

Scanarea Laser 3D, tehnologie modernă pentru eficientizarea soluțiilor de reabilitare a diferitelor tipuri de construcții

Teză de doctorat – Rezumat

destinată obținerii

titlului științific de doctor inginer la

Universitatea Politehnica Timișoara

în domeniul INGINERIE CIVILĂ ȘI INSTALAȚII

autor **Ing. Ovidiu Ștefan CUZIC**

Conducător științific: Prof.univ.dr.ing Teodor Eugen MAN

Decembrie 2024

Capitolul 1 – Introducere și considerații generale

Această teză își propune să contribuie la reducerea riscurilor și dezastrelor cu impact economic, ecologic și social prin implementarea tehnologiilor moderne de scanare laser pentru crearea de modele digitale precise ale diverselor tipuri de construcții. Certitudinea utilizării tehnologiilor geomatice constă în achiziționarea, procesarea și livrarea datelor într-un format digital care îndeplinește o gamă largă de aplicații. Teza de doctorat prezintă studiul privind determinarea modelelor digitale de precizie folosind metoda de scanare laser topo-fotogrammetric, modul de organizare și utilizare a acestor dispozitive, descrierea potențialului software și inventarul datelor pentru a sprijini și completa inspecțiile curente, crearea unei baze de date digitale, dar și o revizuire a aplicațiilor specifice.

Descifrarea surselor și modul de formare a factorilor de pericol sunt determinante pentru operarea construcțiilor în parametri de siguranță pe durata exploatarei, în condiții de eficiență economică și siguranță maximă. Pe parcursul anilor de studiu, au fost analizate Barajul Herculane, Podul de Fier Forjat din fața Băilor Imperiale Austriece din Herculane, Castelul Huniade din Timișoara, Podul Iuliu Maniu (Podul de Muncii) Timișoara pentru a determina eficacitatea UAS-urilor și a TLS-urilor.

Pentru a proiecta o abordare sistematică și eficientă, a fost sugerată o tehnică de cuantificare a daunelor prin imagini și modele 3D, care să includă evaluarea calității imaginii și măsurarea daunelor bazate pe imagine.

Tehnologiile de teledetecție au devenit instrumente indispensabile în domeniul evaluării infrastructurii, permițând evaluări cuprinzătoare și precise ale diferitelor structuri civile. Aceste metode oferă capacități de colectare a datelor fără contact, permițând cumulara de informații detaliate despre starea, geometria și comportamentul elementelor infrastructurii. Prin aplicarea tehnicilor de teledetecție, evaluatorii de infrastructură pot depăși performanțele metodelor tradiționale și pot obține o înțelegere mai detaliată a sănătății structurale [1].

TLS și UAS oferă capacități complementare de colectare a datelor care optimizează precizia evaluărilor infrastructurii. TLS excelează în capturarea de date detaliate ale norilor de puncte, oferind informații precise despre geometrie și structură cu o precizie milimetrică [2]. Pe de altă parte, UAS-urile echipate cu senzori aerieni

pot obține imagini de înaltă rezoluție, acoperind zone mai mari și furnizând informații contextuale valoroase [3].

Ariile de interes sunt adesea greu accesibile din cauza locației. TLS este în mod obișnuit utilizat la nivelul solului și permite scanarea de la distanțe scurte a structurilor, în timp ce UAS-urile prezintă avantajul mobilității aeriene, ajungând în zone greu accesibile pe jos. Metodele TLS și UAS combinate permit evaluarea elementelor din multiple perspective și unghiuri, depășind limitările impuse de accesibilitate și oferind o înțelegere cuprinzătoare a structurii [4].

Fiind o alternativă mai eficientă prin automatizarea colectării de date și reducerea necesității muncii intensive pe teren, integrarea TLS-UAS generează obținerea rapidă a datelor pe suprafețe extinse, reducând durata și costurile proiectelor în ansamblu [5].

Inspecțiile vizuale tradiționale ale infrastructurii hidrotehnice necesită deseori măsurători manuale și observații vizuale, ceea ce poate dura mult timp și poate fi predispus la erori umane [6]. Tehnologiile TLS și UAS oferă o eficiență îmbunătățită în colectarea datelor.

Capitolul 2 – Tehnologiile emergente TLS și UAS

Sistemele TLS emit impulsuri laser și măsoară timpul necesar pentru ca impulsurile să revină după reflectarea de pe suprafețe atinse. Aceste date sunt apoi utilizate pentru a crea modele tridimensionale detaliate, capturând geometria și informațiile spațiale ale infrastructurii [7]. TLS oferă precizie ridicată, capacități de scanare pe distanțe mari și capacitatea de a captura detalii complexe ale structurilor, fiind astfel un instrument valoros pentru evaluarea proprietăților geometrice și detectarea defectelor structurale în infrastructură [8, 9].

UAS-urile au câștigat popularitate semnificativă în ultimii ani datorită versatilității și accesibilității lor [10]. Ele sunt echipate cu diferiți senzori și dispozitive de imagistică, camere foto, sisteme LiDAR și senzori hiperspectrali, prin care capturează imagini cu rezoluție înaltă, date LiDAR și informații spectrale ale infrastructurii din perspectiva aeriană. UAS-urile oferă mai multe avantaje, inclusiv capacitatea de a accesa zone greu accesibile, de a acoperi eficient suprafețe mai extinse și de a obține rapid date, fiind astfel potrivite pentru sarcini de inspecție și monitorizare a infrastructurii [11].

Integrarea datelor de teledetecție și GIS implică combinarea diferitelor surse de date, formate și scări pentru a crea o reprezentare cuprinzătoare și precisă a infrastructurii [12]. Aceasta va duce la fuziunea imaginilor de teledetecție, a norilor de puncte LiDAR și a altor date geospațiale cu informații despre atributele structurii, de tipul materialelor de construcție, vârsta și istoricul de întreținere [13].

Unul dintre principalele deficite de cercetare în infrastructura hidrotehnică este dezvoltarea de tehnici fiabile și eficiente de monitorizare a sănătății structurale. Metodele tradiționale de monitorizare vizuală se bazează adesea pe inspecții și măsurători manuale, care pot fi consumatoare de timp și nu oferă o înțelegere cuprinzătoare a stării structurii [14]. Integrarea TLS și UAS-urilor poate permite monitorizarea automată și la distanță, furnizând date în timp real cu privire la deformare, deplasare și integritate structurală.

Infrastructura hidrotehnică este adesea supusă schimbărilor geomorfologice cauzate de sedimentare, eroziune și procese hidrologice [15]. Evaluarea acestor modificări este necesară pentru menținerea performanței și siguranței structurilor. TLS și UAS-urile oferă potențialul de a captura date topografice cu rezoluție înaltă, permițând analiza precisă și detaliată a schimbărilor geomorfologice. Sunt necesare

cercetări pentru dezvoltarea de algoritmi și metodologii pentru detectarea și analiza schimbărilor utilizând date TLS și UAS, facilitând identificarea zonelor de eroziune, a modelelor de sedimentare și a impactului lor asupra infrastructurii hidrotehnice [16, 17].

În implementarea practică a integrării TLS și a UAS-urilor pentru proiecte de evaluare a infrastructurii din lumea reală, trebuie abordate mai multe provocări pentru a asigura o achiziție și procesare eficiente a datelor. Aceste provocări derivă din diferite aspecte, inclusiv considerații tehnice, constrângeri operaționale, gestionarea datelor și cerințe legale și reglementări. Această secțiune discută câteva dintre principalele provocări întâlnite în momentul integrării TLS și UAS în evaluarea infrastructurii și prezintă strategii și soluții propuse de cercetători și practicieni pentru depășirea acestor provocări.

Una dintre principalele dificultăți în integrarea TLS și UAS se referă la compatibilitatea și sincronizarea componentelor hardware și software. Sistemele TLS și platformele UAS sunt de obicei fabricate de diferiți furnizori și pot utiliza formate de date și protocoale de comunicare diferite. Prin urmare, integrarea acestor sisteme necesită selectarea și configurarea atentă a echipamentelor și software-ului compatibile. Asigurarea unei comunicări fără probleme între sistemele TLS și UAS este decisivă pentru achiziția sincronizată a datelor și fuziunea precisă a acestora [17].

Capitolul 3 – Tipuri de platforme, aparatură și software utilizate în cadrul cercetării

Scannerul laser Leica C10 este un instrument TLS de înaltă precizie și performanță, utilizat pe scară largă în diverse domenii, de la inginerie și arhitectură, până la arheologie și conservarea patrimoniului cultural. Acest scanner laser este dotat cu o serie de caracteristici tehnice avansate care îl recomandă ca o soluție eficientă și fiabilă pentru proiectele care necesită o documentare detaliată și precisă a mediului înconjurător [18].

Din punct de vedere tehnic, Leica C10 este capabil să efectueze scanări cu o rază de acțiune de până la 300 de metri, oferind o precizie de măsurare de până la 4 milimetri la o distanță de 50 de metri [5]. Rezoluția unghiulară a scannerului este de 60 de microradiani, permițând obținerea de date detaliate despre suprafețele scanate [19]. Viteza de scanare a Leica C10 poate ajunge la 50.000 de puncte pe secundă, asigurând o captură rapidă și eficientă a informațiilor [20].

