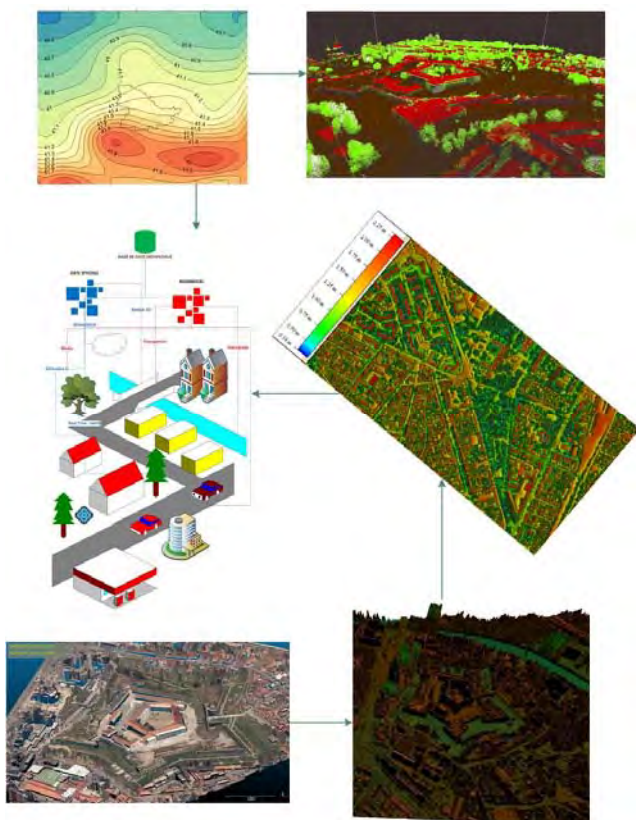




**CONTRIBUȚII LA CREAREA ORAȘELOR
INTELIGENTE**
REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

Conducător de doctorat

Prof. Univ. Dr. Ing. Petre Iuliu
DRAGOMIR

Studentă Doctorand:
Drd.ing. Iuliana Adriana CUIBAC
PICU

Iunie 2021



Binecuvântate fie eșecurile.
Le datorez tot ce știu.

• Emil Cioran •

Mulțumiri

Prezenta teză de doctorat a fost elaborată pe parcursul a celor trei ani de studii (2018-2021) în cadrul Școlii Doctorale a *Universității Tehnice de Construcții București*, în domeniul *Inginerie civilă și instalații*, cu scopul de a justifica necesitatea datelor geospațiale cât mai precise pentru implementarea și întreținerea proiectelor care definesc orașul inteligent.

Aș dori să-mi exprim, pentru început, recunoștința față de conducătorul meu științific, domnul prof.univ.dr.ing. Petre Iuliu Dragomir, căruia îi mulțumesc pentru că la bine și la rău a fost alături de mine, îndrumându-mă și sfătuindu-mă, cu amabilitate, profesionalism și dedicare. Calitatea activității de cercetare, atât cât este ea, relevantă în prezenta teză, se datorează în mare parte răbdării și sfaturilor date de domnia sa.

Aș dori să mulțumesc membrilor comisiei de îndrumare, prof. univ. dr. hab. ing. Ana Cornelia Badea, conf. dr. Ing. Ersilia Oniga, prof. univ. dr. ing. Caius Didulescu cât și cadrelor didactice din Departamentul de Topografie și Cadastru, al Facultății de Geodezie, din cadrul Universității Tehnice de Construcții București, pentru sfaturile, informațiile și sugestiile primite în această perioadă de cercetare și în cadrul susținerii rapoartelor de cercetare aferente prezentei teze.

De asemenea, aș dori să mulțumesc conducerii Centrului Național de Cartografie și în special a Serviciului de Cartografie și Fotogrammetrie pentru sprijinul acordat în această perioadă de studii și pentru oportunitatea a lua parte la derularea unor proiecte naționale (LAKI II și LAKI III, Ortofotoplanul pentru 320 de UAT din mediul urban) și internaționale (VOLTA). Proiectul european de cercetare VOLTA, prin schimbul de experiență avut cu Universitatea din Varșovia, Polonia și Universitatea Tehnică din Delft, Olanda, mi-a oferit prilejul de a învăța și de a dobândi experiență în domeniul fotogrammetriei și teledetecției.

Sincere mulțumiri dezvoltatorilor software-ului OPALS, din cadrul Departamentului de Geodezie și Geoinformații al Universității Tehnice din Viena, Austria, pentru acordarea licenței folosite în prezenta teză.

Teza de doctorat nu ar fi fost posibilă fără amabilitatea domnului Cristian Dorin Glonț-Dinu, director general al firmei *S.C. PRIMUL MERIDIAN S.R.L.*, care mi-a oferit datele brute aferente Municipiului Oradea, obținute în urma achiziționării acestora cu sistemul ALS, în cadrul proiectului LAKI II și a domnului Neculai Avramiuc, *Șef Serviciu Geodezie și Cercetare-Dezvoltare*, în cadrul Centrului Național de Cartografie, care mi-a oferit ocazia de a efectua măsurători terestre gravimetrice și mi-a împărtășit informații utile din vastele sale cunoștințe din domeniul gravimetriei.

Și nu în ultimul rând, le mulțumesc din suflet familiei mele și celor apropiați, pentru sprijin, încredere, iubire și susținere morală. Bunicii mele, care mă păzește și mă ocrotește de oriunde se află, îi mulțumesc pentru toată grija și iubirea oferită, iar tatălui meu, care nu a apucat să mă vadă unde am ajuns, vreau să îi reamintesc că fără el nu aș fi cine sunt!

Cuprins

Mulțumiri	3
I. Introducere	7
1. Noțiuni generale despre Smart City	7
1.1. Generalități	7
1.2. Noțiunea de Oraș Inteligent în mijlocul unei pandemii	8
1.3. Stadiul actual privind dezvoltarea orașelor inteligente la nivel național	9
2. Obiectivele tezei	9
2.1. Scopul tezei de doctorat	9
2.2. Structura tezei	10
II. Determinarea unui cvasigeoid gravimetric pentru o zonă urbană	12
1. Introducere	12
1.1. Noțiuni de bază	12
1.2. Sisteme de altitudini – sistemul ortometric, normal și elipsoidal	13
1.3. Tehnici de preluare și prelucrare a măsurătorilor gravimetrice	14
1.4. Modelul global de geoid al Pământului	17
2. Metode gravimetrice de determinare a unui cvasigeoid pentru o zonă urbană	17
2.1. Metodologia de calcul a geoidului și cvasigeoidului	18
2.2. Gridul și metoda de interpolare	19
2.3. Validarea preciziei și asamblarea modelelor de geoid	20
2.4. Stadiul actual privind determinarea cvasigeoidului pe plan național	20
2.5. Determinarea cvasigeoidului pentru județul Bihor	21
3. Verificarea cvasigeoidului gravimetric pe zona Municipiului Oradea	24
3.1. Date de intrare:	24
3.2. Verificarea cvasigeoidului gravimetric pe zona Municipiului Oradea	24
III. Generarea modelelor digitale ale terenului	26
1. Noțiuni generale și stadiul actual privind tehnologia de scanare cu laser	26
1.1. Componentele unui sistem ALS	27
1.2. Erorile apărute în setul de date obținut prin ALS	29
1.3. Calibrarea sistemelor ALS	30
1.4. Procesarea datelor ALS	30
1.4.1. Compensarea benzilor de scanare în zona de suprapunere	30
1.4.2. Georeferențierea directă a norului de puncte	31

1.4.3. Metode actuale de filtrare și clasificare a norului de puncte	32
2. Metode de generare a modelelor digitale ale terenului.....	32
2.1. Metode de interpolare.....	32
2.2. Generarea Modelelor digitale ale terenului.....	32
3. Studiu de caz: Compensarea riguroasă pe zona de suprapunere a benzilor de scanare și generarea Modelului Digital ale Suprafeței pentru Municipiul Oradea.....	33
3.1. Date spațiale, echipamente și instrumente utilizate	33
3.2. Compensarea benzilor în zona de suprapunere aferente Municipiului Oradea	34
3.3. Generarea Modelului Digital ale Suprafeței pentru Municipiul Oradea.....	38
IV. Fuziunea datelor gravimetrice cu norul de puncte 3D	42
1. Noțiuni generale despre fuziunea datelor	42
2. Stadiul actual al fuziunii datelor gravimetrice cu cele achiziționate cu tehnologia LiDAR.....	44
3. Studiu de caz: Fuziunea datelor ALS cu date gravimetrice în etapa de compensare	45
V. Studiul de caz - Realizarea unei aplicații utile componentei de mediu a unui oraș inteligent	52
1. Date spațiale, echipamente și instrumente utilizate	52
1.1. Locul cercetării – Municipiul Oradea	52
1.2. Exemple de aplicații folosind modele 3D ale unei zone urbane	53
1.3. Analiza utilității dezvoltării unei aplicații pentru estimarea efectului radiațiilor solare asupra clădirilor.....	54
2. Datele de intrare utilizate în cadrul studiului de caz	55
3. Echipamentele și instrumentele folosite în realizarea obiectivelor propuse	55
4. Dezvoltarea aplicației de estimare a radiațiilor solare peste Municipiul Oradea	55
VI. Concluzii generale, contribuții personale și perspective de viitor	64
1. Concluzii generale	64
2. Contribuții personale.....	65
3. Perspective de viitor.....	65
Bibliografie	66
Lista Lucrărilor Publicate.....	70

I. Introducere

1. Noțiuni generale despre Smart City

1.1. Generalități

Orașele sunt "sisteme formate din subsisteme" (Palmisano 2009). Aceasta poate fi considerată o simplă definiție a termenului de oraș. Gestionarea acestor obiecte complexe, necesită o platformă capabilă să integreze datele colectate, provenite din diferite surse precum informații provenite din trafic, informații provenite din rândul populației, date geografice, date despre poluare și zgomot. Prezentarea grafică a „sistemului format din subsisteme” este redată în Figura 1-1.

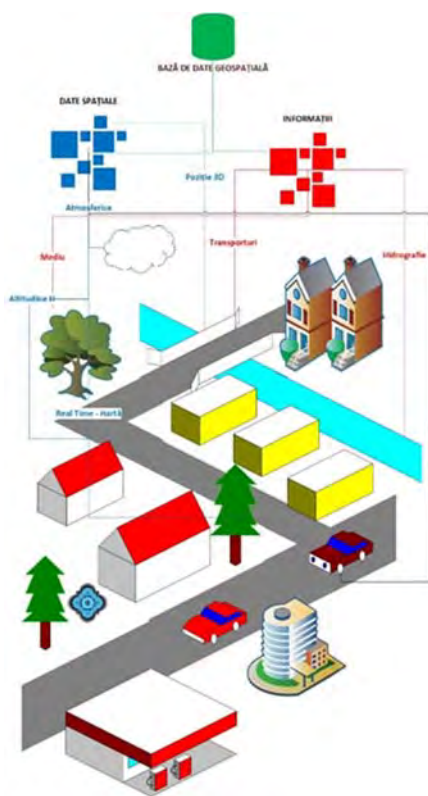


Figura I-1: Datele colectate dintr-un oraș

Orașul inteligent pleacă de la ideea de oraș durabil care funcționează la o scară largă pentru a integra caracteristici precum mobilitatea, mediul, serviciile publice și economia cu opinia publică în vederea creșterii transparenței administrației publice (Chourabi 2012). Conceptul se bazează pe capacitatea orașului inteligent de a se adapta dinamic în orice situație prin colectarea informațiilor provenite de la o serie de senzori, acestea putând fi folosite pentru a genera decizii într-o varietate de situații administrativ - guvernamentale. Mulți cercetători au indicat o altă abordare asupra noțiunii de oraș inteligent, aceea de „oraș dinamic, interconectat și funcțional” (Harrison 2010). Centrul de Științe Regionale de la Universitatea de Tehnologie din Viena a identificat șase componente esențiale (Figura I-2), considerate piloni pe care trebuie să se bazeze un oraș inteligent (Giffinger 2018).

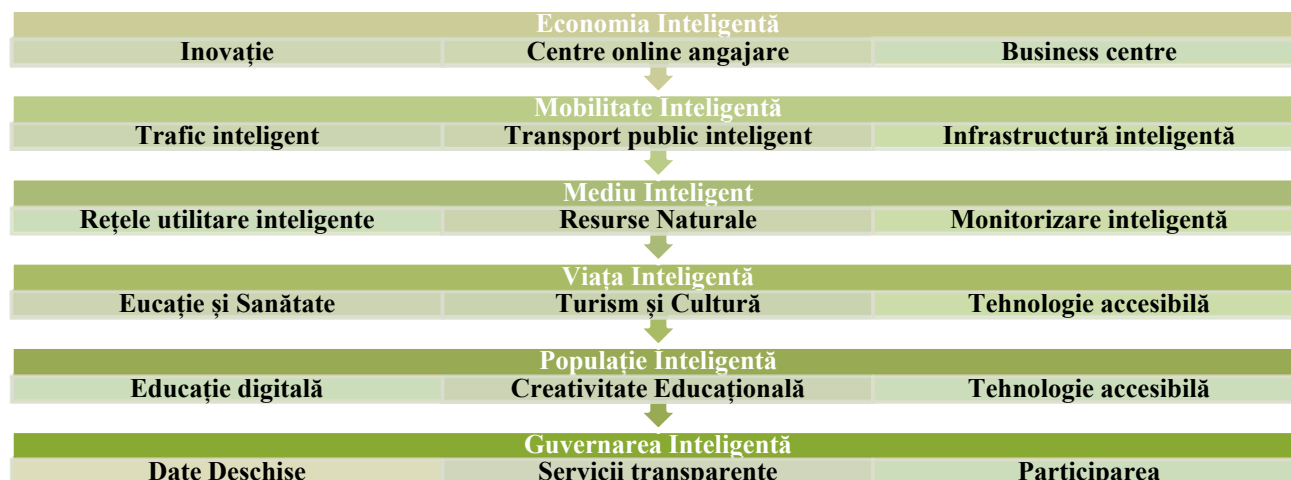


Figura I-2. Componentele Orașului Inteligent

În toate componentele unui oraș inteligent, datele geospațiale, contribuie într-un fel sau altul prin diferite avantaje, precum utilizarea acestora la reducerea costurilor, la îmbunătățirea eficienței sectorului public, la îmbunătățirea nivelului de trai a cetățenilor, în sănătate și în adaptarea orașului la schimbările climatice (Pârvu, et al. 2021). Exemple de tipuri de date 2D sau 3D, provenite din domenii sau senzori diferiți, utilizate în aplicații pentru localizarea, analizarea și partajarea lor, sunt prezentate în Figura I-4., iar acestea ar trebui să servească drept suport în dezvoltarea unui oraș inteligent, și în general, pentru a oferi o infrastructură globală de date geospațiale pentru diferitele aplicații ale unui oraș inteligent.

Figura I-3. Date geospațiale utilizate la dezvoltarea Orașului Inteligent – Oradea



1.2. Noțiunea de Oraș Inteligent în mijlocul unei pandemii

Virusul COVID-19 a produs schimbări majore în întreaga lume, modificând noțiunea de oraș inteligent și accelerând adoptarea tehnologiei orașelor inteligente deja existente pe scară largă. De la începutul acestei crize sanitare întreaga planetă, prin guvernele și populația țărilor, a fost obligată să schimbe direcția de dezvoltare a orașelor inteligente, prin optimizarea cloud-ului (spațiu de stocare online) și a infrastructurii, prin implementarea de servicii de analiză a datelor online, în timp real, pentru a ajuta la

luarea deciziilor orientate spre viitor. În această perioadă de pandemie s-au evidențiat necesitățile reale ale componentelor orașului inteligent, precum educația în mediul online, infrastructură cu date geospațiale precise și actuale, platforme de comunicații digitale și perfecționare rapidă pentru ca derularea activității companiilor să se realizeze în medii virtuale (Chagoury 2020).

1.3. Stadiul actual privind dezvoltarea orașelor inteligente la nivel național

În numeroase țări, inclusiv în România, au fost dezvoltate platforme precum: <https://romaniansmartcity.ro/>, cu date deschise care să ajute la dezvoltarea conceptului de oraș inteligent. Ca și indicator de evaluare a orașelor inteligente, a apărut în anul 2014 standardul internațional ISO 37120/2014: Dezvoltarea durabilă a comunităților - Indicatori pentru serviciile orașului și calitatea vieții. În anul 2020 România avea 87 de orașe inteligente (Figura I-4) și în jur de 594 proiecte pe conceptul de Smart City. În fruntea clasamentului era orașul Alba Iulia, care deține un total de 106 proiecte, urmat de Cluj și de Timișoara cu respectiv 54 și 26 de proiecte. Ca proiecte actuale, având la bază conceptul de oraș inteligent, am remarcat:

- extinderea dezvoltărilor de Oraș Inteligent la primele două comunități din comune inteligente – Ciugud din județul Alba și Luncăvița din județul Tulcea;
- primul Județ Inteligent: Cluj – Smart Territory (Cluj 2014);
- prima instituție publică complet digitalizată din România-Direcția de Mobilitate Urbană a Sectorului 4.

Figura I-4. Harta Orașelor Inteligente din România (Patrick 2019)



2. Obiectivele tezei

2.1. Scopul tezei de doctorat

Scopul tezei de doctorat vine în susținerea orașelor inteligente prin furnizarea unor date geospațiale precise. Aceste date geospațiale, obținute prin metode de teledetecție activă, precum tehnologia scanării laser aeropurtată (ALS) și îmbunătățite prin metode gravimetrice, oferă posibilitatea obținerii unui model digital al terenului (MDT) și unui model digital al suprafeței MDS cu acuratețe ridicată. Modelele obținute vor fi generate, prin cele mai precise metode de interpolare, în urma unor testări și studii comparative, pentru ca ulterior, pe baza lor, să se dezvolte aplicații în mediu GIS. Obiectivul principal al acestei teze îl reprezintă îmbunătățirea modelului digital al suprafeței obținut în urma prelucrării datelor ALS prin metode de compensare riguroasă a benzilor de scanare, cu date obținute prin metode gravimetrice, în concluzie fuziunea acestor tipuri de date. Aceste date geospațiale precise obținute, dar și abordarea avută în vedere în dezvoltarea aplicației se pot preta a fi utilizate și de către alte municipalități sau alți planificatori urbani în menținerea și chiar dezvoltarea orașelor inteligente.

2.2. Structura tezei

Pentru a demonstra beneficiile aduse de datele geospațiale precise, cum este cazul MDS Municipiul Oradea, generat din norul de puncte LiDAR, cu datele gravimetrice, s-a efectuat în mediul GIS, analiză radiației solare a acoperișurilor și a pereților clădirilor aferente orașului inteligent Oradea. Structura pe capitole a tezei este următoarea:

Capitolul I: Noțiuni generale despre Smart City. În cadrul acestui capitol am prezentat succint câteva aspecte generale legate de noțiunea de oraș inteligent, componentele acestuia, standardul european care stă la baza tuturor proiectelor din acest domeniu și conexiunea acestora cu datele geospațiale, precum și situația actuală a orașelor și a proiectelor inteligente pe plan național. De asemenea, în cadrul acestui capitol sunt prezentate obiectivele tezei plecând de la scopul propus.

Capitolul II: Determinarea unui cvasigeoid gravimetric pentru o zonă urbană. Scopul urmărit în acest capitol este de a prezenta modalitatea de generare a unui cvasigeoid gravimetric pentru județul Bihor și verificarea acestuia printr-o metodă proprie pe zona Municipiului Oradea, printr-un cvasigeoid geometric. Capitolul prezintă ca bază teoretică metodologia utilizată la determinarea unui geoid sau cvasigeoid gravimetric, prin descrierea unor concepte generale privind gravimetria, tipurile de măsurători gravimetrice și metodele utilizate de generare precum și stadiul actual pe plan național. În continuare, a fost prezentată tehnica de măsurare utilizând gravimetrele terestre și generarea gridului cu anomaliiile gravitaționale ale județului Bihor. În ultima secțiune a acestui capitol am verificat cvasigeoidul gravimetric în zona Municipiului Oradea, prin metode de calcul și analiză a diferențelor pe altitudinii, utilizând un cvasigeoid geometric determinat. În urma derulării acestui proces de verificare, a fost evidențiată necesitatea unui cvasigeoid gravimetric pe întreg teritoriu țări, cât și îndesirea rețelei gravimetrice cu puncte noi determinate pentru asigurarea și menținerea precizie punctelor 3D în toate zonele țării.

Capitolul III: Generarea modelelor digitale ale terenului. Obiectivul acestui capitol este realizarea procesului de compensare riguroasă a benzilor de scanare în zona de suprapunere și generarea din norul de puncte 3D, a unui model digital al suprafeței (MDS) cât mai precis pentru o zonă urbană - Municipiul Oradea. Am prezentat teoretic câteva aspecte generale privind tehnologia (ALS), erorile induse de această tehnologie, metoda de calibrare pentru eliminarea erorilor, metodele de procesare și metodele de generare a modelelor digitale ale terenului (exemplificând cu algoritmi de interpolare utilizați în studiul de caz). Datele de intrare utilizate în acest capitol sunt achiziționate prin scanare laser aeriană (ALS), iar în studiul de caz sunt evidențiate îmbunătățirile aduse acestor date (eliminarea erorilor) prin procesul de compensare a benzilor de scanare în zona de suprapunere, utilizând un algoritm riguros. O altă aplicabilitate a acestui capitol o reprezintă analiza metodelor de interpolare și identificarea celei mai precise metode de interpolare a acestui tip de set de date, prin generarea unui MDT, cu rezoluție de 0.5 m x 0.5m cu diferiți algoritmi, implementați în cinci software-uri. În final va fi generat modelul digital al suprafeței (MDS), având o rezoluție de 0.5m x 0.5 m, pentru Municipiul Oradea.

Capitolul IV: Conceptul de fuziune a datelor. Scopul acestui capitol este de a realiza fuziunea datelor gravimetrice cu norul de puncte 3D, ambele aferente Municipiului Oradea. Utilizarea în procesul de

compensare a benzilor de scanare, a cvasigeoidului gravimetric pentru transformarea altitudinilor elipsoidale în altitudini normale reprezintă una din contribuțiile personale din cadrul acestei teze de doctorat. În prima parte a studiului de caz se determină pașii de procesare, a celor două seturi de date și obținerea în urma fuziunii și a compensării, a unui nor de puncte 3D care are o precizie altimetrică finală de 0.14 m. Acest rezultat este supus tuturor etapelor de procesare pentru obținerea în final a unui alt MDS aferent Municipiului Oradea. Partea practică a acestui capitol conține și un studiu comparativ între MDS-urile generate, dar și între acestea și MDS-ul din proiectul LAKI II, evidențiind diferențele de precizie cât și cele vizuale. Au fost prezentate teoretic câteva aspecte generale despre noțiunea de fuziune a datelor și beneficiile aduse, precum și stadiul actual privind fuziunea acestor tipuri de date, conform literaturii de specialitate.

Capitolul V: Studiul de caz- Realizarea unei aplicații utile componentei de mediu a unui oraș inteligent.

În cadrul acestui capitol am avut în vedere dezvoltarea unei aplicații de analiză a zonelor benefice din cadrul Municipiului Oradea, unde se pot monta panouri solare pentru producere de energie alternativă. Necesitatea conservării și protejării mediului înconjurător prin utilizarea energiei regenerabile reprezintă unul dintre punctele principale în dezvoltarea și menținerea conceptului de oraș inteligent. Aplicația este dezvoltată în mediul GIS, utilizând datele geospațiale, precum MDS-ul generat în cadrul Capitolului IV, din care sunt extrase și analizate zonele în care acoperișurile clădirilor sunt poziționate optim pentru a capta sau nu energie solară. În partea teoretică am enumerat utilitățile datelor precise obținute în dezvoltarea diferitelor aplicații, precum și avantajele aduse de o astfel de aplicație pentru factorii de decizie din zonele metropolitane.

Capitolul VI: am rezumat principalele concluzii și am consolidat rezultatele studiilor efectuate în prezenta teză de doctorat, propunând totodată sugestii pentru lucrările viitoare.

II. Determinarea unui cvasigeoid gravimetric pentru o zonă urbană

1. Introducere

1.1. Noțiuni de bază

Cea mai veche și totuși cea mai edificatoare definiție a geodeziei, este dată de renumitul geodez german Friedrich Robert Helmert în anul 1880, ca fiind ”știința măsurării și reprezentării suprafeței Pământului” (Ghițău 1983). Unul din cele mai importante aspecte ale geodeziei este determinarea potențialului gravitației, iar acesta se realizează prin măsurarea gravitației. Unitatea de măsură a gravitației în Sistemul Câmpului Gravitațional (CGS) este galul ($1 \text{ gal} = 1 \text{ cm/s}^2$). În geodezia fizică se utilizează termenul de miligali ($1 \text{ mgal} = 10^{-3} \text{ gal}$), echipamentele de măsurat actuale având o precizie de ordinul $\pm 0,01 \text{ mgal}$ sau chiar și mai bună (Ghițău 1983). Prin urmare pentru a putea determina cea de-a 3 dimensiune și anume altitudinea obiectelor situate pe suprafața terestră, este necesară cunoașterea suprafeței de referință. În anul 1873, fizicianul și matematicianul *Johann Listing* a definit noțiunea de Geoid, prezentat în Figura II-1, ca figura matematică a pământului, adică ca o suprafață echipotențială a atracției și rotației Pământului, care în medie coincide cu nivelul mediu al mărilor și al oceanelor Pământului (Burkhard 1985).

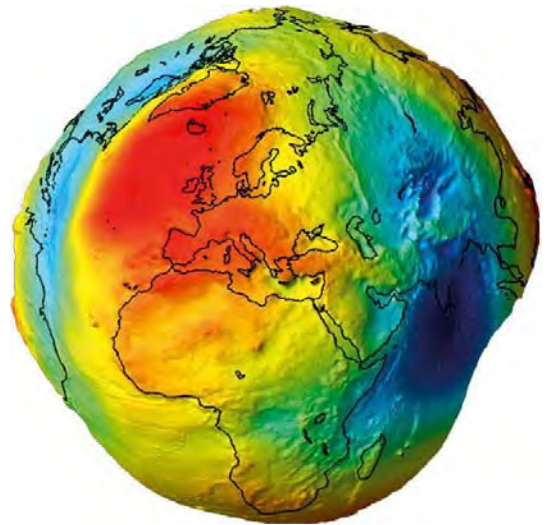


Figura II-1. Geoidul (Yurkina 2020)

O suprafață adecvată pentru calcul, care aproximează forma geoidului, este elipsoidul de nivel, denumit în general elipsoid biaxial sau de rotație (Vaníček and Krakiwsky 1986) este o suprafață matematică bine definită, în care dimensiunea și forma nu diferă foarte mult de cea a geoidului (Figura II-2). Diferența de la geoid la elipsoid poartă denumirea de *ondulația geoidului*. Parametrii care definesc geometric elipsoidul de rotație (II-2) sunt:

- ❖ $a = \overline{OA} = \overline{OB}$ reprezintă semiaxa mare (raza ecuatorială);
- ❖ $b = \overline{OC} = \overline{OD}$ reprezintă semiaxa mică;
- ❖ $f = \frac{a-b}{a}$ reprezintă turtirea;
- ❖ $E = \sqrt{a^2 - b^2}$ reprezintă excentricitatea liniară;
- ❖ $e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$ reprezintă prima excentricitate numerică;
- ❖ $e' = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{b^2}}$ reprezintă a doua excentricitate numerică;
- ❖ $c = \frac{a^2}{b}$ reprezintă raza de curbură polară.

II-1

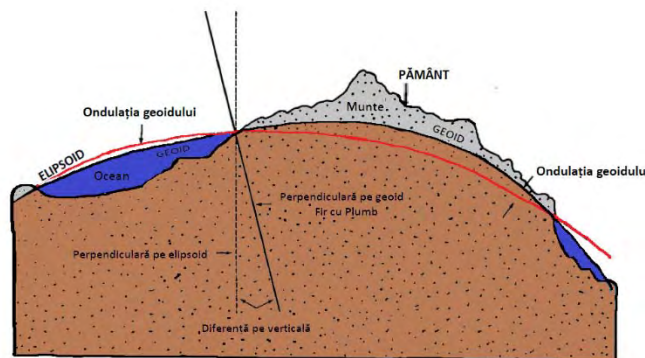


Figura II-2. Suprafețe geodezice de bază, adaptată (Burkhard 1985)

La ora actuală se cunosc mai mulți elipsoizi de referință dar cel mai recent este elipsoidul GRS80. Elipsoidul global geocentric (GRS80) este determinat din date satelitare, date gravimetrice și date de o acuratețe ridicată și reprezintă cel mai precis model geometric al Pământului și este soluția unitară a Sistemului Geodezic de Referință 1980 (Chirilă 2015). Drept urmare în era modernă începând cu anul 1984, pe plan internațional se utilizează elipsoidul WGS 84 - Sistem Geodezic Mondial, iar din 1989- Sistemul de referință terestru European 1989, adoptat în România prin *Ordinul Directorului General al ANCPI nr. 212/2009*. Pe plan național din 1951 până în prezent se utilizează elipsoidul Krasovski. Adoptarea proiecției Stereografice 70, ca proiecție oficială a țării, având la bază elipsoidul Krasovski, a avut un avantaj major din punct de vedere al deformațiilor, asigurând o compensare a deformațiilor liniare relative din interiorul cercului deformațiilor nule, cu cele din exteriorul acestuia (Chirilă 2015).

