puncte LiDAR (modificat de Harding, 2006)
3. generarea norului de puncte clasificat
4. generarea modelului digital al terenului și de vegetație

2.3.1 Principiul scanării cu laser aerian

Scanarea cu laser aeropurtat se face dintr-un avion, un elicopter sau UAV (Unmanned Aerial Vehicle-Vehicul Aerian Fără Pilot-dronă). Tehnica se bazează pe două componente principale: *un sistem de scanare cu laser* care măsoară distanța până la un punct pe teren iluminat de laser și cuplul *GNSS/IMU* pentru a măsura exact poziția și orientarea sistemului. Sistemele active bazate pe scanarea cu laser sunt relativ independente de lumina Soarelui. Pot fi acționate în timpul zilei sau în timpul nopții. Această caracteristică este un avantaj considerabil al scanării cu laser aeropurtat, în comparație cu alte metode de cartografiere a terenurilor.[7]

- **Ansamblul scannerului** conține laserul, mecanismele de scanare și componentele optice. Sistemul laser (un sistem de măsurare cu impulsuri în timpul zborului), montat într-o cavitate din fuzelajul aeronavei, care trimite continuu impulsuri spre teren în timp ce aeronava zboară. În funcție de viteza aeronavei și înălțimea de zbor, tehnologia actuală permite densități ale măsurătorilor între 0,2 și aproximativ 50 puncte/m².

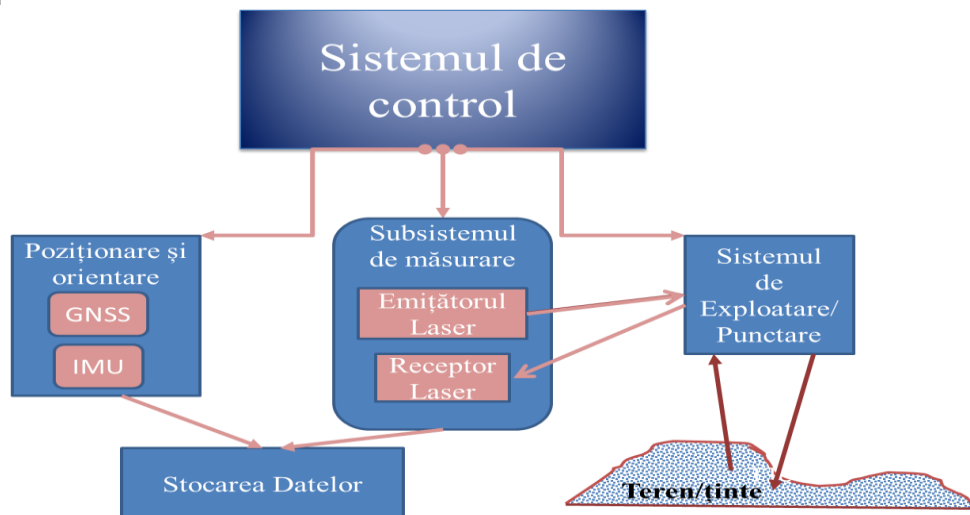
- **Antena GNSS aeropurtată:** Acest dispozitiv este o antenă cu frecvență dublă care înregistrează semnale GNSS la o rată de eșantionare de 2 Hz. Antena este montată într-o poziție vizibilă în partea superioară a aeronavei, oferind o deschidere suficientă spre sateliții GNSS.

- **Unitate de măsurare inerțială (IMU):** IMU este fixată direct pe scannerul laser sau aproape de acesta pe o platformă de studiu stabilă. De obicei, aceasta înregistrează datele de accelerare și de poziție la o rată de eșantionare de 200 Hz.

- **Unitatea de control și înregistrare a datelor:** acest dispozitiv este responsabil cu sincronizarea timpului și controlul întregului sistem. Înregistrează intervale (distanțe variabile) și poziția colectate de scanner, IMU și GNSS.

- **Operator IT:** acesta are rolul de a realiza comunicarea cu unitatea de control și înregistrare a datelor pentru a configura parametrii misiunii și a monitoriza performanța sistemului în timpul studiului.

- **Sistem de gestionare a zborului:** acesta este un mijloc pentru pilot de a prezenta liniile de zbor planificate anterior, care oferă suport pentru acesta în vederea finalizării misiunii.[5]



Componentele LIDAR -adaptare

NGA STANDARDIZATION DOCUMENT NGA.SIG.0004_1.1,2011-08-01

Fig.2.7-b Componentele LiDAR

2.3.2 Integrarea sistemului de bord

Pentru a integra/transforma cu precizie, GNSS, IMU și datele laser, trebuie să fie cunoscută relația spațială dintre asamblul scannerului, IMU și antena GNSS. Desigur, dependențele dintre cele trei sisteme trebuie să fie, de asemenea, cunoscute cu precizie. Sincronizarea timpului se realizează prin semnalul PPS (impulsuri pe secundă) al GNSS, care declanșează ceasurile interne ale scannerului laser și IMU.

În scopul de a integra relațiile spațiale pentru platforma de studiu, va fi definit un sistem de coordonate. Parametrii de translație (Δx , Δy , Δz) dintre diverse sisteme de coordonate ale antenei GNSS, IMU și ansamblul scannerului sunt determinați prin studierea exactă a vectorilor dintre originile diverselor unități și cele cu privire la platforma de studiu. Această operație se poate efectua printr-un studiu terestru deoarece o precizie de $\pm 0.01\text{m}$ este suficientă.

În final, dar nu în ultimul rând, calitatea calibrării poate fi verificată în timpul prelucrării datelor (generarea unui nor de puncte) și poate fi corectată dacă este necesar.[5]

2.3.3 Cuplul GNSS/IMU (Global Navigation Satellite System/Inertial Measurement Unit)-Sistemul Global de Navigație prin Satelit/Unitatea de Măsurare Inerțială

Așa cum am prezentat mai sus, GNSS și IMU sau INS (Inertial Navigation System-Sistemul Inerțial de Navigare) sunt utilizate pentru a reconstrui traiectoria de zbor. Datele GNSS sunt prelucrate prin metode GNSS diferențiale pentru a obține informații exacte pentru pozițiile de zbor pe întreaga durată a zborului. Prin urmare, de exemplu, o viteză de zbor de 70 m/s și un rezultat al ratei de înregistrare GNSS de 2 Hz rezultă o spațiere de 35 m la care pozițiile sunt disponibile. Fuzionarea rezultatelor de măsurare GNSS și IMU rezultă într-un set optim de date de altitudine și poziție denumite uneori (SBET) „*smoothed best estimated trajectory*” (traiectoria plană estimată cel mai bine). Dacă datele de altitudine și poziție au fost interpolate la 800 Hz, poziția și orientarea sunt disponibile la intervale de aproximativ 0,09 m (la viteza unei aeronave de 70 m/s). Folosind prelucrarea GNSS/IMU obișnuită, coordonatele platformei pot fi reconstituite cu precizie de 10 cm. Decalajul acestor date, poate fi eliminat în timpul prelucrării datelor prin compensarea benzii pe baza reperilor.[5]

2.3.4 Proprietățile scannerului laser

Sistemele laser aeropurtate comerciale pentru aplicații terestre operează cu lungimi de undă între 800 nm și 1550 nm.

La aproximativ 1550 nm, reflexia gheții și a zăpezii este scăzută, prin urmare, scanerul care are asemenea lungimi de undă nu vor fi alese la scanarea terenurilor acoperite de zăpadă. (Figura 2.8)

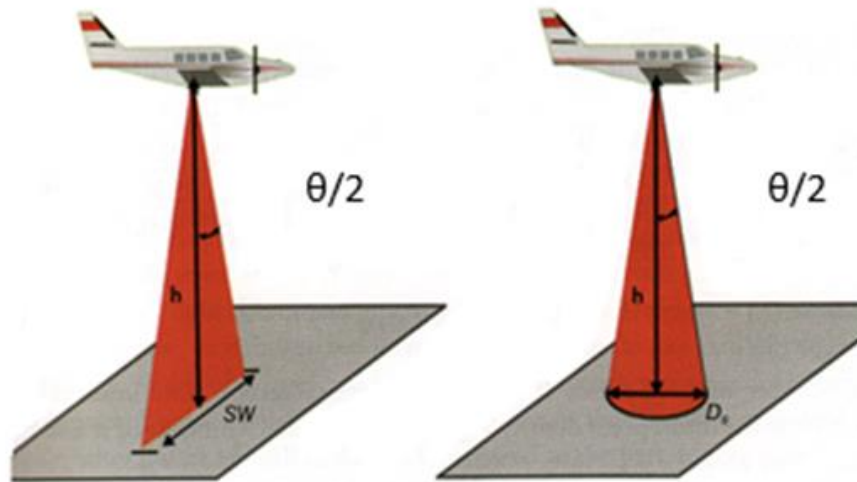


Fig.2.8 Lățimea amprentei laser[5]

Scanerile aeropurtate permit unghiuri între aproximativ 5° și 75° . Astfel, lățimea benzii va fi 574 m la o înălțime de zbor de 1000 m și un unghi de scanare de 32° .

$$sw = 2h \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (2.1)$$

Lățimea fascicului laser crește cu distanța la care se găsește scannerul laser, iar relația (2.2) descrie diametrul D_s al amprentei iluminate pe sol.

$$D_s = 2h \tan\left(\frac{\gamma}{2}\right) \quad (2.2)$$

unde γ (*unghi maxim-fully angle*) reprezintă divergența fascicului și h înălțimea deasupra solului, presupunând că forma spotului este un cerc (Figura 2.8). De obicei, divergențele fascicului sunt între 0,1 mradiani și 1 mradiani. Prin urmare, amprenta va fi de 0,2 m la o înălțime de zbor de 1000m și o divergență de 0,2 mradiani.

2.3.5 Frecvența de repetiție a impulsurilor și densitatea punctelor

În anii 1990, majoritatea sistemelor LiDAR de bord erau caracterizate de frecvențe de repetiție a impulsurilor (PRF) în intervalul kHz scăzut. Cu creșterea PRF, a crescut, de asemenea, densitatea punctului laser pe teren.

O frecvență de repetiție a impulsului de 80 kHz și o viteză de croazieră de 70 m/s rezultă o densitate medie a punctelor de aproximativ 2 puncte/m².

Din relația (2.4), putem observa două aspecte:

- P_M este doar o descriere matematică care sugerează o distribuție omogenă a măsurătorilor pentru aria F . În realitate, distribuția punctelor nu este neapărat omogenă, depinde de modelul de scanare (mecanismul de scanare) și topografia suprafeței.

- În general, frecvența maximă de repetiție a impulsurilor disponibilă nu este o figură fixă, dar depinde de înălțimea de zbor h . Motivul este constrângerea legată de ambiguitate, precum și echilibrul dintre energia impulsului și rata de repetiție.

Așadar, sistemele time-of-flight bazate pe acest principiu au un interval de

ambiguitate inerent p dat de relația :

$$\rho_{\max-p} = \frac{c}{2} \frac{1}{PRF} \quad (2.5)$$

De exemplu pentru valoarea $PRF=10.000$, $\rho_{\max-p}$ este echivalent cu un interval de 15 km, care acoperă practic toate aplicațiile terestre și aeriene. Prin urmare în cazul scannerelor laser aeropurtate și o frecvență de repetiție a impulsurilor de 200.000 Hz, $\rho_{\max-p}$ este echivalent cu doar 0,75 km, ceea ce înseamnă că intervalele dincolo de 750 m pot conduce la ambiguități. Așadar, relația între rata maximă a impulsurilor și înălțimea de zbor trebuie să fie luată în considerare atunci când se planifică un zbor de studiu.

Analizând parametrii de performanță ai sistemelor LiDAR actuale se observă că sistemele de operare în modul cu impulsuri multiple trimit un număr dublu de impulsuri față de modul cu un singur impuls [5].

2.3.6 Ecouri multiple și digitizarea formei lungimii de undă

Numărul și forma semnalului ecourilor returnate depinde de tipul și orientarea suprafeței iluminate. În Figura 2.9 sunt prezentate diferite situații în care un punct laser iluminează un obiect.

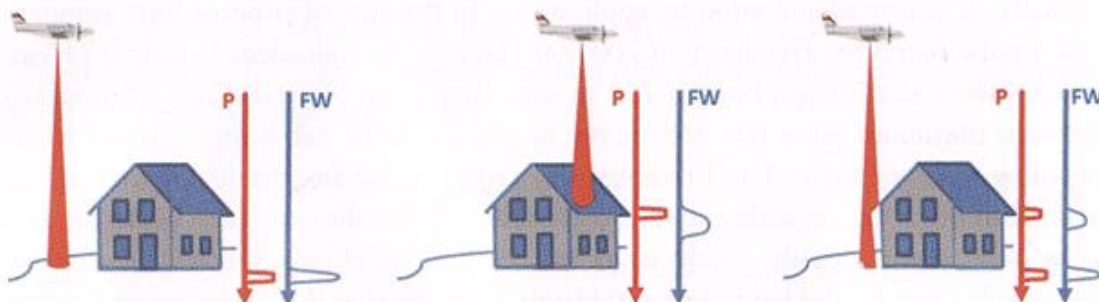


Fig.2.9 Forme ale ecoului în diferite situații ale țintei (P-impulsuri întoarse discrete; FW: forme de undă)[5]

Imaginea arată pentru fiecare situație poziția ecoului de revenire (impuls pe axa P), așa cum este generată de receptorul unui sistem de măsurare timp-de-zbor (*time-of-flight*). Un receptor *time-of-flight* furnizează doar un semnal de oprire într-un anumit moment de creștere a ecoului. Deoarece informațiile privind forma unui ecou sunt stocate în înregistrarea formei de undă, doar aplicațiile operaționale mențin informații cu privire la natura unei ținte. (Wagner și alții., 2004),[19].

2.3.7 Gestionarea (Impactul) setului de erori ale scannerului laser aeropurtat

Diferitele componente ale unui scanner laser aeropurtat contribuie la precizia finală a datelor de elevație [Schenk, ACCURACY STUDY OF AIRBORNE LASER SCANNING DATA WITH PHOTOGRAMMETRY, 2001]. În practică, precizia standard verticală și orizontală (1σ) din datele de elevație finale este, de obicei, între 0,05 m și 0,2 m în înălțime și între 0,2 m și 1,0 m în poziție orizontală (când se iau în considerare înălțimi de zbor de până la 2000m deasupra solului).

Sistemele LiDAR sunt afectate de mai multe surse de erori care contribuie la precizia finală, contaminând norul de puncte:

- erorile datorate calibrării greșite a GPS, IMU și ansamblului scanner;
- erori datorate preciziei scăzute datorită restituirii traiectoriei de zbor;
- erori datorate complexității țintei; trebuie să se rețină că în cazul unui teren înclinat, o eroare de poziție orizontală conduce, de asemenea, la o eroare în elevație;
- erorile datorate reflexiei pe traiectorii multiple (de ex., dacă fasciculul laser este reflectat de un alt obiect pe teren înainte de a ajunge la detector);
- erorile datorate transformării coordonatelor și corectarea modelului de geoid/cvasigeoid.

2.4 Planificarea zborului - Aspecte operaționale ale scanării cu laser aeropurtat

În parcurgerea etapelor din cadrul unui proiect de scanare cu laser aeropurtat, există câteva aspecte comune ale planificării și prelucrării proiectului, indiferent de tipul sistemului de scanare. Ca o prezentare generală, fiecare proiect poate fi împărțit în trei etape:

- planificarea zborului;
- campanie de studiu care include zborul de studiu, operarea stației(ii)lor GNSS la sol și colectarea datelor de referință pe teren;
- prelucrarea datelor și controlul calității.

Având în vedere caracteristicile de derivă ale IMU, lungimea maximă a unei linii de zbor trebuie să nu depășească 30÷40 km (în funcție de viteza de zbor aleasă).

Planificarea zborului este susținută de software specific. Obiectivul este să se acopere o zonă de studiu prin linii de zbor paralele, inclusiv o anumită suprapunere între linii consecutive.

În același timp, software-ul performant de planificare a zborului permite integrarea unui model digital al terenului (MDT) pentru zona de studiu. Acest lucru este de un real ajutor în zonele montane:

- la o altitudine de zbor constantă lățimea benzii variază în funcție de înălțimea terenului și banda ar putea deveni prea îngustă pentru o acoperire completă în cazul în care terenul se modifică.
- planificarea liniilor de zbor peste un ortofotoplan evită astfel de lipsuri în acoperire și deci crește considerabil fiabilitatea și eficiența planificării. Planul de zbor este stocat și transferat ulterior la sistemul aeronavei de gestionare și orientare (poziționare) a zborului, Figura 2.11.



Fig.2.11 Zona de interes, liniile de zbor în direcția optimă (săgeți groase) și culoare cu suprapunere (dreptunghiuri)

De asemenea este necesară selectarea punctelor de referință, trasarea culoarelor de zbor în funcție de topografia zonei [5].

2.4.1 Zborul de studiu

Scopul zborului de studiu este să colecteze datele conform planului de zbor configurat anterior. Timpul ideal pentru o misiune de studiu depinde de cerințele proiectului (cu vegetație sau nu, fără zăpadă etc.), precum și condiții meteo favorabile (fără ceață, ploaie sau furtuni) [5].

Pe parcursul zborului, unitatea de control și înregistrare a datelor (Figura 2.14) oferă feedback-uri continue funcțiilor scannerului.

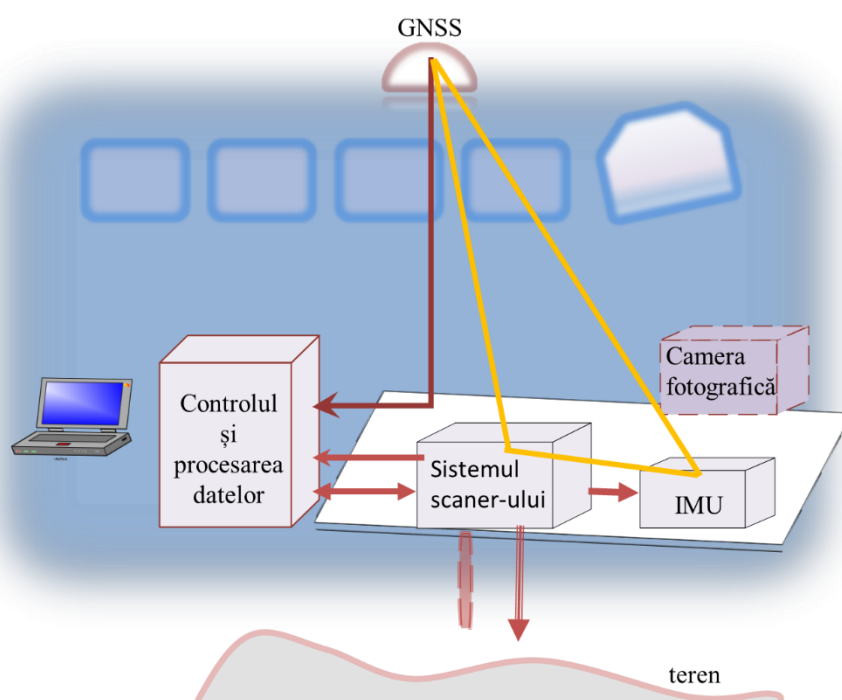


Fig.2.14 Componentele de la bordul unei aeronave cu laser scanner-adaptare [5]

În timpul zborului, sunt necesare două stații GNSS terestre, una ca stație de bază amplasată la o distanță ce nu ar trebui să depășească 30km față de aeronavă, și o alta suplimentară.

În ultimii ani mai multe țări au realizat o rețea de stații GNSS la sol permanente astfel, nu mai este necesar să opereze numai cu propriile stații terestre GNSS.

În mod obișnuit, este suficient ca pentru fiecare zbor de studiu să se folosească două sau trei obiecte pentru controlul înălțimii și mai multe pentru controlul poziției.

În cazul campaniilor de lungă durată sau în cazul în care zonelor de studiu sunt la distanță de unitatea de prelucrare, controlul acoperirii și verificarea calității datelor trebuie să se facă la fața locului. Avantajul unor astfel de verificări la fața locului este utilă pentru că se pot reface anumite linii de zbor.[5]

2.4.2 Prelucrarea datelor

După efectuarea zborului de studiu avem colectate informații ce însoțesc setul de date:

- stația GNSS de la sol;
- date de navigație (date GNSS și IMU aeropurtate);
- date multiple (inclusiv marcaje de timp <time tags>), date de amplitudine, parametrii scannerului (de ex. unghi de scanare) și numărul de ecouri (echo counts).

Prelucrarea acestor date poate fi împărțită în două părți: *prima parte, prelucrarea comună a datelor GNSS la sol și GNSS/IMU aeropurtate*, și a doua parte, prelucrarea comună a acestor date cu măsurători de distanță (Figura 2.15).

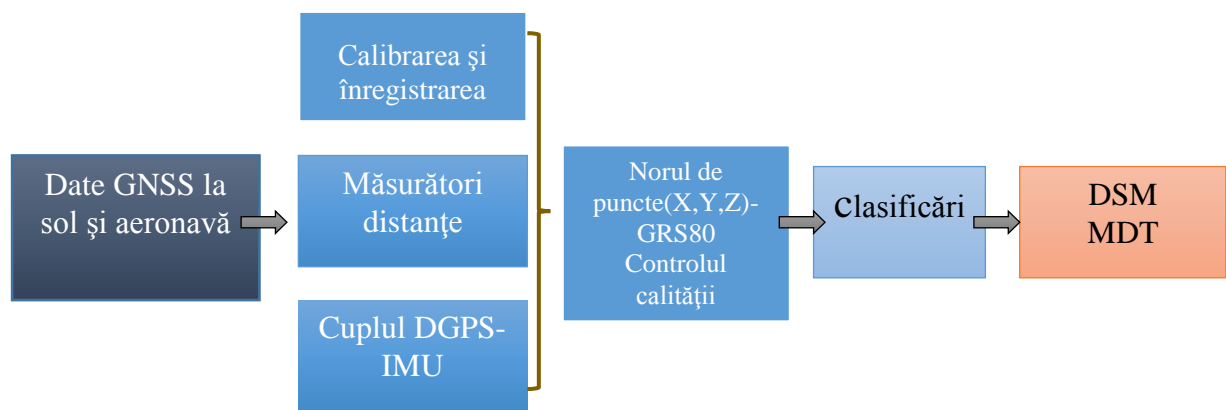


Fig.2.15 Procesul scanării laser aeriene [12]

Atribuțiile cuplului GNSS/IMU în procesul de prelucrare este de a corecta măsurătorile antenei GNSS - aeropurtat cu ajutorul datelor de la stația GNSS de la sol.

Traectoria de zbor și măsurătorile distanțelor sunt fuzionate cu ajutorul „*time tag-urilor*”. În această etapă de prelucrare, toate tipurile de date de corecție (date de calibrare, parametri de funcționare, corecția atmosferică) se iau, de asemenea, în considerare. În această etapă, parametrii de calibrare pot fi ușor adaptați în cazul în care reiese că nu mai sunt optimi. În general, această etapă include, de asemenea, transformarea coordonatelor X, Y, Z din GRS80 în sistemul de coordonate necesar (local).

Datele X, Y, Z din această prelucrare, este denumit nor de puncte 3D. Aceste date sunt în mod normal stocate în formatul LAS care a devenit standard pentru datele LiDAR din ultimii ani [ASPRS, 2008, http://asprs.org/a/society/committees/standards/LAS_1_3_r11.pdf], sau

ASCII. Norul de puncte neinterpolat prezintă datele de elevație care reflectă distribuția măsurătorilor și geometria scanării.

Setul de date (norul de puncte) poate conține informații despre ecouri (echos) și, respectiv, informații despre amplitudine. Informațiile despre amplitudine ajută la distingerea detaliilor din zonele care au doar diferențe destul de mici în elevație.

Ecourile pot fi clasificate ca:

- "numai ecou", - "primul din multe",
- "al doilea din multe",
- "ultimul din multe".

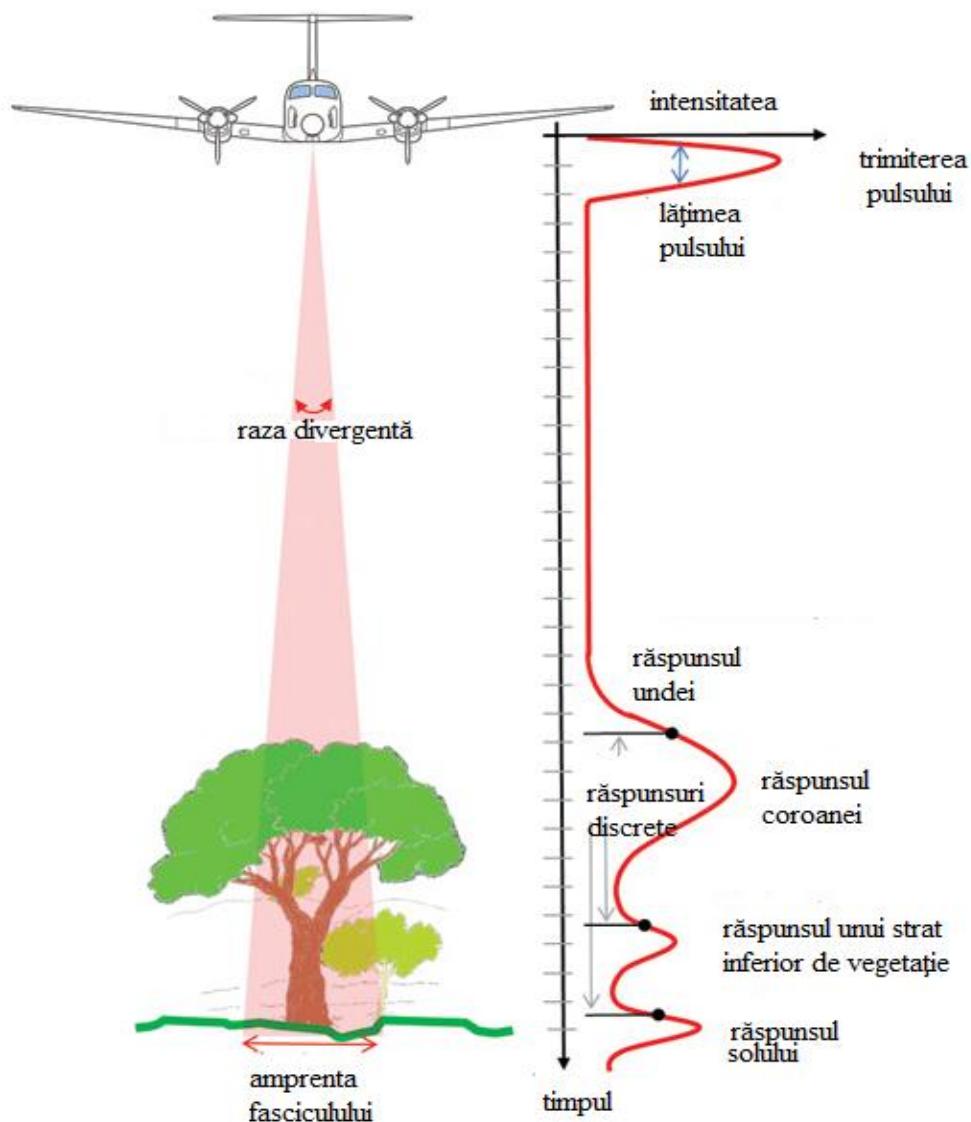


Fig.2.16b) Răspunsul diferitelor pulsuri receptate [10]

În funcție de clasele de ecouri ce pot fi clasificate, acestea pot folosite pentru generarea fie a unui model digital al suprafeței (*DSM*), fie un model digital al terenului (*MDT*) sau după caz un alt produs [5].

2.4.3 Sistemul de scanare laser aeropurtat și camerele fotografice

Datorită dezvoltării parametrilor de performanță ai camerelor foto digitale, sistemele de scanare laser aeropurtate sunt suplimentate frecvent cu asemenea camere fotografice digitale de mărime medie ce permit colectarea datelor de elevație și imagine în timpul aceluiași zbor de studiu. În general, aceste camere nu permit colectarea în același timp a imaginilor roșu-verde-albastru (RGB) și în infraroșu (CIR), Figura 2.17. Dar, în același timp, scanerul laser pot, de asemenea, să funcționeze simultan cu o cameră digitală de format mare însă cu anumite restricții de care să se țină seama.

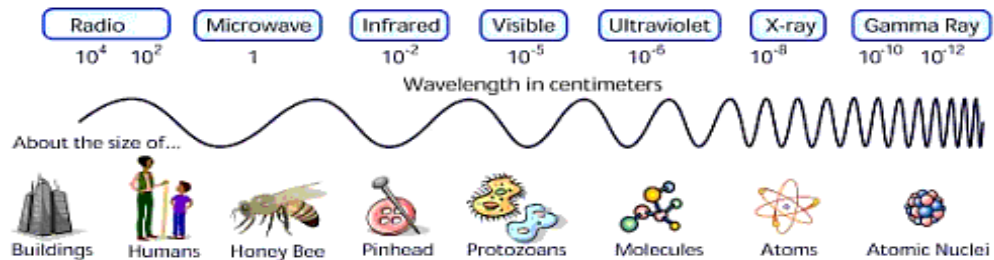


Fig.2.17 Spectrul electromagnetic (sursa <http://imagers.gsfc.nasa.gov/>)

În vederea funcționării corecte trebuie avute în vedere următoarele aspecte:

- **Adaptare:** Pentru funcționarea concomitentă a unei camere digitale de format mare și a unui sistem de scanare laser, platformele aeronavelor sunt adaptate cu două orificii în fuselaj.

- **Înălțimea de studiu:** În vederea efectuării unui studiu la care se folosește camera fotografică, trebuie să se ia în considerare că aceste camere digitale de format mare au un câmp de vedere fix (FOV), ceea ce înseamnă că trebuie să se selecteze o anumită înălțime de studiu (înălțimea de zbor) și o anumită lățime a benzii în funcție de caracteristicile terenului. Pe de altă parte, funcționarea simultană a ambelor sisteme (camera fotografică-scaner laser), trebuie făcută corelarea între dimensiunea amprente la sol (footprint), lățimea benzii, densitatea punctelor și spațierea între liniile de scanare, Figura 2.18.