Din perspectivă tehnică, modelul Z+F Imager 5010C este echipat cu o cameră integrată calibrată, care facilitează îmbinarea culorilor vii cu datele de scanare de înaltă rezoluție. Tehnologia HDR (High Dynamic Range) garantează o iluminare uniformă în toate punctele obiectivului țintit, rezultând imagini color echilibrate și de înaltă calitate. Acest scanner laser are o capacitate de scanare impresionantă, de peste 1 milion de puncte pe secundă, permițând colectarea rapidă a datelor pe distanțe mari, un aspect care anterior era posibil doar cu scanere de impulsuri [21].

TLS-ul Z+F este proiectat pentru a furniza date precise și detaliate în format de nori de puncte ai mediului scanat. Acest principiu de măsurare a timpului de zbor permite sistemului să calculeze distanțe precise și să genereze o reprezentare densă a norului de puncte al zonei scanate [22].

Scannerul se remarcă prin specificații tehnice impresionante, inclusiv o rată de scanare ridicată de până la 1 milion de puncte pe secundă, o rază de acțiune de până la 1875 de metri și un câmp de vizualizare de 360 de grade. Aceste capacități permit achiziționarea eficientă și cuprinzătoare a datelor, chiar și în medii complexe și variate

[23]. DJI Phantom 4 Pro este un (UAS) de înaltă performanță, care a devenit un instrument important în numeroase domenii de cercetare datorită capacităților sale avansate de captare a datelor. UAS-ul este echipat cu o cameră de 20 megapixeli care poate înregistra imagini la o rezoluție 4K, permițând obținerea unor date vizuale de o calitate și un nivel de detaliu remarcabil. Acest lucru îl face potrivit pentru aplicații care necesită imagini de înaltă rezoluție, precum monitorizarea mediului, cartografierea terenurilor și inspecția infrastructurii [24].

Capitolul 4 – Achiziția și prelucrarea datelor

Utilizarea vehiculelor aeriene fără pilot a crescut exponențial în ultimii ani, atât pentru scopuri comerciale, cât și recreative. În România, utilizarea dronelor este reglementată de o serie de legi și regulamente care asigură siguranța spațiului aerian și respectarea intimității și securității publice.

Ordinul Ministerului Transporturilor nr. 8/2014 reglementează utilizarea UAS-urilor în spațiul aerian românesc, specificând cerințele de înregistrare, certificare și operare. Acest regulament urmărește armonizarea legislației la nivel european și asigurarea unui nivel ridicat de siguranță și securitate în utilizarea dronelor [25].

Utilizarea scannerelor TLS în România este reglementată de un cadru legislativ care asigură atât precizia și fiabilitatea măsurărilor, cât și respectarea normelor de protecție a datelor și intimității. Utilizarea scannerelor TLS este reglementată de mai multe acte normative care guvernează activitățile de măsurare și cartografiere, precum și protecția datelor colectate. Printre acestea se numără Legea nr. 7/1996 privind cadastrul și publicitatea imobiliară, actualizată prin multiple amendamente, și Legea nr. 190/2018 privind măsurile de punere în aplicare a Regulamentului (UE) 2016/679 (GDPR). Legea nr. 7/1996 prevede că activitățile de măsurare și cartografiere trebuie realizate de către persoane autorizate și în conformitate cu normele tehnice stabilite de Agenția Națională de Cadastru și Publicitate Imobiliară (ANCPPI) [26].

O abordare a planificării achiziției de date constă în împărțirea infrastructurii în secțiuni mai mici și planificarea scanării și traseelor de zbor pentru fiecare secțiune. Acest lucru asigură o acoperire adecvată și reduce potențialul pentru lacune sau redundanțe de date. În plus, luarea în considerare a limitărilor sistemelor TLS și UAS, cum ar fi intervalul de scanare și autonomia zborului, este esențială pentru determinarea numărului și aranjamentului de poziții de scanare și traseelor de zbor [27]. Un obiectiv comun de optimizare este de a maximiza zona de acoperire, minimizând în același timp distanța și timpul de zbor. Acest lucru poate fi realizat luând în considerare factori precum altitudinea de zbor, câmpul vizual al camerei și cerințele de suprapunere a imaginilor. Algoritmi de optimizare și variațiile sale pot fi utilizați pentru a găsi traseul de zbor cel mai eficient care acoperă zona infrastructurii cu redundanță minimă [28].

Pentru a obține un set de date cât mai precis, este esențial să se selecteze optim pozițiile de scanare. Acest proces se bazează pe analiza acoperirii și cerințelor de densitate a punctelor, ținând cont de factori precum dimensiunea, complexitatea și geometria structurii, asigurând astfel o achiziție adecvată a datelor. Alegerea unghiurilor de scanare adecvate este un pas important pentru captarea informațiilor dorite și minimizarea ocultărilor.

Pentru a asigura înregistrarea și alinierea precisă a imaginilor aeriene, georeferențierea imaginilor este o etapă vitală. Georeferențierea implică atribuirea coordonatelor spațiale imaginilor prin referirea la puncte de control pe sol cunoscute (GCP). Punctele de control sunt caracteristici identificabile pe sol, cu coordonate

măsurate cu precizie. Utilizarea GCP-urilor permite corectarea distorsiunilor geometrice și asigură că fiecare pixel din imagine corespunde unei locații exacte pe teren.

Eliminarea zgomotului sau erorilor este o etapă importantă în procesarea norilor de puncte pentru a îmbunătăți calitatea și precizia datelor. Datele norilor de puncte pot fi afectate de diferite tipuri de zgomot care pot apărea în timpul procesului de achiziție a datelor. Zgomotul poate fi introdus de senzori, factori de mediu sau erori în procesul de măsurare.

Algoritmii de eliminare a punctelor eronate le identifică și elimină pe cele care se abat semnificativ de la distribuția așteptată a punctelor. Aceștia pot fi bazați pe măsurători statistice, cum ar fi deviația absolută mediană (MAD), sau pe abordări bazate pe distanță, cum este filtrul de eliminare statistic [26].

Capitolul 5 - Studii de caz

5.1 Utilizarea scanării laser terestre pentru documentarea și conservarea Castelului Huniade

Conservarea patrimoniului cultural, cum ar fi Castelul Huniade din Timișoara, este imperativă din cauza degradării naturale și a factorilor artificiali. În faza incipientă de planificare a proiectului, se efectuează o evaluare detaliată a castelului pentru a determina zonele optime de scanare. Scannerul Leica C10 este utilizat pentru captarea datelor, iar procesul include calibrarea și georeferențierea pentru a asigura precizia.



Fig 1. Semne vizibile de deteriorare

Accentul se pune pe secțiunile critice care necesită reabilitare și implică colaborarea cu părțile interesate pentru a alinia obiectivele proiectului cu nevoile de conservare și restaurare ale castelului. Datele scanate sunt procesate în software-ul Leica Cyclone pentru alinierea scanărilor și crearea unui model coeziv, utilizând valorile de culoare RGB pentru a îmbunătăți identificarea și analiza obiectelor.



Fig 2. Castelul Huniade - stare actuala si date din norul de puncte (Cuzic O.Ș. 2016)

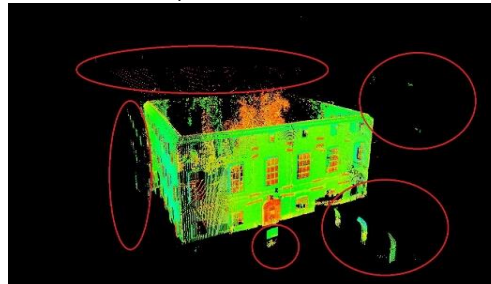


Fig 3. Zgomot rezidual (Cuzic O.Ș. 2016)

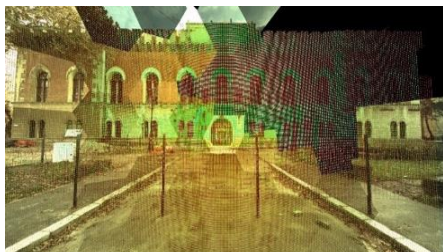


Fig 4. Imaginile captate de scannerul C10 suprapuse peste norul de puncte (Cuzic O.Ș. 2016)



Fig 5. Limitări ale captării TLS în zonele cu vegetație densă (Cuzic O.Ș.2016)

Un nor de puncte obținut cu TLS poate fi convertit într-o plasă poligonală 3D texturată. O plasă de poligoane 3D constă de obicei din triunghiuri, dar în unele aplicații poate fi construită cu patrulatere, poligoane convexe simple, poligoane concave sau poligoane cu găuri. Rețelele poligonale 3D pot fi acoperite cu culoarea recreată din imaginile obiectului captate de scannerul laser.

Reabilitarea Castelului Huniade a implicat diverse intervenții de consolidare de-a lungul anilor, dar solul moale a dus la rezultate nesatisfăcătoare. Proiectele de reabilitare au fost revizuite de mai multe ori, iar un nou proiect inițiat în 2006 este în derulare, susținut de Ministerul Culturii. În contextul Castelului Huniade, unde complexitatea arhitecturală și istorică necesită o documentare detaliată și precisă, scanarea 3D cu laser devine o unealtă indispensabilă.

