

Rezumat executiv al activităților realizate în perioada de implementare și rezultatele obținute

Pentru îndeplinirea obiectivelor din cadrul proiectului, au fost alese două zone de studiu: o zona rurală (care cuprinde case, un cimitir, drumuri, garduri naturale și construite, vegetație înaltă etc.), fiind foarte complexă din punct de vedere topografic și o zona urbană (care cuprinde clădiri înalte, drumuri, garduri naturale și construite, vegetație înaltă, mobilier stradal, un castel de apă etc.). Pentru cele două zone de studiu, au fost realizate planurile topo-cadastrale, prin măsurători cu stația totală și tehnologie GNSS.

Pentru zonele de studiu, au fost realizate zboruri cu trei sisteme UAS:

- (1) sistemul UAS DJI Phantom 4 Pro,
- (2) sistemul DJI Matrice 300 RTK echipat cu camera „Share UAV PSDK 102S Pro”, respectiv cu senzorul LiDAR GeoSun GS-130X și **suplimentar față de cel menționat în planul de realizare al proiectului**,
- (3) sistemul UAS DJI Phantom 4 RTK.

Sistemul UAS DJI Phantom 4 Pro, a fost modificat prin instalarea kit-ului de conversie TeoKIT AGNSS L2, fiind transformat într-un sistem UAS PPK.

Au fost materializate pe teren 100 puncte de sprijin și control distribuite uniform pe zona de studiu rurală, respectiv 43 pentru zona de studiu urbană. Toate punctele GCP au fost măsurate cu stația totală, ca puncte radiate din punctele drumuirii, sau reprezentând chiar puncte ale drumuirilor (atât în zona rurală, cât și urbană), dar și prin tehnologie RTK cu ajutorul receptorului GNSS Emlid Reach RS2. Diferențele dintre coordonatele punctelor determinate cu stația totală, respectiv prin tehnologie RTK, nu au depășit 2 cm. Preliminar realizării zborurilor UAS, punctele de sprijin și control, au fost marcate cu ajutorul unor ținte codate și necodate. De asemenea, pentru asigurarea stabilității acestora în timpul zborurilor, foarte multe puncte au fost vopsite cu ajutorul unui șablon.

Imaginile UAS, au fost prelucrate în diferite scenarii, utilizând software „RealityCapture” și „3DF Zephyr”, folosind tehnologia de poziționare RTK, respectiv PPK și **suplimentar**, folosind metoda georeferențierii indirecte, cu un număr diferit de puncte de sprijin la sol, dar păstrând constant numărul punctelor de control (64 pentru zona rurală și 33 pentru zona urbană). În ceea ce privește zborurile cu sistemul DJI Phantom 4, erorile planimetrice sunt de 2-3 cm pentru zborurile oblice și de 3 cm pentru zborurile nadirale, cu excepția scenariilor de zbor nadiral fără GCP, pentru care se obține o eroare de 1 dm. Erorile verticale în cazul zborurilor oblice sunt de aproximativ 2-3 cm, în timp ce erorile totale sunt în jur de 3-4 cm. În ceea ce privește zborurile realizate cu camera SHARE, erorile totale sunt de aproximativ 4-5 cm la 60 m înălțime, în cazul scenariilor fără GCP și de 5-6 cm la 100 m înălțime. Prin introducerea a 3 puncte GCP, erorile sunt îmbunătățite cu aproximativ 1 cm.

Au fost generați în mod automat nori de puncte UAS și ortofotoplanurile celor două zone de studiu rurală, respectiv urbană, cu ajutorul funcțiilor software „RealityCapture”, respectiv „3DF Zephyr”. Norii de puncte UAS, au fost clasificați în puncte „teren” și puncte „non-teren”, cu algoritmul „Cloth Simulation Filter” (CSF) implementat ca și plug-in în software open-source „CloudCompare”. Folosind software OPALS, dezvoltat de Universitatea tehnică din Viena și linii de comandă, a fost creat Modelul Digital al terenului (DTM) și Modelul Digital al Suprafeței (DSM), în format raster. Pentru evaluarea preciziei DTM, respectiv DSM, s-a calculat abaterea standard, utilizând software ArcGIS, pe baza punctelor măsurate la sol, respectiv măsurate la sol și pe acoperișurile clădirilor. Pentru zona rurală, deviația mediană absolută are valori între 1.3 cm ÷ 2.9 cm, iar în zona urbană abaterea standard are valori între 3.0 cm ÷ 4.8 cm, în ceea ce privește DTM. DSM are o precizie mai scăzută față de DTM, în zona rurală erorile variind între 4 cm ÷ 6.5 cm, iar în zona urbană între 17 cm ÷ 28 cm.