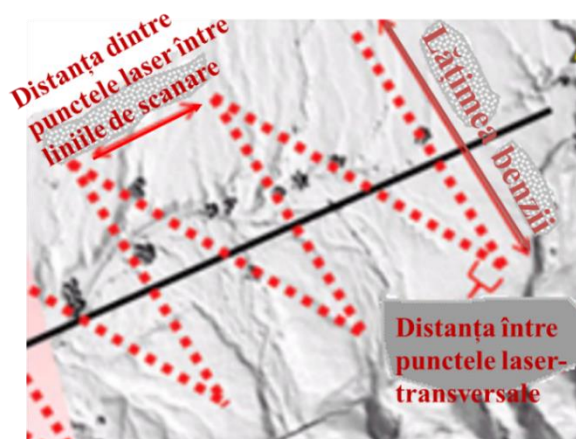


Fig. 2.18 Legătura între liniile de scanare [10]

2.4.4 Avantajul și limitarea sistemului de scanare laser aeropurtat

Ca orice un sistem activ care funcționează cu lumină, un scanner laser are nevoie de o vedere clară la sol. Acesta nu poate penetra nori, ceață și vegetație densă. Fasciculul laser va trece cu ușurință prin coronamentul de foioase, mai ales în timpul iernii, atunci când frunzele au căzut.

Tehnologia de scanare laser are anumite avantaje în comparație cu alte metode de generare a datelor de elevație. Unele dintre argumentele pro sunt următoarele:

- **Densitatea mare de măsurare și precizia datelor:** Cele mai mari densități de măsurare (aproximativ 30 de puncte/m²) sunt atinse dintr-un elicopter. Precizia standard a datelor de elevație din sistemul local de coordonate este 0,05-0,20 m pentru înălțime și 0,2-1,0 m pentru poziție.

- **Achiziția rapidă a datelor:** Pentru densități ale punctelor de 1 punct/m² și scanarea laser aeropurtat mai înaltă este acceptată ca un mijloc foarte rapid de generare a modelelor de elevație precise.

- **Penetrarea coronamentului:** În cazul în care coronamentul nu este prea dens, o parte a fasciculului laser poate penetra până la sol, ceea ce ajută la producerea unui model de elevație al detritusului.

- **Cantitatea minimă de date reale la sol:** Necesarul de măsurători efectuate la teren este redus deoarece se poate folosi un număr mai mic de puncte de referință (reperi) la sol, chiar și pentru blocuri de zbor mai mari.

2.5 Batimetria LiDAR aeropurtat

Batimetria cu LiDAR aeropurtat descrie o tehnică bazată pe LiDAR pentru achiziționarea datelor batimetrice digitale (adâncimea apei).

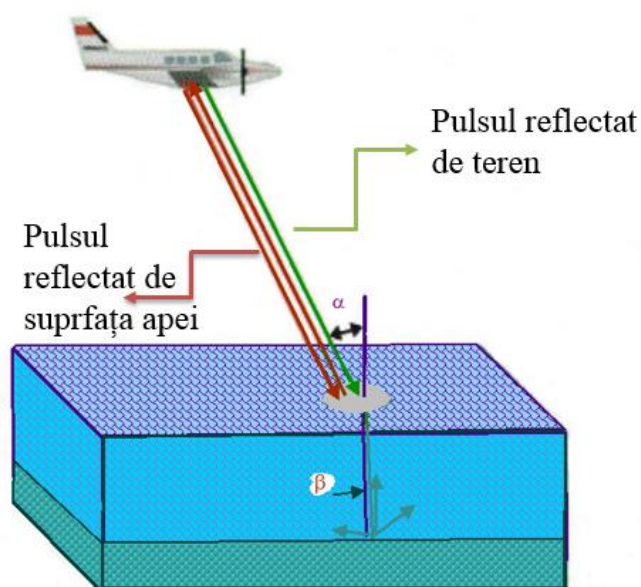


Fig.2.20 Principiul batimetriei LiDAR aeriene-adaptare [12]

Batimetria cu LiDAR aeropurtat este foarte eficientă în apa de mică adâncime în care metodele tradiționale de cercetare nu pot fi aplicate [Guenther, 2000; Francis și alții, 2003]. Adâncimea de penetrare este o funcție a clarității apei și va scădea odată cu creșterea turbidității apei. În condiții favorabile, cartografierea poate fi efectuată la adâncimi de până la 50m.

Pentru relieful apelor de mică adâncime și zone complexe, viteza de cercetare poate crește cu până la 20 de ori față de sondajele tradiționale realizate cu nave hidrografice [5].

Tabelul 2.2 Parametri caracteristici pentru sistemul LiDAR aerian batimetric:

a)-modul hidrografic

Altitudinea de operare	200-400m	Lățimea pecifică a benzii	300m(4mx4m)
Rata pulsurilor laser	3000-4000Hz	Precizia orizontală	±2.5m
Viteza aeronavei	>60m/s	Precizia pentru adâncime	±0.25m
Densitatea de sondare	2mx2m până la 5mx5m	Adâncimea de sondare	0.2-50m

b)-modul topografic

Altitudinea de operare	300-1000m	Precizia orizontală	2m
Rata pulsurilor laser	20000-64000Hz	Precizia height accuracy	0.25m

2.6 Echipamentele LiDAR terestre

Instrumentele bazate pe tehnologia LiDAR au denumirea de scanere laser 3D (*3D Laser Scanner*). Un scanner laser 3D împreună cu un computer și cu software-ul pentru prelucrarea și transferul datelor preluate formează echipamentul de scanare. Echipamentele de scanare pot funcționa în regim *dinamic* sau *static*.

Metoda folosită pentru balearea fasciculului laser are un mare impact asupra calității datelor înregistrate. Pentru aceasta, se utilizează o unitate de deflecție, care poate fi oglinda oscilatoare (*oscillating mirror*), prisme optice reflectorizante rotative (*rotating polygon*) sau switch-uri de fibră optică (*fiber switch*).



Fig.2.21 Modele de scanere laser bazate pe măsurarea cu laser continuu sau pulsatoriu

Anumite modele de scanere din cele două categorii în funcție de metoda de măsurare sunt prezentate în Figura 2.21.

Principalii producători de scanere laser 3D terestre sunt:

- Optech (www.optech.ca)
- Trimble (www.trimble.com)
- Leica Geosystems (www.leica-geosystems.com)
- Riegl (www.riegl.com)
- Faro (www.faro.com)
- Isite (www.isite3d.com)

În tabelul 2.3 sunt prezentate principalele caracteristici a două scanere cu tehnologie diferită de măsurare.

Tabelul 2.3: Principalele caracteristici ale unor scanere din cele două clase

1. Caracteristici	2. Leica ScanStation 2 3. (time-of-flight)	4. Leica HDS 6200 (phase shift)
5. Clasa laser	6. 3R	7. 3R
8. Distanța maximă de scanare	9. 300 m cu reflectanță 90%	10. 79 m cu reflectanță 90%
11. Viteza de achiziție a punctelor	12. 50 000 puncte/secundă	13. 1 000 000 puncte/secundă
14. Diametrul amprentei laser	15. 4 mm la o distanță de 50 m	16. 8 mm la o distanță de 25 m
17. Acuratețea măsurării distanței	18. 4 mm la o distanță de 50 m	19. 4 mm la o distanță de 25 m
20. Greutate	21. 18.5 kg fără baterii	22. 14 kg cu bateria inclusă

În Figura 2.23 sunt reprezentați nori de puncte obținuți cu ajutorul tehnologiei laser scanner terestră.

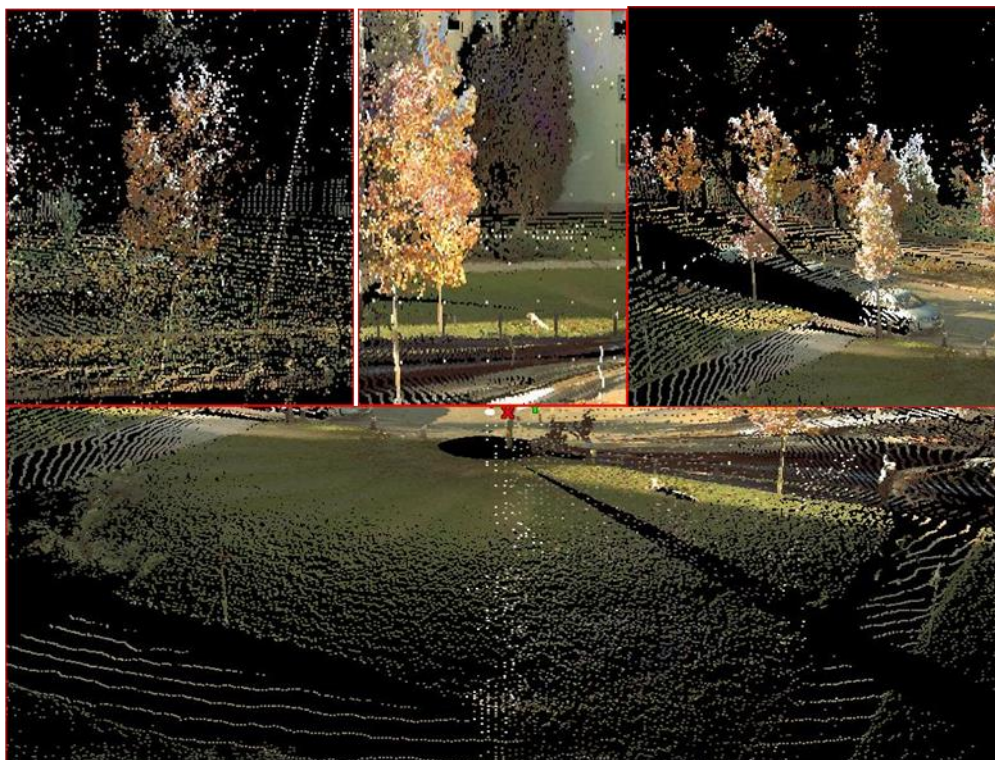


Fig.2.23 Imagini scanarea laser terestră

3. STRUCTURI DE DATE

Imaginea ca cea generată în Figura 3.1 este o structură foarte convenabilă de date pentru 2.5D. Acestea permit utilizarea unei colecții mari de instrumente de prelucrare a imaginilor din domeniului public și comercial pentru extragerea informațiilor. Imaginea raster definește implicit patru sau opt vecini aferenți ai unui pixel, necesită relativ puțină memorie și poate fi prelucrată rapid.

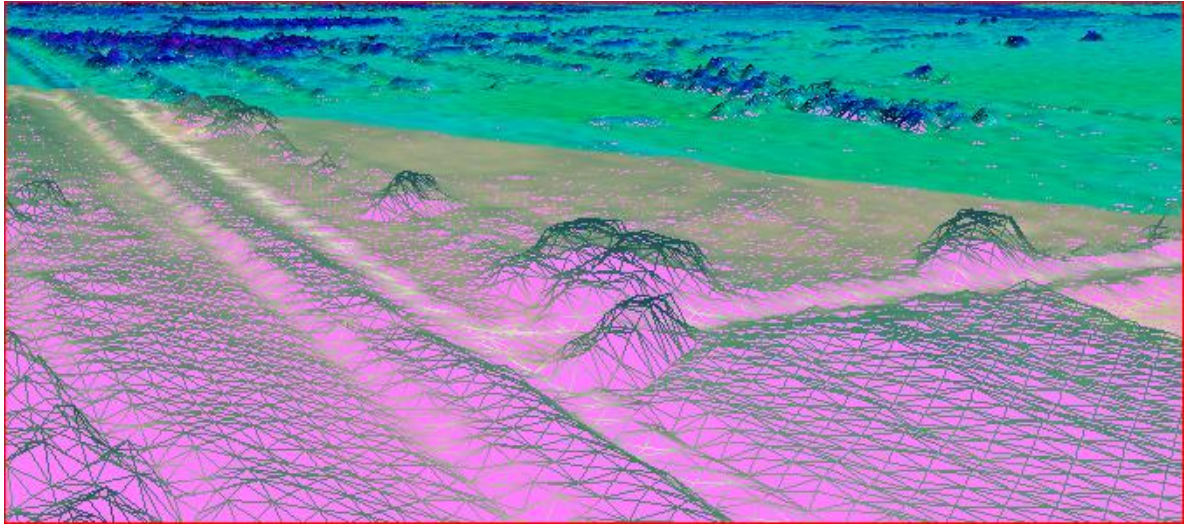


Fig.3.1 Convertirea altitudinilor (MDT)

Pixelul rezultat fără puncte laser trebuie să fie determinat prin interpolare. Această înălțime interpolată este, de exemplu, incorectă în cazul zonelor care sunt ascunse de o clădire (Figura 3.2). Deoarece înălțimile sunt undeva între sol și acoperișul clădirii, acești pixeli sunt susceptibili de a conduce la erori de clasificare. Depozitarea punctele laser într-o imagine raster complică, de asemenea, recunoașterea suprafețelor multiple. Acest lucru este în special adevărat pentru nori de puncte reuniți de diferite scanări terestre în jurul unui obiect, însă ajută, de asemenea, la recunoașterea suprafeței solului de sub vegetație [15].

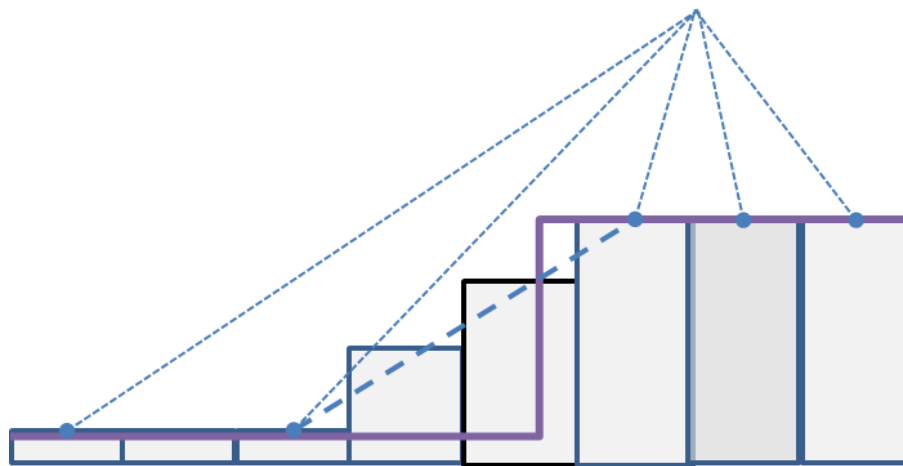


Fig.3.2 Interpolarea înălțimilor peste o suprafață ascunsă de lângă o clădire [15]

3.1 Triangulația Delaunay

O triangulație a unui set de puncte împarte înfășurătoarea convexă (convex hull) a punctelor într-un set de triunghiuri astfel încât nodurile triunghiurilor corespund setului de puncte. Triangulația Delaunay este o triangulație foarte populară și are proprietatea că un cerc

format prin cele trei puncte ale unui triunghi nu conține nici un alt punct din setul de puncte [de exemplu, Okabe *et. al.*, 1992].

Un exemplu de un nor de puncte, scanare laser triunghiulat este prezentat în Figura 3.4. Într-un nor de puncte triunghiulat marginile triunghiurilor definesc relațiile de vecinătate între puncte. Așa-numiții primii vecini ai unui punct sunt legați direct de o margine din triangulație.

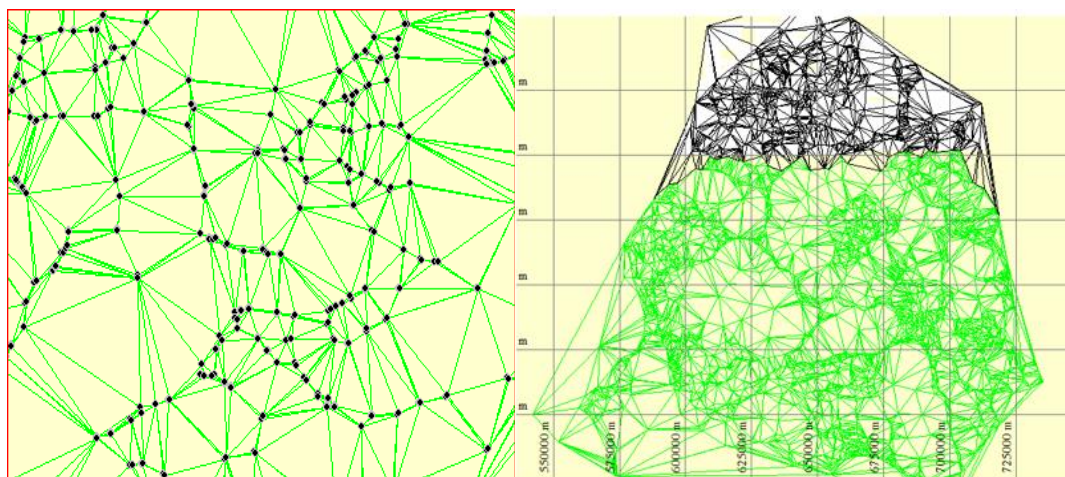


Fig.3.4 Nor de puncte triangulat

Distribuția înălțimii punctelor nu are nici o influență asupra unei triangulații în planul XY. Ca o consecință, punctele care sunt foarte apropiate în planul XY, și, prin urmare, împart o margine de triunghi, nu pot fi apropiate în 3D. Întrucât triangulația Delaunay este totuși o structură de date 2D, aceasta nu poate rezolva toate problemele legate de structura de date raster. În special, în prezența mai multor suprafețe una deasupra celeilalte, triangulația va genera multe muchii între punctele acestor suprafețe care pot fi departe una de cealaltă. Astfel, în Figura 3.4 se observă o configurație diferită a distribuției triunghiurilor pentru că sunt multe muchii între punctele provenite din vegetație și punctele de pe suprafața terenului. Seturile de date cu straturi multiple pot fi descrise cu ajutorul structurilor de date arborescente [15].

3.2 Arborii octali

Arborii octali (octrees) sunt structuri de date arborescente pentru manevrarea seturilor mari de puncte. În plus față de indexare spațială, utilizările obișnuite ale arborilor octali în contextul prelucrării norului de puncte sunt compresia, desfășurarea nivelurilor de detalii și eliminarea obiectelor care nu sunt în interiorul trunchiului de con vizual (view frustum culling). Arborii octali sunt analogul 3D al unei structuri ierarhice de date (quadrees), Figura 3.6.

Un nod al unui arbore octal este similar cu un nod al unui arbore binar, singura diferență majoră constând în faptul că are opt noduri, unul pentru fiecare octant, în loc de două pentru "stânga" și "dreapta", ca într-un arbore binar obișnuit. Un arbore octal din puncte conține în plus o cheie, care este, de obicei, descompusă în trei părți, referindu-se la coordonatele x , y și z .

Prin urmare, un nod conține următoarele informații:

- opt indicatoare
- (opțional) un indicator spre nodul părinte
- indicator la lista de puncte de date; și
- coordonate divizate x,y,z (opțional pentru arborele octal al regiunii).

Un arbore octal se consideră că trebuie să fie complet dacă fiecare nod intern are exact opt

noduri copii. Numărul de noduri interne în arborele octal complet cu rezoluție s este dat de (relația 3.1) [15].

$$n_{noduri} = \sum_{i=0}^{(\log_2 s)^{-1}} 8^i = \frac{s^3 - 1}{7} \approx 0.14_{set\ de\ puncte} \quad (3.1)$$

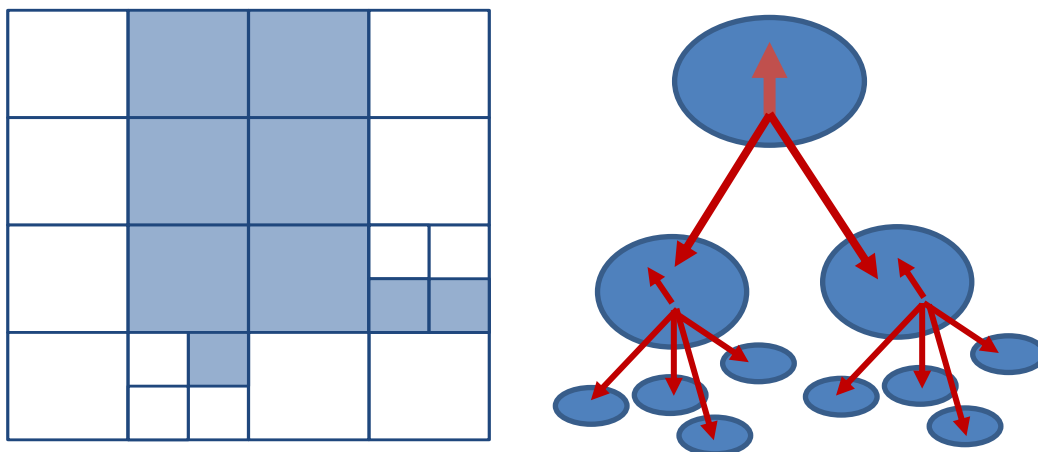


Fig.3.6 Organizarea datelor quadtree

4. GEOMETRIA SISTEMULUI DE SCANARE LASER AEROPURTAT

În timp ce natura majorității misiunilor de scanare laser terestre permite operarea într-un sistem local de coordonate, caracterul sistemului de scanare laser aeropurtat necesită implicarea unui „sistem global”, precum și mai multe sisteme intermediare. Relațiile 4.1, 4.2, 4.3 oferă o imagine de ansamblu sistemelor de referință utilizate împreună cu abrevierile lor respective (ID-uri sistem). Toate sistemele sunt definite ca sisteme carteziene. Relațiile dintre scanerul laser și senzorii de navigație sunt prezentate schematic în Figura 4.1 și vor fi definite de relațiile următoare.

$$R_1(\theta) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

$$R_2(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{pmatrix} \quad (4.2)$$

$$R_3(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4.3)$$

În acest caz matricile din ecuațiile 4.1,4.2,4.3 descriu rotația în sens orar și axa x_j – pozitivă.

Forma analitică a matricei de rotație R derivată din parametri este:

$$R = \begin{pmatrix} \cos \theta + n_1^2(1 - \cos \theta) & n_1 n_2(1 - \cos \theta) + n_3 \sin \theta & n_1 n_3(1 - \cos \theta) - n_2 \sin \theta \\ n_1 n_2(1 - \cos \theta) - n_3 \sin \theta & \cos \theta + n_2^2(1 - \cos \theta) & n_2 n_3(1 - \cos \theta) + n_1 \sin \theta \\ n_1 n_3(1 - \cos \theta) + n_2 \sin \theta & n_2 n_3(1 - \cos \theta) - n_1 \sin \theta & \cos \theta + n_3^2(1 - \cos \theta) \end{pmatrix} \quad (4.4)[14]$$

În Figura 4.2 este definit un sistem operațional tipic (ALT - Airborne Laser Terrain), componentele sale principale și parametrii de funcționare.

Descompunerea efectivă depinde de definiția θ cu privire la axele scanerului, care se presupun că formează un sistem cartezian de dreapta. O posibilitate este descrisă în relația (4.6).

$$x^s = \rho \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ \sin \theta \\ \cos \theta \end{pmatrix} \quad (4.6)$$

În Figura 4.3 este prezentat ansamblul parametrilor geometrici ai sistemului laser aeropurtat.

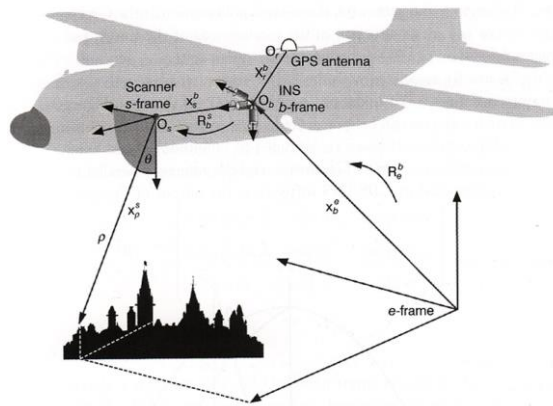


Fig.4.3 Parametri geometrici ai sistemului de scanare laser aeropurtat [14]

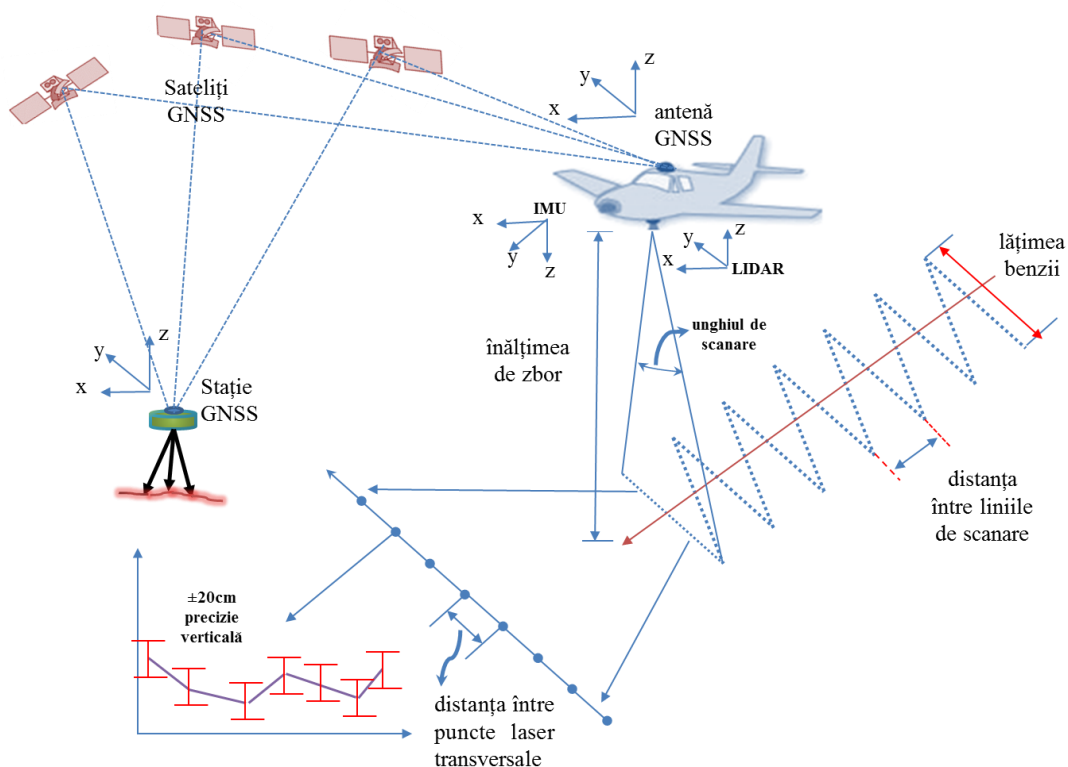


Fig.4.2 Geometria sistemului de scanare laser aeropurtat-adaptare [18]

4.1 Sistemul senzori - s

Scanerile laser aeropurtate sunt, de obicei, scanere pe bază de linii (2D) dar, pot fi și alte arhitecturi. Prin urmare, obținerea modelului 3D al suprafeței necesită deplasarea scannerului peste aceasta.

4.2 Sistemul Cartezian geocentric-Earth-centred, Earth-fixed frame-e

Întrucât orbitele sateliților utilizați în determinarea traiectoriei suportului scannerului laser sunt legate de Sistemul Cartezian Geocentric (ECEF), traiectoria calculată este definită cu privire la acest sistem. Conform Sceber (1993), acest sistem este definit astfel, originea este geocentrul, axa X, orientată spre meridianul Greenwich. Axa Z este axa de rotație a Pământului, și Y completează sistemul pentru un sistem cartezian 3D de dreapta. Un elipsoid geocentric de revoluție este, de obicei, asociat cu sistemul ECEF, care împreună cu parametrii geofizici definesc altitudinile (Datum Global, de ex. WGS-84).

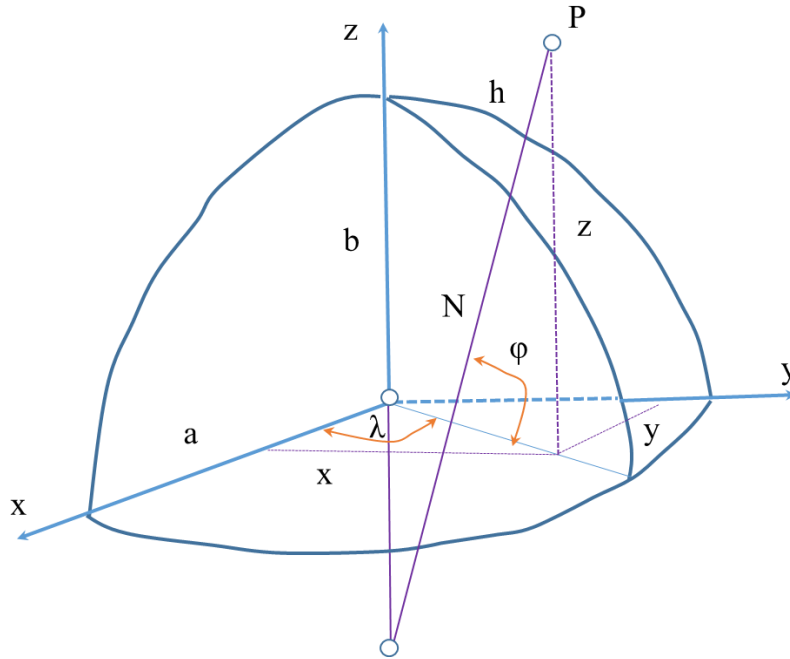


Fig.4.4 Coordonate carteziene și elipsoidale-adaptare [14]

4.3 Sistemul local - l

Sistemul la nivel local, de obicei, are rolul de referință pentru datele de ieșire de orientare în prelucrarea GNSS/ INS. Originea sa este arbitrară și definită de un punct pe suprafața Pământului (topocentru). Matricea de rotație R_l^e pentru transformarea coordonatelor de la cadrul l - la cadrul e - este relația (4.8)

$$R_{l_{NED}}^e = \begin{pmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \lambda & -\cos \varphi \cos \lambda \\ -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \lambda & -\cos \varphi \sin \lambda \\ \cos \varphi & 0 & -\sin \varphi \end{pmatrix} \quad (4.8)$$

4.4 Sistemul de coordonate al vehiculului (aerona) – b

Sistemul de coordonate al corpului este un sistem cartezian 3D dreptaci legat de suportul sistemului (de ex. un avion sau un elicopter) și este utilizat pentru a determina orientarea relativă sau poziția aeronavei în raport cu un sistem la nivel local. Originea cadrului corpului este situată într-un anumit punct în interiorul aeronavei, care în cazul scanării laser aeropurtat este convenabil aleasă să fie în centrul de navigație al sistemului inerțial de navigație (INS) sau, alternativ, în centrul scannerului laser.