Astfel, integrarea scanării 3D cu laser în procesul de documentare și conservare a Castelului Huniade reprezintă nu doar o evoluție în tehnologia de cercetare arhitecturală, ci și o modalitate de a păstra și de a transmite mai departe bogăția istorică și culturală a acestui monument emblematic. Prin utilizarea acestei tehnologii avansate, se deschid noi perspective în înțelegerea și protejarea

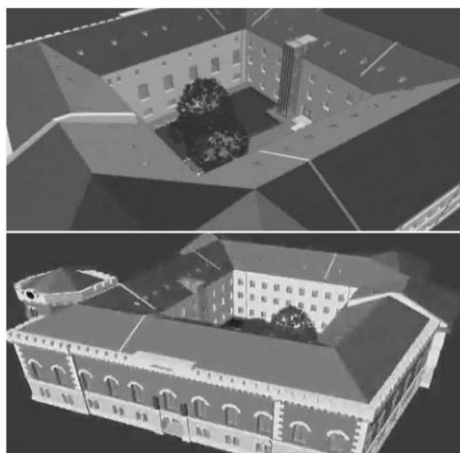


Fig 6. Modelul 3D edificiului (Cuzic O.Ș. 2016)

patrimoniului cultural, contribuind la valorificarea și promovarea moștenirii noastre culturale pentru generațiile viitoare.

Această abordare nu doar că optimizează procesul de documentare și conservare a patrimoniului cultural, dar și deschide noi posibilități de cercetare și interpretare a istoriei și evoluției structurilor arhitecturale. Scanarea 3D cu laser devine astfel o unealtă valoroasă în domeniul conservării patrimoniului cultural, oferind o modalitate eficientă și precisă de documentare a siturilor istorice și arhitecturale complexe, cum este Castelul Huniade. Aceste tehnologii nu doar că permit crearea unor modele 3D detaliate, dar și contribuie la protejarea și valorificarea moștenirii culturale pentru generațiile viitoare.

5.2 Utilizarea tehnologiei TLS pentru evaluarea și restaurarea Podului de Fier Forjat din Herculane

Conservarea culturală și procesele de reabilitare a structurilor emblematiche, precum Băile Imperiale Neptun și podul de fontă, reflectă realizările ingineresti din trecut și asigură longevitatea și onorează semnificația lor istorică. Captarea datelor a implicat utilizarea a șase stații de măsurare poziționate strategic în jurul podului pentru a obține o imagine cuprinzătoare. Densitatea norului de puncte este decisivă în determinarea elementelor esențiale, precum marginile, colțurile, îmbinările și detaliile arhitecturale. Distanța dintre punctele învecinate trebuie adaptată în funcție de obiectivul urmărit, garantând o redare precisă.



Fig 7. Gradul de degradare al podului



Fig 8. Starea actuala a podului

Scanarea la rezoluție maximă permite obținerea unor imagini extrem de detaliate ale structurii metalice, inclusiv ornamentele și elementele arhitecturale specifice. Totuși, scanarea la o rezoluție ridicată este consumatoare de timp și resurse și necesită echipamente speciale pentru a asigura acuratețea datelor obținute. Volumul mare de date generat impune cerințe ridicate de stocare și prelucrare, ceea ce poate constitui o provocare în gestionarea eficientă a informațiilor. Deși absența țintelor poate afecta precizia datelor, analiza ulterioară a arătat că rezultatele obținute au fost fiabile și au oferit o bază solidă pentru managementul infrastructurii.

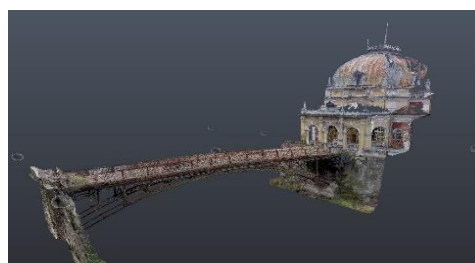


Fig 9. Scanarea fațadei și podului de fier Herculane

Fig 10. Stabilirea locațiilor optime ale scannerului laser (Cuzic O.Ș. 2022)

Utilizarea scanării TLS pentru evaluarea podului de fontă reprezintă o metodă modernă și eficientă, aplicabilă în diverse proiecte de inginerie civilă și restaurare a patrimoniului construit. Captarea celor șase stații cu scannerul Z+F 5010 la rezoluție maximă a durat aproximativ șase ore, incluzând timpul necesar pentru relocarea echipamentului și pregătirea pentru fiecare scanare. Alinierea datelor captate în software-ul Z+F LaserControl a fost realizată folosind metoda punct la punct, eliminând necesitatea țintelor. Această metodă este eficientă și rapidă, asigurând o aliniere precisă a datelor brute și eliminând erorile sistemice.



Fig 11. Redarea sub forma unui nor de puncte dens a podului de fier și a intrării principale (Cuzic O.Ș. 2022)

Prin efectuarea de scanări periodice TLS, pot fi identificate și comparate în timp schimbări în condițiile suprafeței podului, deformări structurale sau semne de deteriorare. Acest proces de monitorizare ajută la evaluarea succesului intervențiilor de conservare, informează ajustările strategiilor de întreținere și asigură durabilitatea pe termen lung a podului. Prin capturarea de date detaliate de nori de puncte, TLS permite evaluare vizuală cuprinzătoare, documentare precisă, analiză structurală și monitorizarea eforturilor de conservare. Mai mult, integrarea TLS îmbunătățește implicarea publicului și educația, promovând aprecierea și conservarea acestor comori culturale [27].

5.3 Aplicarea tehnologiei UAS la Podul Iuliu Maniu (Podul Muncii) din Timișoara ca sprijin decizional în reabilitarea structurii

Cu timpul, elementele de rezistență ale podului au suferit degradări semnificative, inclusiv infrastructura, malurile și albia râului, precum și zona carosabilă și trotuarele. Datorită stării avansate de degradare și necesităților traficului actual și viitor, reabilitarea podului este esențială pentru asigurarea continuității traficului și îmbunătățirea siguranței și funcționalității acestuia.

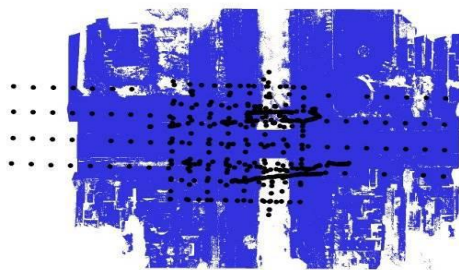


Fig 12. Locațiile camerei și planurile de zbor (Cuzic O.Ș. 2022)



Fig 13. Norul de puncte extras din imaginile captate (Cuzic O.Ș. 2022)

Pentru a reflecta cu acuratețe la starea actuală a structurii și a facilita planificarea și execuția lucrărilor de reabilitare, a fost realizat un model digital detaliat al podului. Din cauza dimensiunilor mari ale podului, traficului intens și zonelor greu accesibile, s-a utilizat un sistem UAS adecvat, respectiv un quadcopter DJI Phantom 4 Pro echipat cu o cameră FC330 de 12 megapixeli. Captarea imaginilor a fost realizată prin multiple zboruri, planificate minuțios pentru a acoperi întregul pod, fiecare zbor având o durată de aproximativ 30 de minute din cauza limitării bateriei.

Procesarea imaginilor a inclus importarea și organizarea lor într-o secvență logică, detectarea automată a punctelor de referință comune între cadrele suprapuse și calibrarea geometrică a camerei. Aceasta a permis corectarea distorsiunilor optice și geometrice, garantând astfel o reconstrucție precisă a structurii. Modelul 3D final reflectă toate detaliile structurale ale podului și este esențial pentru analiza structurală și planificarea lucrărilor de reabilitare.

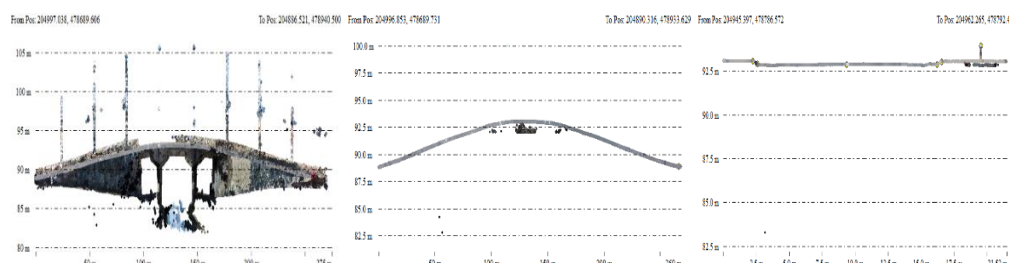


Fig 14. Secțiunea longitudinală a podului și evidențierea căii de rulare

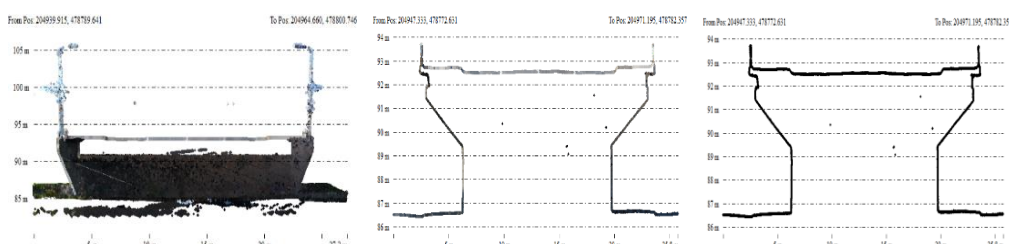


Fig 15. Secțiunile transversale ale pilelor și a suprastructurii

În total, 495 de imagini au fost obținute de la distanțe diferite în timpul tuturor zborurilor. Întreaga prelucrare a datelor a durat 18 ore, incluzând procesarea și potrivirea imaginilor, densificarea norului de puncte, construcția modelului 3D și texturarea acestuia. Modelul digital obținut oferă o reprezentare fidelă a stării actuale a podului, fiind un instrument esențial pentru inspecția și evaluarea stării structurii, precum și pentru planificarea lucrărilor de întreținere și reabilitare.



