

**MINISTERUL EDUCAȚIEI
UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI
FACULTATEA DE GEODEZIE**

**TEZĂ DE DOCTORAT
REZUMAT**

**CONTRIBUȚII LA REALIZAREA LUCRĂRILOR
GEODEZICE ÎN DOMENIUL AERONAUTIC, PRIN
METODE ȘI TEHNOLOGII MODERNE**

Conducător de doctorat

Prof.univ.dr.ing. Petre Iuliu Dragomir

Doctorand

Ing. Sabina Plăvicheanu

Cuprins

Listă abrevieri	6
Capitolul 1. Aspecte introductive	9
Capitolul 2. Sisteme de coordonate de referință.....	11
2.1. Noțiuni generale privind sistemele de coordonate de referință.....	11
2.2. Sisteme de referință pentru altitudini	13
2.3. Transformări de coordonate	13
Capitolul 3. Stadiul actual, la nivel național și internațional, cu privire la realizarea studiilor aeronautice.....	14
3.1. Situația la nivel internațional: orientări, priorități, direcții, obiective cunoscute, stadiul existent al cunoașterii în domeniul aeronautic	14
3.1.1. Cadrul american.....	15
3.1.2. Cadrul european	15
3.2. Situația la nivel național.....	15
Capitolul 4. Date spațiale utilizate în sistemele informaționale specifice domeniului aeronautic.....	17
4.1. Studiu privind detectarea schimbărilor 3D pe întinderea suprafețelor de protecție din jurul aeroporturilor, utilizând înregistrări satelitare. Studiu de caz al Aeroportului Internațional Dubai, Emiratele Arabe Unite	17
4.1.1. Detectarea schimbărilor 3D utilizând imagini satelitare SAR	17
4.1.2. Detectarea schimbărilor 3D utilizând imagini satelitare electro-optice	22
4.1.3. Concluzii	23
4.2. Studiu privind prelucrarea și exploatarea imaginilor satelitare preluate de senzorul WorldView-2 și a produselor derivate rezultate, utilizând software-ul SOCET GXP v4.3. Studiu de caz al Aeroportului Internațional Ras Al-Khaimah, Emiratele Arabe Unite	24
4.2.1. Seturi de date utilizate.....	24
4.2.2. Caracteristicile senzorului WorldView-2	24
4.2.3. Prelucrarea și exploatarea imaginilor satelitare utilizând software-ul SOCET GXP v4.3.....	24
4.2.3.1. Configurarea spațiului de lucru	24
4.2.3.2. Date de intrare	25
4.2.3.3. Orientarea imaginilor	25
4.2.3.4. Triangulația.....	26
4.2.3.5. Generarea modelului digital al suprafeței de reflectanță.....	29
4.2.3.6. Filtrarea modelului digital al suprafeței de reflectanță.....	30
4.2.3.7. Generarea modelului digital al terenului	31
4.2.3.8. Generarea ortomozaicului	31

4.2.3.9. Validarea modelelor digitale derivate.....	31
4.2.3.10. Extragerea informației geospațiale	32
4.2.3.11. Modelarea 3D a clădirilor.....	32
4.2.3.12. Calitatea modelelor digitale derivate.....	33
4.2.4. Concluzii	33
Capitolul 5. Sisteme informaționale specifice domeniului aeronautic	35
5.1. Tipuri de entități specifice bazei de date	35
5.1.1. Suprafețe de limitare a obstacolelor.....	35
5.1.2. Date de teren și obstacolare în format electronic.....	37
5.1.2.1. Suprafețe de culegere a datelor de teren și obstacolare.....	37
5.1.2.2 Date de teren și obstacolare în format electronic.....	39
5.1.2.2.1. Seturi de date de teren.....	39
5.1.2.2.2. Seturi de date de obstacolare	40
5.2. Niveluri de abstractizare ale modelului de date	40
5.2.1. Modelul conceptual	41
5.2.2. Modelul logic	41
5.2.3. Modelul fizic	42
5.3. Metadate	42
5.4. Schimbul de date.....	44
5.5. Bază de date cartografice de aerodrom AMDB (<i>Aerodrome Mapping Database</i>)	45
5.5.1. Aplicații ale AMDB.....	46
5.5.2. Structura AMDB - Tipuri de entități specifice AMDB	46
5.5.3. Schimbul de date	50
5.6. Soluții existente pentru sistemele informaționale specifice domeniului aeronautic	51
5.6.1. Platforma GDMS.....	51
5.6.1.1. Studiu de caz al Aeroportului Internațional Manchester, Marea Britanie....	52
5.6.2. Platforma ESRI, extensia ArcGIS for Aviation.....	52
5.6.2.1. Studiu de caz al Aeroportului Internațional Manchester, Marea Britanie....	52
5.6.3. Platforma Ascend xyz	52
5.6.4. Platforma IDS AirNAV, Suita eTOD	53
5.6.5. Concluzii	53
5.7. Calitatea datelor aeronautice – Aeronautical Data Quality (ADQ).....	54
Capitolul 6. Integrarea studiilor aeronautice eTOD și a bazei de date cartografice de aerodrom AMDB, într-o bază de date centralizată.....	56

6.1. Aerodrome Master Database - Bază de date centralizată pentru eTOD și AMDB	56
6.2. Modelarea suprafețelor de culegere a datelor de teren și obstacolare eTOD	58
6.2.1. Modelul de date pentru Zona 1	58
6.2.2. Modelul de date pentru Zona 2	58
6.2.3. Modelul de date pentru Zona 3	60
6.2.4. Modelul de date pentru Zona 4	60
6.3. Automatizarea procesului de analiză pentru identificarea obstacolelor	61
6.4. Studiu de caz privind realizarea bazei de date cartografice de aerodrom pentru Aeroportul Internațional Yaoundé – Nsimalen, Camerun	64
6.4.1. Date spațiale utilizate	64
6.4.2. Fluxuri de lucru.....	64
6.4.2.1. Extragerea și modelarea informației 3D	64
6.4.2.2. Verificarea și validarea	66
6.4.3.3. Schimbul de date și interpretarea grafică.....	66
6.5. Concluzii.....	67
Capitolul 7. Considerații finale	68
7.1. Concluzii generale ale cercetărilor efectuate.....	68
7.2. Contribuții personale	69
7.3. Perspective asupra extinderii cercetărilor.....	71
Bibliografie.....	73

Listă abrevieri

AACR	RCAA/ Romanian Civil Aeronautical Authority	Autoritatea Aeronautică Civilă Română
ADQ	Aeronautical Data Quality	Calitatea datelor aeronautice
AGL	Above Ground Level	Deasupra nivelului solului
AIM	Aeronautical Information Management	Managementul Informației Aeronautice
AIP	Aeronautical Information Publication	Publicația de Informare Aeronautică
AIS	Aeronautical Information Services	Serviciul de Informare Aeronautică
AISP	Aeronautical Information Services Provider	Furnizor de Servicii de Informare Aeronautică
AIXM	Aeronautical Information Exchange Model	Modelul de Schimb al Informației Aeronautice
AMDB	Aerodrome Mapping Database	Bază de date cartografice de aerodrom
AMSL	Above Mean Sea Level	Deasupra nivelului mediu al mării
AMXM	Aerodrome Mapping Exchange Model	Modelul de Schimb al datelor cartografice de aerodrom
AOI	Area of interest	Suprafață/zonă de interes
ARP	Aerodrome Reference Point	Punctul de referință al aerodromului
ASDA	Accelerate-Stop Distance Available	Distanța disponibilă pentru accelerare-oprire
A-SMGCS	Advanced Surface Movement Guidance and Control System	Sistem avansat de control și ghidare a mișcării pe suprafață
CAA	Civil Aviation Authority	Autoritatea Aviației Civile
CWY	Clearway	Prelungire degajată
EASA	European Aviation Safety Agency	Agenția Europeană de Siguranță a Aviației

eTOD	Electronic Terrain and Obstacle Data	Date de teren și obstacolare în format electronic
EUROCAE	European Organisation for Civil Aviation Equipment	Organizația Europeană pentru Echipament Aeronautic Civil
EUROCONTROL	European Organisation for Safety of Air Navigation	Organizația Europeană pentru Siguranța Navigației Aeriene
FAA	Federal Aviation Administration	Administrația Federală a Aviației Americane
GIS	Geographic Information System	Sistem informațional geografic
GCP	Ground Control Points	Puncte de control la sol
GSD	Ground Sample Distance	Pas de eșantionare la sol
IATA	International Air Transport Association	Asociația Internațională de Transport Aerian
ICAO	International Civil Aviation Organisation	Organizația Aviației Civile Internaționale (OACI)
LDA	Landing Distance Available	Distanța disponibilă pentru aterizare
MSL	Mean Sea Level	Nivelul mediu al mării
NATS	National Air Traffic Services	Servicii Naționale de Trafic Aerian în Marea Britanie
OFZ	Obstacle Free Zone	Zonă liberă de obstacole
OIS	Obstacle Identification Surface	Suprafețe de identificare a obstacolelor
OLS	Obstacle Limitation Surfaces	Suprafețe de limitare a obstacolelor
PANS-OPS	Procedures for Air Navigation Services	Proceduri pentru servicii de navigație aeriană – Operarea aeronavelor
PBN	Performance Based Navigation	Navigație bazată pe cerințele de performanță
RESA	Runway End Safety Area	Suprafață de siguranță la capăt de pistă

RWY	Runway	Pistă
SWY	Stopway	Prelungire de oprire
THR	Threshold	Pragul pistei
TIN	Triangulated Irregular Network	Rețea neregulată triangulată
TIXM	Terrain Information Exchange Model	Modelul de Schimb al Informațiilor de Teren
TMA	Terminal Manoeuvring Area /Terminal Control Area	Regiune de control terminal
TODA	Take-off Distance Available	Distanța disponibilă la decolare
TORA	Take-off Run Available	Distanța disponibilă pentru rularea la decolare
TWY	Taxiway	Cale de rulare
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	Vehicul aerian fără pilot
UML	Unified Modelling Language	Limbaj unificat de modelare
XML	Extensible Markup Language	Limbaj de marcare extensibil

Capitolul 1. Aspecte introductive

În contextul actual al tendinței de creștere a gradului de urbanizare la nivel global, studiul din 2018 al Națiunilor Unite [1] a evaluat că 55% din populație este concentrată în mediul urban, ajungând la aproximativ 68% până în anul 2050 și creșterea populației la nivel mondial cu încă 2,5 miliarde de locuitori. Acești factori duc la nevoia eficientizării planificării spațiale, pentru o dezvoltare strategică.

Având în vedere amplasarea aeroporturilor în apropierea sau în interiorul marilor orașe, un sistem informațional pentru domeniul aeronautic este necesar pentru a gestiona eficient dinamica mediului urban, prin metode rapide și precise de vizualizare și analiză a informației geospațiale.

Pentru dezvoltarea unui sistem informațional aeronautic sunt utilizate informațiile obținute în urma studiilor aeronautice, al căror scop este reprezentarea digitală a terenului și a obstacolelor, pentru o mai bună înțelegere a mediului din jurul aeroporturilor, îmbunătățirea siguranței operațiunilor datorită securizării mediului în care se deplasează aeronavele, precum și suport pentru aplicații atât la sol, cât și la bordul aeronavelor.

Studiile aeronautice descriu condițiile, restricțiile și obligațiile impuse sau recomandate prin reglementările aeronautice civile naționale și internaționale pentru identificarea, evaluarea, supravegherea și controlul obstacolelor, prin definirea zonelor de protecție, a regimului maxim de înălțime pentru dezvoltarea structurilor din perimetrul aeroporturilor astfel încât să se încadreze în suprafața de limitare a obstacolelor.

Asigurarea desfășurării operațiunilor în siguranță în spațiul aerian și la sol se realizează prin utilizarea rezultatelor obținute în urma studiilor aeronautice în procesul de proiectare a procedurilor de zbor, al proiectării și exploatarei tehnice a infrastructurilor aeroportuale.

Realizarea studiilor aeronautice implică utilizarea mai multor programe și instrumente informatice de specialitate și participarea unui număr de entități și instituții (companii partenere – Prestatari de servicii, Beneficiarii - Autorități Aeronautice Civile, operatorii de aerodromuri, Companii aeriene, Administrații ale Serviciilor de Trafic Aerian, etc) în ciclul de viață al datelor și informațiilor aeronautice, proces ce necesită interoperabilitatea și standardizarea schimbului de informație și un grad ridicat de colaborare și comunicare între toate părțile implicate.

Aceste aspecte generează costuri ridicate și timp îndelungat pentru elaborarea și finalizarea proiectelor.

Scopul acestei cercetări constă în îmbunătățirea metodelor de implementare și realizare a studiilor aeronautice prin automatizarea proceselor, a fluxurilor de lucru și integrarea informației spațiale într-o bază de date centralizată, facilitând accesul la informația aeronautică pentru toate departamentele și părțile implicate și asigurând schimbul de date într-un format standardizat.

Obiectivele cercetării includ:

- realizarea modelelor digitale ale terenului folosind tehnologii moderne de achiziție și prelucrare a datelor spațiale;
- aplicarea tehnicilor de teledetecție pentru detectarea schimbărilor, cu scopul reducerii operațiunilor de mentenanță;

- testarea diverselor soluții existente pentru domeniul aeronautic și identificarea nevoilor particulare pentru această industrie;
- implementarea sistemului informațional geografic pentru domeniul aeronautic ce cuprinde *eTOD* (date electronice de teren și obstacolare) și *AMDB* (baza de date cartografice de aerodrom) integrate într-o bază de date centralizată;
- realizarea unui model de date, prin automatizarea proceselor pentru proiectarea suprafețelor de identificare a obstacolelor;
- accesibilitatea modelului obținut;
- eficientizarea metodelor de actualizare și producere a hărților aeronautice;
- adoptarea unor soluții rapide prin accesul la sistemul informațional;
- reducerea costurilor de execuție și control al calității prin automatizarea proceselor.

Prezenta teză de doctorat este structurată în șapte capitole, după cum urmează:

Capitolul 1 – Aspecte introductive în care sunt definite studiile aeronautice, individualitatea și complexitatea acestor lucrări, precum și scopul și obiectivele cercetării.

Capitolul 2 – Sisteme de coordonate de referință cuprinde noțiuni generale cu privire la sistemele de coordonate de referință, sistemele de referință pentru altitudini și transformările de coordonate. Acestea sunt necesare modelării observațiilor geodezice, ca funcții de parametri necunoscuți de interes.

Capitolul 3 – Stadiul actual, la nivel național și internațional, cu privire la realizarea studiilor aeronautice prezintă necesitatea sistemelor informaționale pentru domeniul aeronautic, ce includ modele digitale de precizie ridicată, identificarea obstacolelor pentru siguranța operațiunilor și distribuția produselor interoperabile.

Capitolul 4 – Date spațiale utilizate în sistemele informaționale specifice domeniului aeronautic prezintă două studii de caz în care am utilizat datele geospațiale obținute prin tehnici de teledetecție; primul studiu de caz pentru detectarea schimbărilor pe întinderea suprafețelor de protecție din jurul aeroporturilor, prin înregistrări satelitare SAR, cât și ale senzorilor optici, iar în cel de-al doilea studiu de caz etapele parcurse în vederea prelucrării imaginilor satelitare preluate cu senzor optic și exploatarea acestora și a produselor derivate pentru integrarea rezultatelor în GIS.

Capitolul 5 – Sisteme informaționale specifice domeniului aeronautic prezintă tipurile de entități specifice, structura bazelor de date, schimbul de date aeronautice, precum și o analiză a platformelor și aplicațiilor existente ce oferă soluții pentru această industrie, cu studii de caz pentru testarea acestora.

Capitolul 6 – Integrarea studiilor aeronautice eTOD și a bazei de date cartografice de aerodrom AMDB într-o bază de date centralizată descrie contribuțiile privind perfecționarea realizării studiilor aeronautice prin automatizarea proceselor și modelarea suprafețelor de protecție din jurul aeroporturilor și integrarea informației aeronautice într-o bază de date centralizată.

Capitolul 7 – Considerații finale, în care sunt prezentate concluziile generale ale cercetării efectuate, contribuțiile originale aduse prin prezenta lucrare, precum și perspective asupra extinderii cercetărilor.

Capitolul 2. Sisteme de coordonate de referință

2.1. Noțiuni generale privind sistemele de coordonate de referință

Pe parcursul acestei cercetări și în cadrul studiilor de caz, am lucrat cu date exprimate în diverse sisteme de coordonate de referință utilizate în țările respective, din Europa, Orientul Mijlociu și Africa, ce necesită cunoașterea parametrilor și a algoritmilor de transformare a coordonatelor în sistemul de referință comun.

➤ În Marea Britanie, se utilizează:

- Sistemul de coordonate British National Grid care adoptă proiecția Transverse Mercator, cu următorii parametri:
 - Punctul origine al sistemului are următoarele coordonate geografice:
 - Latitudine $B_0 = 49^\circ \text{ N}$ (Latitude of Origin)
 - Longitudine $L_0 = 2^\circ \text{ W}$ (Central Meridian)
 - Coordonatele originii în Sistemul de Proiecție:
 - $E_0 = 400000 \text{ m}$ (False Easting)
 - $N_0 = -100000 \text{ m}$ (False Northing)
 - Factorul de scară $F_0 = 0,9996012717$ (Scale Factor)
- Datumul OSGB36 (Ordnance Survey Great Britain 1936) ce are la bază Elipsoidul Airy 1830 și introducerea parametrilor aferenți:
 - semi-axa mare $a = 6377563,396 \text{ m}$ (Semi-major axis)
 - semi-axa mică $b = 6356256,909 \text{ m}$ (Semi-minor axis)
 - turtirea geometrică $f = 1/299,3249646$ (Flattening)

Într-o anumită măsură, distorsiunile din rețeaua tradițională de triangulație OSGB36 sunt inevitabile. Deoarece nu este posibil să se utilizeze un singur set de parametri de transformare a coordonatelor pe întreg teritoriul țării, sunt necesare diferite transformări locale. Din acest motiv, transformarea între ETRS89 și OSGB36 nu este o transformare Helmert standard. Prin urmare, este necesar să se deducă parametrii locali de transformare pentru a obține conversia coordonatelor.

Ordnance Survey a dezvoltat o transformare numită The National Grid Transformation [2].

Se utilizează modelul de transformare între ETRS89 și OSGB36, denumit OSTN15 (Ordnance Survey National Grid Transformation) pentru coordonate planimetrice. Aceasta se aplică coordonatelor geografice folosind parametrii independenți care trebuie calculați atât pentru latitudine, cât și pentru longitudine. Transformarea OSTN15 constă dintr-o rețea de tip grid de 700 km pe 1250 km de vectori de translație, la rezoluția de 1 km, care acoperă întreaga suprafață a Marii Britanii. Parametrii de transformare ai unui anumit punct sunt calculați prin interpolare bi-liniară de la parametrii colțurilor subcelulei de 1 km în care se regăsește punctul.

Totodată, se utilizează modelul de transformare între altitudine elipsoidală și cea ortometrică ETRS89 – ODN (Ordnance Datum Newlyn) sau datumul național vertical, denumit modelul geoidului OSGM15 (Ordnance Survey Geoid Model).

Suprafața de referință ODN este un model local al geoidului optimizat, cu punctul zero la Newlyn, Cornwall.



Figura 2.1. Diagrama transformărilor de coordonate

Se realizează o transformare între datumuri și apoi conversia dintre datumul OSGB36 în Sistemul de coordonate British National Grid - proiecție Tranverse Mercator (UKTM) (Figura 2.1).

Coordonatele planimetrice în sistem OSGB36 se determină folosind modelul OSTN15, iar altitudinea ortometrică este determinată folosind modelul geoidului OSGM15; se utilizează programul pentru transformări de coordonate pus la dispoziție de Ordnance Survey [3].

➤ În Emiratele Arabe Unite, în Emiratul Dubai se utilizează atât sistemul de coordonate DLTM (Dubai Local Transverse Mercator), cât și UTM, zona 40, emisfera Nordică, ce au la bază elipsoidul WGS-84.

- Sistemul de coordonate DLTM este adoptat de Municipality Dubai, cu următorii parametri:

- Punctul origine al sistemului are următoarele coordonate geografice:
 - Latitudine $B_0 = 0^\circ \text{ N}$ (Latitude of Origin)
 - Longitudine $L_0 = 55^\circ 20' \text{ E}$ (Central Meridian)
- Coordonatele originii în Sistemul de Proiecție:
 - $E_0 = 500000 \text{ m}$ (False Easting)
 - $N_0 = 0 \text{ m}$ (False Northing)
- Factorul de scară $F_0 = 1.0$ (Scale Factor)

- Sistemul de coordonate UTM, zona 40, emisfera Nordică, cu următorii parametri:

- Punctul origine al sistemului are următoarele coordonate geografice:
 - Latitudine $B_0 = 0^\circ \text{ N}$ (Latitude of Origin)
 - Longitudine $L_0 = 57^\circ \text{ E}$ (Central Meridian)
- Coordonatele originii în Sistemul de Proiecție:
 - $E_0 = 500000 \text{ m}$ (False Easting)
 - $N_0 = 0 \text{ m}$ (False Northing)
- Factorul de scară $F_0 = 0,9996$ (Scale Factor)

➤ În Emiratele Arabe Unite, în Emiratul Ras Al-Khaimah, sistemul de coordonate este UTM, zona 40, emisfera Nordică, ce are la bază elipsoidul WGS-84.

➤ În Camerun, sistemul de coordonate este UTM, zona 32, emisfera Nordică, ce are la bază elipsoidul WGS-84.

- Punctul origine al sistemului are următoarele coordonate geografice:
 - Latitudine $B_0 = 0^\circ \text{ N}$ (Latitude of Origin)
 - Longitudine $L_0 = 9^\circ \text{ E}$ (Central Meridian)
- Coordonatele originii în Sistemul de Proiecție:

- $E_0 = 500000$ m (False Easting)
- $N_0 = 0$ m (False Northing)
- Factorul de scară $F_0 = 0,9996$ (Scale Factor)

2.2. Sisteme de referință pentru altitudini

În Marea Britanie, sistemul de referință național pentru altitudini este Ordnance Datum cu punctul de referință la Newlyn, Cornwall.

În Emiratele Arabe Unite, în Emiratul Dubai se utilizează EGM2008, iar în Emiratul Ras Al Khaimah, se utilizează EGM96 ca referință pentru altitudini.

În Camerun, se utilizează EGM96 ca referință pentru altitudini.

2.3. Transformări de coordonate

Capitolul 3. Stadiul actual, la nivel național și internațional, cu privire la realizarea studiilor aeronautice

3.1. Situația la nivel internațional: orientări, priorități, direcții, obiective cunoscute, stadiul existent al cunoașterii în domeniul aeronautic

Strategia ICAO, Global Air Navigation Plan 2016-2030 (GANP) [4] al cărei scop este asigurarea continuității și armonizarea datelor, vizează implementarea navigației bazate pe performanță.

Punerea în aplicare a navigației bazate pe performanță PBN (Performance based navigation) [5] ce folosește tehnologia GNSS, sprijină proiectarea eficientă a spațiului aerian și sistematizarea rutelor de trafic aerian, utilizând capacitățile avansate de navigație ale aeronavelor (RNAV – area navigation). De asemenea, contribuie la reducerea impactului asupra mediului, creșterea capacității și îmbunătățirea siguranței prin criteriile de identificare a obstacolelor.

Pentru a sprijini evoluția obiectivelor GANP [6], sunt necesare:

- date aeronautice de calitate
- automatizarea serviciilor aeronautice de informare (AIS) din punct de vedere al gestionării, procesării, verificării, utilizării și schimbului de date
- seturi de date digitale pentru publicația de informare aeronautică (AIP)
- seturi de date de teren
- seturi de date de obstacole
- seturi de date cartografice de aerodrom pentru aeroporturile internaționale
- seturi de date pentru proceduri de zbor (IFP – Instrument Flight Procedures).

Individualitatea studiilor aeronautice duce la particularizarea metodelor de achiziție și procesare a datelor spațiale, adaptând fluxurile de lucru la scopul aplicațiilor.

Baza de date cartografice de aerodrom, AMDB (Aerodrome Mapping Database) este produsă utilizând mai multe surse de date: determinări GNSS, modele digitale ale terenului și ortofotoplanuri de înaltă rezoluție care pot fi derivate din zboruri fotogrammetrice cu platforme UAV, imagini de teledetecție sau date LiDAR. Datorită suprafeței restrânse a ariei de interes (perimetrul aeroportului) și ținând cont de costurile proiectului, metodele fotogrammetrice reprezintă o alegere optimă, însă pentru aeroporturile internaționale unde traficul aerian nu permite operarea unei platforme UAV sau determinarea reperilor fotogrammetrici, pentru a evita impactul asupra operațiunilor, alegerea optimă pentru realizarea unui AMDB este prin imagini de teledetecție [7], [8].

Prin acest proiect de cercetare se dorește îmbunătățirea procedeelor de realizare a studiilor aeronautice și a întocmirii și actualizării hărților aeronautice pentru atingerea siguranței aeronautice, ca parte integrantă în proiectarea și exploatarea tehnică a aerodromurilor, prin implementarea unei baze de date centralizatoare în mediul GIS ce înglobează un sistem informațional geografic pentru domeniul aeronautic, precum și o bază de date cartografice de aerodrom, permițând astfel accesul la informația geospațială prin servicii interoperabile.

3.1.1. Cadrul american

3.1.2. Cadrul european

3.2. Situația la nivel național

La momentul actual, România deține 16 aeroporturi internaționale în apropierea marilor orașe, clasificate în funcție de numărul de pasageri [9] înregistrat în primul trimestru al anului 2019 (Tabel 3.1):

Tabel 3.1. Aeroporturi internaționale în România, clasificate în funcție de numărul de pasageri în primul trimestru al anului 2019

Nr.	Oraș	Denumire Aeroport	Indicativ ICAO
1	București Otopeni	Aeroportul Internațional Henri Coandă	LROP
2	Cluj-Napoca	Aeroportul Internațional Avram Iancu	LRCL
3	Timișoara	Aeroportul Internațional Traian Vuia	LRTR
4	Iași	Aeroportul Internațional Iași	LRIA
5	Sibiu	Aeroportul Internațional Sibiu	LRSB
6	Craiova	Aeroportul Internațional Craiova	LRCV
7	Suceava	Aeroportul Internațional Stefan cel Mare	LRSV
8	Bacău	Aeroportul Internațional George Enescu	LRBC
9	Târgu Mureș	Aeroportul Internațional Transilvania	LRTM
10	Oradea	Aeroportul Internațional Oradea	LROD
11	Constanța	Aeroportul Internațional Mihail Kogălniceanu	LRCK
12	Satu Mare	Aeroportul Internațional Satu Mare	LRSM
13	Baia Mare	Aeroportul Internațional Maramureș	LRBM
14	București Băneasa	Aeroportul Internațional Aurel Vlaicu	LRBS
15	Arad	Aeroportul Internațional Arad	LRAR
16	Tulcea	Aeroportul Internațional Delta Dunării	LRTC

Acestea sunt aerodromuri certificate EASA conform Reg. (UE) 139/2014 [10].