Convenția care definește secvența de rotație poate varia, dar majoritatea sistemelor GPS/INS adoptă definiția aerospațială [Kuipers, 1998], care leagă sistemul de referință la nivel local l_{NED} de sistemul corpului (vehicul) conform relației (4.9) [14].

$$R_{l_{NED}}^b = R_3(y)R_2(p)R_1(r) \quad (4.9)$$

Relația dintre vectorul arbitrar x^s din sistemul scannerului și același vector exprimat în sistemul b este dată de relația (4.10).

$$x^b = x_s^b + R_s^b \cdot x^s \quad (4.10)$$

unde x_s^b indică originea sistemului s , b -sistemul corpului (aeronavei), realizat de triada de accelerometre într-un sistem de navigație inerțial (INS), cunoscute, de asemenea, ca brațul-pârghie (lever-arm Mărimea direcției de aliniere și brațul-pârghie trebuie să fie determinată

prin calibrare [14]

În Figura 4.5 sunt reuniți parametri relevanți pentru planificarea misiunii de zbor. Datele de ieșire (parametri) sunt transferați la sistemul de ghidare a avionului. Planificarea proiectului de zbor este necesară pentru estimarea cheltuielilor. Lungimea și numărul liniilor de zbor determină durata zborului, sunt preferate liniile lungi deoarece după fiecare linie studiul se întrerupe pentru a se trece la linia următoare.

Pe de altă parte liniile prea lungi pot afecta precizia sistemului de poziționare și orientare a IMU datorită abaterilor acestuia [20].

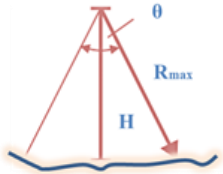
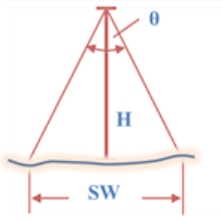
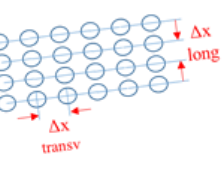

	H-altitudinea	$H = R_{\max} \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)$	R_{\max} - distanța reală θ - FOV-ungul de scanare
	SW	$SW = 2H \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)$	H-altitudinea θ - FOV-ungul de scanare
	$\Delta x_{\text{transversal}}$	$\Delta x_{\text{transv}} = \frac{\theta}{n} \cdot \frac{H}{\cos^2\left(\frac{\theta}{2}\right)}$	H-altitudinea θ - FOV-ungul de scanare n-nr. de puncte într-o singură linie de scanare
	$\Delta x_{\text{longitudinal}}$	$\Delta x_{\text{long}} = \frac{v}{f_{sc}}$	v-viteza de deplasare f_{sc} -frecvența de scanare
d_{\min} -densitatea punctelor		$d_{\min} = \frac{1}{\Delta x_{\text{long}} \cdot \Delta x_{\text{transv}}}$	$\Delta x_{\text{longitudinal}}$ $\Delta x_{\text{transversal}}$ } distanțe între puncte
	z-factorul de acoperire	$z = 1 - \frac{e}{SW}$	SW-lățimea benzii e-distanța între liniile de zbor
	e-distanța între liniile de zbor	$e = SW \cdot (1 - z)$	SW-lățimea benzii z-factorul de acoperire

Fig.4.5 Dificultăți ale parametrilor cheie în planificarea zborului-adaptare [20]

5. SUPRAFEȚE DE REFERINȚĂ ȘI OBTINEREA MDT

În vederea definirii formei și dimensiunilor Pământului din punct de vedere fizic de-a lungul vremii au fost dezvoltate o serie de metode pentru a determina cvasi(geoidul), făcându-se astfel legătura între câmpul său gravific, altitudinile determinate pe suprafața terestră și modul de definire din punct de vedere matematic (elipsoid de rotație).

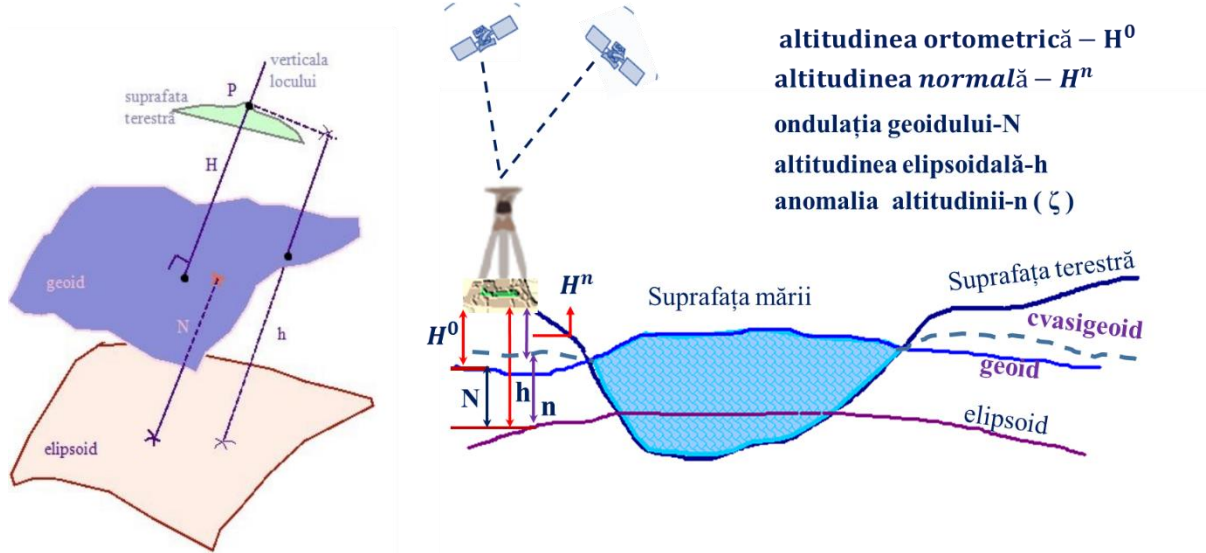


Fig.5.1 Relațiile între suprafețele de referință

Geoidul introdus în 1873 de Listing, o suprafață semnificativă din punct de vedere fizic, sensibilă la variațiile de densitate din interiorul Pământului, cvasigeoidul nefiind o suprafață cu semnificație fizică, este nevoie de integrare pe suprafața Pământului. **Geoidul este definit ca fiind suprafața medie a mărilor și oceanelor aflate în stare liniștită prelungită pe sub continente (Listing 1873) și propusă de Gauss ca „figură matematică a Pământului”.**

5.1 Geoidul

Este bine cunoscut în practica topografică faptul că altitudinile utilizate sunt referite la nivelul mediu al mării, motivele au fost elucidate de către mulți autori, printre alții, de Vanicek în 1998.

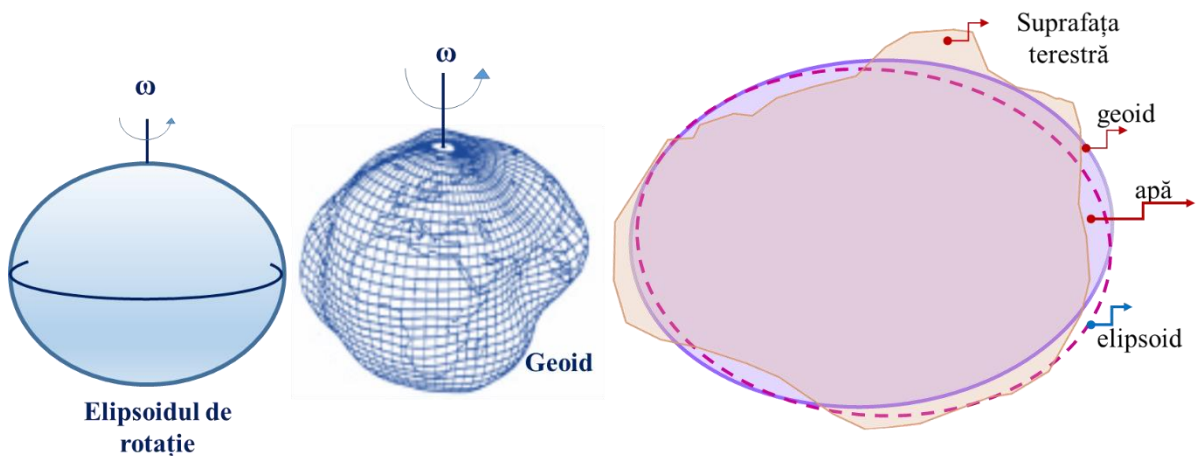


Fig.5.2 Suprafețe de referință

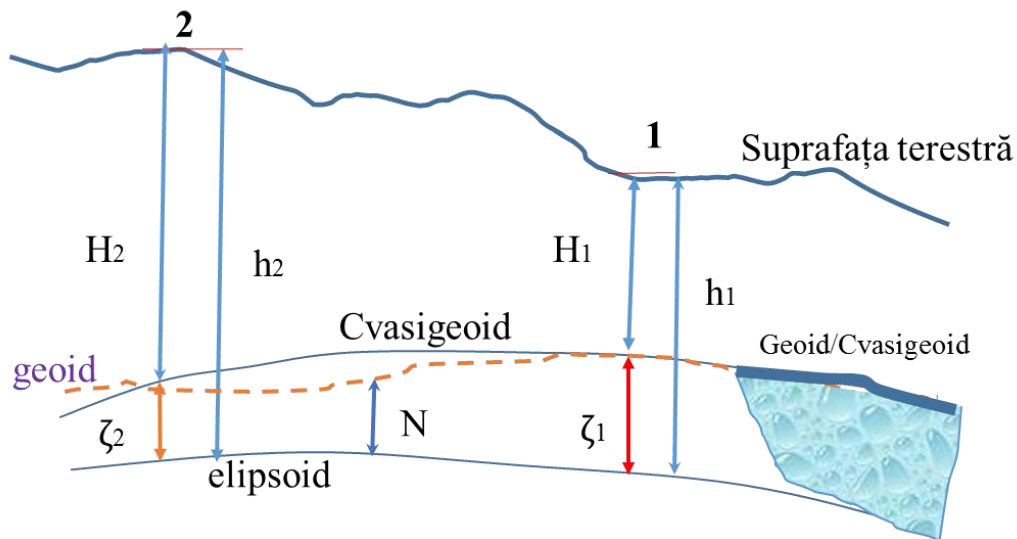


Fig.5.3 Relațiile între altitudini

Cu N se notează *ondulațiile geoidului*, care sunt specifice utilizării sistemului de altitudini ortometrice, iar cu ζ *anomaliile altitudinilor*. (**Ghițau – 1938**) *Cvasigeoidul*, (**M.S.Molodenski**) este suprafața astfel construită încât segmentul de normală la elipsoid să fie egal cu anomalia altitudinii în orice punct în care se cunoaște această cantitate, (Figura 5.3).

$$\zeta - N \approx -\frac{\Delta g}{\gamma} H^N \quad N \approx \zeta - \frac{2\pi G \rho}{\gamma} H^N$$

$2\pi G \rho$ termenul Bouguer (5.1)

$$h = H^o + N \quad h = H^N + \zeta$$

H^N -altitudinea în punctul respectiv,

H^o -altitudinea ortometrică,

h -altitudinea elipsoidală;

ζ -anomalia altitudinii,

N -ondulația geoidului

Legătura între ζ și N este dată de relațiile (5.1), (W.A.Heiskanen and H.Moritz, 1967), unde ρ densitatea masei de pământ și G constanta gravitațională.

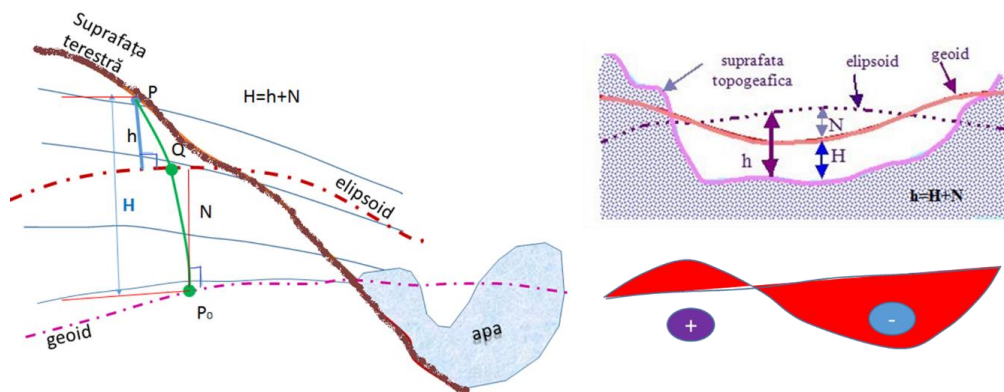


Fig.5.4 Variații ale altitudinilor

Un sistem de coordonate pentru verticală definește mărimea aferentă înălțimilor sau adâncimilor astfel, putem spune că H – înălțimea poate fi aferentă fie creșterilor fie adâncimilor

Prin urmare, câmpul gravitațional are în mod clar un rol foarte important în determinarea practică a înălțimii. Apa de mare nu este omogenă, deoarece în diferite locuri are altă temperatură, salinitate, curenți astfel, apa de mare, în realitate, nu urmează o suprafață orizontală. Cu toate acestea, având în vedere că suprafața mării este foarte aproape de o suprafață echipotențială, într-un interval de ± 2 metri, se poate folosi în mod rezonabil o suprafață echipotențială ca suprafața de referință pentru înălțimi.

Câmpul gravitațional al Pământului poate fi descris în două moduri principale:

- reprezentări ale anomaliei gravitației și,
- reprezentarea anomaliei geoidului.

Realizarea unui model precis al geoidului se dovedește a fi o provocare. Până de curând, nu a existat nici o sursă unică pentru producerea unui model de geoid.

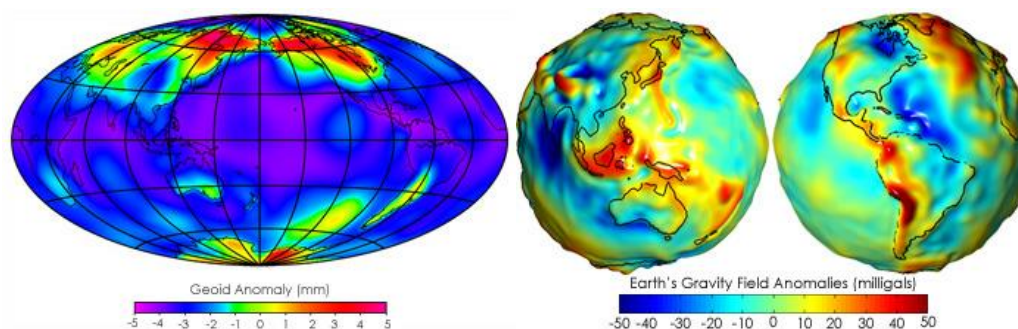


Fig.5.5 Modele de Geoid (sursa <http://www.nasa.gov/>)

5.1.1 Situația pe plan internațional

5.1.1.1 Modele globale

Modelele globale în funcție de datele folosite și anume măsurători gravimetrice obținute cu ajutorul sateliților combinate cu măsurători terestre au condus la obținerea unui **geoid** și a unor determinări regionale și locale.

a. GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment – Misiune pentru determinarea Gravitației și Experimente Climatice)

Misiunea GRACE prevede, pentru prima dată, o acoperire globală a câmpului gravitațional al Pământului la 30 de zile de la o singură sursă. GRACE este deja capabil de a măsura câmpul gravitațional cu un nivel de precizie care este de cel puțin 100 de ori mai mare decât orice altă determinare satelitară, și se așteaptă îmbunătățiri pe măsură ce misiunea progresează.

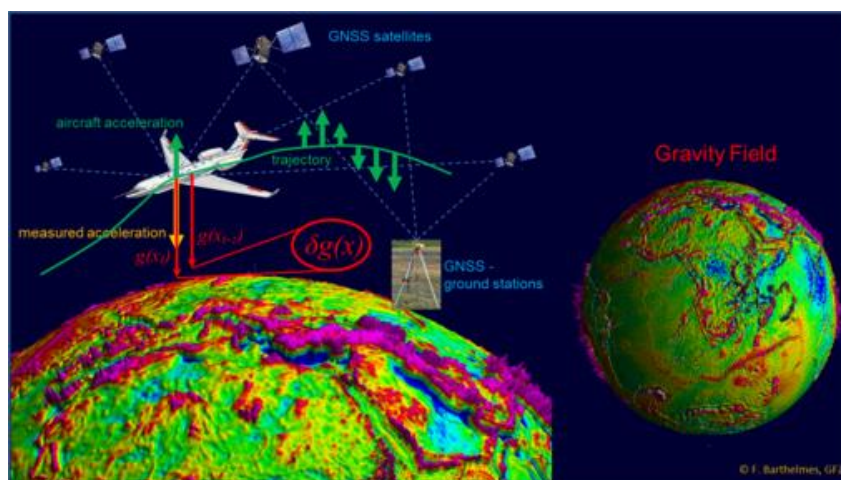


Fig.5.6 Misiunea GRACE (sursa <http://www.gfz-potsdam.de/en/research/organizational-units/departments-of-the-gfz>)

Aceste tehnici furnizează informații critice pentru multe modele științifice utilizate în oceanografie, hidrologie, geologie, și discipline conexe, și va fi folosit pentru o varietate de aplicații, inclusiv:

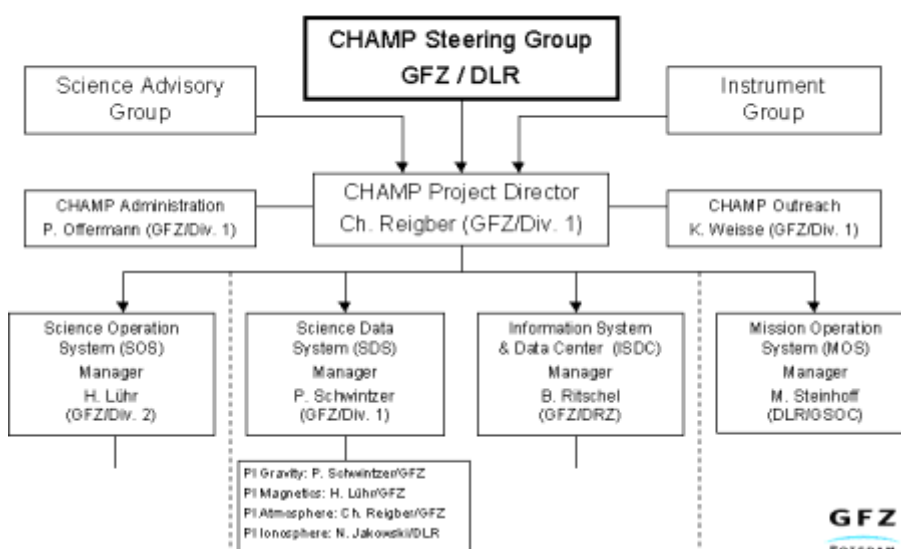
- măsurarea modificării masei calotelor polare;
- măsurarea modificărilor resurselor de apă pe terenuri
- transportul curenților oceanici de adâncime;
- înțelegerea schimbărilor nivelului mării, datorită schimbărilor de temperatură și de masă de apă;
- înțelegerea forțelor care generează câmpul geomagnetic al Pământului, și
- mișcările plăcilor tectonice datorită forțelor terestre interne care duc la cutremure și erupții vulcanice.

b. **CHAMP** - CHALLENGING Minisatellite Payload

Misiunea CHAMP a fost lansat la data 15 iulie 2000 și reintrarea în atmosferă la 19 septembrie 2010 după 10 ani, două luni și patru zile. Pe scurt, responsabilitățile în faza de punere în aplicare a misiunii au fost stabilite după cum urmează:

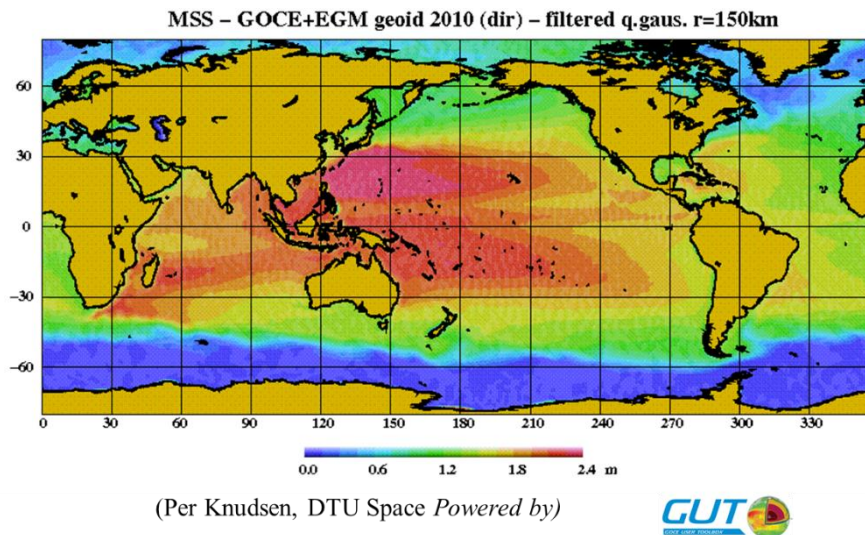
- Centrul German de Cercetare GFZ pentru Geosciences: Management de proiect și instrumente de control, sisteme științifice și de date.
- DLR German Aerospace Center și Space Travel Oberpfaffenhofen / Neustrelitz: stație de la sol, de recepție a datelor, operație prin satelit.
- DJO Optronics GmbH Jena Jena: proiectare satelit și producție (în cooperare cu DSS Friedrichshafen și RST Rostock).
- OHB COSMOS International GmbH Bremen: Servicii de lansare (împreună cu AKO Polyot, Omsk)

CHAMP Project Organisation



Letzte Änderung:09.07.2013

c. **GOCE** - Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer, prima misiune de explorare a Pământului lansată în mai 2008.



Această misiune este dezvoltată de ESA – European Space Agency (Agenția Spațială Europeană) are ca obiectiv determinarea câmpului gravitației Pământului și modelarea unui geoid de precizie.

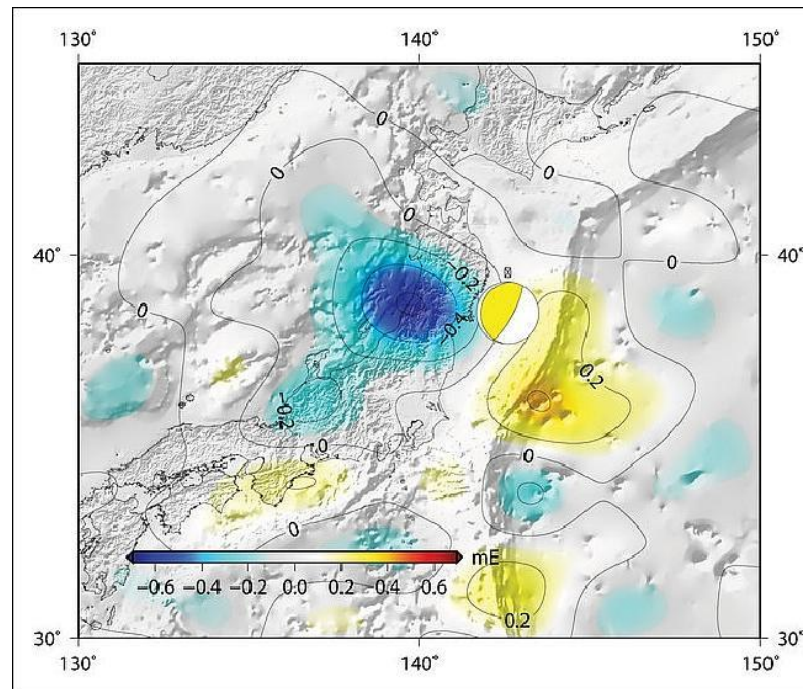


Fig.5.7 Modificări ale câmpului gravitațional al Pământului în urma cutremurului din Japonia 11-martie 2011 (combinație date ESA-misiunea GOCE)
 sursa: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/g/goce>

Principalele obiective ale acestei misiuni au fost determinarea anomaliilor câmpului gravitic al Pământului cu o precizie de 1 mgal (unde $1 \text{ mgal} = 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$), determinarea unui geoid cu o precizie de 1-2 cm, cu o rezoluție spațială mai mică de 100 km.

EGM2008-Modelul gravimetric al Pământului a fost lansat public de către US National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) Development Team EGM în anul 2007

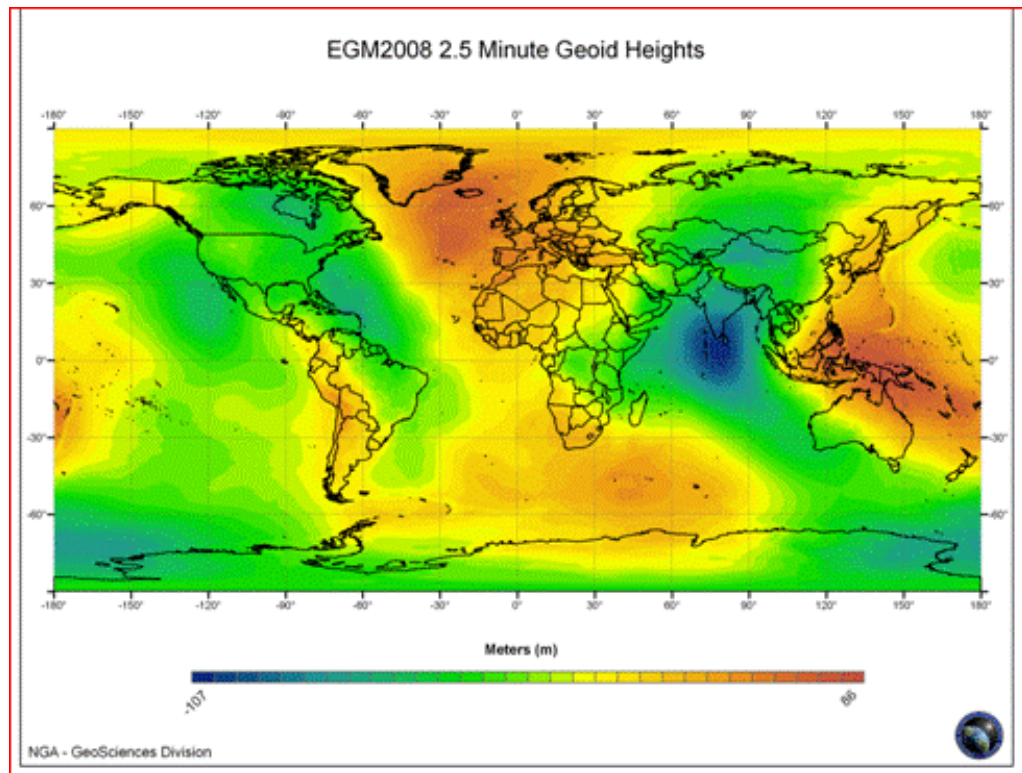


Fig.5.8 Modelul gravimetric EGM2008 (sursa : http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/egm08_wgs84.html, March 2013)

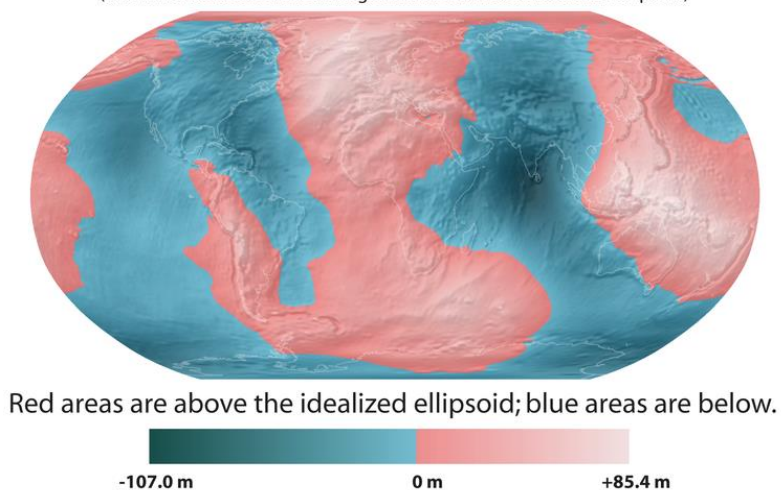
Acest model gravitațional completează vechiul model EGM96 folosind dezvoltări ale funcțiilor armonice sferice până la gradul 2159 și conține coeficienți suplimentari de extindere până la nivelul 2190 și pentru 2159.

5.1.1.2 Modele regionale

Deoarece determinarea înălțimii se bazează tot mai mult pe tehnici moderne de măsurare asistată prin satelit, trebuie să fie furnizată suprafața de referință pentru înălțime cu precizie centrimetrică.

Modelele *regionale* bazate pe modelele geopotențiale globale pot acoperi suprafața unui continent sau modele de geoid *local* din diferite zone, astfel au fost modele regionale precum USA (GEOID09), CANADA (GSD03), EUROPA (EGG97). După anul 1990 câteva soluții pentru determinarea cvasigeoidului se bazează pe tehnica combinării spectrale în ansamblu cu procedura „remove-restore”, unde ca soluție finală este combinat modelul global EGM96 al NASA/NIMA cu rezoluția gravitațională de mare înălțime cu date din teren furnizate de măsurătorile GNSS. Precizia modelului pentru zone cu acoperire foarte bună cu date este de $\pm(1...5)$ cm aferente unor distanțe de până la 10km, iar în zonele cu distanțe până la 100km, precizia este de $\pm(5...20)$ cm [22].

Deviation of the Geoid from the idealized figure of the Earth
(difference between the EGM96 geoid and the WGS84 reference ellipsoid)



Red areas are above the idealized ellipsoid; blue areas are below.

-107.0 m 0 m +85.4 m

Fig.5.9 Variația geoidului față de elipsoidul de rotație
(sursa:http://en.wikipedia.org/wiki/File:Geoid_height_red_blue.png)

Evident că în urma comparației cu punctele de control de la sol determinate GNSS pot apărea erori pentru distanțele ce depășesc 100km, acestea fiind atribuite în mod principal modelului global, dar nu sunt de neglijat nici eventualele erori sistematice ale gravitației precum și erorile provenite din măsurătorile GNSS.