Fig 16. Ortofotoplanul podului Iuliu Maniu (Cuzic O.Ș. 2022)

Asigurarea calității datelor ghidează alegerea echipamentelor și tehnicilor adecvate în funcție de obiective. Componentele deteriorate pot fi documentate meticolos și extrase din modele 3D, facilitând studii aprofundate cu precizie centimetrică. Aplicarea imaginilor de înaltă rezoluție pentru texturarea rețelei de poligoane 3D permite atât inspecția geometrică, cât și vizuală direct pe modelul 3D generat. În ciuda progreselor, lipsește o abordare standardizată pentru evaluarea criteriilor specifice de monitorizare și inspecție. Implementarea unei metodologii sistematice este decisivă pentru a oferi perspective diverse asupra calității și pentru a evalua măsurătorile 3D în ceea ce privește potențialele erori.

5.4 Optimizarea inspecției vizuale a Barajului Herculane cu ajutorul tehnologiei TLS

Barajele masive din beton necesită evaluare și monitorizare regulată pentru a asigura integritatea și siguranța structurală. Aceste structuri complexe sunt supuse unor factori de stres semnificativi, iar evaluarea lor constantă este esențială pentru prevenirea defectelor și a riscurilor majore. Integrarea tehnologiilor de scanare TLS și UAS reprezintă o soluție puternică pentru obținerea de date detaliate și realizarea de analize precise asupra acestor structuri. Barajul studiat în acest caz are o înălțime semnificativă și acoperă o vale largă, ceea ce îl face dificil de evaluat și monitorizat cu metode tradiționale. Prin integrarea TLS-UAS, au fost captate date de înaltă rezoluție, permițând analiza stării barajului, a deformărilor și a vulnerabilităților.

Pentru evaluarea și monitorizarea barajului din beton în arc, s-a utilizat o combinație de platforme TLS și UAS.

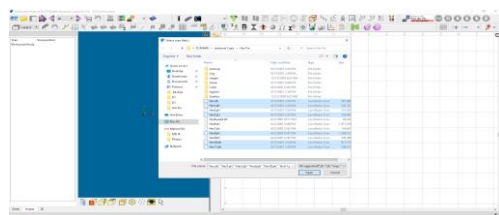


Fig 17. Încărcarea stațiilor de scanare

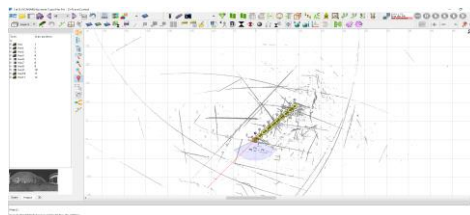


Fig 18. Etalarea stațiilor de captare a datelor fără georeferențiere

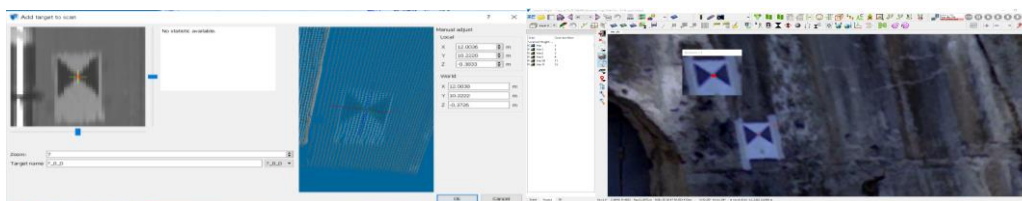


Fig 19. Georeferențierea pe baza țintelor determinate

Datele de tip nor de puncte obținute prin TLS au fost înregistrate și alinate pentru a genera un model 3D cuprinzător al structurii barajului. Aceste date au furnizat un set de informații la multiple niveluri, facilitând analiza detaliată și vizualizarea stării barajului, a deformărilor și a defectelor potențiale. Integrarea acestor tehnologii a permis o evaluare mult mai precisă și detaliată comparativ cu metodele tradiționale de monitorizare.

Pe baza analizei datelor obținute prin TLS și UAS, s-a efectuat o evaluare cuprinzătoare a riscurilor, identificând vulnerabilitățile potențiale ale barajului din beton în arc. Informațiile cantitative obținute din analiza datelor, inclusiv dimensiunile fisurilor, măsurătorile defectelor de suprafață și modelele de deformare, au facilitat o evaluare precisă a riscurilor. Aceste informații, combinate cu cunoștințele experților și ghidurile de siguranță, au permis inginerilor și responsabililor de luarea deciziilor să prioritizeze acțiunile de întreținere și reparații, alocând resursele eficient și implementând măsuri preventive pentru a reduce riscurile și a asigura stabilitatea pe termen lung a barajului. Astfel, această tehnologie a demonstrat utilitatea sa în îmbunătățirea siguranței și a eficienței operaționale a barajelor de mari dimensiuni.

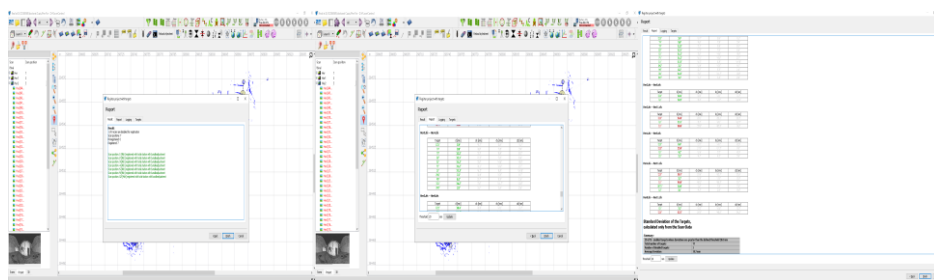


Fig 20. Generarea raportului de aliniere și analiza erorilor existente

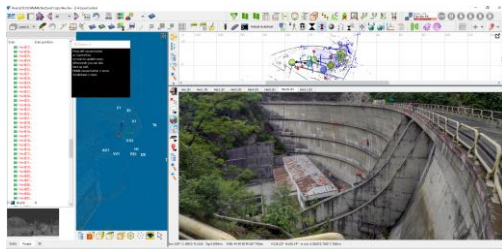


Fig 21. Previzualizarea unei scanări

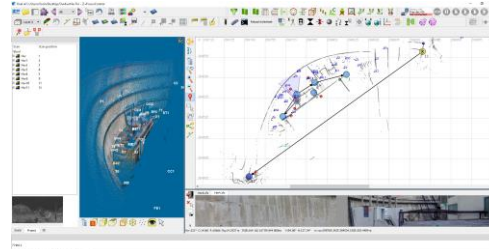


Fig 22. Georeferențierea tuturor stațiilor prin GCP

Terenul abrupt și vegetația densă au impus scanări din multiple poziții, legate între ele cu ajutorul țintelor precise pentru conectarea eficientă a stațiilor de scanare. Pozițiile de scanare au fost stabilite precis înainte de începerea lucrărilor pe teren, având în vedere topografia, siguranța operatorilor și caracteristicile scannerului.

Pentru asigurarea preciziei georeferențierii s-au amplasat 17 puncte de referință (GCP). Scanările au fost efectuate în luna august 2021, în condiții meteorologice favorabile și cu nivelul de umplere al rezervorului scăzut. Procesul de scanare a implicat 8 poziții diferite și a durat aproximativ 14 ore. Datele brute au fost importate și procesate, iar norul de puncte a fost curățat de erori și zgomote pentru a obține un model 3D precis. Filtarea și curățarea norului de puncte au implicat utilizarea unor filtre mediane și bilaterale, eliminând punctele izolate și zgomotul speckle. Acest proces complex a demonstrat eficacitatea tehnologiei de scanare laser 3D în monitorizarea și evaluarea barajelor, contribuind la îmbunătățirea siguranței și a întreținerii acestora.

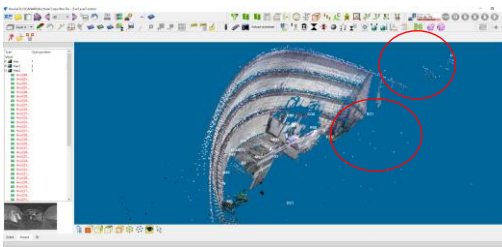


Fig 23. Erori de propagare a laserului

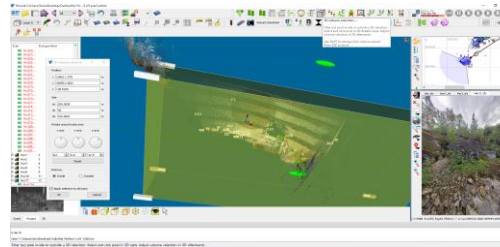


Fig 24. Crearea unei casete de delimitare

Studiul de scanare a unui baraj din beton cu scannerul laser a demonstrat eficiența și utilitatea tehnologiei avansate în documentarea și analiza detaliată a structurilor masive și complexe.