Dintre aerodromurile operaționale, lista aerodromurilor civile autorizate [11], după cum urmează (Tabel 3.2):

Tabel 3.2. Aerodromurile autorizate din România

Nr.	Oraș	Denumire Aerodrom	Indicativ ICAO
1	Caransebeș	Banat - Caransebeș	-
2	Tuzla	Tuzla	LRTZ
3	Sibiu	Măgura	LRCD
4	Brașov	Sânpetru	LRSP
5	Ploiești	Gheorghe Valentin Bibescu Ploiești	LRPW
6	Cluj-Napoca	Dezmir - Cluj	-
7	Arad	Charlie-Bravo Șiria	LRCB
8	Târgu-Mureș	Mureșeni	LRMS
9	Iași	Iași Sud	LRIS
10	Craiova	Craiova - Sud	LRCW
11	Pitești	Geamăna	LRPT
12	Deva	Săulești Constantin Manolache	LRDV
13	București	Clinceni	LRCN
14	Baia Mare	Tăuții-Magheruș	-
15	Bistrița	Bistrița	LRBN

Prin Strategia Națională pentru Dezvoltarea Durabilă a României [12], se introduce proiectul pentru dezvoltarea transportului intermodal ce asigură o conexiune rapidă între mijloace diferite de transport, aerian, feroviar și rutier.

De asemenea, România beneficiază prin proiectul SPICE [13] (*Synchronized PBN Implementation – Cohesion Europe*) cofinanțat de Mecanismul pentru Interconectarea Europei al Uniunii Europene și coordonat de EUROCONTROL, ce face parte din etapa de implementare a programului SESAR (Cerul Unic European), de instalare a procedurilor PBN, echiparea aeronavelor cu capabilități PBN și dezvoltarea infrastructurii de navigație aeriană.

În același context, în decursul anului 2016, a fost livrat Autorității Aeronautice Civile Română (AACR) primul proiect conform cu specificațiile ICAO pentru baza de date eTOD (date electronice de teren și obstacolare) pentru **Aeroportul Internațional Iași**, urmat de **Aeroportul Internațional Maramureș, Baia Mare** și în 2017 **Aeroporturile Internaționale Henri Coandă, București Otopeni și Aurel Vlaicu, București Băneasa** [14], **proiecte la care am participat prin implementare și dezvoltare**, prin intermediul companiei SC Cornel & Cornel Topoexim SRL.

În cadrul proiectului SPICE, Compania Națională Aeroporturi București utilizează informația geospațială aferentă acestor baze de date pentru cele două aeroporturi, LROP și LRBS, în vederea proiectării procedurilor PBN.

Pentru realizarea studiilor aeronautice și întocmirea hărților de obstacolare pentru Aeroportul Internațional Maramureș, Baia Mare [15], s-a utilizat o combinație între metode fotogrammetrice de preluare a imaginilor aeriene cu platformă UAV și determinări clasice. De asemenea, s-au efectuat operații geodezice, prin observații GNSS pentru determinarea reperilor fotogrammetrici. Modelele digitale obținute în urma procesării au acuratețea verticală ± 7 cm și ortofotoplanul de înaltă rezoluție cu acuratețea orizontală de ± 3 cm. Produsele derivate sunt utilizate pentru evaluarea și identificarea obstacolelor.

Realizarea studiilor aeronautice pentru certificarea sau autorizarea aerodromurilor, proiectarea și exploatarea tehnică a aerodromurilor și a heliporturilor reprezintă o necesitate pentru menținerea și îmbunătățirea standardelor.

Capitolul 4. Date spațiale utilizate în sistemele informaționale specifice domeniului aeronautic

4.1. Studiu privind detectarea schimbărilor 3D pe întinderea suprafețelor de protecție din jurul aeroporturilor, utilizând înregistrări satelitare. Studiu de caz al Aeroportului Internațional Dubai, Emiratele Arabe Unite

4.1.1. Detectarea schimbărilor 3D utilizând imagini satelitare SAR

Acest studiu are scopul de a oferi o soluție tehnică, prin detectarea schimbărilor din zona de interes, utilizând înregistrări satelitare preluate la momente diferite, pentru a testa dezvoltarea unor structuri 3D în raport cu spațiul aerian protejat. Studiul a fost realizat în colaborare cu L3Harris Geospatial, prin intermediul companiei SLC Geomatic Solutions Ltd.

Necesitatea acestui studiu este demonstrată prin nevoia de a actualiza studiile aeronautice cu frecvența și calitatea datelor impuse de ICAO, într-un mod eficient, atât din punct de vedere al costurilor cât și al fluxurilor tehnologice. Ținând cont de costurile ridicate asociate unor achiziții LiDAR sau prin imagini de teledetecție, aceste metode de colectare a datelor spațiale sunt mai puțin accesibile pentru marea majoritate a aeroporturilor, mai ales pentru cele regionale.

Avantaje:

- Eficientizarea procesului de analiză, prin identificarea zonelor unde s-au produs schimbări, comparând imagini satelitare preluate în ani consecutivi.
- Reducerea costurilor de procesare și analiză, considerând dinamica și viteza dezvoltării urbane în raport cu ciclicitatea achiziției datelor.

Obiective:

Abordarea tehnică vizează utilizarea imaginilor satelitare preluate cu senzori activi, în două etape:

I. În primă instanță, analiza și interpretarea înregistrărilor SAR (Synthetic-Aperture Radar) preluate de sistemul Sentinel-1.

II. Utilizarea rezultatelor obținute în prima etapă și detectarea schimbărilor 3D folosind imagini satelitare SAR de foarte înaltă rezoluție, preluate de senzorul comercial TerraSAR-X.

Informațiile 3D se obțin prin exploatarea imaginilor SAR preluate de platforma comercială TerraSAR-X, operată de Agenția Spațială Germană (DLR - German Aerospace Center) și Airbus Defence & Space (EADS Astrium), prin tehnici de interferometrie și obținerea modelelor digitale ale terenului și ale suprafețelor.

Pentru zona de interes din acest studiu, am ales unul dintre cele mai aglomerate aeroporturi internaționale la nivel mondial și în prezent, al treilea hub din lume pentru transportul internațional de marfă. De asemenea, rezultatele obținute au o utilitate ridicată în procesul de analiză, în contextul dezvoltării urbane într-un ritm alert în Emiratul Dubai.

În prima etapă, ca date de intrare am utilizat următoarele scene satelitare preluate de Sentinel-1:

- T1 (utilizate ca referință) din August 2016 la:
 - 2016-08-16

- 2016-07-23
- 2016-08-28
- T2 din Noiembrie 2017 la:
 - 2017-11-15
 - 2017-11-03
 - 2017-11-27

Imaginile au fost prelucrate folosind setul de instrumente software SARscape Analytics Toolbox creat de L3Harris Geospatial împreună cu Sarmap SA.

SARscape Analytics Toolbox face parte din SARscape v5.5.3 ce este implementat în software-ul ENVI v5.5.3, instalat pe o stație de lucru cu sistem de operare Windows 10, 64bit.

Datele de intrare trebuie să aibă următoarele proprietăți:

- să fie colectate de același senzor: Sentinel-1A
- să aibă aceeași geometrie la achiziție (Ascending sau Descending): Ascending
- să aibă același unghi incident
- să aibă același tip de date: Product type - SLC (Single Look Complex)
- să aibă aceeași polarizare: singulară/simplă (single): HH sau VV; sau dublă (dual): HH+HV sau VV+VH, unde
HH – semnal radar transmis orizontal, recepționat orizontal
VV – semnal radar transmis vertical, recepționat vertical
HV – semnal radar transmis orizontal, recepționat vertical
VH – semnal radar transmis vertical, recepționat orizontal.

Informațiile derivate din unda electromagnetică includ date despre direcția de propagare, lungimea de undă, polarizarea, amplitudinea (intensitatea) și informații de fază.

Un aspect ce trebuie menționat sunt provocările pe care le întâmpinăm lucrând cu date SAR, cum ar fi geometria side-looking a imaginilor SAR, deformări geometrice provocate de relief, fenomenele de contracție și inversiune (foreshortening), suprapunere (layover) și umbrire (shadowing), și zgomotul fazei, îndeosebi în zonele urbane.

Produsele de nivel 1 ale Sentinel-1, SLC (Single Look Complex) preluate în modul de operare IW (Interferometric Wide) au dimensiunea imaginii de 250 km și rezoluția spațială de aproximativ 5x20 m (single look) [16].

Produsele IW SLC conțin o imagine pe bandă (sub-swath), pe canalul de polarizare, deci un total de trei imagini pentru polarizare singulară/simplă (single) sau șase imagini pentru polarizare dublă (dual). Fiecare imagine a benzii conține o serie de bursts, unde fiecare burst a fost procesat ca o imagine SLC separată.

Modulul „**SAR Image Geocoding**” ce face parte din SARscape Analytics Toolbox, se aplică pentru geocodificarea unei imagini SAR din care este derivată informația de intensitate.

Imaginile SLC sunt georeferențiate utilizând informații despre orbita satelitului corespunzătoare geometriei de preluare a imaginilor, ce se regăsesc în fișierele auxiliare Sentinel-1 Auxiliary Files pe website-ul de control al calității Sentinel-1 [17].

Geocodificarea imaginilor SAR este procesul prin care imaginea este reeșantionată de la geometria radar, pentru a obține un produs în proiecție UTM WGS-84. Procesul de geocodificare include calibrarea radiometrică și normalizarea datelor SAR, calibrarea geometrică utilizând DEM (SRTM 3v4 cu rezoluția de 90 m sau SRTM 1v3 cu rezoluția de 30 m), în acest caz am utilizat SRTM 3v4.

Sistemul de coordonate al datelor de ieșire depinde de sistemul de coordonate al DEM-ului utilizat, care este UTM, zona 40, emisfera Nordică, ce are la bază elipsoidul WGS-84.

Pentru evaluarea preciziei geolocalizării se utilizează puncte de control (GCP) determinate prin tehnologie GNSS, metoda RTK (Real Time Kinematic) măsurători cinematice în timp real, folosind sistemul bază-rover. Precizia de determinare este de ± 2 cm planimetrică și ± 3 cm altimetrică.

Fluxul de lucru pentru geocodificarea imaginilor SAR de tip SLC este prezentat în Figura 4.1.

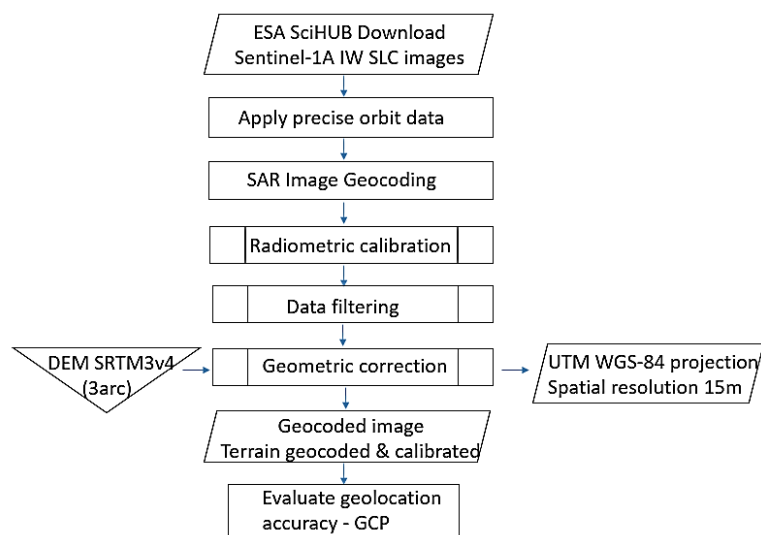


Figura 4.1. Flux de lucru pentru geocodificarea imaginilor SAR de tip SLC

Modulul „**SAR Change Detection**” inclus în SARscape Analytics Toolbox, analizează amplitudinea și faza, informații care sunt derivate din imaginile SLC și, în urma analizei, creează un raster ce reprezintă o hartă de clasificare prin care se identifică schimbările dintre cele două imagini.

Acest flux de lucru poate detecta schimbări la scară mică în structura scenelor.

Analiza amplitudinii utilizează intensitatea imaginilor SAR pentru a detecta schimbările temporale.

Analiza fazei utilizează coerența sau indicele de stabilitate dintre scene pentru a detecta schimbările.

Clasificarea se bazează pe un prag al indicelui de stabilitate (coerență interferometrică) și pe un prag al raportului dintre intensitatea imaginii T2 și intensitatea imaginii T1.

Raportul (ratio) oferă informații cu privire la variația temporală a intensității retrodifuzate. Retrodifuzarea depinde de rugozitatea solului și constanta dielectrică.

Indicele de stabilitate (stability index) (coerența interferometrică) furnizează informații despre variația difuzorilor elementari la rezoluția dimensiunii subcelulei.

Datele de intrare pentru acest flux de lucru sunt perechea de imagini Sentinel-1 IW SLC (mod TOPSAR). Se utilizează ca referință DEM-ul SRTM 3v4 cu rezoluția spațială 90 m pentru ortorectificare.

Datele de ieșire au sistemul de coordonate UTM, zona 40, emisfera Nordică, ce au la bază elipsoidul WGS-84 și sistemul de referință pentru altitudini este EGM96. Rezoluția spațială a fișierului raster rezultat este de 15 m.

Indicele de stabilitate reprezintă pragul de coerență interferometrică și variază de la 0 la 1; în cazul în care valorile sunt mai apropiate de 1 au fost detectate obiecte mai stabile, pentru valori apropiate de 0 se detectează modificările maxime. Valoarea 0,2 este setată implicit, această valoare fiind strict legată de relieful predominant și referința temporală dintre imaginea T1 și T2.

Pragul raportului (dintre valoarea intensității retrodifuzate a imaginii T2 și cea a imaginii T1) exprimat în dB are valoarea 3 setată implicit, această valoare fiind strict legată de relieful predominant și referința temporală dintre imaginea T1 și T2.

Fluxul de lucru pentru detectarea schimbărilor între imaginile SLC geocodificate este prezentat în Figura 4.2.

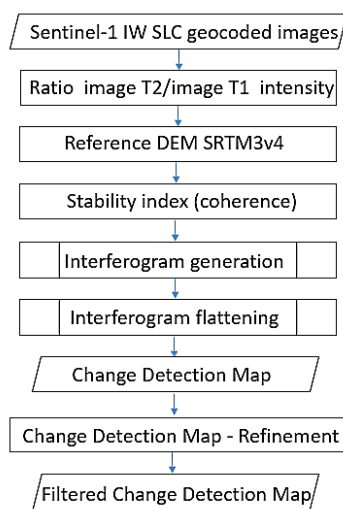


Figura 4.2. Flux de lucru pentru detectarea schimbărilor dintre două imagini SLC geocodificate

Am obținut *Change Detection Map*, fișierul raster ce reprezintă harta de clasificare a schimbărilor, în aria de interes, în intervalul de timp August 2016 – Noiembrie 2017. Am exportat rezultatele în Google Earth Pro pentru vizualizare (Figura 4.3).



Figura 4.3. Change detection map - rezultate vizualizate în Google Earth Pro

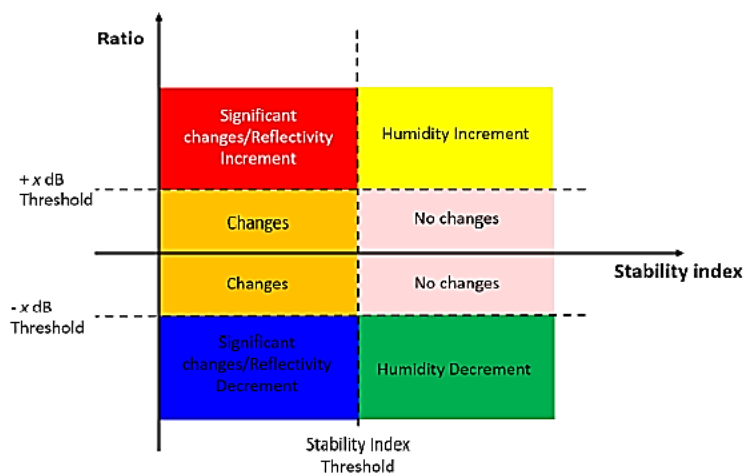


Figura 4.4. Graficul descrierii clasificării

Interpretarea și evaluarea hărții de clasificare din Figura 4.3 se realizează cu ajutorul graficului din Figura 4.4 astfel:

- culoarea roz - nicio schimbare
- culoarea roșie - schimbări semnificative, incrementarea reflexivității
- culoarea albastră - schimbări semnificative, decrementarea reflexivității
- culoarea verde - decrementarea umidității
- culoarea galbenă - incrementarea umidității
- culoarea portocalie - clasa de schimbări la scară mică

Modulul „**SAR Change Detection – Classification Refinement**” inclus în SARscape Analytics Toolbox – Refinement se aplică pentru rafinarea rezultatelor obținute (Figura 4.5).

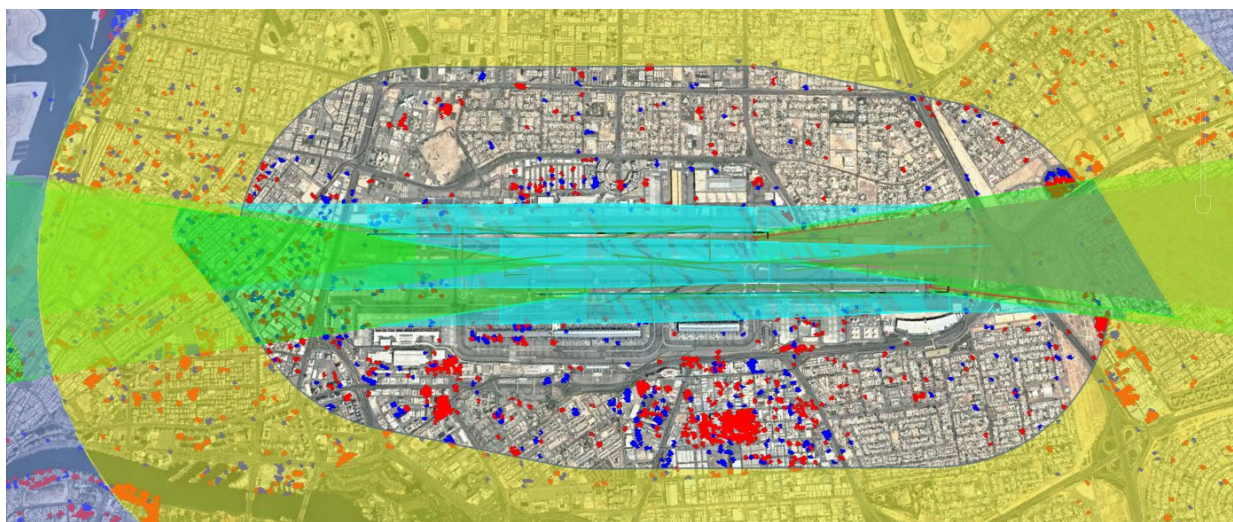


Figura 4.5. Filtered change detection map și suprafețele de protecție OLS din jurul aeroportului, vizualizate în Google Earth Pro

Odată identificate zonele în care s-au produs schimbări în intervalul August 2016 – Noiembrie 2017, în cea de-a doua etapă, pentru a extrage altitudinea, este necesară o pereche de scene satelitare preluate de TerraSAR-X. Datorită costurilor ridicate asociate unei noi achiziții, folosirea unor imagini din arhivă reprezintă o alegere optimă. Acestea pot fi preluate în modul de operare StripMap (SM) – scene satelitare 30 km polarizare

simplă, 15 km polarizare dublă și rezoluție până la 3 m, sau SpotLight (SL) – scene satelitare 10 km x 10 km și rezoluție până la 2 m.

După o căutare extinsă a imaginilor din arhivă, nu am identificat nicio pereche de scene cu acoperire pentru zona de interes.

Așadar am considerat continuarea studiului pentru detectarea schimbărilor 3D utilizând imagini satelitare electro-optice, din arhivă.

4.1.2. Detectarea schimbărilor 3D utilizând imagini satelitare electro-optice

Datorită lipsei imaginilor din arhivă preluate de TerraSAR-X pentru zona de interes, am considerat detectarea schimbărilor 3D utilizând imagini satelitare electro-optice din arhivă, preluate de senzorul Pléiades-1A.

Seturile de date utilizate sunt (Figura 4.6):

T1 (utilizate ca referință): cuplu stereoscopic preluate la data de 2013-04-14, acoperire cu nori 0%, rezoluția spațială de 0,5 m la unghiul de incidență 20.0°

T2:

- 2015-08-20, acoperire cu nori 0%, rezoluția spațială de 0,5 m la unghiul de incidență 16.1°
- 2017-11-29, acoperire cu nori 0%, rezoluția spațială de 0,5 m la unghiul de incidență 18.8°
- 2018-05-05, acoperire cu nori 0%, rezoluția spațială de 0,5 m la unghiul de incidență 31.2°

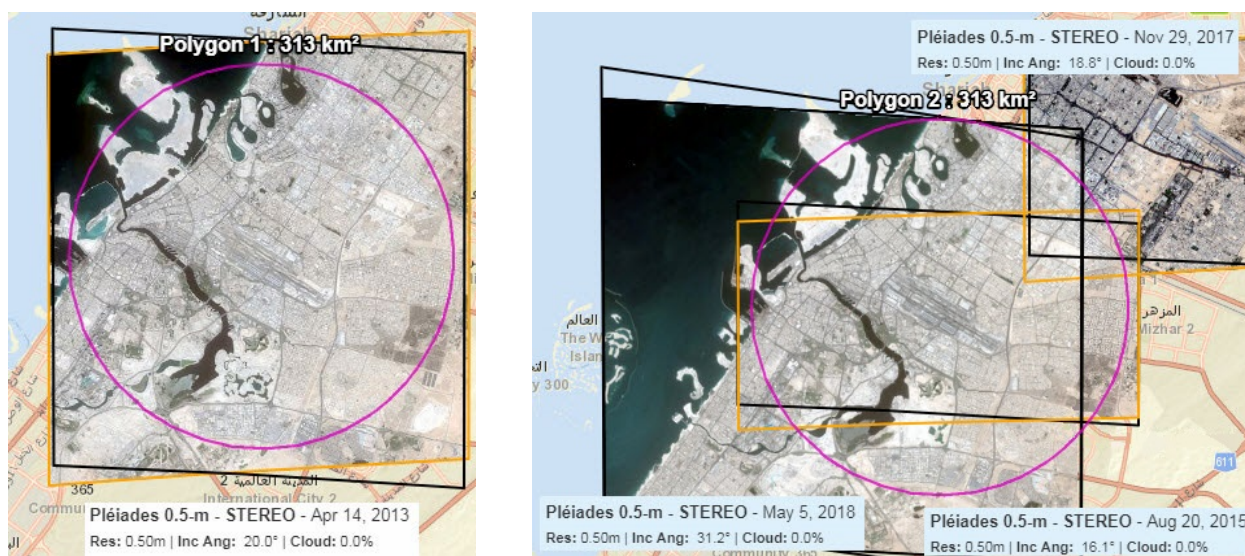


Figura 4.6. Seturi de date utilizate pentru zona de interes, T1 în stanga, T2 în dreapta

Imaginile sunt co-registrate și folosind GCP și SRTM 3v4 ca referință pentru a realiza triangulația, am generat modelele digitale ale terenului pentru cele două achiziții.

Punctele de control (GCP) au fost determinate prin tehnologie GNSS, prin metoda RTK (Real Time Kinematic) măsurători cinematice în timp real, folosind sistemul bază-rover. Precizia de determinare este de ± 2 cm planimetrică și ± 3 cm altimetrică.

Produsele derivate sunt modelul digital al suprafeței (DSM) la rezoluția de 2 m, modelul digital al terenului (DTM) la rezoluția de 5 m și ortomosaic 50 cm rezoluție.

Validarea modelelor digitale derivate se realizează prin compararea cu un set independent de observații GNSS. Rezultatele obținute prin compararea modelului digital cu setul de date independent, au o acuratețe verticală de $\pm 0,5$ m.

Cele două DSM provenite din achizițiile T1 și T2 se compară pentru a extrage informația spațială, prin calculul diferențelor de altitudine ΔZ (Figura 4.7).

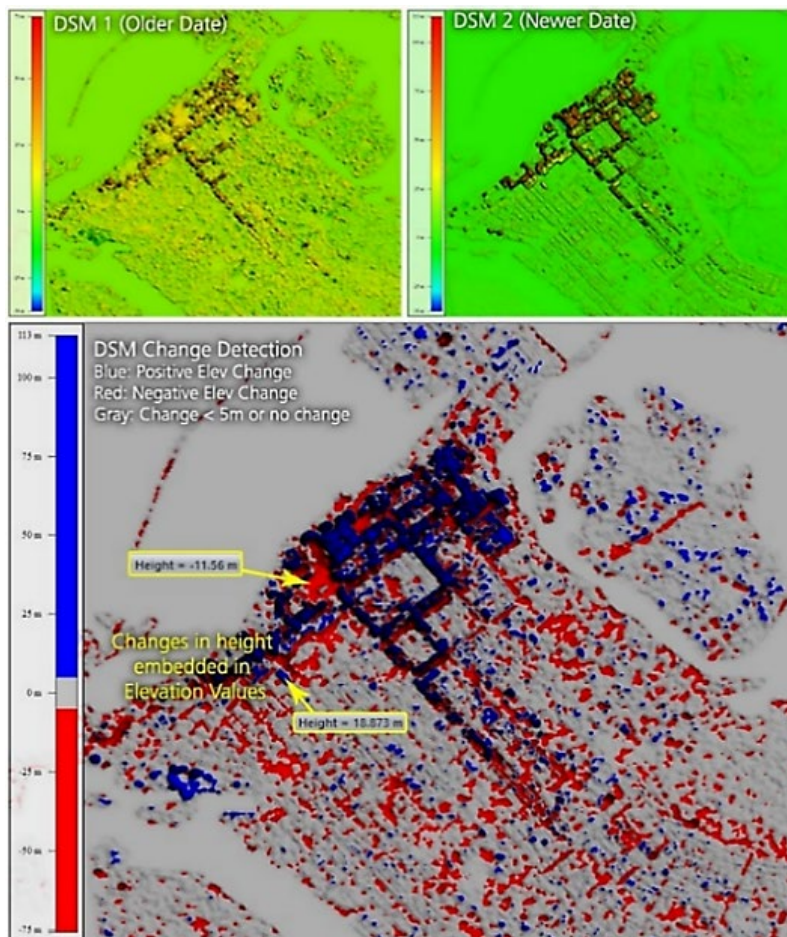


Figura 4.7. Detectarea schimbărilor 3D rezultate prin compararea celor două DSM

Pentru a interpreta Figura 4.7, cu albastru se reprezintă valorile pozitive ale diferenței de altitudine, cu roșu valorile negative, iar cu gri valorile mai mici de 5 m sau nu este detectată nicio schimbare.

4.1.3. Concluzii

Datorită utilizării modelelor digitale ale suprafețelor obținute din imagini satelitare electro-optice preluate la un interval de 5 ani, algoritmi identifică un număr considerabil de zone în care s-au produs schimbări. Rezultatele obținute susțin utilitatea conceptului de detectare a schimbărilor 3D din zona de interes, folosind imagini satelitare multitemporale preluate de senzor optic.

La momentul redactării acestui studiu, generația actuală pe senzori SAR de rezoluție foarte înaltă (VHR - Very High Resolution) nu este suficient de accesibilă din punct de vedere al costurilor asociate sau senzorii de rezoluție medie nu satisfac cerințele tehnice ale studiului, astfel încât această modalitate este destul de costisitoare pentru a evidenția zonele în care s-au produs schimbări 3D din aria de interes și a eficientiza procesul de analiză pentru protejarea spațiului aerian din jurul aeroportului.