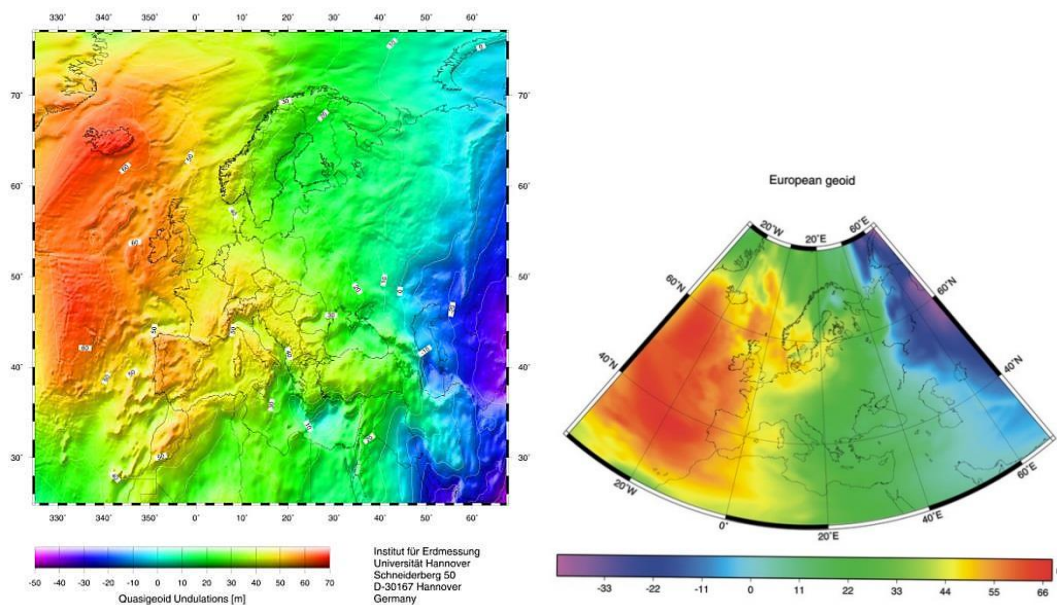


Fig.5.10-b) Ondulațiile geoidului EGG97

Începând cu anul 1997 determinările pentru întregul continent european au constituit un nou model geopotential al geoidului EGG97 pentru care a fost calculată anomalia gravitației pentru o rețea ce are acoperirea intervalului $25^{\circ}\text{S} \div 77^{\circ}\text{N}$ și $35^{\circ}\text{V} \div 67,4^{\circ}\text{E}$ Acest model al cvasigeoidului a fost verificat cu ajutorul măsurătorilor altimetrice GNSS și nivelment de precizie.

5.1.1.3 Modele locale / naționale

Prin utilizarea pe scară largă a tehnicii GNSS în scopuri geodezice, s-a arătat un mare interes pentru determinarea precisă a geoidului local/național, cu scopul de a înlocui măsurătorile de nivelment cu tehnologia GNSS. Astfel, putem spune că există două abordări :

- o abordare geometrică și,

- o abordare gravimetrică.

5.1.1.4 Situația pe plan național

În România, unele preocupări științifice și cercetări în cadrul unor teze de doctorat au fost dezbătute studii în vederea determinării unor modele de cvasigeoid dar care nu au asigurat precizia necesară domeniului geodeziei.

5.2 Sisteme de altitudini

Pentru a defini un sistem de referință trebuie să se parcurgă, în principiu, două etape:

- să se aleagă o suprafață de referință ;
- să se adopte o definiție, care trebuie să aibă fie o semnificație fizică fie o semnificație geometrică

Există mai multe sisteme de altitudini, cum sunt :

- *Sistemul de altitudini dinamice*
- *Sistemul de altitudini ortometrice*
- *Sistemul de altitudini ortometrice sferoidice*
- *Sistemul de altitudini normale*

Sistemele de altitudini sunt strâns legate de câmpul gravific al Pământului și au o relevanță deosebită în determinarea suprafețelor folosite ca referință pentru acestea (geoid, cvasigeoid).

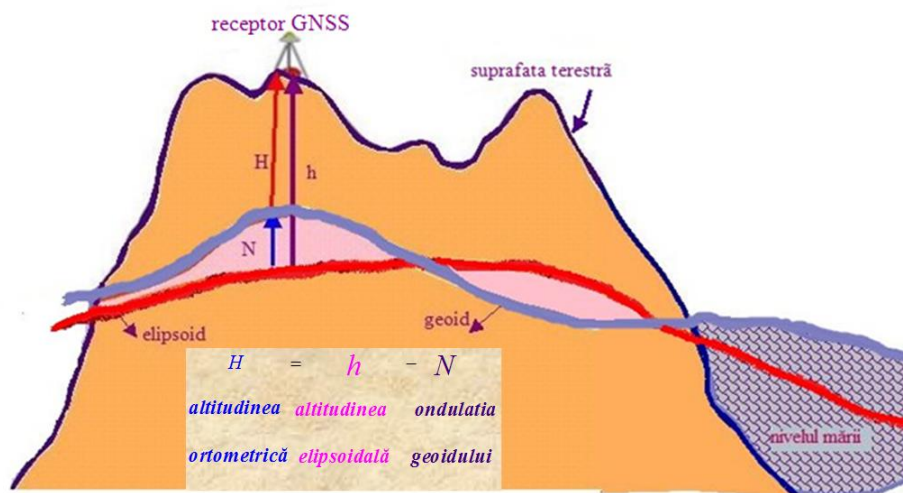


Fig.5.12 Sisteme de altitudini – adaptare [23]

În România, sistemul de nivelment utilizat pentru rețeaua de nivelment de stst este „Sistem Marea Neagră zero 1975” [23].

5.2.1 Altitudinile ortometrice

Altitudinea ortometrică H_S^{OR} reprezintă lungimea segmentului de dreaptă dintre suprafața de nivel a punctului S și geoid, pe direcția firului cu plumb.

$$H_S^{OR} = \frac{C_S}{g} \quad (5.2)$$

unde: \bar{g} = valoarea medie a gravitației reale, în lungul liniei de forță (între S și geoid).

5.2.2 Altitudinile normale

Altitudinile normale pot fi definite fără nici o presupunere sau considerare inițială:

$$H_S^N = \frac{C_S}{\gamma} \quad (5.5)$$

unde: γ - valoarea medie a gravitației normale, în lungul normalei la elipsoid.

De asemenea, pentru H^m se poate lua o altitudine obținută prin nivelment, iar dacă este necesar, relația poate fi iterată.

Altitudinea normală H^m este considerată ca fiind înălțimea punctului S deasupra cvasigeoidului. Alternativ, ea mai este considerată ca fiind înălțimea teluroidului deasupra elipsoidului. Aceste altitudini sunt legate de teoria câmpului gravitației a lui Molodensky.

5.2.3 Altitudinile elipsoidale

Altitudinile descrise mai sus sunt mărimi fizice strâns legate de câmpul gravitațional al Pământului (real sau normal).

Importanța lor este legată de sistemele de poziționare globală (altitudinile furnizate de receptoarele GPS sunt referite la elipsoid) și de determinarea parametrilor de transformare dintr-un sistem de coordonate în altul (la determinarea coordonatelor geocentrice este necesară altitudinea elipsoidală), (Ghițău, 1983).

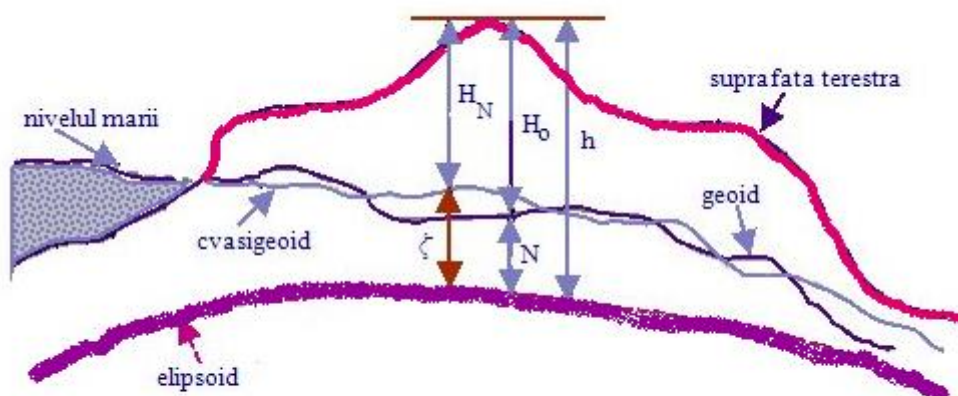


Fig.5.13 Altitudini normale și ortometrice

5.2.4 Date și metode care pot fi utilizate la determinarea unui cvasi(geoid)

5.2.4.1 Măsurători gravimetrice

Determinarea rețelei gravimetrice constă în proiectarea și determinarea punctelor clasificate după modul de obținere a gravitației executate pe suprafața terestră. **Gravimetria este știința care studiază măsurarea mărimilor ce caracterizează câmpul terestru al gravitației. Geodezia Fizică studiază câmpul gravitației în asociere cu figura Pământului (Moritz, 1980).**

1. După modul de determinare a gravitației Rețeaua Gravimetrică Națională este formată din:

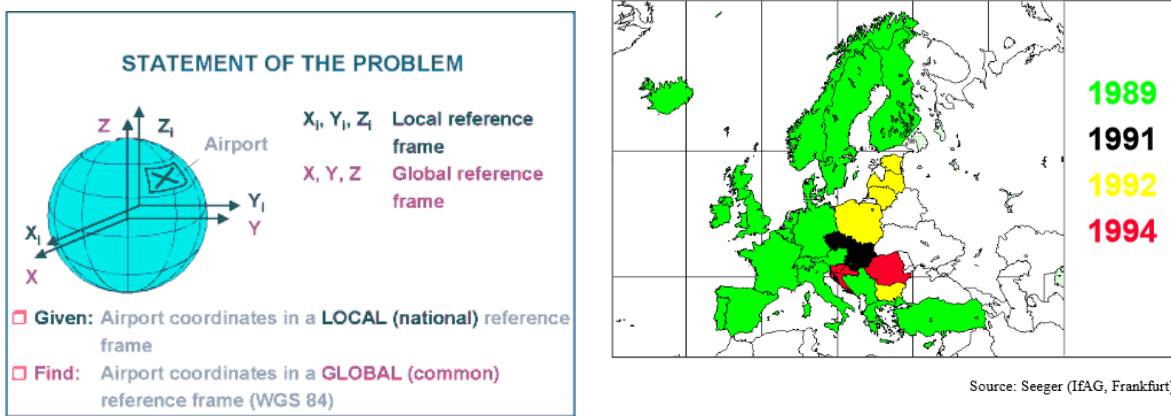
- ✓ Rețeaua gravimetrică de ordinul 1 și,
- ✓ Rețeaua gravimetrică de ordinul 2 ce conține 231 de puncte determinată de Direcția Topografică Militară

5.2.4.2 Măsurători ce utilizează tehnologia GNSS

Sistemul ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) este un sistem cartezian de referință geodezic ECEF (Earth-centred, Earth-fixed), în care placa EuroAsiatică, privită ca un întreg, este statică. Acest sistem este adoptat în anul 2009 în România prin Ordinul nr. 212/04.05.2009, al directorului general al ANCPI privind Adoptarea în România a Sistemului de Referință Terestru European 1989.

Sistemul ETRS89 s-a constituit oficial în 1990 la ședința EUREF de la Florența, care recomandă ca sistemul terestru de referință ce urmează să fie adoptat de către EUREF să coincidă cu ITRS la epoca 1989.0 și să fie referit în partea stabilă a plăcii EuroAsiatică. Prin urmare acest sistem a fost numit Terrestrial Reference System 89 (ETRS89).

Joacă același rol pentru Europa ca și DNA-83 pentru America de Nord (DNA-83 este un datum în care placa Nord Americană, ca un întreg, este statică, și care este folosit în scopuri cartografice și topografice în Statele Unite, Canada și Mexic) ETRS89, la fel ca și WGS-84 și DNA-83, se bazează pe elipsoidul GRS80, (<http://www.ancpi.ro/pages/legislatie.php>).



The European Terrestrial Reference Frame (ETRF)

Fig.5.15 Situatia ETRF-89/EUREF -ianuarie 1995[24]

5.2.4.3 Măsurători astronomico-geodezice

Plecând de la forma matematică a Pământului reprezentată de geoid poate fi determinată prin metode gravimetrice ce presupun cunoașterea anomaliilor gravitației, ca valori limită la nivelul geoidului.

5.2.4.4 Metode de determinare a unui model de cvasi(geoid)

Cvasigeoidul este o suprafață introdusă de Molodenski (1960) ca o soluție practică la problemele ce trebuie rezolvate în geodezie.

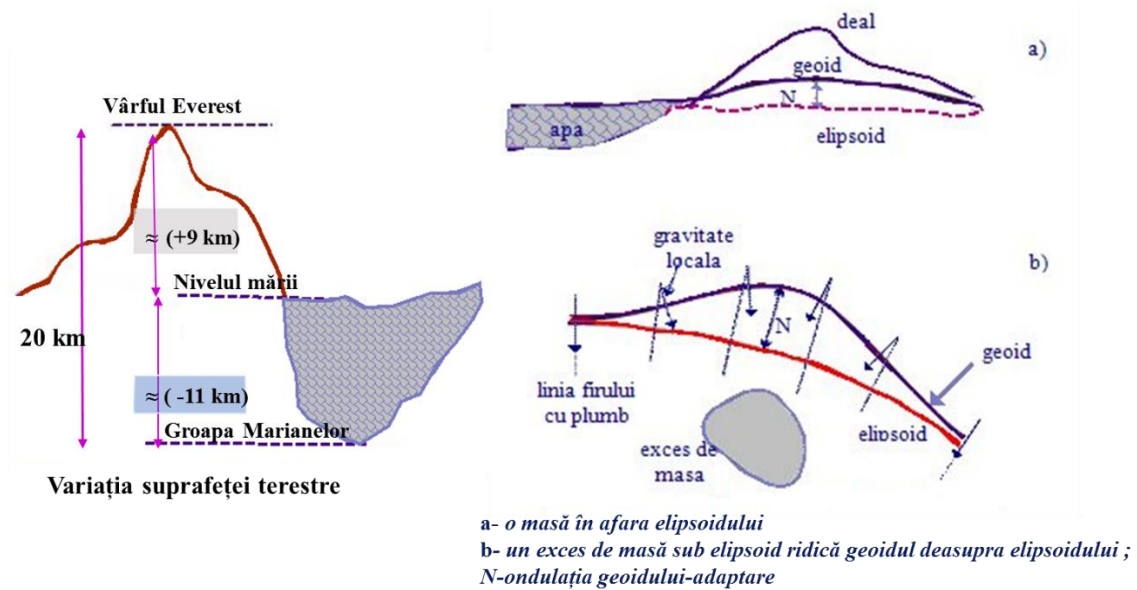


Fig.5.16 Variația ondulației geoidului funcție de variația suprafeței terestre

a. o masă în afara elipsoidului sau

b. un exces de masă sub elipsoid ridică geoidul deasupra elipsoidului. N este ondulația geoidului [26].

5.2.4.5 Alte metode

Dea lungul vremii datorită neajunsurilor cunoscute din măsurătorile clasice de determinare a unui model de cvasi(geoid) au fost dezvoltate și alte metode de determinare a acestuia și prin combinarea unor soluții cunoscute:

- metoda colocației
- metoda Helmert condensată
- metoda transformărilor Fourier rapide
- metoda Molodenski
- metoda colocației combinată cu metoda Stokes (1849)

5.3 Transformări de coordonate

5.3.1 Elipsoidul

Elipsoidul de referință este elipsoidul utilizat la un moment dat pentru rezolvarea problemelor geodezice [23].

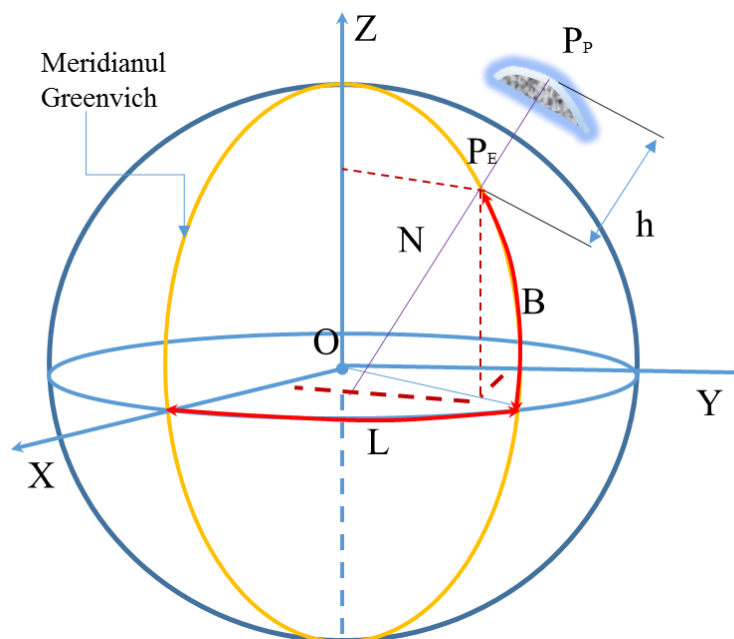


Fig.5.17 Elipsoidul de rotație

În Figura 5.17 este prezentat elipsoidul de rotație unde:

N-normala într-un punct, și este perpendiculară pe planul tangent la elipsoid în punctul considerat;

L-longitudinea, unghiul diedru format de meridianul de origine(Greenwich) și meridianul punctului considerat(P);

B-latitudinea , unghiul format de planul ecuatorului cu normal în punct;

P_p- poziția punctului pe suprafața Pământului;

P_E- poziția proiecției punctului pe elipsoid;

h- altitudinea elipsoidală, definește înălțimea punctului **P_p** față de elipsoid;

5.3.2 Definirea Datumului

Definirea unui datum geodezic global este un proces complex care implică măsurători pe întreaga suprafață terestră. Pentru a fi utilizat un datum, trebuie să se găsească o modalitate practică de a specifica poziția și orientarea unui set de axe carteziane, care sa fie în legătură cu suprafața terestră (originea și axele sistemului sunt în interiorul Pământului).

Prin **datum**, în sens matematic, se înțelege o suprafață particulară de coordonate, [23] pag.386.

5.3.3 Coordonate carteziane și coordonate elipsoidale

Pentru a putea defini coordonatele carteziane (rectangulare) X,Y,Z ale unui punct în spațiu și considerând un elipsoid de revoluție cu aceeași origine ca a sistemului de coordonate carteziane, punctul poate fi definit și prin coordonate elipsoidale B, L, h (Figura 5.17). Între coordonatele carteziane și elipsoidale există următoarele relații:

$$\begin{aligned}
 X &= (N + h) \cos B \cos L \\
 Y &= (N + h) \cos B \sin L \\
 Z &= \left(\left(\frac{b^2}{a^2} \right) N + h \right) \sin B
 \end{aligned}
 \tag{5.13}$$

în care N este raza de curbură a primului vertical

5.4 Metode de interpolare a suprafețelor

Problemele generale și soluțiile care se referă la modelarea suprafețelor naturale sau artificiale se regăsesc în procesul prin care se reprezintă grafic una sau mai multe ecuații matematice. Aceste metode folosite pentru modelarea suprafețelor nu sunt universal valabile pentru toate aplicațiile, ele trebuie să țină cont de dispunerea spațiului bidimensional sau tridimensional. După cum spuneam nu există un algoritm universal de modelare care să țină seama de repetarea unor figuri (poligoane), astfel ca unele figuri să nu se repete și să nu existe goluri în cazul modelării unei suprafețe ce are ca scop reprezentarea reliefului prin afișarea cât mai corectă a geometriei suprafeței.

Cele mai uzuale metode de interpolare pot fi ilustrate în funcție de modelul ecuațiilor parametrice necesare găsirii unei funcții $f(x,y)$ care reprezintă suprafața aferentă valorilor Z asociate cu puncte $P(x,y)$ dispuse neregulat. Asemenea funcții de interpolare pot fi *exacte* și *aproximative* dar și funcții *locale* și *globale*.

Metodele cele mai simple de interpolare presupun reprezentarea ecuațiilor ce descriu suprafețele de regresie prin folosirea polinoamelor de gradul „ n ” în spațiu cu trei dimensiuni, iar metodele complexe folosesc forme avansate ale metodelor polinoamelor.

5.4.1 Aproximarea funcțiilor prin interpolare În funcție de forma funcției de interpolare se disting:

- interpolare polinomială, când funcția $F(x)$ este un polinom;
- interpolare rațională, când funcția $F(x)$ este o fracție simplă;
- interpolare logaritmică, exponențială sau trigonometric.

5.4.1.1 Interpolarea polinomială

În cazul interpolării polinomiale funcția de aproximare are expresia:

$$f(x, y) = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{11}xy + a_{02}y^2 + a_{30}x^3 + a_{21}x^2y + a_{12}xy^2 + a_{03}y^3 + a_{31}x^3y + a_{22}x^2y^2 + a_{13}xy^3 + a_{32}x^3y^2 + a_{23}x^2y^3 + a_{33}x^3y^3 + \dots + a_{mn}x^m y^n$$

unde a_{mn} – coeficienții variabilelor (x, y) (5.24)

m – gradul variabilei x a funcției $f(x, y)$

n – gradul variabilei y a funcției $f(x, y)$

Cunoașterea polinomului $F(x,y)$ presupune determinarea coeficienților a_{mn} . dacă se scrie expresia pentru fiecare $m+n+1$ puncte ce reprezintă polinomul de ordinul $m+n$ ce descrie tendința unei suprafețe determinată de setul de puncte.

5.4.1.2 Interpolarea biliniară

Interpolarea biliniară este utilizată în cazul suprafețelor rectangulare pentru care se cunosc coordonatele nodurilor rețelei, numită interpolare de ordinul 1 și pentru care se dorește aflarea unei valori ce se află în interiorul celulei.

5.4.1.3 Interpolarea multivariată

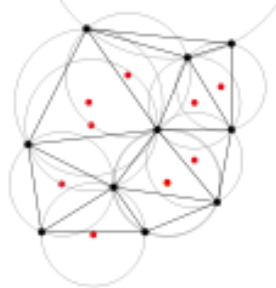
Interpolarea multivariată este reprezentată de o funcție ce conține mai mult de o variabilă, numită și interpolare spațială care se realizează utilizând mai multe metode în funcție de dispunerea setului de date. Așadar putem vorbi despre o interpolare într-o rețea regulată sau interpolare într-o rețea neregulată (setul de date are dispunere aleatoare).

Pentru *interpolarea rețelelor regulate* putem folosi mai multe metode :

- interpolarea biliniară
- interpolarea bicubică
- interpolarea prin metoda celui mai apropiat vecin.

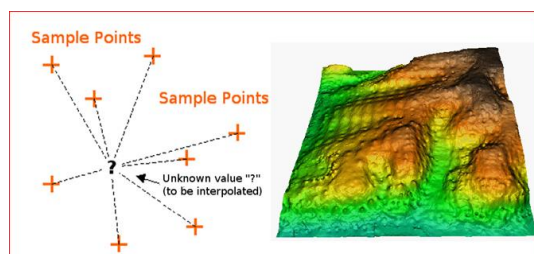
În cazul interpolării în rețelele neregulate putem utiliza următoarele metode:

- metoda triangulării Delaunay cu interpolare liniară



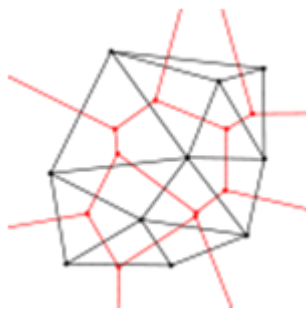
sursa: (wikipedia.org/wiki/Delaunay_triangulation)

- metoda cu ponderea egală cu inversul distanței (IDW)



sursa:http://www.qgis.org/en/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation

- metoda vecinului natural



Conectarea centrelor circumscrise produce diagrama Voronoi (roșu), matematician rus VORONOV Gheorghe Fedoszeevich (1868-1908)

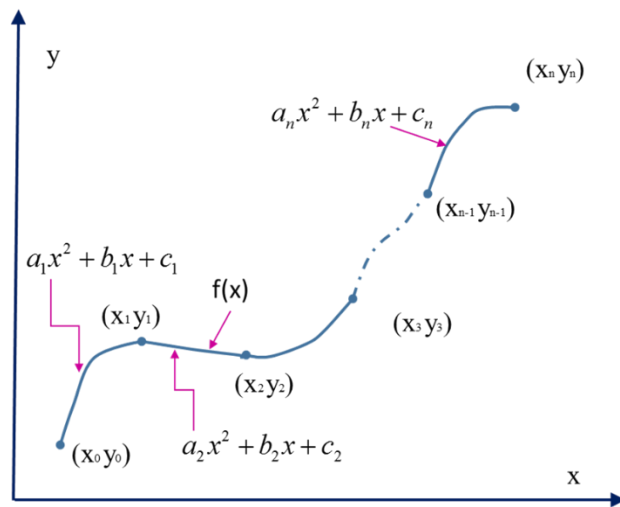
sursa:http://www.qgis.org/en/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation - metoda interpolării spline cubice

- metoda Kriging (nu se specifică efectul erorilor)

5.4.1.4 Suprafața de regresie

În funcție de ordinul polinomului $f(x,y)$ dat de gradele m și n ale variabilelor (x,y) se pot determina suprafețe :

- cuadrice (polinom de ordinul 2)



5.4.1.5 Metoda Delaunay de triangulare cu interpolare liniară

Această metodă se bazează pe împărțirea unei suprafețe în triunghiuri, fiecare triunghi definește prin vârfurile sale un plan creând astfel o suprafață compusă din părți liniare. Metoda a fost inventată de Boris Delaunay-1934, fiecare cerc circumscris unui triunghi nu trebuie să conțină vârful altui triunghi.

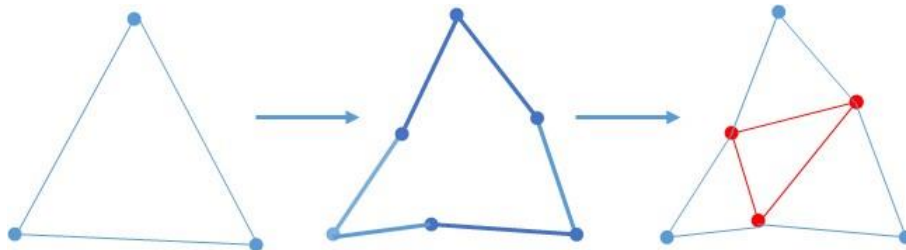


Fig.5.21 Unirea cu precizie a ochiurilor prin triangulație

5.5 Modelul Digital al Terenului

Construirea modelului constă în crearea unei suprafețe continue prin metoda interpolării plecând de la datele culese din teren prin una sau mai multe dintre metodele măsurătorilor gravimetrice combinate cu determinări astrono-geodezice. Modelul Digital al Terenului este una din metodele des utilizate și poate fi generat utilizând mai multe tehnici de măsurare fiind reprezentat în format raster sau vector.

5.5.1 Cartografierea cadrului-m (frame-m)

Deși coordonatele amprentei laser sunt, de obicei, generate prin relația 5.26 norul de puncte final este, deseori necesar în alt datum și proiecția denumită “sistemul de cartografiere” („mapping frame”), care reprezintă, de obicei, un sistem național de coordonate.

$$x_p^e(t) = x_b^e(t) + R_l^e(\varphi(t), \lambda(t))R_b^l(r(t), p(t), y(t))R_s^b(\omega, \varphi, k) \left(x_b^s + \rho(t) \begin{pmatrix} 0 \\ \sin \theta(t) \\ \cos \theta(t) \end{pmatrix} \right) \quad (5.26)$$

5.5.1.1 Extragerea modelelor digitale ale terenului-MDT

Acest subcapitol se axează pe extragerea modelelor digitale ale terenului (MDT-uri) din datele de scanare laser. Un MDT, denumit uneori, de asemenea, un model digital de elevație (DEM), este o reprezentare matematică, de exemplu, un model al suprafeței terenului (bare earth-teren neacoperit) în format digital.

Interpretarea se face, de obicei, separat în post-prelucrare și poate fi adaptată la fiecare aplicare în parte. Pentru generarea MDT pe baza acestor date generate automat, este esențial în această etapă de post-prelucrare să se extragă datele relevante despre teren (bare earth) din toate informațiilor colectate.

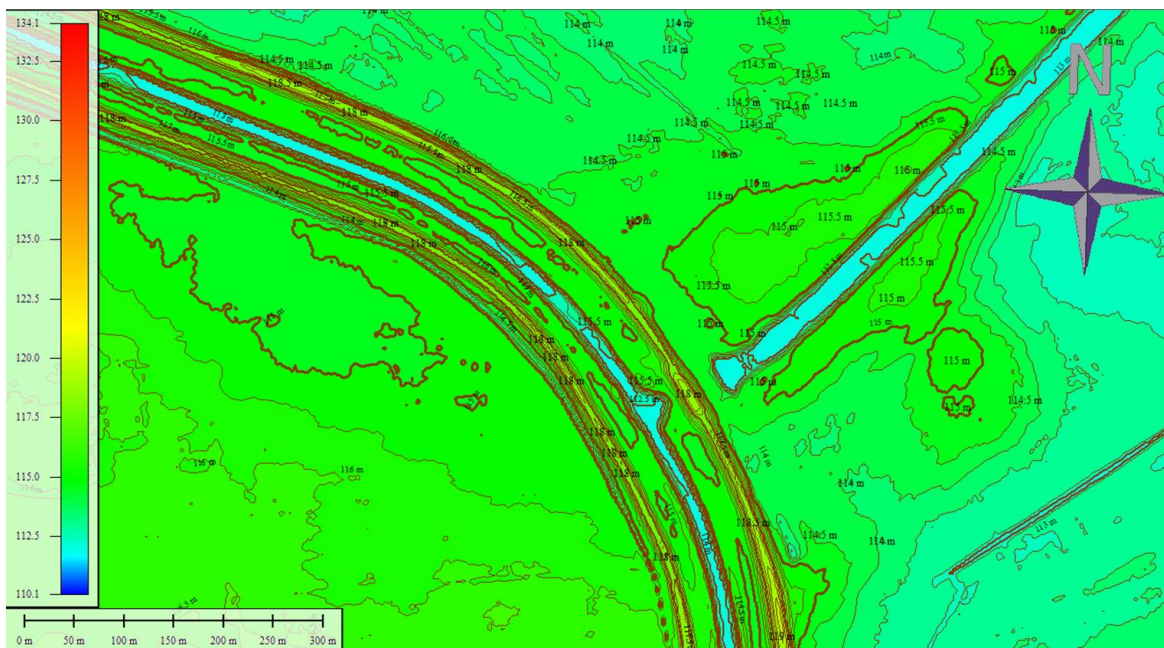


Fig.5.24 (b) Reprezentarea izolinilor pentru realizare MDT

Această sarcină este o clasificare a datelor topografice obținute în mod automat în informații despre teren și în afara terenului (terrain and off-terrain). În mediul de scanare laser aeropurtat, acest proces este de obicei menționat ca filtrare. În această secțiune se prezintă o selecție reprezentativă a unora dintre aceste metode și oferă referințe din literatura de specialitate. În plus, este discutat potențialul viitor de informații suplimentare furnizate de sisteme scanare laser aeropurtate cu formă de undă completă pentru generarea MDT.