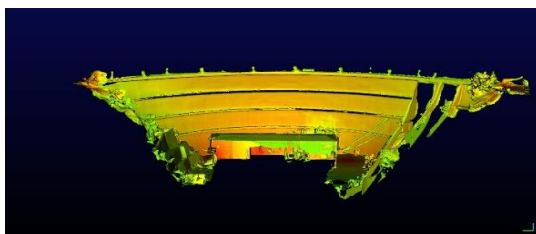


Fig 25. Reconstrucția suprafețelor de tip Poisson



Fig 26. Modelul 3D final

Rezultatele obținute au evidențiat avantajele scanării 3D cu laser în domeniul ingineriei civile și al conservării structurale, oferind o modalitate eficientă de monitorizare a evoluției barajului în timp și de planificare a măsurilor de întreținere sau reparații. De asemenea, precizia și detaliile obținute prin scanarea cu Z+F 5010 Imager au deschis noi perspective în analiza structurală și evaluarea riscurilor asociate cu infrastructurile hidrotehnice. Evaluarea erorii totale de scanare este esențială pentru a asigura acuratețea și fiabilitatea datelor colectate și pentru a evita consecințele nedorite, proiectarea incorectă a structurii sau neregularitățile în monitorizarea și întreținerea ulterioară a barajului. Pentru a minimiza eroarea totală de scanare, este necesară o planificare și o implementare atentă a procesului de scanare, împreună cu o analiză riguroasă a datelor și a rezultatelor obținute.

5.5 Optimizarea inspecției vizuale a Barajului Herculane cu ajutorul tehnologiei UAS

În aceeași sesiune de captare a Barajului Herculane cu tehnica de scanare TLS, s-a utilizat și o dronă UAS pentru generarea unui model 3D detaliat al structurii. Tehnica fotogrammetriei de proximitate a fost esențială pentru achiziția și prelucrarea datelor, capturând întreaga structură a barajului prin intermediul imaginilor de înaltă rezoluție obținute din diverse unghiuri. Planul de zbor și zonele de captare a imaginilor au fost elaborate pentru a asigura o acoperire completă, iar raportul de zbor a fost întocmit pentru a documenta condițiile și rezultatele.

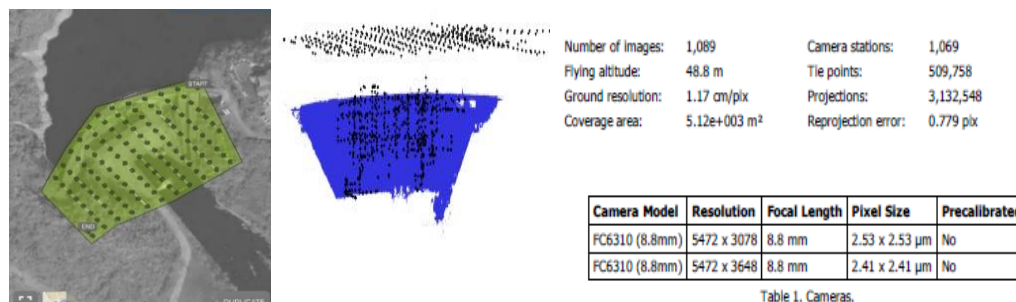


Fig 27. Planul de zbor, zonele de captare a imaginilor și raportul de zbor

Primele două zboruri au fost presetate în software-ul DJI, la o altitudine de 30 de metri, cu camera orientată la un unghi de 90 de grade. Al treilea zbor a fost realizat manual, pentru a acoperi întreaga structură complexă a barajului. În cadrul celui de-al treilea zbor, s-au capturat imagini la intervale de 3 secunde, atât în plan vertical, cât și pe plan orizontal, pentru a asigura o acoperire completă.

Rețeaua de georeferențiere stabilită inițial pentru scanarea TLS a fost folosită și pentru datele captate cu drona UAS. Cele 17 puncte de control identificate pe teren cu ajutorul GPS-ului și folosite pentru TLS au fost utilizate și în cadrul colectării datelor cu drona UAS. Scopul de a avea o singură rețea de georeferențiere a fost acela de a obține modele digitale precise și de a facilita contopirea celor două modele digitale captate cu tehnici diferite. Din cele 17 puncte de control, 7 au fost amplasate pe sol și 10 pe construcție, la diferite înălțimi. Pozițiile GPS au fost determinate în timp real (RTK), folosind sistemul de proiecție Stereo 70. Punctele de control la sol au fost marcate cu modele alb-negru și au avut o acuratețe generală de 0,5-1 cm, fiind utilizate pentru a converti datele în coordonate naționale.

Ground Control Points

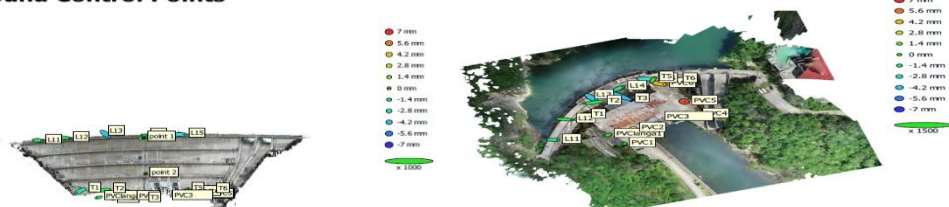


Fig 28. Clasificarea erorilor in funcție de locație

Reconstrucția geometriei 3D a barajului utilizează informațiile despre poziția și orientarea fiecărei imagini pentru a determina forma și structura obiectului. După generarea modelului 3D de bază, software-ul adaugă texturi și detalii pentru a îmbunătăți aspectul vizual al modelului.

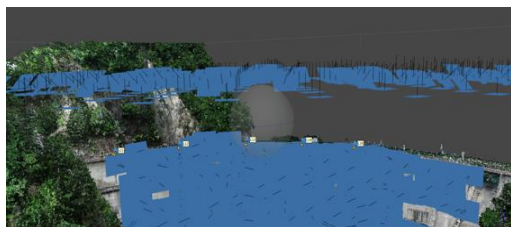


Fig 29. Vizualizarea setului de fotografii UAS pe modelul 3D al barajului Herculane.



Fig 30. O perspectivă aeriană obținută din zborul ghidat manual

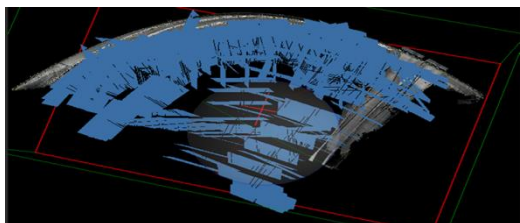


Fig 31. Vizualizarea setului de fotografii obținute, oferind o perspectivă detaliată

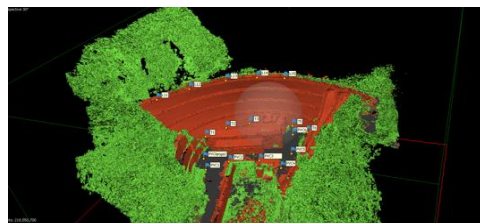


Fig 32. Selectarea barajului din norul de puncte și separarea acestuia de întreaga scenă

Etapă de densificare a norului de puncte adaugă puncte suplimentare în regiunile cu detalii reduse, îmbunătățind calitatea și acuratețea datelor. Densificarea poate fi realizată folosind algoritmi de interpolare sau extrapolare, completând spațiile lipsă din norul de puncte. Generarea mesh-ului transformă norul de puncte într-un model tridimensional sau într-o rețea de poligoane care reprezintă suprafața obiectelor și terenului. Procesul poate include triangularea punctelor, texturarea modelelor și aplicarea detaliilor suplimentare pentru a obține o reprezentare precisă și detaliată.

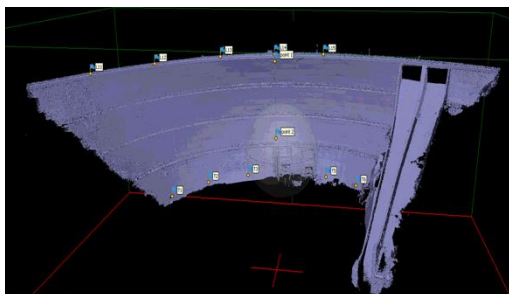


Fig 33. Procesul de transformare a unui set de puncte 3D într-o plasă de tetraedre

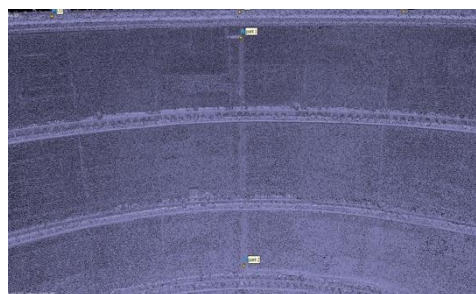


Fig 34. Mesh în mod wireframe

Un total de 1089 de fotografii au fost capturate din cele trei zboruri, rezultând aproximativ 20 de GB de date brute și prelucrate. Cronologia de procesare a implicat 41 de ore și 25 de minute, incluzând potrivirea și alinierea imaginilor, generarea parametrilor hărții de adâncime, densificarea norilor și texturarea. Resursele hardware necesare au inclus 64 GB de RAM, un procesor Intel Core i7-6700K și o placă grafică GeForce GTX 970 GPU.



Fig 35. Modelul 3D al barajului Herculane fără textură

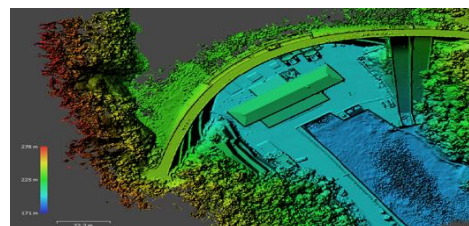


Fig 36. DEM-Digital Elevation Model (11699x10128, 2.34cm/pix)



Fig 37. Ortofotoplanul barajului

În urmărirea dezvoltării unui model 3D cuprinzător și detaliat, procesul de achiziție a datelor își asumă un rol esențial, influențând bogăția rezultatului final. Prin urmare, optimizarea locațiilor de scanare, utilizarea țintelor și a GPC, luând în considerare rezoluția camerei și înțelegerea parametrilor optimi de funcționare ai echipamentului sunt pași valoroși pentru a obține rezultate optime.