4.2. Studiu privind prelucrarea și exploatarea imaginilor satelitare preluate de senzorul WorldView-2 și a produselor derivate rezultate, utilizând software-ul SOCET GXP v4.3. Studiu de caz al Aeroportului Internațional Ras Al-Khaimah, Emiratele Arabe Unite

Situat în Golful Persic, în Emiratele Arabe Unite, la 20 km sud de orașul Ras al-Khaimah, Aeroportul Internațional Ras-Al-Khaimah (OMRK) operează pe pista 16/34 de apropiere de precizie CAT I, cod 4.

Zona de interes are o acoperire de aproximativ 500 km² și reprezintă suprafețele de protecție ale spațiului aerian din jurul aeroportului.

4.2.1. Seturi de date utilizate

Pentru zona de interes, am utilizat un cuplu stereoscopic de înaltă rezoluție; imaginile satelitare au fost preluate de senzorul optic **WorldView-2**, la data de 21 Iunie 2017, având acoperire cu nori de 0%, rezoluția spațială de 0,54 m (GSD) la unghiul de 23.1° de la nadir (*off-nadir angle* măsurat de la nadir la centrul imaginii în momentul preluării), 8 benzi multispectrale, poziția Soarelui pe boltă la 71.3°.

4.2.2. Caracteristicile senzorului WorldView-2 [18]

Imaginile satelitare utilizate pentru acest studiu sunt livrate în nivelul de procesare Ortho-Ready (2A) Stereo, le sunt aplicate corecții geometrice, utilizând ca referință o bază constantă de altitudini pentru a permite ortorectificarea. Acestea sunt livrate împreună cu fișierele Image Support Data, necesare pentru procesul de prelucrare, și un fișier stereo care conține informații despre imaginile din perechea stereo, unghiurile din momentul achiziției, altitudinea și datele de efemeride, calibrarea geometrică, metadatele imaginii, date radiometrice și funcții raționale.

Acuratețea geolocalizării este demonstrată a fi sub 3,5 m CE90 (Circular Error) și 3,6 m LE90 (Linear Error), fără utilizarea punctelor de control la sol (GCP) și 2 m CE90 cu registrația GCP. Cu alte cuvinte, acuratețea orizontală este de 2 m CE90 cu GCP, gradul de încredere fiind 90%.

4.2.3. Prelucrarea și exploatarea imaginilor satelitare utilizând software-ul SOCET GXP v4.3

SOCET GXP v4.3 este un pachet software de exploatare a datelor geospațiale, furnizat de **BAE Systems**, utilizat în domeniul teledetecției, al fotogrammetriei și al cartografiei, pentru prelucrarea imaginilor satelitare, a imaginilor aeriene preluate din aeronave sau cu platforme UAV și a datelor LiDAR, a modelării și vizualizării 3D, a extracției informației și exploatării video.

Interoperabilitatea cu suita ESRI ArcGIS oferă posibilitatea actualizării bazelor de date geospațiale prin integrarea caracteristicilor extrase și a metadatelor aferente.

4.2.3.1. Configurarea spațiului de lucru

Am configurat următoarele setări pentru spațiul de lucru, utilizând SOCET GXP versiunea 4.3:

- Sistemul de Coordonate: Geographic WGS-84 și datumul vertical: MSL EGM96.
- DTED și EGM2008 sunt furnizate în pachetul SOCET GXP 4.3 și sunt asociate imaginilor.

DTED (Digital Terrain Elevation Data) este un standard de seturi de date digitale, livrate în trei niveluri de detaliu diferite (Level 0, Level 1 și Level 2), care a fost dezvoltat de US National Geospatial Intelligence Agency (NGA). DTED0 (Level 0) are rezoluția spațială de aproximativ 900 m (30 secunde de arc), DTED1 (Level 1) are rezoluția spațială de aproximativ 90 m (3 secunde de arc), iar DTED2 (Level 2) are rezoluția de aproximativ 30 m (1 secundă de arc). DTED2 este setat în mod implicit și este folosit ca referință pentru datele de teren.

EGM2008 (Earth Gravitational Model 2008) Modelul Gravimetric al Pământului 2008, lansat public de către US National Geospatial Intelligence Agency (NGA), are la bază elipsoidul de rotație WGS-84.

4.2.3.2. Date de intrare

Am utilizat perechea de imagini stereo 17JUN21065502 și 17JUN21065613. Imaginile WorldView-2 pancromatice și multispectrale au suprapunere completă (100%) pentru această zonă de interes.

Arhiva de date primită de la furnizor conține un dosar pentru benzi pancromatice (056398232010_01_P001_PAN), un dosar pentru benzi multispectrale (056398232010_01_P001_MUL), un dosar pentru fișiere GIS (de tip shapefile) și fișier cu metadatele imaginilor, fișier RPC și fișier stereo. Fiecare imagine este segmentată în 3 tile-uri R1C1, R2C1, R3C1.

Am creat câte o imagine virtuală, unind cele 3 tile-uri ale fiecărei imagini.

Împreună cu imaginile, se importă coeficienții polinomiali raționali RPC (Rational Polynomial Coefficient) ca metadatele modelului geometric.

4.2.3.3. Orientarea imaginilor

Pentru a realiza orientarea imaginilor, am considerat metoda coeficienților polinomiali raționali (RPC). Ecuatiile RPC reprezintă relația dintre coordonatele imagine și coordonatele teren pentru senzorul de preluare.

$$x_{ij} = \frac{P_{i1}(X,Y,Z)_j}{P_{i2}(X,Y,Z)_j} \quad y_{ij} = \frac{P_{i3}(X,Y,Z)_j}{P_{i4}(X,Y,Z)_j} \quad (3)$$

$$P_{n(X,Y,Z)_j} = a_1 + a_2Y + a_3X + a_4Z + a_5YX + a_6YZ + a_7XZ + a_8Y^2 + a_9X^2 + a_{10}Z^2 + \\ + a_{11}XYZ + a_{12}Y^3 + a_{13}YX^2 + a_{14}YZ^2 + a_{15}Y^2X + a_{16}X^3 + a_{17}XZ^2 + \\ + a_{18}Y^2Z + a_{19}X^2Z + a_{20}Z^3 \quad (4)$$

unde x_{ij} , y_{ij} sunt coordonatele imagine

X , Y , Z sunt coordonatele punctelor din spațiul obiect

a_i sunt coeficienți polinomiali raționali. [19]

Elementele de orientare directă a senzorilor se exprimă prin determinarea poziției platformei și a elementelor de altitudine a acesteia, sau prin ecuațiile RPC, care depind de diferențele de nivel din teren.

4.2.3.4. Triangulația

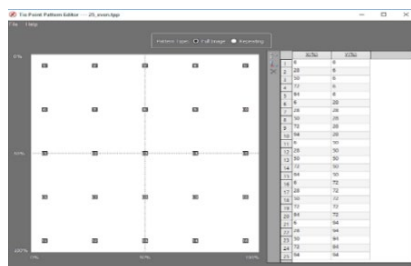
Pentru a realiza triangulația, ca date de intrare am introdus cele două imagini virtuale rezultate pentru benzile pancromatice (Image Setup), apoi fișierul ce conține coordonatele punctelor de control GCP și DTM-ul folosit în procesul de triangulație (DTED2) (Data Setup).

Primul pas este marcarea punctelor de control (GCP) necesare orientării imaginilor și a punctelor de legătură folosite în procesul de corelare automată, cele două imagini stereoscopice fiind registrate.

Automatic Point Measurement (APM) generează în mod automat puncte de legătură (Tie points), corelând pozițiile acestora din toate imaginile. APM folosește informații ale benzilor și imaginilor pentru a crea posibile locații ale punctelor de legătură în zona de dublă acoperire, ulterior folosește corelarea imaginilor pentru a măsura cu acuratețe linia și coloana pixelilor pentru fiecare punct de legătură. Astfel, am configurat următoarele setări:

- Algoritm: *APM*
- Strategia: *apm.apm_strat*
- Dispunerea punctelor (Point Layout): Tie Point Pattern: 25_even (Figura

4.8)



Există mai multe tipare pentru dispunerea punctelor de legătură. Tiparele "even" acoperă întreaga imagine și sunt destinate imaginilor satelitare. Selecția unui tipar mai dens este recomandat pentru imaginile greu de corelat.

Figura 4.8. Tiparul punctelor de legătură (Tie points pattern)

În același timp, avantajele utilizării algoritmului *APM* sunt verificarea și eliminarea unor puncte de legătură alese incorect (de exemplu în zone acoperite cu vegetație).

Algoritmul a returnat 46 de puncte imagine identificate, a căror poziție este determinată prin linie și coloană; acestea se pot observa în Figura 4.9. Cu galben se reprezintă punctele de control (GCP), iar cu verde punctele de legătură (Tie Points).

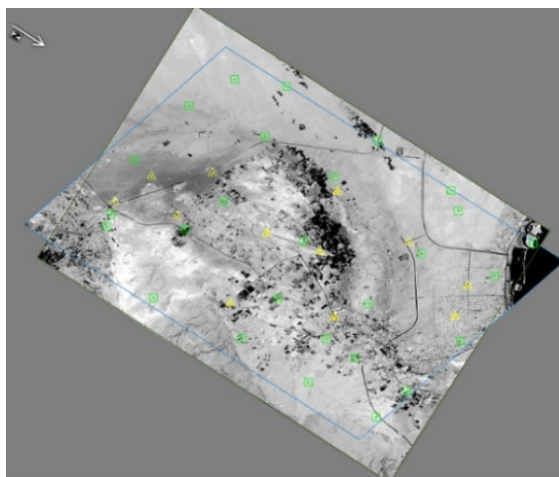


Figura 4.9. Dispunerea punctelor de legătură (culoarea verde) și a GCP (culoarea galben)

Pentru rezolvarea triangulației prin *Solve Triangulation*, am configurat următoarele setări:

- Strategia utilizată: *auto_blunder_detect.solve* (detectarea automată a erorilor)
- Prin *Interactive Point Measurement/ Solve Details*, se pot selecta punctele de control care intră în procesul de triangulație, iar prin *IPM Multiport* se vizualizează mai multe ferestre (mai mult de 4 simultan) pentru toate imaginile în care se regăsește punctul de control respectiv. În aceste ferestre mărite, se efectuează punctarea pe imagine, conform schițelor și observațiilor GNSS.

Punctele de control (GCP) au fost determinate prin tehnologie GNSS, prin metoda RTK (Real Time Kinematic) măsurători cinematice în timp real, folosind sistemul bază-rover. Precizia de determinare este de ± 2 cm planimetrică și ± 3 cm altimetrică.

Se utilizează punctele de legătură (Tie points) și punctele de control la sol (GCP). Se determină pentru fiecare punct de control precizia de localizare și erorile medii pătratice pe direcțiile celor 3 coordonate, calculate pe fiecare direcție din diferența între coordonatele punctelor măsurate prin tehnologie GNSS și cele marcate/ punctate pe imagini.

Procesul de triangulație este un proces iterativ. Rezultatele sunt acceptate în momentul în care $RMS < 1$, așadar se reia procesul prin remăsurarea punctelor de control pe imagini și eliminarea erorilor reziduale.

Rezultatele obținute în a doua iterație sunt (conform Tabel 4.1 și Figura 4.10):

Tabel 4.1. Precizia punctelor de control – triangulația imaginilor PAN

Description	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)	RMSE (m)	Eroarea de punctare (pix)
GCP-01A	0.141	0.276	-0.106	0.328	0.22
GCP-02	-0.020	-0.209	-0.264	0.337	0.27
GCP-03	-0.200	0.105	-0.029	0.228	0.19
GCP-04A	-0.518	-0.466	-0.001	0.697	0.61
GCP-04B	-0.508	-0.192	-0.297	0.619	0.33
GCP-05A	-0.814	0.354	0.406	0.976	0.44
GCP-05B	-0.285	0.035	0.092	0.302	0.16
GCP-05C	-0.254	-0.250	0.250	0.435	0.25
GCP-06	0.323	0.278	0.153	0.453	0.23
GCP-07A	-0.056	0.236	-0.388	0.458	0.29
GCP-07B	-0.401	0.310	0.168	0.534	0.13
GCP-07C	-0.377	-0.087	0.149	0.415	0.21
GCP-07D	-0.033	-0.121	0.119	0.173	0.28
GCP-08	0.165	-0.206	-0.002	0.264	0.09
GCP-09	-0.146	0.392	0.443	0.609	0.59
GCP-09A	0.455	0.771	0.452	1.003	0.55
GCP-10B	-0.262	0.219	-0.175	0.384	0.46
GCP-10C	-0.191	0.643	0.304	0.736	0.28
GCP-11A	0.068	-0.346	-0.025	0.354	0.67
GCP-11B	0.151	-0.218	0.054	0.271	0.27
GCP-11C	-0.012	-0.349	-0.037	0.351	0.12
GCP-12A	0.052	-0.218	-0.402	0.460	0.66
GCP-12B	0.131	-0.178	0.002	0.221	0.27
GCP-12C	-0.044	-0.233	-0.200	0.310	0.23
Total	0.304	0.323	0.239	0.504	0.26

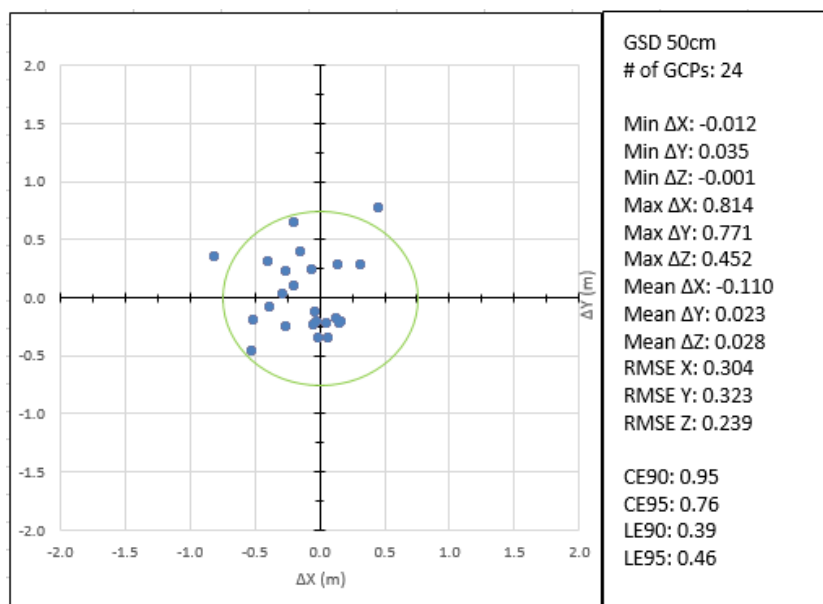


Figura 4.10. Diagrama de dispersie pentru precizia GCP, triangulația imaginilor PAN – CE95

În Figura 4.10 se poate observa diagrama de dispersie pentru reprezentarea CE95 (Circular Error) a GCP în procesul de triangulație a imaginilor pancromatice, cu un grad de încredere de 95%, CE95 având valoarea 0,95 m, iar acuratețea verticală LE95 este 0,46 m.

În urma triangulației, fișierele .sup aferente fiecărei imagini virtuale au fost actualizate cu noii parametri.

În mod similar, am realizat triangulația imaginilor virtuale create pentru benzile multispectrale, folosind fișierele .sup rezultate în urma triangulației benzilor pancromatice.

Se obțin următoarele rezultate pentru a treia iterație (conform Tabel 4.2 și Figura 4.11):

Tabel 4.2. Precizia punctelor de control – triangulația imaginilor MSI

Description	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)	RMSE (m)	Eroarea de punctare (pix)
GCP-01A	-0.503	-0.100	0.052	0.515	0.05
GCP-02	-0.071	0.388	-0.017	0.395	0.03
GCP-03	-0.975	-1.163	-1.104	1.877	0.47
GCP-04A	-1.155	0.474	-0.444	1.325	0.26
GCP-04B	-1.555	0.100	-1.085	1.899	0.27
GCP-05A	-1.182	0.171	0.533	1.308	0.16
GCP-05B	1.187	0.146	0.205	1.213	0.22
GCP-05C	1.557	-1.508	0.988	2.382	0.32
GCP-06	0.520	0.361	0.674	0.925	0.14
GCP-07A	-0.290	1.392	-0.202	1.436	0.14
GCP-07B	0.590	1.249	1.103	1.768	0.26
GCP-07C	0.306	0.308	1.461	1.524	0.23
GCP-07D	-0.470	0.009	-0.092	0.479	0.14
GCP-09A	-0.366	0.209	0.018	0.422	0.45
GCP-10B	-1.842	1.382	-0.015	2.303	0.83
GCP-10C	-0.019	-0.690	1.843	1.968	0.33
GCP-11A	-0.471	-0.657	0.737	1.094	0.35
GCP-11B	-0.004	-0.405	0.754	0.856	0.30
GCP-11C	-0.529	-0.669	0.697	1.101	0.11
GCP-12A	-0.612	0.681	-0.789	1.209	0.35
GCP-12B	-0.403	-0.193	0.624	0.767	0.11
GCP-12C	-0.528	-0.230	-0.244	0.625	0.30
Total	0.854	0.733	0.793	1.377	0.22

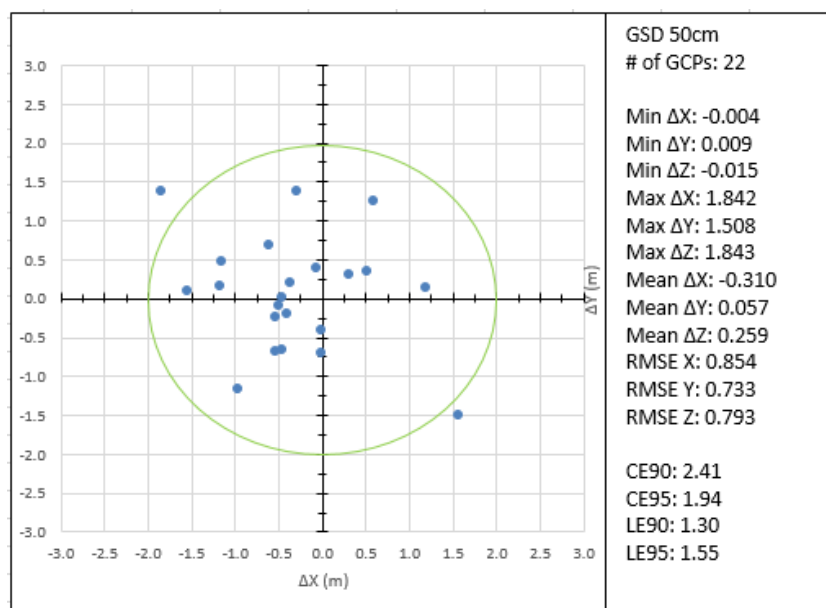


Figura 4.11. Diagrama de dispersie pentru precizia GCP, triangulația imaginilor MSI – CE95

În Figura 4.11 se poate observa diagrama de dispersie pentru reprezentarea CE95 (Circular Error) a GCP în procesul de triangulație a imaginilor multispectrale, cu un grad de încredere de 95%, CE95 având valoarea 1,94 m, iar LE95 este 1,55 m.

În urma procesului de triangulație automată a imaginilor, se obțin imaginile normalizate, în care paralaxa transversală este eliminată.

Pentru a verifica imaginile ortorectificate în urma triangulației, am utilizat fișierele .sup pentru benzile pancromatice și pentru cele multispectrale, iar imaginile corelate se vizualizează în două panouri; același punct va fi în centrul imaginii în ambele panouri, simultan (Figura 4.12).

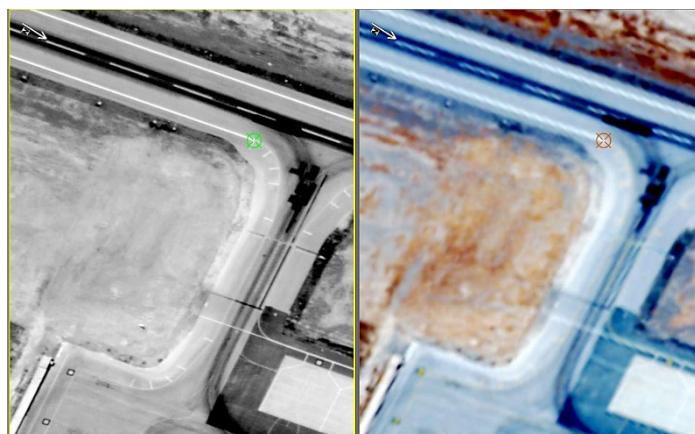


Figura 4.12. Verificarea imaginilor ortorectificate

4.2.3.5. Generarea modelului digital al suprafeței de reflectanță

În urma triangulației automate a imaginilor, rezultă modelul digital al suprafeței de reflectanță (MDSR).

Generarea modelului digital al suprafeței se realizează cu *Automatic Terrain Generation*. Se utilizează fișierele .sup rezultate în urma procesului de triangulație.

Am configurat următoarele setări în fereastra *Automatic Terrain Generation*:

- DTM Setup: de tip Grid deoarece acest format facilitează editarea, comparativ cu formatul TIN.
- Formatul implicit: Socet GXP Grid
- Se definește limita DTM: creată de utilizator (.shp creat astfel încât să cuprindă suprafețele de limitare a obstacolelor și suprafețele de culegere a datelor de teren și obstacolare pentru aeroportul Ras Al Khaimah)
 - Rezoluția spațială: X spacing 0,5 m
Y spacing 0,5 m
- Se calculează automat numărul de puncte al gridului, în funcție de zona definită de utilizator
- Unitatea de măsură: metri
- Am utilizat algoritmul *ASM (Automatic Spatial Modeler)*, cu următorii parametri:
 - Strategia: *asm_urban.strategy* (se utilizează pentru zone urbane cu clădiri înalte)
 - Filtrarea DTM (DTM Filters) în care se indică tipul de model digital creat de algoritm: DEM (Bare Earth), DSM și în același timp, filtrarea DSM prin înlăturarea obiectelor de dimensiuni mici care au înălțimea minimă 1 m și lățimea maximă 10 m și a obiectelor de dimensiuni mari care au înălțimea minimă 1,5 m și lățimea maximă 100 m.
 - Editing Signature Removal: vertical deviation: 0,25 m
 - Eliminate wells: minimum depth: 3 m
 - Netezire (Smoothing): Joasă (Low)
 - Precizia ridicată și viteza de procesare redusă (Precision/Speed: High/Slow)
- Numărul maxim de perechi de imagini: 1
- Numărul de procese: 2

Algoritmul ASM folosește GPU (Graphics Processing Unit) și multi-threaded CPU (Central Processing Unit), care nu necesită 4 sau mai multe procesoare. Când se lucrează cu o singură stație de lucru, numărul de procese este definit ca 1 sau 2. Pentru stații de lucru foarte performante, un număr de 4 procese este de preferat.

Algoritmul ASM a prelucrat pe o stație de lucru cu procesor Intel Xeon CPU, 3.2 GHz (patru procesoare), 12 GB RAM și GPU NVIDIA GeForce GTX 750Ti.

- Seed DTM este un fișier care conține date de altitudine pentru generarea DTM. Se folosește butonul AutoDTED pentru a selecta fișierul de teren cel mai potrivit.

Modelul digital al suprafeței rezultat împreună cu imaginea pancromatică corespondentă sunt utilizate pentru editarea modelului în mediul Stereo, obținând trăsături pronunțate ale terenului.

4.2.3.6. Filtrarea modelului digital al suprafeței de reflectanță

Nicio metodă de extragere automată a terenului nu returnează un rezultat corect și complet prin înlăturarea structurilor, a vegetației și a altor elemente de pe suprafața terestră. Astfel, pentru a obține un model digital al terenului, este necesar să se intervină prin editare.

Adăugarea detaliilor planimetrice și a liniilor de frângere (breaklines) 3D, într-un mediu de vizualizare stereo, pentru reprezentarea reliefului cu mai multă fidelitate, poate fi un proces intens, în funcție de zona de lucru. Pentru acest studiu de caz, relieful este predominant neted, în zonă de deșert.

Erorile rezultate în urma procesului de corelație automată a imaginilor duc la obținerea unor artefacte ale modelului. Acestea se elimină prin corectarea valorilor eronate ale altitudinii Z.

Filtrarea și interpolarea redau o valoare estimativă, ținând cont de cotele punctelor din vecinătate și de distanțele reciproce dintre acestea.

4.2.3.7. Generarea modelului digital al terenului

În urma procedurii de filtrare a MDSR, se obține DTM (Figura 4.13). Datorită eliminării unor puncte în procesul de filtrare, pentru a obține o rețea regulată de puncte, modelul digital al terenului trebuie interpolat.

Calitatea DTM este determinată de metodele de modelare și interpolare a suprafeței terestre.

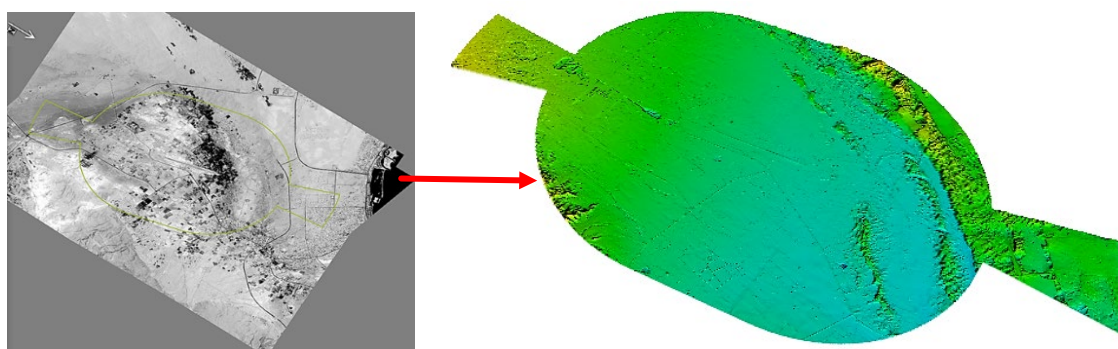


Figura 4.13. Modelul digital al terenului pentru spațiul aerian protejat din jurul aeroportului

4.2.3.8. Generarea ortomozaicului

Ortomozaicul (True Orthophoto) reprezintă imaginea ortorectificată, careia i s-au aplicat corecțiile geometrice pentru eliminarea distorsiunilor perspectivei clădirilor.

Produsul rezultat în urma aplicării liniilor de mozaicare și a procedurilor de filtrare spațială (Feathering, Smoothing - netezire) și a corecțiilor radiometrice– ortofotoplanul, are rezoluția spațială (GSD) 50 cm.

4.2.3.9. Validarea modelelor digitale derivate

Evaluarea preciziei unui model digital se realizează prin compararea cu un set independent de observații GNSS. Acest set este reprezentat prin puncte de altitudini cunoscute în lungul axului pistei, cele două praguri ale pistei, pozițiile de așteptare (Hold) și pozițiile de parcare pe platforma de parcare aeronave (Stand).

Rezultatele obținute prin compararea modelului digital cu 124 puncte determinate prin tehnologie GNSS, au evidențiat o acuratețe verticală de $\pm 0,53$ m.

Precizia modelului DTM depinde de precizia modelului RPC și a utilizării punctelor de legătură și a punctelor de control în procesul de ortorectificare, pentru ca ulterior acesta să fie corectat prin utilizarea liniilor de frângere.

Se specifică rezoluția spațială a gridului, însă aceasta este limitată de rezoluția imaginilor brute. Acest lucru se aplică și în cazul curbelor de nivel: dacă se mărește echidistanța curbelor de nivel, nu se modifică precizia, acestea fiind generate pe baza DTM-ului.

4.2.3.10. Extragerea informației geospațiale

Extragerea informației 3D din produsele derivate are scopul integrării într-o bază de date geospațială, utilizând suita ESRI ArcGIS. Extragerea elementelor se poate realiza automat (*Automatic Feature Extraction*) sau manual.