5.5.1.2 Îndesirea progresivă

Metodele care aparțin grupului de îndesire progresivă urmează o strategie diferită de filtrare. Acești algoritmi încep cu un mic subset al norului de puncte dat (puncte de teren preclasificate) și cresc iterativ cantitatea de informații folosite pentru a clasifica întregul set de date pas cu pas. O abordare reprezentativă a acestui grup este îndesirea progresivă a rețelei triunghiulare neregulate (TIN-triangular irregular network) introduse de Axelsson (2000). Pentru a identifica alte puncte ca puncte de „teren”, Sohn și Dowman(2002) propun să se adauge un pas superior de îndesire. În cadrul acestui pas aceștia sugerează să se adauge în fiecare triunghi puncte care sunt într-un anumit punct limită (buffer) cu privire la suprafața definită a fi triunghiul și care îndeplinește un anumit criteriu de lungime minimă a descrierii (MDL).

5.5.1.3 Determinarea structurii liniilor

Pentru o reprezentare de înaltă calitate a terenului, informațiile privind structura liniilor sunt esențiale pentru a descrie în mod adecvat caracteristicile lineare (de ex. un baraj sau o autostradă) ale suprafeței de teren. Brugelmann (2000) prezintă unele abordări bazate pe raster, iar o altă metodă suplimentară bazată pe testarea ipotezei „măsurarea omogenității: variația quadrică” O altă abordare diferită, semi-automată, bazată pe raster pentru modelarea 2D a liniei de pantă bazată pe snakes (CURBE de nivel-izolinii), în funcție de valorile principale ale curbelor de nivel determinate la nivel local estimate prin geometrie diferențială, a fost introdusă de Kerschner (2003). Borkowski (2004) prezintă două concepte diferite de modelare 2.5D a liniei de pantă.

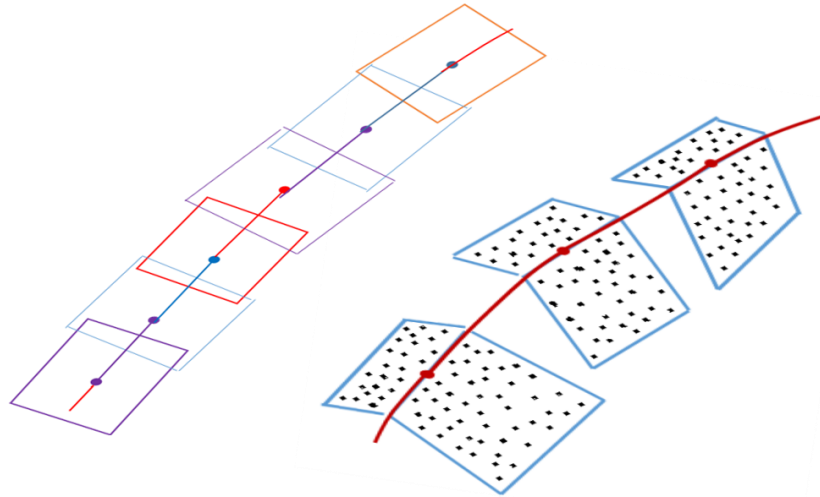


Fig.5.25 Determinarea liniilor de pantă prin unirea perechilor cu ajutorul suprapunerilor-adaptare [29]

Avantajul acestui procedeu este că la fel ca și reducerea zgomotului de măsurare în direcția z, precizia planimetrică a liniei poate fi crescută datorită informațiilor redundante furnizate de numărul de puncte care contribuie la ajustare. Mai mult, abordarea ține cont de propagarea riguroasă a erorilor. Pe baza legii de propagare a erorilor, matricea de covarianță a unui punct reprezentativ (intersecție) poate fi determinată, iar elipsoidul de covarianță (Figura 5.26) a erorilor pe direcția liniei poate fi estimat [Briese și Pfeifer, 2008].

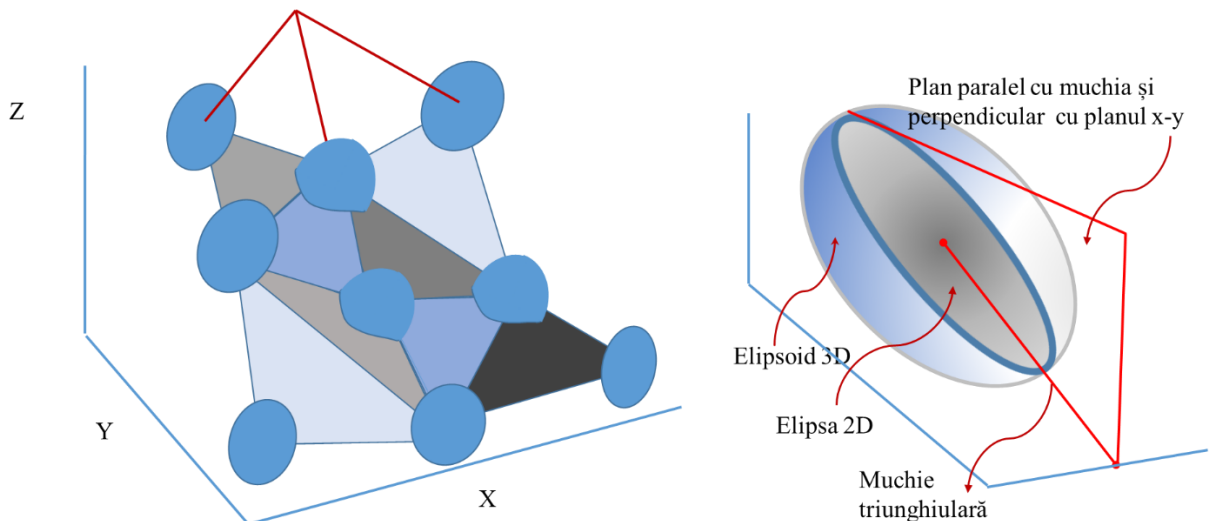


Fig.5.26 Reprezentarea suprafeței TIN cu elipsoidul de eroare atașat fiecărui punct-adaptare [4]

Acest proces de estimarea de liniilor de rupere (breaklines) poate fi extins la diferitele tipuri de linii (formă liniară, linii de racordare (step edges), limite de hotar) și în aplicațiile 3D având date din scanarea laser terestră [Briese și Pfeifer, 2008].

6. STUDIU DE CAZ

6.1 Descriere bazin hidrografic

6.1.1 Amplasare și delimitări hidrografice

Bazinul hidrografic Someș-Tisa este situat în partea de nord și nord-vest a țării, delimitat la nord de granița cu Ucraina, la vest de granița cu Republica Ungară, iar pe teritoriul țării se învecinează cu bazinul hidrografic al Siretului la est, bazinul Mureșului la sud și bazinul Crișurilor la sud-vest.

Suprafața totală a bazinului hidrografic este de 22.380km² reprezentând 9,5% din suprafața țării, fiind format pe teritoriul României de râurile Tisa (inclusiv Turul), Someș și Crasna.

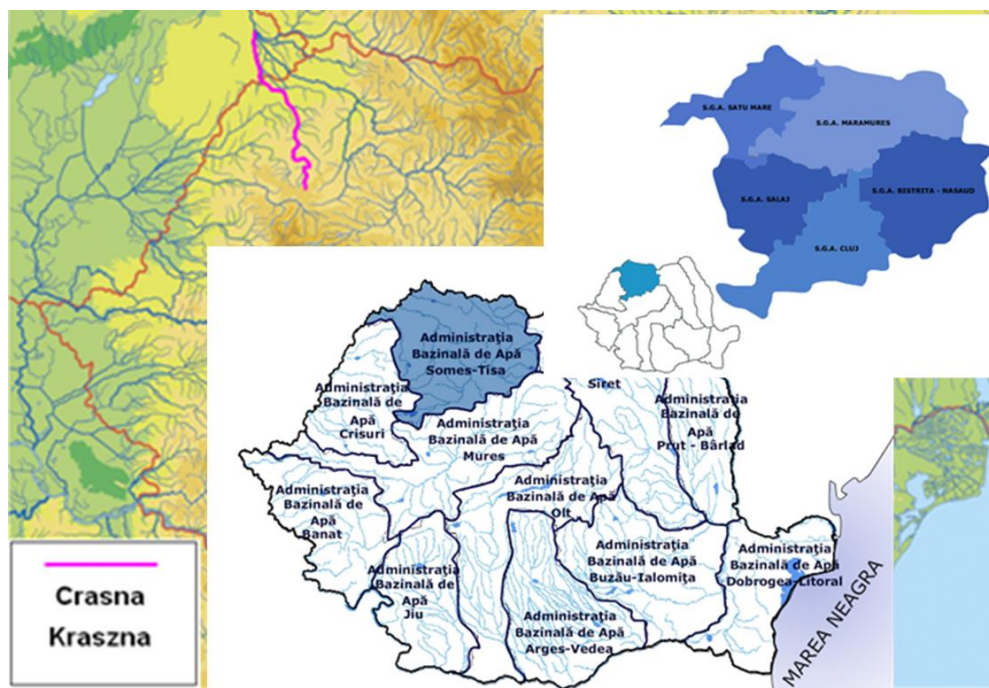


Fig.6.1 Bazinul hidrografic Someș-Tisa

sursa: <http://www.rowater.ro>

6.1.2 Densitatea rețelei hidrografice

Suprafața pe care se întinde acest bazin hidrografic cuprinde din punct de vedere administrativ 7 județe: Bistrița-Năsăud cu o suprafață de 5305km², Cluj cu suprafața de 6650km², Sălaj cu suprafață de 3850km², Maramureș cu suprafața de 6215 km², Satu-Mare cu o suprafață de 4405km², Bihor cu o suprafață de 54 de km² și Alba cu o suprafață de 4 km². Populația bazinului hidrografic este de 2.500.000 locuitori.

6.1.3 Numărul și lungimea cursurilor de apă codificate

Bazinul hidrografic Someș -Tisa cuprinde un număr de 580 cursuri de apă codificate, cu o lungime a rețelei hidrografice de 7.828 km.

Someșul Mic izvorăște din munții Apuseni, munți cu multe culmi netede, doar câteva din ele mai înalte, din care varful Vlădeasa, cu înălțimea de 1836 m, aflat la limita bazinului, este al doilea ca înălțime din Carpații Occidentali.

Suprafața împădurită din cadrul bazinului este de 706000 ha, cu un grad mediu de împădurire de 31,5%. Pe județe, suprafețele împădurite și gradul de împădurire sunt:

Județul	Suprafața împădurită (ha)	Grad de împădurire (%)
Bistrița Năsăud	197000	39
Cluj	119000	28
Maramureș	250000	41
Satu Mare	60000	15
Sălaj	80000	24
TOTAL	706000	31.5

Pe bazine, fondul forestier se prezintă astfel :

- B.H. Someș-502000 ha
- B.H. Crasna-33000 ha
- B.H. Tisa-171000 ha

6.1.3.1 Subbazinul Tisa

Pe teritoriul Românesc râul Tisa adună apele unui număr de 123 cursuri de apă codificate, cu o lungime totală de 1.592 km (2 % din lungimea totală a rețelelor codificate în țară). Cei 4.540 km ai bazinului reprezintă 1,9 % din suprafața țării și 20 % din suprafața bazinului hidrografic Someș -Tisa.

6.1.3.2 Subbazinul Someș

Someșul izvorăște din munți Rodnei și până la confluența cu Someșu Mic poartă numele de Someșu Mare. Cele 403 cursuri de apă codificate totalizează o lungime de 5.528 km (7 % din lungimea totală pe țară). Suprafața bazinului este de 15.140 km² și reprezintă 6,6 % din suprafața țării și 71 % din suprafața spațiului hidrografic Someș -Tisa.

6.1.3.3 Subbazinul Crasna

Cuprinde 54 cursuri de apă codificate cu o lungime totală de 708 km (0,9 % din lungimea totală pe țară). Suprafața este de 2100 km², adică 0,9 % din suprafața țării și 9 % din cea a spațiului hidrografic Someș-Tisa. Densitatea medie a rețelei este de 0,34 km/ km² scăzând treptat din amonte în aval. Fondul forestier acoperă o suprafață de 331km², adică 15,8 % din suprafața bazinului hidrografic.

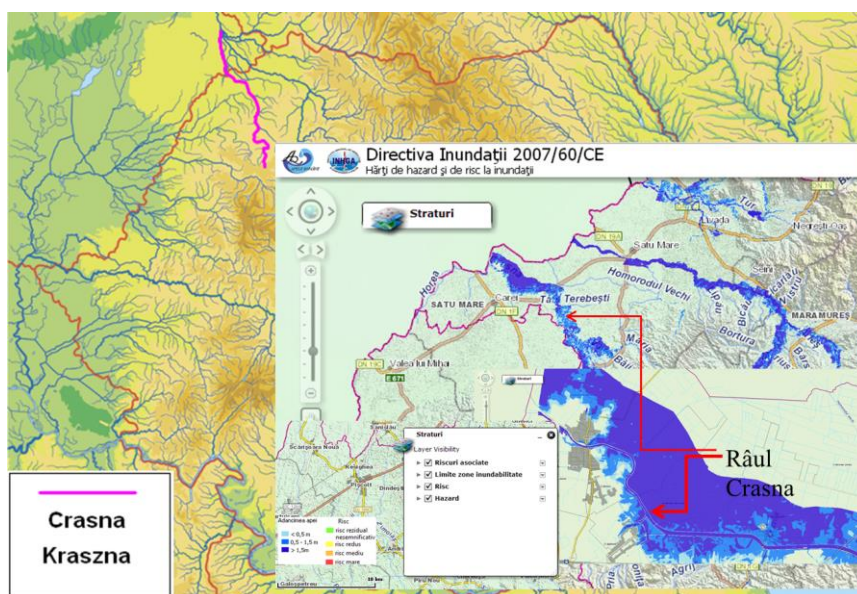


Fig.6.2 Bazinul hidrografic Crasna sursa: <http://www.rowater.ro>

6.2 Realizarea rețelei geodezice de sprijin pentru bazinul hidrografic Someș-Tisa

Pentru realizarea hărților de hazard și risc la inundații în conformitate cu "Directiva 2007/60/CE" în contextul cerințelor "privind evaluarea și managementul riscului la inundații" în bazinul hidrografic Someș-Tisa a fost necesară realizarea rețelei geodezice de sprijin pentru acest bazin. În contextul acestor prevederi, măsurile de reducere a acestor riscuri, pentru a fi eficiente trebuie coordonate la nivelul unui întreg bazin hidrografic. În acest context se impune crearea unor planuri de gestionare a bazinelor hidrografice. Planurile de gestionare a riscului la inundații trebuie să asigure mai mult spațiu râurilor în vederea întreținerii și/sau refacerea zonelor inundabile [39].

Caracteristicile principale necesare realizării rețelei geodezice de sprijin:

2. - 5 stații permanente (pentru transmiterea coordonatelor în sistem ETRS89)
3. - 4 puncte din rețeaua geodezică națională
4. - 5 reper de nivelment (amplasati pe calea ferată)
5. - 33 de puncte noi bornate;
6. Bornele sunt de tip Feno, numerotate (**FLSM+nr punct (FLSM=FLIGHT SOMES, FLSM1....FLSM33)**) și au fost amplasate astfel încât să se acopere întreaga suprafață a bazinului hidrografic Someș Tisa.

Etapele principale ale lucrării:

- 1 - Proiectarea rețelei;
- 2 - Stabilirea în funcție de condițiile din teren a locurilor unde au fost fi amplasate punctele bornate;
- 3 - Efectuarea măsurătorilor DGNS de teren;
- 4 - Calculul și compensarea rețelei geodezice de sprijin;

6.2.1 Proiectarea rețelei și efectuarea măsurătorilor de teren

Proiectarea rețelei a fost realizată pe hărți la scări mici, având în vedere amploarea lucrării și amplasarea noilor puncte bornate în locuri ușor accesibile. La proiectarea rețelei geodezice s-a încercat realizarea unor lanțuri de triunghiuri cu latura variabilă de 30-40 km. Proiectul tehnic conține și planificarea etapelor de măsurători.

Pentru lucrarea de față măsurătorile au fost împărțite în trei etape distincte și anume:

- realizarea rețelei geodezice de sprijin pentru determinarea coordonatelor în sistem absolut ETRS89
- realizarea rețelei geodezice de sprijin pentru determinarea coordonatelor în sistem absolut Stereografic 1970
- realizarea rețelei geodezice de nivelment pentru determinarea altitudinilor.

Ca puncte cu coordonate în sistem ETRS89, absolut s-au utilizat stațiile permanente **BAIA, DEVA, CLUJ**, din Romania și **NYIR, OROS** din Ungaria.

6.2.2 Prelucrarea și compensarea rețelei

Prelucrarea rețelei geodezice de sprijin în sistem WGS 84 absolut, referit la ETRF89, a fost făcută folosind softul *LEICA Geo Office 5.0*. (soft ce permite prelucrarea rețelei în 3D).

Pentru a obține coordonatele în sistem Stereografic 1970 pentru punctele măsurate în sistem WGS 84 s-a utilizat algoritmul Helmert pentru determinarea celor 7 parametri. Etapele de lucru sunt următoarele:

1. Existența a minim cinci puncte comune determinate în sistem absolut GRS80 și Stereografic 1970.

2. Calculul undulației geoidului pentru punctele comune. Transformarea cotei normale h_n în cotă elipsoidală h_e .
3. Transformarea coordonatelor din sistemul Stereografic 1970 $(x,y,h_e)_{KR}$ prin formulele cu coeficienți constanți, în coordonate geodezice $(B,L,h_e)_{KR}$ referite la elipsoidul Krasovski.
4. Transformarea coordonatelor geodezice $(B,L,h_e)_{KR}$ în coordonate carteziene $(X,Y,Z)_{KR}$.
5. Coordonatele punctelor comune $(X,Y,Z)_{ITRS}$ determinate cu receptoare GNSS referite la GRS80 și $(X,Y,Z)_{KR}$ referite la elipsoidul Krasovski sunt folosite la determinarea celor 7 parametri ai transformării Helmert .

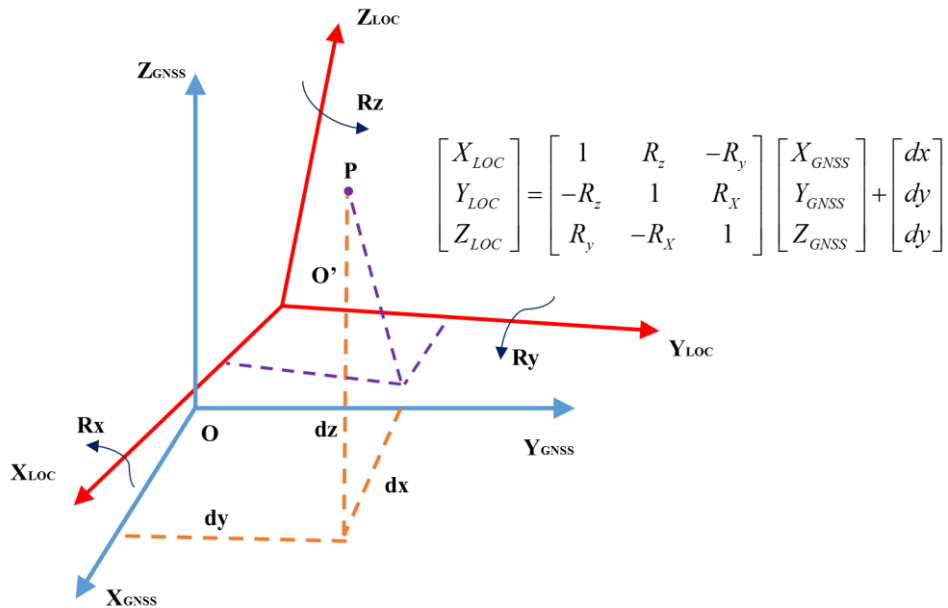


Fig.6.3 Transformarea tridimensională între 2 sisteme spațiale metoda HELMERT

6. Coordonatele $(X,Y,Z)_{WGS}$ pentru alte puncte decât cele comune pot fi transformate cu ajutorul celor 7 parametri Helmert în $(X,Y,Z)_{KR}$ referite la elipsoidul Krasovski folosind parametri de transformare calculați în pasul anterior.
7. Toate coordonatele carteziene $(X,Y,Z)_{KR}$ pot fi transformate în coordonate geodezice $(B,L,h_e)_{KR}$.
8. Punctele cu coordonate geodezice $(B,L,h_e)_{KR}$ de pe suprafața elipsoidului sunt proiectate pe planul secant (Sistemul Stereografic 1970) prin formule cunoscute de la „Cartografia matematică“, rezultând $(x,y,h_e)_{KR}$.

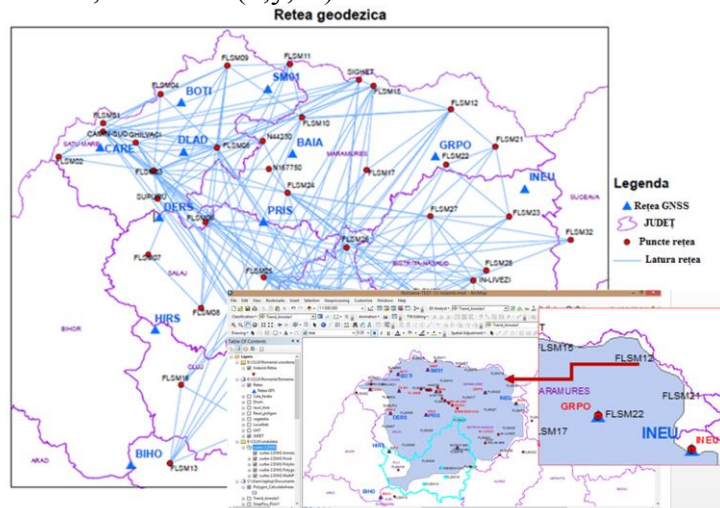


Fig.6.4 Realizarea rețelei geodezice-bazin hidrografic Someș-Tisa

Realizarea rețelei geodezice are ca scop crearea unui schelet de puncte care vor fi folosite la stabilirea zonei de interes în vederea efectuării unui zbor cu tehnologia LiDAR necesar efectuării modelului digital al terenului foarte precis.

În continuare este prezentat algoritmul de calcul al punctelor din rețeaua geodezică de sprijin pentru bazinul hidrografic Someș – Tisa zona de nord, unde este prezentată transformarea coordonatelor $(B,L,h)^{GRS80}$ în coordonate carteziene $(X,Y,Z)^{GRS80}$ și ulterior transformarea coordonatelor $(x,y,H)^{ST70}$ în coordonate geografice (B,L,H) pe elipsoidul Krasovski 1940. Coordonatele vor fi obținute în urma calculului de compensare folosind modelul Gauss-Markov.

$$v = Ax + L \quad (6.1)$$

unde:

- v - vectorul corecțiilor de dimensiune $3 \times$ numărul bazelor ($\Delta X_{ij}, \Delta Y_{ij}, \Delta Z_{ij}$.)
- A – matricea de configurație care conține coeficienți $0, +1, -1$ cu dimensiunea $3 \times$ numărul bazelor și $3 \times$ numărul *punctelor din rețea*;

$$\underline{A}_i = \begin{array}{c} \left(\begin{array}{ccc|ccc} 1 & 0 & 0 & 0 & -Z_i & Y_i \\ 0 & 1 & 0 & Z_i & 0 & -X_i \\ 0 & 0 & 1 & -Y_i & X_i & 0 \end{array} \right) \begin{array}{c} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{array} \\ \text{[translații]} \quad \text{[rotații]} \quad \text{[scara]} \end{array}$$

- x – vectorul parametrilor;
- L – vectorul termenilor liberi de dimensiune $3 \times$ numărul bazelor;

Pentru n observații și u necunoscute se poate calcula eroarea medie a unității de pondere cu relația:

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{v^T v}{n - u}}, \quad (6.2)$$

Scopul lucrării fiind obținerea modelului digital al terenului, a fost necesar ca pe lângă realizarea rețelei geodezice de sprijin să se efectueze măsurători GNSS suplimentare pentru determinarea altitudinilor.

Transformarea 1D

PCT.	Coordonate Stereo 70			Altitudinea elipsoidală
	x[m]	y[m]	H[m]	h[m]
BAIA	684618.173	391775.095	230.21	271.026
BOTI	706588.7999	344317.2772	127.565	166.081
CARE	687486.1607	309432.2392	163.869	203.931
DLAD	685527.3136	345329.9294	234.67	274.348
GRPO	683510.3797	452951.6752	632.816	671.315
INEU	669635.0644	491354.4897	2278.69	2318.476

PCT.	h[m]	H[m]	Necunoscute			l [m]	v [m]
			Δh	$d\alpha_1$	$d\alpha_2$		
BAIA	271.026	230.210	-1	-108224.905	-184618.173	-40.816	-0.462
BOTI	166.081	127.565	-1	-155682.7228	-206588.7999	-38.516	0.223
CARE	203.931	163.869	-1	-190567.7608	-187486.1607	-40.062	0.386
DLAD	274.348	234.670	-1	-154670.0706	-185527.3136	-39.678	0.386
GRPO	671.315	632.816	-1	-47048.3248	-183510.3797	-38.499	0.000
INEU	2318.476	2278.690	-1	-8645.5103	-169635.0644	-39.786	0.000

Forma ecuației de corecție:

$$v_i = -dh + y_i d\alpha_1 - x_i d\alpha_2 - (h_i - H_i)$$

Conform (Moldoveanu, 2002) transformarea se realizează pe baza unor puncte cu coordonate cunoscute în ambele sisteme (în sistemul din care se face transformarea și sistemul în care se face transformarea, acesta din urmă fiind numit de multe ori și sistem local, în sensul că este specific unei zone, țări), numite puncte comune.

În relația ecuației de corecție, forma liniară necunoscutele sunt:

- dh-translația între cele două sisteme;
- $d\alpha_1, d\alpha_2$ -unghiurile de rotație în jurul axelor de coordonate ale sistemelor în care este definită poziția planimetrică a punctelor cotate.
- $l_i = H_i^n - h_i^e$, termenul liber;
- H_i^n -altitudinea în sistemul normal de altitudini;(Marea Neagră 1975)
- h_i^e -altitudinea elipsoidală GRS80

6.3 Determinarea undulațiilor

Scopul cercetării este de a determina altitudini normale cu eforturi minime folosind tehnologia GNSS corelată cu măsurători provenite din nivelmentul geometric, cu precizie ridicată.

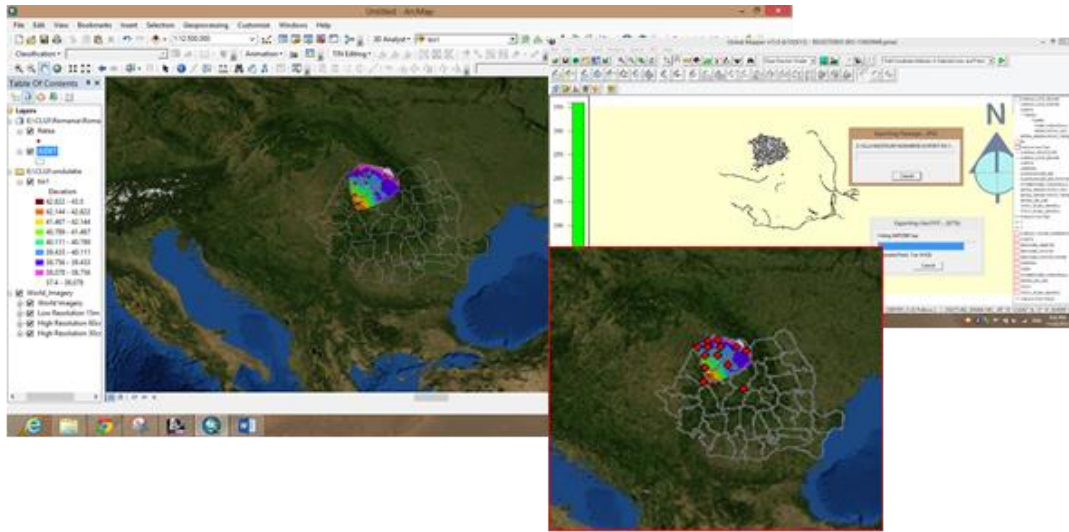


Fig.6.5 Identificare zona de studiu

Dar, pe de altă parte determinările provenite din măsurătorile de nivelment geometric necesită timp îndelungat de măsurare, număr mare de echipe implicând costuri ridicate, astfel că modalitatea de obținere a altitudinilor normale (cvasigeoid) folosind tehnologia GNSS ar fi cunoașterea unui model de cvasigeoid pentru zona de lucru.

La alegerea punctelor pentru testarea modelului de cvasigeoid am luat în considerare distribuția neomogenă și caracteristicile topografice, geomorfologice. Coordonatele geodezice elipsoidale ale punctelor în sistem de referință ETRS89 (B,L,h), elipsoid GRS80 precum și altitudinea normală în sistem de referință altimetric național.