Provocările legate de achiziția și colectarea datelor, îmbunătățirea tehnicilor de eliminare a sunetului și algoritmi de optimizare pentru reconstrucția 3D în post-procesare pot influența calitatea norilor de puncte.

Preocupările cheie includ semnale GPS slabe sau absente, deprecierea calibrării, zboruri limitate de durată bateriilor, dependența de factori meteorologici, lipsa suprapunerilor de imagini în fotogrammetria bazată pe UAS și difuzia sau reflectarea slabă a fasciculului laser în TLS. Acești factori pot duce la producerea de nori de puncte de calitate scăzută, împreună cu unele defecte, cum ar fi poziționarea geometrică inexactă și seturi de date zgomotoase cu densități de puncte neuniforme. Asigurarea calității datelor pentru inspectarea infrastructurii civile ghidează alegerea echipamentelor și tehnicilor adecvate în funcție de obiective. Componentele deteriorate pot fi documentate meticulos și extrase din modele 3D, facilitând studii aprofundate cu precizie centimetrică.

5.6 Generarea unui model 3D hibrid prin fuzionarea seturilor de date UAS și TLS

Prin combinarea datelor captate de Z+F 5010 Imager cunoscut pentru acuratețea sa în captarea detaliilor fine cu imaginile aeriene de înaltă rezoluție obținute cu DJI Phantom 4 Pro care oferă o perspectivă amplă și o acoperire extinsă vom putea crea un model 3D cuprinzător al barajului din beton arcuit de la Herculane. Această abordare sinergică va aduce beneficii semnificative în analiza detaliată a structurii barajului, identificarea potențialelor probleme sau deteriorări precum și în planificarea și monitorizarea lucrărilor de întreținere sau îmbunătățire oferind în același timp informații valoroase pentru evaluarea și monitorizarea sănătății și a integrității barajului. Prin integrarea datelor provenite din aceste două surse complementare vom putea obține un model tridimensional cuprinzător care va servi drept instrument valoros pentru inginerii și specialiștii implicați în gestionarea și conservarea barajului din beton arcuit de la Herculane. Această inițiativă reprezintă un pas important în direcția obținerii unei înțelegeri mai profunde și mai precise a structurii și a caracteristicilor topografice ale acestei construcții vitale. Această abordare hibridă combină punctele forte ale ambelor metode de achiziție de date oferind o soluție cuprinzătoare pentru documentarea și analiza structurilor complexe. Modelele 3D obținute prin cele două metode, au fost aliniate și integrate cu software-ul CloudCompare open-source, rezultând un model 3D hibrid complet.

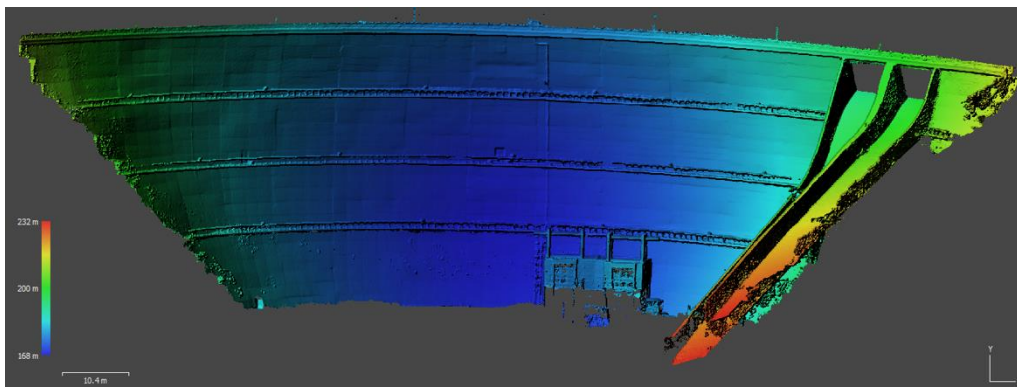


Fig 38. Contopirea celor două seturi de date

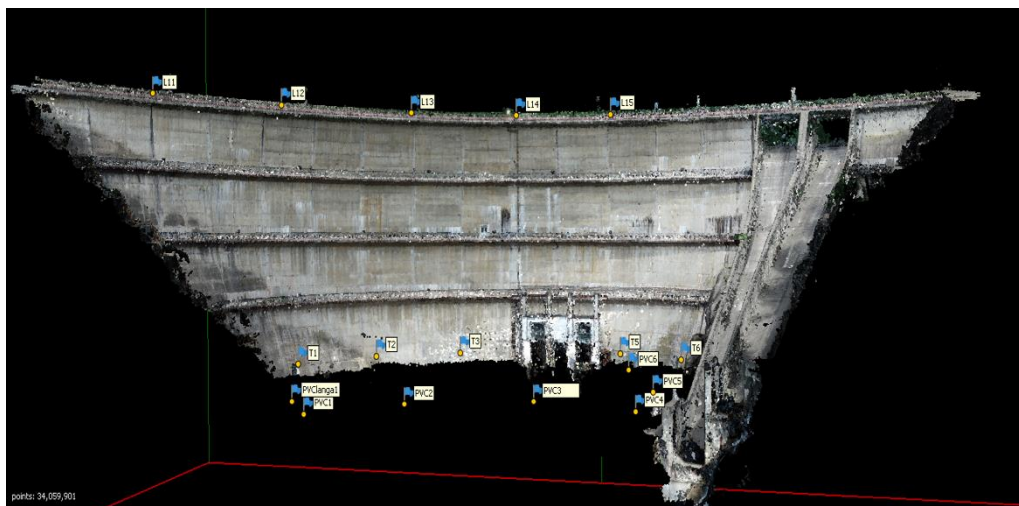
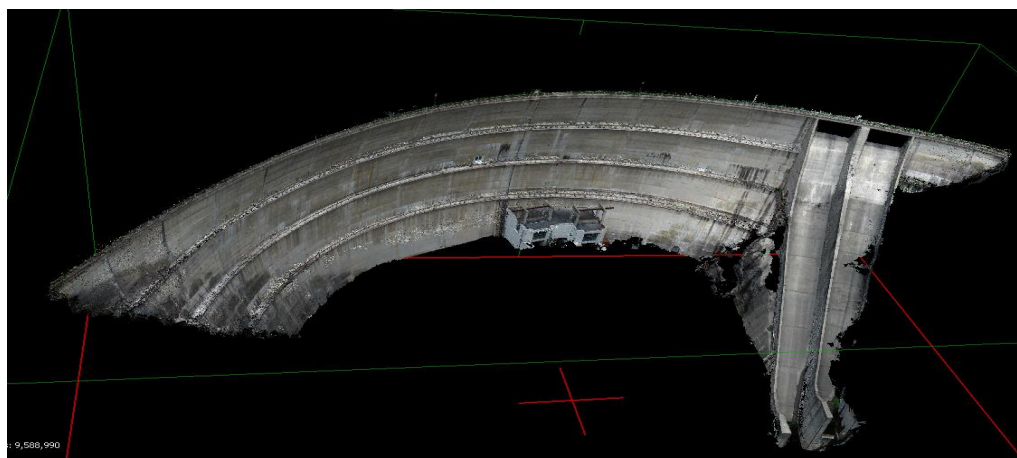


Fig 39. Modelul 3D rezultat

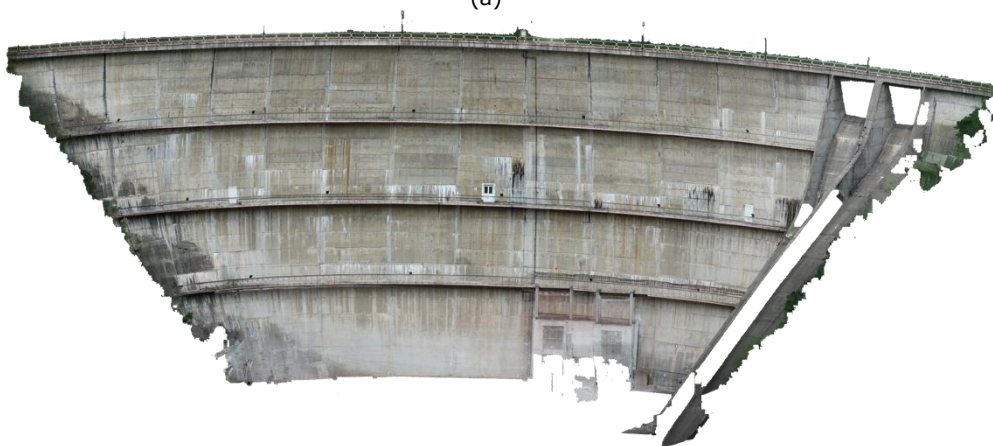
Modelul 3D oferă o reprezentare detaliată și precisă a barajului cu următoarele beneficii: precizie geometrică prin combinația datelor de scanare laser și fotogrammetrie, care permite o precizie milimetrică a modelului 3D; textură bogată obținută din fotografiile aeriene ce adaugă realism și detalii modelului 3D; informații complete a modelului 3D hibrid integrând detalii din ambele surse de date oferind o imagine cuprinzătoare a barajului și a zonei înconjurătoare.