SOCET GXP permite clasificarea pe straturi și în clase de elemente a informației extrase (de exemplu Pistă/Runway, Clădiri/Buildings, etc.), facilitând astfel popularea bazei de date și actualizarea atributelor fiecărui element.

Clasele de elemente sunt colectate în modul stereo, folosind imaginile ortorectificate.

Pentru configurarea specificațiilor bazei de date, se folosesc liste de coduri și de valori definite pentru elementele claselor (Figura 4.14). De asemenea, se pot configura simboluri, culori, anotații pentru vizualizare, specifice mediului GIS.

Spatially Enabled Exploitation (SEE) permite auto-atribuirea și popularea bazei de date în format ESRI Geodatabase, printr-un fișier XML.

Extensia SOCET for ArcGIS permite utilizarea concomitentă a ambelor software-uri SOCET GXP și ESRI ArcGIS, conectând baza de date cu actualizările în timp real.

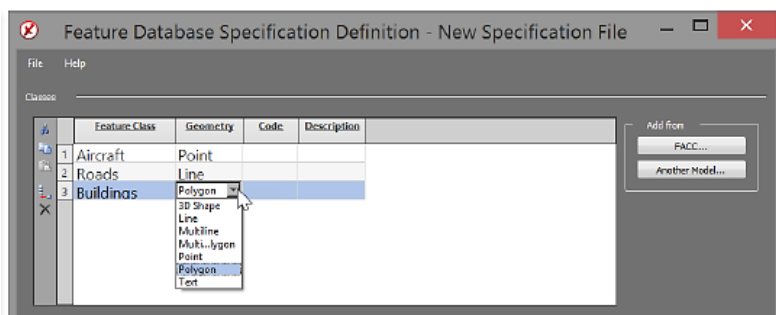


Figura 4.14. Clase de elemente, geometria, codul, tipul și attributele acestora

4.2.3.11. Modelarea 3D a clădirilor

Clădirile și structurile complexe sunt extrase în funcție de LOD (Level of Detail) specific fiecărui proiect.

LOD - Level of Detail (nivel de detaliu) este un concept al standardului OGC CityGML 2.0 [20] al cărui scop este să diferențieze reprezentările la mai multe scări ale modelelor 3D ale unui oraș și pentru a indica detaliile geometrice ale unui model 3D, în primul rând ale clădirilor.

Modelul LOD 1 cuprinde clădiri prismatice cu acoperișuri plate și este cunoscut ca „block model”.

În acest caz, am realizat modelarea 3D a clădirilor pentru nivelul de detaliu LOD 1.3 (Figura 4.15). Extragerea informației și modelarea 3D se realizează în modul stereo. Modelul 3D este obținut prin extrudarea amprentei clădirii la o înălțime uniformă.

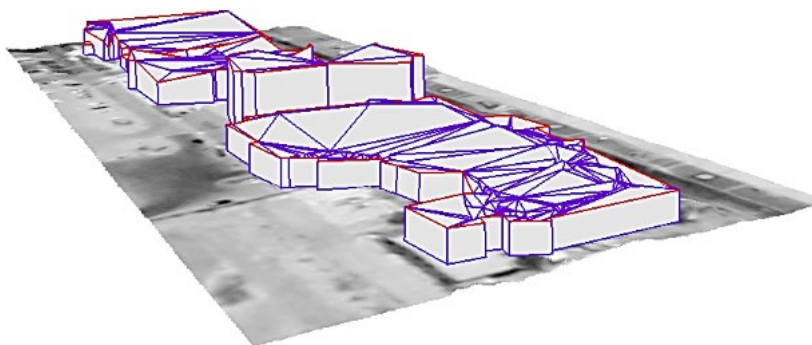


Figura 4.15. Modelarea clădirilor pentru nivelul de detaliu LOD 1.3

4.2.3.12. Calitatea modelelor digitale derivate

Considerând același set de observații GNSS utilizat și pentru validarea modelelor digitale derivate prin exploatarea imaginilor de teledetecție cu ajutorul software-ului SOCET GXP v4.3, am realizat analiza calității celor două produse (Tabelul 4.3):

Tabel 4.3. Calitatea modelelor digitale – extras din setul de date

Obs Id	Denumire	Easting UTM40N	Northing UTM40N	Z (GNSS)	Z (DTM)	ΔZ (m)	RMSE
1431	THR	392972.258	2835112.477	19.533	19.349	0.184	0.535
1432	THR	393931.366	2831477.688	28.689	28.181	0.508	
1433	ARP	393451.812	2833295.082	23.289	22.779	0.510	
1450	Runway_Profile_Pt	392958.870	2835162.500	19.310	19.225	0.085	
1451	Runway_Profile_Pt	392959.950	2835158.080	19.410	19.538	-0.128	

Tabelul 4.3 reprezintă un extras din setul de date, așadar punctele de verificare indică precizia modelelor, în tabelul de mai sus valoarea RMSE 0,53 m fiind calculată pentru întregul set de date.

Rezultatele obținute prin compararea modelului digital cu 124 puncte determinate prin tehnologie GNSS, au o acuratețe verticală de $\pm 0,53$ m.

4.2.4. Concluzii

Prelucrarea semi-automată a imaginilor satelitare stereo preluate de senzorul optic WorldView-2 descrisă, folosind puncte de control la sol (GCP) determinate prin observații GNSS, cu programul software SOCET GXP v4.3, generează modelele tridimensionale de calitate și ortofotoplanul de înaltă rezoluție.

În urma studiului efectuat, teledetecția satelitară reprezintă o metodă eficientă de achiziție a datelor geospațiale pe întreaga acoperire a suprafețelor de protecție a spațiului aerian din jurul aeroportului, din punct de vedere al:

- costurilor capitale (de exemplu, o achiziție nouă a imaginilor stereo optice preluate de senzorul optic WorldView-2 pentru zona studiată, prelucrarea pentru derivarea modelelor digitale ale terenului DTM și DSM și a ortofotoplanului ajung la suma de \$17750, neluând în calcul deplasarea în teren pentru determinarea GCP);
- duratei de achiziție raportată la zona de interes (fereastra de achiziție depinde de acoperirea cu nori a zonei de interes);
- eficienței măsurărilor;

- acurateții determinărilor, care se încadrează în toleranțele impuse de ICAO și EUROCONTROL pentru studiile aeronautice;
- gradului de automatizare;
- efortului la validarea modelelor și al ortofotoplanului, pentru care sunt necesare determinări GNSS suplimentare;
- gradului de reutilizare al datelor;
- riscului de a omite obstacole.

Anumite obiecte/structuri cu diametru mic (antene, stâlpi, etc) nu au putut fi identificate, pentru acest lucru sunt necesare determinări GNSS sau clasice.

Produsele derivate obținute sunt utilizate pentru a extrage informația geospațială și a crea seturi de date aeronautice: baza de date cartografică de aerodrom (AMDB), seturi de date de teren și obstacolare (eTOD), descrise în Capitolul 5.

Capitolul 5. Sisteme informaționale specifice domeniului aeronautic

5.1. Tipuri de entități specifice bazei de date

5.1.1. Suprafețe de limitare a obstacolelor

Suprafețele de limitare a obstacolelor (*Obstacle Limitation Surfaces - OLS*) reprezintă suprafețele de protecție care stabilesc limitele de înălțime ale structurilor din jurul unui aerodrom. Obiectele care străpung aceste suprafețe sunt considerate obstacole.

Suprafețele de limitare a obstacolelor, conform RACR-AD-PETA [21] și ICAO Anexa 14 la Convenția de la Chicago [22], Volumul I, Capitolul 4 sunt descrise astfel (Figura 5.1):

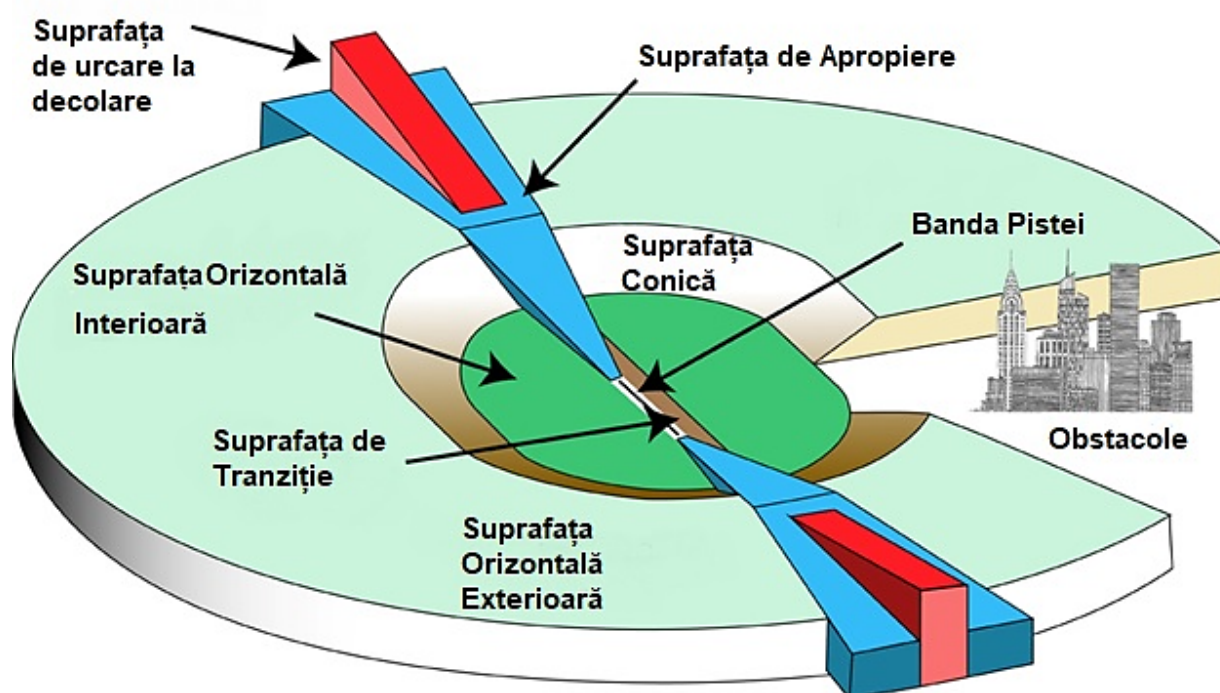


Figura 5.1. Suprafețele de limitare a obstacolelor

„**Suprafața orizontală interioară** - Suprafața conținută într-un plan orizontal, situat deasupra unui aerodrom și a împrejurimilor acestuia, la o înălțime specificată față de un element de referință de altitudine, cu raza sau limitele exterioare măsurate pornind din unul sau mai multe puncte de referință.” [21], [22]

„**Suprafața conică** - Suprafață înclinată în sus și spre exterior, plecând de la marginea suprafeței orizontale interioare, la o înălțime specificată, cu o pantă măsurată într-un plan vertical perpendicular pe marginea suprafeței orizontale interioare.” [21], [22]

„**Suprafața de apropiere** - Plan înclinat, sau o combinație de planuri care se extind la o distanță specificată față de pragul pistei, cu marginea interioară de lungime specificată, orizontală și perpendiculară pe prelungirea axului pistei, două laturi plecând din extremitățile marginii interioare, cu o divergență față de prelungirea axului pistei, cu marginea exterioară paralelă cu marginea interioară, iar panta măsurată într-un plan vertical perpendicular pe axul pistei.” [21], [22]

„**Suprafața interioară de apropiere** - O parte dreptunghiulară din suprafața de apropiere, care se extinde la o distanță specificată față de pragul pistei, având marginea interioară identică cu marginea interioară a suprafeței de apropiere și lungimea specificată, două laturi plecând din extremitățile marginii interioare ce se prelungesc paralel cu un plan vertical care conține axul pistei, marginea exterioară paralelă cu marginea interioară, și panta specificată. ” [21], [22]

„**Suprafața de tranziție** - Suprafața complexă, de-a lungul marginilor laterale ale benzii pistei și a unei părți a marginii suprafeței de apropiere, cu pantă ascendentă și spre exterior până la intersecția cu suprafața orizontală interioară. Marginea inferioară se definește de la intersecția dintre marginea suprafeței de apropiere și suprafața orizontală interioară, coboară de-a lungul marginii suprafeței de apropiere până la marginea interioară a acestei suprafețe și se continuă pe lungimea benzii paralel cu axul pistei. Marginea superioară este situată în planul suprafeței orizontale interioare. ” [21], [22]

„**Suprafața de aterizare întreruptă** - Plan înclinat cu o pantă specificată, situat la o distanță specificată după pragului pistei, care se află în suprafața interioară de tranziție, cu marginea interioară orizontală, perpendiculară pe axul pistei, două laturi pornind din extremitățile marginii interioare, divergente față de un plan vertical trecând prin axul pistei, până la intersecția cu suprafața orizontală interioară. ” [21], [22]

„**Suprafața interioară de tranziție** - Suprafață similară cu suprafața de tranziție, delimitată de marginea interioară a suprafeței interioare de apropiere, continuă de-a lungul benzii paralel cu axul pistei, până se ridică de-a lungul marginii suprafeței de aterizare întreruptă în punctul în care aceasta intersectează suprafața orizontală interioară; Panta suprafeței interioare de tranziție trebuie măsurată într-un plan vertical perpendicular pe axul pistei. ” [21], [22]

„**Suprafața de urcare la decolare** - Plan înclinat care se extinde la o distanță specificată față de capătul unei piste sau al unei prelungiri degajate, cu marginea interioară orizontală și perpendiculară pe axul pistei, două margini laterale ce pornesc din capetele marginii interioare, cu o divergență față de direcția de decolare până la o lățime finală specificată, continuându-se cu această lățime pe restul suprafeței de urcare la decolare, și o margine exterioară orizontală și perpendiculară pe direcția de decolare specificată. ” [21], [22]

„**Suprafața orizontală exterioară** - Suprafața conținută într-un plan orizontal, la o înălțime de 150 m deasupra punctului de altitudine al aerodromului, care se extinde de la marginea suprafeței conice, având o rază de până la 15000 m pornind din punctul de referință al aerodromului (ARP), unde codul de pistă este 3 sau 4. ” [23]

Caracteristicile suprafețelor de limitare a obstacolelor, conform RACR-AD-PETA [21] și ICAO Anexa 14 la Convenția de la Chicago [22], Volumul 1, Capitolul 4 sunt descrise astfel (Tabel 5.1, Tabel 5.2):

Tabel 5.1 Dimensiuni și pante ale suprafețelor de limitare a obstacolelor; Piste pentru Decolare [21,22]

Suprafețe	Număr de cod		
SUPRAFAȚA DE URCARE LA DECOLARE	1	2	3 sau 4
Lungimea marginii interioare	60 m	80 m	180 m
Distanță față de extremitatea pistei	30 m	60 m	60 m
Divergența (de fiecare parte)	10%	10%	12.5%
Lățimea finală	380 m	580 m	1200 m
			1800 m
Lungimea	1600 m	2500 m	15000 m
Panta	5%	4%	2%

Tabel 5.2. Dimensiuni și pante ale suprafețelor de limitare a obstacolelor; Piste pentru Apropiere [22]

CLASIFICAREA PISTEI										
Suprafețe și dimensiuni	Apropiere neinstrumentală				Apropiere de non-precizie			Categorii de apropiere de precizie		
	Număr de cod				Număr de cod			I		II și III
	1	2	3	4	1, 2	3	4	1, 2	3, 4	3, 4
SUPRAFAȚA CONICĂ										
Panta	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Înălțimea	35 m	55 m	75 m	100 m	60 m	75 m	100 m	60 m	100 m	100 m
SUPRAFAȚA ORIZONTALĂ INTERIOARĂ										
Înălțimea	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m
Raza	2000 m	2500 m	4000 m	4000 m	3500 m	4000 m	4000 m	3500 m	4000 m	4000 m
SUPRAFAȚA INTERIOARĂ DE APROPIERE										
Lățimea	-	-	-	-	-	-	-	90 m	120 m	120 m
Distanța la prag	-	-	-	-	-	-	-	60 m	60 m	60 m
Lungimea	-	-	-	-	-	-	-	900 m	900 m	900 m
Panta	-	-	-	-	-	-	-	2.5%	2%	2%
SUPRAFAȚA DE APROPIERE										
Lungimea marginii interioare	60 m	80 m	150 m	150 m	140 m	280 m	280 m	140 m	280 m	280 m
Distanța la prag	30 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m
Divergența (pe fiecare parte)	10%	10%	10%	10%	15%	15%	15%	15%	15%	15%
Prima secțiune										
Lungimea	1600 m	2500 m	3000 m	3000 m	2500 m	3000 m	3000 m	3000 m	3000 m	3000 m
Panta	5%	4%	3.33%	2.5%	3.33%	2%	2%	2.5%	2%	2%
A doua secțiune										
Lungimea	-	-	-	-	-	3600 m	3600 m	12000 m	3600 m	3600 m
Panta	-	-	-	-	-	2.5%	2.5%	3%	2.5%	2.5%
Secțiunea orizontală										
Lungimea	-	-	-	-	-	8400 m	8400 m	-	8400 m	8400 m
Lungimea totală	-	-	-	-	-	15000 m	15000 m	15000 m	15000 m	15000 m
SUPRAFAȚA DE TRANZIȚIE										
Panta	20%	20%	14.3%	14.3%	20%	14.3%	14.3%	14.3%	14.3%	14.3%
SUPRAFAȚA INTERIOARĂ DE TRANZIȚIE										
Panta	-	-	-	-	-	-	-	40%	33.3%	33.3%
SUPRAFAȚA DE ATERIZARE ÎNTRERUPTĂ										
Lungimea marginii interioare	-	-	-	-	-	-	-	90 m	120 m	120 m
Distanța la prag	-	-	-	-	-	-	-	-	1800 m	1800 m
Divergența (pe fiecare parte)	-	-	-	-	-	-	-	10%	10%	10%
Panta	-	-	-	-	-	-	-	4%	3.33%	3.33%

5.1.2. Date de teren și obstacolare în format electronic

5.1.2.1. Suprafețe de culegere a datelor de teren și obstacolare

Zonele de acoperire pentru seturile de date de teren și obstacolare în format electronic se definesc conform ICAO Anexa 15 la Convenția de la Chicago [24], RACR-AIS [25], Capitolul 10, Eurocontrol TOD Manual [26], ICAO Doc 10066 PANS-AIM [27] și ICAO Guidelines for Electronic Terrain, Obstacle and Aerodrome Mapping Information [28], astfel:

„**Zona 1:** acoperă întreg teritoriu al statului;

Zona 2: în vecinătatea aerodromului, divizată astfel (Figura 5.2):

- **Zona 2a:** o suprafață dreptunghiulară în jurul pistei care cuprinde acostamentele pistei (banda pistei) și prelungirile degajate ale pistei (dacă există).
- **Zona 2b:** o suprafață care se extinde de la capetele Zonei 2a de la altitudinea capătului pistei, în direcția de decolare, având o lungime de 10 km, o divergență de 15% pe fiecare latură și o înclinație de 1.2%.
- **Zona 2c:** o suprafață care se extinde în afara limitelor Zonei 2a și Zonei 2b la o distanță nu mai mare de 10 km față de limitele Zonei 2a, cu o înclinație de 1.2%.
- **Zona 2d:** o suprafață în afara Zonelor 2a, 2b și 2c care se extinde până la o distanță de 45 de km față de punctul de referință al aerodromului (ARP - Aerodrome Reference Point) sau până la limitele regiunii de control terminal, oricare este mai aproape.

Zona 3: o suprafață care delimitează suprafața de mișcare a aerodromului și care se extinde orizontal de la laturile pistei până la 90 metri față de ax și până la 50 metri față de laturile altor suprafețe componente ale suprafeței de mișcare (Figura 5.3).

Zona 4: o suprafață dreptunghiulară cu o lungime de 900 metri față de pragul pistei și o lățime de 60 metri stânga-dreapta față de axul prelungit al pistei în direcția de apropiere la pista instrumentală destinată pentru apropiere de precizie Categoria II sau III (Figura 5.3).

Atunci când terenul aflat la o distanță mai mare de 900 m (3000 ft) față de pragul pistei este muntos sau de înălțime semnificativă, lungimea zonei 4 poate fi extinsă până la o distanță față de pragul pistei care nu depășește 2000 m (6500 ft).” [24], [25]

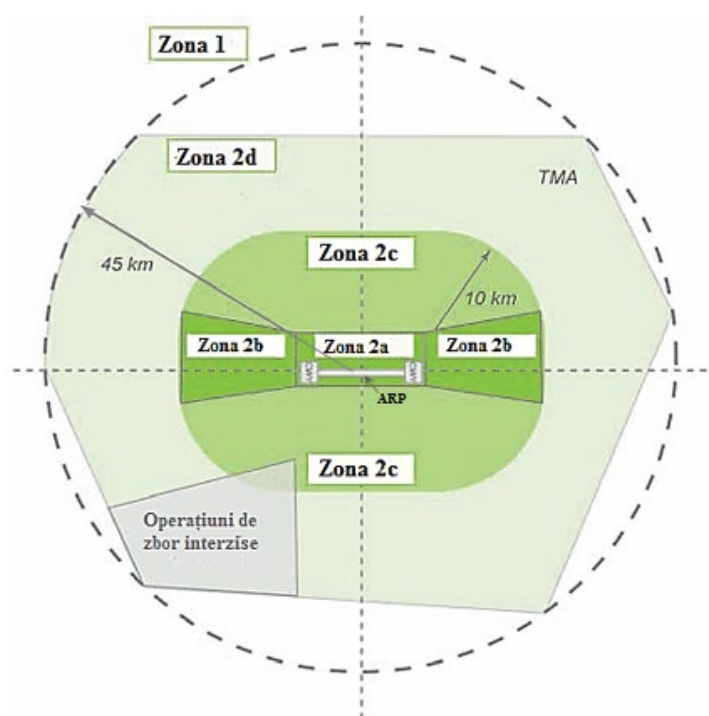


Figura 5.2. Suprafețe de culegere a datelor de teren și obstacolare, Zona 1 și Zona 2 [29]

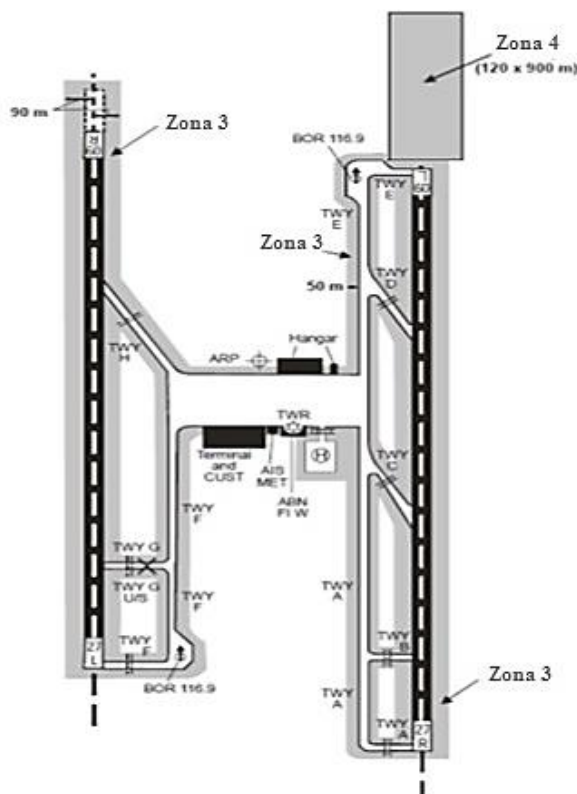


Figura 5.3. Suprafețe de culegere a datelor de teren și obstacolare, Zona 3 și Zona 4 [29]

5.1.2.2 Date de teren și obstacolare în format electronic

Datele electronice de teren și de obstacolare trebuie să satisfacă cerințele ICAO Anexa 15 la Convenția de la Chicago [24], RACR-AIS [25], Capitolul 10, Eurocontrol TOD Manual [26], ICAO Doc 10066 PANS-AIM [27] și ICAO Guidelines for Electronic Terrain, Obstacle and Aerodrome Mapping Information [28].

5.1.2.2.1. Seturi de date de teren

„Seturile de date de teren conțin reprezentarea digitală a suprafeței terestre, sub forma unor valori continue ale altitudinii terenului pentru toate punctele unui grid raportat la un datum comun.” [24], [25]

În funcție de suprafețele de culegere a datelor de teren și de obstacolare, se vor preciza datele de teren care trebuie să fie colectate:

„În zona determinată de o rază de 10 km față de punctul de referință al aerodromului, datele de teren trebuie să respecte specificațiile numerice ale Zonei 2.

În zona situată între limita de 10 km și limita TMA sau cea determinată de o rază de 45 km față de punctul de referință al aerodromului (valoarea care este cea mai mică dintre cele două), datele de teren care străpung planul orizontal situat la 120 m deasupra celei mai mici cote a pistei trebuie să respecte specificațiile numerice ale Zonei 2.

În zona situată între limita de 10 km și limita TMA sau cea determinată de o rază de 45 km față de punctul de referință al aerodromului (valoarea care este cea mai mică dintre cele două), datele de teren care nu străpung planul orizontal situat la 120 m deasupra celei mai mici cote a pistei trebuie să respecte specificațiile numerice ale Zonei 1.

În acele părți ale Zonei 2 unde operațiunile de zbor sunt interzise datorită terenului foarte înalt sau datorită altor restricții și/sau reglementări locale, datele de teren trebuie să respecte specificațiile numerice ale Zonei 1.

Pentru aerodromurile utilizate în mod regulat de aviația civilă internațională, datele privind terenul trebuie furnizate pentru zona 4 pentru toate pistele pentru care s-au stabilit operațiuni de apropiere de precizie de Categoria II sau III.” [24], [25]

5.1.2.2.2. Seturi de date de obstacolare

Seturile de date de obstacolare cuprind reprezentarea spațială raportată la un datum comun, a obstacolelor naturale sau artificiale, fixe sau mobile, permanente sau temporare, care se regăsesc în zona destinată deplasării aeronavelor pe suprafața de mișcare, sau a celor care se extind deasupra unei suprafețe definite destinate protejării aeronavelor în zbor, prin puncte (antene, stâlpi), linii (linii electrice) sau poligoane (clădiri).

În funcție de suprafețele de culegere a datelor de teren și de obstacolare, se vor preciza datele de obstacolare care trebuie să fie colectate:

„Zona 1: Toate obiectele a căror înălțime deasupra solului este de 100 m sau mai mare.

Zona 2a: Toate obiectele care au o înălțime de 3 m față de capătul pistei, sau aceeași altitudine ca și capătul pistei, în cazul porțiunilor referitoare la prelungirile degajate ale pistei.

Zona 2b: Toate obiectele a căror înălțime este mai mare de 3 m față de sol.

Zona 2c: Toate obiectele a căror înălțime este mai mare de 15 m față de sol.

Zona 2d: Toate obiectele a căror înălțime este de 100 m deasupra solului sau mai mare.

În acele părți ale Zonei 2 unde operațiunile de zbor sunt interzise datorită terenului foarte înalt sau datorită unor restricții și/sau reglementări locale, datele de obstacolare trebuie colectate și înregistrate conform specificațiilor numerice ale Zonei 1.

Zona 3: Toate obiectele care sunt cuprinse în suprafața extinsă cu 0,5 m deasupra planului orizontal care trece prin cel mai apropiat punct situat pe suprafața de mișcare a aerodromului.