1.2. Sisteme de altitudini – sistemul ortometric, normal și elipsoidal

Sistemul de altitudini ortometrice

Geoidul este suprafața de referință, iar altitudinea ortometrică este definită de distanță dintre acesta și punctul de interes, măsurată de-a lungul firului cu plumb (Vaníček and Krakiwsky 1986). Altitudinea ortometrică poate fi determinată dacă se cunoaște valoarea medie a gravitației în lungul firului cu plumb, prezentată în Figura II - 3.

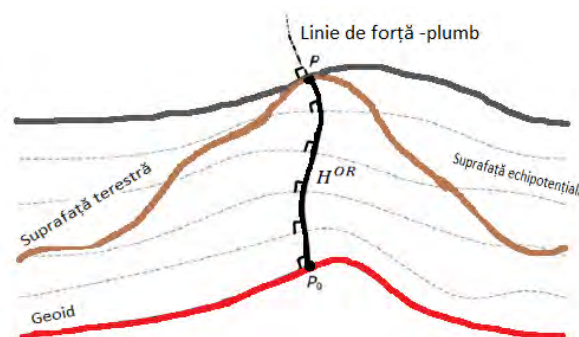


Figura II-3. Altitudine ortometrică, adaptată (Odumosu, et al. 2018)

Altitudinile ortometrice sunt cotele naturale situate deasupra nivelului mării (MSL), adică altitudini deasupra geoidului (Hofmann and Moritz 2006) definite de relația: (II-2 și II-3):

$$H^{OR} = \frac{C}{g} \quad \text{II-2}$$

Unde

g este gravitatea;

H este altitudinea ortometrică;

C este constanta geopotențială și reprezintă diferența de potențial între valoarea constantă la geoid (w_o) și potențialul la punctul P (w_p) de la suprafață.

$$C = w_o - w_p \quad \text{II-3}$$

Din cauza complexității în determinarea valorii medii a gravitației de-a lungul firului cu plumb, au fost utilizate, de-a lungul anilor, diferite metode de determinare, rezultând trei forme de altitudini ortometrice:

- **Altitudinea ortometrică Helmert;**
- **Altitudinea ortometrică Mader;**
- **Altitudinea ortometrică Niethammer .**

Sistemul de altitudini normale

Fiecare țară sau continent specifică un sistem de altitudini utilizat, în care se adoptă un MLS ca origine de plecare. Pe plan național, punctul de pornire al MLS-ului îl reprezintă Marea Neagră, iar sistemul de altitudine este **Sistemul de Altitudini Normale Marea Neagră 1975**. Noțiunea de altitudine normală a fost introdusă în 1945 de către M.S.Molodenski și este definită de relația II-4 (Ghițău 1983):

$$H^N = \frac{1}{\gamma} C_p \quad \text{II-4}$$

Unde

H^N este altitudinea normală. Altitudinea normală se obține prin împărțirea numărului geopotențial, cu o valoare constantă (valoarea gravitației la latitudinea de 45^0), raportată la elipsoidul de referință;

$C(P)$ este numărul geopotențial;

γ este valoarea medie a gravitației normale, în lungul normalei la elipsoid.

Ca o concluzie finală, sistemele normale se bazează pe elipsoid, ca suprafață de referință, prin urmare pe altitudinii elipsoidale, care se determină din altitudinii ortometrice la care se adaugă și ondulațiile geoidului sau din altitudinii normale la care se adaugă anomaliile altitudinilor sau perturbațiile, ambele formule fiind evidențiate în relațiile II-5 și II-6:

$$H^E = H^{OR} + N_p \quad \text{II-5}$$

$$H^E = H^N + \zeta_p \quad \text{II-6}$$

1.3.Tehnici de preluare și prelucrare a măsurătorilor gravimetrice

Metodele de calcul de determinare a geoidului sau cvasigeoidului depind de datele utilizate în procesul de calcul, acestea incluzând date de gravimetrie terestră, date de gravimetrie aeriană și/sau marină, deviații ale verticalei, ondulațiile geoidului, determinări GNSS și/sau de nivelment de precizie (Marchenko, et al. 2002). Abordarea gravimetrică de calculare a geoidului, sau cvasigeoidului are la bază determinarea anomaliilor gravitaționale de pe suprafața Pământului. La nivel mondial, există trei mari categorii de modele de geoid:

- modele globale (GGM);
- modele regionale;

- modele locale.

Chiar și în calculul geoidului pentru o zonă locală, integrarea globală a anomaliilor gravitaționale este esențială. Prin urmare, sursele de date utilizate la determinarea geoidului au fost împărțite în trei categorii în funcție de modul de preluare:

- satelitare;
- aeriene/marine;
- terestre.

Determinările gravimetrice oferă valori ale accelerației gravitaționale în punctele dorite de pe suprafața Pământului. În funcție de tehnologia folosită se poate vorbi de:

- Observații gravimetrice absolute;
- Observații gravimetrice relative.

Gravimetria satelitară

Era spațială a contribuit la crearea modelelor geopotențiale globale (GGM). Primul model a fost publicat în 1960. Misiunile gravitaționale moderne în spațiu au fost dezvoltate cu obiective specifice, sateliții fiind construiți astfel încât să circule pe orbite joase și proiectați cu cele mai precise echipamente. Caracteristicile celor trei sateliți cunoscuți sunt prezentate în Tabelul II-1.

Tabel II-1 – Parametrii sateliților gravimetrice, adaptat (Sanzo and Sideris 2013)

Misiune	Lansatdata/Statut	Alt. Orbită	Obiectiv	Instrumente, măsurare și observații
CHAMP	15/7/2000/inactiv	Alt. =450km	Câmpul gravitațional și magnetic	Accelerometre STAR – 3axe
		$e \approx 0.004$		GPS/SLR
		$i = 87^\circ$		Alt. 450km-300KM
GRACE	17/3/2002/inactiv	Alt. =485km	Câmpul gravitațional/ Variațiile temporale	Accelerometre-3axe (1per s/c)
		$e \approx 0.001$		GPS/SLR- K-band
		$i = 89^\circ$		Rația dintre sateliții 2 s/c
GOCE	17/3/2009/inactiv	Alt. =250km	Câmpul gravitațional	6 accelerometre -3axe
		$i = 96.7^\circ$		Gradiometru
		Sincronizare cu soare		GPS/GLONASS/SLR

Gravimetria aeriană

În trecut, măsurătorile variației gravitaționale au fost determinate selectiv pe uscat și de-a lungul malurilor/pe mare, cu gravimetre terestre/marine. **Gravimetria Aeriană** a apărut ca tehnică de măsurare prin montarea unui gravimetru, pe o platformă girostabilizatoare fiind dezvoltată de către Biroul Internațional Gravimetric (BGI). Gravimetria aeriană este utilizată pentru diferite aplicații legate de modelarea regională a gravitației: de la calculul geoidului local de înaltă precizie pentru aplicații geodezice, până la cele geofizice, în special legate de activitățile de explorare a petrolului și a gazului, dar în general, pentru studii geologice regionale (Olesen and Forsberg 2007). Datele obținute prin această tehnică de măsurare au fost utilizate și în anul 2019 pentru generarea modelului geoid de înaltă rezoluție din Indonezia

(Pahlevi, et al. 2019), iar în anul 2020, combinând date terestre și satelitare, s-a putut genera un alt model de geoid într-o zonă muntoasă din Colorado (Jiang, Dang and Zhang 2020).

Gravimetria terestră

Gravimetria terestră presupune utilizarea instrumentelor specializate în determinarea valorii absolute și relative a gravitației, denumite gravimetre. Ca atare, gravimetrul este instrumentul de măsurare al câmpului gravitațional al Pământului în locații specifice. Principiul de măsurare al gravimetrului este acela de determinare a accelerației gravitației în punctul în care este poziționat. Există două tipuri de gravimetre: absolute și relative, prezentate în Figura II-4.

- a. **Gravimetrele absolute** măsoară gravitatea în unități absolute (gal);
- b. **Gravimetrele relative.** Măsurătorile gravimetrice relative pot fi efectuate când există deja o rețea de puncte gravimetrice cu gravitație absolută cunoscută. Măsurătorile pot conține erori aleatorii și sistematice (Hwang, Wang and Lee 2002).

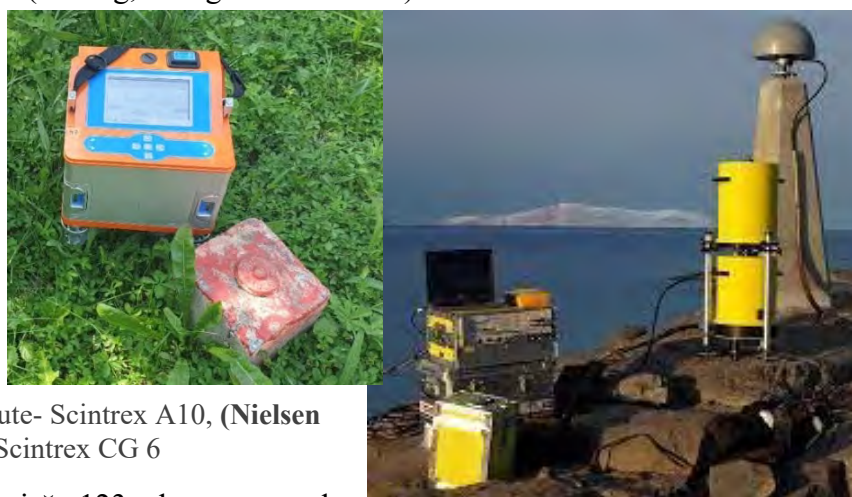


Figura II-4. Gravimetre: a) Absolute- Scintrex A10, (Nielsen 2013); b) relative- Scintrex CG 6

În România conform BGI există 123 de puncte de gravimetrie cunoscute în Bacău, Baia Mare, Brașov, București (9 puncte), Cluj, Constanța, Deva, Galați, Iași, Oradea, Roșiori de Vede, Sibiu, Suceava, Timișoara, Turnu- Severin, având punctul fundamental al rețelei amplasat în Surlari prezentate în Figura II-5, dar aceste date nu au mai fost actualizate din anul 2008. În prezent în cadrul Centrului Național de Cartografie (CNC) se efectuează determinări ale accelerației gravitaționale, utilizând gravimetre terestre relative plecând din puncte gravimetrice naționale de ordinul 0, I și II.

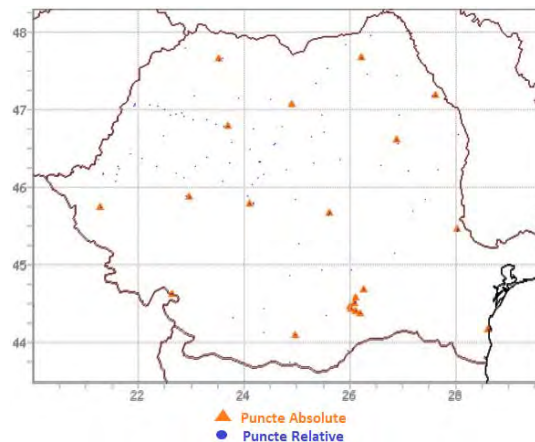


Figura II-5. Rețeaua de puncte gravimetrice ale României până în 2008, adaptat (BGI 2008)

1.4. Modelul global de geoid al Pământului

Modelele gravitaționale ale Pământului (EGM) au fost dezvoltate și furnizate publicului larg de către Agenția Națională de Informații Geospatiale (NGA), ele reprezentând de fapt modelul geopotențial al Pământului, constând din coeficienți armonici sferici. Au fost publice trei versiuni ale EGM:

- EGM84 cu $n = m = 180$;
- EGM96 cu $n = m = 360$;
- EGM2008 cu $n = m = 2160$;
- EGM2020 cu $n = 2190$ și $m = 2159$.

unde n și m reprezintă gradul și ordinele coeficienților armonici; cu cât aceștia sunt mai mari, cu atât sunt mai mulți parametri și modelele sunt mai precise.

EGM2008 conține, de asemenea, extinderi la $n = 2190$. Cel mai utilizat model este modelul EGM2008 lansat public în anul 2008. Anomaliile gravitaționale de aer liber sunt prezentate pentru toată suprafața Pământului. Modelul EGM2008 are o rezoluție de 1×1 minute, rezultând o grilă de 10801 rânduri $\times$ 21600 coloane care definesc diferența dintre altitudinea elipsoidului WGS84 și nivelul mediu al mării (MSL). Prin urmare este un model armonic sferic al potențialului gravitațional al Pământului.

BGI a realizat, în colaborare cu organizații internaționale o grilă de rezoluție înaltă cu hărțile anomaliilor gravitaționale ale Pământului calculate la scară globală în geometria sferică numită WGM2012 (Bonval, et al. 2012). Odată cu determinarea și publicarea celui mai recent model global de câmp gravitațional, a fost efectuată și o analiză de precizie pentru a demonstra necesitatea utilizării acestuia în modele de geoid/cvasigeoid regional sau local. În Tabelul II-3 sunt exemplificate câteva precizii ale unor GGM.

Tabel II-2 – Precizia GGM-urilor la nivel de regiune/țară, adaptat (Kim, Yun and Choi 2020)

Regiune/Țară	Puncte determinate GNSS/nivelment	RMSE –GGM-uri		
		EGM2008 (2190)	EIGEN-6C4 (2190)	GECO (2190)
Australia	201	21.7 cm	21.2 cm	21.6 cm
Brazilia	1112	46.0 cm	44.6 cm	45.1 cm
Canada	2691	12.8 cm	12.6 cm	13.1 cm
Europa	1047	12.5 cm	12.1 cm	12.3 cm
Japonia	816	8.3 cm	7.9 cm	8.0 cm
USA	6169	24.8 cm	24.8 cm	24.6 cm

2. Metode gravimetrice de determinare a unui cvasigeoid pentru o zonă urbană

Metoda clasică de determinare a geoidului este cea care utilizează tehnici de calcul astronomice-geodezice, îmbunătățită datorită observațiilor GNSS, adică a geodeziei spațiale (Drewes and Adam 2019). Metodele utilizate în principal pentru a determina forma geoidului la nivel global și regional sunt identice în ultimele decenii folosind măsurători directe ale undulațiilor geoidului în puncte de pe suprafața terestră utilizând metoda combinată de măsurare a nivelului mediu al mărilor și a gravitației, precum și a poziționării GNSS sau utilizând metoda gravimetrică.

2.1. Metodologia de calcul a geoidului și cvasigeoidului

Metodele principale utilizate în majoritatea țărilor la determinarea geoidului sau a cvasigeoidului, folosind și date de gravimetrie terestre, sunt: Remove-Compute-Restore (RCR), Metoda celor mai mici pătrate (LSMS), numită și KTH, precum și metoda dezvoltată de Universitatea din New Brunswick (UNB).

Metoda Remove-Compute-Restore

Agenția Daneză de Geodate, fosta Agenție de Cadastru și Geodezie a Danemarcei, odată cu Departamentul de Geofizică al Institutului Neils Bohr al Universității din Copenhaga au dezvoltat metoda numită Remove-Compute- Restore/ Eliminare-Calculare-Restaurare (RCR). Metodologia constă în eliminarea, pe cât posibil, în prima etapă a influențelor maselor topografice din anomaliiile gravitaționale ale EGM-urilor, după care integrarea acestora în formula de calcul Stokes, iar în final restituirea valorilor eliminate. Pașii de bază, în determinarea unui geoid folosind metoda RCR și tehnicile de condensare a lui Helmert, ținând cont și de topografia zonei, sunt:

1. Pasul de eliminare: Remove.

Metodologia acestui pas este data de următoarea relație:

$$\Delta g_{res} = \Delta g_{fa} - \Delta g_{EGM} - \Delta g_{ter} \quad \text{II-7}$$

Unde

Δg_{EGM} reprezintă anomaliiile gravitaționale globale calculate din EGM2008 ;

Δg_{fa} reprezintă anomalia de aer liber Faye;

Δg_{ter} reprezintă anomalia terenului cu frecvență înaltă;

Δg_{res} reprezintă anomalia gravitațională reziduală.

Δg_{ter} se calculează folosind modelul terenului rezidual (RTM) (Forsberg 1984).

2. Pasul de calculare: Compute.

Conform abordării propuse de Molodenskij, în integrala Stokes se introduc anomaliiile gravitaționale reziduale Δg_{res} pentru a rezulta anomalia altitudinilor reziduale ξ_{res} , deoarece toate anomaliiile gravitaționale utilizate în calcule se referă la topografie (suprafață de referință) și nu la geoid. Formula matematică a funcției Stokes modificate este: $S_{mod}(\psi) = S(\psi) - \sum_{n=2}^N \alpha(n) \frac{2n+1}{n-1} P_n \cos \psi$ **II-8**

Unde

n este gradul coeficienților armonici sferici;

$\alpha(n)$ este coeficientul de reducere graduală;

N este gradul maxim. Când $2 \leq n \leq N_1$, funcția $\alpha(n)$ este egală cu 1, iar elementul de însumare corespunzător este eliminat din funcția Stokes. Când $N_1 < n \leq N_2$, funcția $\alpha(n)$ este redusă liniar de la 0.99 la 0.

3. Pasul de restaurare: Restore.

În acest pas sunt readuse la anomalia reziduală a altitudinii ξ_{res} , componentele eliminate din anomaliile de aer liber, pentru a crea anomaliile reziduale Δg_{res} , din pasul de eliminare. Formula matematică care stă la baza acestei restaurări este următoarea:

$$\zeta = \zeta_{EGM} + \zeta_{\Delta g} + \zeta_{ter} \quad \text{II-9}$$

Unde

ζ_{EGM} reprezintă anomalia de altitudine calculată de la modelul geopotențial global EGM2008;

ζ_{ter} reprezintă anomalia de altitudine datorată efectului terenului;

$\zeta_{\Delta g}$ reprezintă anomalia reziduală a altitudinii.

ζ_{ter} este calculată prin rularea efectelor de teren Δg_{ter} prin integrala Stokes fără reducerea Wong-Gore conică.

Calculul geoidului gravimetric N din cvasigeoid ζ (anomalia de altitudine) se poate face prin calcularea termenului de separare $N - \zeta$, iar corecția $N - \zeta$ calculată se adaugă la cvasigeoidul pentru a obține geoidul gravimetric.

Metoda Celor Mai Mici Pătrate sau KTH

Cercetătorii de la Institutul Regal de Tehnologie (KTH) din Stockholm Suedia au introdus o metoda alternativă denumită KTH modificând integrala lui Stokes cu corecții aditive. Această tehnică nu necesită reducerea gravitației, ci mai degrabă include corecții pentru efectul terenului, corecții atmosferice și elipsoidale pentru forma Pământului. Metoda KTH nu aplică efectele indirecte ale topografiei și atmosferei în calculul geoidului. Avantajul acestei metode este eliminarea corecțiilor și, prin urmare, determinarea unui cvasigeoid pe baza anomaliilor gravitaționale directe. Dezavantajul practic al acestei metode este faptul că sunt necesare grile de anomalii ale gravitației dense în zonele montane accidentate (Abdalla and Fairhead 2011).

Metoda propusă de Universitatea din New Brunswick (UNB)

Cercetătorii de la Universitatea din New Brunswick (UNB) Canada au folosit pentru calculul geoidului abordarea Stokes- Helmert. Soluția propusă de cercetători la determinarea valorilor de limită Stokes a fost modificarea formulei, folosind un model global de geoid cu un grad scăzut de precizie (rezultat din GOG). În metoda UNB este utilizat un câmp de referință de grad inferior, caz în care atât eroarea de trunchiere, cât și eroarea modelului geopotențial global sunt reduse simultan, datorită modificării nucleului stohastic (Sjöberg and Hunegnaw 2000).

2.2. Gridul și metoda de interpolare

Datele gravitaționale ale punctelor sunt distribuite în mod aleatoriu. Pentru determinarea anomaliilor se realizează o interpolare și se creează un grid al acestor anomalii gravitaționale, prezentate în Figura II-6. Deja se cunosc la momentul actual anumite valori ale diferențelor, între cea mai bună metodă și cea mai slabă metodă de interpolare în funcție și de tipul de anomalie:

- peste 10 mgal pentru anomalia de aer liber;
- 2 mgal pentru anomaliile reziduale (rezultate din metoda RCR);

- 20 mgal pentru anomaliile Bouguer.

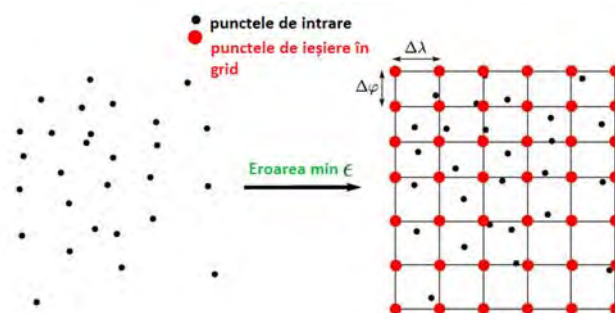


Figura II-6. Gridul de transformare, adaptat (M. Varga 2018)

În prezent există mai multe metode de interpolare, având parametri de intrare, unici pentru fiecare metodă de creare a gridului (M. Varga 2018):

- 1 Distanța inversă față de o pondere
- 2 Kriging
- 3 Curbura minimă
- 4 Metoda Shepard modificată
- 5 Vecinul apropiat
- 6 Vecin natural (NN)
- 7 Triangulație cu interpolare liniară
- 8 Regresie polinomială

În literatura de specialitate a fost demonstrat că metoda Kriging este cea mai precisă metodă posibilă pentru toate tipurile de anomalii gravitaționale.

2.3. Validarea preciziei și asamblarea modelelor de geoid

Principala aplicație a determinării unui geoid pentru topografie este obținerea de altitudini ortometrice pentru punctele măsurate, fără a măsura diferențele de altitudine (elipsoidală-ortometrică) în nivelmentul de precizie. Din cauza consecvențelor de referință există erori încorporate în altitudinile ortometrice H determinate de nivelment, erori în altitudinea elipsoidală a GNSS și, fără îndoială, erori în ondulația geoidului gravimetric N . În orice țară este util ca modelul de geoid gravimetric să se potrivească cu modelul de geoid geometric determinat din repere de nivelment de înaltă precizie din întreaga zonă regională. Asamblarea geoidului gravimetric pe repere de nivelment sau în punctele de referință ale Rețelei Geodezice Spațiale Națională GNSS de clasă A,B,C,D, în cazul României, reprezintă o ultimă etapă în determinarea unui geoid regional/local.

2.4. Stadiul actual privind determinarea cvasigeoidului pe plan național

Până în prezent, în țara noastră nu a existat un model de cvasigeoid determinat din măsurători gravimetrice. Dar conform *Ordinului nr. 763/16.05.2014 emis de Ministerul Dezvoltării Regionale și Administrației Publice* privind reabilitarea și modernizarea *Rețelei de Nivelment Geometric de ord I-IV*, această situație este remediată, prin punerea în aplicare a proiectului CNC. Proiectul constă în determinarea unui model de cvasigeoid peste România, utilizând puncte gravimetrice măsurate, observații

GNSS și puncte din Rețeaua de Nivelment Geometric. Metodă utilizată pentru a calcula cvasigeoidul este RCR. Pentru determinarea gridul de transformare la nivel național în cadrul softului de transformare este utilizată metoda de interpolare Bicubică Spline. Aceste date gravimetrice obținute au fost implementate în programul național de transformare *TransDatRO* (publicat pe site-ul ANCPI și CNC). La momentul actual există generat un cvasigeoid gravimetric pentru județele Bihor, Arad, Hunedoara, Cluj, Alba, Mureș, Sibiu, Harghita, Brașov, Covasna, Gorj, Dolj și Olt, prezentat în Figura II-7, iar pentru aceste județe se cunoaște că precizia medie de transformare a punctelor noi este în jur de $\pm 0.10-0.12$ m.

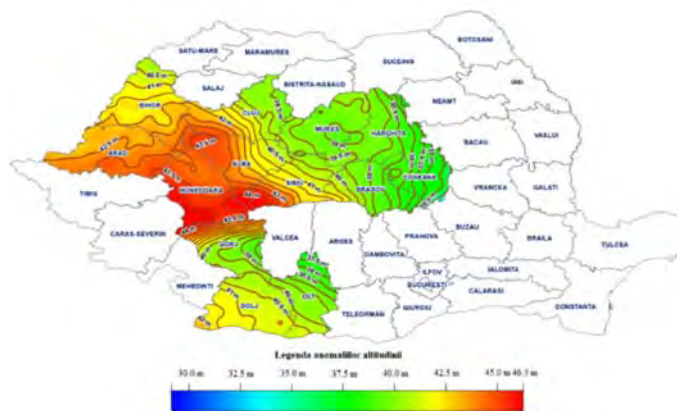


Figura II-7. Harta cvasigeoidului gravimetric pentru România, (CNC 2019)

2.5. Determinarea cvasigeoidului pentru județul Bihor

Cvasigeoidul gravimetric al Județului Bihor, a făcut parte din proiectul pilot al Centrului Național de Cartografie, numit “*MODERNIZAREA RGN – DETERMINAREA UNUI CVASIGEOID PENTRU ZONA ROMÂNIEI – PROIECT PILOT – JUD. BIHOR*”. În județul Bihor au fost efectuate, determinări gravimetrice, prezentate în Figura II-8. Pentru determinarea cvasigeoidului regional aferent Județului Bihor au fost folosite următoarele date de intrare:

- punctele noi determinate gravimetric (cele 82 de puncte gravimetrice de ordinul IV)
- anomalii de aer liber –descărcate de pe site-ul oficial BGI, fișiere în format **txt*;
- anomalii Bourger - descărcate de pe site-ul BGI, fișiere în format **txt*;
- MDT-uri detaliate și modele groșiere de referință SRTM(Shuttle Radar Topography Mission) în format *raster*;
- corecția coordonatelor polare –aceste valori se descărcă de pe site <https://hpiers.obspm.fr/eop-pc/index.php>.

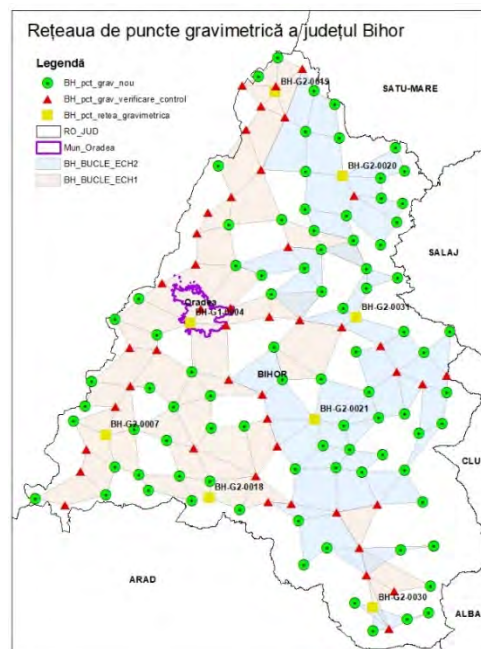


Figura II-8. Rețeaua de puncte gravimetrice a județului Bihor

Tehnica de efectuare a măsurătorile gravimetrice relative.

În principiu, măsurătorile gravimetrice au același mod de determinare ca cele de nivelment, adică, se execută în cadrul unor bucle predefinite la birou, se pleacă din orice punct, dar trebuie să existe în cadrul unei bucle minimum o stație de referință, unde se cunoaște valoarea absolută a gravitației.