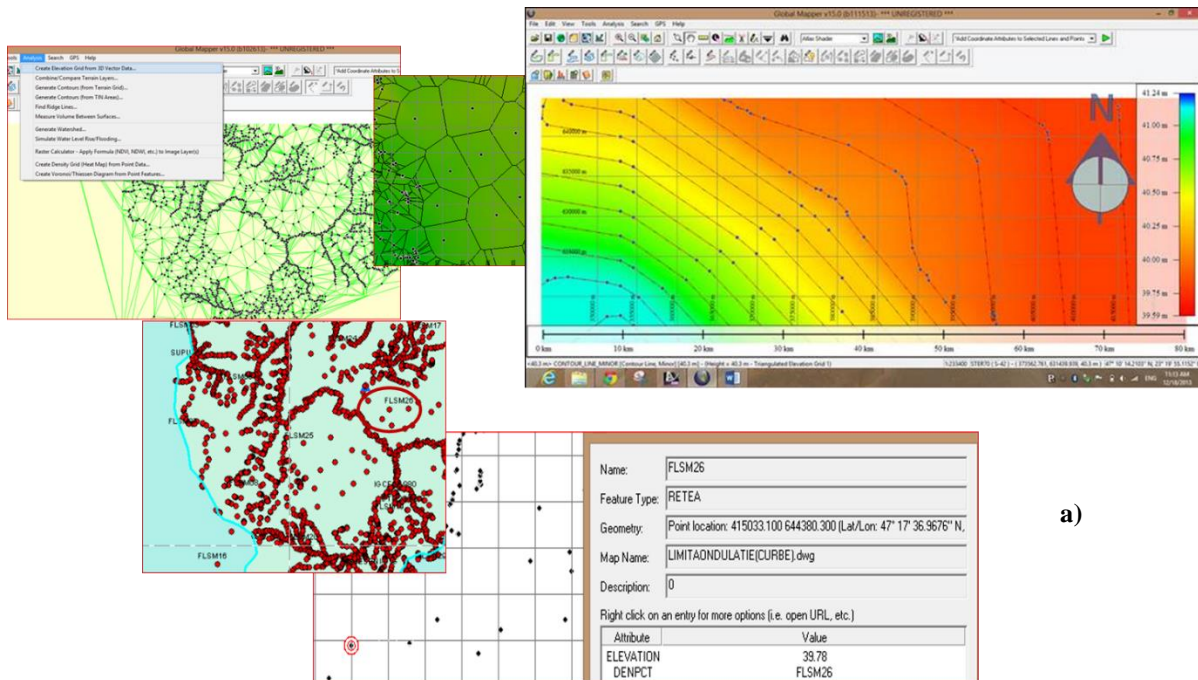
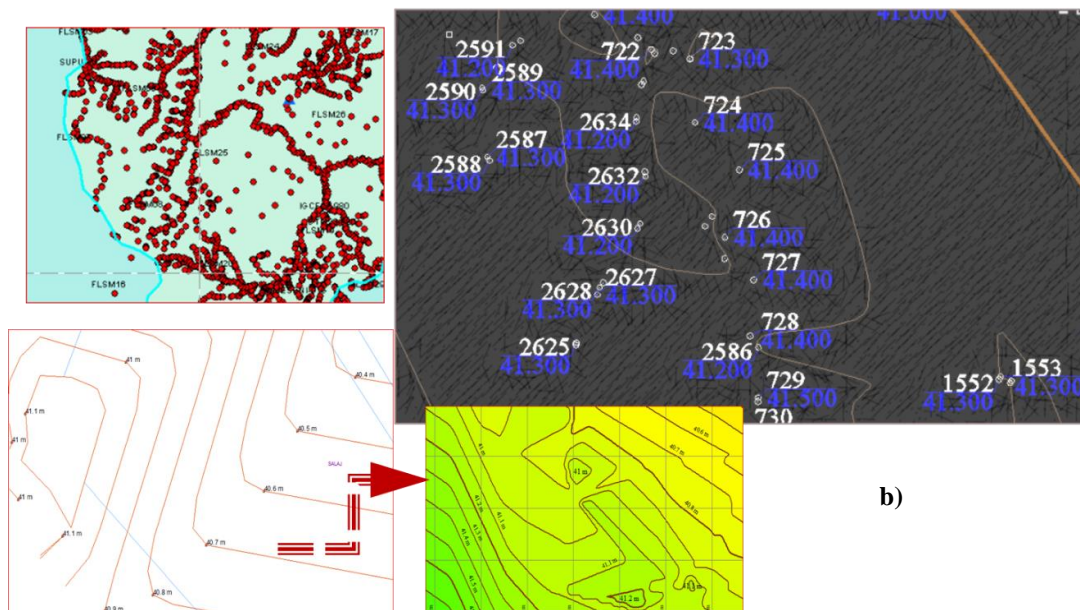


Fig.6.8 Crearea modelului 3D și identificare puncte eronate din zona (a și b)



b)

Configurarea suprafeței necesare modelării unui cvasi(geoid) trebuie să se bazeze pe punctele comune, punctele de referință funcționează corespunzător doar în zona acoperită de acestea, arată cercetările în domeniu fără rezultate fiabile pentru punctele de extrapolare.

Există diferite tehnici de interpolare utilizate în aproximarea altitudinilor cvasi(geoidului), dar această aproximare a suprafeței modelului dă rezultate mai bune în cazul unei suprafețe cât mai regulate și o distribuție omogenă a punctelor de referință dar și densitate corespunzătoare a acestora. Exprimarea suprafeței cvasigeoidului ca suprafață analitică reprezintă una din modalitățile de aproximare. În zonele muntoase determinarea undulațiilor s-a obținut din măsurători ce au folosit puncte din rețeaua geodezică de stat utilizând receptoare GNSS. Aceste puncte având cota normală din inventarul de puncte geodezic și s-a determinat altitudinea elipsoidală (h).

Pentru a putea face o comparație între cvasigeoid și geoid, undulațiile geoidului au fost calculate pentru modelul EGM96, folosind *Geoid Height calculator* (www.ngdc.noaa.gov) și EGM2008 utilizând (*All Trans EGM2008 Calculator v.1.2*). Rezultatele pentru aceste calcule sunt prezentate în Tabelul 6.3.

Tabel 6.3 → Rezultate comparative ale diferentelor între cvasigeoid și geoid

Pct.	n(m)	calcul N cu modelul EGM2008				calcul N cu modelul EGM96	diferențe între cvasigeoid și geoid(m)				
		bicusadratic	bilinar	triangulation	col mas. agrorip. vecin		modelul EGM2008				modelul EGM96
FLSM01	39.75	40.0714	40.0677	40.0629	39.9902	39.5650	-0.322	-0.318	-0.313	-0.241	0.185
FLSM02	40.22	39.4701	39.4753	39.4753	39.6884	40.1180	0.755	0.749	0.749	0.536	0.107
FLSM03	39.90	39.8684	39.8740	39.8805	40.1143	39.4500	0.035	0.030	0.023	-0.211	0.454
FLSM04	39.22	38.9857	39.0020	39.0004	39.0421	38.9470	0.235	0.219	0.221	0.179	0.274
FLSM05	39.56	39.4816	39.4741	39.4741	39.4720	38.9030	0.081	0.088	0.088	0.090	0.659
FLSM06	40.02	40.3479	40.3404	40.3401	40.5160	39.6300	-0.326	-0.319	-0.318	-0.494	0.392
FLSM07	41.31	40.9597	40.9893	41.0081	41.1199	40.4390	0.553	0.523	0.509	0.193	0.874
FLSM08	41.19	41.1710	41.1942	41.1778	41.4763	41.0060	0.016	-0.008	0.009	-0.290	0.181
FLSM09	38.84	38.7273	38.7234	38.7229	38.6967	38.5600	0.116	0.100	0.120	0.147	0.283
FLSM10	39.11	39.4983	39.3787	39.4036	39.3521	38.7790	-0.391	-0.272	-0.296	-0.245	0.328
FLSM11	38.75	38.5683	38.5602	38.5575	38.3868	38.5510	0.177	0.185	0.188	0.158	0.194
FLSM12	37.92	38.3723	38.3619	38.3581	38.3087	38.3930	-0.448	-0.438	-0.434	-0.385	-0.469
FLSM13	42.07	43.7797	43.6832	43.6927	43.7185	42.8150	-1.707	-1.610	-1.620	-1.646	-0.742
FLSM14	41.91	42.5121	42.4654	42.4837	42.4314	41.6650	-0.601	-0.555	-0.573	-0.521	0.246
FLSM15	38.31	38.1937	38.2609	38.2579	38.5499	38.6400	0.112	0.045	0.048	-0.244	-0.335
FLSM16	41.91	42.7344	42.7693	42.5999	42.2058	42.3690	-0.822	-0.857	-0.688	-0.294	-0.457
FLSM17	39.18	39.8085	39.7036	39.6363	39.3832	39.0920	-0.628	-0.524	-0.456	-0.403	0.088
FLSM18	40.61	40.7930	40.7774	40.7689	41.0851	40.1510	-0.185	-0.169	-0.161	-0.477	0.457
FLSM19	39.86	39.9085	39.9270	39.8625	39.8083	39.507	-0.053	-0.072	-0.007	0.047	0.348
FLSM20	41.01	41.1734	41.1736	41.1951	41.0975	40.8890	-0.162	-0.162	-0.184	-0.086	0.122
FLSM21	38.14	38.6770	38.6716	38.6827	38.7997	38.4450	-0.540	-0.534	-0.545	-0.662	-0.308
FLSM22	38.69	39.1199	39.1381	39.1265	38.8905	39.0390	-0.434	-0.452	-0.440	-0.204	-0.353
FLSM23	38.98	39.4750	39.3840	39.2610	39.3223	39.1300	-0.490	-0.399	-0.276	-0.337	-0.145
FLSM24	39.70	39.9597	39.9562	39.9563	39.9468	39.0490	-0.258	-0.255	-0.255	-0.245	0.653
FLSM25	40.16	40.3644	40.3732	40.3710	40.4681	39.9060	-0.205	-0.214	-0.212	-0.309	0.253
FLSM26	39.78	39.8444	39.8248	39.8328	39.9095	39.1660	-0.061	-0.041	-0.049	-0.126	0.618
FLSM27	39.35	39.6829	39.5782	39.5797	39.6627	39.2510	-0.334	-0.229	-0.231	-0.314	0.098
FLSM28	39.38	39.3680	39.3775	39.3779	39.3676	39.3750	0.010	0.000	0.000	0.010	0.003
FLSM29	39.57	39.7148	39.7240	39.6994	39.6577	38.8130	-0.149	-0.158	-0.134	-0.092	0.751
FLSM30	39.22	39.4155	39.4117	39.4099	39.4305	39.0150	-0.200	-0.196	-0.195	-0.215	0.200
FLSM31	39.43	39.2690	39.3244	39.2834	39.2456	39.0360	0.161	0.106	0.147	0.185	0.394
FLSM32	38.67	38.9871	38.9788	38.9683	38.9076	38.7660	-0.319	-0.311	-0.300	-0.239	-0.098
FLSM33	39.13	39.5256	39.5366	39.5395	39.5468	39.3850	-0.392	-0.403	-0.406	-0.413	-0.251

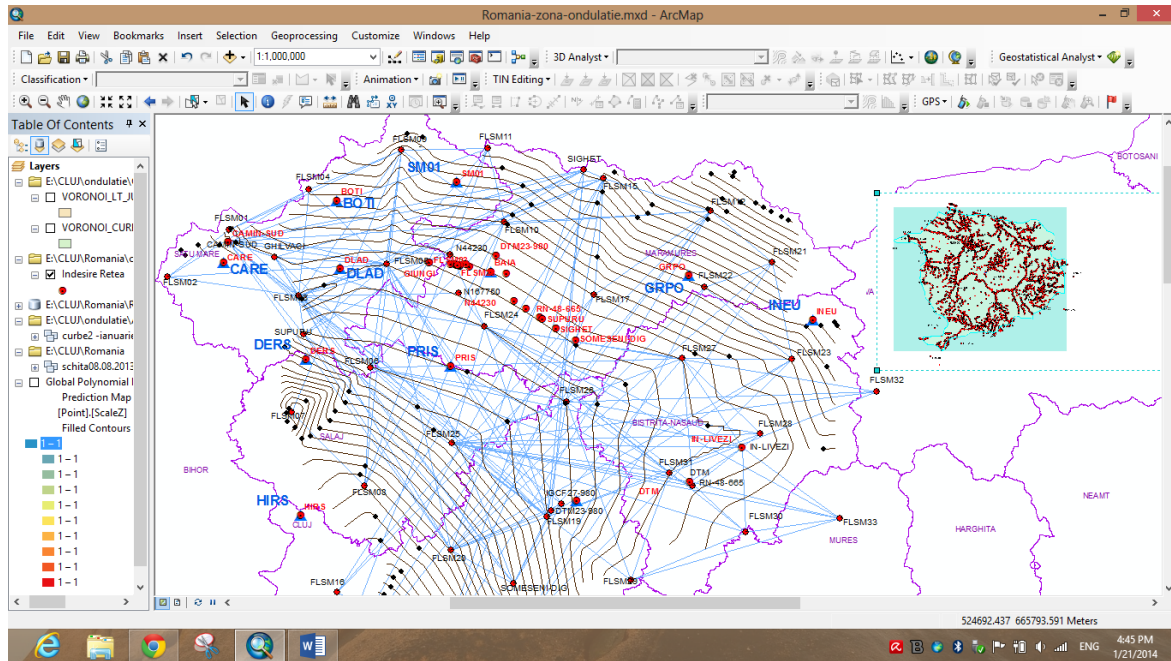


Fig.6.10 Lucru cu ArcGIS 10.1 – suprapunere cu rețeaua de sprijin

Trebuie amintit că o componentă importantă a determinării riscului la inundații o constituie altitudinea punctelor determinată față de Marea Neagră 1975 într-un sistem unitar și coerent pentru întreg bazinul hidrografic.

Astfel, pentru determinarea unui model de cvasigeoid cât mai precis sunt necesare atât măsurători GNSS, nivelment de precizie corelate cu măsurători de gravitate.

Astfel a fost necesară transformarea altitudinilor elipsoidale cu ajutorul unui soft la Sistemul de altitudini normale cu punct zero fundamental Marea Neagră 1975.

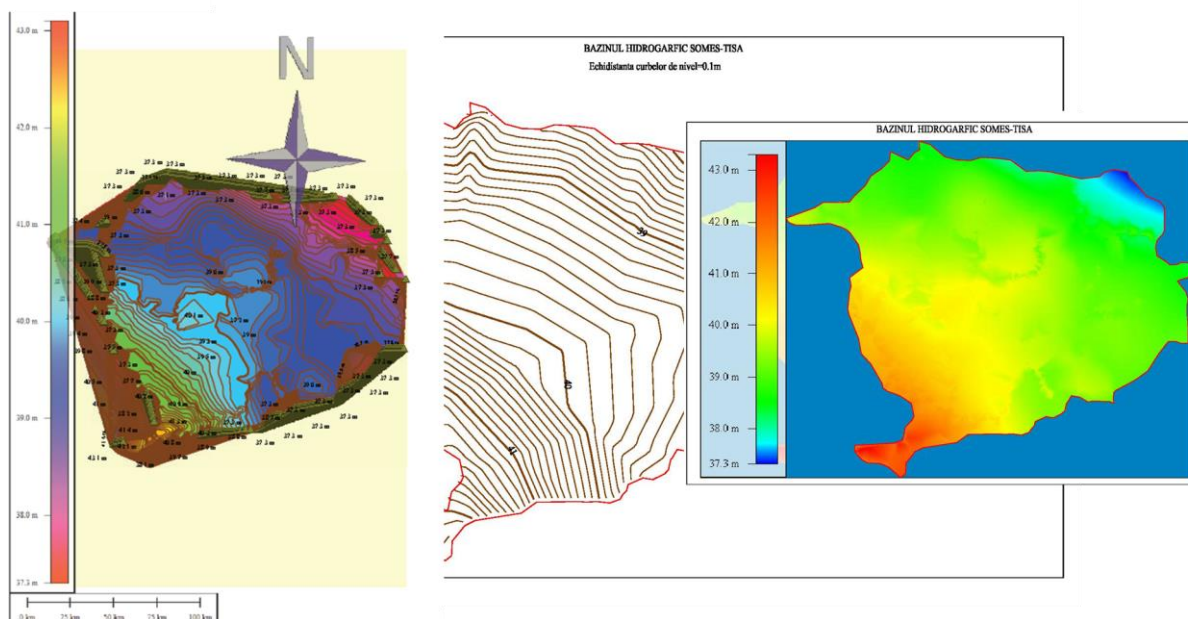


Fig.6.11-b Reprezentarea prin izolinii a suprafeței cvasigeoidului

6.4 Evaluarea calității modelului digital al terenului provenit din LiDAR

Studiul își propune să prezinte principalele aspecte legate de evaluarea calității datelor altimetrice ale Modelul Digital al Terenului (MDT), obținut din scanarea laser aeriană. Lucrarea se referă la date colectate pe râul Crasna, zona de nord-vest a subbazinului Crasna, Figura 6.13.

Evaluarea calității s-a bazat pe elementele de calitate, principiile și procedurile menționate de standardul ISO / DIS 19157 (*Informații Geografice-Calitatea Datelor*). În evaluarea preciziei altimetrice, a fost utilizată precizia de poziție a datelor din rețea [30], în sensul că gradul de apropiere [30] a fost calculat ca diferența dintre valoarea interpolată de pe suprafața triunghiurilor din rețeaua TIN-ului și valorile din setul de date de referință, considerate ca fiind adevărate.

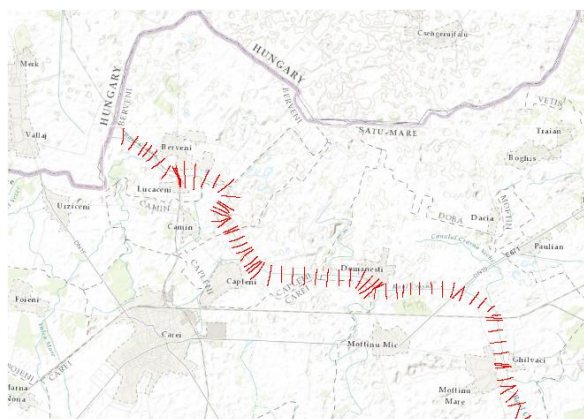


Fig. 6.13 Localizare râul Crasna-suprapunere World Topo Map

Prin *calitate* se înțelege gradul în care un set de caracteristici ale datelor îndeplinește cerințele [30]. Vosselman și Maas (2010) au menționat două părți ale calității unui model MDT: *calitatea interioară și exterioră*. *Calitatea internă* este exprimată prin eroarea medie pătratică (RMSE), calculată pe baza diferențelor dintre datele LiDAR și modelul MDT derivat (de exemplu, raster, TIN). RMSE exprimă precizia procesului de generare a unui MDT. *Calitatea externă* se referă la calitatea modelului MDT raport cu datele de control extern. Norul de puncte obținut prin

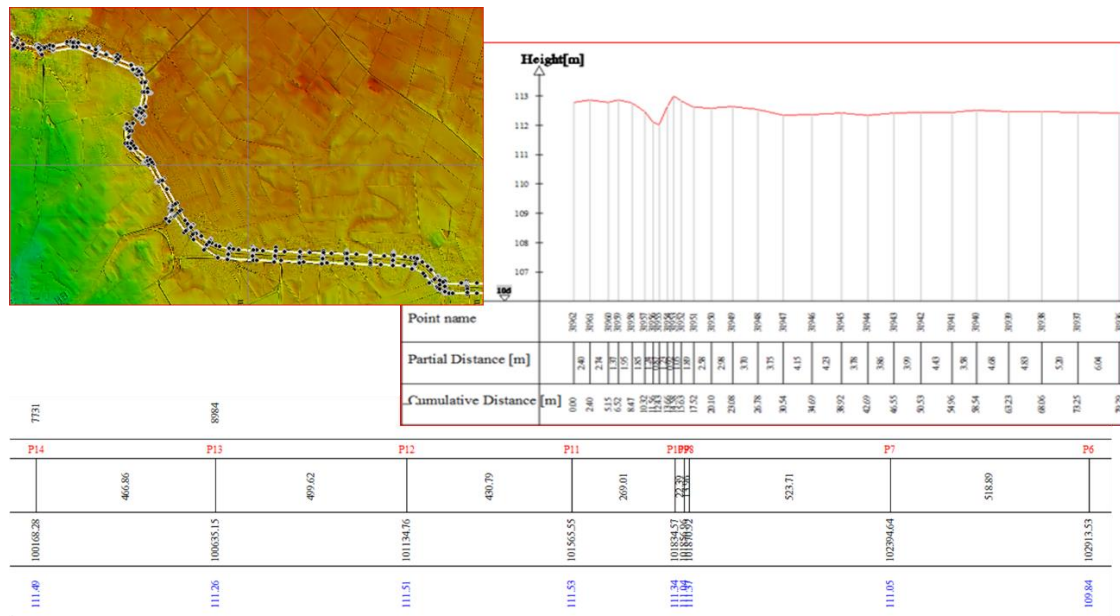
scanarea laser aeriană asigură o precizie de ordinul decimetrilor, în funcție de înălțimea de zbor și de calitatea tehnologiei de scanare laser utilizată [32].

Componentele scanării laser aeriene, influențează precizia finală a datelor altimetrice [Schenk, 2001], [29].

Principalele surse de eroare care contribuie la precizia finală sunt [29]:

- erorile datorate calibrării eronate a GNSS, IMU și ansamblului de scanare;
- erorile datorate preciziei limitate de restituire a traiectoriei de zbor;
- erorile datorate complexității solului și reflecțiile multipath;
- erorile datorate transformării coordonatelor și corecțiile geoidului;
- erori ale prelucrării datelor (filtrarea datelor scanate, interpolare TIN [31]);

În conformitate cu ISO / DIS 19157 valorile de referință pentru zona de interes sunt reprezentate printr-un set de date de referință. Setul de date de referință extern utilizat pentru a evalua precizia altimetrică conține 40 de profile transversale de-a lungul râului (12820.11m) așa cum sunt prezentate în Figura 6.14.



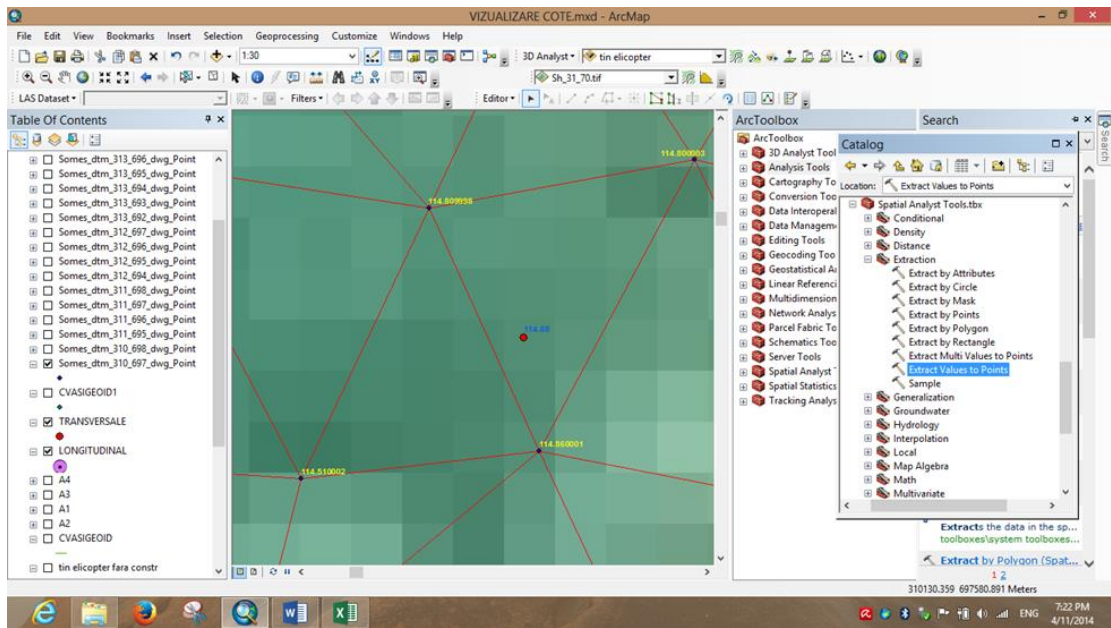


Fig.6.15 Extragere valori altitudini

Aceste diferențe dintre altitudini pot fi mai mici sau mai mari decât anumite specificații ale furnizorilor de date. Astfel este de așteptat ca în orice zonă a unui proiect, condițiile locale să impună cerințe mai stricte. Excluderea anumitor valori/greșeli (Fotescu,1975) în funcție de distribuția măsurătorilor se poate face apelând la anumite teste statistice. Așa cum am amintit am folosit un număr de 126 puncte ce acoperă zona de interes, 12.8 km din arealul râului Crasna.

Tabel 6.4. → Erorile altitudinilor LiDAR

Nr. Punct testat	Nr. Punct	H(normal) /referință [m]	H(LiDAR) /test [m]	diferența Δh [m]	Nr. Punct testat	Nr. Punct	H(normal) /referință [m]	H(LiDAR) /test [m]	diferența Δh [m]
1	128	118.120	117.390	-0.730	64	172	115.410	115.419	0.009
2	134	118.120	117.390	-0.730	65	159	114.400	114.411	0.011
3	79	118.050	117.340	-0.710	66	200	115.290	115.302	0.012
4	FLSM01	115.393	114.735	-0.658	67	199	115.220	115.234	0.014
5	52	117.800	117.144	-0.656	68	111	113.620	113.634	0.014
6	93	115.820	115.193	-0.627	69	S18	118.346	118.360	0.014
7	66	115.040	114.439	-0.601	70	241	115.490	115.506	0.016
8	72	115.040	114.439	-0.601	71	89	114.140	114.160	0.020
9	54	116.970	116.447	-0.523	72	218	115.610	115.631	0.021
10	221	116.110	115.663	-0.457	73	233	115.730	115.755	0.025
11	S33	119.267	118.814	-0.453	74	182	115.460	115.490	0.030
12	232	116.080	115.631	-0.449	75	118	117.470	117.501	0.031
13	233	116.070	115.631	-0.439	76	191	115.970	116.005	0.035
14	109	115.110	114.685	-0.425	77	65	115.450	115.491	0.041
15	184	115.570	115.169	-0.401	78	42	116.120	116.161	0.041
16	155	118.320	117.922	-0.398	79	81	115.160	115.222	0.062
17	173	118.720	118.328	-0.392	80	236	116.050	116.113	0.063
18	IUCACENI_B	116.320	115.934	-0.386	81	178	115.510	115.574	0.064
19	S11	118.351	117.982	-0.368	82	220	116.410	116.485	0.075
20	S21	118.386	118.027	-0.359	83	96	116.500	116.585	0.085
21	108	115.030	114.685	-0.345	84	129	113.790	113.875	0.085
22	S05	117.594	117.268	-0.326	85	135	113.790	113.875	0.085
23	163	115.450	115.128	-0.322	86	181	115.110	115.198	0.088
24	50	116.540	116.247	-0.293	87	71	114.130	114.218	0.088
25	193	115.220	114.946	-0.274	88	77	114.130	114.218	0.088
26	170	118.290	118.027	-0.263	89	106	117.040	117.134	0.094
27	142	116.420	116.219	-0.201	90	223	115.320	115.418	0.098
28	46	116.490	116.293	-0.197	91	224	115.350	115.450	0.100
29	45	117.790	117.605	-0.185	92	239	116.230	116.333	0.103
...

unde valoarea medie se calculează cu relația 6.3

$$\bar{h} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta h_i = -0.034m; \quad i = 1, \dots, n \quad (6.3)$$

iar pentru calculul eroarii medii pătratice s-a folosit relația 6.4

$$\sigma_h = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta h_i^2}; \quad i = 1, \dots, n \quad (6.4)$$

$$\sigma_h = 0.285m \quad \text{pentru } n = 126$$

6.4.2 Testarea distribuției normale

Distribuția normală a erorilor altimetrice a fost testată în două etape:

- Analiza-grafică a distribuției (Figura 6.16 reprezintă asimetria negativă a erorilor)

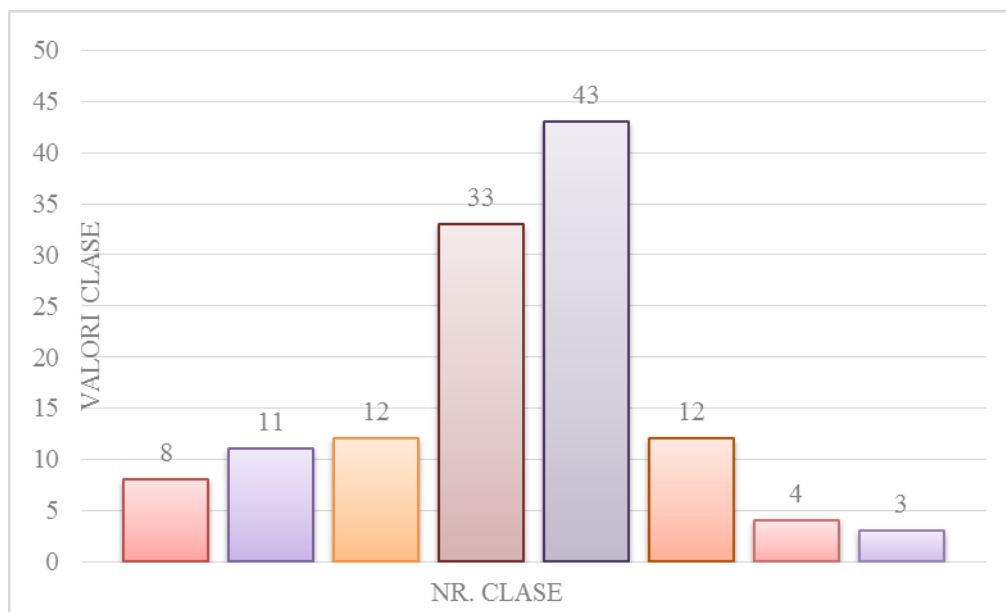


Fig.6.16 Asimetria negativă a erorilor

Coeficientul de asimetrie are valoarea **-0.212** reprezintă asimetria față de distribuția normală. Histograma arată că erorile nu au o distribuție normală.

- Testarea compatibilității distribuției erorilor cu Distribuția χ^2

După cum arată Tabelul 6.5, erorile au fost împărțite în $k = 8$ clase, cu intervale de clasă egale $\Delta = 0.18m$, cu media $\bar{h} = -0.034m$, abaterea standard $\sigma_h = 0.285m$ și frecvențele absolute ale erorilor n_i .

Parametrul statistic a fost calculat conform relației (6.5) [33]

$$\chi_{critic}^2 = a + b \cdot v + c \cdot v^2 + d \cdot v^3 \quad (6.5)$$

$$a = \frac{0.2046 - 0.2032 \cdot \alpha}{1 - 1.9565 \cdot \alpha + 0.9563 \cdot \alpha^2} \quad c = \frac{-0.1507 + 0.1508 \cdot \alpha}{10 - 17.1239 \cdot \alpha + 7.122 \cdot \alpha^2}$$

$$b = \frac{0.685 - 0.6819 \cdot \alpha}{1 - 1.6662 \cdot \alpha + 0.6673 \cdot \alpha^2} \quad d = \frac{0.07773 - 0.07928 \cdot \alpha}{100 - 165.0049 \cdot \alpha + 64.2821 \cdot \alpha^2}$$

unde $v=7$ reprezintă numărul gradelor de libertate iar $\alpha = 0.95$ nivel de încredere.

Tabel 6.5 Testarea rezultatelor distribuției altimetrice

class	class intervals		ni	F(x)	pi	npi
-∞	-∞	-0.730	2	0.072	0.072	9.067
I	-0.730	-0.545	6	0.323	0.251	31.664
II	-0.545	-0.360	11	0.733	0.410	51.655
III	-0.360	-0.175	12	1.299	0.566	71.304
IV	-0.175	0.011	33	1.379	0.080	10.083
V	0.011	0.196	43	0.992	-0.387	-48.800
VI	0.196	0.381	12	0.483	-0.509	-64.135
VII	0.381	0.566	4	0.066	-0.417	-52.563
VIII	0.566	0.747	3	0.033	-0.033	-4.098
+∞	0.747	+∞	0	1.000	0.967	121.824
Σ=					1	126

$$\chi^2_{test} = \sum_{i=1}^{v+1} \frac{(n_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i} = 127$$

$$\chi^2_{critic} = 14.3$$

$$\chi^2_{critic} < \chi^2_{test}$$

Prin eliminarea intervalelor extreme rezultă $\chi^2_{test(0,95; 7)} = 127$ pentru un coeficient de risc $1-\alpha=0,05$ și $v = 7$ grade de libertate (k-1).