Zona 4: În Zona 4 datele de obstacolare trebuie să fie furnizate pentru toate aerodromurile utilizate în mod regulat de aviația civilă internațională, cu piste pe care s-au stabilit operațiuni de apropiere de Categoria II sau III.” [24], [25]

5.2. Niveluri de abstractizare ale modelului de date

Primul pas în proiectarea bazelor de date este conceptualizarea, utilizând metodologia, standardele descriptive și formatele pentru schimbul de date spațiale. Modelarea datelor spațiale influențează procesul de analiză și interpretare a acestora, așadar un element cheie în proiectarea optimă a bazelor de date este modelul de date.

Arhitectura unui sistem de baze de date trebuie să faciliteze interacțiunea utilizatorului cu interfața, prin separarea structurii de date de elementele operabile. Se recurge la abstractizarea datelor pe trei niveluri de reprezentare și percepție, descrise mai jos.

5.2.1. Modelul conceptual

Modelul conceptual reprezintă o vizualizare organizată a conceptelor bazei de date și a relațiilor acestora și are rolul de a descrie sistemul prin entități, atributele acestora și constrângerile dintre ele, definind astfel conținutul bazei de date (Figura 5.4).

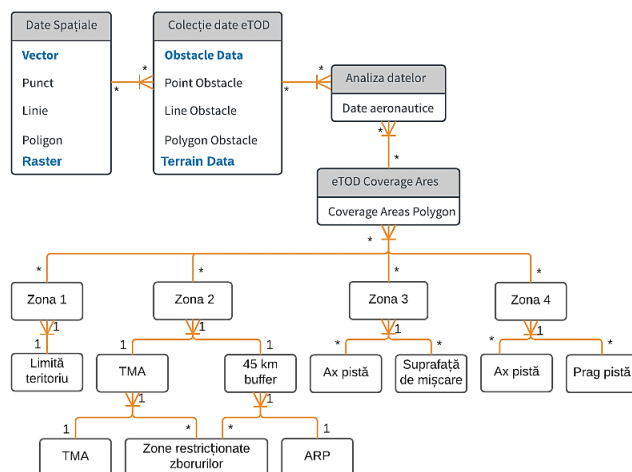


Figura 5.4. Modelul conceptual eTOD [30]

5.2.2. Modelul logic

Prin modelul logic se specifică structura bazei de date, prin colecțiile de date și legăturile dintre ele, într-o formă care poate fi folosită la proiectare (Figura 5.5).

Limbajul universal de modelare UML (*Unified Modeling Language*) reprezintă un instrument de modelare vizuală, prin care se traduc entitățile conceptuale în structura bazei de date. Am realizat modelarea UML cu ajutorul software-ului Enterprise Architect v14, Sparx Systems.

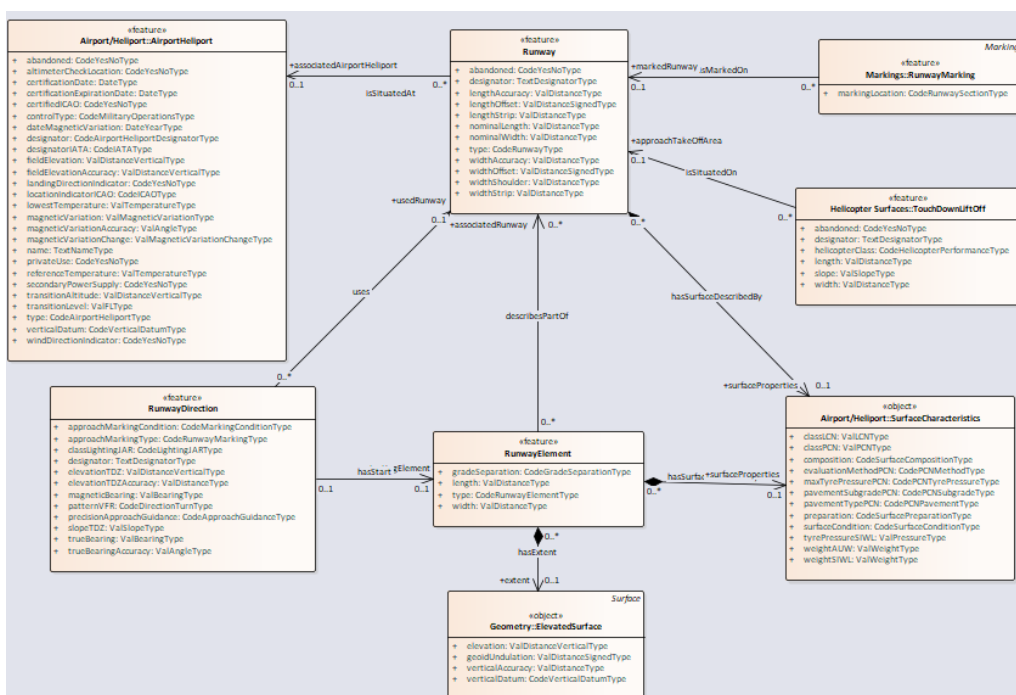


Figura 5.5. Diagrama claselor AIXM, AIXM Features - Runway și a relațiilor dintre acestea (modelul logic), folosind limbajul UML, vizualizare cu Enterprise Architect

5.2.3. Modelul fizic

Modelul fizic descrie implementarea specifică în cadrul unui sistem de baze de date, și cuprinde fișierele, indecșii utilizați pentru a stoca datele, relațiile dintre tipurile de obiecte (Figura 5.6).

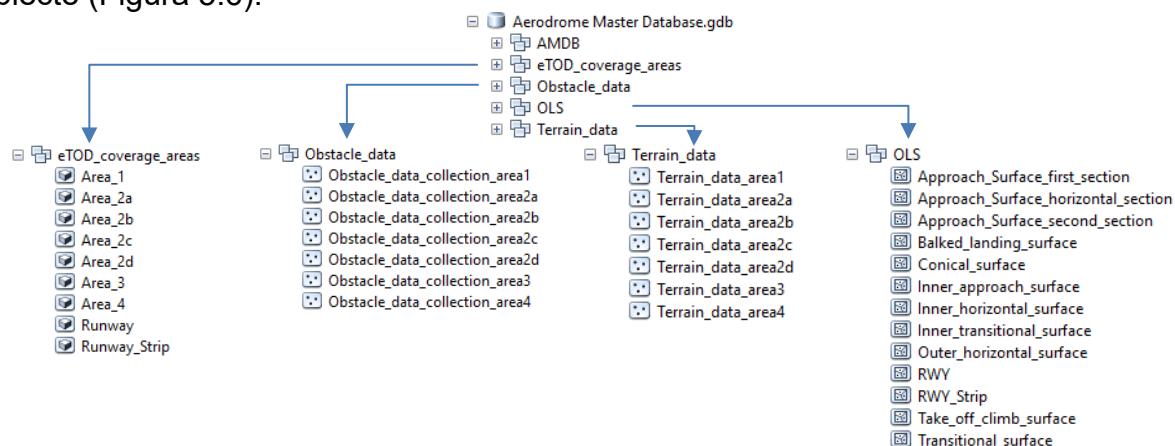


Figura 5.6. Structura bazei de date (modelul fizic)

5.3. Metadate

Metadatele furnizează informații contextuale sau extinse despre datele spațiale, cu alte cuvinte date despre date. Metadatele sunt organizate în fișiere de tip XML (*eXtensible Mark-up Language*), prin care sunt descrise proprietățile seturilor de date, cum ar fi conținutul, calitatea și acuratețea acestora.

Elementele de metadate necesare pentru o descriere completă, la nivel de structură cuprind (Tabel 5.3, Tabel 5.4):

- informații de identificare
- informații despre limita de reprezentare temporală: data de creare, data de emitere
- informații despre originea datelor (sursa)
- informații privind mentenanța
- informații de calitate
- informații despre reprezentarea spațială
- informații privind sistemul de referință
- informații despre distribuție
- informații despre citare

Tabel 5.3. Specificații numerice pentru datele de teren [24]

	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Pasul (între 2 puncte succesive măsurate)	3 secunde de arc (aprox. 90 m)	1 secunda de arc (aprox. 30 m)	0,6 secunde de arc (aprox. 20 m)	0,3 secunde de arc (aprox. 9 m)
Acuratețe verticală	30 m	3 m	0,5 m	1 m
Rezoluție verticală	1 m	0,1 m	0,01 m	0,1 m
Acuratețe orizontală	50 m	5 m	0,5 m	2,5 m
Gradul de încredere	90%	90%	90%	90%
Clasificarea integrității	de rutină	esențiale	esențiale	esențiale
Perioada de actualizare	după cum este necesar	după cum este necesar	după cum este necesar	după cum este necesar

Tabel 5.4. Specificații numerice pentru datele de obstacolare [24]

	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Acuratețe verticală	30 m	3 m	0,5 m	1 m
Rezoluție verticală	1 m	0,1 m	0,01 m	0,1 m
Acuratețe orizontală	50 m	5 m	0,5 m	2,5 m
Gradul de încredere	90%	90%	90%	90%
Clasificarea integrității	de rutină	esențiale	esențiale	esențiale
Perioada de actualizare	după cum este necesar	după cum este necesar	după cum este necesar	după cum este necesar

Cardinalitatea reprezintă constrângerea la nivel de apariție a unui element din cadrul modelului de metadate, prin care se definesc metadatele obligatorii și opționale (Tabel 5.5, Tabel 5.6).

Tabel 5.5. Atributele terenului [24]

Atributul terenului	Obligatoriu/Opțional
Zona de acoperire	Obligatoriu
Identificatorul autorului datelor	Obligatoriu
Identificatorul sursei datelor	Obligatoriu
Metoda de achiziție	Obligatoriu
Pasul	Obligatoriu
Sistemul de referință orizontal	Obligatoriu
Rezoluția orizontală	Obligatoriu
Acuratețea orizontală	Obligatoriu
Nivelul de încredere pe orizontală	Obligatoriu
Poziția orizontală	Obligatoriu
Altitudinea	Obligatoriu
Referința altitudinii	Obligatoriu
Sistemul de referință verticală	Obligatoriu
Rezoluția verticală	Obligatoriu
Acuratețea verticală	Obligatoriu
Nivelul de încredere pe verticală	Obligatoriu
Tipul suprafeței	Opțional
Suprafața înregistrată	Obligatoriu
Nivelul de străpungere	Opțional
Variații cunoscute	Opțional
Integritatea	Obligatoriu
Indicarea datei și orei	Obligatoriu
Unitate de măsură utilizată	Obligatoriu

Tabel 5.6. Atributele obstacolelor [24]

Atributul obstacolului	Obligatoriu/Opțional
Zona de acoperire	Obligatoriu
Identificatorul autorului datelor	Obligatoriu
Identificatorul sursei datelor	Obligatoriu
Identificatorul obstacolului	Obligatoriu
Acuratețea orizontală	Obligatoriu
Nivelul de încredere pe orizontală	Obligatoriu
Poziția orizontală	Obligatoriu
Rezoluția orizontală	Obligatoriu
Întinderea orizontală	Obligatoriu
Sistemul de referință orizontal	Obligatoriu
Altitudinea	Obligatoriu

<i>Atributul obstacolului</i>	<i>Obligatoriu/Opțional</i>
<i>Înălțimea</i>	<i>Opțional</i>
<i>Acuratețea verticală</i>	<i>Obligatoriu</i>
<i>Nivelul de încredere pe verticală</i>	<i>Obligatoriu</i>
<i>Rezoluția verticală</i>	<i>Obligatoriu</i>
<i>Sistemul de referință vertical</i>	<i>Obligatoriu</i>
<i>Tipul obstacolului</i>	<i>Obligatoriu</i>
<i>Geometria</i>	<i>Obligatoriu</i>
<i>Integritatea</i>	<i>Obligatoriu</i>
<i>Indicarea datei și orei</i>	<i>Obligatoriu</i>
<i>Unitate de măsură utilizată</i>	<i>Obligatoriu</i>
<i>Operațiuni</i>	<i>Opțional</i>
<i>Aplicabilitatea</i>	<i>Opțional</i>
<i>Sistemul luminos</i>	<i>Obligatoriu</i>
<i>Marcajul</i>	<i>Obligatoriu</i>

5.4. Schimbul de date

Schimbul de date aeronautice se realizează utilizând modelul de schimb al informației aeronautice AIXM (*The Aeronautical Information Exchange Model*), ce reprezintă codificarea standardizată de tip XML prin care informațiile aeronautice sunt descrise, stocate și distribuite (Figurile 5.7 și 5.8).

AIXM reprezintă standardul pentru datele aeronautice la nivel mondial, fiind utilizat pentru a schimba informații aeronautice între furnizorii de date și AIS (Serviciul de Informare Aeronautică) și între AISP (Aeronautical Information Service Provider) și bazele de date naționale sau internaționale, precum și utilizatorii ulteriori.

Scopul utilizării modelului AIXM este de a asigura interoperabilitatea prin distribuirea informației aeronautice de calitate, păstrând integritatea și coerența datelor. Aceste aspecte provin din Cerințele de calitate a datelor (*Aeronautical Data Quality-ADQ*).

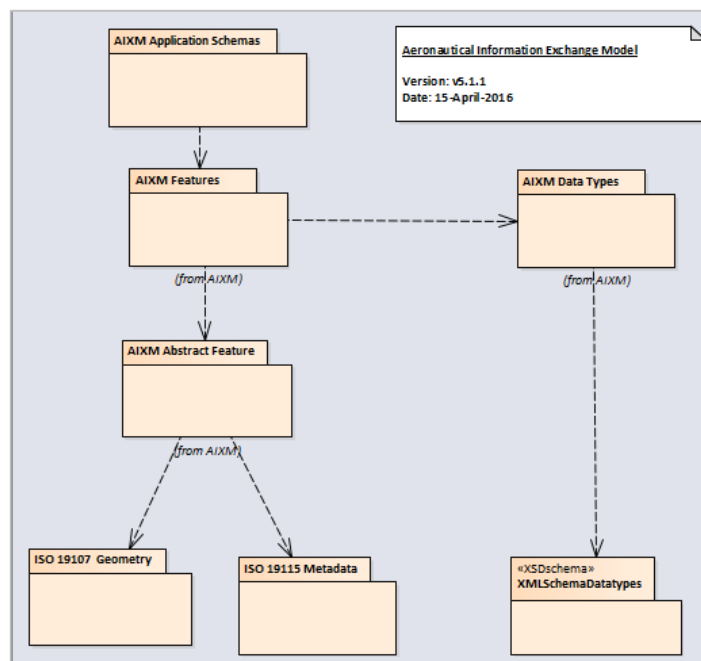


Figura 5.7. Package Diagram AIXM v5.1.1, folosind limbajul UML, vizualizare cu Enterprise Architect

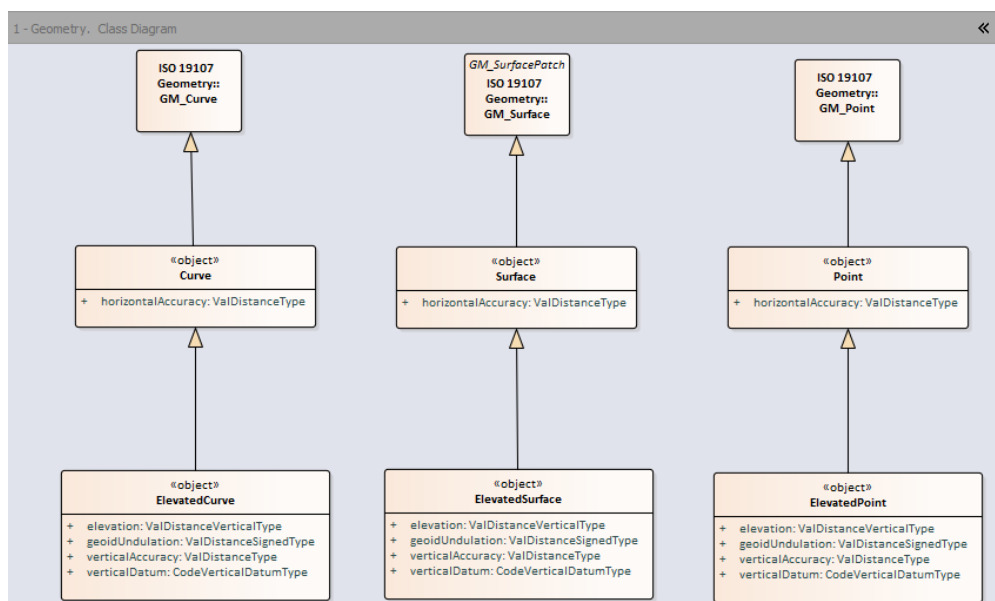


Figura 5.8. Diagrama claselor în AIXM v5.1.1, folosind limbajul UML, vizualizare cu Enterprise Architect

AIXM a fost dezvoltat de FAA (Federal Aviation Administration), NGA (National Geospatial Intelligence Agency) și EUROCONTROL (European Organization for the Safety of Air Navigation).

Modelul de schimb al datelor de teren TIXM (The Terrain Information Exchange Model) este analog AIXM. TIXM este în curs de dezvoltare de către EUROCONTROL (European Organization for the Safety of Air Navigation).

5.5. Bază de date cartografice de aerodrom AMDB (*Aerodrome Mapping Database*)

Baza de date cartografice de aerodrom (*Aerodrome Mapping Database - AMDB*) reprezintă o colecție de seturi de date spațiale și atributele aferente acestora, prin care se furnizează informații despre planul general al aerodromului. Aceste seturi de date geospațiale descriu elemente ale aerodromului, date de teren, date de obstacolare și date de navigație aeriană. AMDB reprezintă suportul pentru orice operațiune pe suprafața de mișcare a aerodromului, întocmirea hărților aeronautice, proiectarea infrastructurii aeroportuare și gestionarea eficientă a datelor.

Standardele pentru proiectarea, implementarea, popularea cu atribute, întreținerea și distribuirea unei baze de date cartografice de aerodrom sunt:

- EUROCAE ED-99D [31], EUROCAE ED-119C [32],
- ICAO Anexe 14 și 15 și
- Cadrul de standardizare ISO 19100.

SWIM (*System Wide Information Management* – Managementul informației la nivel de sistem) reprezintă o modalitate colaborativă, standardizată și gestionată pentru ca aplicațiile să interacționeze într-un mediu conectat în rețea.

Considerațiile SWIM în raport cu cerințele AMDB privesc:

- Automatizarea cu scopul de a îmbunătăți calitatea, eficiența și rentabilitatea serviciilor de informații aeronautice.

- Interoperabilitatea schimbului de informații aeronautice se realizează prin intermediul serviciilor de informații standardizate, ce asigură compatibilitatea și consistența formatelor datelor.
- Schimbul de date utilizând modelul UML, AMXM (*Aerodrome Mapping Exchange Model* - Modelul de Schimb al Datelor Cartografice de Aerodrom) pentru a facilita interoperabilitatea.

5.5.1. Aplicații ale AMDB

- Master plan general complex al aerodromului
- Proiectarea infrastructurii aeroportuare
- Gestionarea informațiilor pentru întregul sistem (*System Wide Information Management - SWIM*)
- Administrarea resurselor aeroportului și a companiilor aeriene
- Întocmirea și menținerea hărților aeronautice digitale
- Gestionarea facilităților prin:
 - Creșterea eficienței operațiunilor
 - Situația traficului
 - Sistem de navigare al vehiculului (localizarea cu acuratețe a luminilor căilor de rulare)
 - A-SMGCS (*Advanced Surface Movement Guidance and Control System*) - Sistem avansat de control și ghidare a mișcării pe suprafață, care previne incursiuni la pistă sau căi de rulare
 - ERDS (*Emergency Response Driving Simulator*) - Simulator pentru răspuns în situații de urgență
- Răspuns în situații de urgență
- Managementul securității
- RDMS (*Runway Debris Management System*) - Sistem de gestionare și identificare a obiectelor straine, FOD (*Foreign Object Debris*)
- Simulator de zbor și instruire
- Sistem cu imagine sintetică

5.5.2. Structura AMDB - Tipuri de entități specifice AMDB

Pentru a asigura consistența și calitatea datelor spațiale privind aerodromul, datele cartografice sunt susținute de datele electronice de teren și obstacolare (eTOD) pentru Zona 3.

Clasele de caracteristici ale AMDB sunt reprezentate în figurile 5.9 și 5.10.

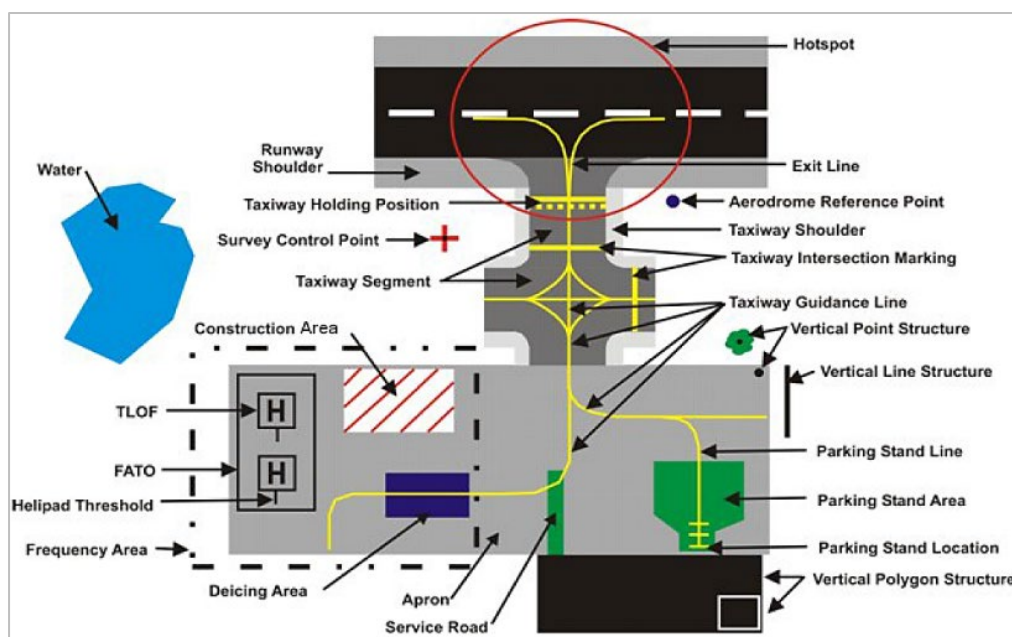


Figura 5.9. Clasele de caracteristici ale AMDB [31]

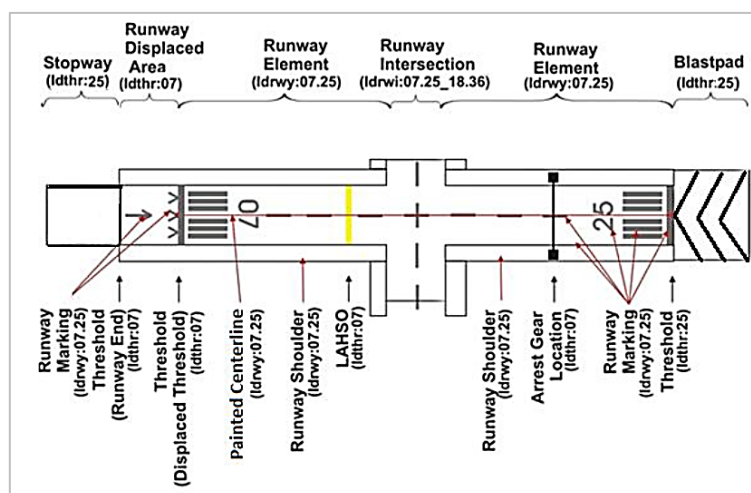


Figura 5.10. Reprezentarea grafică a caracteristicilor din categoria Pistă [31]

Aerodrome Reference Point – ARP. Punctul de referință al aerodromului, amplasarea geografică desemnată a unui aerodrom, publicată în AIP.

Aerodrome Sign – Semn de aerodrom, un semn care prezintă mesaje legate de deplasarea aeronavelor și a vehiculelor.

Aerodrome Surface Lighting – Iluminare pe suprafața de mișcare a aerodromului.

Apron Element – Părțile rămase dintr-o platformă de staționare definită, care nu sunt acoperite de elemente ale platformei de parcare sau elemente ale căilor de rulare.

Arresting Gear Location – Locația cablului de oprire a vitezei de-a lungul pistei.

Arresting System Location – Locația sistemului de oprire ce conține material de absorbție a energiei, situat la capătul unei piste, conceput pentru a se zdrobi sub greutatea unei aeronave, deoarece materialul exercită forțe de decelerare asupra trenului de aterizare al aeronavei.

ASRN Edge - Aerodrome Surface Routing Network Edge: Conexiuni ale rețelei de rutare pe suprafața aerodromului. O conexiune direcțională sau bidirecțională între două caracteristici nodale ASRN cu geometrie alăturată, care poate fi utilizată pentru reprezentarea grafică a traseului de taxi (Figura 5.11).

ASRN Node - Aerodrome Surface Routing Network Node: Nod al rețelei de rutare pe suprafața aerodromului. Reprezentarea intersecției a două sau mai multe caracteristici ale aerodromului legate de operațiunile de taxi sau de alte locații speciale, cum ar fi poziția de așteptare sau intrarea sau ieșirea într-o zonă de parcare (Figura 5.11).

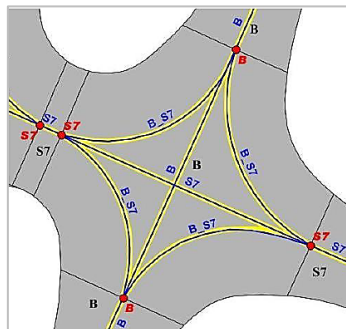


Figura 5.11. Reprezentarea grafică a caracteristicilor ASRN Node (culoare roșie) și ASRN Edge (culoare albastră) [31]

ATC Blind Spot – O locație pe o suprafață de mișcare a aerodromului care nu este vizibilă pentru personalul din turnul de control (ATC) din cauza obstacolelor și nu este desemnată ca punct critic (Hotspot).

Blastpad – Zone în extinderea pistelor de obicei acoperite de chevrons (marcaje în V de culoare galbenă), pentru a identifica zonele inutilizabile pentru aterizare, decolare și taxiing, ce sunt prevăzute pentru a reduce efectul eroziv al exploziei jetului.

Bridge Side – Linie reprezentând întinderea laterală a elementelor (caracteristicilor) aerodromului asociate cu secțiunea verticală a unui pasaj supraterran.

Construction Area – Zonă în construcție, porțiune a suprafeței de mișcare în construcție.

Deicing Area – Zona de degivrare, o zonă care cuprinde o zonă interioară pentru parcare a unui avion pentru a primi tratament de degivrare și o zonă exterioară pentru manevrarea a două sau mai multe echipamente mobile de degivrare.

Deicing Group – Un grup de zone de degivrare.

Final Approach And Take Off Area – FATO. Începutul porțiunii de helipad care este disponibilă pentru aterizare.

Frequency Area – Parte desemnată a unei suprafețe de mișcare în care o frecvență specifică este impusă de controlul traficului aerian sau de controlul solului.

Helipad Threshold – Pragul helipadului.

Hotspot – O locație pe o suprafață de mișcare a aerodromului cu un istoric sau un risc potențial de coliziune sau de incursiune a pistei și în care este necesară o atenție sporită din partea piloților/conducătorilor auto.

Land And Hold Short Operation Location – LAHSO. Amplasarea marcajului utilizat pentru operațiunile de aterizare și așteptare de scurtă durată.

Painted Centerline – Linie continuă de-a lungul axului unei piste care unește cele două praguri ale pistei.

Parking Stand Area – O zonă desemnată pe o platformă de staționare destinată pentru parcare a unei aeronave.