Tehnica de compensare a măsurătorilor gravimetrice: Datele brute se descarcă din aparat și sunt prelucrate în așa fel încât să poată fi introduse în softul de compensare;

- Se creează un fișier listă în care se regăsesc toate datele brute, fișiere de tip *.dat;
- Există și sunt utilizate librării cu parametri și denumirea gravimetrelor, incluzând și numărul de identificare ale acestora;
- Fișierul rezultat după o primă transformare are o altă extensie fișiere *.rez;
- Următorul soft de prelucrare a datelor, a fost dezvoltat în cadrul CNC de către N. Avramuic 2018. Acesta efectuează toate operațiunile preliminare;
- Fișierele rezultate din acest soft prezintă o valoare provizorie a gravitației pentru punctele noi determinate (rezultând un fișier sursă cu datele validate).
- Softul PRGrav a fost utilizat pentru o analiză a măsurătorilor și o corecție a lor, de fapt o aplicare a corecțiilor de calibrare și a reducerilor, precum și înlăturarea măsurătorilor eronate din setul de date. Adică s-a efectuat într-o primă etapă o compensare ca o rețea liberă, iar apoi ca o rețea constrânsă pe 8 puncte gravimetrice de ordinul I și II.

Abaterile standard ale gravitațiilor compensate, în cadrul proiectului pilot aferent județului Bihor, sunt mai mici de 12 μ gal. Pentru calculul cvasigeoidului gravimetric regional pentru Județul Bihor, s-a folosit metoda de calcul RCR, metodologia care stă la baza acestei metode fiind descrisă anterior.

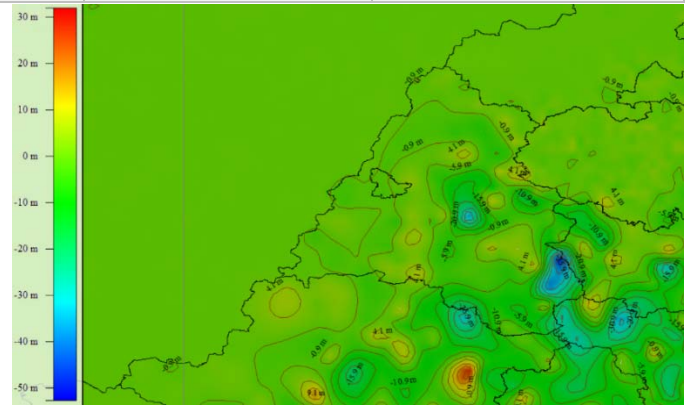
1. Pasul de eliminare: Remove.

Tabel II-3 – Fluxul de lucru și softul utilizat în pasul de eliminare al metodei RCR

Nr crt.	Descriere Etapă	Extensie Software/Soft	Datele de intrare	Datele de ieșire
Setările MDT și ale gridului				
1	SRTM resample	SELECT Gravsoft	SRTM 1arc x 1arc	SRTM _{ref}
2	MDT detaliat	TCGRID Gravsoft	DTM 20m x 20m	DTM _{ref}
3	Gridul și interpolarea	SURFER	Zona Oradea	Grid
Calcularea anomaliilor terenului cu frecvență înaltă Δg_{ter}				
1	Determinarea c_p corecției terenului	TC ¹ modul 3 Gravsoft	Listă cu anomaliile: Δg_{fa} ; SRTM _{ref} ; DTM _{ref}	Valoarea c_p în grid
2	Determinarea valorii $2\pi G\rho(H - H_{ref})$	TC ¹ modul 4 Gravsoft	Constanta $\rho = 2.67$; SRTM _{ref} ; DTM _{ref}	Fol.RTM
3	Calculul anomaliilor terenului	GCOMB modul 1 Gravsoft	Valoarea c_p în grid; Gravitataea Bouguer	Δg_{ter} anomaliile terenului în grid
Calcularea anomaliilor gravitaționale reziduale Δg_{res}				
1	Extragerea Δg_{EGM}	GCOMB modul 1 Gravsoft	Δg_{EGM08} ; Δg_{fa} ;	Δg_{temp} anomaliile în grid

2	Calculul anomaliilor reziduale prin extragerea Δg_{ter} din Δg_{temp}	GCOMB modul 1 Gravsoft	$\Delta g_{ter}; \Delta g_{temp};$	Δg_{res} anomaliile gravitaționale reziduale în grid
---	---	------------------------	------------------------------------	--

Figura II-9. Anomaliile gravitației reziduale aferente județului Bihor

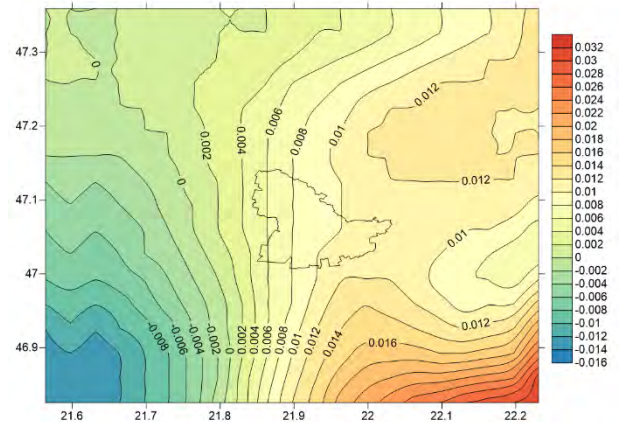


2. Pasul de calculare: Compute.

Tabel II-4 – Fluxul de lucru și softul utilizat în pasul de calcul al metodei RCR

Nr crt.	Descriere Etapă	Extensie Software/Soft	Datele de intrare	Datele de ieșire
Calcularea anomaliilor altitudinilor reziduale ξ_{res}				
1	Determinarea anomaliilor altitudinilor reziduale	SPFOUR ¹ cu modificările Kernel Gravsoft	Δg_{res} anomaliile gravitaționale reziduale în grid	Valoarea anomaliilor ξ_{res} în grid

Figura II-10. Gridul cu anomaliile altitudinii reziduale pentru județul Bihor



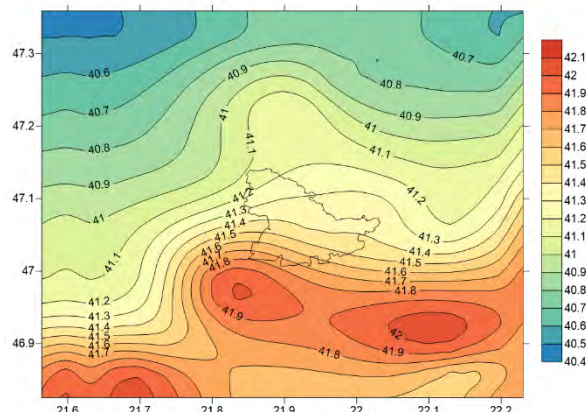
3. Pasul de restaurare: Restore.

Tabel II-5 – Fluxul de lucru și softul utilizat în pasul de restaurare al metodei RCR

Nr crt.	Descriere Etapă	Extensie Software/Soft	Datele de Intrare	Datele de ieșire
Calcularea cvasigeoidului				
1	Calcularea și adăugarea anomaliilor de altitudine EGM2008	GCOMB în modul 2 Gravsoft	$\zeta_{EGM}; \zeta_{\Delta g}$	Valoarea anomaliilor ξ_{temp} în grid
2	Calcularea anomaliilor de altitudine datorată efectului terenului ζ_{ter}	SPFOUR ¹ Gravsoft	Valoarea Δg_{ter} în grid	Valoarea ζ_{ter} în grid
3	Adăugarea valorii ζ_{ter} în ξ_{temp} în grid	GCOMB în modul 2 Gravsoft	$\xi_{temp}; \zeta_{ter}$	ζ – zita- anomalie de altitudine

Cvasigeoidul gravimetric pentru Județul Bihor și pentru Municipiul Oradea, reprezentat în Figura III-11 prin izolinii și tente hipsometrice.

Figura II-11. Cvasigeoidul gravimetric aferent Județul Bihor



3. Verificarea cvasigeoidului gravimetric pe zona Municipiului Oradea

Modelul de cvasigeoid gravimetric în format raster se poate descărca de pe site-ul: <https://www.engcft.ro/index.php/ro/download> sub forma unui grid de transformare.

3.1. Date de intrare:

Datele de intrare utilizate la verificare sunt reprezentate de:

- reperi de nivelment din Rețeaua de Nivelment Geometric al țării;

Tabel II-6 – Repere de nivelment aferente Municipiului Oradea;

Nr. Crt.	Den bază de date	Denumire punct	Marcă	Cod_GPS	Cotă (m) [z]	Altitudine elipsoidală (m)[h]
1	Cotate 2014	9_46_1_4A	bulon	BH-D-0029	113.073	154.3554
2	Cotate 2014	0_86_1_11A	M.B DTM	BH-D-0001	112.855	154.1412
3	Cotate 2014	8_43_1_6A	bulon	BH-D-0016	122.073	163.5235
4	Cotate 2014	BH-D-0017	RNA IGFC	BH-D-0017	132.424	173.8644
5	Triang_BH	CASTEL APA		Ordin Clasa3	170.77	212.318

- reperi de nivelment, determinați prin drumuire de nivelment în cadrul proiectului LAKI II;

Tabel II-7 – Punctele din proiectul LAKI II

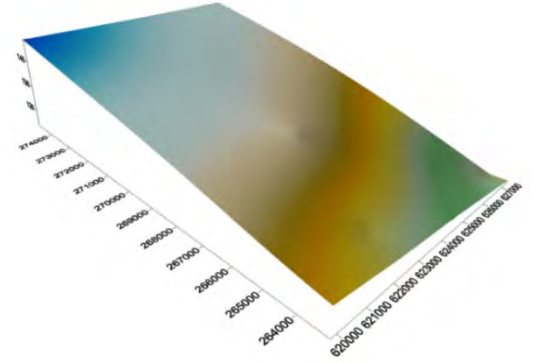
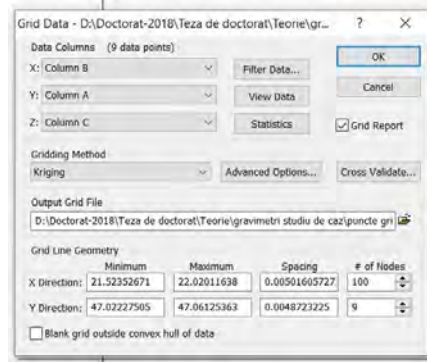
Nr crt	Id Puncte	Sursă pct	Coordonate puncte Stereo70/Marea Neagră 75		
			X[m]	Y[m]	Hniv[m]
1	64	Laki II	619820.864	274746.626	148.983
2	9A	Laki II	619818.422	274717.702	148.673
3	10A	Laki II	619814.591	274714.438	148.655
4	11A	Laki II	619810.853	274717.725	148.941
5	12A	Laki II	619814.877	274721.277	148.881

3.2. Verificarea cvasigeoidului gravimetric pe zona Municipiului Oradea

Pentru zona Municipiului Oradea am efectuată o verificare a cvasigeoidului determinat gravimetric utilizând următorii pași:

1. Datele de intrare au fost transformate din Stereografic 70 în sistemul ETRS89, cu ajutorul softului Transdat versiunea 4.06, pentru coordonatele planimetrice;
2. Am creat din aceste puncte un raster utilizând metoda Kriging, algoritmul fiind implementat în cadrul softului Surfer versiunea 11, prezentat în Figura II-12;

Figura II-12. a)Metode Kriging de creare grid;b) Suprafața 3D aferenta Municipiului Oradea



3. Gridul rezultat a trebuit să fie interpolat pentru a obține suprafața 3D aferentă zonei de interes, metoda de interpolarea aleasă a fost cea **Biliniară**;
4. Am decupat gridul, pentru județul Bihor și am exportat tot în grid fișier *.asc;
5. În cadrul softului Surfer, cele două modele de grid au fost comparate pe altitudine, rezultatele sunt de ordinul a 0.20 de m;
6. Cu ajutorul softului Global Mapper am efectuat o verificare vizuală și am obținut diferențele pe altitudine între cele două modele, evidențiate în tabelul II-8 și în graficul din Figura II-13.

Tabel II-8 –Diferențele pe altitudine obținute

Nr crt	Id Puncte	Sursă pct	Coordonate punct Stereo 70			Coordonate punct ETR89			ζ(m)	H _{Cvasig} [m]	ΔH [m]
			X[m]	Y[m]	H _{N75} [m]	B[g m s]	L[g m s]]	H _{clip} [m]			
1	9_46_1_4A	bulon	627342.417	263594.014	113.073	47.061254	21.525932	154.355	41.563	112.792	0.281
2	0_86_1_11A	DTM	626947.961	263070.754	114.596	47.055911	21.523527	154.141	41.519	112.622	1.974
3	8_43_1_6A	bulon	622296.183	264062.814	122.073	47.032988	21.533095	163.524	41.675	121.849	0.224
4	8_44_1_1	IGFC	623254.529	267175.386	132.424	47.040483	21.555654	173.864	41.675	132.189	0.235
5	CASTEL	Triang.	619536.650	265767.590	170.770	47.020277	21.545676	212.318	41.805	170.513	0.257
6	64	Laki II	619820.864	274746.626	148.980	47.022311	22.020116	190.379	41.519	148.860	0.120
7	9A	Laki II	619818.422	274717.702	148.673	47.022300	22.015980	190.073	41.519	148.554	0.119
8	10A	Laki II	619814.591	274714.438	148.655	47.022287	22.015965	190.055	41.492	148.563	0.092
9	11A	Laki II	619810.853	274717.725	148.941	47.022275	22.015981	190.341	41.519	148.822	0.119
10	12A	Laki II	619814.877	274721.277	148.881	47.022289	22.015997	190.281	41.492	148.789	0.092
										Abaterea standard	0.575
										Abaterea standard fără diferența de 1m	0.076
										RMSE fără diferența de 1 m	0.23

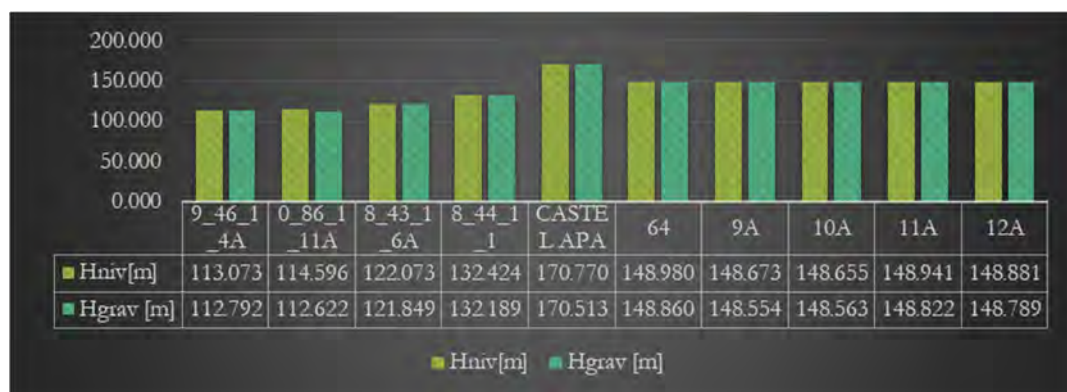


Figura II-13. Rezultatele diferențelor pentru punctele de intrare pe altitudine

Diferențele între altitudinile unui cvasigeoid gravimetric și unui cvasigeoid geometric, sunt de ordinul a aproximativ 0.20 m. Într-un singur punct se observă o diferență de peste 1 m. Această eroare a intervenit din cauza mai multor factori precum:

- Densitatea scăzută a punctelor determinate gravimetric pe zona Municipiului Oradea;
- Deteriorarea sau relocarea reperului de nivelment.

III. Generarea modelelor digitale ale terenului

1. Noțiuni generale și stadiul actual privind tehnologia de scanare cu laser

Scanarea laser aeropurtată (ALS) este un sistem activ de teledetecție care achiziționează date de la distanță de o acuratețe ridicată. Conceptul de bază a sistemului ALS este acela că poziția și înălțimea de zbor ale avionului și în plus altitudinea sunt măsurate utilizând tehnologia sistemelor GNSS/IMU. În schimb raza și unghiul de scanare față de sol în plan vertical sunt determinate cu sistemul de scanare laser. Fiecare lungime de undă are un set unic de avantaje și dezavantaje care depind de reflectanța și absorbția obiectelor țintă, radiația de fond, transmisia atmosferică și problemele de siguranță a ochilor. Datele achiziționate sunt colectate sub forma unui nor de puncte 3D și pot fi folosite pentru a cartografia orașe întregi, permițând factorilor de decizie din oraș să identifice cu precizie structurile sau zonele de interes.

1. **Pentru cartografierea topografică aeriană**, se utilizează lungime de undă NIR cu valoarea 1064 nm.
2. **Pentru aplicații de batimetrie**, și anume, cartografierea de înaltă rezoluție a fundului mării și a zonelor de coastă, se utilizează adesea o sursă laser de 532 nm (Otepka, Mandlbürger and Karel 2012).

Sistemele de scanare aeriene se împart în 3 categorii importante: comerciale; construite special pentru anumite proiecte și necesități; și cele utilizate în cercetare. Toate aceste sisteme și dezvoltatorii lor sunt evidențiate în Tabelul III-1, câteva exemple.

Tabel III-1 –Sisteme ALS, adaptat (Petrie 2009)

Nr crt	Tipuri de scanere	Caracteristici	Sisteme Comerciale	Sisteme speciale	Sisteme din cercetare
1	Lungimea de undă NIR	Lungimea de undă completă	Riegl VQ-780; Leica; Trimble Ax; Galaxy Prime.	- Falcon, TopoSys; - Fli-Map-Fugro	ATM; RASCAL; SLICER; LVIS. Toate sistemele sunt deținute de NASA
		Lungimi de undă scurtă SWIR	Riegl; Optech; Leica.		
2	Batimetric	Lungimea de undă Verde (G)	Optech Aquarius; Optech CZMIL; RIEGL LMS;	- Tenix; - Saab-Ahab.	AOL; EAARL. Toate sistemele sunt deținute de NASA
		2- lungimii de undă NIR/G	Leica Chiroptera II		
		3- lungimii de undă	Optech Titan; Leica Hawk Eye III;		
3	Single Photon	Utilizează un singur foton	SPL100		

1.1. Componentele unui sistem ALS

Componentele de bază ale unui sistem laser scanner aeropurtat sunt următoarele:

- sistemul de scanare laser care cuprinde sursa laser, sursa optică de transmisie și recepție, detectorul de semnal, sistemul de măsurare a timpului și componente electronice aferente;
- sistemul GNSS format din antene GNSS multiple, de obicei trei sau patru montate pe aeronavă;
- sistemul Inerțial de Navigație pentru determinarea unghiurilor de înclinare a platformei.

Sursa Laser

Sistemul laser de măsurare conține emițătorul laser și receptorul. Amprenta la sol a pulsului-laserului este o funcție a înălțimii de zbor a platformei și a divergenței razelor de lumină. Divergența luminii definește astfel câmpul vizual instantaneu (IFOV) al senzorului. În măsurătorile de rază cu laser, se aplică două principii majore de variație: principiul de variație pulsată și variația prin măsurarea diferenței de fază între semnalul transmis și cel recepționat de pe suprafața obiectului (Figura III-1).



Figura III-1. Metode de modulare a unui fascicul laser

Sursa optică de transmisie și recepție

Datorită variației modului de lucru, se cunosc două sisteme laser:

- Laser cu fascicul vertical, utilizat la înregistrarea profilelor;
- Laser de baleiaj, care scanează o bandă în spațiul obiect.

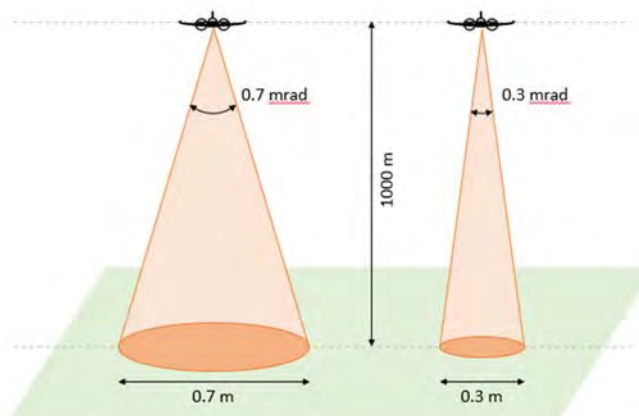
Unghiul total de scanare definește lățimea benzii, denumită în literatura de specialitate câmpul vizual (FOV). Există mai multe utilizări ale oglinzi rotative și anume:

- a) Prima este utilizarea unei oglinzi rotative cu viteză constantă- măsurători care apar ca linii paralele pe sol, devenind și unul dintre cele mai uzuale sisteme de scanare aeriene;
- b) A doua este utilizarea unei oglinzi oscilante, aceasta reprezentând una din metodele populare, cunoscute. Cu această tehnică oglinda se rotește înainte și înapoi și se creează astfel efectul unei linii de puncte „Z” sau al unei linii în zig-zag la sol;
- c) O treia este folosirea unei matrice de fibre optice;
- d) O ultimă metodă de scanare este sistemul Palmer cu arce de elipsă. Sistemul folosește două oglinzi pentru a deplasa laserul de-a lungul unei traiectorii eliptice în jurul aeronavei.

Densitatea punctelor

Din cauza pantei terenului scanat și a diferitelor metode de măsurare prin scanare, majoritatea scanerelor au ca rezultat o distribuție aleatorie a măsurătorilor cu rază laser emisă către sol. Această caracteristică este similară cu rezoluția unei fotogramme, prin urmare densitatea punctuală a datelor LiDAR definește cantitatea de măsurători pe zonă la care este scanată suprafața pământului, prezentată în Figura III-2.

Figura III-2. Amprenta la sol a pulsului laser, în funcție de altitudinea de zbor, (Rohrba 2015)



Sistem de poziționare globală (GNSS)

Sistemul de poziționare globală (GNSS) înregistrează locația precisă X, Y, Z a scanerului. Pentru a îmbunătăți precizia, majoritatea sistemelor LiDAR utilizează o stație de referință fixă la sol sau o stație de referință de operare continuă. Sistemul de poziționare GNSS împreună cu sistemul de măsurare inerțial IMU permit georeferențierea directă a punctelor.

Unitatea de măsurare a inerției (IMU)

Majoritatea sistemelor folosesc o unitate INS pentru a determina atitudinea și înregistrează în mod constant unghiurile făcute de avion roll (ruliu), pitch (tangaie) și yaw (girație) (Krabill and Wright 2000). Caracteristicile INS (determinarea atitudinii, rata ridicată a datelor, de exemplu, adesea 200Hz) sunt utilizate pentru a determina unghiul și locația precisă a sistemului LiDAR pentru a se asigura că distanțele față de suprafața scanată sunt calculate corect. Sistemul IMU actual conține trei accelerometre, trei giroscopice și senzori magnetometri care măsoară viteza, orientarea și forțele gravitaționale, montate pe aceleași axe ortogonale (Zăvoianu and Oniga 2017).

Calculatorul

Este necesar un sistem de calcul fiabil pentru a se asigura că toate componentele individuale ale sistemului funcționează corect. Calculatorul integrează datele din sistemul laser, GNSS și IMU pentru a produce datele punctului LiDAR.

1.2. Erorile apărute în setul de date obținut prin ALS

În ultimele două decenii, preluarea norilor de puncte și calibrarea sistemelor de scanare laser aeropurtate au fost studiate de diverși oameni de știință, pentru a putea determina erorile apărute și a le corecta, ajungându-se la o acuratețe ridicată a datelor în momentul achiziționării. Pentru determinarea coordonatelor obiectelor scanate, toate componentele sistemului ALS, precum sistemul GNSS, IMU și raza laser trebuie să fie combinate. Sistemul de coordonate în care este definit punctul țintă (măsurătoarea efectivă) reprezintă o transformare dintr-un sistem de coordonate sursă într-un sistem de coordonate în spațiul obiect. Cele mai uzuale și cunoscute erori ale sistemului ALS sunt evidențiate în Tabelul III-2, dar se cunoaște că în funcție de tipul și severitatea acestor erori, ele pot fi corectate în momentul calibrării sistemului, atât a instrumentului în sine, cât și calibrarea efectuată în timpul zborului, prin aplicarea diferitelor metodologii de calibrare. Un alt pas important care poate elimina din erorile sistematice îl reprezintă planul de scanare (planificarea misiunii de scanare în prealabil). Mărimea estimată a erorii este efectul asupra punctului de sol derivat, care va depinde de înălțimea de zbor.

Tabel III-2 –Erorile sistemului ALS

Nr crt	Tipul de eroare	Dimensiunea erorii	Metodă de corectare	Observații
1	Bias	Z: 0-0.2 m	Pre-zbor	Constantă
2	Reflectivitate	Z: 0-0.20 m	În zbor	Variază în funcție de obiect
3	Atmosferă	Z: 0-0.30 m	Reglare după zbor	Influențează dar este remediată
4	Deriva giroscopică (drift)	0,1-0,75deg /oră XY: 0-0.10 m Z: 0-0.10 m	Reglare după zbor	Nu influențează
5	Scanare - codificator	0,02-0,001 grade XY: 0.02-0.35m Z: 0.02-0.20 m	Pre-zbor	Constantă
6	Scanare - torsiune	XY: 0-0.15 m Z: 0-0.45 m	Calibrarea zborului	Parametru dependent
7	Scanare - latență	0 ⁰ -15 ⁰ /s XY: 0-0.5m Z: 0-0.5m	Corecție post-zbor	Constantă
8	Interval - sincronizare	Z: 0.005-0.02 m	Pre-zbor	Constantă
9	Sistemul DGPS (brațul de pârghie)	XY: 0.05-0.30 m Z: 0.05-0.30 m	Reglare după zbor	Aleatorie, dar de obicei constantă
10	Alinierea INS(brațul de pârghie)	0,008-0,08 grade XY: 0.1-1.4m	Calibrarea zborului	Aleator dar cunoscută
11	Nealiniere sistemelor	XY: 0.5-5 m Z: 0.2 – 1.5 m	Calibrarea zborului	Schimbare minimă zbor-zbor

1.3. Calibrarea sistemelor ALS

O etapă foarte importantă în prelucrarea datelor ALS o reprezintă calibrarea. Acest proces elimină anumite erori ale sistemului și ajută la obținerea unor produse finale de o acuratețe ridicată. Prin urmare, acuratețea rezultatelor finale depinde de eliminarea erorilor sistematice și de propagare, ale sistemelor GNSS, IMU și scaner. Calibrarea acestui sistem cu senzori multipli este procesul de determinare a orientării relative, adică a transformărilor și a rotațiilor, dintre componente (antena GNSS, IMU și scaner laser) și decalajul de timp între sincronizare lor (Pfeifer and Briese 2007). De aceea, pentru a obține cea mai mare precizie, este necesar ca fiecare componentă a sistemului ALS să fie calibrată înainte și după o misiune de scanare iar datele să fie ajustate pentru control. În funcție de sursa și valoarea erorii sistematice (Tabelul III- 2), procedura de calibrare este clasificată în 3 procese:

- calibrarea în fabrică a sistemelor numită și calibrarea pre-zbor;
- calibrarea în momentul montării pe platformă a sistemului numită și calibrare post-zbor;
- calibrarea datelor în timpul zborului numită și calibrarea post-misiune.

1.4. Procesarea datelor ALS

Scanarea laser aeropurtată, generează coordonatele norului de puncte în etapa de preprocesare, după efectuarea zborului de scanare propriu-zis. Măsurătorile laser sunt fuzionate cu traiectoria zborului (POS) într-un proces denumit georeferențiere directă. Pentru datele 3D de o acuratețe ridicată, adică norul de puncte rezultat, estimarea traiectoriei necesită și integrarea observațiilor inerțiale și a celor de la satelit, de la rover și unul sau mai mulți receptori de la sol (Skaloud, Schaer, et al. 2010).

1.4.1. Compensarea benzilor de scanare în zona de suprapunere

Există multe metode de compensare a benzilor ALS pe zona de suprapunere, una simplă folosind doar datele traiectoriei și una riguroasă, în care sunt folosiți diferiți parametri, precum cei de la calibrare. Benzile de scanare ALS, de obicei, se suprapun reciproc undeva între 20 și 35% și sunt zburate în direcții opuse. Această compensare poartă denumirea de “stripadjustment” (compensarea între benzi). Soluțiile riguroase de compensare utilizează diferite metode care variază în funcție de datele de intrare folosite, cum ar fi parametrii estimați și corespondențele lor, dar aceștia trebuie să derive de la principalele componente ale sistemului ALS. În cadrul tezei este prezentată compensarea între benzi a datelor ALS utilizând algoritmul iterativ al punctului cel mai apropiat ICP:

- I: corespondențele sunt stabilite iterativ;
- C: se folosește ca parametru de corespondență punctul cel mai apropiat sau în general, punctul corespunzător;
- P: corespondențele sunt stabilite punctual (Gliraa, et al. 2015).