Modelul 3D hibrid al barajului de la Herculane poate fi utilizat pentru o varietate de aplicații inclusiv monitorizare structurală, detectarea și analiza deformărilor, fisurilor sau altor deteriorări ale structurii barajului; planificarea întreținerii care facilitează organizarea reparațiilor, a lucrărilor de întreținere și a proiectelor de modernizare; simularea și modelarea prin aplicații hidraulice și analize de stabilitate a barajului.

Modul de prelucrare și contopire a datelor provenite din tehnologiile TLS și UAS colectate în mod independent, fiecare tehnică oferind informații unice despre teren și structură, a implicat mai multe etape esențiale începând de la captarea datelor până la obținerea unui model 3D unificat și precis al barajului în arc de la Herculane.



(a)



(b)

Fig 40 (a, b). Modelul 3D rezultat după fuziunea datelor

După alinierea celor două seturi de puncte, a fost ajustată poziția modelului 3D UAS pentru a se potrivi perfect cu norul de puncte TLS. Folosind metoda iterativă care minimizează distanța dintre puncte mai exact algoritmul ICP. Au fost fuzionate datele din ambele surse prin minimizarea distanței dintre punctele corespondente dintre cele două modele și contopirea datelor din ambele surse. Pentru a elimina punctele duplicate sau redundante au fost aplicate filtre statistice sau filtre bazate pe distanță și filtre bazate pe densitate care combină punctele din ambii nori de puncte ponderând contribuția fiecărui punct în funcție de calitatea sa. După aplicarea filtrelor au fost inspectate datele rezultate și analizate pentru a verifica calitatea contopirii și integrarea detaliilor din ambele surse pentru a fi extrase informații utile despre barajul Herculane. Fiecare tehnică de captare a datelor vine cu avantaje și limitări specifice iar combinarea datelor din mai multe surse ne permite să compensăm aceste limitări și să obținem o reprezentare mai completă a terenului. Este rezultatul unei combinații complexe de tehnologii și metode de prelucrare a datelor care contribuie la îmbunătățirea înțelegerii noastre asupra acestui important obiectiv de inginerie. Această reprezentare tridimensională integrată ne permite să explorăm în detaliu structura barajului să identificăm posibile defecte sau deteriorări și să evaluăm starea

sa generală de conservare. De asemenea poate fi utilizată pentru planificarea și gestionarea proiectelor de întreținere și reabilitare a barajului contribuind la îmbunătățirea siguranței și durabilității acestuia. Este un exemplu elocvent al modului în care tehnologiile moderne de captare a datelor pot fi folosite pentru a sprijini conservarea și managementul infrastructurii civile într-un mod mai eficient și sustenabil.

Eficiența fiecărei metode este determinată de rezultatele așteptate și se va baza pe criterii precum natura obiectului, condițiile de operare, mărimea obiectivului, etc. Considerațiile privind funcționalitatea și operabilitatea prin aplicarea celor două metode în anumite circumstanțe evidențiază limitările, punctele slabe dar și cele puternice a fiecărei tehnologii.

Costurile totale anuale pentru TLS Z+F 5010 Imager sunt semnificativ mai mari decât cele pentru UAS DJI Phantom 4 Pro. Această diferență majoră se datorează în mare parte costurilor inițiale ale echipamentului, costurilor software-ului și ale datelor, precum și costurilor de întreținere și de operare pe termen lung. Deși costurile pentru UAS DJI Phantom 4 Pro sunt mai mici, precizia și rezoluția obținute cu TLS Z+F 5010 Imager pot justifica cheltuielile suplimentare pentru proiectele care necesită o acuratețe maximă și detalii fine. Alegerea între cele două tehnologii trebuie să țină cont de bugetul disponibil, cerințele specifice ale proiectului și de nivelul de detaliu și precizie necesar în datele obținute. Pentru proiectele care nu necesită o acuratețe atât de mare sau detalii fine, UAS DJI Phantom 4 Pro poate fi o opțiune mai economică și eficientă din punct de vedere al costurilor.

Practica actuală de achiziție a datelor prin scanare cu laser se bazează pe intuiția umană pentru planificarea locațiilor de scanare și a setărilor parametrilor de achiziție în fiecare locație selectată. Cu toate acestea, șantierele de construcții sunt medii complexe și în continuă schimbare, ceea ce face imposibilă, chiar și pentru topograful experimentat, garantarea faptului că norii de puncte dobândite acoperă în totalitate toate țintele de scanare cu nivelurile specificate de calitate.

Complexitatea este crescută și mai mult de faptul că scanerul prezintă performanțe tehnice diferite, iar toate țintele captate de pe un întreg șantier pot avea cerințe diferite de calitate a datelor.

Rezultatele indică faptul că integrarea TLS și UAS oferă avantaje semnificative în domeniul evaluării infrastructurii civile. Prin combinarea punctelor forte ale tehnologiilor TLS și UAS, devine posibilă capturarea datelor cu rezoluție înaltă, crearea de modele tridimensionale detaliate și vizualizarea structurilor complexe cu o mare precizie. Acest lucru permite o reprezentare cuprinzătoare și la scară multiplă a infrastructurii, permițând identificarea defectelor structurale, evaluarea integrității structurale, detectarea daunelor și deteriorărilor, analiza deformărilor și deplasărilor și evaluarea cantitativă a sănătății structurale. În plus, studiile de caz prezentate în această cercetare au demonstrat eficacitatea integrării tehnologiilor TLS și UAS în sprijinul inspecției vizuale, conservării culturale și procesului de reabilitare.

Capitolul 6 - Concluzii globale, aporturi originale și tendințe viitoare în domeniul tehnologiilor moderne

6.1 Contribuții originale și evoluții viitoare cu privire la utilizarea tehnologiilor moderne

Contribuțiile originale aduse în acest studiu sunt prezentate pe scurt, după cum urmează:

1. Dezvoltarea unei metodologii de integrare a datelor obținute din surse multiple, cum ar fi scanările laser terestre, imagini aeriene și date din teren, pentru a crea modele 3D mai complete și mai precise.
2. Implementarea tehnologiilor avansate de procesare a datelor pentru a măsura și a monitoriza dinamic starea structurală. Utilizarea dronei cu camere multispectrale pentru identificarea și monitorizarea zonelor cu potențiale probleme de stabilitate sau de deteriorare a construcțiilor.
3. Aplicarea unor tehnologii de realitate augmentată pentru a facilita procesul de inspecție și de diagnosticare a problemelor în cadrul structurilor.
4. Implementarea unor modele predictibile bazate pe date cronologice și pe date actuale pentru a evalua riscul de eșec structural al construcțiilor.
5. Introducerea unor soluții de management a datelor cloud pentru stocarea și accesarea eficientă a volumelor mari de date colectate din diferite surse.
6. Integrarea tehnologiilor geomatice în procesul de proiectare și de planificare a lucrărilor de reparație și întreținere a infrastructurii civile.
7. Utilizarea tehnologiilor geospațiale pentru monitorizarea extinsă și detaliată a zonelor greu accesibile ale construcțiilor hidrotehnice.
8. Dezvoltarea unor modele 3D interactive și personalizabile pentru a permite proiectanților și inginerilor să vizualizeze și să analizeze datele relevante despre structuri într-un mod ușor de înțeles.
9. Evaluarea eficacității și a preciziei fiecărei tehnologii utilizate în funcție de tipul și de caracteristicile structurilor analizate, precum baraje, poduri și alte infrastructuri.
10. Aprecierea performanțelor sistemului de scanare combinat în diferite condiții meteorologice și luminoase, pentru determinarea condițiilor optime de operare și pentru identificarea potențialelor limitări.
11. Optimizarea parametrilor de scanare, inclusiv altitudinea, unghiul de inclinare, densitatea de scanare și rezoluția imaginilor, pentru obținerea celor mai bune rezultate în funcție de cerințele specifice ale fiecărui obiectiv.
12. Dezvoltarea unor strategii de planificare a misiunilor de captare a datelor cu UAS, care să optimizeze traiectoriile de zbor și să asigure acoperirea completă și uniformă a suprafețelor analizate.
13. Evaluarea fezabilității și a eficacității utilizării tehnologiei UAS pentru captarea detaliată a structurilor civile, precum podurile, barajele și situri de patrimoniu cultural cu identificarea avantajelor și limitărilor acestei tehnologii.
14. Studiul impactului mediului înconjurător asupra performanței sistemului de captare a datelor, inclusiv efectele vântului, temperaturii și umidității asupra stabilității și calității imaginilor captate.
15. Dezvoltarea unor strategii de gestionare a datelor pentru stocarea, prelucrarea și analiza eficientă a volumelor mari de informații obținute din scanarea 3D a structurilor complexe.

16. Evaluarea impactului financiar al utilizării sistemelor UAS și a TLS pentru captarea detaliată a infrastructurii, inclusiv costurile inițiale de achiziție și de operare, precum și beneficiile pe termen lung ale acestora.

17. Implementarea unui sistem de calibrare și de corecție a erorilor pentru asigurarea preciziei și consistenței datelor obținute din TLS - UAS, în special în cazul unor structuri mari și complexe.

18. Evidențierea performanței sistemului de scanare combinat în comparație cu metodele tradiționale de inspecție și monitorizare a infrastructurii, pentru determinarea avantajelor și a limitărilor fiecărei abordări. Analiza impactului utilizării tehnologiilor de scanare 3D asupra duratei de captare, costurilor și calității proceselor de proiectare, construcție și întreținere a infrastructurii, în vederea identificării unor modalități de optimizare.