Parking Stand Location – Locația unei aeronave parcate pe stand.

Position Marking – Locație pe suprafața de mișcare utilizată pentru autorizațiile controlului de trafic aerian, care ar putea fi un marcaj sau un semn.

Runway Centerline Point – Un punct al căruia locație se află pe axul pistei.

Runway Displaced Area – Acea porțiune a pistei dintre începutul pistei și pragul decalat.

Runway Element – Un element de pistă poate consta dintr-unul sau mai multe poligoane care nu sunt definite ca alte porțiuni ale caracteristicii pistei.

Runway Exit Line – Linie de ghidare care indică ieșirea de pe pistă pe o cale de rulare.

Runway Intersection – Zona intersectată de două sau mai multe piste.

Runway Marking – Marcajele pistei. Aceste marcaje pot include marcajele denumirii pistei, marcajele axului pistei, marcajele pragurilor, marcajele benzilor transversale, marcajele zonei de aterizare și marcarea benzii laterale a pistei.

Runway Shoulder – Zona adiacentă marginii unei piste astfel pregătită pentru a oferi o tranziție între pistă și suprafața adiacentă.

Runway Threshold – Pragul pistei - începutul acelei porțiuni a pistei care este disponibilă pentru aterizare sau începutul zonei pistei adecvate pentru operațiunile de neaterizare.

Service Road – Drum de serviciu, ce poate consta din unul sau mai multe poligoane. Drumurile de serviciu pot exista atât în interiorul, cât și în afara suprafeței de mișcare a aerodromului.

Stand Guidance Line – Linie de ghidare pe o zonă desemnată pe platforma de staționare a aeronavelor, destinată să fie utilizată pentru parcare a unei aeronave.

Stopway – O zonă dreptunghiulară situată la sol definită la sfârșitul lungimii de decolare disponibilă, pregătită ca zonă adecvată în care o aeronavă poate fi oprită în cazul unei decolări abandonate.

Survey Control Point - Un punct de control al rețelei, măsurat.

Taxiway Element - Elemente ale unei căi de rulare includ: cale de rulare, cale de rulare pe platforma de staționare, cale de rulare rapidă, și suprafețele cu linii de ghidare pentru aeronave.

Taxiway Guidance Line – Linia de ghidare a căii de rulare.

Taxiway Holding Position – Poziția de așteptare pe calea de rulare.

Taxiway Intersection Marking – Marcaj al intersecției pe o cale de rulare.

Taxiway Shoulder – O zonă adiacentă la marginea unei căi de rulare, astfel încât să ofere o tranziție între calea de rulare și suprafața adiacentă.

Touch Down Lift Off Area – O zonă portantă pe care poate ateriza sau decola un elicopter.

Vertical Line Structure – Structură de tip linie cu o întindere verticală definită, care este situată într-o zonă care se extinde de la marginea pistei la 90 m față de axul pistei și pentru toate celelalte părți ale suprafeței de mișcare a aerodromului, la 50 m față de marginea zonei definite.

Vertical Point Structure – Structură de tip punct cu o întindere verticală definită, care este situată într-o zonă care se extinde de la marginea pistei la 90 m față de axul pistei și pentru toate celelalte părți ale suprafeței de mișcare a aerodromului, la 50 m față de marginea zonei definite.

Vertical Polygonal Structure – Structură poligonală cu o întindere verticală definită, care este situată într-o zonă care se extinde de la marginea pistei la 90 m față de axul pistei și pentru toate celelalte părți ale suprafeței de mișcare a aerodromului, la 50 m față de marginile zonei definite.

Water - Corpuri de apă în apropierea suprafeței de mișcare.

Clasele de caracteristici ale AMDB sunt structurate în categorii de elemente, care sunt transpuse grafic prin puncte, linii sau poligoane (Figura 5.12):

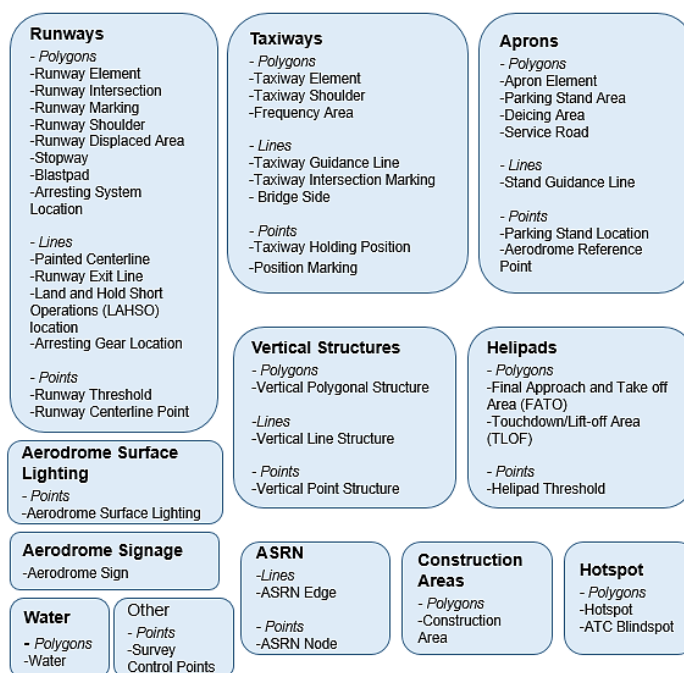


Figura 5.12. Seturi de caracteristici ale AMDB

5.5.3. Schimbul de date

Pentru a efectua schimbul de date, caracteristicile AMDB se convertesc în schema AMXS (Aerodrome Mapping Exchange Schema) prin utilizarea modelului UML, AMXM (Aerodrome Mapping Exchange Model).

AMXS (Aerodrome Mapping Exchange Schema) este implementarea în format XML a datelor cartografice de aerodrom, o codificare grafică standardizată, ce include metadatele și specificațiile produsului de date (Figura 5.13).

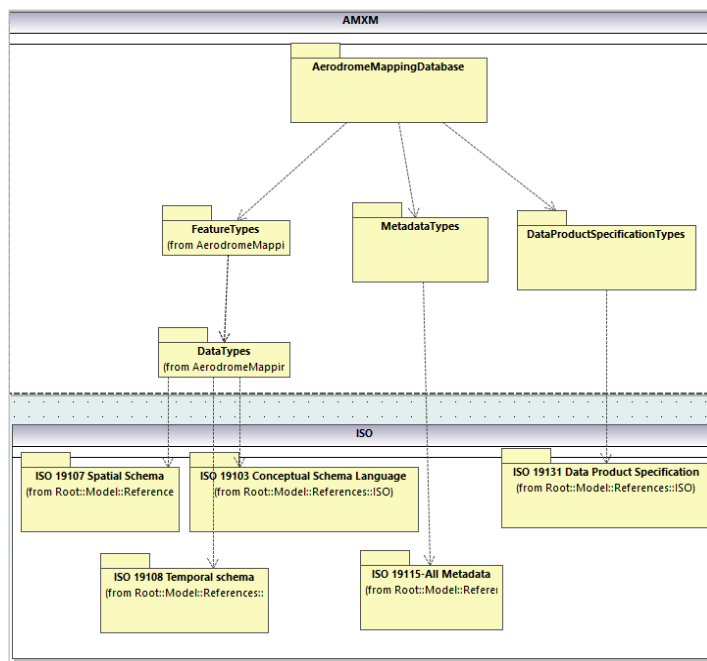


Figura 5.13. Modelul UML pentru caracteristici AMDB, Diagrama AMXM utilizând software-ul Altova UModel

Prin schema AMXS se asigură interoperabilitatea produselor, facilitând procesarea informației de către integratorii de date și asigurarea consistenței între operațiuni.

Schimbul datelor cartografice de aerodrom se bazează pe fundamentul standardelor ISO19100. Schema aplicației AMDB oferă modelul comun de date pentru produsele cartografice de aerodrom, ce utilizează reprezentări UML.

5.6. Soluții existente pentru sistemele informaționale specifice domeniului aeronautic

5.6.1. Platforma GDMS

GDMS (Geospatial Data Management System) [33] - Sistemul de gestiune al datelor geospațiale, furnizat de **SLC Geomatic Solutions Ltd**, oferă soluții geospațiale, printr-o colecție extinsă de instrumente concepute pentru modelarea 3D și analiza suprafețelor de protecție din jurul aeroporturilor, procesarea datelor spațiale, gestionarea datelor aeronautice și distribuirea acestora, asigurând schimbul de date în format AIXM 5.1. Dintre acestea, de menționat sunt:

- Instrumente de analiză și modelare 3D;
- Proiectarea suprafețelor de limitare a obstacolelor (OLS) conform ICAO Anexa 14
- Proiectarea suprafețelor de culegere a datelor de teren și de obstacolare, conform ICAO Anexa 15
- Instrumente de analiză pentru suprafețele de limitare a obstacolelor (OLS) și suprafețe de culegere a datelor de teren și obstacolare (eTOD);
- Gestionarea datelor de teren și obstacolare în format electronic;
- Șabloane preconfigurate pentru producerea hărților aeronautice;

- Suport pentru proceduri operaționale;
- Atât versiunea Desktop cât și cea Online oferă utilizatorilor posibilitatea de a-și accesa modelele salvate în propriul spațiu de lucru și de a analiza obstacole pentru suprafețele OLS și eTOD.

5.6.1.1. Studiu de caz al Aeroportului Internațional Manchester, Marea Britanie

Pentru exemplificare, am folosit versiunile GDMS Desktop și Online și am considerat studiul de caz al Aeroportului Internațional Manchester, din Marea Britanie, care servește ca bază pentru operațiuni pe două piste paralele, 05L/23R și 05R/23L.

5.6.2. Platforma ESRI, extensia ArcGIS for Aviation

ESRI (*Environmental Systems Research Institute*) susține această industrie, furnizând extensia **ArcGIS for Aviation: Airports and Charting** [34]. Pachetul ArcGIS Airports cuprinde:

- Validarea datelor aeronautice, parte integrantă din procesul de control al calității, pentru a putea fi ulterior folosite în procese de analiză;
- Modelări 3D ale suprafețelor de limitare a obstacolelor (Obstacle Limitation Surfaces - OLS) și a suprafețelor de culegere a datelor de teren și obstacolare (eTOD);
- Instrumente de analiză pentru suprafețele de identificare a obstacolelor (OIS);
- Gestionarea datelor de teren și obstacolare în format electronic;
- Adaptabilitatea fluxurilor de lucru în conformitate cu standardele și reglementările în vigoare, pentru generarea produselor destinate navigației aeriene;
- Producerea hărților aeronautice folosind șabloane predefinite;
- Schimbul de date folosind formatul AIXM;
- Asigurarea trasabilității.

5.6.2.1. Studiu de caz al Aeroportului Internațional Manchester, Marea Britanie

Pentru acest studiu de caz, am testat extensia ArcGIS for Aviation pentru versiunea ArcGIS Desktop 10.6.1 Advanced.

5.6.3. Platforma Ascend xyz

Ascend XYZ [35], în colaborare cu ESA (European Space Agency/ Agenția Spațială Europeană), prin programul Telecomunicații și Aplicații Integrate ARTES, a dezvoltat o aplicație web pentru menținerea aeroporturilor în siguranță, cu următoarele servicii și unelte ce merită menționate:

- Proiectarea suprafețelor de limitare a obstacolelor - OLS pentru identificarea și evaluarea obstacolelor;

- Managementul faunei prin detectarea schimbărilor mediului, folosind imagini satelitare preluate de Sentinel 2;
- Digitalizarea operațiilor și colectarea informației în timpul inspecțiilor periodice ale suprafeței de mișcare aeroportuare;
- Colector pentru înregistrarea activității faunei sălbatice din perimetrul suprafeței aeroportuare, prin aplicația *Wildlife Registration*;
- Radar pentru detectarea faunei sălbatice din interiorul suprafețelor de protecție OLS.

5.6.4. Platforma IDS AirNAV, Suita eTOD

IDS AirNav, fosta divizie IDS Air Navigation a IDS Ingegneria dei Sistemi, a fost achiziționată de ENAV Group în anul 2019.

Printre soluțiile și serviciile Platformei IDS AirNav [36] se numără:

- Proiectarea suprafețelor de limitare a obstacolelor, conform ICAO Anexa 14
- Proiectarea zonelor de culegere a datelor de teren și obstacolare, conform ICAO Anexa 15
- Gestionarea datelor de teren și obstacolare în format electronic (*eTOD Airport Terrain and Obstacle Data Management*);
- Schimbul de date utilizând AIXM 5.1;
- Gestionarea informației aeronautice, în conformitate cu cerințele ICAO și EUROCONTROL pentru calitatea datelor – ADQ (Aeronautical Data Quality);
- Tranziția de la Servicii de Informare Aeronautică (Aeronautical Information Services - AIS) la Managementul Informației Aeronautice (Aeronautical Information Management - AIM);
- Proceduri de zbor și proiectarea spațiului aerian, a rutelor;
- Dezvoltarea și validarea procedurilor operaționale;
- Hărți aeronautice în mediul GIS (*GIS Charting*) și pentru Publicații de Informare Aeronautică (Aeronautical Information Publications - AIP) și servicii Web;
- Șabloane pentru întocmirea hărților aeronautice;
- Evaluare operațională în timp real prin simulator turn de control și cabină de pilotaj.

5.6.5. Concluzii

Dintre soluțiile pentru aviație existente am considerat GDMS și ArcGIS for Aviation în studiul de caz pentru Aeroportul Internațional Manchester, iar pentru a compara capacitățile acestora, am inclus și soluțiile IDS AirNav și Ascend xyz, identificând mai multe criterii prezentate în Tabelul 5.7.

Tabel 5.7. Tabel comparativ între capacitățile soluțiilor pentru aviație studiate

Criterii	GDMS	ESRI ArcGIS for Aviation	IDS AirNav	Ascend xyz
Automatizarea proiectării suprafețelor OLS	✓	✓	✓	✓
Evaluarea obstacolelor dpdv al analizei OLS	✓	✓	✓	✓
Automatizarea proiectării suprafețelor eTOD	✓	✓	✓	-
Evaluarea obstacolelor dpdv al analizei eTOD	✓	✓	✓	-
Suport pentru Aerodrome Mapping Database (AMDB)	-	✓	✓	-
Șabloane pentru hărți aeronautice	✓	✓	✓	-
Suport și instrumente pentru modelare 3D	✓	✓	✓	-
Validare modele digitale (DTM/DSM)	✓	✓	✓	-
Vizualizare 2D/3D	✓	✓	✓	✓
Suport pentru date raster, vector, modele 3D	✓	✓	✓	✓
Versiune Online disponibilă fără a necesita software instalat	✓	✓	✓	✓
Detectarea schimbărilor pentru spațiul aerian protejat	-	-	-	✓
Schimbul de date în format AIXM	✓	✓	✓	-

După cum reiese din tabelul de mai sus, extensia ArcGIS for Aviation și soluțiile IDS AirNav și GDMS prezintă cele mai multe avantaje la întocmirea studiilor aeronautice, având capacități extinse de modelare 3D a suprafețelor de identificare a obstacolelor OLS și eTOD, evaluarea obstacolelor, șabloane pentru hărți aeronautice, precum și grad ridicat de automatizare. În ceea ce privește schimbul de date, aceste soluții asigură interoperabilitatea prin formatul de date AIXM, iar în plus ArcGIS for Aviation și IDS AirNAV au suport pentru AMDB.

5.7. Calitatea datelor aeronautice – Aeronautical Data Quality (ADQ)

Cerințele de calitate a datelor și informațiilor aeronautice pentru Cerul unic european (Single European Sky – SES), conform regulamentului UE 73/2010 [37] se aplică sistemelor și procedurilor aferente implicate în generarea, producerea, stocarea, manipularea, procesarea, transferarea și distribuirea datelor și informațiilor aeronautice, astfel încât să susțină interoperabilitatea rețelei europene de gestionare a traficului aerian (European Air Traffic Management Network – EATMN), precum și a cerințelor de uniformizare și armonizare stabilite la nivel internațional.

Datele și informațiile aeronautice cuprind:

- Pachetul integrat de informare aeronautică (IAIP)
- Datele electronice de teren
- Datele electronice de obstacole
- Datele cartografice de aerodrom

Conform specificațiilor EUROCONTROL – Data Quality Requirements [38] și EUROCONTROL - ADQ Guidelines [39], RACR-AIS [25] și ICAO Doc 10066 PANS AIM [27], prin calitatea datelor se descrie gradul sau nivelul de încredere în capacitatea datelor furnizate de a îndeplini cerințele utilizatorului de date în ceea ce privește acuratețea, rezoluția, integritatea, trasabilitatea, actualitatea, integralitatea și formatul (Figura 5.14).

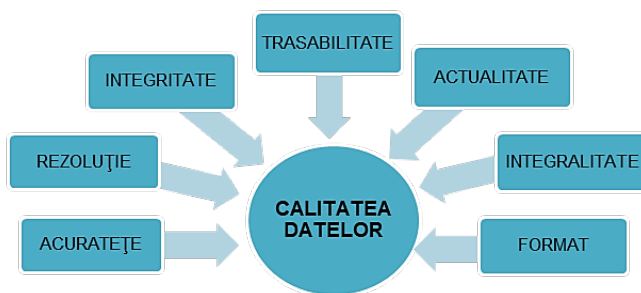


Figura 5.14. Calitatea datelor aeronautice

„**Acuratețea** reprezintă gradul de concordanță între valoarea măsurată sau estimată și valoarea reală”. [25]

„**Rezoluția** se referă la un număr de unități sau caractere în care se exprimă și se utilizează o valoare măsurată sau calculată”. [25]

„**Integritatea** reprezintă un grad de asigurare a faptului că un element de date și valoarea acestuia nu au fost pierdute sau alterate din momentul în care datele au fost generate sau modificate”. [25]

„**Clasificarea integrității** (cu referire la datele aeronautice)/integrity classification (aeronautical data) - clasificarea se bazează pe riscul potențial care rezultă din folosirea datelor aeronautice corupte. Datele aeronautice se clasifică astfel:

a) date aeronautice de rutină: există o foarte mică probabilitate ca prin utilizarea unor date de rutină corupte, zborul și aterizarea în continuă siguranță a unei aeronave să fie expuse unui risc sever, cu potențial de catastrofă;

b) date aeronautice esențiale: există o mică probabilitate ca prin utilizarea unor date esențiale corupte, zborul și aterizarea în continuă siguranță a unei aeronave să fie expuse unui risc sever, cu potențial de catastrofă; și

c) date aeronautice critice: există o mare probabilitate ca prin utilizarea unor date critice corupte, zborul și aterizarea în continuă siguranță a unei aeronave să fie expuse unui risc sever, cu potențial de catastrofă;” [39]

„**Trasabilitatea datelor** (data traceability) reprezintă capacitatea de a urmări cursul de dezvoltare al datelor, de la originea acestora, istoricul procesării, până la distribuire și livrare.” [25]

„**Actualitatea datelor** (data timeliness) reprezintă gradul de încredere că datele sunt aplicabile perioadei de utilizare prevăzute.” [25]

„**Integralitatea** (data completeness) reprezintă gradul de încredere că sunt furnizate toate datele necesare scopului proiectului.” [25]

„**Formatul datelor** (data format) reprezintă o structură de elemente de date, înregistrări și fișiere aranjate astfel încât să îndeplinească standardele, specificațiile sau cerințele de calitate a datelor.” [25]

Normele de calitate a datelor aeronautice au fost respectate în studiile de caz din capitolele 4.1, 4.2, 5.6 și 6 atât pentru datele de intrare, cât și în procesele de prelucrare, manipulare, transfer și distribuire a datelor. Datele de intrare respectă toate reglementările în vigoare pentru ADQ. Toate procedeele de prelucrare pentru datele de intrare sunt verificate și validate în procesul de control al calității, încadrându-se în toleranțele admisibile.

Capitolul 6. Integrarea studiilor aeronautice eTOD și a bazei de date cartografice de aerodrom AMDB, într-o bază de date centralizată

6.1. Aerodrome Master Database - Bază de date centralizată pentru eTOD și AMDB

Platforma online Aerodrome Master Database reprezintă SaaS - Software as a Service, în care se integrează eTOD și AMDB, într-o bază de date centralizată.

Baza de date electronice de teren și de obstacolare (Electronic Terrain and Obstacle Database - eTOD) și baza de date cartografice de aerodrom (Aerodrome Mapping Database - AMDB) sprijină toate activitățile și oferă o bază comună pentru proiectarea procedurilor spațiului aerian și crearea hărților aeronautice.

Integrarea eTOD și AMDB într-o singură bază de date are avantajul de a crea un sistem unic de gestiune a datelor aeronautice, al fluxurilor de lucru, de validare a datelor în vederea asigurării calității, precum și a schimbului de date în formatul standardizat ce asigură interoperabilitatea (Figura 6.1).

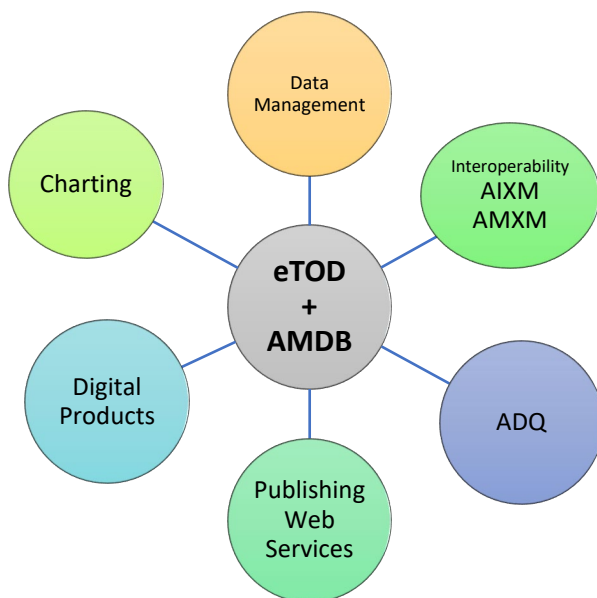


Figura 6.1. Servicii oferite prin platforma online Aerodrome Master Database

Crearea unei baze de date spațiale presupune în primul rând definirea sistemelor de coordonate în care entitățile funcționează.

Conform standardelor ICAO, Sistemul Geodezic Internațional WGS 84 este ales ca sistem de referință orizontal, iar sistemul de referință vertical se raportează la nivelul mediu al mării (Mean Sea Level – MSL).

Sunt necesare transformări de coordonate pentru a face conversia între sistemul de coordonate cartezian geocentric și sistemul de coordonate geodezic.

Norme și standardele ICAO au fost atinse în arhitectura acestei baze de date, de la adaptarea caracteristicilor necesare, de tip punct, linie și poligon (Point, Line, Polygon Feature), crearea relațiilor între aceste clase și definirea restricțiilor spațiale, pentru sprijinirea schimbului de date.

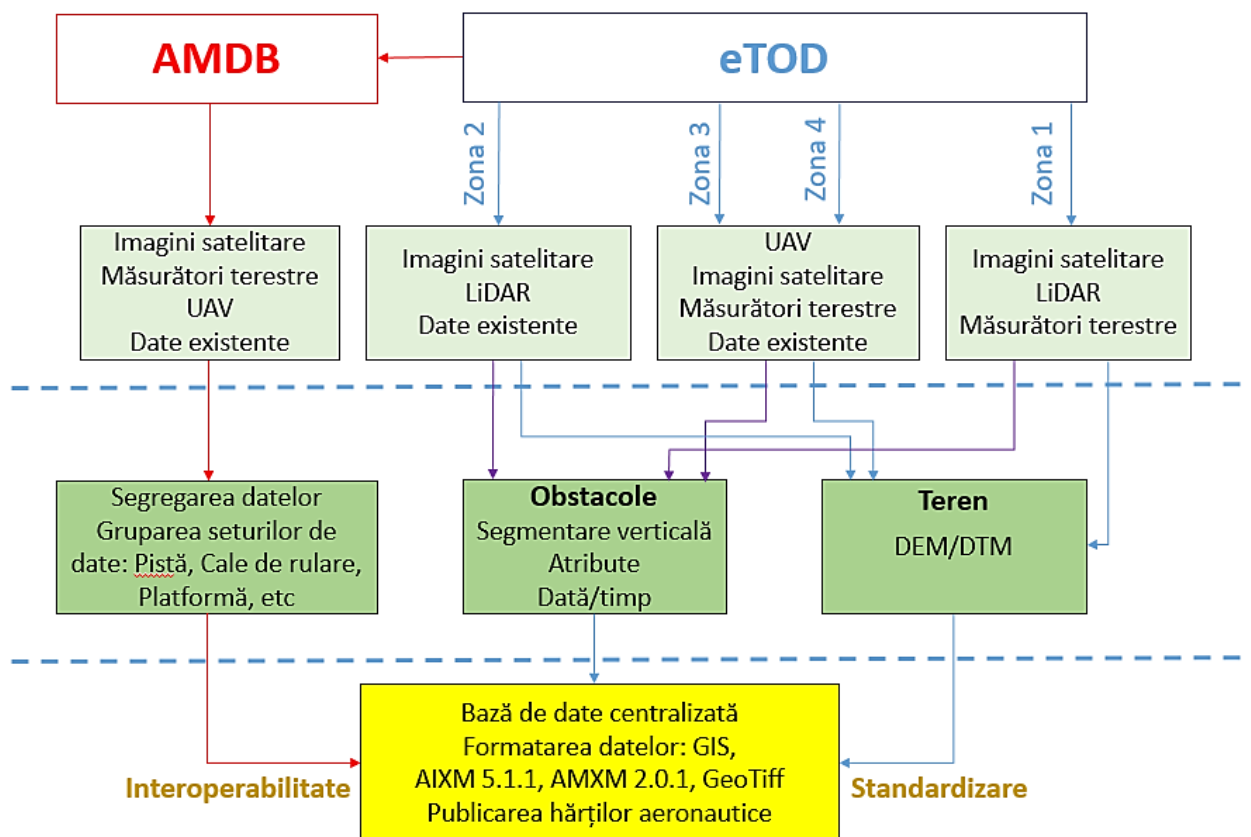


Figura 6.2. Bază de date centralizată pentru eTOD și AMDB

Metodele de achiziție și procesare a datelor spațiale se particularizează în funcție de scopul aplicației, luând în considerare specificațiile fiecărei zone eTOD și AMDB. (Figura 6.2).

Imaginile satelitare reprezintă una din metodele optime pentru a colecta datele aeronautice, din punct de vedere al aplicabilității pentru zona de interes cu suprafață întinsă, precum și al rapidității colectării. Determinările GNSS sunt necesare pentru achiziția GCP și pentru procesul de verificare și validare, fiind de asemenea utilizate pentru determinarea anumitor structuri din interiorul Zonelor 3 și 4 și AMDB. Ținând cont de întinderea suprafețelor eTOD, achizițiile LiDAR reprezintă o alternativă de colectare a datelor cu precizia cea mai bună, însă datorită costurilor asociate ridicate, este de regulă potrivită pentru proiecte de mai mare anvergură. Metodele fotogrammetrice prin utilizarea unui sistem UAV sunt potrivite pentru colectarea datelor AMDB și pentru zonele 3 și 4 eTOD, atingând cerințele de acuratețe ale determinărilor.

Ținând cont de faptul că datele colectate provin din diverse surse și metode diferite de achiziție, acestea trebuie să fie organizate și gestionate, în vederea integrării în sisteme informaționale specifice pentru analiză.

Datorită faptului că cele două produse eTOD și AMDB au elemente comune (de exemplu date de obstacolare), procesul de validare a datelor poate identifica geometrii comune, însă atributele textuale vor fi diferite pentru eTOD și AMDB.