Pentru a putea compensa datele brute ale scannerului din zona de suprapunere sunt necesare următoarele informații (Skaloud and Lichti 2006) :

- Poziția și orientarea platformei de achiziție. Acestea sunt determinate printr-un sistem de poziționare și orientare format din sistemul GNSS și sistemul INS;

- Parametrii de orientare relativă, constând dintr-o rotație și o translație – parametrii de montaj în momentul de calibrare;
- Sincronizarea timpului între scanner și sistemele GNSS/INS;
- Parametrii scannerului intern, de exemplu, punctul zero, unghiul de scanare precum și intervalul de scanare.

Scopul acestui algoritm este de a reduce diferența dintre măsurătorile asupra unui obiect dintr-o bandă de scanare cu măsurătorile privind același obiect din banda de scanare adiacentă.

1.4.2. Georeferențierea directă a norului de puncte

După efectuarea calibrării și obținerea corecțiilor nealinerii celor trei sisteme: laser, GNSS și IMU, este realizată o georeferențiere. Aceasta implică definirea sistemului de referință pentru toate componentele sistemului ALS. Pentru majoritatea lucrărilor de geodezie, sistemul de referință utilizat este cel standard, cel internațional-european, definit în cadrul Capitolului II - secțiunea 1.1. Această transformare a componentelor sistemului ALS în sistemul de referință internațional WGS84, utilizând elipsoidul WGS84 este prezentată în Figura III-3.

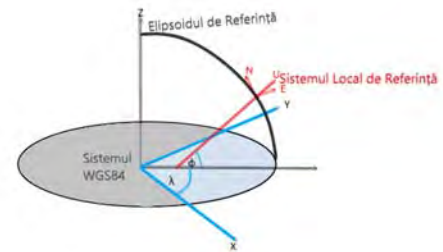
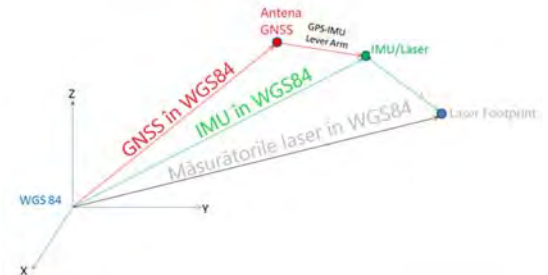


Figura III-3. WGS84 în raport cu sistemul de referință la nivel local și vectorul dintre componentele ALS în sistemul de referință WGS84, adaptată (P. Kumar 2011)



Georeferențierea directă a benzilor ALS necesită trei tipuri de date de intrare:

- traiectoria zborului, denumit și fișier POS, dată de sistemele GNSS și IMU (poziționare și orientare);
- măsurătorile obținute din scanare (date brute, exemplu fișiere sdw);
- parametrii de calibrare, datele despre brațul de pârghie, metoda de calibrarea etc (Hebel and Stilla 2012).

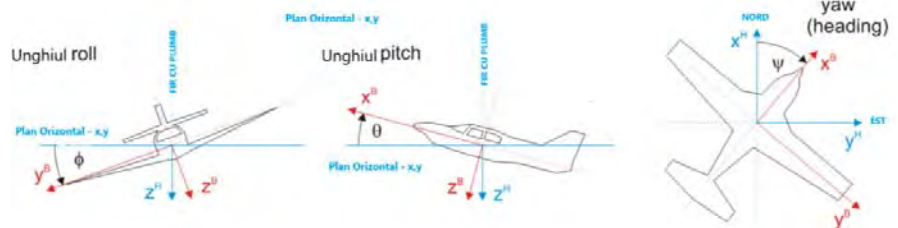


Figura III-4. Alinierea parametrilor sistemului IMU descrisă de norma aeriană ARINC 705, adaptat (Bäumker and Heimes 2001)

1.4.3. Metode actuale de filtrare și clasificare a norului de puncte

Cel mai important pas în generarea MDT-ului din norul de puncte colectat prin ALS îl reprezintă filtrarea și clasificarea punctelor în două mari clase, puncte care aparțin suprafeței Pământului, numite și puncte la sol și cele care nu aparțin suprafeței Pământului, numite puncte non-sol. Mai mulți algoritmi de filtrare au fost dezvoltați în acest scop. Chen et al. (2017) au grupat metodele de filtrare și clasificare a norului de puncte în funcție de strategiile de filtrare și de zona scanată, detaliate după metodele de filtrare, zonele unde se poate aplica și zonele unde nu se poate aplica, prezentate în tabelul III-3, (Chen, Gao and Devereux 2017):

Tabel III-3 – Câteva metode de filtrare a norului de puncte, (I. Cuibac-Picu 2020)

Metode de filtrare	Aplicată în zone	Ne-aplicabilă în zonele
Bazată pe suprafață	Zonele împădurite	Terenuri abrupte
Bazată pe morfologie	Câmpie (teren plat) cu obiecte pe suprafață puține și de dimensiuni mici	Zone muntoasă sau zona urbană cu diferite obiecte
Bazată pe TIN	Zonă muntoasă cu terenuri abrupte	Zonă urbană cu terenuri discontinue
Baza pe metode de segmentare	Zone urbane, terenuri cu diferite obiecte	Zonă forestieră densă, terenuri abrupte
Bazată pe analize statistice	Câmpie (terenuri plane)	Terenuri cu diferite obiecte
Bazată pe compararea mai multor scări (elevatie)	Zonele urbane	Terenuri abrupte

2. Metode de generare a modelelor digitale ale terenului

2.1. Metode de interpolare

În zilele noastre, sistemele ALS sunt printre cele mai importante instrumente utilizate în dobândirea de măsurători pentru interpolarea MDT-ului. În ultimele decenii au fost dezvoltați numeroși algoritmi de interpolare, stimulând cercetarea în precizia lor relativă, dar nu s-a putut stabili cu exactitate care metodă oferă o acuratețe ridicată. Acuratețea interpolării poate fi evaluată folosind date sintetice sau reale. Majoritatea software-urilor existente pe piața actuală au implementate diferite metode de interpolare pentru generarea unui model al terenului din date ALS. Am exemplificat câteva softuri de prelucrare comerciale dar și open source și câteva metode de interpolare existente: **ARCGIS** cu metoda de interpolare cu ponderea inversul distanței (IDW), metoda TIN și metoda Vecinului Natural (NN); **SURFER** cu Metoda Kriging, Metoda Vecinului Apropiat (NeN), metoda IDW, metoda (NN), metoda TIN și metoda Spline Bicubică; **OPALS** cu metoda NeN, metoda TIN, metoda Punctului Mediu, metoda MovingPlanes, metoda MovingParaboloid și metoda Kriging; **GLOBAL MAPPER** cu metoda TIN, metoda de curbura minimă, metoda Punctului Mediu și metoda de curbura maximă; **CLOUD COMPARE** cu metoda TIN, metoda de curbura minimă, metoda Punctului Mediu și metoda punctului maxim; **WHITEBOX GAP** cu metoda NeN, metoda IDW, metoda de curbura maximă și metoda de curbura minimă.

2.2. Generarea Modelelor digitale ale terenului

Generarea modelului digital al terenului este aplicația fundamentală a datelor colectate cu sistemele ALS. În ultimele decenii, s-a efectuat un mare număr de studii pentru a prezenta și experimenta o varietate a metodelor de generare a MDT-ului. Ca o noțiune cheie de procesare a datelor colectate cu sistemele ALS,

calitatea MDT-urilor generate din norul de puncte brut nu numai că influențează acuratețea și efectele vizuale ale modelelor în sine, dar determină și fiabilitatea altor produse derivate din aceste modele, cum ar fi nMDS (model de suprafață digitală normalizată, MDS-MDT), modele de construcții și hărți pentru acoperirea terenurilor. Printre principalii factori care sunt luați în considerare, de obicei, la analiza calității MDT-ului sunt:

- complexitatea morfologică a suprafeței terestre;
- densitatea datelor de intrare;
- rezoluția modelului;
- prezența sau caracteristicile vegetației (Căteanu and Ciubotaru 2020).

3. Studiu de caz: Compensarea riguroasă pe zona de suprapunere a benzilor de scanare și generarea Modelului Digital ale Suprafeței pentru Municipiul Oradea

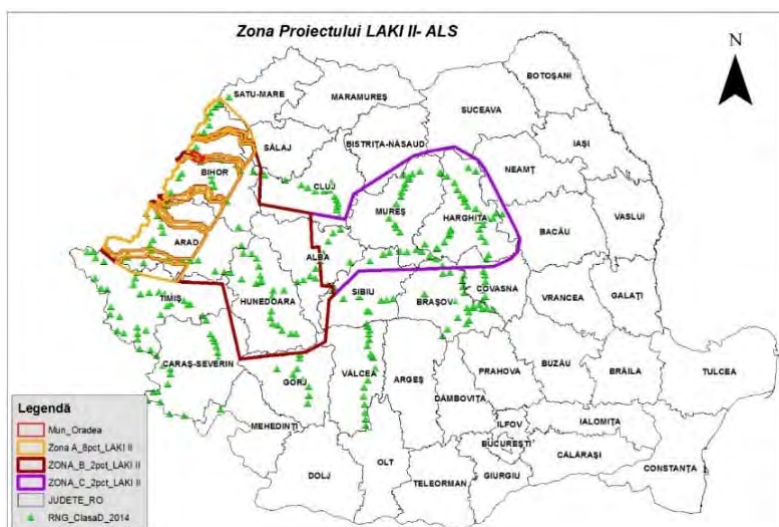
3.1. Date spațiale, echipamente și instrumente utilizate

Zona urbană aleasă pentru studiul de caz este Municipiul Oradea. Are o suprafață de totală de 72.226 ha. Această zonă urbană, inclusiv întregul județ Bihor au fost scanate cu tehnologia LiDAR în cadrul Proiectului LAKI II - *Informații geografice pentru mediu, schimbări climatice și integrare UE*. Scopul proiectului LAKI II, care s-a desfășurat în perioada 2015-2021, a fost producerea unui model digital al terenului prin scanare aeriană, fotografii aeriene și producția de hărți noi și ortofotoplanuri pentru aproximativ 50 000 de km pătrați din 6 județe: Bihor, Arad, Hunedoara, Alba, Mureș, Harghita, prezentat în Figura III-5. Informațiile extrase din acest proiect LAKI II, sunt următoarele:

Date ALS –scaner RIEGL Q780. Datele au o densitate a norului de puncte de 8 puncte/mp, data scanării 7 septembrie 2017 și rezultând 37 de benzi de scanare peste zona Municipiului Oradea. Între benzile de scanare în unele locuri suprapunerea a fost de doar 5 %, dar între alte benzi a fost de 20%.

Date GNSS. Precizia sistemul GNSS (RMSE), obținută în urma zborului de scanare, este de 0.03m.

Figura III-5. Zona proiect LAKI II



Date IMU - Modelul INS folosit este de clasă D, tipul IGI, având 256 Hz. Datele și erorile de aliniere ale sistemelor sunt rezolvate în momentul calibrării datelor și acestea se regăsesc în fișiere de tip *.rds.log. Fișierele *.rds stochează corecțiile de aliniere dintre sistem pentru fiecare bandă în parte și sunt introduse în procesul de georeferențiere directă a datelor.

Rezultatele calibrării sunt stocate într-o matrice de 4x4, iar valorile erorilor se regăsesc în fișierele de prelucrare a datelor brute, fișiere de tip *.sdw.

Datele de intrare utilizate în timpul procesului de compensare și de generare a modelelor digitale sunt:

- liniile de scanare din proiectul Laki II - cu extensia *.sdw;
- traiectoriile linilor de scanare - fișiere în format *.txt – în care sunt incluse datele de la cele două sisteme GPS și IMU și timpul din sistemul IMU. Liniile de zbor sunt prezentate în Figura III-6, iar conținutul fișierelor POS este prezentat în Figura III-7;

Figura III-6. Liniile de zbor aferente Municipiului Oradea

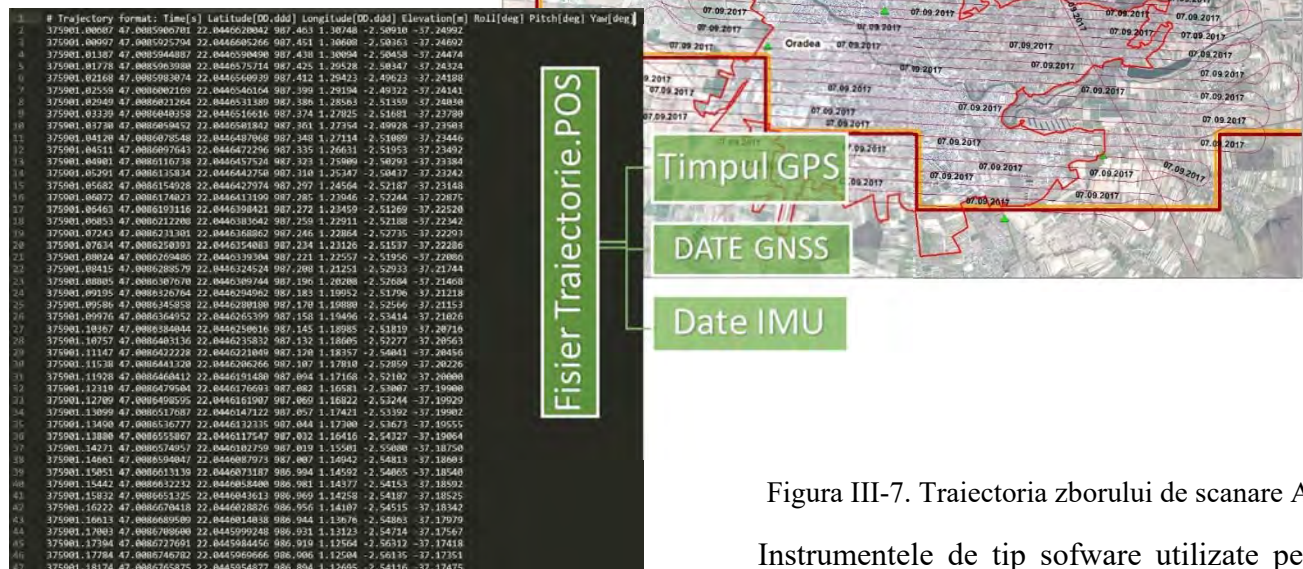


Figura III-7. Traiectoria zborului de scanare ALS
Instrumentele de tip software utilizate pentru

procesarea datelor de intrare în cadrul acestui capitol sunt:

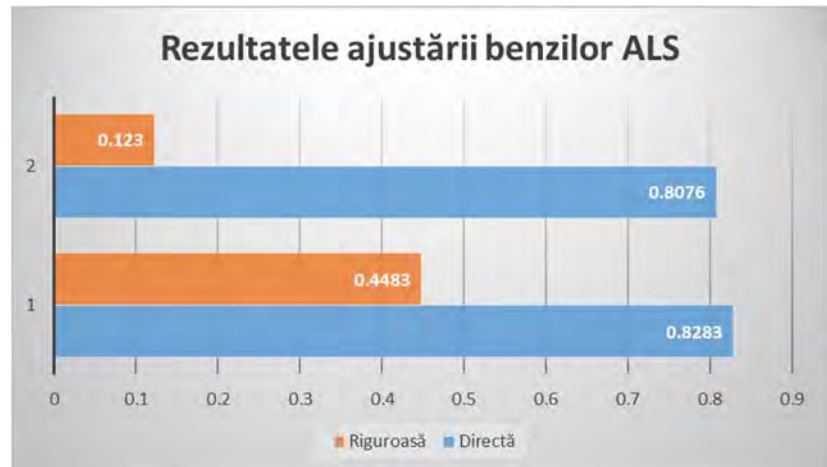
- *Global Mapper software versiunea 21.1;*
- *ArcGIS software versiunea 10.8.1;*
- *OPALS versiunea 3.2.2.;*
- *Cloud Compare versiunea 2.12.;*
- *Erdas Imagine v2020: extensia PointCloud;*

3.2. Compensarea benzilor în zona de suprapunere aferente Municipiului Oradea

În cadrul Raportului II de cercetare intitulat *Compensarea Riguroasă A Benzilor Laser Scanner Aeropurtat* (I. A. Cuibac-Picu 2020) au fost prezentate două metode de compensare a datelor ALS în zona de suprapunere, cea simplă (georeferențierea directă) și cea riguroasă, utilizând doar 4 benzi de scanare ALS, dintr-o zonă urbană aferente proiectului Laki II, densitatea punctelor fiind tot de 8pct/mp. Rezultatele obținute au evidențiat că deși numărul observațiilor din zona de suprapunere a benzilor ALS este mai mare

În metoda directă, precizia metodei riguroase de compensare este net superioară. Atât valoarea abaterii standard cât și RMSE-ul obținute în urma compensării sunt aproximativ egale în metoda directă și sunt de două ori și respectiv de șase ori mai mici la metoda riguroasă. Având în vedere concluziile aferente acestui studiu de caz, în cadrul tezei am folosit metoda riguroasă de compensare a benzilor în zona de suprapunere utilizând algoritmul ICP, implementat în softul OPALS versiunea 3.2.2..

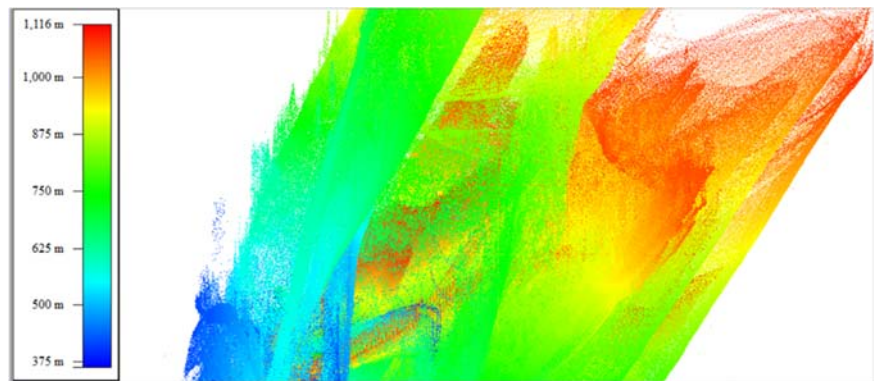
Figura III-8. Rezultatele celor 2 metode de compensare, (I. A. Cuibac-Picu 2020)



În softul OPALS versiunea 3.2.2. am utilizat modul StripAdjust în care este implementat algoritmul ICP și se utilizează distanțele punct-plan. Am definit parametrii utilizați în compensare, care sunt:

- **Orientarea scannerului în momentul montării pe platformă**, dacă se alege valoare eronată a acestui parametru, rezultatul ,adică benzile de scanare nu pot fi utilizate (Figura III-9). Valorile sunt:FRD- Față/dreapta/jos,DFR-Jos/față/dreapta,DBL- Jos/spate/stânga, ULB- Sus/stânga/spate,URF- Sus/dreapta/față,RDF- Dreapta/jos/față,LDB- Stânga/jos/spate.

Figura III-9. Rezultatul compensării utilizând parametru FRD



- **Parametrul** care definește modelul utilizat **pentru corectarea traiectoriei**. Pentru corectarea traiectoriei, acest parametru trebuie definit în momentul executării programului de compensare. Valorile sunt: BIAS, LINEAR și SPLINE;
- **Lungimea celulei voxel** pentru fiecare bandă. Această structură este construită din centrele voxel care conțin punctele din fișierele *.sdc. Au fost testate diferite valori pentru acest parametru precum 1,5,10,20 și 50;
- **Parametrul pentru raza de căutare**. Acest parametru este utilizat în vederea estimării vectorului normal într-un punct. Toate punctele învecinate din raza de căutare cu o valoare inițială de 1.5 sunt

folosite pentru a se potrivi cu corespondentul lor din planul obiect. Numărul de vecini corespondent valorii impuse de 1.5 este de 8;

- **Parametrul de definire a suprapunerii.** Acest parametru are de obicei aceeași valoare ca lungimea voxel. Valoarea finală pentru acest parametru este cea egală cu parametrul setat la celule voxel de 10;
- **Parametrul pentru definirea selecției.** Valoarea acestui parametru este procentuală, pornind de la valoarea zero și ajung la 100. În cazul acestei teze a fost folosită valoarea predefinită de 5 procente;
- **Parametrul pentru definirea respingerilor.** Acest parametru este direct influențat de parametrul definit la raza de căutare, ajungând ca toate corespondențele să fie respinse. Valoarea setată pentru testul final în compensarea benzilor ALS în zona de suprapunere a fost de 1.

Am realizat 7 testări pentru a determina varianta corectă a și putea defini fișierul de configurat cu extensia *.cfg. A fost necesară modificarea fișierul *.xml al traiectoriei și transformarea coordonatelor traiectoriei din coordonate geografice în coordonate carteziane geocentriceutilizând un cod în limbajul Python. Codul a fost descărcat de pe *Geographic Information System Hub*. Datele de ieșire sunt: fișierele de tip *.txt ale traiectoriei corectate; fișierele cu corespondențele în format *.shp având geometria de tip punct; fișiere de tip *.odm pentru benzile de scanare compensate; fișierul de tip *.log cu rezultatele și pașii procesări; raportul compensării în formate de tip *.txt. În cadrul Tabelului III-4 și în graficul III-10 sunt evidențiate rezultatele testărilor, fără includerea celor două teste cu rezultate nule.

Figura III-10. Graficul cu rezultatele celor 7 teste efectuate



Tabel III-4 –Parametrii utilizați în compensare și rezultatele compensării, Partea 1

Nr crt	Nr test	Timp de procesare [h,m]	Parametri utilizați la compensare				
			Nr de iterații	Lung. Voxel	Orientarea senzorului	Epoca POS	Raza de căutare
1	Oradea.cfg	4.58	3	5	DFR	BIAS	1.5
2	Oradea1.cfg	4.22	3	1	DFR	BIAS	2
3	Oradea4.cfg	3.56	5	5	DFR	BIAS	1.5
4	Oradea5.cfg	4.42	10	10	DFR	BIAS	1
5	Oradea6.cfg	8.08	10	10	FRD*	BIAS	2
6	Oradea_default.cfg	5.1	5	5	DFR	Linear	1.5
7	Oradea_Par_R2	4.22	5	10	DFR	BIAS	1.5

Parametrii algoritmului ICP			Rezultate obținute	
Parametri de corespondență	Parametri de selecție	Parametri de respingere	Numărul de observații	RMSE [m]
1	5	1	85	0.14
1	5	1	91	0.11
1	5	1	33	0.05
10	5	1	83	0.06
2	5	1.5	36	0.44
2	5	1.5	154	0.12
10	5	1.5	34	0.07

Am efectuat și un studiu comparativ între punctele aceluiași obiect din zona de suprapunere, afișând RMSE-ul dintre ele, dar doar pentru testările cu cele mai bune rezultate. Acest studiu comparativ este afișat în Figura III-11.



Figura III-11. Studiu comparativ a punctelor în zona de suprapunere

Pentru ca datele obținute să fie folosite în continuare în procesul de generare a modelelor digitale, acestea au fost exportate cu comanda: `opalsExport -inFile fullwave.odm -outFile odmExport.las -oFormat $OPALS_ROOT/addons/formatdef/LAS_1.4_extra_bytes.xml` în fișiere *.las. Varianta finală cu care am continuat procesarea este aceea cu RMSE de 0.06 m. Benzile rezultate au fost împărțite pe tile-uri de cu ajutorul instrumentului **Split**, din modulul *Point Cloud* al softului *Erdas Imagine2020*. Banda de scanare a fost tăiată pe baza parametrului de linie și coloană în: **1 rând cu 6 coloane** denumite în funcție de bandă, astfel: **Bandă_1_X(nr rând)_Y(nr coloană)**. Filtrarea norului de puncte și clasificarea lui în 2 clase: a fost realizată în softul Cloud Compare, prin utilizarea următoarelor instrumente:

- Instrumentul de filtrare: **SOR filter**- Statistical Outlier Removal;
- Instrumentul de clasificare în 2 clase (filtrarea la sol): **CSF filter** - Cloth Simulation Filter. Au fost obținute două fișiere *.las, prezentate în Figura III-12: a)clasa sol, b)clasa non-sol:

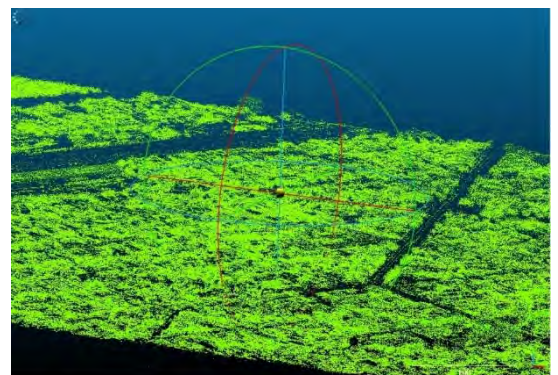
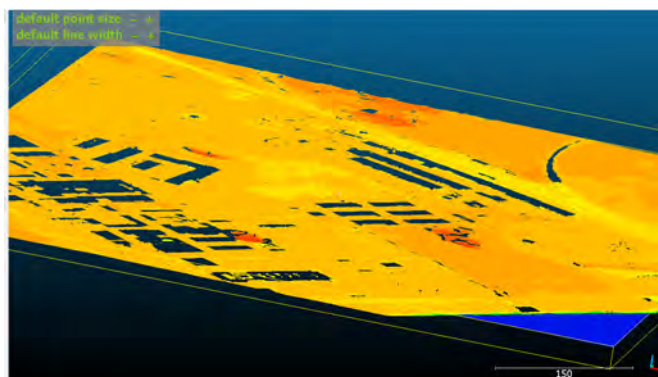


Figura III-12. Punctele clasificate pe 2 clase cu soft-ul Cloud Compare



Norul de puncte obținut aferent Municipiului Oradea a fost codat folosind instrumentul: *Color Encode*, din modulul Point Cloud a softului Erdas Imagine 2020. A fost folosit Ortofotoplanul Municipiului Oradea, cu o rezoluție de 0.20 m și o precizie de 0.20 m. Fotogrammele folosite la generarea ortofotoplanului au fost achiziționate în anul 2017, în cadrul aceluiași proiect LAKI II, Figura III-13.

Figura III-13. Nor de puncte 3D, fișier *.las, codat RGB, Cetatea Oradea



3.3. Generarea Modelului Digital ale Suprafeței pentru Municipiul Oradea

Studiu comparativ al metodelor de interpolare

Am elaborat un studiu comparativ între precizia diferitelor metode de interpolare comune implementate în soft-uri open source sau comerciale. Din Tabelul III-5, au fost utilizate următoarele softuri, cu algoritmii și metodele de interpolare aferente:

Tabel III-5 –Instrumentele softurilor utilizate la generarea MDT-ului prin diferite metode de interpolare

Nr crt	Denumire soft	Tipul soft	Metoda	Timp [m/tile/rez]	Comandă/Instrument utilizat	Rezoluția MDT [m]	Tip fișier MDT
1	Surfer v.11	Licență	IDW	20	Home/Specialty/Point Cloud	0.5	grd
			NeN	15	Create Grid/ Kriging		
			Kriging	10	Grid/Mosaic/3Dsurface		
			TIN	18	Export 3D Surface/Report		
2	Global Mapper v.21.1	Licență	TIN	15	Import Point Cloud/ Porj/UTM32N	0.5	geotiff
			Average Value	15	Create elevation Grid		
			Minimum Value	20	Input method/Spatial resolution		

3	OPALS*v. 3.2.2	Licență	TIN	10	opalsGrid -inFile ground_points.odm - outFile MDT.tif -gridSize 0.5 -neigh 16 -searchRad 3 -interpol Kriging - weightFunc IDW2	0.5	tif
			NeN	5			
			Kriging	4			
4	Cloud Compare v. 2.12.	Open Source	TIN	8	Edit/Mesh/TIN/Planes	0.5	ascii
			Average	9	Tools/ Projection/Rasterize/		geotiff
			Minimum	10	UptadeGrid/Export/Raster/Minimum Height		
5	Whitebox GAP v 1.5.0.	Open Source	IDW	15	whitebox_tools.exe - r=LidarIdwInterpolation -v -- wd=/Users/Iulia/Desktop/WhiteboxTool s_win_amd64/las/ - i=groundpoints_banda_1_taita_1_2.las - o=MDT_banda_1_2.tif --resolution=0.5 --weight=2.0 --radius=20.0	0.5	geotiff
			NeN	10	whitebox_tools.exe - r=LidarNearestNeighbourGridding -v wd=/Users/Iulia/Desktop/WhiteboxTool s_win_amd64/las/ - i=groundpoints_banda_1_taita_1_2.las - o=MDT_banda_1_2_NeN.tif -- resolution=0.5 --weight=2.0 -- radius=20.0		
			TIN	7	whitebox_tools.exe - r=LidarTINGridding -v -- wd=/Users/Iulia/Desktop/WhiteboxTool s_win_amd64/las/ - i=groundpoints_banda_1_taita_1_2.las - o=MDT_banda_1_2_TIN.tif -- resolution=0.5		

Rezoluția MDT-ului este de 0.5x0.5m. Verificarea metodei de interpolare a fost realizată în punctele de control la sol din baza de date de la capitolul II, secțiunea Studiu de caz> Date de intrare 3.1., observate în Tabelul III-6. Pentru a putea genera doar tile-urile care conțin puncte de verificare, am elaborat o hartă index cu fișierele *.las. După etapa de generarea a MDT-ului, acesta va fi transformat în Sistemul de Referință Național Stereo70 și Marea Neagra 75.