Zona de studiu rurală, a fost scanată prin intermediul sistemului de scanare terestru mobil Trimble MX9 (*suplimentar față de planul de realizare al proiectului*), rezultatul fiind un nor de 192722817 puncte. Zonele de studiu rurală și urbană, au fost scanate prin intermediul senzorul LiDAR GeoSun GS-130X montat pe sistemul UAS DJI Matrice 300 RTK, la două înălțimi diferite, 60 m și 100 m, rezultatul fiind nori puncte în sistemul de coordonate STEREO-70 pentru coordonatele (X,Y) și Marea Neagră-1975 pentru altitudini, pentru două scenarii: compensarea traiectoriei folosind tehnica PPK, respectiv RTK, tehnica PPK oferind rezultate mai precise față de cea RTK. De asemenea, au fost realizate două zboruri în zona urbană, cu camera BLV 6100, respectiv cu camera Zenmuse (*suplimentar față de planul de realizare al proiectului*), pentru preluare în poziție nadirală. Norii de puncte UAS pentru scenariile cu erorile reziduale cele mai mici, fără utilizarea punctelor de sprijin la sol (GCP), sau folosind un număr minim de puncte de sprijin la sol, în cazul zborurilor nadirale, au fost evaluați din punct de vedere al preciziei și completitudinii, prin efectuarea unei analize comparative cu datele obținute prin tehnologia de scanare laser mobilă (MLS) (drumuri și parcuri), pentru zona de studiu rurală, respectiv cu un număr de 100 puncte măsurate cu stația toală pe acoperișurile clădirilor și la sol, pentru zona de studiu urbană. Pentru zona rurală, deviația mediană absolută are valori între 2.2 cm ÷ 3.0 cm, iar în zona urbană abaterea standard are valori între 2.8 cm ÷ 4.6 cm.

Pe baza ortofotoplanurilor, s-au digitizat manual limitele cadastrale, inclusiv gardurile naturale și artificiale (zona rurală), precum și drumurile, cu ajutorul software AutoCAD Map 3D. Comparând poliliniile extrase manual cu măsurătorile realizate cu stația totală, s-a obținut deviația standard a distanțelor dintre ele și gradul de completitudine, folosind software ArcGIS Pro. În zona rurală, pentru drumuri s-a obținut abaterea standard de aproximativ 17 cm, acestea fiind digitizate în proporție de 90-95%, în timp ce pentru garduri s-a obținut o abatere standard de aproximativ 10 cm, acestea fiind vizibile pe imagini în proporție de 20-45%, funcție de zbor. În zona urbană, drumurile au fost digitizate cu o precizie de aproximativ 19 cm, completitudinea fiind de 55%.

Pentru evaluarea preciziei norilor de puncte LiDAR-UAS, s-au calculate distanțele Hausdorff dintre fiecare punct GCP și suprafața mesh creată pe baza norului LiDAR, rezultând abaterea standard, dar și prin măsurarea manuală a coordonatelor unui număr de 33 puncte marcate cu vopsea în zona rurală, respectiv 29 puncte în zona urbană. S-a obținut o abatere standard de aproximativ 2 cm pentru zona rurală la 60 m înălțime, respectiv de 2.8 cm la 100 m înălțime. În zona urbană, erorile sunt mai mari, atingând valoarea de 4 cm la 60 m, respectiv de 5 cm la 100 m înălțime.

S-a realizat (*suplimentar față de planul de realizare al proiectului*) o nouă metodă pentru clasificarea punctelor teren, folosind algoritmul de filtrare robustă și aplicând o condiție de pantă de 80% pentru rezultatul filtrării folosind algoritmul "volume-based". Metoda propusă are avantajul de a reprezenta cu precizie structurile artificiale și schimbările bruște de pantă, îmbunătățind precizia modelelor digitale ale terenului (DTM) cu 40% în cazul unei înălțimi de zbor de 60 m și cu 28% în cazul unei înălțimi de zbor de 100 m folosind 985 de puncte de verificare.

Pentru măsurarea detaliilor topografice care nu sunt vizibile pe imaginile UAS, au fost propuse și testate două sisteme diferite pentru fotogrammetria de la mică distanță utilizând tehnologia GNSS. Ambele sisteme se bazează pe camera digitală Sony ZV-1. Primul sistem (S1) integrează un receptor GNSS RTK Emlid Reach RS2 montat pe un jalon, în timp ce al doilea (S2) prezintă un dispozitiv GNSS PPK realizat manual, constând dintr-un modul Emlid Reach M2, un cablu pentru alimentarea de la o baterie externă, un adaptor pentru blițul camerei și o antenă GNSS helicoidală multibandă. Cel de-al doilea dispozitiv a fost realizat *suplimentar față de activitățile din cadrul proiectului*. Erorile medii pătratice de-a lungul celor 3 axe au fost de aproximativ 2 cm, fără a folosi GCP, reprezentând o precizie ridicată pentru măsurătorile terestre.

Activitățile desfășurate pe parcursul perioadei de implementare au condus la obținerea unor multiple seturi de date și la obținerea unor insight-uri valoroase în topografia zonelor de studiu.

Aceste seturi de date servesc drept o bază solidă pentru analize ulterioare. Utilizarea diverselor tehnologii, inclusiv UAS, GNSS RTK și PPK, LiDAR-UAS și scanare laser terestră, a permis colectarea de informații spațiale detaliate și precise atât în mediile urbane, cât și rurale. Prin combinarea datelor din surse multiple, precum imagini aeriene, nori de puncte și puncte de control la sol, am obținut un nivel ridicat de precizie în cartografierea și modelarea caracteristicilor terenului. Această precizie este esențială pentru diverse aplicații, inclusiv planificarea urbană, monitorizarea mediului înconjurător și dezvoltarea infrastructurii. În plus, integrarea diferitelor metodologii, precum poziționarea GNSS RTK și PPK, dar și dezvoltarea de abordări noi pentru clasificarea punctelor care aparțin clasei teren și integrarea norilor de puncte, au îmbunătățit precizia și fiabilitatea rezultatelor proiectului. Aceste progrese metodologice contribuie la avansarea științei și tehnologiei geospațiale. În ansamblu, seturile de date obținute prin aceste activități furnizează informații valoroase pentru părțile interesate și pentru cei implicați în proiecte de dezvoltare urbană și rurală. Ele ajută la luarea deciziilor și sprijină gestionarea durabilă a resurselor naturale și a mediilor construite.