Datorită faptului că datele provin din seturi de date cu precizii diferite, testul raportează valoarea preciziei pentru *setul combinat*.

Pentru o analiză comparativă a evaluării preciziei datelor altimetrice provenite din scanarea laser aeriană am folosit algoritmul pentru distribuția normală descris în termenii Microsoft Excel (WITWER, 2004) [34], mod prietenos de lucru unde în Figura 6.18 sunt prezentate datele de intrare.

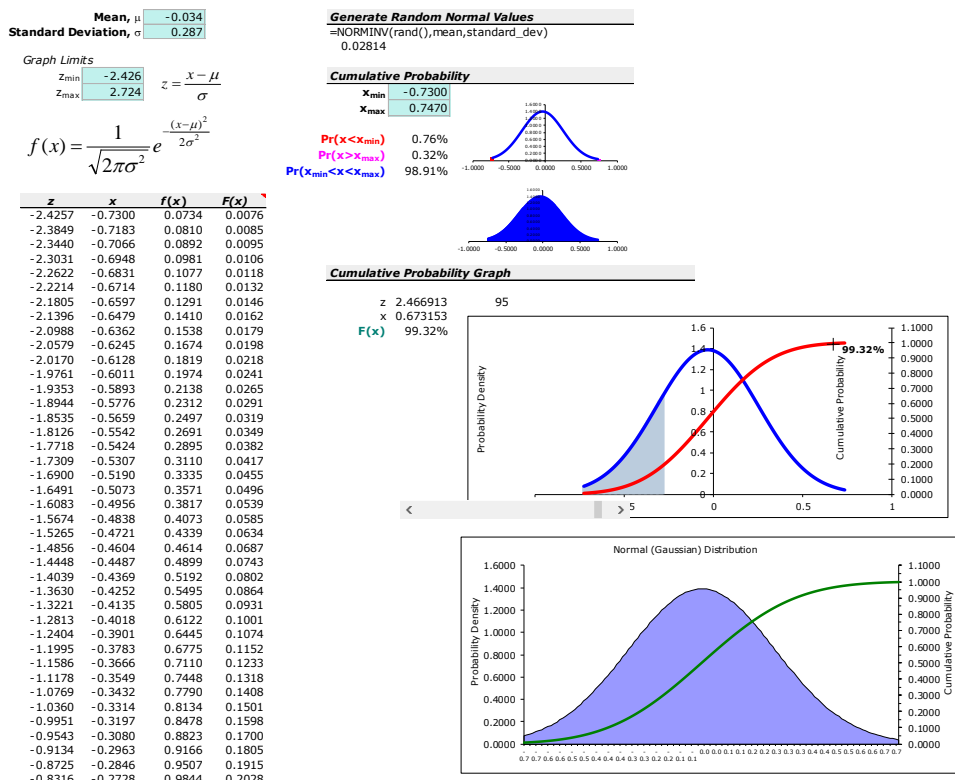


Fig.6.18 Datele de intrare pentru generarea valorilor normale

Pentru un studiu comparativ al preciziilor datelor LiDAR să testeze precizia altimetrică folosind o aplicație Matlab automatizată.

Aplicația are ca parametri două seturi de date, altitudini ale punctelor necesare realizării profilului transversale determinate prin măsurători clasice, iar celălalt set de date conține altitudini (tehnologia LiDAR) pentru aceleași puncte determinate printr-o interpolare Kernel, Figura 6.19. Această metodă determină poziția punctului în funcție de distanță, unde ponderea este egală cu inversul pătratului distanței.

În acest sens extragerea punctelor a fost făcută în funcție de un buffer de 10m pentru fiecare profil transversal din fișiere DWG, Figura 6.20 folosind mediul de lucru ArcGis 10.1.

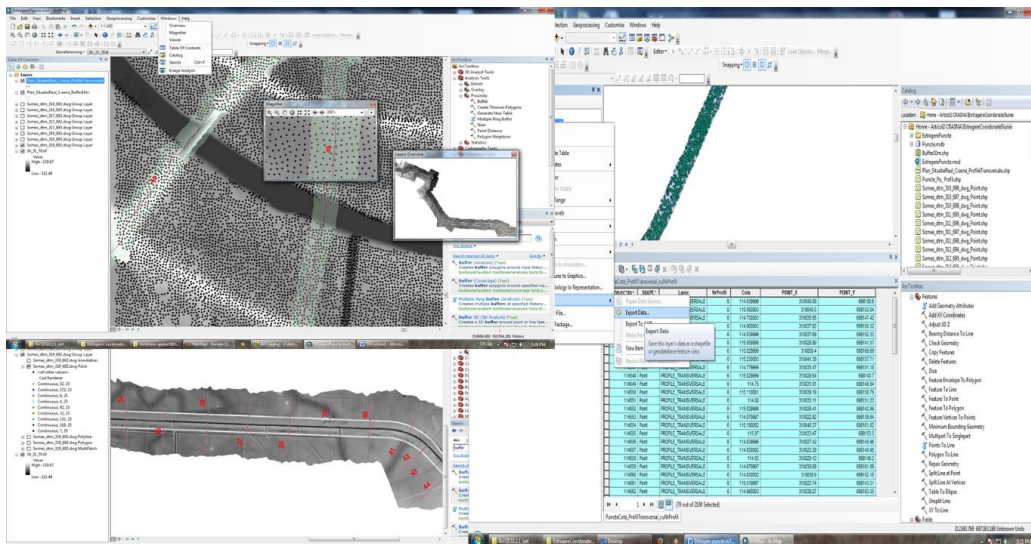


Fig.6.20 Extragerea punctelor în funcție de Buffer

După dezvoltarea sintaxei în mediul de lucru Matlab, am efectuat mai multe analize asupra unor profile transversale. În analiză am luat în considerare puncte provenite din măsurători (stație totală Leica) necesare la generarea profilului transversale folosite în arealul râului Crasna, în lungul acestuia. Aceste analize sunt importante deoarece un factor important îl reprezintă panta terenului Figura 6.22. Din perspectiva utilizatorului un set de erori este generat de:

- erori ale sistemului LiDAR;
- erori orizontale;
- erori în determinarea poziției punctului datorate măsurătorilor clasice;
- erori de interpolare.

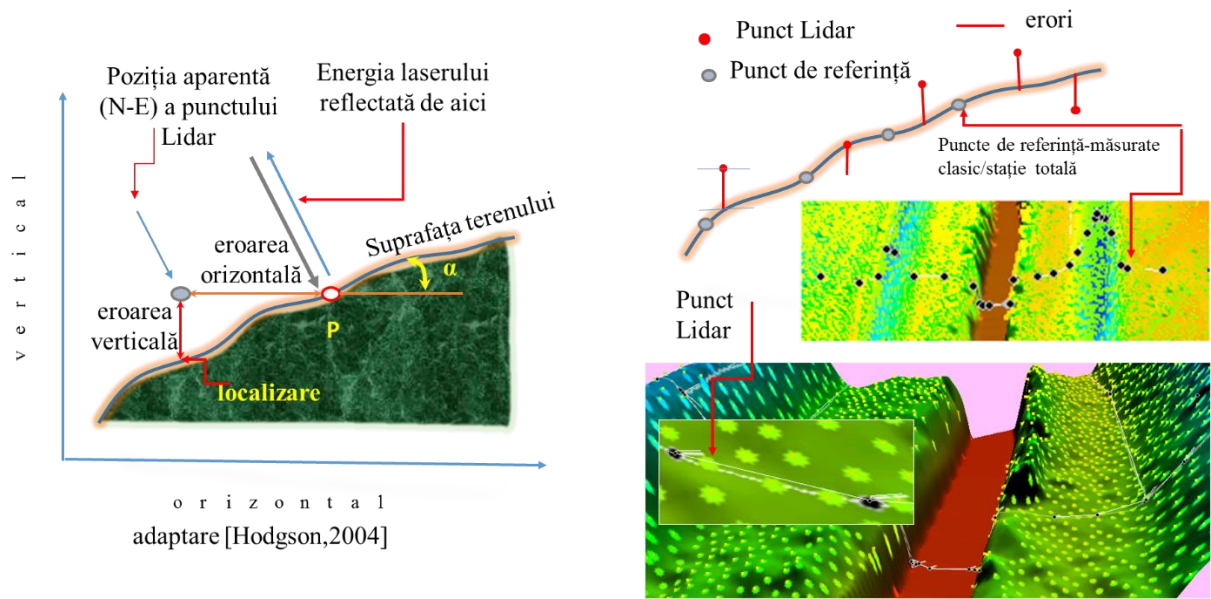
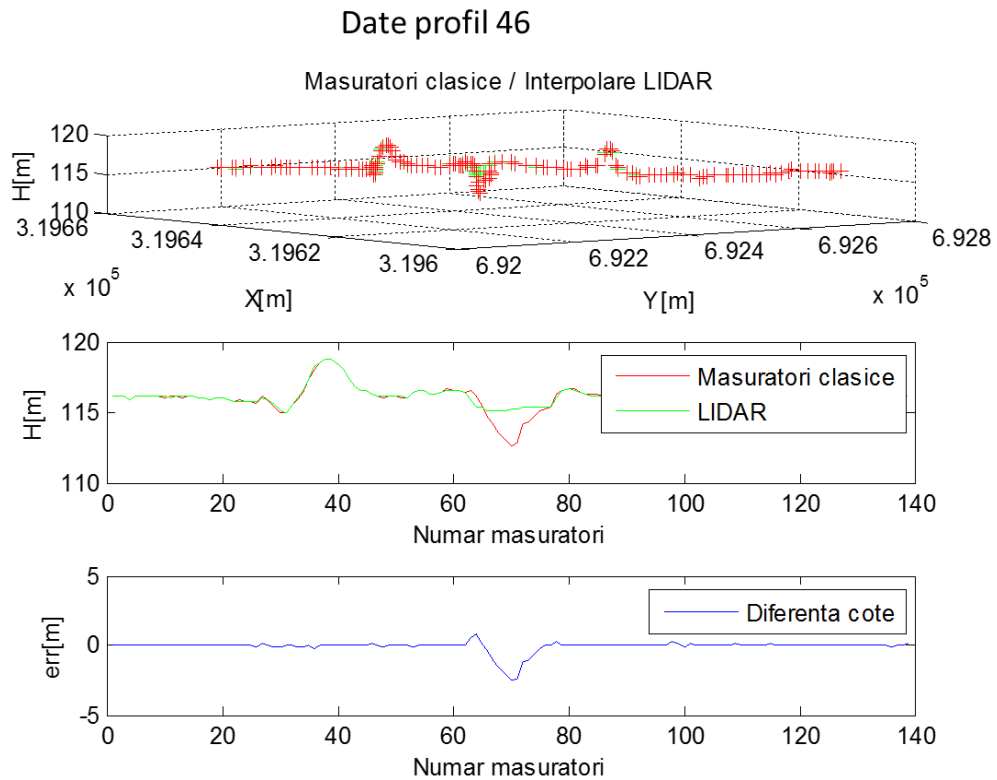


Fig.6.22 Surse de erori

În funcție de amplasarea profilelor solicitate și datorită faptului că un factor important al setului de erori îl reprezintă panta, am considerat necesar efectuarea unei analize asupra profilelor transversale. Pentru fiecare punct de pe profilul obținut prin metode clasice, se caută vecinii cei mai apropiați (primii 5) din datele LiDAR. Valoarea altitudinii în acel punct este interpolată Kernel pe baza altitudinilor vecinilor identificați, Figura 6.24.



medie_fara_val_extreme = -0.015
sigma_fara_val_extreme = 0.178

Fig.6.24 Diferențe între altitudinile punctelor din profilul transversal 46-P46

În Figura 6.24 pentru profilul transversal 46 ales aleator, eroarea medie pătratică $\sigma=17.8\text{cm}$ se încadrează pentru precizia verticală consolidată-afărentă unei singure categorii de teren (CVA) $\leq 36.3\text{cm}$, 95%(2 σ) conform USGS-2012[35]-Setul de date referitoare la precizia verticală a datelor LiDAR. Astfel, datorită pantei aproximativ uniforme datorită malurilor consolidate pe mare parte a lungimii râului luat în studiu aceasta nu influențează semnificativ calitatea datelor LiDAR. Acest aspect a dus la faptul că pot fi utilizate pentru studiu comparativ puncte ce provin din măsurătorile clasice la teren determinate pentru realizarea profilurilor transversale. Un alt exemplu pentru studiul comparativ a fost efectuat asupra profilului 17 și 35, prezentat în Figura 6.25, Figura 6.26.

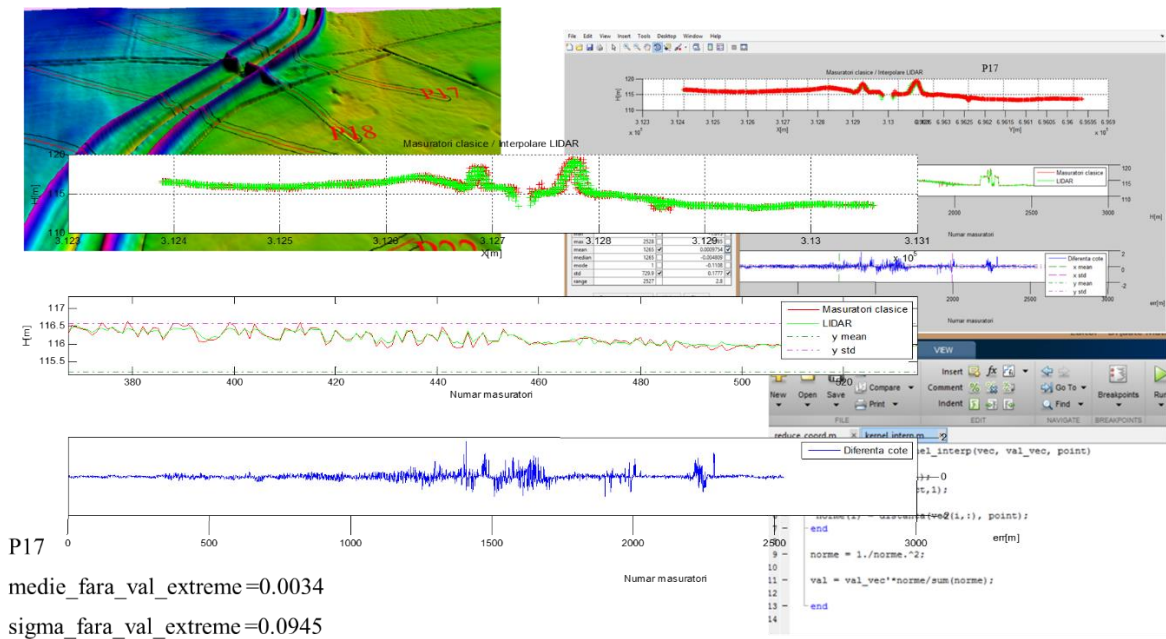


Fig.6.25 Testarea diferențelor altitudinilor pentru cele 2 seturi de date-P17

6.5 Surse de eroare-categorii de acoperirea terenului

Tehnologia scanării laser aeropurtate LiDAR asigură o rețea densă de puncte tridimensionale. Această tehnologie este capabilă de a obține rapid informații tridimensionale despre anumite suprafețe de interes.

Principalele avantaje ale folosirii acestei tehnologii este rapida colectare a datelor și o precizie ridicată privind profilul terenului.

În anumite cazuri în funcție de topografia specifică, acoperirea terenului sau alți factori se pot aplica specificații mai riguroase. Conform USGS-2012[35] precizia verticală pentru un nor de puncte LiDAR neclasificat, folosind metodologia NDEP/ASPRS(Societatea Americană pentru Fotogrammetrie și Teledetecție) prezintă următoarele praguri:

- Precizia verticală fundamentală (FVA) $\leq 24,5\text{cm}$, 95%(12,5cm Root Mean Square Error (RMSE)_z)
- Precizia verticală consolidată (CVA) $\leq 36,3\text{cm}$, 95% și
- Precizia verticală suplimentară (SVA) $\leq 36,3\text{cm}$, 95%

Precizia țintă a datelor LiDAR este 20cm

6.5.1 Categoriile de acoperire a terenului

1. Extragere acoperirea terenului din clasa de elemente (Feature class), denumită ACOPERIREA TERENULUI și atașarea atributului datelor LiDAR, Figura 6.27.

a. S-a plecat de la fișierul DWG, care conține *puncte LiDAR* cu *COTE linii* care reprezintă:

- drum asfaltat,
- schimbare de pantă (breakline)
- poduri
- canal
- lac, apa stătătoare
- râu
- cale ferată
- limita de jos a pantei (slope bottom edge)
- limita de sus a pantei (slope btop edge)
- drum de pământ (terrain road)

Deoarece acuratețea verticală a datelor LiDAR este de așteptat să varieze cu tipul de acoperire a terenurilor, toate analiza punctelor de control (puncte de referință din măsur. clasice) a fost efectuată separat pentru fiecare dintre tipurile de acoperire teren: *coronament*, *drum asfalt*, *drum de pământ*, *drum de piatră*, *grădini*, *neproductiv/ necultivat*, *pășuni*, *porumb*, *taluz*.

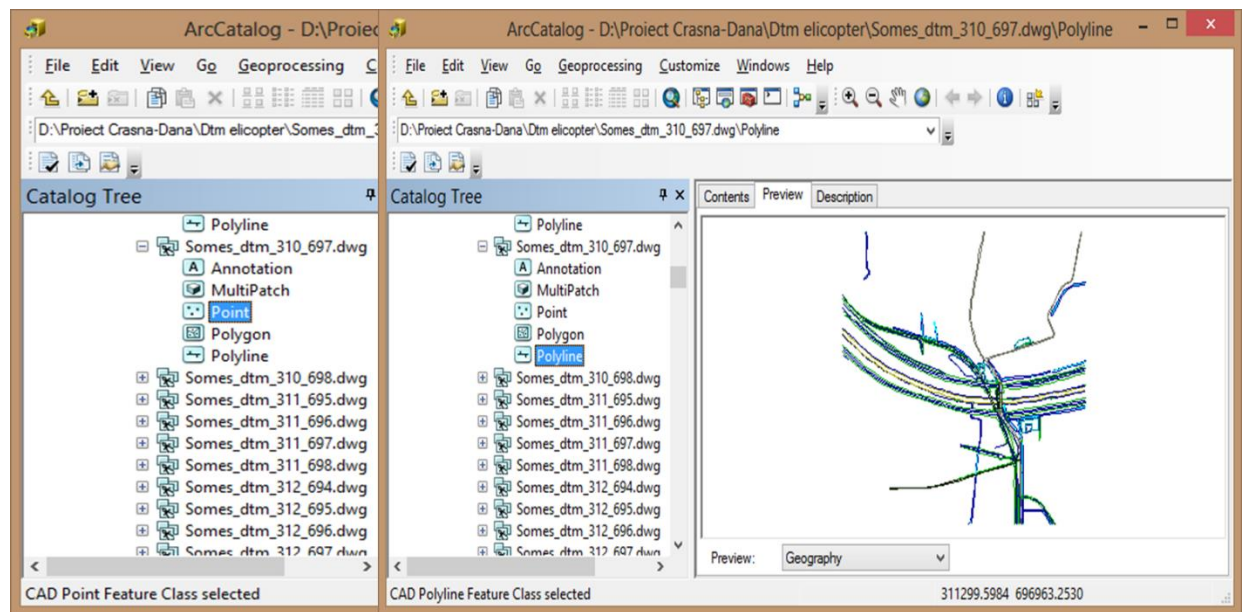


Fig.6.27 Clase de elemente

Ca metodă de interpolare pentru obținerea altitudinilor punctelor de referință din date LiDAR, a fost utilizată metoda IDW (inverse distance weighted). Ca date de intrare sunt folosite altitudinile norului de puncte LiDAR din raster caracteristice fiecărei categorii de teren care vor fi interpolate. Rezultatul interpolării este o suprafață raster ai cărei parametri sunt prezentați în Figura 6.31.

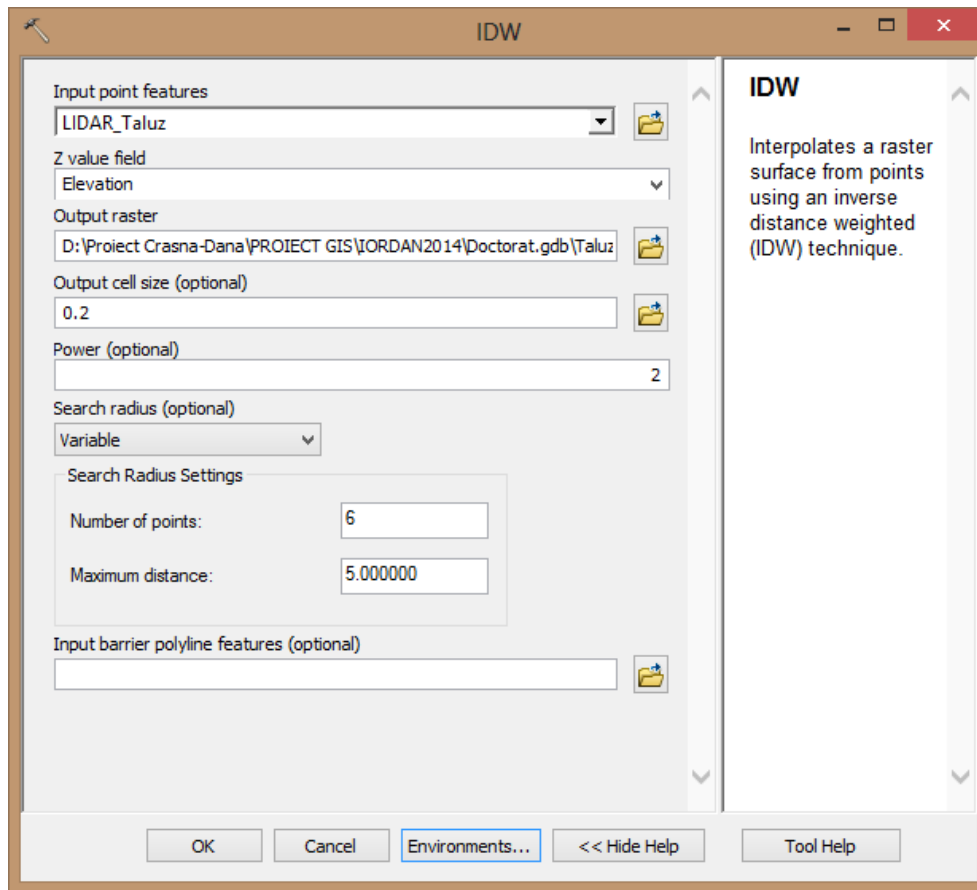


Fig.6.31 Parametri celulei Raster

Metoda folosește pentru interpolare o distanță medie ponderată în care ponderea este egală cu inversul distanței la pătrat. În urma interpolării prin metoda IDW au rezultat 9 tipuri de Acoperire Teren.

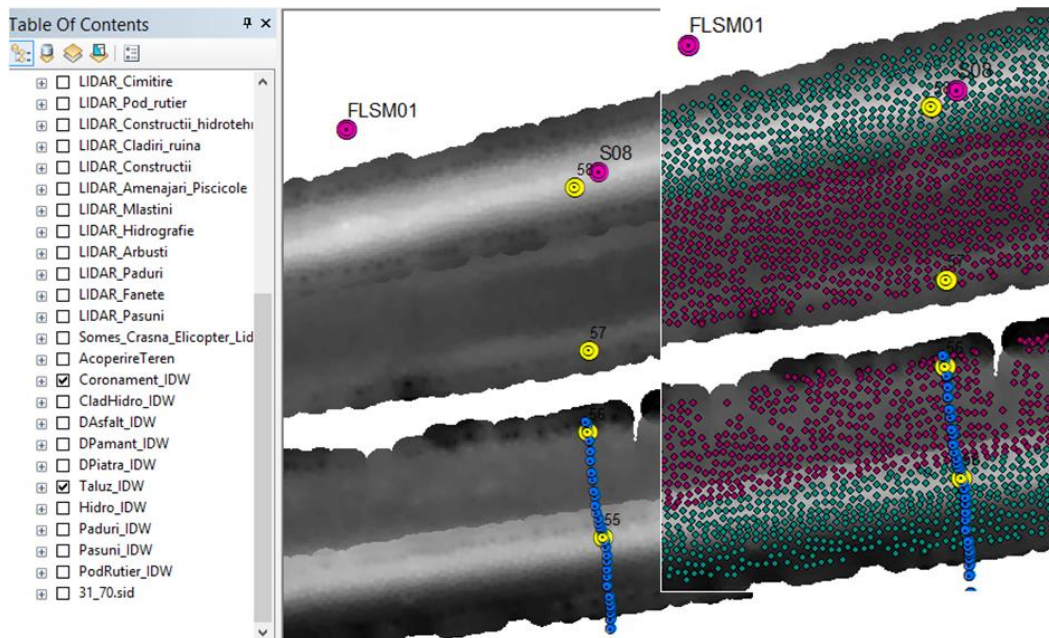


Fig.6.32 Suprapunere puncte LiDAR peste Raster

Datele LiDAR au fost colectate pentru o zonă de 100km² cu o postare nominală de 2.5 m în care se regăsesc 5646 puncte de referință (puncte determinate clasic), acestea provin atât din

rețeaua geodezică de sprijin, anexa, dar și din îndesirea rețelei precum și puncte ce au fost determinate pentru profile transversale, Figura 6.33.

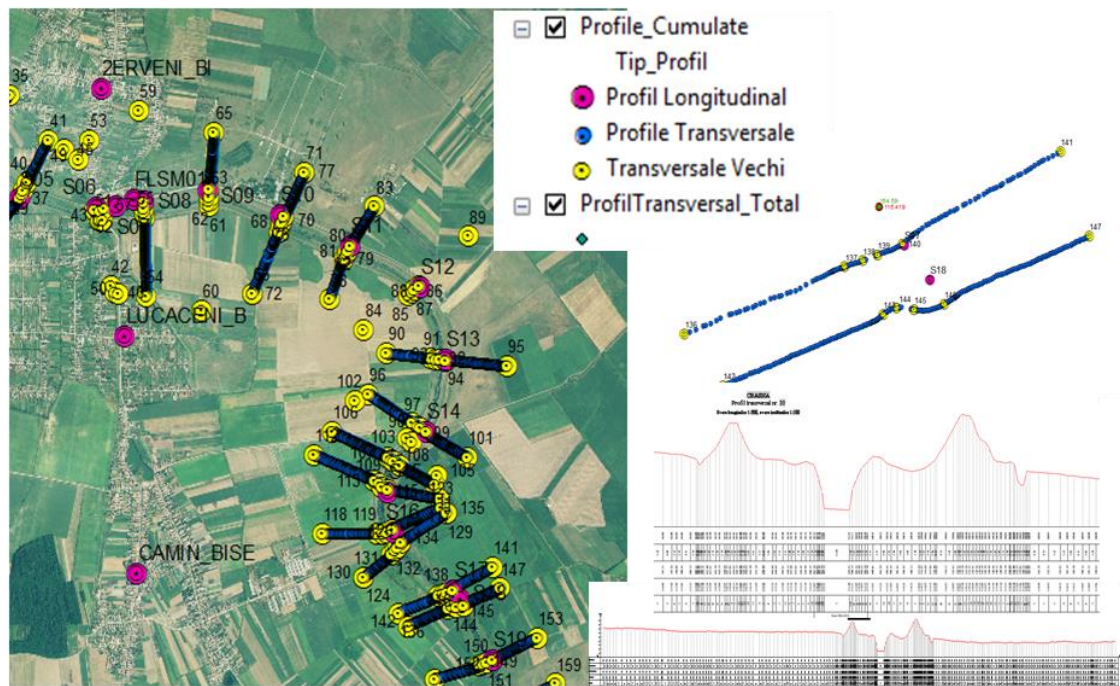


Fig.6.33 Date de referință-puncte testate

Astfel, parte a planului de zbor a fost selectarea punctelor de referință în funcție de topografia zonei. Culoarul de zbor ce acoperă arealul râului Crasna s-a efectuat cu elicopterul, setul de date LiDAR ce acoperă zona de interes are 32 de fișiere (aprox. 2mil puncte), colectarea datelor s-a făcut conform planului de zbor configurat anterior și 100 de fișiere pentru zona de zbor efectuat cu avionul. Categoriile de acoperire a terenului din acest studiu au ca valori diferențe ale altitudinilor testate între -0.60cm și $+0.59\text{cm}$ ce provin din cele 9 „amestecuri”, Figura 6.35.

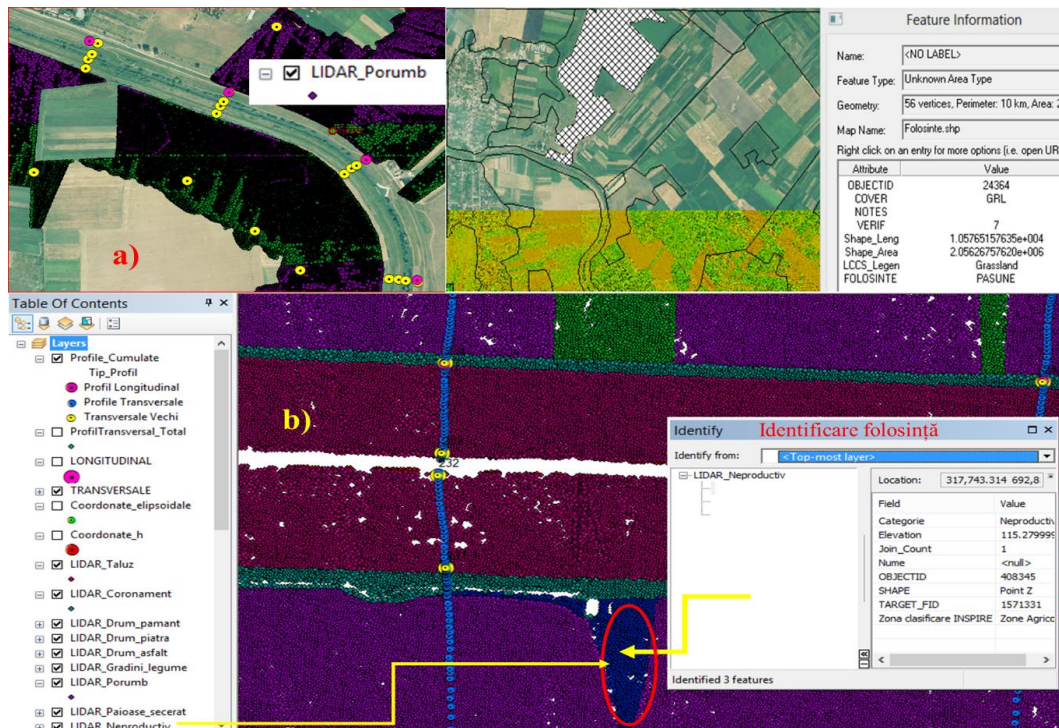


Fig.6.35 Identificare folosință a) și b)

După cum am menționat variația preciziei verticale a fost evaluată pentru nouă categorii de acoperire a terenului. Valorile erorii medii pătratice (RMSE) au variat de la *min* de 4.5cm (*Păioase*) la un *max* de 23.4cm (*Coronament*), Tabelul 6.6 și reprezentarea grafică conform Figurii 6.38. Relația de calcul a erorii medii pătratice -Root Mean Square Error (RMSE) este dată de relația 6.9.

$$RMSE_{pct\ ref.\ Lidar} = \sqrt{\frac{\sum (Z_{pct.ref.LIDAR} - Z_{M\dot{A}S.-TEREN})^2}{n}} \quad (6.9)$$

unde:

$Z_{pct. de\ ref.\ LiDAR}$ - altitudine punctelor de referință determinate d in date LiDAR prin interpolare, iar $Z_{M\dot{A}S.-TEREN}$ - altitudinile punctelor de referință determinate clasic(măsurători teren).

n-numărul de puncte testate

Greenwalt și Schultz, 1968; Andre Samberg 2005 spun că factorul 1.96 este aplicat pentru a calcula eroarea liniară la nivelul de încredere de 95%. Prin urmare, precizie verticală, $A_z(Accuracy_z=1.96*RMSE_z)$ în conformitate cu standardul american NSSDA (Standard Național pentru Precizia Datelor Spațiale) se calculează cu relația 6.9.