Tabel III-6 –Puncte teren/cunoscute folosite la verificarea metodei

Nr crt	Nr banda	Denumire punct	Altit. Normală[m]	Altit. Elipsoidal [m]
1	Banda5_5_1_1	8_43_1_6A	122.073	163.5235
2	Banda5_1_2	8_44_1_1	132.424	173.8644
3	Banda1_1_2	0_86_1_11A	114.596	154.1412
4	Banda1_3	9_46_1_4A	113.073	154.3554

Dacă parametrii nu sunt bine aleși, cum este cazul softului OPALS, interpolarea nu poate fi luată în considerare, prin urmare trebuie definită și raza de căutare a vecinilor, inclusiv număr de vecini pentru a obține rezultate satisfăcătoare.



Figura III-14. Vizualizare rezultate soft Opals- 3 metode

Soft-ul Surfer prezintă cei mai mulți algoritmi de interpolare, dar procesul este cel mai îndelungat. Am folosit doar 4 metode, iar rezultatul obținut, rasterul 3D este în format *.grd(Figura III-15). Pentru fiecare metodă de interpolare aleasă, softul generează un raport, cu parametrii utilizați și rezultatele obținute.

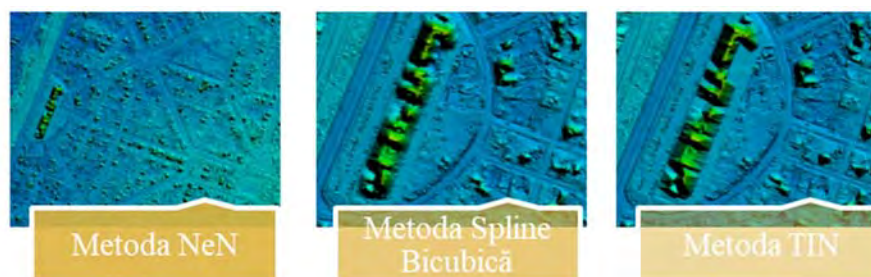


Figura III-15. Generare MDT- Soft Surfer 11

În cadrul softului Global Mapper generarea MDT-ului (Figura III-17) a avut o durată de procesare mai lungă decât cea a softului OPALS, dar și în acest caz metoda Punctului Mediu și metoda de curbura minimă, au prezentat erori din cauza clasificării și filtrării norului de puncte. Pentru interpolarea corespunzătoare s-a folosit ca parametru raza de căutare a vecinilor mai mare de 3 ori decât rezoluția MDT-urile.

Cu soft-ul open source WhiteBoxTools, modulul 4.6 instrumente LiDAR, generarea MDT-ului din norul de puncte clasificat a fost realizat prin trei metode de interpolare: IDW, TIN și NeN, rezultatele obținute fiind evidențiate în Figura III-16. Parametrii utilizați au fost: rezoluția, ponderea, raza de căutare și numărul de vecini, iar pentru TIN doar rezoluția gridului.

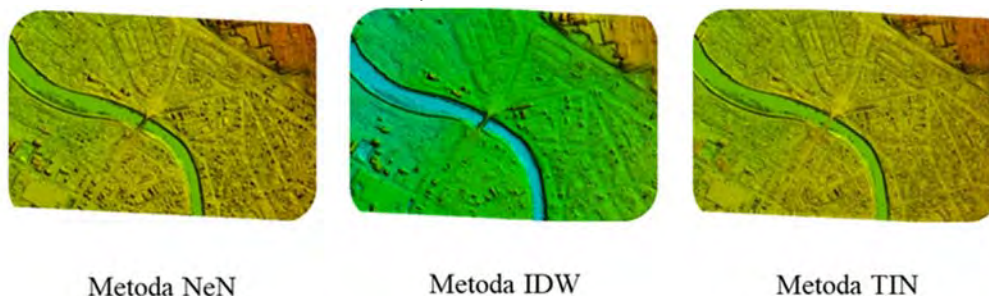


Figura III-16. Generare MDT- Soft open source WhiteBox GAP

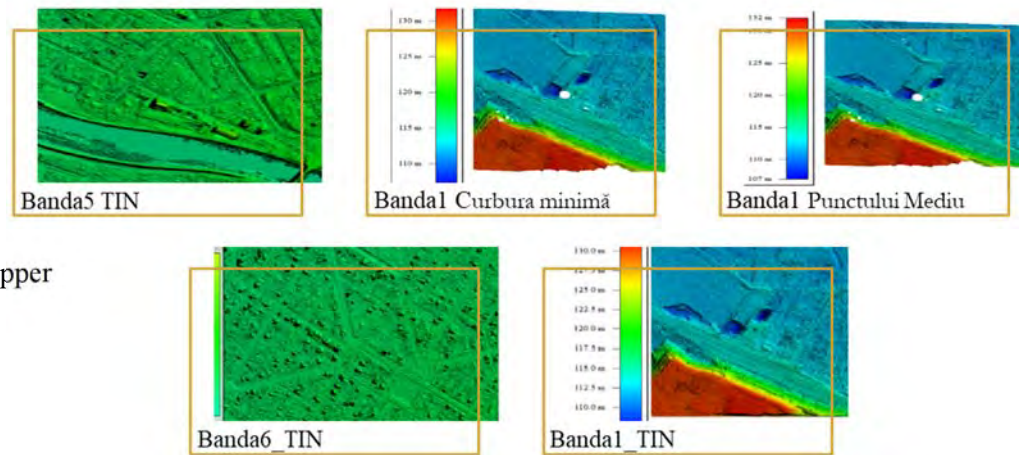


Figura III-17. Generare
MDT- Soft Global Mapper

Generarea MDT-ului utilizând softul open source Cloud Compare a fost un proces rapid intuitiv și foarte ușor de folosit, dar rezultatele obținute nu sunt deloc satisfăcătoare la capitolul precizie. Datele și rezultatele obținute în acest caz au fost influențate de clasificarea norului de puncte. Rezultatele obținute sunt trecute în graficul din Figura III-19, iar abaterea standard a fiecărei metode de interpolare, este subliniată în graficul din Figura III-18.

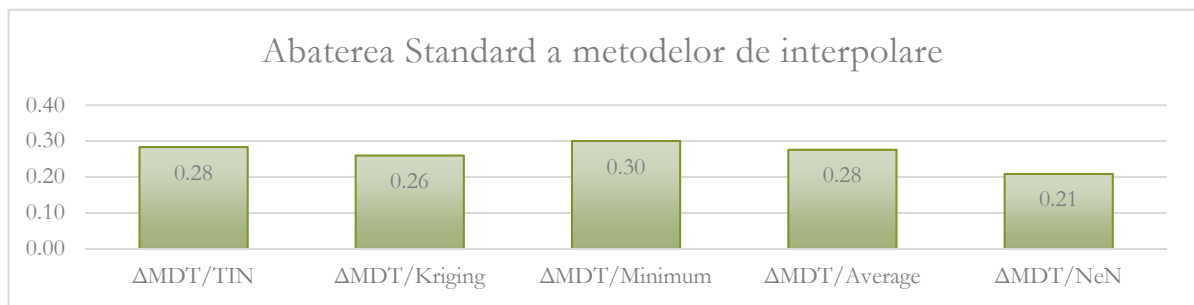


Figura III-18. Precizia metodelor de interpolare

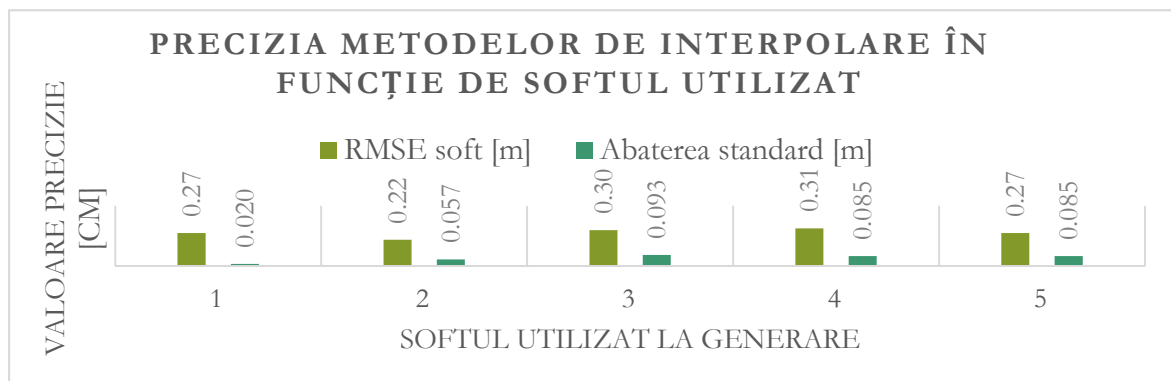
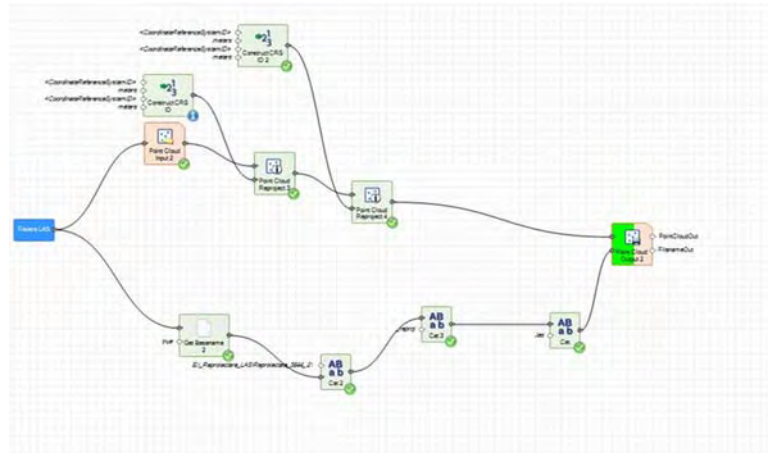


Figura III-19. Rezultate metodelor de interpolare în funcție de softul utilizat (1: Surfer11; 2: Global Mapper; 3: Opals; 4: Cloud Compare; 5: WhiteBox Tools)

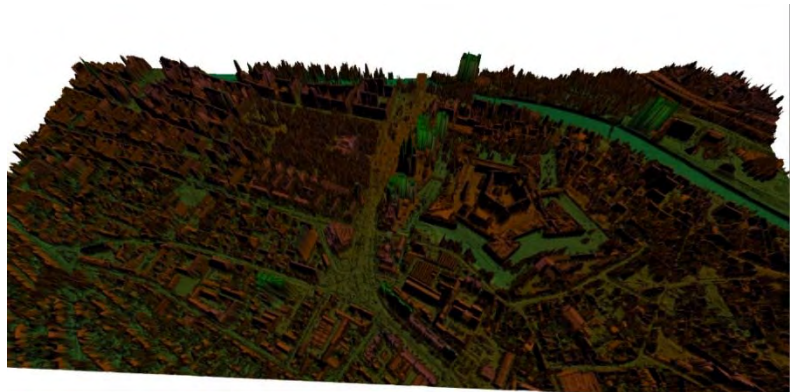
Înainte de a genera MDS-ul Municipiului Oradea, benzile de scanare compensate și clasificate trebuie să fie reproiectate în Sistemul Național de Referință. Acest lucru a fost realizat cu ajutorul unui model spațial dezvoltat în cadrul softului Erdas Imagine 2020, prin Modulul Spațial Builder prezentat în Figura III-20.

Figura III-20. Modelul spațial utilizat la reproiectarea norului de puncte



MDS-ul Municipiului Oradea a fost generat folosind metoda NeN de interpolare implementată în softul OPALS, prezentat în Figura III-21, având o rezoluția spațială de 0.5m x 0.5m, iar precizia finală este de 0.23 m cu o abatere standard de 0.11m.

Figura III-21. MDS_Compensat Oradea-
detaliu 3D



IV. Fuziunea datelor gravimetrice cu norul de puncte 3D

1. Noțiuni generale despre fuziunea datelor

Conceptul de fuziune a datelor a fost utilizat pentru prima dată în anii '60 odată cu cercetarea metodelor practice pentru a combina date de la mai mulți senzori în vederea obținerii unei imagini complexe utilizate pentru identificarea obiectelor naturale sau artificiale de pe suprafața Pământului. În domeniile geospațiale și ale geostiințelor, integrarea diferitelor seturi de date și informații are neajunsuri din cauza neomogenității și eterogenității rezoluțiilor datelor (ex imaginile satelitare fuzionate cu observații terestre, observații de tip punct integrate în modele digitale ale suprafețelor). Fuziunea se efectuează pentru a exploata avantajele esențiale ale fiecărui senzor sau set de date. Metodologiile pot fi clasificate în raport cu diferite niveluri și aspecte:

- acuratețea datelor (redus, mediu, înalt);
- tipul datelor (puncte, imagini, măsurători, suprafețe);

- dimensiunea datelor (3D în 3D, 2D în 3D, 2D în 2D).

Cea mai cunoscută metodă de fuziune este fuziunea 2D-2D, ce implică procesul de clasificare și segmentare a imaginilor și este folosită în cartografierea terenurilor. În cercetarea schimbărilor globale la ora actuală, sunt definite două subiecte care au la bază fuziunea 2D și anume:

- **Landcover (acoperirea terenului)** care se referă în mod obișnuit la proprietățile fizice ale unei suprafețe terestre reprezentată de obicei în hărți ca niște straturi de acoperire cu clase de obiecte diferite (de exemplu, vegetație lemnoasă, pajiști etc) sau suprafețe (de exemplu, corpuri de apă, soluri goale etc) (Lambin and Geist 2006),;
- **Land use (utilizarea terenurilor)** care corespunde activităților sau funcțiilor pentru care oamenii folosesc terenul (Lambin and Geist 2006).

În figura de mai jos (Figura IV-1) sunt prezentate rezultatele clasificării imaginii hiperspectrale, utilizând 3 metode: Minimum Distance, Paralelipiped și Support Vector Machine implementate în softul ENVI clasic 5.3. Am realizat această aplicație în activitatea derulată la Universitatea din Varșovia, Polonia, în cadrul proiectului VOLTA (innoVation in GeoSpatial and 3D daTA).

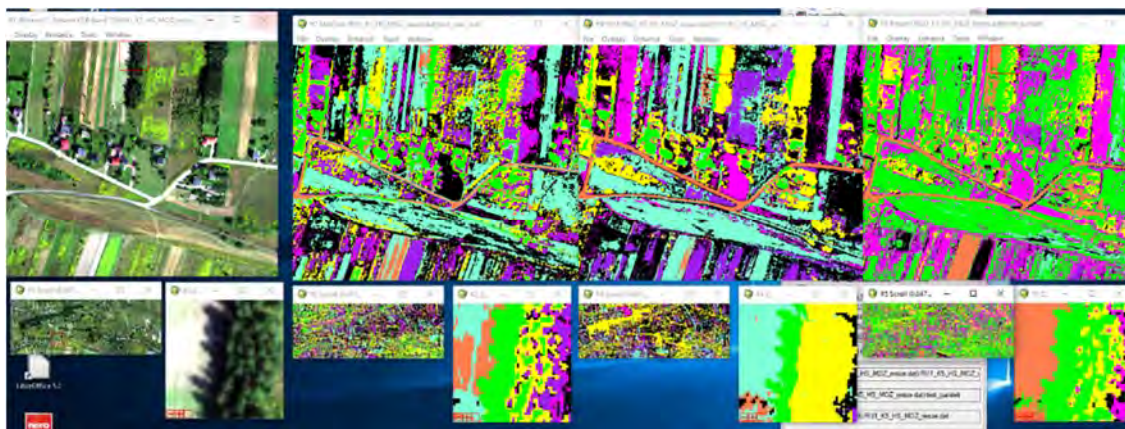


Figura IV-1. Clasificarea unei imagini hiperspectrale utilizând metoda MLC

Fuziunea datelor senzorului unei camere fotogrammetrice digitale și a datelor din norul de puncte colectat cu sistemele ALS, implică combinarea datelor 2D- 3D și 3D-2D. Cel mai simplu proces de fuziune a acestor tipuri de date este codificarea norului de puncte 3D din ALS cu informațiile despre textură și culoare prezente în datele RGB. O altă metodă de fuziune a datelor 3D din norul de puncte cu date 2D, este generarea modelor 3D ale diferitelor zone aferente suprafeței terestre sau a altor obiecte situate pe aceasta. Există modele 3D ale suprafeței terestre obținute dintr-o bază de date topografică națională (straturi de obiecte) și datele colectate cu sistemele ALS. Fuziunea și generarea modelului 3D al zonei centrale ale orașului Oradea au fost realizate în cadrul activității derulate în cadrul Universității Tehnice din Delft, Olanda, cu detașarea prin proiectul VOLTA. Pentru realizarea acestui produs am utilizat softul 3dfier, elaborat de echipa de la *Departamentul de GeoInformatică*.

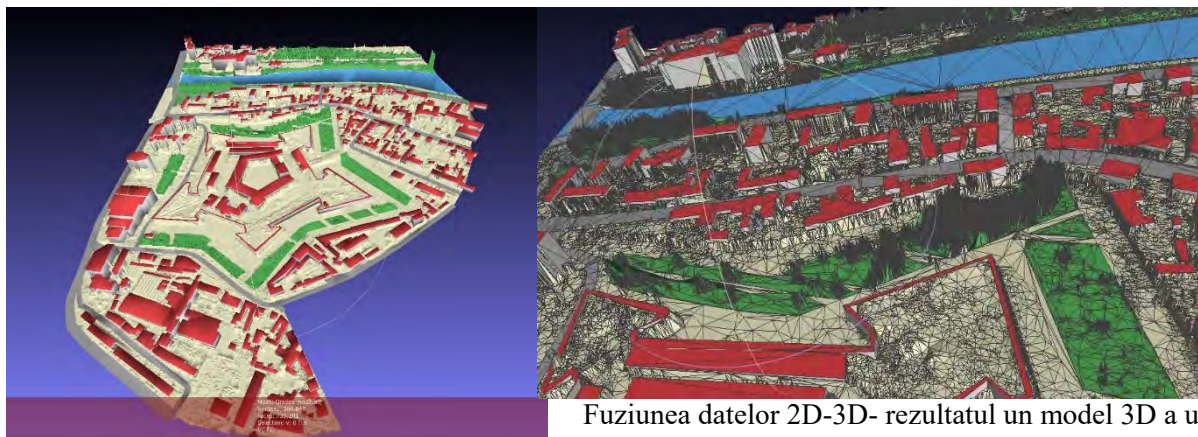


Figura
IV-2.

Fuziunea datelor 2D-3D- rezultatul un model 3D a unei zone urbane

2. Stadiul actual al fuziunii datelor gravimetrice cu cele achiziționate cu tehnologia LiDAR

În (Zlinszky, et al. 2013) a fost realizat un studiu pentru a compara rezultatele pe altitudine obținute din două metode de colectare și procesare diferite (gravimetrie/ model de geoid și scanarea laser aeropurtată/model digital al terenului). A fost realizată măsurarea înălțimii suprafeței apei elipsoidale a lacului Balaton, situat în vestul Ungariei, cu o suprafață totală a apei de 597 km² și o lungime maximă aproximativă de 70 km, cu rezoluție și precizie spațială ridicate utilizând sistemul ALS, urmată fiind de compararea acestor măsurători cu modelul de geoid local determinat gravimetric al Ungariei, denumit HGEO 2000.

Erorile rămase în setul de date sunt explicate prin altitudinea structurilor artificiale, cum ar fi bărcile și platformele care nu au fost mascate ca puncte ce nu reprezintă apă, prin altitudinea valurilor (până la 0.30 m între punctele ALS învecinate, în unele cazuri rare) și ușoare erori sistematice întâlnite în jurul marginilor benzilor scanate. Luând în considerare aceste erori, a fost realizată potrivirea precisă a altitudinii suprafeței apei la modelul de geoid local gravimetric.

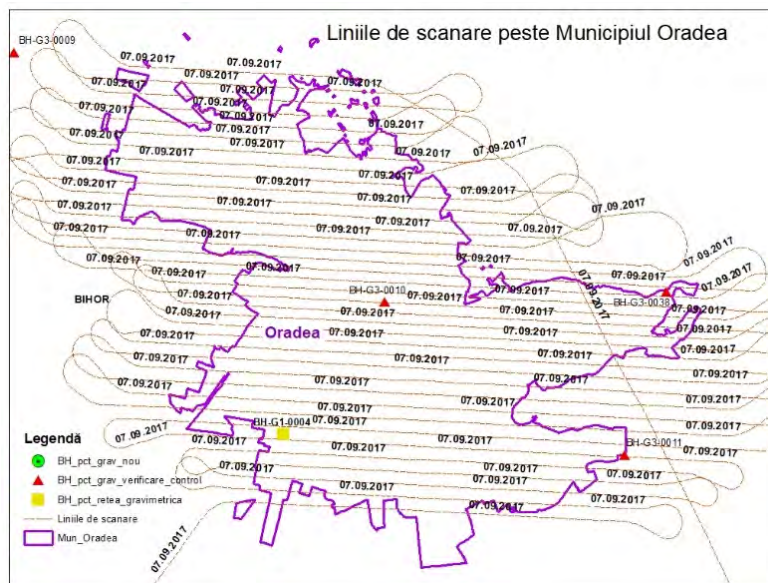
În (Hwang, Hsu, et al. 2020) a fost determinat un model de geoid gravimetric și unul hibrid de înaltă rezoluție (pe o rețea de 30"x30") în jurul Taiwanului. Acest studiu a combinat datele despre gravitație colectate din observații gravimetrice aeriene, navale și terestre și cele derivate din altimetrie. Din concluziile studiului realizat de Hwang et al. (2020) au fost extrase următoarele:

- Geoidul gravimetric, împreună cu GPS-ul și înregistrările de maree, au ajutat la identificarea erorilor de aproximativ 40-50 cm în datele actuale ale altitudinii aferente insulelor Penghu și Lanyu, în largul Taiwanului continental;
- Estimarea mai fidelă a zonei afectate de inundații din măsurătorile LiDAR. Această îmbunătățire de 0.20 m pentru cartografierea zonei cu date LiDAR corespunde cu 70 de ani de creștere a nivelului mării.

3. Studiu de caz: Fuziunea datelor ALS cu date gravimetrice în etapa de compensare

Pentru acest studiu de caz a fost aleasă aceeași zonă urbană: Municipiul Oradea, mai precis cele 12 benzi de scanare ALS aferente, utilizate în cadrul Capitolului III-Sețiunea 3:Studiu de caz. Această zonă urbană, ca și întregul județ Bihor, au fost scanate cu tehnologia LiDAR în cadrul Proiectului LAKI II - Informații geografice pentru mediu, schimbări climatice si integrare UE și în cadrul proiectului Modernizarea Rgn – Determinarea Unui Cvasigeoid Pentru Zona României – Proiect Pilot – Jud. Bihor în cadrul căruia a fost generat pentru județul Bihor cvasigeoidul gravimetric. Punctele gravimetrice și liniile de scanare care fac obiectul acestei fuziuni de date sunt prezentate în Figura IV-3.

Figura IV-3. Datele inițiale care generează informațiile supuse fuziunii



Fuziunea datelor

Pentru a putea fi realizată transformarea din altitudine elipsoidală în altitudine ortometrică/normală, înainte de etapa de compensare a norului de puncte în zona de suprapunere este necesară îndeplinirea următoarelor condiții:

1. cvasigeoidul trebuie să fie într-un format raster;
2. datele de intrare, atât gridul de transformare gravimetric pe altitudini cât și norul de puncte trebuie să fie în același sistem de referință al coordonatelor- în acest cazul în WGS84;
3. Gridul de transformare verificat în cadrul capitolului II va fi transformat în format raster cu ajutorul softului Global Mapper versiunea 21.1., în același sistem de coordonate ca și norul de puncte, având aceeași rezoluție de 0.003x0.003 arce de cerc. Ambele date de intrare sunt prezentate în Figura IV-4.

Pentru a alocă valoarea ζ - anomalia de altitudine, determinată în urma cvasigeoidului gravimetric aferent județului Bihor, din gridul de transformare în format *.tiff au fost elaborate următoarele linii de comandă în cadrul softului OPALS versiunea 3.2.2.:

- opalsImport -inf 170907_092112_1.sdc, pentru a transforma fișierele de la Riegl în fișiere *.odm;
- opalsAddInfo -inf 170907_092112_1.odm -points_in_memory 100000000 -nbThreads 2 -gridFile geoid.tif -attribute _undulation=r[1];

- opalsExport -inf 170907_092112_1.odm -out 170907_092112_1.sdc -filter z=z_undulation.

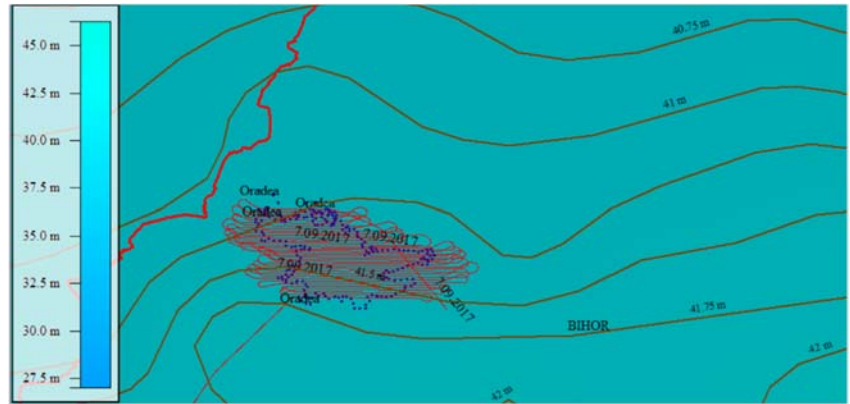


Figura IV-4. Gridul de transformate și benzile de scanare

Pentru câteva din benzi a fost necesar introducerea în linia de comandă a unor parametri suplimentari, din cauza erorilor întâmpinate: Eroarea de memorie - *nbThreads 2* – din cauza volumului mare de date și Eroarea numărului de puncte – *points_in_memory 100000000* - cauzată tot de volumul mare de date. Parametrii gridului de transformare preluați din studiu prezentat în Capitolul II și citați de linia de comandă sunt prezentați în Tabelul IV-1.

Tabel IV-1 – Parametrii gridului în format raster

Grid model:	geoid.tif		
	X [°]	Y [°]	Z [m]
Minimum X-Y-Z	19.931	43.392	27.016
Maximum X-Y-Z	30.564	48.692	46.264

Modulul folosit în linia de comandă: *AddInfo*, reprezintă instrumentul cu care am realizat fuziunea datelor prin atribuirea norului de puncte atributele modelelor de grilă (adică valorile grilei de transformare a altitudinii, generat în urma cvasigeoidului gravimetric al județului Bihor la locațiile punctelor din fișierele *.odm). Utilitate acestui modul în cadrul studiului elaborat în prezenta teză de doctorat constă în atribuirea valorii ζ obținute din cvasigeoidul gravimetric al județului Bihor punctelor 3D colectate cu sistemul ALS. Am adaptat modulul să citească valoarea ζ din cadrul gridului prin adăugarea diferiților parametri:

- Numărul vecinilor din cadrul norului de puncte: *neigh 12*;
- Raza de căutare: *searchrad 1.25*;
- Abaterea standard a altitudinii interpolate: *sigmaz*.

Am observat că valoarea anomaliilor gravitaționale aferente gridului de transformarea a fost aplicată fiecărui punct, neexistând puncte neschimbate pe fiecare bandă în parte. Această atribuire a valorii de altitudine a punctelor transformă altitudinea elipsoidală a punctelor în altitudine normală, având ca suprafață de referință un cvasigeoid gravimetric. Abaterea standard obținută în urma procesului de fuziune a celor două seturi de date, pentru fiecare bandă de date 3D, este relatată în graficul din Figura IV-5. Rezultatul obținut în urma fuziunii datelor gravimetrice cu norul de puncte, reprezintă tot un nor de puncte 3D, având coordonatele planimetrice în sistemul internațional de referință ETRS89 și altitudinea normală în sistemul de Altitudini Marea Neagră 75.