19. Evaluarea fezabilității utilizării dronelor și a scannerelor laser pentru monitorizarea continuă a stării și a evoluției infrastructurii, în vederea identificării precoce a problemelor și a necesității intervenției.

20. Studiul impactului utilizării tehnologiilor de scanare 3D asupra siguranței și fiabilității infrastructurii, pentru identificarea și eliminarea potențialelor deficiențe și a punctelor vulnerabile.

21. Examinarea impactului utilizării tehnologiilor de scanare 3D asupra eficienței și rentabilității proceselor de reabilitare și de întreținere a infrastructurii, pentru identificarea unor modalități de optimizare a costurilor și de creștere a productivității.

22. Identificarea și analiza aplicabilității tehnologiilor de scanare 3D asupra proceselor de proiectare arhitecturală și urbanistică, pentru îmbunătățirea preciziei și a detaliului în planificarea și dezvoltarea proiectelor în curs.

23. Efectul aplicării tehnologiilor de scanare 3D asupra proiectării și reabilitării infrastructurii critice, precum drumuri, poduri și baraje, pentru identificarea modalităților de creștere a durabilității și de reducere a riscurilor.

24. Studiul asupra procesului de luare a deciziilor și a managementului proiectelor în domeniul ingineriei civile și a construcțiilor, pentru identificarea unor modalități de optimizare a eficienței și a performanței.

25. Dezvoltarea unor tehnologii și strategii de comunicare și diseminare a rezultatelor cercetării în domeniul scanării 3D, pentru promovarea utilizării acestei tehnologii în rândul profesioniștilor din industrie și a publicului larg.

26. Investigarea și optimizarea proceselor de aliniere și înregistrare a datelor obținute din sursele UAS și TLS pentru a asigura coerența și acuratețea modelelor digitale generate.

27. Urmărirea procesului de educație și formare profesională în domeniul ingineriei civile și a construcțiilor, pentru promovarea unei înțelegeri mai bune a conceptelor și a tehnicilor utilizate.

28. Aplicabilitatea tehnologiilor de scanare 3D asupra procesului de arhivare și conservare a patrimoniului cultural și istoric, pentru protejarea și promovarea valorii acestuia pentru generațiile viitoare.

6.2 Perspective viitoare în domeniul cercetării

Direcțiile viitoare de cercetare în ingineria civilă includ integrarea tehnologiilor de scanare subacvatică și laser terestru pentru a crea modele 3D detaliate ale infrastructurii hidrotehnice, dezvoltarea de instrumente de simulare și analiză a riscului pentru evaluarea impactului evenimentelor extreme, crearea de modele hibride de analiză a performanței structurale și utilizarea avansată a tehnologiilor de comunicații și machine-learning pentru detectarea automată a defectelor.

Alte domenii de cercetare includ utilizarea tehnologiilor avansate de monitorizare pentru gestionarea riscurilor naturale și dezvoltarea de sisteme predictive și de luare a deciziilor bazate pe performanțele inteligenței artificiale. Aceste direcții vizează îmbunătățirea durabilității, rezilienței și sustenabilității infrastructurii civile, precum și adaptarea la schimbările climatice.

Bibliografie

- [1] Tang, P., Huber, D., Akinci, B., Lipman, R., & Lytle, A. „Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques,” *Automation in Construction*, vol. 19, nr. 7, pp. 829-843, 2010.
- [2] Wu, Chao & Yuan, Yongbo & Tang, Yang & Tian, Boquan. „Application of Terrestrial Laser Scanning (TLS) in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) Industry,” *Sensors*, vol. 22, p. 265, 2021.
- [3] Zhang, Z.; Zhu, L. „A Review on Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing: Platforms, Sensors, Data Processing Methods, and Applications,” *Drones*, vol. 7, p. 398, 2023.
- [4] Choi, H.-W.; Kim, H.-J.; Kim, S.-K.; Na, W.S. „An Overview of Drone Applications in the Construction Industry,” *Drones*, vol. 7, p. 515, 2023.
- [5] J. Majrouhi Sardroud, „Perceptions of automated data collection technology use in the construction industry,” *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 21, 2015.
- [6] Man T.E., Sabău N.C., Cîmpan G. Bodog M. în *Hidroameliorații Vol II*, Timișoara, Editura Aprilia Print, 2010.
- [7] Herban, I.S., Vilceanu, C.B. „Terrestrial Laser Scanning Used for 3D Modeling,” *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology and mining Ecology Management*, vol. 2, p. 795, 2012.
- [8] CUZIC O.S., MAN T.E., ARMAȘ A „Introduction into 3D Laser Scanning,” *15th edition National Technical-Scientific Conference on Modern Technologies for the 3rd Millennium, Oradea, Romania*, Vol. 1 din 2 NOV 27-28, pp. 13-16, 2016.
- [9] Ahmed, F., Mohanta, J. C., Keshari, A., & Yadav, P. S. „Recent advances in unmanned aerial vehicles: a review,” *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 47, nr. 7, pp. 7963-7984, 2022.
- [10] K. Telli, O. Kraa, Y. Himeur, A. Ouamane, M. Boumehraz, S. Atalla și W. A. Mansoor, „Comprehensive Review of Recent Research Trends on Unmanned Aerial Vehicles (UASs),” *Systems*, vol. 11, p. 400, 2023.
- [11] V. Andrejchenko, W. Liao, W. Philips și P. Scheunders, „Decision Fusion Framework for Hyperspectral Image Classification Based on Markov and Conditional Random Fields,” *Remote Sens*, vol. 11, p. 624, 2019.
- [12] Yang, B., Yang, C., Zhang, T., & Zhang, X. „A comprehensive review of data fusion methods for multisource remotely sensed imagery in urban areas,” *Remote Sensing*, vol. 13, nr. 3, p. 456, 2021.
- [13] Coccoceanu, A. L., Man, T. E., Vlaicu, I. „Sustainable development in rural area through projects-basic infrastructure-water and sewerage systems in the Timiș County,” *Agricultural Management/Lucrări Științifice Seria I, Management Agricol*, vol. 18, nr. 1, 2016.
- [14] Man T.E., „Les travaux hydro amélioratifs dans le sud-ouest de la Roumanie (dép. de Timiș),” Timișoara, 2002.
- [15] O. S. Cuzic, E. T. Man, A. Alionescu și I. S. Herban, „WORKFLOW BETWEEN TERRESTRIAL LASER SCAN AND UAS PHOTOGRAMMETRY FOR STRUCTURAL ANALYSIS

OF BRIDGES," *Conference: 22nd SGEM International Multidisciplinary Scientific GeoConference*, vol. 22, nr. 2.1, 2022.

- [16] B. Kwoczyńska și P. Gudź „Application of TLS and UAS Data Integration to Special Object Modelling," **GLL**, vol. 4, nr. 21, pp. 329-341, Aug. 2023.
- [17] R. Boehler, M. Bordas Vincent, și A. Marbs, „Investigating laser scanner accuracy," *Proceedings of the XIXth CIPA Symposium, Antalya, Turkey*, 2003.
- [18] C. Gordon, „Use of Laser Scanning for Tunnel Structural Inspections," *Geospatial World*, 2015.
- [19] H. González-Jorge, J. Martínez-Sánchez, et al., „Metrological comparison between the mid-range scanners Faro Focus 3D and Leica C10," *Measurement*, vol. 46, nr. 9, pp. 2769-2782, 2013.
- [20] Weiser, S. Hinz, and U. Stilla, „Automatic extraction of lines from mobile laser scanning data of urban areas using a localized Hough transform," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 102, pp. 73-85, 2015.
- [21] G. Vosselman and H. G. Maas, „Airborne and Terrestrial Laser Scanning," *Whittles Publishing*, 2010.
- [22] Sepasgozar, S.M. and Shirowzhan, S., „Challenges and opportunities for implementation of laser scanners in building construction," *In ISARC. Proceedings of the international symposium on automation and robotics in construction* , vol. Vol. 33, p. 1, 2016.
- [23] Stöcker, C., Bennett, R., Nex, F., Gerke, M., & Zevenbergen, J. A. „Review of the current state of UAS regulations," *Remote Sensing*, vol. 9, nr. 5, p. 459, 2017.
- [24] R. D. D. Valle, F. A. P. dos Santos, and E. M. G. Assis, „Fusion of Terrestrial Laser Scanning and UAS Photogrammetry for 3D Heritage Documentation," *" ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. IV, nr. 2, pp. 95-102, 2017.
- [25] D. Stojanovic, J. Stal, and B. Klemetsen, „Optimizing UAS Surveying Techniques for Enhanced 3D Point Cloud Generation," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 13, pp. 3840-3849, 2020.
- [26] [Interactiv]. Available: 26 <https://enterprise.dji.com/news/detail/grid-and-wind-turbine-inspections-made-easy-by-drone-solutions>.
- [27] Jiazeng Shan, Hongtao Zhu, Runze Yu, „Feasibility of Accurate Point Cloud Model Reconstruction for Earthquake-Damaged Structures Using UAS-Based Photogrammetry," *Structural Control and Health Monitoring* , vol. 2023, p. 19, 2023.
- [28] Bornaz, L. and Rinaudo, F., „Terrestrial laser scanner data processing," în *In XXth ISPRS Congress, Istanbul*, 2004.