Tabelul 6.6 Valori caracteristice Categoriilor de Acoperire Teren

Nr. Crt.	Tipul de acoperire a terenului	Nr. total de puncte testate	Valori diferențe(m) (Hpct. ref. LIDAR - Hpct. ref. teren) Min/Max		Media(m)	Valoare RMSE _(cm) (eroarea medie pătratică)	1.96 · RMSE _(cm) conform NSSDA pentru 95%
			Min	Max			
1	Coronament	858	-0.600	0.598	-0.013	23.4	45.8
2	Drum de Asfalt	16	-0.161	0.562	0.070	21.5	42.1
3	Drum de Pământ	108	-0.460	0.588	-0.009	13.3	26.0
4	Drum de Piatra	16	-0.355	0.130	-0.071	12.4	24.4
5	Grădini	15	-0.246	0.047	0.004	9.5	18.6
6	Neproductiv/Necultivat	867	-0.595	0.528	0.004	9.5	18.6
7	Păioase	321	-0.204	0.336	-0.004	4.5	8.9
8	Porumb	2053	-0.520	0.580	0.001	5.2	10.1
9	Taluz	1392	-0.582	0.593	-0.007	14.8	29.0
Total		5646	-0.600	0.598	min= max=	4.5 23.4	

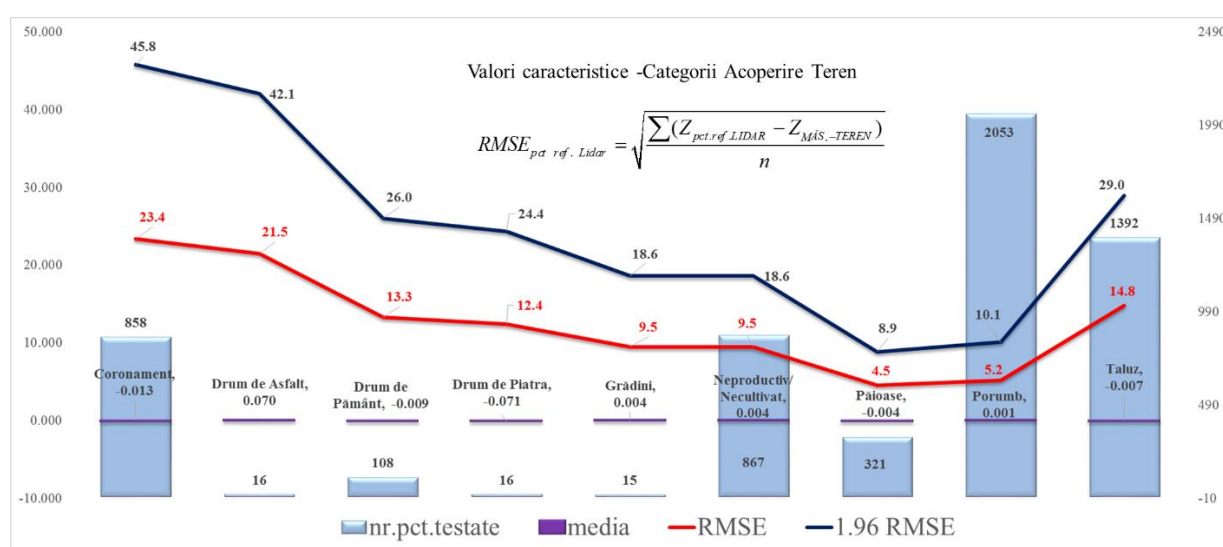


Fig.6.38 Graficul erorii RMSE în funcție de Categoria de Acoperire Teren

Obiectivul studiului a fost de a estima eroarea altitudinii asociată cu procesul sistemului LiDAR, unde unul din obiectivele principale în specificarea parametrilor pentru colectarea datelor (înălțimea de zbor, viteza de deplasare, amprenta) este de a realiza o densitate corespunzătoare a impulsurilor LiDAR. În urma etichetării categoriei Acoperire de Teren și în cazul în care aceasta a fost făcută corect se observă că eroarea altitudinii diferă în funcție de categoria de acoperire a terenului Tabel 6.6.

Cele mai mari erori după cum se observă în tabelul 6.6 au fost în cazul acoperirii terenului (Coronament), pentru care eventuale cauze pot fi:

- vegetație abundentă (specii cu rădăcini adânci);
- adăposturi animale – galerii care ies la suprafața solului sub forma de găuri (orificii);
- șiroiri pe taluz din precipitații;
- eventuale deversări locale;
- întreținere defectuoasă (posibil lipsă);
- gropi de împrumut materiale de construcții;
- eroziuni ce cresc în timp;

Întrucât aplicațiile ce folosesc datele LiDAR utilizează un anumit tip de interpolare spațială (TIN, Kriging, IDW), modelul digital va include și erorile provenite de interpolare. În funcție de natura măsurătorilor LiDAR „la sol”, interpolarea poate scădea eroarea sau poate îmbunătăți modelul digital. În același timp procesul de interpolare poate să nu fie influențat de panta terenului, în special pe un teren omogen (o suprafață înclinată), cazul categoriei „Taluz”.

Rezultatul acestui studiu arată că eroarea altitudinii variază în mod clar în funcție de categoria de acoperire a terenului. Surprinzător a fost categoria *Pășioase* pentru care s-a obținut eroarea cea mai mică apropiată cu cea a categoriei *Porumb*.

Deși costurile de achiziție de date LiDAR pentru suprafețe mari sunt încă relativ ridicate, prin acest studiu se poate scoate în evidență faptul că este necesar să se efectueze evaluarea unei varietăți de Categoriile acoperire teren.

Linia denumită generic „*Coronament*” reprezintă în funcție de topografia terenului:

- coronamentul unui dig,
- partea superioară a malului, natural sau artificial, amenajat sau neamenajat.

Altfel spus „*Coronament*” reprezintă limita de delimitare a suprafeței apei în regim neinundat.

7. CONCLUZII ȘI PREOCUPĂRI VIITOARE DE CERCETARE

7.1 Concluzii

Necesitatea determinării unui model de cvasigeoid local ca o soluție a modelului național derivă din nevoia creșterii preciziei aplicațiilor geodezice. Deși cvasigeoidul noțiune introdusă de Molodenski-(1960) nu poate fi definit fizic, precum geoidul acesta reprezintă suprafața considerată să aproximeze figura Pământului.

În funcție de tipul de măsurători, fiecare țară a încercat să dezvolte cu o anumită precizie un model de geoid exact în aplicațiile practice din geodezie, parte foarte importantă a unei infrastructuri geodezice complete în care tehnologiile GNSS sunt foarte utilizate.

Pentru zone relativ mici, geoidul local poate fi determinat folosind măsurători ale altitudinilor determinate cu tehnologia GNSS dar și altitudini derivate din nivelmentul geometric și trigonometric.

Posibilități de determinare a unui cvasigeoid național pe teritoriul României este o problemă ce preocupă diverși specialiști din domeniu.

Astfel, înălțimile geoidului pentru punctele determinate GNSS pot fi interpolate analitic sau grafic în funcție de altitudinile determinate clasic. Pentru aplicațiile practice aferente lucrărilor geodezice având drept scop producerea de hărți necesare lucrărilor de cadastru, aplicații GIS, hărți de risc trebuie să ținem cont de anumiți factori care pot afecta precizia modelului raportat la abordarea geometrică printre care :

- numărul și distribuția stațiilor GNSS vs. nivelment trebuie să aibă o dispunere cât mai omogenă pentru zona de studiu. Astfel pot spune că o importanță deosebită o au punctele de referință determinate prin nivelment datorită caracteristicilor topografice ale zonei.
- un alt factor important ar fi metoda aleasă pentru modelarea cvasi(geoidului) neputând generaliza asupra uneia care să funcționeze exact pentru diferite zone de lucru.
- un exemplu negativ – număr redus de date poate indica faptul că datele nu pot acoperi toată plaja variațiilor punctiforme ale anomaliilor. De exemplu, datele pot fi codificate în mod incorect sau setul de date experiment nu poate rula corect.
- în unele cazuri, poate să nu fie posibil să se determine dacă un punct periferic din setul de date este incorect. Valorile eronate pot fi din cauza variațiilor aleatoare a distribuției nepotrivite a datelor sau aceste valori încearcă să ne spună ceva iar, cea mai bună atitudine ar fi ca aceste valori eronate să le considerăm „*prietenoase*”.

Pentru determinarea modelului de cvasigeoid am folosit coordonatele elipsoidale ale punctelor Rețelei Geodezice Naționale Spațiale ce acoperă zona de nord-vest a țării combinate cu coordonatele determinate din dezvoltarea rețelei de sprijin pentru bazinul hidrografic Someș-Tisa dar și altitudini normale provenite din nivelmentul geometric. Precizia altitudinilor determinate GNSS ($\pm 10\text{cm}$) și precizia altitudinilor provenite din măsurătorile de nivelment de precizie ($\pm 5\text{cm}$), iar trigonometric ($\pm 10\text{cm}$).

După cum menționam anterior prin sincronizarea tehnicii GNSS/nivelment este adecvată pentru estimarea altitudinii cvasigeoidului și stabilirea modelului de cvasigeoid cu o precizie de centimetru pentru o zonă limitată, determinările de detaliu îmbunătățesc modelele globale. În zonele muntoase determinarea undulațiilor s-a obținut din măsurători ce au folosit puncte din rețeaua geodezică de stat utilizând receptoare GNSS. Aceste puncte având cota normală din inventarul de puncte geodezic și pentru care s-a determinat altitudinea elipsoidală (h). Modelul a fost realizat folosind un număr de 33 de puncte (FLSM) ca rețea geodezică a bazinului pentru determinarea punctelor necesare zborului (tehnologia LiDAR) și a punctelor de detaliu, restul punctelor provin din drumuri.

Un factor important pentru modelarea unui cvasigeoid este evaluarea suprafeței de testare, distribuția punctelor, iar pentru lucrări practice soluția geometrică este destul de satisfăcătoare ($\pm 20\text{cm}$), dar pentru un răspuns mai corect trebuie corelată cu măsurători de gravitate.

Pentru evaluarea preciziei modelului de cvasigeoid am folosit pentru comparație 2 modele de calcul ale undulațiilor, valori ce se regăsesc în Tabelul 6.3.

În urma analizării rezultatelor cu cele două aplicații se constată că diferențele pentru calculul undulațiilor cu *modelul EGM96*, folosind *Geoid Height calculator sunt mai mici față de calculul acestora cu modelul EGM2008 - Calculator v.1.2*.

Utilizarea rețelelor combinate (GNSS-nivelment-date LiDAR) constituie elementele de bază pentru determinarea cvasigeoidului, importantă fiind calitatea datelor.

Modelarea suprafețelor este procesul prin care se reprezintă grafic o suprafață naturală sau artificială. Tehnologia LiDAR de scanare 3D cu laser este o componentă principală a geomaticii cu ajutorul căreia se pot obține rezultate precise dar trebuie consumată cu moderație în funcție de modul de stocare și estimare a viitoarei baze de date.

Particularitățile pe care le imprimă *relieful*, prin altitudine, favorizează dezvoltarea unor subzone putând astfel face diferite analize asupra precizie folosind tehnici combinate în achiziția datelor (măsurători de teren-setul de date sursă/date LiDAR).

Achiziția datelor LiDAR reprezintă procesul prin care se obțin date de la o sursă exterioară și transformarea acestora într-un format specific, unde diferența dintre altitudinile punctelor determinate cu tehnologia LiDAR (nor de puncte) și altitudinile aceluiași puncte determinate clasic trebuie să se încadreze anumitor specificații.

Aceste specificații trebuiesc comparate cu nevoile reale ale studiului printre care cele mai importante ar putea fi: scopul utilizării datelor, resursele necesare, zona de interes, densitatea necesară de puncte.

Este necesar să se utilizeze diferite metode de verificare a *datelor* dar și a *rezultatelor obținute* în urma utilizării acestor date (verificarea vizuală poate fi foarte eficientă dar solicită timp și efort suplimentar din partea utilizatorului) pentru că nu toate erorile identificate sunt relevante. În cazul în care cerințele și scopul unor studii, acestea pot fi acceptate fără să influențeze semnificativ calitatea rezultatelor.

Sistemul LiDAR este ideal pentru cartografierea zonelor inaccesibile, inundabile cu dependență minimă umană fiind o metodă ecologică de colectare a datelor pentru care costurile pot fi moderate dar depind de amploarea studiului. Ușurința cu care se obțin datele permit generarea unor MDT-uri cu o acuratețe medie sau mare, dar pentru verificarea preciziei datelor LiDAR este nevoie de un set de date măsurate în teren pentru zonele în care se face studiul.

Pentru testarea preciziei și evaluarea calității modelului digital al terenului provenit din date LiDAR sunt necesare executarea a diverse teste. Un factor important legat de verificarea preciziei verticale îl reprezintă densitatea punctelor pe diverse categorii de teren în funcție de oscilațiile reliefului, zone montane/zone câmpie.

Pentru o evaluare a riscului de inundații sunt necesare date (LiDAR) pentru a obține suportul în vederea realizării MDT și studii privind evoluțiile pe termen lung a efectelor schimbărilor climatice asupra producerii inundațiilor, acestea fiind corelate cu măsurători terestre pentru a surprinde cât mai bine caracteristicile albiilor râurilor.

7.2 Contribuții personale

Motivația majoră a acestui studiu a fost aceea de a sublinia importanța determinării unui model de cvasigeoid pentru aplicațiile curente din geodezie. Realizarea unei hărți pentru diferite scopuri este o componentă principală ce poate fi obținută folosind altitudinile punctelor determinate față de Marea Neagră 1975. O problemă importantă o constituie obținerea altitudinilor punctelor din

măsurători folosind tehnologia LiDAR referite la elipsoidul GRS80 și transformarea acestora într-un sistem unitar și coerent pe întreg bazinul hidrografic Someș Tisa.

O componentă importantă o reprezintă precizia determinării altitudinilor și anume $\pm 20\text{cm}$ în zonele limitrofe fiecărui râu (albia minoră), $\pm 50\text{cm}$ (albia majoră) unde suprafața totală a bazinul hidrografic Someș-Tisa este de 22380km^2 .

Pentru realizarea acestor precizii s-a folosit ca soluție de determinare a altitudinilor efectuarea unor zboruri, unul realizat cu elicopterul pentru zona râurilor și cu avionul pentru restul suprafeței.

Din acest motiv, studiile de aproximare a unui model de cvasigeoid si-a amplificat importanța și prin utilizarea tehnologiei GNSS combinate cu măsurători de nivelment geometric și trigonometric. După cum am amintit determinarea modelului de cvasigeoid este util și necesar pentru „Realizarea hărților de risc la inundații în bazinul Someș Tisa,, dar și o parte importantă pentru studiile de infrastructură geodezice. Investigațiile au arătat că datele (altitudinile) transformate în sistem de altitudini Marea Neagră 1975 cu un soft specializat ating nivelul de precizie necesar realizării modelului de cvasigeoid. Astfel pentru *studiul de caz* au fost obținute valorile undulațiilor necesare determinării cvasigeoidului prin diferențele altitudinilor obținute cu tehnologia LiDAR (altitudini elipsoidale referite la GRS80) și valori ale acestora obținute prin transformare și referite la Marea Neagră 1975.

Cu toate acestea am considerat necesar a face o comparație între valorilor undulațiilor obținute prin calcul pentru cvasigeoidul (local) și valorile undulațiilor geoidului (model global EGM96) ce pot fi calculate folosind Geoid Height calculator (www.ngdc.noaa.gov) modelul global EGM2008 utilizând „All Trans EGM2008 Calculator v.1.2,, pentru aceleași puncte, Tabel 6.3. În urma analizării rezultatelor diferențele obținute pentru EGM96 sunt mult mai mici față de EGM2008. Din acest motiv consider că modelul de cvasigeoid realizat pentru bazinul hidrografic Someș Tisa poate fi luat în considerare pentru realizarea hărții de risc la inundații oferind precizia cerută.

Un alt obiectiv al studiului a fost de a estima obținerea modelului digital al terenului, unde a fost necesar ca pe lângă realizarea rețelei geodezice de sprijin să se efectueze măsurători GNSS suplimentare pentru determinarea altitudinilor. Astfel a fost proiectată o rețea geodezică de nivelment având în componența ei 5 reperi de nivelment situați în lungul căilor ferate ce străbat bazinul hidrografic Someș-Tisa. Compensarea s-a efectuat prin metoda celor mai mici partate, măsurători indirecte având ca măsurători diferențele de nivel și ca necunoscute altitudinile punctelor noi.

Parte importantă a studiului își propune să prezinte principalele aspecte legate de evaluarea calității datelor altimetrice ale Modelul Digital al Terenului (MDT), obținut din scanarea laser aeriană. Lucrarea se referă la date colectate pe râul Crasna, zona de nord-vest a subbazinului Crasna unde au fost efectuate zboruri atât cu elicopterul pe cursul râului Crasna cât și cu avionul pentru restul zonei.

Datele MDT sunt stocate sub forma unui model de date de tip rețea neregulată de triunghiuri TIN (Triangulated Irregular Network). Evaluarea calității MDT a fost realizată pe baza unui set de date de referință care conține puncte determinate prin măsurători geodezice. Datele de referință acoperă destul de uniform zona testată. Evaluarea calității s-a bazat pe elementele de calitate, principiile și procedurile menționate de standardul ISO/DIS 19157 (*Informații Geografice-Calitatea Datelor*).

Modelul Digital al Terenului (MDT), derivat din scanarea laser aeriană reprezintă o sursă importantă de date pentru o gamă largă de aplicații, cum ar fi modelarea hidrologică, hărți de risc la inundații (definirea zonei inundabile), delimitarea zonelor ecologice, eroziunea solului [31] sau managementul riscului la inundații.

Datele LiDAR aeropurtat au fost colectate pentru o suprafață de 100 km², care cuprinde zona de nord-vest, unde din punct de vedere a utilizării terenurilor subbazinul hidrografic Crasna este predominant de terenuri agricole.

În conformitate cu ISO / DIS 19157 valorile de referință pentru zona de interes sunt reprezentate printr-un set de date de referință. Setul de date de referință extern utilizat pentru a evalua precizia altimetrică conține 40 de profile transversale de-a lungul râului (12,820km).

Precizia verticală exprimată prin abaterea standard a fost calculată pe baza diferențelor de altitudini normale Δh_i dintre altitudinea H_i a punctelor provenite din modelul TIN (LiDAR), și altitudinile punctelor de referință H_i provenite din profilele transversale, folosind formula aferentă abaterii standard σ_h

Pentru o analiză comparativă a evaluării preciziei datelor altimetrice provenite din scanarea laser aeriană am folosit algoritmul pentru distribuția normală descris în termeni Microsoft Excel (WITWER, 2004).

Ca o contribuție suplimentară a fost dezvoltarea unei sintaxe în mediul de lucru Matlab. Aplicația are ca parametri două seturi de date, altitudini ale punctelor necesare realizării profilelor transversale determinate prin măsurători clasice, iar celălalt set de date conține altitudini (tehnologia LiDAR) pentru aceleași puncte determinate printr-o interpolare Kernel.

Aceste analize sunt importante deoarece un factor important îl reprezintă panta terenului. Din perspectiva utilizatorului un set de erori este generat de:

- erori ale sistemului LiDAR;
- erori orizontale;
- erori în determinarea poziției punctului datorate măsurătorilor clasice;
- erori de interpolare.

Evaluarea erorii altitudinii a fost evaluată pentru un set de date LiDAR provenite din diferite categorii de acoperire a terenurilor.

Deoarece acuratețea verticală a datelor LiDAR este de așteptat să varieze cu tipul de acoperire a terenurilor, toată analiza punctelor de control (puncte de referință din măsurători clasice) a fost efectuată separat pentru fiecare dintre tipurile de acoperire teren: *coronament, drum asfalt, drum de pământ, drum de piatră, grădini, neproductiv/ necultivat, păioase, porumb, taluz*.

Obiectivul studiului a fost de a estima eroarea altitudinii asociată cu procesul sistemului LiDAR, unde unul din obiectivele principale în specificarea parametrilor pentru colectarea datelor (înălțimea de zbor, viteza de deplasare, amprenta) este de a realiza o densitate corespunzătoare a impulsurilor LiDAR. În urma etichetării categoriei Acoperire de Teren și în cazul în care aceasta a fost făcută corect se poate spune că eroarea altitudinii diferă în funcție de categoria de acoperire a terenului.

Prin studiile efectuate în teză, s-a încercat să se verifice oportunitățile oferite de tehnologia LiDAR și evaluarea preciziei altitudinilor determinate cu acest sistem. Toate aceste analize cred că pot fi luate în considerare pentru tematica abordată.

7.3 Preocupări viitoare

Datorită avantajelor aduse de tehnologia LiDAR ca și colector de date corelate cu particularitățile reliefului pentru zone inaccesibile și dependența minimă umană, dar și cu normele tehnice sunt necesare determinări suplimentare (măsurători teren) în vederea omogenizării densității punctelor necesare îmbunătățirii modelului de cvasigeoid.

O altă direcție de cercetare ar fi extinderea testării preciziei altimetrice pe întreg subbazinul hidrografic Crasna în scopul acoperirii mai multor tipuri de categorii de teren fără a omite

eventuale diguri, elemente aflate în rambleu, cazul drumurilor și a căilor ferate, acestea având și o funcționalitate de protecție la inundații.

Din această perspectivă mai poate fi o extindere a studiului în scopul de a surprinde diverse stadii de dezvoltare (creștere) a culturilor agricole, vegetație diversă, evidențierea construcțiilor hidrotehnice și a supratraversărilor, poduri, conducte, folosite în mod deosebit în modelare.

Bibliografie

- [1]. George L.HERITAGE, Andrew R.G.LARGE, *Laser Scanning for the Environmental Sciences*, Wiley-Blackwell Publishing Ltd., ISBN: 978-1-405-15717-9, 2009.
- [2]. Gabriela PAUNESCU, *Laserul si aplicatiile lui*, ISBN 978-973-0-08215-9, 2010.
- [3]. <http://www.wavelength-tech.com/Technical/Technical16.jsp>
- [4]. Goulden, TRISTAN (2009) *Prediction of Error Due to Terrain Slope in LiDAR Observations*. M.Sc.E. thesis, Department of Geodesy and Geomatics Engineering Technical Report No. 265, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada
- [5]. J.Angelo BERALDIN, Françoise BLAIS, Uwe LOHR,Aiborne and Terrestrial Laser Scanning,2010pag.20-30
- [6]. Andrei BAUER, 3DRiskMapping, desfășurat în perioada octombrie 2006 – septembrie 2008, co-finanțată de Flemish Agency din cadrul programului European Leonardo DaVinci.
- [7]. Jie SHAN, Purdue University, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center Coastal Geospatial Services Division Coastal Remote Sensing Program, November 2012
- [8]. Michal GALLAY, Institute of Geography, Faculty of Science, Pavol Jozef ŠAFÁRIK University in Košice, Jesenná 5, 040 01, Slovakia, ISSN 2047-0371, Direct Acquisition of Data: Airborne laser scanning ,(British Society for Geomorphology Geomorphological Techniques, Chap. 2, Sec. 1.4 (2013))
- [9]. Christopher J. CROSBY, ARIZONA STATE UNIVERSITY August 2006, Geoinformatics Approach To Lidar Data Distribution And Processing With Applications To Geomorphology
- [10]. Fernandez, 2011-Lifting the Canopy Veil Airborne LiDAR for Archeology of Forested Areas, Basic principles of an airborne LiDAR mapping system, www.imagingnotes.com
- [11]. Håkan STERNER, 1997, Helicopter Aerial Laser Ranging, TopEye AB (<http://www.earsel.org/SIG/CZ/abstracts/sterner.html>)
- [12]. George VOSSLEMAN, Hans-Gerd MAAS,2010, Aiborne and Terrestrial LASER SCANNING,CRS Press, pag.33
- [13]. Mark W. BROOKS, October 16, 2007, Optimal Geomatics, Inc. (adaptare)
- [14]. Derek LICHTI, Jan SKALoud, Registration and Calibration, 2010 Aiborne and Terrestrial LASER SCANNING,CRS Press, pag.84-89
- [15]. George VOSSLEMAN, Reinhard KLEIN,2010, Aiborne and Terrestrial LASER SCANNING,CRS Press, pag.59
- [16]. Jonathan Richard SHEWCHUK, 18 May, 1997 Delaunay Refinement Mesh Generation, CMU-CS-97-137, Sursa: <http://www.cs.cmu.edu/~quake-papers/delaunay-refinement.pdf>
- [17]. NGA, 2011 - NATIONAL CENTER FOR GEOSPATIAL INTELLIGENCE STANDARDS
- [18]. Gordon PETRIE and Charles K. TOTH, 2008 -51423_C002.indd 48 Airborne and Spaceborne Laser Profilers and Scanners=OK
- [19]. WAGNER et al., 2004, Lidar sampling for large-area forest characterization: A review, Remote Sensing of Environment Volume 121, June 2012, Pages 196–209
- [20]. Aloysius Wehr-2008-*LiDAR Systems and Calibration ,Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing-* 51423_C004.indd 129
- [21]. <http://earthobservatory.nasa.gov>
- [22]. [P.D. DUMITRU,2011- Contribuții la determinarea cvasigeoidului pe teritoriul României-teză de doctorat](#)
- [23]. C. MOLDOVEANU, Noțiuni de Geodezie fizică și elipsoidală, poziționare-MATRIX ROM,2002, pag.241
- [24]. http://principles.ou.edu/earth_figure_gravity/geoid/
- [25]. www.academia.edu/Seeger (IfAG, Frankfurt)

- [26]. Fundamentals of Geophysics Second edition William LOWRIE *Swiss Federal University (ETH), Zürich 2007*
- [27]. D. GHIȚĂU, C. PĂUNESCU, G. IOSIF – Geodezie teoretică, Editura Universității din București, 2013
- [28]. Sistemul de determinare a poziției utilizând sateliții GNSS-Cap.10-Transformări de coordonate-2012, C.PĂUNESCU, S.G. DUMITRU, V. MOCANU, pag.165-167
- [29]. Christian BRIESE, Extraction of Digital Terrain Models, 2010 Airborne and Terrestrial LASER SCANNING, CRS Press, pag.135-163
- [30]. International Organization for Standardization, EN ISO/DIS 19157 Geographic Information-Data quality, pag 1-93, 2011.
- [31]. Michael E. HODGSON & Patrick BRESNAHAN, Accuracy of Airborne Lidar-Derived Elevation: Empirical Assessment and Error Budget, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 70, pag. 331-338, 2004.
- [32]. Wenzhong Shi, Principles of Modeling Uncertainties in Spatial Data and Spatial Analyses Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data-Principles and Practices, CRC Press Taylor & Francis Group, pag. 23, 2010.
- [33]. Wilhelm LAURENZI, Experimental data processing (part I), ProLigno, vol. 6, pag. 62-63, 2010.
- [34]. WITTEWER, J. W., "Graphing a Normal Distribution in Excel" From Vertex42.com, November 1, 2004(www.vertex42.com/ExcelArticles/mc/NormalDistribution-Excel.html)
- [35]. Heidemann, Hans Karl, 2012, Lidar base specification version 1.0: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 11, chap. B4, 63 p.
- [36]. FOTESCU, N. 1975-Teoria erorilor și metoda celor mai mici pătrate, ICB-București
- [37]. NOVAK, Andrei – Bazele Statisticii, Ediția a II-a revăzută, PRO UNIVERSITARIA, pag.85
- [38]. Modul de stocare a informației în formatul LAS este prezentat în documentația atașată pe siteul ASPRS.org al *Societății Americane pentru Fotogrametrie și Teledetecție*:
http://asprs.org/a/society/committees/standards/LAS_1_3_r11.pdf
- [39]. Directiva 2007/60/CE A PARLAMENTULUI EUROPEAN ȘI A CONSILIULUI din 23 octombrie 2007
- [40]. Quality Assessment Of Digital Terrain Model Derived From Lidar, PhD Student Daniela IORDAN, Lecturer Dr. Daniela Cristiana DOCAN, 17-26 iunie, 2014-SGEM - Bugaria
- [41]. <http://earth.unibuc.ro/articole/evoluia-sistemelor-informaionale-geografice-gis>
- [42]. http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/anomalies_dov.html
- [43]. <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm96/egm96.html>.
- [44]. <http://education.nationalgeographic.com>
- [45]. <http://www.ancpi.ro/pages/legislatie.php>
- [46]. http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/GOCE
- [47]. <http://www.isotc211.org>
- [48]. <http://www.ngs.noaa.gov/GEOID>
- [49]. https://www.unavco.org/community_science/science-support/geoid/
- [50]. www.ancpi.ro
- [51]. www.esa.int
- [52]. www.esri.com
- [53]. www.gisday.com/resources.html
- [54]. www.grass.osgeo.org
- [55]. www.igscb.jpl.nasa.gov
- [56]. www.ngdc.noaa.gov
- [57]. www.qgis.org