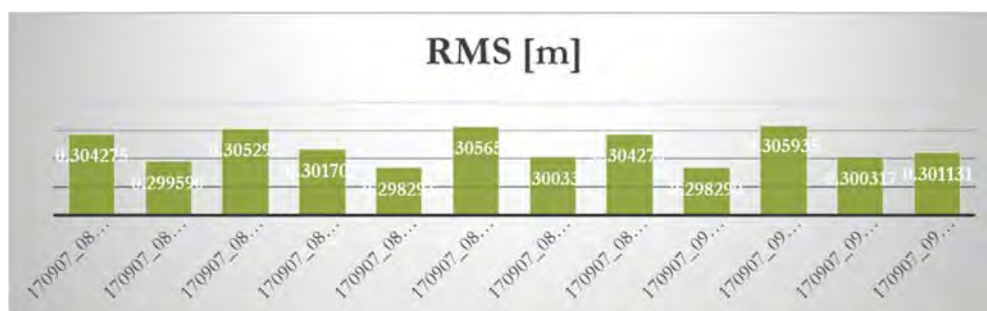


Figura IV-5. RMS-ul benzilor de scanare în urma atribuirii de valori zita

Pentru a putea vedea cu exactitate efectele acestei normalizări ai altitudinii (puncte cu altitudine normală determinată pe un cvasigeoid gravimetric), am trecut la pasul următor, și anume compensarea riguroasă a punctelor 3D pe zona de suprapunere. Compensarea benzilor de scanare în zona de suprapunere a fost realizată prin următorii pași:

- definirea fișierului de configurare, utilizând valorile parametrilor din studiul prezentat în cadrul Capitolului III: Compensarea Riguroasă – testul cu RMSE de 0.06 m;
- utilizarea aceluiași fișier al traiectoriei, modificat în cadrul studiului menționat mai sus;
- rularea liniei de comandă: StripAdjust din cadrul softului OPALS: *opalsStripAdjust -cfgFile Oradea_Alt_N.cfg*.

Utilizând parametrii optimi de compensare rezultați în cadrul studiului Capitolului III, am obținut un nor de puncte 3D compensat pe zona de suprapunere, a cărei altitudine este cea normală, obținută dintr-un cvasigeoid determinat gravimetric și a cărei RMSE are valoarea 0.17m. Deși față de RMSE-ul compensării datelor ALS din Capitolul III de 0.06m, valoarea RMSE din prezentul studiu de 0.17m a crescut de aproximativ 3 ori, precizia altimetrică a produsului (nor de puncte 3D) este net superioară, deoarece acesta nu va mai fi supus niciunui alt proces de transformare (reproiectare). Am mai reluat procesul de compensare a datelor pe zona de suprapunere, schimbând valoarea parametrilor de corespondență, obținând o valoare finală a RMSE-ului de 0.14 m. Astfel precizia altimetrică a norului de puncte 3D este finală având valoarea de 0.14m.

Se reiau pașii pentru generarea MDS-ului, prezentați din cadrul Capitolului III, și aceștia sunt:

- *opalsExport -inf 170907_092112_1.odm -out 170907_092112_1.las*;
- instrumentul **SOR filter**- din softul Cloud Compare pentru eliminarea punctelor zgomot;
- instrumentul Split din Modulul Point Cloud al softului Erdas Imagine 2020 pentru crearea tile-urilor în format **las 170907_092112_1.las* cu nomenclatura aferentă Bandă X;
- modelul spațial: *reproiectare_oriz_3844.gmdx* utilizat la reproiectarea fișierelor **las*, pe coordonatele x și y;
- *opalsImport -inFile Banda_2_Cloud.las -outFile Banda_2_Cloud.odm*;
- *opalsGrid -inFile Banda_2_Cloud.odm -outFile MDS_Banda2_Opals_NeN.tif -gridSize 0.5 -neigh 16 -searchRad 3 -interpol nearestNeighbour -weightFunc IDW2* (Figura IV-6);

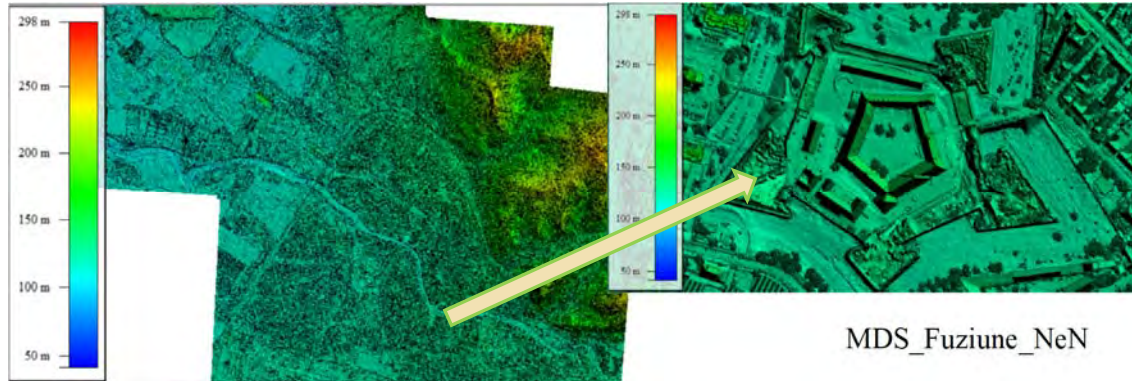


Figura IV-6.

- opalsGrid -inFile Banda_1_Cloud.odm -outFile MDS_Banda1_Opals_TIN.tif -gridSize 0.5 -neigh 16 -searchRad 3 -interpol delaunayTriangulation (Figura IV-7).

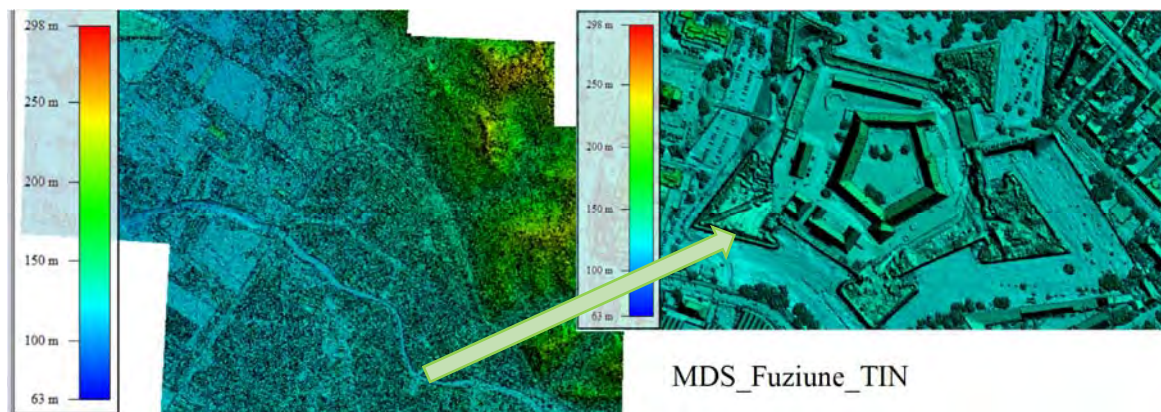


Figura IV-7.

MDS-ul Municipiului Oradea a fost generat folosind metoda TIN de interpolare și metoda NeN implementată în softul OPALS, rezultând două MDS-uri: MDS_Fuziune_TIN și MDS_Fuziune_NeN. Rezoluția spațială a MDS-ului este de 0.5m X 0.5m, iar precizia finală a fost calculată urmând aceste etape:

- importarea în ArcMap a fișierelor *.shp cu punctele de control:
 - cotate2014 – reprezintă reperi de nivelment geometric, reabilitați în anul 2014, de ordinul IV, în Sistemul de altitudini Marea Neagră 75;
- importarea în ArcMap a fișierelor *.tiff aferente MDS-urilor generate în prezentul capitol;
- determinarea preciziei MDS_Fuziune_NeN -Tabelul IV-2;

Tabel IV-2 – Precizia MDS-ului generat cu metoda NeN

Nr crt	Nr bandă	Denumire punct	H _{punct} [m]	H _{MDS} [m]	ΔH [m]	RMSE MDS_NeN [m]
1	Banda6_MDS_Fuziune_NeN	8_43_1_6A	122.073	122.050	0.023	0.17
2	Banda5_MDS_Fuziune_NeN	8_44_1_1	132.424	132.700	-0.276	
3	Banda1_MDS_Fuziune_NeN	0_86_1_11A	114.596	114.419	0.177	
4	Banda1_MDS_Fuziune_NeN	9_46_1_4A	113.073	112.964	0.109	

- determinarea preciziei MDS_Fuziune_TIN -Tabelul IV-3;

Tabel IV-3 – Precizia MDS-ului generat cu metoda TIN

Nr crt	Nr bandă	Denumire punct	H _{punct} [m]	H _{MDS} [m]	ΔH[m]	RMSE MDS TIN [m]
1	Banda6 MDS Fuziune TIN	8 43 1 6A	122.073	121.917	0.156	0.21
2	Banda5 MDS Fuziune TIN	8 44 1 1	132.424	132.680	-0.256	
3	Banda1 MDS Fuziune TIN	0 86 1 11A	114.596	114.395	0.201	
4	Banda1 MDS Fuziune TIN	9 46 1 4A	113.073	112.960	0.213	

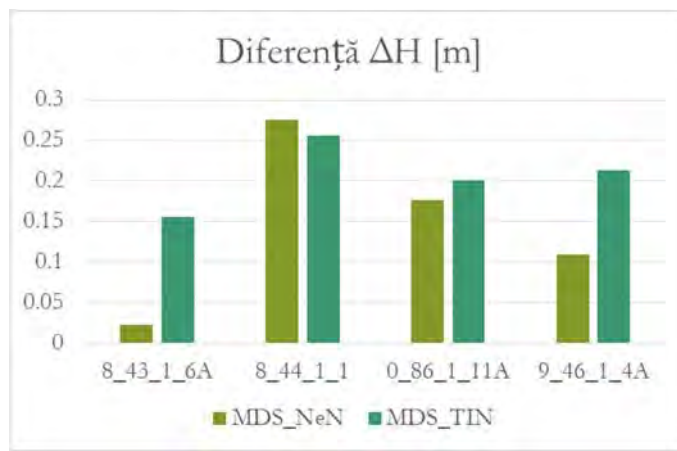


Figura IV-8. Diferența pe altitudine în punctele de verificare între cele două metode de interpolare alese

Compararea MDS-urilor

Pentru zona de studiu, Municipiul Oradea au fost generate, în cele două studii, 2 MDS-uri, astfel:

- MDS_Compensare reprezintă modelul digital al suprafeței generat, din norul de puncte 3D supus procesului de compensare pe zona de suprapunere, după etapa de transformare a altitudinii elipsoidale în altitudine normală (suprafața de referință cvasigeoid geometric), studiul aferent capitolului III;
- MDS_Fuziune_TIN/MDS_Fuziune_NeN reprezintă modelul digital al suprafeței generat utilizând gridul de transformare al altitudinilor, bazat pe cvasigeoidul gravimetric, în etapa de compensare a benzilor de scanare pe zona de suprapunere, studiul prezentat în acest capitol.

MDS-ul, generat în cadrul proiectului LAKI II (MDS_LAKI), s-a obținut prin procesarea datelor brute ALS, urmând pașii de mai jos:

- calibrarea sistemului utilizând suprafețele de control, în momentul colectării datelor;
- datele brute au fost georeferențiate direct, neexistând o compensare a benzilor în zona de suprapunere;
- clasificarea norului de puncte a fost realizată în patru clase: Sol, Neclasificate, Poduri și Zgomot;
- metoda de interpolare folosită la generarea MDS-ului a fost TIN cu rezoluția de 1m.

Prin urmare, caracteristicile esențiale ale celor 3 MDS-uri diferă.

Tabel IV-4 – Precizia și Rezoluția MDS-urilor

Nr crt	Denumire MDS	Rezoluție [m]	RMSE [m]	Abaterea Standard [m]
1	MDS_Compensare	0.5	0.23	0.11
2	MDS_Fuziune_NeN	0.5	0.17	0.17
	MDS_Fuziune_TIN	0.5	0.21	0.19

3	MDS_LAKI_II	1	0.40	0.27
---	-------------	---	------	------

Premergător etapei de comparare, a fost necesară decuparea unei zone comune aferente, MDS-urilor generate, evidențiate mai sus, precum MDS_Compensare (cel generat din nor de puncte 3D, după efectuarea unui compensări în zona de suprapunere), MDS_LAKI (obținut din date ALS, după o georeferențiere directă și o clasificare riguroasă), MDS_Fuziune_TIN și MDS_Fuziune_NeN (generat din norul de puncte 3D, obținut în urma fuziunii datelor gravimetrice cu datele ALS). Acest lucru a fost realizat în softul Global Mapper cu instrumentul *Cropping from a selected area*, iar fișierul *.shp cu cele două zone de testare a fost salvat.

Compararea MDS-urilor am realizat-o în softul Global Mapper cu:

- Substraction (Difference) – obținând un grid de diferențe pe altitudine, (Figurile IV-9 și IV-10);
- Substraction (Difference) –obținând un grid de diferențe pe altitudine.

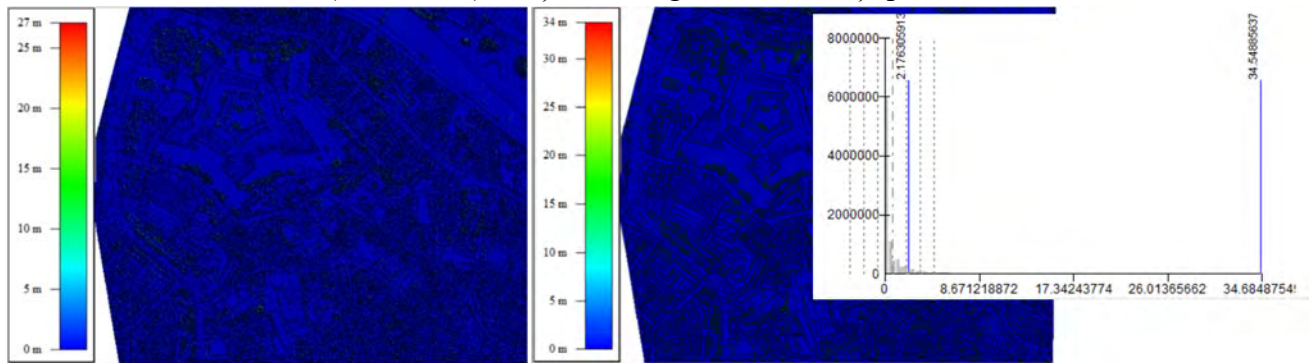


Figura IV-9. Rezultat raster diferență MDS_Compensare și MDS_LAKI, Zona_1

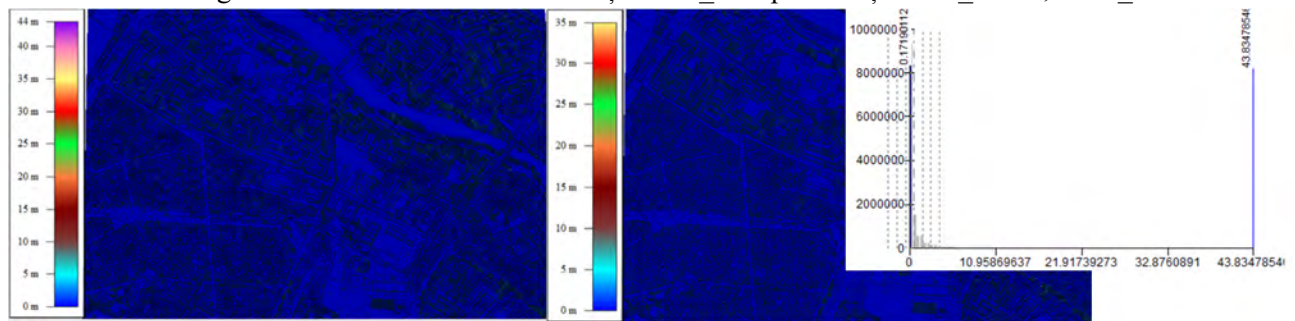


Figura IV-10. Rezultat raster diferență MDS_Compensare și MDS_LAKI, Zona_2

Se pot observa diferențe de până la 20 m în Zona_1 de testare și 40 m în Zona_2 de testare, lucru care confirmă influența etapei de clasificare din procesare, asupra calității norului de puncte, deși precizia MDS_Compensare este superioară, calitatea lui în anumite zone este mai slabă decât cea din LAKI II. Pe lângă erorile de clasificare, au fost identificate și erorile de interpolare, precum erorile aferente fiecărei metode de interpolare în parte. Ca o remarcă personală în urma analizei rezultatelor, consider că fiecare etapă în procesarea datelor ALS influențează calitatea produsului final, de aceea aș recomanda, în funcție de utilitatea ulterioară a produsului, acordarea și utilizarea algoritmilor preciși în procesarea datelor. În a doua parte a studiului am comparat MDS_Fuziune_TIN cu MDS_LAKI, într-o singură zona de testare, pentru a observa dacă se obține o îmbunătățire a rezultatelor, ca urmare a generării prin aceeași metodă

de interpolare având ca diferențe pe altitudini de ordinul a 34 m și respectiv 29 m. Vizual se poate remarca că această valoare se întâlnește într-o singură situație, în jurul unei biserici, iar majoritatea valorile se încadrează în valori sub 5 m.

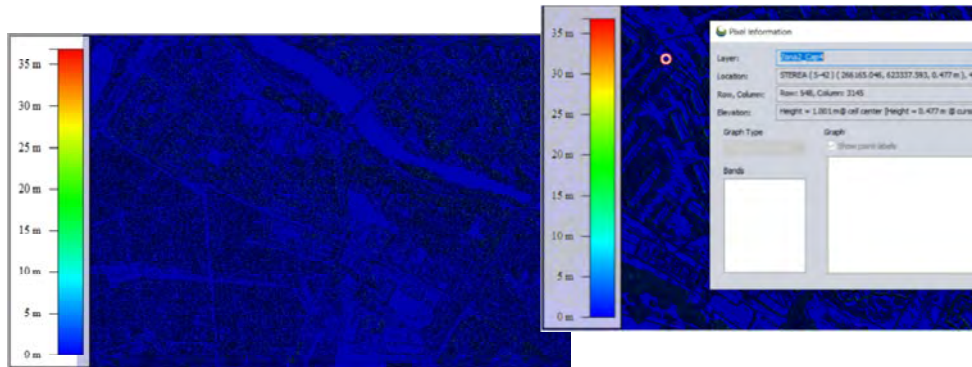
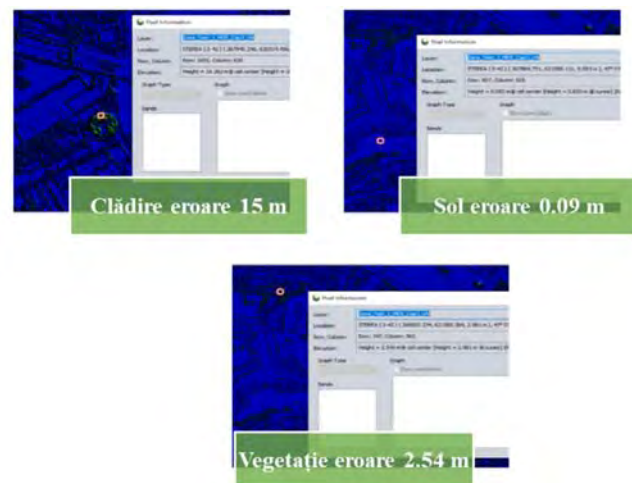


Figura IV-11. Raster-ul diferențelor, Zona_1 MDS_Fuziune_TIN și MDS_LAKI

Verificare vizuală

În urma unei verificări mai amănunțite, am remarcat că diferențele grosolane de ordinul metrilor se întâlnesc la clasa vegetație și la clasa clădiri. Zona terenului nu are diferențe majore, până în 0.10 m, dar celelalte clase de obiecte prezintă diferențe, unele în valori normale, altele ca diferențe grosolane (prezentate în Figura IV-12). Concluzionând, eroarea în zona clădirilor înalte, cazul bisericilor, se datorează procesului de clasificare/filtrare, deoarece aria bisericii este mai mare în MDS_Fuziune decât cea din MDS_LAKI.

Figura IV-12. Diferențele în clasa sol, vegetație și clădiri



În cazul clasei vegetație se întâmpină aceeași situație, anumite puncte din această clasă sunt trecute în clasa clădiri sau chiar sol, generând la rândul lor diferențe grosolane. Dar această etapă de clasificare a norului de puncte cu o acuratețe mai ridică nu a făcut obiectul acestui studiu elaborat.

Verificare procentuală

Pentru a se evidenția și mai bine faptul că erorile grosolane sunt aleatorii și se datorează în mare parte clasificării eronate, am generat un raport în procente utilizând modulele softului Surfer:

- 3D Surface, din Modulul New Map– generând modelul de diferențe pe altitudine în 3D;
- GridEditor, din Modulul Grid–un fișier 3D cu valorile diferențelor pe altitudine (Figura IV-13);
- GridInfo, din Modulul Grid - un raport (Tabelul IV-5).

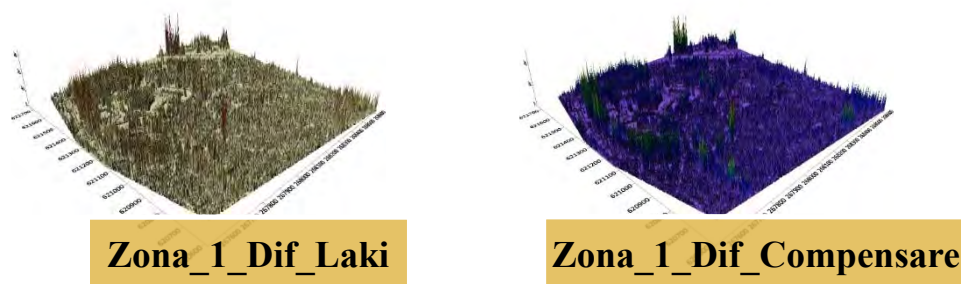


Figura IV-13. Diferențele în 3D pentru zona 1

Tabel IV-5 – Erorile procentuale din cele 2 griduri, aferente Zona_1 cu diferențele pe altitudine

Nr crt	Zona	MDS inițial	Procent din nr total de pixeli	Valoarea Diferență [m]
1	Zona_1	MDS_Compensare	6%	27.090682
			94%	0.0921021
		MDS_LAKI	2%	33.779296
			4%	5.9014587
			94%	0.0432281

V. Studiul de caz - Realizarea unei aplicații utile componentei de mediu a unui oraș inteligent

1. Date spațiale, echipamente și instrumente utilizate

1.1.Locul cercetării – Municipiul Oradea

Informații geografice și istorice

Oradea, mai demult Oradea Mare, este municipiul de reședință al județului Bihor, România (Figura V-1). Este poziționat în vestul României, pe râul Crișul Repede, la 13 km de granița de vest cu Ungaria. Poziționarea geografică a orașului este dată de latitudinea nordică de 47° 03' și longitudinea estică de 21° 55'. Altitudinea medie a orașului este de 126 m deasupra nivelului mării, iar acesta ca locație geografică se găsește la deschiderea Văii Crișului Repede spre câmpie, într-o zonă de contact între prelungirile Munților Apuseni și Câmpia Banato-Crișană, (Oradea-online 2000). Oradea este un centru istoric cultural și cel mai important oraș din regiunea istorică Crișana. Ca date geospațial, Oradea prezintă la ora actuală: bază de date 2D, obținută din cadrul proiectului TopRo5; ortofotoplan cu rezoluție de 20cm și precizie de 20cm; nor de puncte 3D, obșinut prin scanarea cu ALS.

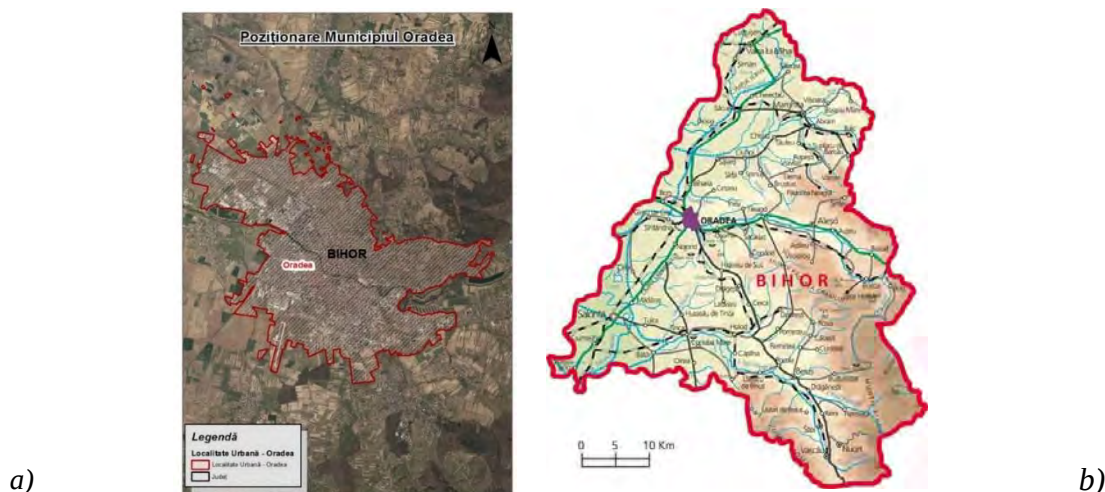


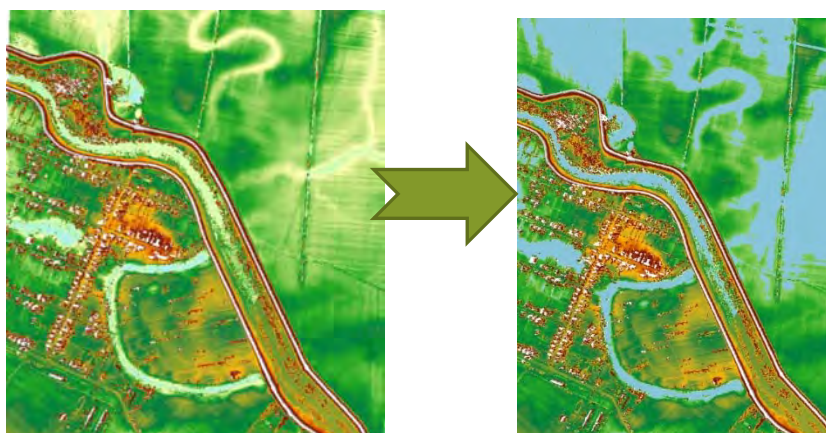
Figura V-1.a)Poziționare Municipiul Oradea în Jud. Bihor; b) Limită Municipiul Oradea

1.2. Exemple de aplicații folosind modele 3D ale unei zone urbane

Modele 3D ale orașelor generate din date colectate cu sistemele ALS servesc, în principal drept suport în crearea bazelor de date 3D. MDS-ul unei zone urbane este de obicei compus dintr-o descriere a terenului, a străzilor, a clădirilor și a vegetației din zonele metropolitane. Aplicațiile care au ca date de intrare MDS-ul s-au dovedit a fi multiple, iar cele mai importante sunt (Biljecki, et al. 2015):

- Estimarea zonelor urbane afectate de inundații. Studiul zonelor predispuse la inundații reprezintă unul dintre punctele cheie în dezvoltarea unui oraș inteligent (Figura V-2).

Figura V-2. MDS și o zonă inundabilă de pe valea Crișului Repede, (I. Cuibac-Picu 2020)



- Detectarea modificărilor (change detection). Pentru îmbunătățirea calității unui plan cadastral zonal/plan urbanistic zonal se folosesc modelele digitale al suprafeței zonei urbane prin utilizarea aplicației de detectare a schimbărilor, lucru evidențiat în Figura V-3 (Pédrinis, Morel and Gesquière 2015).

Figura V-3. Detectarea modificărilor într-o zona urbană, (I. Cuibac-Picu 2020)



- Estimarea efectului radiațiilor solare asupra clădirilor este o aplicație alternativă, bazată pe informații geospațiale precise –MDS, dar și pe caracteristicile extrase din acesta precum clădirile, panta, zona, orientarea și rezistența, precum și datele meteorologice. Această aplicație va fi dezvoltată în studiul de caz al acestui capitol utilizând MDS-ul generat în studiul Capitolului IV. Utilitatea acestei aplicații se regăsește în componenta de mediu a unui oraș inteligent;
- Identificarea potențialului de dezvoltare a acoperișurilor verzi, care ajută la dezvoltarea componentei de mediu a orașului inteligent (Joshi, et al. 2020).