Automatizarea proceselor și prelucrarea datelor și informațiilor aeronautice trebuie să se realizeze corespunzător, fiind adecvate scopului de a furniza elemente de date critice și esențiale, și metadatele aferente.

Automatizarea validării datelor reduce riscul apariției erorilor și în același timp asigură furnizarea datelor și informațiilor aeronautice corecte, complete și actuale.

Automatizarea proceselor de modelare 3D a suprafețelor eTOD și identificare a obstacolelor duce la creșterea fiabilității și optimizarea performanței sistemului.

Standardizarea schimbului de date este un element cheie în atingerea interoperabilității la nivel global, de aceea datele de ieșire utilizează o varietate de formate, printre care formatul AIXM pentru eTOD și formatul AMXM pentru AMDB, GeoTiff pentru date de teren, precum și publicarea hărților aeronautice în mediul GIS.

6.2. Modelarea suprafețelor de culegere a datelor de teren și obstacolare eTOD

Proiectul este realizat pas cu pas pentru stabilirea celor patru domenii de colectare a datelor spațiale, suprafețele de culegere a datelor de teren și obstacolare (Coverage Areas), evaluarea datelor existente și planificarea achiziției ulterioare de date.

Prin modelări matematice, se propune o automatizare cu scopul obținerii suprafețelor de culegere a datelor de teren și obstacolare și identificarea obstacolelor ce penetrează aceste suprafețe.

Se dezvoltă modele în mediul GIS având la bază seturi de reguli pentru implementarea fluxurilor de lucru.

Modelele sunt dezvoltate pentru generarea suprafețelor de colectare a datelor de teren și obstacolare (Coverage Areas), în funcție de categoria fiecărei piste, utilizând ArcGIS Model Builder, printr-o interfață de sistem prin care se automatizează fluxurile informaționale prin operații, într-un proces iterativ.

Metodele și procedurile asamblate pentru crearea modelelor de date eTOD sunt organizate în seturi de instrumente, grupate într-un *Geoprocessing model*, ce pot fi încărcate în ArcToolbox.

Geometria specifică fiecărei zone eTOD necesită crearea modelelor unice cu câte un set de instrumente corespunzător fiecărei zone.

6.2.1. Modelul de date pentru Zona 1

Limita Zonei 1 se identifică cu limita politică pentru întreg teritoriul statului.

Am descărcat limitele administrative în format shapefile folosind serviciul Open Street Map [40]. Limita Zonei 1 reprezintă poligonul creat prin copiere a limitei administrative a statului (Figura 6.3).

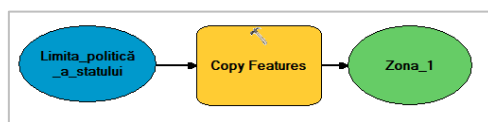


Figura 6.3. Modelul de date pentru crearea Zonei 1

6.2.2. Modelul de date pentru Zona 2

Zona 2 are un grad ridicat de complexitate în crearea modelului de date deoarece este împărțită în 4 zone cu specificații diferite.

Zona 2a este delimitată de banda pistei și prelungirile degajate ale pistei (*Variable/date de intrare*), unind aceste două clase de obiecte prin unealta de analiză *Union 3D (3DAnalyst Tool - 3DFeatures)* (Figura 6.4).

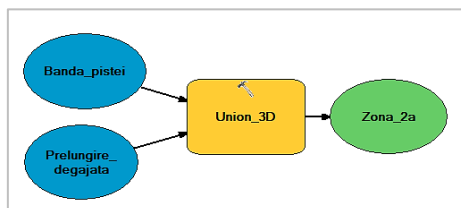


Figura 6.4. Modelul de date pentru crearea Zonei 2a

Zona 2b este delimitată de capetele Zonei 2a, se extinde 10 km în direcția de decolare, cu o divergență de 15% pe fiecare latură față de axul prelungit al pistei și o înclinație de 1.2%.

Pentru generarea Zonei 2b, am utilizat limbajul de programare Python. Am creat punctele AP1, AP2, AP3 și AP4 ce definesc Zona 2b, coordonatele planimetrice și altitudinea punctelor AP1 și AP2 fiind deja determinate, cunoscând limita Zonei 2a (limita interioară a Zonei 2b). Altitudinea punctelor AP3 și AP4 se determină utilizând altitudinea punctelor AP1 și AP2, la care se adaugă lungimea zonei, având valoarea de 10 km, înmulțită cu panta de 1,2%.

Cunoscând lungimea zonei și divergența pe fiecare latură față de axul prelungit al pistei, se determină lățimea extinsă a Zonei 2b. Astfel având lățimea extinsă a zonei 2b la care se adaugă lățimea Zonei 2a, se determină limita exterioară a Zonei 2b. Cunoscând limita inferioară și cea exterioară a zonei 2b, lungimea și panta zonei, se determină poligonul pentru Zona 2b.

Zona 2c se extinde 10 km față de Zona 2a, în afara limitelor acesteia și a Zonei 2b, cu o înclinație de 1.2%.

Pentru generarea Zonei 2c, am utilizat limbajul de programare Python. Am creat cercuri cu raza de 10 km având centrele în cele patru puncte (colțuri) ale Zonei 2a. Am trasat apoi tangentele la aceste cercuri, aplicând regula ca lungimea tangentelor să nu fie mai mare decât lungimea Zonei 2a și am eliminat tangentele exterioare pentru zona de intersecție. Din produsul rezultat în urma unirii celor 4 zone și a tangentelor, se elimină zonele 2a și 2b, și se obține astfel poligonul Zonei 2c. Altitudinea limitei exterioare a zonei 2c se determină plecând de la altitudinea limitei interioare (a Zonei 2a), aplicând lungimea zonei și panta.

Zona 2d se extinde 45 km având centrul ARP (*Aerodrome Reference Point*), în afara Zonelor 2a, 2b și 2c, și intersectează limita regiunii de control terminal (TMA). Reprezintă un plan orizontal, a cărui altitudine se determină de la pragul cu altitudinea minimă, pe o lungime de 10 km, cu o pantă de 1.2%.

Modelul Zonei 2d se construiește plecând de la poligoanele Zonelor 2a, 2b și 2c deja determinate, care se îmbină prin *Merge (Data Management Tool - General)*, obținând o nouă clasă de obiecte de tip poligon (Figura 6.5).

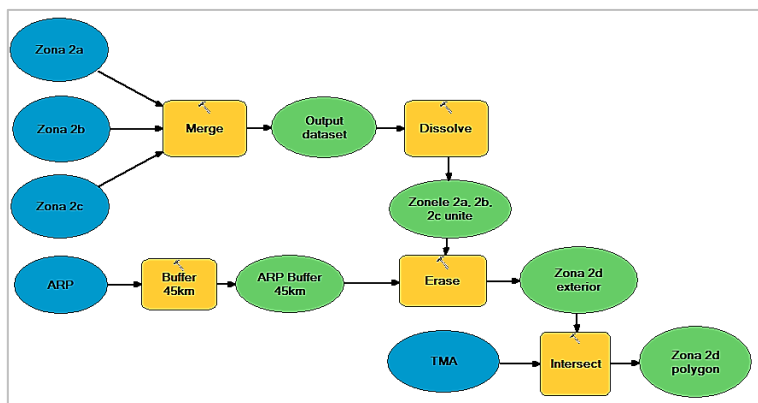


Figura 6.5. Modelul de date pentru crearea Zonei 2d

6.2.3. Modelul de date pentru Zona 3

Zona 3 delimitează suprafața de mișcare a aerodromului, prin extindere orizontală 90 m de la axul pistei și 50 m față de laturile altor suprafețe componente. În situația în care se operează pe două sau mai multe piste, limita Zonei 3 este comună și rezultă din intersecția suprafețelor specificate.

Limita Zonei 3 se trasează cu ajutorul axului pistei, a limitelor pistelor, căilor de rulare și platformelor (apron, hangare) (Figura 6.6).

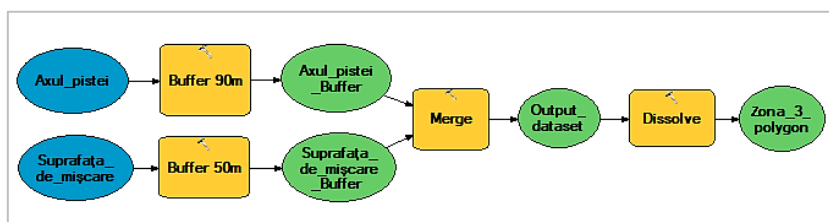


Figura 6.6. Modelul de date pentru crearea Zonei 3

6.2.4. Modelul de date pentru Zona 4

Acest model de date se folosește pentru pistele de apropiere de categoria II sau III. Zona 4 se reprezintă printr-o suprafață dreptunghiulară de 900 m lungime de la pragul pistei în direcția de decolare/aterizare și 60 m lățime față de axul prelungit al pistei (900 m x 120 m).

Clasele de obiecte care sunt necesare pentru realizarea acestui model sunt axul pistei și pragurile pistei (Figura 6.7).

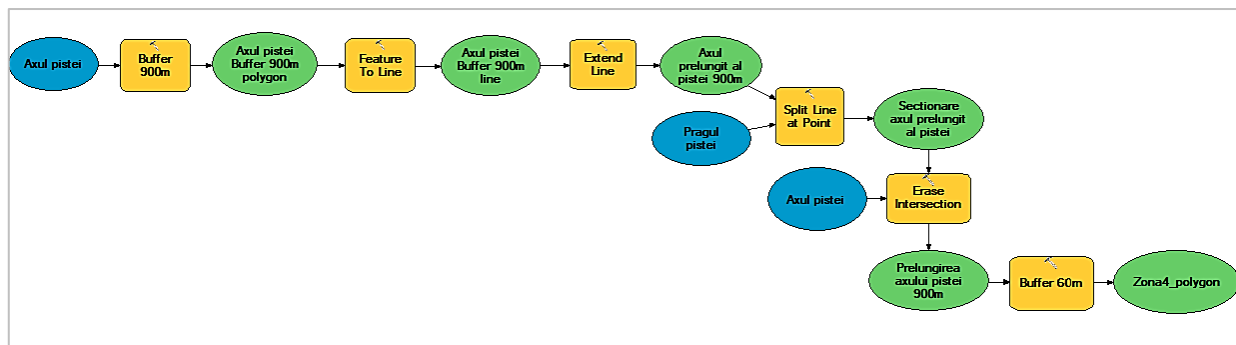


Figura 6.7. Modelul de date pentru crearea Zonei 4

Rezultatele modelării suprafețelor eTOD se observă în figura 6.8.

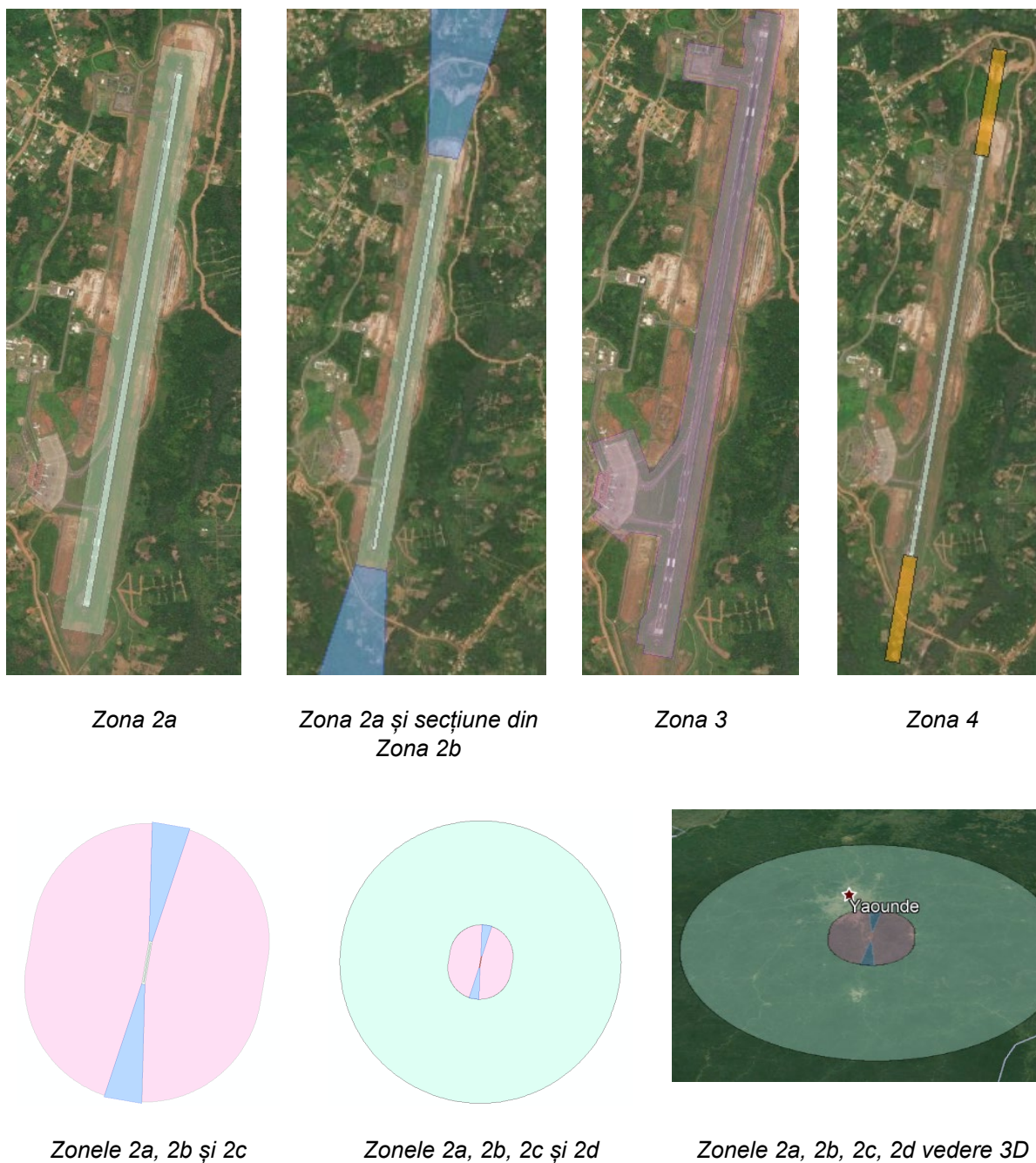


Figura 6.8. Rezultatele modelării suprafețelor eTOD

6.3. Automatizarea procesului de analiză pentru identificarea obstacolelor

Odată determinate suprafețele de culegere a datelor de teren și obstacolare, modelul de date pentru identificarea obstacolelor se realizează prin intersectarea datelor spațiale cu aceste suprafețe 3D. Datele spațiale supuse prelucrării sunt adaptate specificațiilor fiecărei zone.

Pentru **Zona 1**, se identifică toate obiectele a căror înălțime este de 100 m sau mai mare (Figura 6.9).

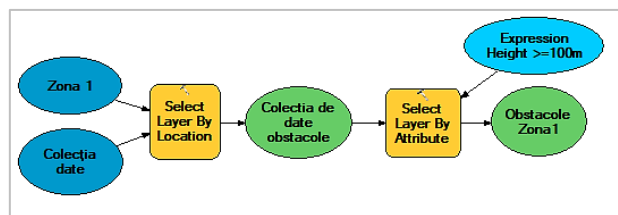


Figura 6.9. Modelul de date pentru determinarea obstacolelor din Zona 1

Pentru **Zona 2a**, se identifică obiectele care au o înălțime de 3 m față de capătul pistei, sau aceeași altitudine ca și capătul pistei, în cazul porțiunilor referitoare la prelungirile degajate ale pistei (Figura 6.10).

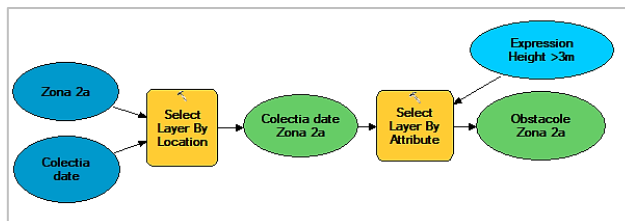


Figura 6.10. Modelul de date pentru determinarea obstacolelor din Zona 2a

Pentru **Zona 2b** se consideră datele de prelucrare a căror înălțime este mai mare de 3 m față de sol (Figura 6.11).

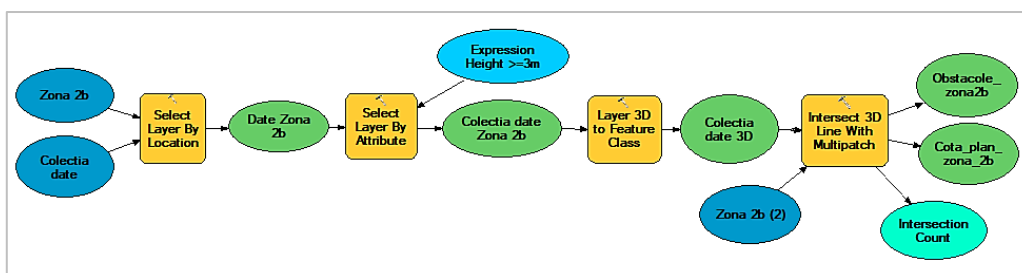


Figura 6.11. Modelul de date pentru determinarea obstacolelor din Zona 2b

Pentru **Zona 2c** se consideră datele de prelucrare a căror înălțime este mai mare de 15 m față de sol (Figura 6.12).

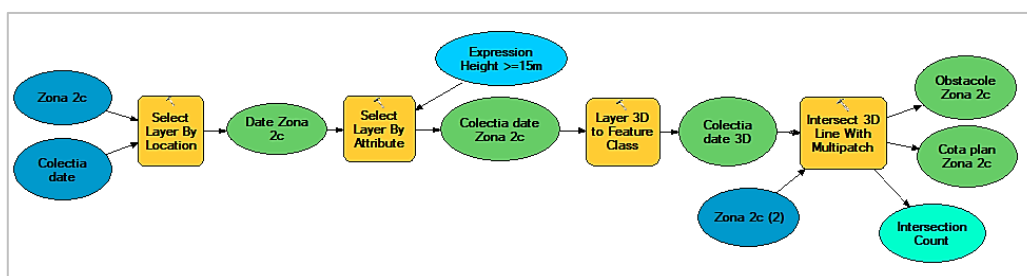


Figura 6.12. Modelul de date pentru determinarea obstacolelor din Zona 2c

Pentru **Zona 2d** se identifică obiectele a căror înălțime este de 100 m deasupra solului sau mai mare (Figura 6.13).

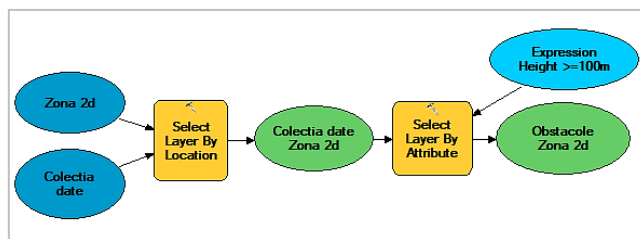


Figura 6.13. Modelul de date pentru determinarea obstacolelor din Zona 2d

Pentru **Zona 3** se identifică obiectele care sunt cuprinse în suprafața extinsă cu 0,5 m deasupra planului orizontal care trece prin cel mai apropiat punct situat pe suprafața de mișcare (Figura 6.14).

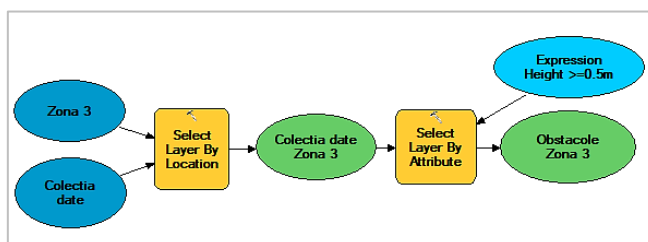


Figura 6.14. Modelul de date pentru determinarea obstacolelor din Zona 3

Rezultatele modelării procesului de identificare al obstacolelor se observă în figura 6.15, drapate pe ortofotoplan.

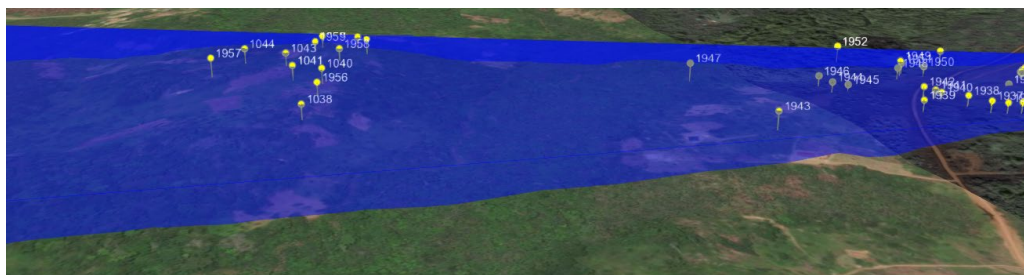


Figura 6.15. Rezultatele modelării procesului de identificare al obstacolelor pentru Zona 2b

Area_of_coverage	2b
Data_originator_identifier	Sabina Plaviceanu
Obstacle_identifier	1386
Horizontal_accuracy	0.5
Horizontal_confidence_level	90
Description	HUT_L/C
Horizontal_position_N	034444.0539N
Horizontal_position_E	0113326.4531E
Easting UTM32N	784059.184
Northing UTM32N	414418.341
Horizontal_resolution	0.00001
Horizontal_extent	<Null>
Horizontal_reference_system	WGS84
Elevation_top	707.885
Vertical_accuracy	0.5
Vertical_confidence_level	90
Elevation_reference	MSL
Vertical_resolution	0.001
Vertical_reference_system	EGM96
Obstacle_type	FIXED
Geometry_type	POLYGON
Integrity	0.00001
Date	6/30/2016
Unit_of_measurement_used	METRE
Lighting	N
Marking	N
Pen	5.549
Area2b elev	702.336

Figura 6.16. Rezultatul analizei obstacolelor pentru Zona 2b

În figura 6.16 se observă atributele conform Anexei 15 ale unuia din obstacolele ce penetrează Zona 2b. Câmpul 'Pen' reprezintă valoarea în metri cu care obstacolul penetrează zona, iar câmpul 'Area2b_elev' reprezintă altitudinea planului Zonei 2b în acel punct.

6.4. Studiu de caz privind realizarea bazei de date cartografice de aerodrom pentru Aeroportul Internațional Yaoundé – Nsimalen, Camerun

Situat la 27 km de sudul capitalei Yaoundé, al doilea cel mai aglomerat aeroport din Camerun prin trafic total de pasageri și al doilea ca mărime, Aeroportul Internațional Yaoundé-Nsimalen operează pe pista 01/19 apropiere de non-precizie, cod 4 pe direcția 01 și apropiere de precizie categoria I, cod 4 pe direcția 19.

6.4.1. Date spațiale utilizate

Pentru a produce AMDB, se utilizează date spațiale în diferite formate (vector, raster, modele 3D) care provin din diferite surse:

- modele digitale ale terenului, derivate prin metode de teledetecție din imagini satelitare care au fost georeferențiate folosind GCP;
- ortofotoplanuri de înaltă rezoluție;
- observații GNSS;
- hărți aeronautice și informații din AIP;
- planuri în format CAD primite de la operatorii aeroportuari.

Datele spațiale trebuie transformate din sistemul de coordonate cartezian într-un datum comun, WGS-84.

6.4.2. Fluxuri de lucru

6.4.2.1. Extragerea și modelarea informației 3D

Un produs AMDB de înaltă calitate necesită extragerea sau actualizarea elementelor 3D (în conformitate cu ciclul AIRAC)¹ utilizând ortofotoplanuri și modele digitale ale terenului, proces în urma căruia rezultă un volum ridicat de date, care este gestionat în mediul GIS, în cadrul unei baze de date.

Fiecare aeroport este unic, astfel anumite elemente de date ale AMDB nu se regăsesc în perimetrul fiecărui aeroport. Elementele de date 3D create pentru FKYS sunt următoarele, în funcție de clasa tematică (Figura 6.17):

- **Runway:** Runway Element, Runway Threshold, Painted Centerline, Runway Centerline Point, , Runway Marking, Runway Shoulder, Stopway, Blastpad, Runway Exit Line
- **Taxiway:** Taxiway Element, Taxiway Guidance Line, Taxiway Shoulder, Taxiway Holding Position, Frequency Area
- **Apron:** Apron Element, Parking Stand Area, Stand Guidance Line, Parking Stand Location, Aerodrome Reference Point, Service Road
- **Vertical Structures:** Vertical Point Structure, Vertical Line Structure, Vertical Polygonal Structure
- **Aerodrome Signage:** Aerodrome Sign
- **Aerodrome Surface Lighting:** Aerodrome Surface Lighting

¹ AIRAC - Aeronautical Information Regulation and Control; un ciclu este predeterminat la fiecare 28 de zile calendaristice

- **Survey Control Point:** Survey Control Point
- **ASRN:** ASRN Node, ASRN Edge

Fiecărui element de date i se asociază un set de atribute; atât geometria, cât și atributele aferente sunt verificate în procesul de control al calității.



Figura 6.17. AMDB pentru Aeroportul Internațional FKYS, drapat pe ortomozaic de înaltă rezoluție

În figura 6.18 este exemplificat fluxul de lucru pentru elementele de date: extragerea informației și modelarea 3D, popularea cu atribute, modelarea UML folosind AMXM și obținerea schemei pentru schimbul de date.

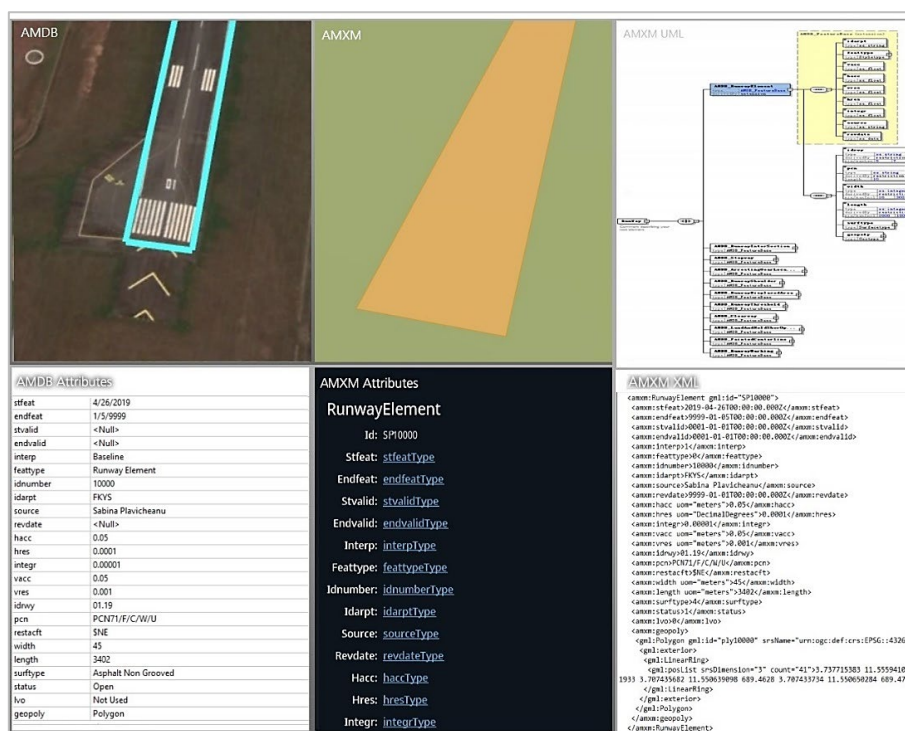


Figura 6.18. Flux de lucru pentru obținerea AMDB și a schemei AMXM

6.4.2.2. Verificarea și validarea

Verificarea și validarea (V&V) este procesul critic din orice flux de lucru, prin care se confirmă că produsul corespunde din punct de vedere al constrângerilor geometrice și funcționale. La începutul acestui proces sunt create seturi de reguli de topologie prin intermediul cărora se identifică anumite erori ce necesită corecții. Am enumerat câteva dintre aceste reguli:

Reguli de topologie

- Eroare de auto-intersecție - polilinia axului pistei se închide în ea însăși (*Polyline closes on self*)
- Eroare de depășire - polilinia axului pistei nu se regăsește în interiorul poligonului Pistă (*PaintedCenterline not within RunwayElement*)
- Eroare de neîncadrare - nodurile de capăt ale polilinieii axului pistei nu coincid cu nodurile Pistă (*PaintedCenterline start/end not coincident with RunwayElement*)
- Eroare de suprapunere - suprapunerea limitelor poligoanelor Pistă și Cale de rulare (*RunwayElement overlaps TaxiwayElement*)
- Clasa de obiecte Axul Pistei conține noduri duplicate (*PaintedCenterline has duplicate vertices*)

Pentru a realiza conversia datelor, am utilizat software-ul FME Desktop v2019.0. Fluxurile de lucru conțin elemente de transformare și manipulare a datelor, bazate pe validare prin care datele se verifică din punct de vedere al corectitudinii, formatului, structurii, integrității și al consistenței.