1.3. Analiza utilității dezvoltării unei aplicații pentru estimarea efectului radiațiilor solare asupra clădirilor

Se cunoaște faptul că orașele sunt mari consumatoare de energie, dar acestea pot fi și producătoare de energie. Energia solară are avantajul că poate fi generată în același loc în care poate fi consumată, datorită posibilităților oferite de integrarea sistemelor fotovoltaice în clădiri. După cum se reflectă în Directiva 2010/31/UE, a Parlamentului European, 40% din consumul total de energie din Uniunea Europeană corespunde clădirilor (Prieto, Izgara and Usobiaga 2019). Aceste condiții au determinat Uniunea Europeană să promoveze dezvoltarea energiei fotovoltaice ca parte a programelor de îmbunătățire pentru energia eficientă a clădirilor. A fost impusă o solicitare ca până la sfârșitul anului 2020, cel puțin 25% din clădirile noi sau recondiționate să respecte cerințele ridicate privind eficiența energetică sau utilizarea unor surse regenerabile de energie. Estimarea efectului radiațiilor solare asupra clădirilor este, fără îndoială, una dintre cele importante utilizări a MDS-urilor în dezvoltarea componentei mediului din cadrul conceptului de oraș inteligent. MDS-urile aferente zonelor urbane sunt folosite pentru a estima cât de mult este expusă la soare o clădire în vederea evaluării gradului de utilitate a panourilor solare (fotovoltaice) instalate pe acoperișuri (Fath, et al. 2015). Modelul utilizat în analiza potențialului radiațiilor solare, dezvoltat în cadrul acestei teze poate fi replicat de alte municipalități. Mai mult, vizualizarea rezultatelor într-un mediu 3D simplifică interpretarea datelor la scară urbană, preluarea și analiza informațiilor suplimentare, transformând aceste date în niște date deschise, emise de factorii de decizie ai orașului inteligent.

2. Datele de intrare utilizate în cadrul studiului de caz

- date meteo (EnergyPlus n.d.): fișier climatic detaliat al zonei de studiu, Municipiul Oradea fișier ERA5- cu datele pe ora/data/luna/an din anul 2017-2019 (a fost ales anul de început, anul în care avut loc zborul de scanare);
- MDS_Fuziune_NeN: MDS-ul Municipiului Oradea generat în cadrul Capitolului IV;

3. Echipamentele și instrumentele folosite în realizarea obiectivelor propuse

Pentru a calcula potențialul solar au fost utilizate următoarele instrumente software :

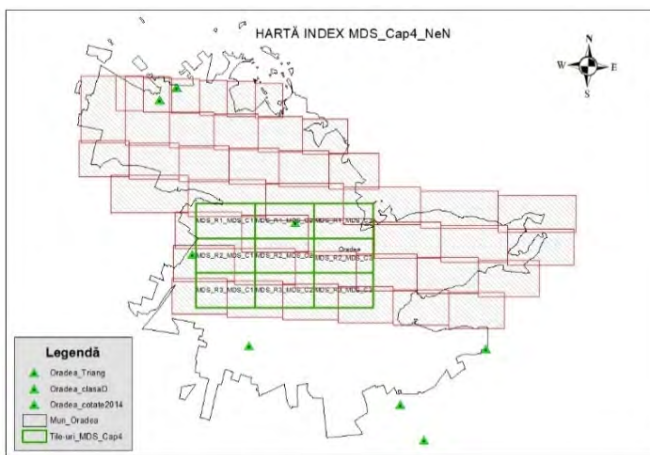
- QGIS Desktop versiunea 3.8.2.: instrument open source GIS care este utilizat pentru procesarea straturilor de informații geografice;
- *Urban Multi-Scale Environmental Predictor* — Instrument UMEP (F. Lindberg, C. Grimmond, et al. 2018): este un grup de servicii de mediu care este implementat ca un plugin în softul QGIS Desktop versiunea 3.8.2.. Instrumentele utilizate pentru aplicație sunt:
 - UMEP MetPreprocessor : facilitează adaptarea *EnergyPlus* la parametrii meteorologici ceruți de instrumentul SEBE.
 - Calculul privind *Azimutul* și *Înălțime*. Se calculează orientările și înălțimile fațadelor clădirilor dintr-un modelul digital al suprafeței.
 - *Energie solară pentru clădiri - Instrument SEBE* (Lindberg, Jonsson, et al. 2015): un instrument din softul QGIS Desktop versiunea 3.8.2. utilizat pentru a calcula energia solară potențială din valoarea pixelului aferent MDS-ului, utilizând terenul și clădirile.

4. Dezvoltarea aplicației de estimare a radiațiilor solare peste Municipiul Oradea

Pentru a dezvolta această aplicație în mediul QGIS Desktop versiunea 3.8.2. au fost necesare o serie de operațiuni preliminare precum:

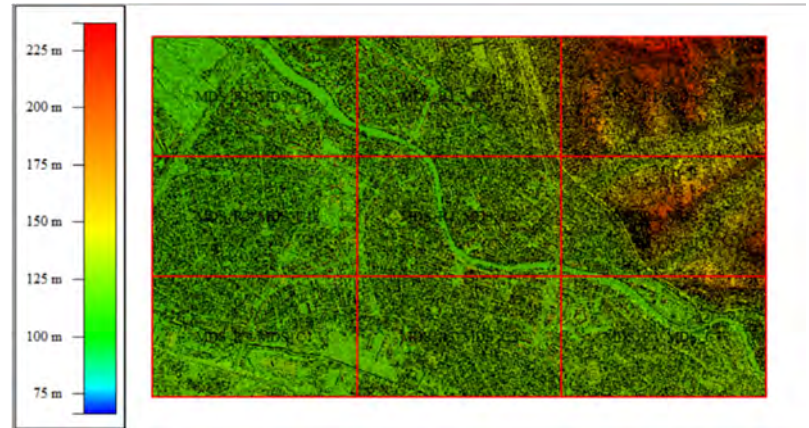
1. MDS-ul Municipiului Oradea generat din norul de puncte 3D obținut în urma fuziunii datelor gravimetrice (din gridul de transformare al altitudinii) cu datele ALS, prezentat în studiul de caz al capitolului IV reprezintă data de intrare pentru dezvoltarea acestei aplicații. Acesta este secționat pe zona centrală în 9 tile-uri egale, utilizând următoarele instrumente din cadrul softului Global Mapper:
 - *Grid*,care generează o hartă index, a tile-urilor de MDS, cum este prezentată în Figura V-4;

Figura V-4.Harta index MDS_Fuziune_NeN



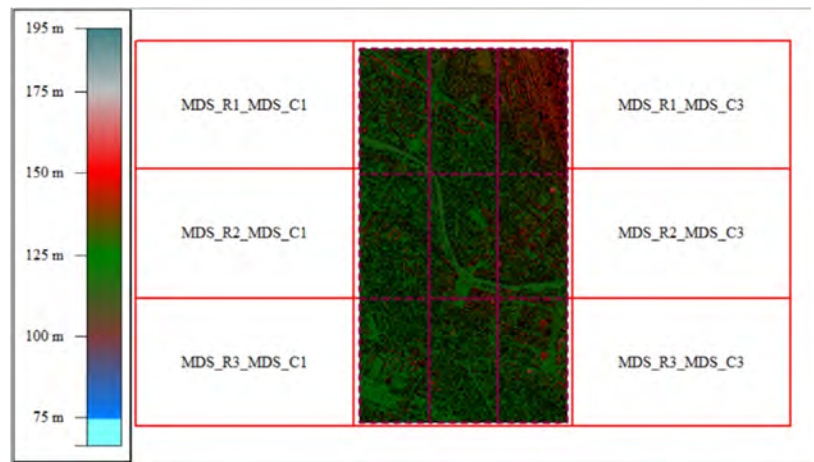
- Cropping to selected polygons. în baza căruia au fost generate 9 tile-uri de MDS_Fuziune, având nomenclatura de la gridul generat mai sus; Toate informațiile MDS-ului au fost păstrate, rezoluția, precizia etc, lucru prezentat în Figura V-5.

Figura V-5.
MDS_Fuziune_NeN_tile-uri



Totuși datorită volumului mare de date (rezoluția de 0.5 m), a MDS-ului generat în urma fuziunii datelor gravimetrice cu datele ALS, timpul de procesare a unui singur tile de MDS ar fi fost de lungă durată, prin urmare am efectuat o secționare după un alt grid, rezultând alte 9 fișiere de MDS având fiecare aproximativ 0.500 Kmp și păstrând nomenclatura gridului de mai sus, prezentate în Figura V-6.

Figura V-6. Hartă index tile-uri MDS_Fuziune



S-a determinat cu ajutorul instrumentului *Raster Relief* din cadrul softului QGIS Desktop versiunea 3.8.2. zona care conține cele mai înalte clădiri, pentru a putea fi utilizată în fluxul procesare a aplicației SEBE, zonă prezentată în Figura V-7.

Figura V-7. Zona Municipiului Oradea extrasă din MDS_Fuziune_NeN, cu clădirile cele mai înalte



2. Adăugarea în cadrul softului QGIS Desktop versiunea 3.8.2. a plugin-ului pentru modulul *Urban Multi-scale Environmental Predictor* (UMEP).

Modulul UMEP este dezvoltat pentru determinarea serviciilor climatice dintr-o zonă urbană. Aplicațiile acestui modul folosesc date geospațiale precise precum: MDS-ul- aferent unei zone urbane; MDT-ul zonei urbane; Date vector 3D cu informații despre anumite limite de pădure, hidrografie, vegetație etc. Modelul aplicației implică trei etape: etapa de preprocesare a datelor, etapa de procesare și o etapă de post-procesare, pentru analiză și vizualizare. În prezentul studiu de caz se utilizează ca informație geospațială de bază, MDS-ul Municipiului Oradea, pe baza căruia se va calcula radiația solară aferentă acoperișurilor și pereților din zona aleasă pentru studiu.

3. Etapa de preprocesare în care am pregătit datele spațiale și meteorologice care vor fi utilizate ca date de intrări în aplicație.

În momentul încercării de descărcare a **datelor meteorologice necesare**, am identificat o eroare a codului sursă, iar pentru soluționarea acesteia a fost necesară parcurgerea unor pași suplimentari prin instalarea unei versiunii corecte a limbajului de programare *Python* (cod sursă), pe care softul QGIS Desktop versiunea 3.8.2. și Modul acestuia de UMEP îl utilizează:

- Folosind în linia de comandă (cmd) următoarea solicitare – **python3 -m pip install pandas** – se instalează fișierul corect de cod sursă , versiunea de python utilizată;
- Se instalează codurile solicitate de aplicație pentru descărcarea datelor : supy în linia de comandă OsGeo Shell nu în cmd:
 - Se citește solicitarea următoare: **pip3 install supy --upgrade;**
- Se instalează contul de utilizare a datelor de pe *Copernicus Climate Change Services* (CDS): cheia userului în format API, necesare pentru descărcarea datelor meteorologice aferente Municipiului Oradea:
 - în linia de comandă se instalează API-ul propriu drept client CDS cu comanda
- pip3 install cdsapi;
 - în prealabil se creează fișierul cu extensia **cdsapirc* în calculatorul personal. Fișierul conține datele contului de pe platforma Copernicus având următoarele informații:
 - url: <https://cds.climate.copernicus.eu/api/v2>
 - key: 92523:e4b5eb62-0005-428a-a980-8d76b4019594;

Datele descărcate nu au putut fi utilizate deoarece ele nu respectau formatul impus de această aplicație. Formatul informațiilor de la platforma de date meteorologice *Copernicus Climate Data Store* este de tipul **nc*, un format specific de date meteorologice. Prin urmare, a fost necesară o cercetare amănunțită și utilizarea altor date meteorologice. Acestea din urmă au fost descărcate de pe site-ul NASA: <https://power.larc.nasa.gov/beta/data-access-viewer/>, de unde am ales perioada 2017-2021, pe luni și pe zile și au fost preluate informațiile obligatorii precum:

- presiunea atmosferică în kPa;
- suprafața cerului cu undă scurtă de radiație descendentă în kW-hr/m²/zi;
- temperatura aerului la 2m în grade Celsius;

- cantitatea de precipitații în mm;
- cantitatea de zăpadă în mm;
- viteza vântului în m/s.

Formatul acestor date descărcate este de tip *.csv, dar acest tip de fișier reorganizat și structurat, în format *.txt, în cadrul modului UMEP: Meteorological Data: Download Data (ERAS 5) ca dată de intrare în instrumentul de pregătire a datelor existente. Fișierul final cu datele meteorologice aferente Municipiului Oradea este în format *.txt iar pentru parametrii cu valori necunoscute, este necesară folosirea sintagmei No DATA sau valoarea -999. Tot în etapa de preprocesare se calculează înălțimea și poziția clădirilor pe direcția Nordului. Datele de intrare utilizate la acest calcul sunt reprezentate, de MDS-ul generat din norul de puncte 3D (precizie altimetrică 0.14m) obținut în urma fuziunii datelor gravimetrice cu datele ALS, și de parametrii din Tabelul V-1. Prin urmare prin acest calcul se identifică pixelii de azimut (poziție) ai pereților clădirilor, care sunt furnizați în grade. Pixelul orientat pe direcția nord are valoarea zero.

Tabel V-1 – Parametri utilizați la calculul înălțimi și aspectului

Nr crt.	Data de intrare	Valoarea parametru	Observații
1	MDS	Rezoluție 0.5m Precizie 0.17 m	Sistem de referință obligatoriu Cartezian, cazul nostru Stereo70
2	Limita inferioară pentru înălțimea peretelui	Valoare impusă 3 m Valoarea utilizată 3.5 m	Trebuie cunoscută sau testată pentru o utilizare corectă a acestui parametru

Datele de ieșire:

- un raster în format *.geotiff cu înălțimea clădirilor din MDS_Fuziune_NeN_tile_RX_CX, exemplu Figura V-8;
- un raster în *.geotiff cu valoarea azimutului clădirilor din MDS_Fuziune_NeN_tile_RX_CX;
- valorile finale ale celor 2 rastere obținute pentru 3 MDS_Fuziune_NeN.

Pentru toate cele 9 tile-uri de MDS_Fuziune_NeN s-a calculat atât înălțimea clădirilor cât și azimutul lor, pe baza valorilor obținute din MDS, care ulterior vor fi folosite în cadrul aplicației.

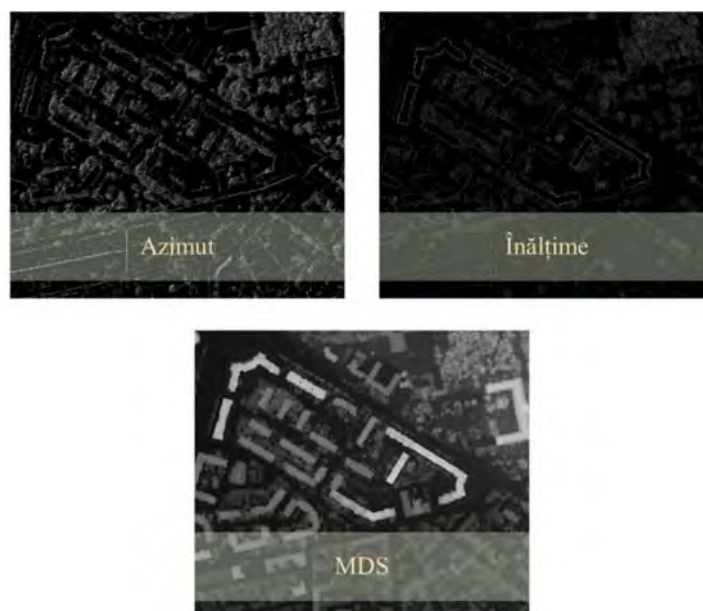


Figura V-8. Rezultat calcul parametri utilizați în aplicație (înălțime și azimut)

Ultimul calcul în etapa de preprocesare a fost determinarea factorului de cer liber, adică SVF (Sky View Factor). Acesta se calculează tot pe baza MDS-ului, utilizând clasa sol și clădirile aferente MDS_Fuziune_NeN. SVF reprezintă raportul dintre radiația primită de o suprafață plană dată de clădirile din MDS (dată geospațială precisă) și radiația emisă de întregul mediu atmosferic. Rezultatul acestui calcul a fost o valoare adimensională între 0 și 1. Datele de intrare utilizate sunt:

- MDS_Fuziune_NeN;
- Vegetația generată din MDS_Fuziune_NeN;
- Procentul de lumină care pătrunde prin vegetație, pentru care a fost utilizată valoarea implicită setată la 3% ;
- Pentru rapiditatea procesului am utilizat varianta metodei de calcul cu 145 de imagini cu umbre în loc de 655.

Datele de ieșire:

- Un raster final în format *geotiff, cu valoarea SVF total, adică pixelul care are deschiderea cea mai mare către cerul liber, având valori de la 0.10926 până la 1 (Figura V-9 pentru MDS_R1_C2), adică pixelul cu valoarea 1 este cel mai luminat (culoarea albă din figură are cea mai mare deschidere);
- 4 fișiere raster cu valorile SVF în funcție de direcția punctului cardinal (Nord, Sud,Est,Vest);
- Un fișier în format *npz care ulterior poate fi utilizat în aplicația de confort termic în aer liber SOLWEIG.

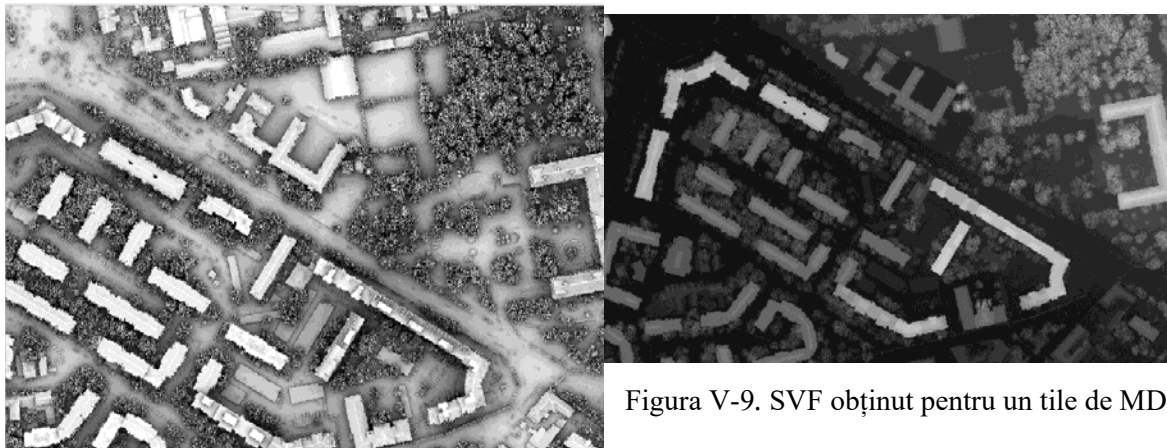


Figura V-9. SVF obținut pentru un tile de MDS

4. Etapa de procesare include toate modulele principale pentru aplicațiile care urmează a fi dezvoltate. Am calculat Radiația Solară de pe Acoperișurile Clădirilor (SEBE), cu ajutorul instrumentului: *UMEP-PROCESSOR- Solar Radiation*. Această aplicație folosește un algoritm de determinare a umbrelor cu ajutorul datei geospațiale MDS_Fuziune_NeN(MDS-ul obținut în urma fuziunii datelor gravimetrice cu datele ALS) și a poziției solare (obținută din datele meteorologice) pentru a genera informații la nivel de pixel ale zonelor umbrite sau luminate de soare. Date de intrare:

- Tile-ul de MDS_Fuziune_NeN;
- Vegetația preluată din MDS;

- Procentul de lumină care pătrunde prin vegetație, valoarea implicită setată la 3%, dar a fost testată și valoarea de 5%;
- Raster-ul cu înălțimea clădirilor calculat la etapa de preprocesare;
- Raster-ul cu valoarea azimutului clădirilor determinat anterior;
- Valoarea parametrului Albedo: care specifică reflectivitatea radiației cu unde scurte a tuturor suprafețelor (sol, acoperișuri, pereți și vegetație). Reprezintă o valoare între 0 și 1. Valoarea utilizată și dată de soft este de 0,15;
- Timpul local în Oradea la ora actuală este UTC de +3;
- Fișierul cu datele meteorologice rezultate în etapa de preprocesare, pentru perioada 2017-2019.

Dacă modelul a rulat cu succes, la finalul lui este necesar a se obține, ca date de ieșire, trei tipuri de date obligatorii :

- Un raster, în format *geotiff, denumit Distribuția_Energie_Solară, în care se prezintă vizual radiația totală în pixeli, în *kWh (Figura V-10). Acest fișier este însoțit de un fișier *txt în care se arată radiației totală a peretelui pentru fiecare coloană de perete. În coloanele în care se regăsește valoarea radiației acesta a fost calculată pentru fiecare voxel de perete, începând de la sol și deplasându-se în sus, mergând chiar în fiecare rând al gridului;
- MDS_nou este salvat în directorul cu date de ieșire pentru o utilizare ulterioară;
- Fișier de vegetație (Vegetationdata.txt) în care sunt incluse informații despre înălțimea și locația vegetației. Acest fișier, se poate utiliza în etapa de post-procesare a datelor SEBE.

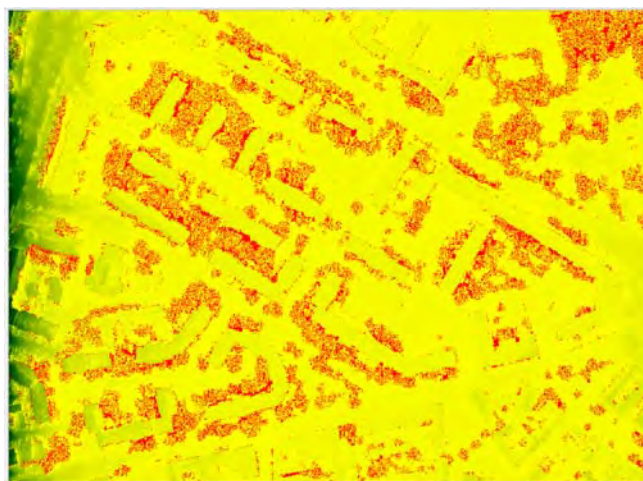


Figura V-10. Rezultat Distribuția radiației solare pentru tile MDS_R1_C2

Din cauza lipsei de cunoaștere cu exactitate a acurateței datelor meteorologice, aferente Municipiului Oradea, primele rezultate obținute, nu au fost corecte, observând că există valori zero sau negative în fișierul cu distribuția solară pe acoperișuri deși aplicația a rulat cu succes. Am efectuat o descărcare a altor parametri de pe site-ul de la NASA: <https://power.larc.nasa.gov/beta/data-access-viewer/> și prin urmare am modificat fișierul parametrilor meteorologici adăugând:

- temperatura aerul, dată în grade Celsius;
- suprafața cerului fără nori cu undă scurtă de radiație descendentă, tot în kW-oră/m²/ zi.

Fișierul final de date meteorologice s-a salvat în format *.txt pentru perioada de timp 01.01.2017-31.12.2019, pentru care am calculat radiația solară de pe acoperișurile clădirilor. Am reluat procesul de calculare a radiației solare pentru aceleași tile utilizând datele de intrare prezentate anterior, dar cu adăugarea noului fișier de date meteorologice. Prin urmare a fost efectuat un alt test, modificându-se și Timpul Zonal UTC de la +3 la +2. În urma modificării acestui parametru, rezultatul obținut a fost cel corect. În Figura V-11 se poate observa cum radiația solară de pe acoperișurile clădirilor înalte are valoarea maximă.

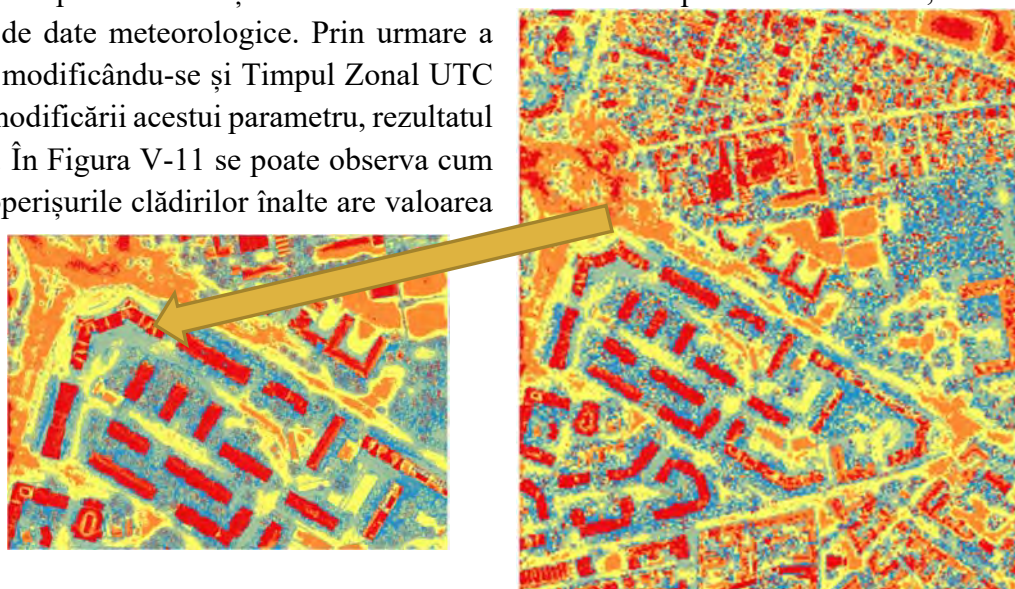
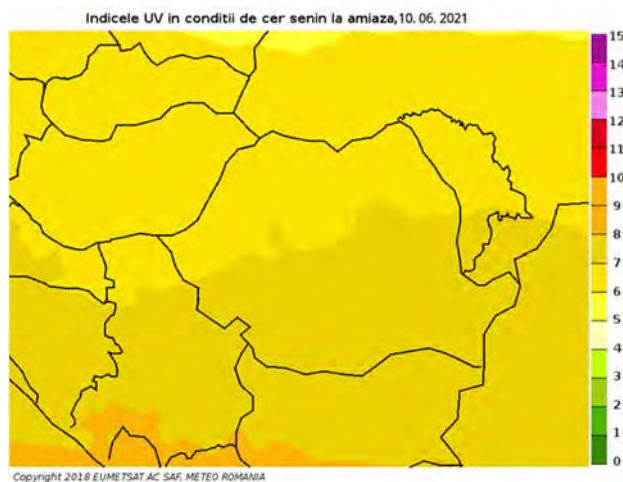


Figura V-11. Rezultatul distribuției solare pe acoperișul clădirilor înalte din tile MDS_R1_C2
Valorile obținute au fost comparate cu Harta Indicelui UV de pe <http://www.meteoromania.ro/vremea/indice-radiatie-ultravioleta/>, valoarea medie de 5-6 kWh calculată în condiții de cer senin, la ora prânzului într-o zi de vară, în anul 2021 (Figura V-12).

Figura V-12. Indicele UV pentru 10.06.2021,
(METEO 2021)



Procesul l-am repetat pentru toate cele 9 tile-uri de MDS_Fuziune_NeN. Valorile obținute sunt o medie a valorilor de radiație în Kwh, pentru o perioadă de 2 ani. Modelul de radiație solară rezultat permite estimări ale radiației solare pe suprafețele solului, acoperișurile și pereții clădirii, ignorând vegetația, eliminată din MDS. Se pot observa în Figura V-13 zonele de clădiri unde este benefică montarea de panouri solare pentru captarea radiației solare și transformarea clădirilor în construcții ecologice care utilizează energie alternativă.

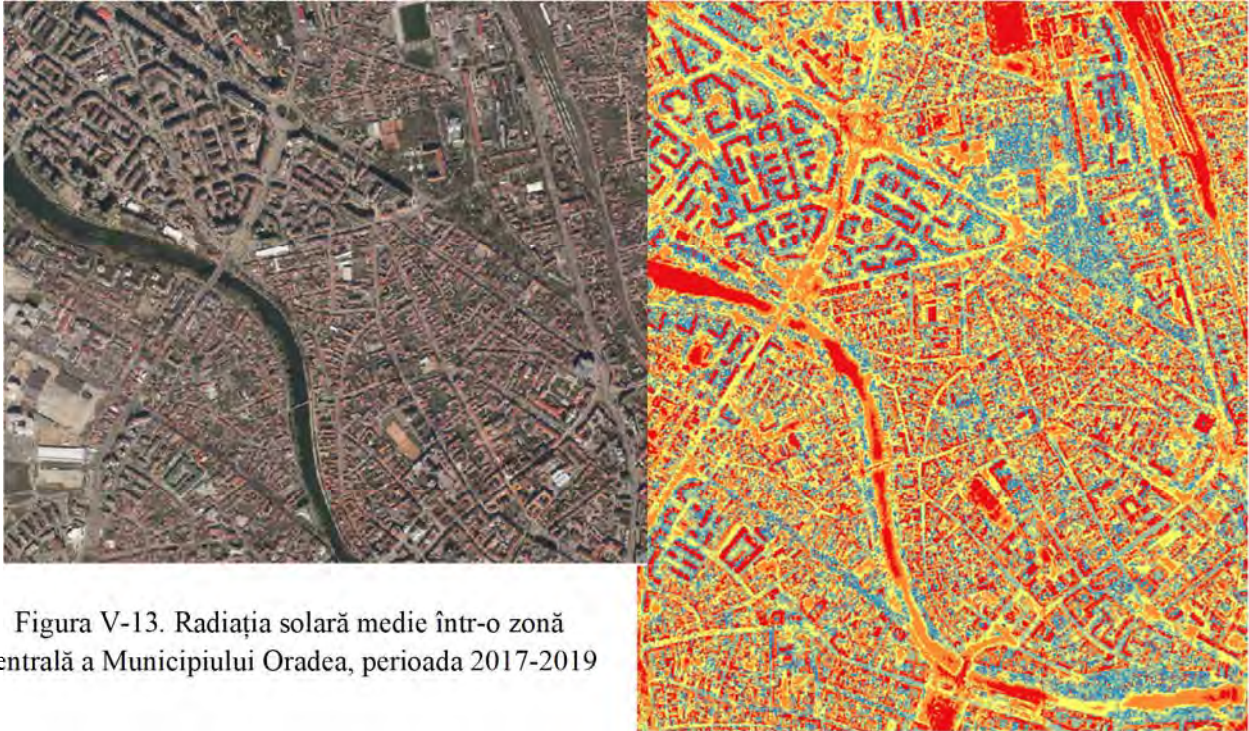


Figura V-13. Radiația solară medie într-o zonă centrală a Municipiului Oradea, perioada 2017-2019

5. Etapa de post-procesare permite o analiză mai amănunțită a produselor obținute prin crearea unor grafice a rezultatelor (Figura V-14), calcularea statisticilor, generarea profilelor având la bază modelul de radiație solară obținut.

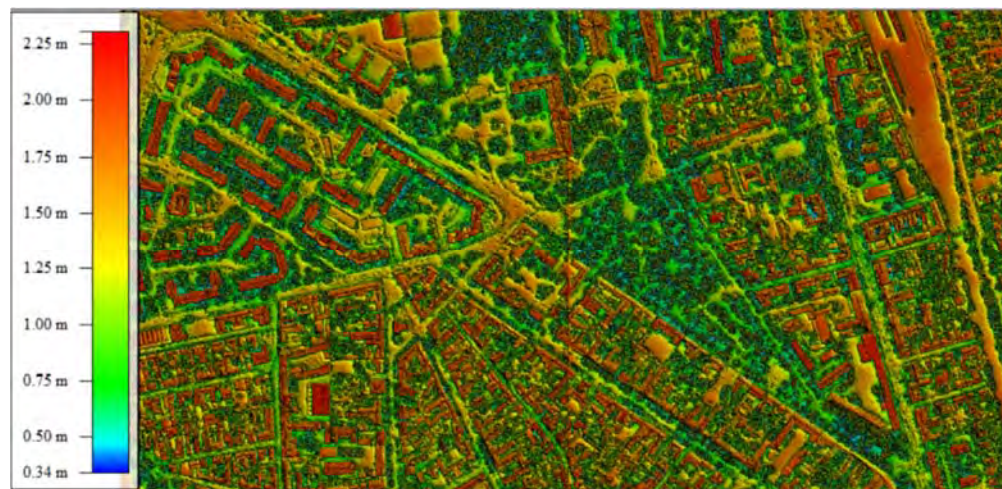


Figura V-14. Valoarea radiației solară medie, perioada 2017-2019

Aplicația astfel dezvoltată poate fi utilizată cu alte seturi de date aferente altor municipii sau orașe, având ca utilitate practică pentru crearea proiectelor de mediu, de conservare a energiei, de utilizare a energiilor alternativă. Informațiile despre radiațiile solare pot fi utilizate pentru estimarea prețurilor proprietăților, în ipoteza că radiația solară este valorificată în cadrul unei proprietăți și influențează valoarea acesteia, sau poate fi folosită de către municipalități pentru generarea de energie alternative, prin montarea panourilor solare pe clădirile cu factorul de radiație ridicat. În Figura V-15 se poate observa că deși

clădirile sunt înalte în toata zona aleasă, panourile solare devin utile dacă sunt montate pe partea de Nord, unde radiația solară este mai puternică.

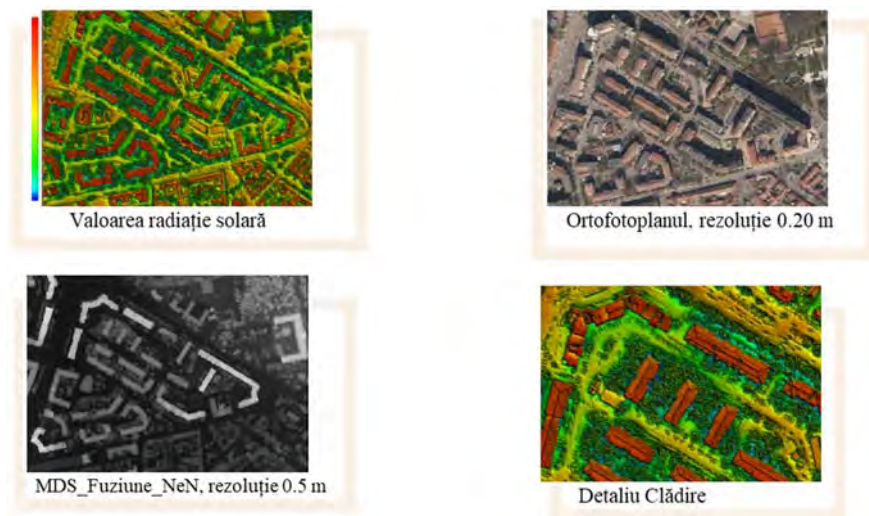


Figura V-15. Vizualizarea în detaliu a unei zone de clădiri înalte, prin datele geospațiale și prin rezultatul aplicației

VI. Concluzii generale, contribuții personale și perspective de viitor

Teza de doctorat, intitulată *Contribuții la crearea Orașelor Inteligente*, reprezintă o contribuție la menținerea mediului înconjurător și la dezvoltarea conceptului de oraș inteligent. Prin furnizarea unor date geospațiale precise și utilizarea acestora în cadrul unei aplicații dezvoltate în mediul GIS, am pus la dispoziția factorilor de decizie un instrument util în dezvoltarea componentei de mediu.

1. Concluzii generale

- În majoritatea țărilor dezvoltate există modele precise de geoid sau cvasigeoid gravimetric, acestea având rol de suprafață de referință pentru o serie întreagă de măsurători. România are în vedere o strategie unitară de dezvoltare a unui cvasigeoid gravimetric pentru întreaga suprafață a țării, în baza unor măsurători gravimetrice terestre, ce este dezvoltată și pusă în aplicare de către Centrul National de Cartografie;
- În urma evaluării preciziei modelului de cvasigeoid gravimetric local, rezultatul final a arătat că diferența pe altitudine este de ordinul a 0.20 m. Rezultatul obținut este confirmat și de studiul efectuat de (Hwang, Hsu, et al. 2020);
- În cadrul studiilor efectuate, am constatat că sunt utilizate pe plan internațional diferite metode de interpolare în funcție de setul de date de intrare:
 - În cadrul generării cvasigeoidului gravimetric metoda Kriging este cea mai precisă, dar pentru norul de puncte 3D (date ALS) aceasta nu a mai oferit o precizie așa de ridicată;
 - În cadrul software-ului open source WhiteBox GAP, metoda IDW a prezentat cea mai bună precizie dar per total metoda de interpolare NeN s-a demonstrat că generează cele mai mici erori pentru setul de date utilizat în cercetarea aferentă prezentei teze de doctorat, fiind implementată în majoritatea softurilor actuale de prelucrare a datelor 3D;
- Intenția generării unor date geospațiale precise și prezentarea acestora factorilor de decizie a condus la efectuarea unei fuziuni de date gravimetrice cu nor de puncte 3D și generarea MDS-ului de o acuratețe ridicată, util în aplicațiile orașelor inteligente;
- Pentru realizarea acestei fuziuni de date, am modificat și adaptat modulul AddInfo al softului OPALS, la seturile de date de intrare: date gravimetrice sub formă de grid și datele ALS;
- Rezultatul obținut în urma fuziunii datelor gravimetrice cu norul de puncte, reprezintă tot un nor de puncte 3D, o precizie altimetrică finală 0.14 m;
- În vederea stabilirii cu exactitate a calității produselor finale generate din norul 3D am efectuat un studiu comparativ între cele 2 MDS-uri (cel din date ALS compensate și cel din fuziunea datelor gravimetrice cu datele ALS) și MDS-ul din LAKI II. În urma studiului am constatat că rezoluția și precizia produselor finale generate în studiului derulat (MDS generat din norul de puncte 3D obținut în urma compensării și MDS generat din norul de puncte 3D obținut în urma fuziunii datelor gravimetrice cu datele ALS) sunt superioare rezoluției și preciziei aferente MDS-ului din LAKI II.

2. Contribuții personale

Obiectivele tezei sunt de mare interes deoarece prezintă necesitatea actuală de furnizare a unor date geospațiale precise factoriilor de decizie în vederea susținerii orașelor inteligente. Drept contribuții aduse prin prezenta teză pot aminti următoarele:

- A. Analiza metodelor de generare a modelelor de geoid gravimetric (mondial, regional sau local) de la gravimetria satelitară și hărțile rezultate de anomalii gravitaționale, până la gravimetria terestră și gridurile de anomalii locale sau regionale;
- B. Generarea unui cvasigeoid gravimetric pentru o zona de test (determinări și prelucrări gravimetrice), rezultate obținute fiind prezentate în Raportului de Cercetare nr 1;
- C. Abordarea originală propusă de verificare a cvasigeoidului gravimetric, prin analiza diferențelor de altitudini, bazată pe un cvasigeoid geometric calculat;
- D. Adaptarea setului de date brute ale proiectului LAKI II pentru Municipiul Oradea la modul de compensare implementat în cadrul softului OPALS, prin transformarea, cu un cod scris în limbajul de programare Python, a coordonatelor geografice ale traiectoriei în coordonate carteziene geocentrice;
- E. Generarea unor produse finale de o acuratețe ridicată necesită testarea diferiților parametri pentru realizarea unei compensări riguroase a norului de puncte 3D obținut prin scanare laser.
- F. Analizarea preciziei celor mai utilizate metode de interpolare, implementate în diferite softuri, utilizând date din teren (reperi de nivelment);
- G. Fuziunea datelor (norul de puncte 3D ALS și gridul de transformare în altitudini normale obținut de la cvasigeoidul gravimetric al județului Bihor) tratată teoretic și practic în teza de doctorat reprezintă o abordare originală propusă;
- H. Efectuarea unui studiu comparativ pentru evaluarea calității MDS-urilor generate din norul de puncte 3D și cel obținut în urma fuziunii datelor gravimetrice cu datele ALS;
- I. Generarea aplicației în mediul GIS privind calculul de radiație solară a acoperișurilor și a pereților clădirilor din zona Municipiului Oradea.

3. Perspective de viitor

Voi aminti câteva perspective viitoare de cercetare pornind de la aspectele dezvoltate în teza de doctorat:

- Clasificarea norului de puncte 3D obținut în urma fuziunii datelor, utilizând un algoritm de clasificare mai precis, cu minimum 4 clase;
- Generarea MDS_ului obținut în urma fuziunii utilizând 2 metode de interpolare implementate în softul OPALS și mai exact metoda NeN după care metoda MovingPlanes.
- Utilizarea în procesul de compensare a punctelor de control la sol pentru evaluarea calității norului de puncte obținut;
- Utilizarea setului de date geospațiale de acuratețe ridicată obținut în alte aplicații al componentei de mediu a unui oraș inteligent, de exemplu, aplicații care să permită generarea unui model pentru optimizarea aranjamentului copacilor în vederea atenuării stresului termic;
- Dezvoltarea unei platforme on-line de date deschise în care să fie prezentate rezultatele studiilor efectuate pentru Municipiul Oradea, creând posibilitatea unor abordări similare.

Bibliografie

- Abdalla, A., and D. Fairhead. 2011. "A new gravimetric geoid model for Sudan using the KTH method." *Journal of African Earth Sciences*.
- Axelsson, P. 2000. „DEM generation from laser scanner data Using adaptive TIN models.” *The International Archives of The Photogrammetry and Remote Sensing*, 33 (B4/1) 110-117.
- Bäumker, M., and F.-J. Heimes. 2001. "New Calibration and Computing Method for Direct Georeferencing of Image and Scanner Data Using the Position and Angular Data of an Hybrid Navigation System." *Proceedings OEEPE-Workshop Integrated Sensor Orientation, Hannover*.
- BGI, Bureau Gravimétrique International. 2008. *LAND GRAVITY DATA Romania*. Accesat Martie 30, 2021. <http://bgi.obs-mip.fr/data-products/gravity-databases/land-gravity-data/>.
- Biljecki, F., J. Stoter, H. Ledoux, S. Zlatanova, and A. Coltekin. 2015. "Applications of 3D City Models: State of the Art Review." *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 4. 2842-2889.
- Bonval, S., G. Balmino, A. Briais, M. Kuhn, A. Peyrefitte, N. Vales, R. Biancale, et al. 2012. "World Gravity Map." *Commission for the Geological Map of the World*.
- Burkhard, R. K.,. 1985. *Geodesy for the Layman*. US: National Oceanic and Atmospheric Administration.
- Căteanu, M., and Arcadie Ciubotaru. 2020. "Accuracy of Ground Surface Interpolation from Airborne Laser Scanning (ALS) Data in Dense Forest Cover." *ISPRS International Journal of Geo-Information* (9), 4.
- Chagoury, R. Jr. 2020. *The pandemic is accelerating smart city tech*. Octombrie 21. Accessed Januarie 26, 2021. <https://www.smartcitiesdive.com/news/the-pandemic-is-accelerating-smart-city-tech/587388/>.
- Chen, Z., B. Gao, and B. Devereux. 2017. ".State-of-the-Art: DTM Generation Using Airborne LIDAR Data." *Sensors (Basel)*.17(1):150.
- Chirilă, C. 2015. *Sisteme de referință spațiale*. București: Editura Tehnopress.
- Chourabi, Hafedh & Nam, Taewoo & Walker, Shawn & Gil-Garcia, J. Ramon & Mellouli, Sehl & Nahon, Karine & Pardo, Theresa & Scholl, Hans. 2012. „Understanding Smart Cities: An Integrative Framework.” *45th Hawaii International Conference on System Sciences*. 10.1109/HICSS.2012.615. 2289-2297.
- Cluj, Consiliul Județean. 2014. *Proiectul "Județul Cluj -SMART TERRITORY-*”. Accesat Februarie 26, 2021. <https://www.cjcluj.ro/proiecte.php?id=117>.
- CNC, Centrul Național de Cartografie. 2019. *DETERMINAREA UNUI CVASIGEOID PENTRU ZONA ROMÂNIEI*. Accesat Martie 28, 2021. <https://www.cngcft.ro/index.php/ro/portofoliu/proiecte-in-lucru/determinarea-unui-cvasigeoid-pentru-zona-romaniei>.
- Cuibac-Picu, I. A. 2020. *Compensarea Riguroasă A Benzilor Laser Scanner Aeropurtat* . Raport de cercetare nr II, București: UTCB- Scoala Doctorală- Facultatea de Inginerie civilă și instalații.
- Cuibac-Picu, I.A. 2020. *Suportul informatic cu date geospațiale precise utilizat la crearea și îmbunătățirea orașelor inteligente* . Raportul de cercetare Nr. III, București: UTCB- Școala Doctorală- Inginerie civilă și instalații.
- Drewes, H, and J Adam. 2019. "The International Association of Geodesy: from an ideal sphere to an irregular body subjected to global change." *Hist Geo Space Sci* 10 151-161.
- EnergyPlus. n.d. *Weather Data*. Accessed Martie 02, 2021. <https://energyplus.net/>.
- Fath, K., J. Stengel, W. Sprenger, H.R. Wilson, F. Schultmann, and T.E. Kuhn. 2015. "A method for predicting the economic potential of (building-integrated) photovoltaic in urban areas based on hourly Radiance simulations." *Sol. Energy*, 116 357-370.

- Forsberg, R. 1984. *A study of terrain reductions, density anomalies and geophysical inversion methods in gravity field modelling*. Ohio State University.
- Ghițău, D. 1983. „Geodezie - Definiție, obiect, scurtă privire istorică.” În *Geodezie și Gravimetrie Geodezică*, de D. Ghițău, 5-36. București: Editura didactică și pedagogică.
- Giffinger, R. 2018. *Europeansmartcities*. Accessed Februarie 24, 2021. <http://www.smart-cities.eu/?cid=2&ver=4>.
- Gliraa, P., N. Pfeifera, C. Briesea, and C. Ressler. 2015. "Rigorous Strip Adjustment Of Airborne Laser Scanning Data Base Don The ICP Algorithm." *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-3/W5*.
- Harrison, C. et al. 2010. „Foundations for Smarter Cities.” *BM Journal of Research and Development* 54 (no. 4): 1-16.
- Hebel, M., and U. Stilla. 2012. "Simultaneous calibration of ALS systems and alignment of multiview LiDAR scans of urban areas." *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on* 50(6) 2364–2379.
- Hofmann, B., and H. Moritz. 2006. *Physical geodesy (Second Corrected Edition)*. New York: New York: Springer.
- Hwang, C., Cheng-Gi Wang, and Li-Hua Lee. 2002. "Adjustment of relative gravity measurements using weighted and datum-free constraints." *Computers & Geosciences* 28(9) 1005-1015.
- Hwang, C., H. J. Hsu, W. Featherstone, C. C. Cheng, M. Yang, W. Huang, C. Wang, et al. 2020. "New gravimetric-only and hybrid geoid models of Taiwan for height modernisation, cross-island datum connection." *Journal of Geodesy*. 94. 10.1007/s00190-020-01412-5.
- Jiang, ., Y. Dang, and C. Zhang. 2020. "Gravimetric geoid modeling from the combination of satellite gravity model,terrestrial and airborne gravity data: a case study in the mountainous area, Colorado." *Earth, Planets and Space* 72:189.
- Joshi, Mitali Yeshwant, W. Selmi, M. Binard, Gilles-Antoine Nys, and J. Teller. 2020. "Potential For urban Greening with green roofs: a way Towards Smart Cities." *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume VI-4/W2* 87-94.
- Kim, K. B., H. S. Yun, and Ha J. Choi. 2020. "Accuracy Evaluation of Geoid Heights in the National Control Points of South Korea Using High-Degree Geopotential Model." *Appl. Sci.* 10, 1466.
- Krabill, W.B., and C.W. Wright. 2000. "Airborne Laser Mapping of Assateague National Seashore Beach." *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 66, No. 1 ASPRS 65-71.
- Kraus, K., and N. Pfeifer. 2001. "Advanced DTM generationFrom LiDAR data." *The International Archives ofPhotogrammetry and Remote Sensing*, 34(3/W4) 23-30.
- Kumar, P. 2011. *A CURVATURE BASED METHOD FOR SYSTEMATIC ERRORS ADJUSTMENT IN AIRBORNE LASER SCANNING DATA*. DISSERTATION Thesis, Florida: UNIVERSITY OF FLORIDA.
- Lambin, E.F., and H.J. Geist. 2006. "Land-Use and Land Cover Change Local Processes and Global Impact." *Springer: Berlin, Germany*, .
- Lindberg, F., C.S.B. Grimmond, A. Gabey, B. Huang, C.W. Kent, T. Sun, N.E. Theeuwes, and L. Järvi. 2018. "Urban Multi-scale Environmental Predictor (UMEP): An integrated tool." *Environ. Model. Softw.*, 99 70–87.
- Lindberg, F., P. Jonsson, T. Honjo, and D. Wästberg. 2015. "Solar energy on building envelopes—3D modelling in a 2D." *Sol. Energy*, 115 369–378.
- Marchenko, A. N., F. Barthelmes, U. Meyer, and P. Schwintzer. 2002. "Efficient Regional Geoid Computations from Airborne and Surface Gravimetry Data: A Case Study." *Vistas for Geodesy in the New Millennium* 223-228.
- METEO, Administrația Națională de Meteorologie. 2021. *INDICE RADIAȚIE ULTRAVIOLETĂ*. 10 Iunie. Accesat Iunie 20, 2021. <http://www.meteoromania.ro/vremea/indice-radiatie-ultravioleta/>.

- Nielsen, J. Emil. 2013. *Absolute gravimetry- for monitoring climate change and geodynamics in Greenland*. PhD Thesis, Technical University of Denmark. Accessed Martie 24, 2021. https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-90-481-8702-7_179.
- Odumosu, J.O., O.G. Ajayi, F.F. Idowu, and E.A. Adesina. 2018. "Evaluation of the various orthometric height systems and the Nigerian scenario – A case study of Lagos State." *Journal of King Saud University – Engineering Sciences* 46-53.
- Olesen, A.V., and R., Forsberg. 2007. "Airborne scalar gravimetry for regional gravity field mapping and geoid determination." *Proceedings of the 1st International Symposium of the International Gravity Field Service 'Gravity field of the Earth'*. Istanbul: Harita Dergisi. 277-282.
- Oradea-online. 2000. *Oradea: date geografice*. Accessed Martie 2, 2021. <https://www.oradea-online.ro/oradea/8/geografie.htm>.
- Otepka, J., G. Mandlbürger, and W. Karel. 2012. "The OPALS Data Manager - Efficient Data Management for Processing Large Airborne Laser Scanning Projects." *SPRS Annals, Comm. III, Volume 1-3*, ISSN: 2194-9042 153 - 159.
- Pahlevi, A. M., B. Bramanto, B. Triarahmadhana, S. Huda, D. Pangastut, D. D. Wijaya, A. Nur, K. Prijatna, M. Julianto, and A. B. Wijanarto. 2019. "Airborne gravity survey, towards a precise Indonesian geoid model (case study: Sumatera Island)." *Geomatics International Conference*.
- Palmisano, Sam. 2009. *IBM builds a smarter planet*. Accesat Februarie 24, 2021. <https://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/>.
- Pârvu, I M, I C Cuibac Picu, P D Dragomir, and R Pantan. 2021. "Promoting Open Data services to decision-makers: Providing interactive data through Web Maps and Web Applications for Oradea city and Bihor county." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Series*.
- Patrick, J. 2019. *ARSC a lansat Harta Proiectelor Smart City*. Octombrie 19. Accessed Februarie 28, 2021. <https://romaniansmartcity.ro/harta-proiectelor-smart-city/>.
- Pédrinis, F., M. Morel, and G. Gesquière. 2015. "Change detection of cities." In *3D Geoinformation Science*, Springer International Publishing: Cham 123–139.
- Petrie, G. 2009. „Current Developments in Airborne Laser Scanning Technologies.” *IX International Scientific&Technical Conference*. Attica, Grecia: RACURS. 41.
- Pfeifer, N., and C. Briese. 2007. "Geometrical aspect of airborne laser scanning and terrestrial laser scanning." *ISPRS Workshop on Laser Scanning*.
- Prieto, I., J. L. Izgara, and E. Usobiaga. 2019. "The Application of LiDAR Data for the Solar Potential Analysis Based on Urban 3D Model." *Remote Sens.*, 11, 2348 10.
- Ressl, C., G. Mandlbürger, and N. Pfeifer. 2009. "Investigating adjustment of airborne laser scanning strips without usage of GNSS/IMU trajectory data." *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 38,.
- Rohrba, F. 2015. *Point Density and Point Spacing*. 14 Octombrie. Accesat Mai 02, 2021. <https://felix.rohrba.ch/en/2015/point-density-and-point-spacing/>.
- Sanso, F, and M.G. Sideris. 2013. *Geoid Determination: Theory and Methods*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Sharp, G. C., S. W. Lee, and D. K. Wehe. 2002. "ICP registration using invariant features." *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 24(1) 90–102.
- Sjöberg, L.E., and A. Hunegnaw. 2000. "Some modifications of Stokes's formula that account for truncation and potential coefficient errors." *Journal of Geodesy* 74 232-238.
- Skaloud, J., and D. Lichti. 2006. "Rigorous approach to bore-sight self-calibration in airborne laser scanning." *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing* 61(1) 47–59.

- Skaloud, J., P. Schaer, Y. Stebler, and P. Tomé. 2010. "Real-time registration of airborne laser data with sub-decimeter accuracy." *ISPRS Journal of Photogrammetry and RemoteSensing* doi:10.1016/j.isprsjprs.
- Vaniček, P., and E. Krakiwsky. 1986. *Geodesy: The Concepts*. Amsterdam, The Netherlands:North-Holland Press: Elsevier Science Publishers.
- Varga, M. 2018. *The Application of Crustal Models in Regional Modelling of the Earth's Gravity Fields*. Phd thesis, Zagreb: UNIVERSITY OF ZAGREB FACULTY OF GEODESY.
- Vegacomp, Consulting. 2020. *RADIOGRAFIA SMART CITY*. Iunie. Accesat Februarie 26, 2021.
<https://vegacomp.ro/radiografia-smart-city-in-romania-anului-2020-594-de-proiecte-in-87-de-orase/>.
- Vosselman, G. 2000. „Slope based filtering of laser altimetry Data.” *The International Archives of Photogrammetry andRemote Sensing*, 33(B3) 935-942.
- Wikimedia. 2011. *File:EGM2008 gravity anomaly map*. Martie 14. Accessed Martie 30, 2021.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EGM2008_gravity_anomaly_map.svg.
- Yurkina, M. I. 2020. *Marea Enciclopedie Sovietică. - M.: Enciclopedie sovietică. 1969-1978*. 07 Iunie. Accesat Martie 12, 2021. <https://kemerovobarberwanted.ru/ro/>.
- Zăvoianu, F., and E. Oniga. 2017. *Fotogrammetrie Digitală*. Bucuresti: Editura Matrix ROM.
- Zlinszky, A., C. Ressler, G. Timár, R. Weber, B. Székely, C. Briese, and Norbert. J. . Pfeiffer. 2013. " A proof of concept: Airborne LIDAR-measured ellipsoidal heights of a lake surface correspond to a local geoid mode." *10.13140/2.1.1849.6964*.

Lista Lucrărilor Publicate

1. Iuliana Adriana Cuibac-Picu, Iuliana Maria Pârvu, Petre Iuliu Dragomir (2018). *PIXEL BASED CLASSIFICATION OF IMAGES*. RevCad 25/2018, pp 83-90, Romania, http://revcad.uab.ro/upload/44_711_Parvu_Picu_Dragomir.pdf;
2. Iuliana Adriana Cuibac Picu (2018). *UPDATING GEOSPATIAL DATA BY CREATING A HIGH RESOLUTION DIGITAL SURFACE MODEL*. Journal of Applied Engineering Sciences8(2):51-58DOI:10.2478/jaes-2018-0018 https://www.researchgate.net/publication/331122858_Updating_Geospatial_Data_by_Creating_a_High_Resolution_Digital_Surface_Model;
3. Iuliana Adriana Cuibac Picu, Petre Iuliu Dragomir, Ravi Peters (2020).*THE FUTURE OF MAPPING – 3D MAPS, THE COMPARISON OF TWO OF THE MOST USED METHODS IN PHOTOGRAMMETRIC FIELD* Journal of Applied Engineering Sciences | Volume 10: Issue 2. <https://doi.org/10.2478/jaes-2020-0018> <https://content.sciendo.com/view/journals/jaes/10/2/article-p119.xml>;
4. Iuliana Adriana Cuibac Picu, Iuliana Maria Pârvu, Petre Iuliu Dragomir, Daniela Poli (2020). *URBAN CLASSIFICATION FROM AERIAL AND SATELLITE IMAGES*. Journal of Applied Engineering Sciences | Volume 10: Issue 2, <https://doi.org/10.2478/jaes-2020-002>. <https://content.sciendo.com/view/journals/jaes/10/2/article-p163.xml>;
5. Iuliana Maria Pârvu, Iuliana Adriana Cuibac Picu, Petre Iuliu Dragomir, Radu Pantan (2021). *PROMOTING OPEN DATA SERVICES TO DECISION-MAKERS: PROVIDING INTERACTIVE DATA THROUGH WEB MAPS AND WEB APPLICATIONS FOR ORADEA CITY AND BIHOR COUNTY*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 664 012073, doi:10.1088/1755-1315/664/1/012073, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/664/1/012073/meta>