6.4.3.3. Schimbul de date și interpretarea grafică

AMXM UML reprezintă modelul de schimb pentru elementele de date ale AMDB, din care am derivat schema AMXS, prin intermediul serviciilor interoperabile SWIM.

Schimbul de date folosind AMXS se referă la standardul OpenGIS Web Feature Service 1.1 (WFS1.1), disponibil în prezent pe scară largă în majoritatea software-urilor GIS. AMXS se bazează pe GML versiunea 3.1.1 (Figura 6.19).

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<amxm:featureMember>
  <amxm:AerodromeSign gml:id="SP1545">
    <amxm:stfeat>2019-04-26T00:00:00.000Z</amxm:stfeat>
    <amxm:endfeat>9999-01-05T00:00:00.000Z</amxm:endfeat>
    <amxm:stvalid>0001-01-01T00:00:00.000Z</amxm:stvalid>
    <amxm:endvalid>0001-01-01T00:00:00.000Z</amxm:endvalid>
    <amxm:interp>1</amxm:interp>
    <amxm:feattype>43</amxm:feattype>
    <amxm:idnumber>AM_1545</amxm:idnumber>
    <amxm:ldarpt>FKYS</amxm:ldarpt>
    <amxm:source>Sabina Plaviceanu</amxm:source>
    <amxm:revdate>9999-01-01T00:00:00.000Z</amxm:revdate>
    <amxm:hacc uom="meters">0.05</amxm:hacc>
    <amxm:hres uom="DecimalDegrees">0.0001</amxm:hres>
    <amxm:integr>0.00001</amxm:integr>
    <amxm:vacc uom="meters">0.05</amxm:vacc>
    <amxm:vres uom="meters">0.001</amxm:vres>
    <amxm:height uom="meters">0.305</amxm:height>
    <amxm:status>1</amxm:status>
    <amxm:signtype>1</amxm:signtype>
    <amxm:msgfront>19-01</amxm:msgfront>
    <amxm:msgback>P</amxm:msgback>
    <amxm:signdir nilReason="Not Entered" uom="degree"/>
    <amxm:geoint>
      <gml:Point gml:id="pntAM_1545" srsName="urn:ogc:def:crs:EPSG::4326">
        <gml:pos srsDimension="3">3.735070348 11.554724875 690.022</gml:pos>
      </gml:Point>
    </amxm:geoint>
  </amxm:AerodromeSign>
</amxm:featureMember>
<amxm:featureMember>
  <amxm:AerodromeSurfaceLighting gml:id="SP10537">
    <amxm:stfeat>2019-04-26T00:00:00.000Z</amxm:stfeat>
    <amxm:endfeat>9999-01-05T00:00:00.000Z</amxm:endfeat>
    <amxm:stvalid>0001-01-01T00:00:00.000Z</amxm:stvalid>
    <amxm:endvalid>0001-01-01T00:00:00.000Z</amxm:endvalid>
    <amxm:interp>1</amxm:interp>
    <amxm:feattype>32</amxm:feattype>
    <amxm:idnumber>10537</amxm:idnumber>
    <amxm:ldarpt>FKYS</amxm:ldarpt>
    <amxm:source>Sabina Plaviceanu</amxm:source>
    <amxm:revdate>9999-01-01T00:00:00.000Z</amxm:revdate>
    <amxm:hacc uom="meters">0.05</amxm:hacc>
```

Figura 6.19. Secvență din schema AMXS a Aeroportului Internațional Yaoundé-Nsimalen (FKYS)

Pentru vizualizarea elementelor AMDB pentru FKYS, schema AMXS de mai sus se poate interpreta grafic, prin utilizarea unui software de tipul Luciad Lightspeed AIXM 5 Viewer [41], rezultatele interpretării fiind observate în figura 6.20.

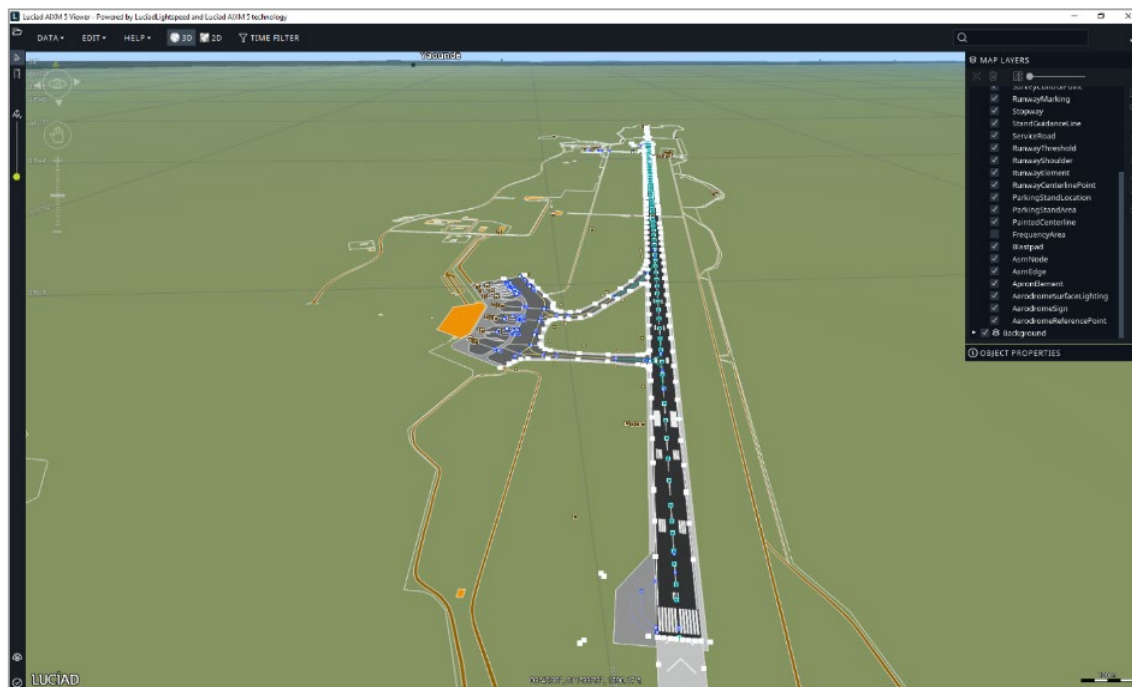


Figura 6.20. AMXM pentru Aeroportul Internațional FKYS, utilizând software-ul Luciad Lightspeed AIXM 5 Viewer

6.5. Concluzii

Principalul scop al acestui studiu de caz este de a integra studiile aeronautice eTOD și baza de date cartografice de aerodrom AMDB, două produse distincte, într-o bază de date unică.

Fluxul de lucru pentru integrarea celor două produse are la bază conceptualizarea prin analiza structurii bazei de date eTOD, a suprafețelor și a modului de a testa obstacolele, precum și structura bazei de date AMDB și a modului de distribuire al informației aeronautice.

Plecând de la aceste aspecte, am proiectat baza de date, incluzând:

- automatizarea modelării suprafețelor de culegere a datelor de teren și obstacolare eTOD
- automatizarea procesului de analiză pentru identificarea obstacolelor
- automatizarea procesului de verificare și validare
- automatizarea procesului de conversie și transformare a elementelor de date în schemele interoperabile.

Rezultatele automatizării fluxului de lucru confirmă faptul că modelele create oferă un grad înalt de încredere în identificarea obstacolelor și determinarea valorii cu care acestea penetrează suprafețele de protecție eTOD.

Aceste informații sunt vitale procesului de proiectare a procedurilor de zbor instrumentale.

Capitolul 7. Considerații finale

7.1. Concluzii generale ale cercetărilor efectuate

Necesitatea și importanța datelor geospațiale este demonstrată prin nevoia accentuată de date actualizate pentru a digitaliza și cartografia suprafața terestră, în orice punct de pe glob. Datele spațiale colectate depind de scopul aplicației, o precizie crescută a datelor fiind esențială în acest domeniu. De aceea, trebuie să se lucreze cu metodologii validate.

Obținerea datelor aeronautice de calitate presupune folosirea complementară a tehnologiilor moderne, prin fuziuni de date, a metodelor geodezice, fotogrammetrice și de teledetecție la achiziție.

Ritmul alert în care avansează tehnologia facilitează acoperirea și disponibilitatea imaginilor, sateliții colectând din ce în ce mai multe date, fapt ce duce atât la necesitatea optimizării prelucrării, exploatării și interpretării datelor, cât și la mărirea spațiului de stocare.

Dezvoltarea diverselor tipuri de senzori cu rezoluție foarte înaltă fac posibilă exploatarea modelelor digitale ale terenului derivate din imagini satelitare de o bună calitate, ce sunt utilizate în numeroase baze de date, pentru diverse aplicații. Având în vedere continua dezvoltare a acestor metode, realizarea modelelor digitale a devenit tot mai accesibilă.

În prezent, integrarea programelor software de prelucrare și exploatare a imaginilor satelitare și a celor de proiectare și implementare a bazelor de date facilitează extragerea informației spațiale. Automatizarea proceselor și actualizarea bazelor de date geospațiale, chiar în timp real prin accesul și stocarea datelor pe cloud (disponibil prin accesul la internet) aduce numeroase avantaje industriei:

- Reducerea timpului de execuție pentru activitățile repetitive;
- Reducerea timpului de verificare și validare a informației;
- Scăderea semnificativă a procentului de apariție al erorilor, atât la prelucrarea datelor, cât și în etapele de analiză și manipulare;
- Nivel ridicat de calitate și integritate a datelor;
- Iterarea eficientă a analizei;
- Creșterea productivității;
- Reducerea costurilor.

Adoptarea standardelor, la nivel mondial, pentru realizarea infrastructurii de date spațiale, prin armonizarea modului de lucru, aduce numeroase avantaje prin crearea, accesul și partajarea datelor.

Pentru implementarea unui sistem informațional adecvat și competitiv, este necesar să se acorde o atenție mărită fazelor de analiză și proiectare. Modelarea vizuală a bazelor de date geospațiale poate îmbunătăți productivitatea. Schemele UML create în spațiul de lucru ajută la definirea modelelor, prin eliminarea implementării manuale.

La momentul actual, în industrie, eTOD și AMDB sunt două produse independente, schemele interoperabile pentru distribuirea informației aeronautice fiind diferite, AIXM 5.1.1 și AMXM 2.0.1.

Prin această lucrare, am demonstrat necesitatea integrării informației într-un produs unic. Adaptând complexitatea pachetelor software, produselor și soluțiilor existente, cât și costul la posibilitățile, resursele și abilitățile organizațiilor mai mici, în vederea realizării conformității cu eTOD, această aplicație este concepută prin etape simplificate să răspundă nevoilor acestei industrii, prin facilitarea proceselor, cu un cost redus.

Soluția prezentată pentru integrarea eTOD și AMDB într-o bază de date centralizată și automatizarea fluxurilor de lucru aduce următoarele beneficii:

- Reprezintă o soluție pentru optimizarea proiectării suprafețelor eTOD, evaluarea obstacolelor, asigurând și îmbunătățind siguranța traficului aerian, în conformitate cu reglementările aeronautice;
- Reducerea redundanței datelor și a erorilor;
- Optimizarea operațiunilor aeroportuare prin asigurarea unui risc global scăzut de producere a accidentelor;
- Avantaje operaționale și strategice;
- O mai bună fundamentare a planului de extindere sau modernizare a suprafețelor aeroportuare;
- Creșterea eficienței cu care se planifică rutele de zbor, decolarea și aterizarea;
- Dezvoltarea durabilă pe termen lung, prin adoptarea măsurilor eficiente, utilizarea resurselor, eficiență sporită a transportului, corelând obiectivele naționale cu experiența acumulată în primul rând în Europa, și pe plan internațional.

7.2. Contribuții personale

Complexitatea temei abordate reiese din analiza detaliată a informației spațiale în contextul siguranței aeroportuare, tratând multiple aspecte în cadrul studiilor de caz, de la achiziția datelor, a modului de procesare, validare, extragere și integrare într-o soluție unică, folosind tehnologii și software de ultimă generație.

Subiectul tezei este de actualitate la nivel mondial în domeniul de cercetare al studiilor aeronautice, răspunzând directivelor planului global al ICAO pentru navigația aeriană GANP 2016 – 2030 ce vizează dezvoltarea continuă a siguranței și modernizarea spațiului aerian, prin implementarea procedurilor de navigație bazate pe performanță, ce duc la reducerea semnificativă a emisiilor și în același timp reducerea impactului asupra mediului.

Originalitatea lucrării este dată de crearea unei aplicații ce cuprinde o bază de date unică pentru eTOD și AMDB, automatizarea fluxurilor de lucru pentru procesele de date și standardizarea informației aeronautice în scheme UML pentru asigurarea interoperabilității, ce asigură și crește performanța sistemelor de siguranță aeronautică.

La nivel național, această lucrare prezintă primul concept de implementare a AMDB prin directivele ICAO, adăugând și integrarea celor două produse eTOD și AMDB într-o bază de date unică.

Soluția prezentată în lucrarea de față poate fi considerată suportul sau fundamentul implementării acestui sistem, atât în aeroporturile din România, cât și la nivel mondial pentru o aliniere timpurie la planul ICAO de îmbunătățire a siguranței aeronautice.

Caracterul interdisciplinar al acestei lucrări a dus la îmbinarea tehnicilor specifice domeniilor geodezie, teledetecție, fotogrammetrie, cartografie, GIS, CAD, cu alte cuvinte geomatică, precum și informatică, programare, baze de date, cu aplicabilitate în domeniul aviatic, mai precis al siguranței aeroportuare.

Contribuțiile personale aduse prin intermediul acestei lucrări:

- 1) Agregarea datelor existente și analiza standardelor și a reglementărilor în vigoare referitoare la studiile aeronautice.
- 2) Analiza metodelor fotogrammetrice și de teledetecție pentru achiziția și prelucrarea datelor spațiale, în vederea întocmirii studiilor aeronautice.
- 3) Prelucrarea imaginilor satelitare SAR pentru detectarea schimbărilor din interiorul suprafețelor de protecție din jurul aeroporturilor, prin studiul de caz al Aeroportului Internațional Dubai, Emiratele Arabe Unite.
- 4) Detectarea schimbărilor 3D din interiorul suprafețelor de protecție din jurul aeroporturilor, folosind imagini satelitare optice, prin studiul de caz al Aeroportului Internațional Dubai, Emiratele Arabe Unite.
- 5) Prelucrarea și exploatarea imaginilor satelitare optice pentru obținerea modelelor digitale ale terenului și ortofotoplanurilor, extragerea informației spațiale pentru modelarea 3D a clădirilor și integrarea datelor în baze de date spațiale, prin studiul de caz al Aeroportului Internațional Ras al-Khaimah, Emiratele Arabe Unite.
- 6) Evaluarea diverselor soluții existente pentru întocmirea studiilor aeronautice.
- 7) Identificarea sectoarelor cu potențial ridicat de dezvoltare și a vulnerabilităților soluțiilor actuale pentru managementul informației aeronautice și realizarea studiilor aeronautice.
- 8) Extinderea modelului infrastructurii aeroportuare și a spațiului aerian protejat, derivat din reglementările în vigoare, prin proiectarea unei baze de date centralizată și integrarea informației geospațiale.
- 9) Utilizarea unor proceduri de management și de analiză a informațiilor geospațiale și proiectare a bazelor de date pentru domeniul aeronautic.
- 10) Modelarea matematică cu scopul optimizării operațiunilor de evaluare și asigurare a siguranței aeronautice prin:
 - a. automatizarea proceselor de validare a datelor;
 - b. automatizarea procesului de modelare a suprafețelor 3D eTOD;
 - c. automatizarea procesului de analiză în vederea identificării obstacolelor;

- d. automatizarea procesului de conversie a elementelor de date AMDB în schema interoperabilă.

Elementele de noutate reies din rezultatele studiilor de caz, obținute prin utilizarea tehnologiilor moderne și software-urilor de ultimă generație:

- Integrarea soluțiilor și produselor digitale eTOD și AMDB într-o platformă centralizată;
- Informația aeronautică este disponibilă tuturor departamentelor, accesând o singură platformă;
- Automatizarea fluxurilor de lucru pentru validarea datelor;
- Automatizarea modelării 3D a suprafețelor eTOD;
- Automatizarea procesului de analiză în vederea identificării obstacolelor;
- Actualizarea informației și mentenanța bazei de date, informația actualizată devenind disponibilă în timp real;
- Suport pentru toate operațiunile (AIP, operațiuni aeroportuare, protejarea spațiului aerian);
- Automatizarea procesului de conversie a elementelor în schemele interoperabile pentru distribuirea informației aeronautice.

Aplicația propusă are un **caracter inovativ** din mai multe puncte de vedere:

- Proces: implementarea unei metode de producție și livrare semnificativ îmbunătățită prin integrare și automatizare;
- Produs: introducerea unui produs îmbunătățit, care generează o valoare nouă pentru client/utilizator/administrația aeroportuară;
- Valoare adăugată: perfecționarea produselor, serviciilor și proceselor existente;
- Servicii: reducerea timpului de livrare a serviciilor, optimizând alocarea resurselor, generând astfel noi venituri;
- Model: noi metode prin care se generează produsele, crescând astfel performanța sistemului.

7.3. Perspective asupra extinderii cercetărilor

Studiile realizate și rezultatele obținute în această lucrare constituie o referință pentru cercetări viitoare. Propun următoarele perspective asupra extinderii cercetărilor:

- Detectarea schimbărilor 3D pentru suprafețele de protecție din jurul aeroporturilor folosind imagini satelitare SAR preluate de TerraSAR-X necesită o atenție sporită a cercetărilor în domeniu, pentru a eficientiza procesul de analiză, prin restrângerea suprafeței de analizat și a prelucrării datelor doar în zonele identificate de algoritm ce au suferit schimbări.

- Perspective de implementare a unui concept de platformă online, fără nevoia de a instala pachete software suplimentare, informația fiind disponibilă pe cloud și accesibilă direct din browser, prin conexiunea la internet.
- Datorită complexității elementelor de date ale AMDB, automatizarea extragerii informației și conturării limitelor acestora nu se poate realiza 100%, fiecare aeroport fiind unic, astfel propun în studiile viitoare punerea accentului pe semi-automatizări pentru elemente precum căi de rulare ce conțin linii curbe și marcaje ale căilor de rulare și platformei, care se modifică mai des decât alte obiecte și efortul de a le actualiza este semnificativ mai mare, în timp ce elemente precum marcaje ale pistei sunt relativ ușor de identificat și automatizat folosind inteligența artificială.

Bibliografie

- [1] United Nations, „World Urbanization Prospects,” 2018. [Interactiv]. Available: <https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>. [Accesat 16 06 2019].
- [2] Ordnance Survey, „A Guide to Coordinate Systems in Great Britain,” 2018. [Interactiv]. Available: <https://www.ordnancesurvey.co.uk/documents/resources/guide-coordinate-systems-great-britain.pdf>. [Accesat 25 05 2018].
- [3] Ordnance Survey, „Coordinate transformation tool,” [Interactiv]. Available: <https://www.ordnancesurvey.co.uk/gps/transformation/>. [Accesat 25 05 2018].
- [4] ICAO, „Doc 9750 Global Air Navigation Plan 2016-2030, fifth edition,” 2016.
- [5] EUROCONTROL, „Implementing PBN,” [Interactiv]. Available: <https://pbnportal.eu/epbn/main/Implementing-PBN.html>. [Accesat 03 05 2021].
- [6] Niknejad, A., „ICAO - Aviation System Block Upgrade (ASBU), GANP 6th Edition - 2019,” Cairo, Egypt, 2020.
- [7] Howard, H., Hummel, P., „Precise ortho imagery as the source for authoritative airport mapping,” în *XXIII ISPRS Congress, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Prague, Czech Republic, 2016.
- [8] Schiefele, J., Lugsch, B., Launer, M., Baca, D., „World-Wide Precision Airport Mapping Databases for Aviation Applications,” *IEEE Xplore*, 2003.
- [9] „Asociația Aeroporturilor din România,” [Interactiv]. Available: <https://www.airportaar.ro/traficul-de-pasageri-pe-aeroporturile-din-romania-in-trimestrul-i-2019/>. [Accesat 06 06 2019].
- [10] European Union Aviation Safety Agency (EASA), „Commission Regulation (EU) No 139,” 2014.
- [11] Autoritatea Aeronautică Civilă Română, „Registrul unic de evidență a aerodromurilor civile certificate din România,” [Interactiv]. Available: <https://www.caa.ro/uploads/pages/Registrul%20ADR%2001.02.2021.pdf>. [Accesat 02 04 2021].
- [12] Guvernul României, „Strategia Națională pentru Dezvoltare Durabilă a României 2030,” [Interactiv]. Available: <https://www.edu.ro/sites/default/files/Strategia-nationala-pentru-dezvoltarea-durabila-a-României-2030.pdf>. [Accesat 03 07 2019].
- [13] Bucharest Airports (CNAB), „Compania Națională Aeroporturi București - Proiectul SPICE,” [Interactiv]. Available: <https://www.bucharestairports.ro/cnab/ro/proiectul-spice>. [Accesat 03 07 2019].
- [14] Plăvicheanu, S., Dragomir, P.I., „Adaptive Management of Aeronautical Data,” în *Modern Technologies for the 3rd Millennium*, Oradea, România, 2018.
- [15] Plăvicheanu, S., Nache, F., Dragomir, P.I., „Modern methods and techniques for data acquisition in order to obtain photogrammetric products used in the aeronautical field,” în *Modern Technologies for the 3rd Millennium*, Oradea, România, 2017.
- [16] ESA, „Sentinel Online - Level-1 Interferometric Wide Swath SLC Products,” [Interactiv]. Available: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-1-sar/products-algorithms/level-1/single-look-complex/interferometric-wide-swath>. [Accesat 07 05 2020].
- [17] ESA, „Sentinel 1 Quality Control,” [Interactiv]. Available: <https://qc.sentinel1.eo.esa.int>. [Accesat 07 05 2020].
- [18] MAXAR, „WorldView-2 Datasheet,” [Interactiv]. [Accesat 20 02 2018].

- [19] Jacobsen, K., Büyüksalih, G., Topan, „Geometric models for the orientation of high resolution optical satellite sensors,” în *ISPRS Hannover Workshop 2005 “High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information”*, Hannover, 2005.
- [20] Open Geospatial Consortium, „OCG City GML Encoding Standard,” [Interactiv]. Available: <http://www.opengis.net/spec/citygml/2.0>. [Accesat 20 02 2018].
- [21] Ministerul Transporturilor, „Reglementare aeronautică civilă română, RACR-AD-PETA “Proiectarea și exploatarea tehnică a aerodromurilor,” ed. 2/2015.
- [22] ICAO, „Annex 14 to the Chicago Convention on International Civil Aviation, Aerodromes, Vol. 1, Aerodrome Design and Operations,” 2018.
- [23] ICAO, „Airport Services Manual, Doc 9137, Part 6, 2nd edition,” 1983.
- [24] ICAO, „Annex 15 to the Chicago Convention on International Civil Aviation, Aeronautical Information Services, 16th edition,” July 2018.
- [25] Ministerul Transporturilor, „Reglementare aeronautică civilă română, RACR-AIS “Serviciul de informare aeronautică”, ediția 4/2020,” 2020.
- [26] EUROCONTROL, „Terrain and Obstacle Data Manual, Edition 2.2,” November 2019.
- [27] ICAO, „Doc 10066, Procedures for Air Navigation Services, Aeronautical Information Management, 1st edition,” 2018.
- [28] ICAO, „Doc. 9881, Guidelines for Electronic Terrain, Obstacle and Aerodrome Mapping Information”.
- [29] Plăvicheanu, S., „Raport de cercetare științifică nr. 2 - Metode de realizare a sistemelor informaționale specifice pentru datele geospațiale în domeniul aeronautic,” București, 2017.
- [30] Plăvicheanu, S., „Raport de cercetare științifică nr. 3 - Contribuții la perfecționarea metodelor de realizare a lucrărilor geodezice în domeniul aeronautic,” București, 2017.
- [31] EUROCAE, „User Requirements for Aerodrome Mapping Information, ED-99D,” October 2015.
- [32] EUROCAE, „Interchange Standards for Terrain, Obstacle and Aerodrome Mapping Data, ED-119C,” October 2015.
- [33] „SLC Geomatic Solutions - GDMS airport safeguarding software,” [Interactiv]. Available: <https://slcassociates.co.uk/safeguarding-etod-software/>. [Accesat 25 05 2018].
- [34] ESRI, „ESRI ArcGIS for Aviation,” [Interactiv]. Available: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-aviation-airports/overview>. [Accesat 07 09 2018].
- [35] Ascend xyz, „Ascend xyz,” [Interactiv]. Available: <https://ascendxyz.com>. [Accesat 17 12 2018].
- [36] „IDS AirNav,” [Interactiv]. Available: <https://www.idsairnav.com/main-areas/aim/airport-terrain-obstacle/>. [Accesat 08 02 2020].
- [37] Comisia Europeană, „Regulamentul UE 73/2010 cu amendamente prin Regulamentul de punere în aplicare UE 1029/2014 al Comisiei din 20.10.2014, de stabilire a cerințelor de calitate a datelor aeronautice și informațiilor aeronautice pentru Cerul unic European,” 2010.
- [38] EUROCONTROL, „Specification for Data Quality Requirements, edition 1.2, EUROCONTROL SPEC 152,” 2016.
- [39] EUROCONTROL, „Guidelines for supporting the implementation of Commission Regulation EU 73/2010, as amended by the EU 1029/2014, edition 1.6,” 2017.
- [40] „Open Street Map Data extracts Geofabrik,” [Interactiv]. Available: <https://download.geofabrik.de/>. [Accesat 20 07 2019].
- [41] „Luciad AIXM 5 Viewer,” Hexagon, [Interactiv]. Available: <https://go.hexagongeospatial.com/luciad-aixm-5-viewer-download>. [Accesat 26 04 2019].