AUTOMATIZAREA FLUXURILOR DE DATE UTILE ÎN ADMINISTRAREA INFRASTRUCTURII RUTIERE FOLOSIND SCANAREA TRIDIMENSIONALĂ MOBILĂ

ing. Mihai Tentiș[1]
geogr. Ingrid Elena Ciobotaru[1]
geogr. Diana Mădălina Coteanu[1]

Lucrarea propusă are în vedere prezentarea unor fluxuri de lucru complete și validate, atât la birou, cât și în teren, pornind de la etapa planificării colectării de date și continuând cu colectarea propriu zisă, aplicarea corecțiilor de traiectorie pentru obținerea preciziei centimetrice pe toate cele trei axe de coordonate (latitudine, longitudine și altitudine), procesare primară a datelor brute, obținerea de geometrii vectoriale cu cote și suprafețe, transferul informației într-o bază de date centralizată cu profil geospațial (GIS) accesibilă de către toți utilizatorii cu drepturi specifice. Specific, cercetarea subiectului propus s-a concentrat pe obținerea automată a unor elemente care sunt parte integrantă a infrastructurii rutiere, cum ar fi parapetele rutier, stâlpii de iluminat sau cei aflați în vecinătatea sistemului rutier, suprafața de asfalt, profile longitudinale și transversale de precizie, crearea unui instrument de analiză detaliată a cotelor aparținând fronturilor construite din zonele locuite și traversate de infrastructură rutieră și crearea unor seturi de date de bază, în standard internațional care pot fi folosite pentru gestionarea eficientă a modelărilor referitoare la poluarea fonică existentă la nivelul rețelei rutiere naționale. Scopul final al aplicării acestui tip de fluxuri de lucru bazate pe scanare laser tridimensională (cunoscut sub acronimul LiDAR) îl reprezintă dezvoltarea capacității operaționale a administratorului rețelei rutiere de a-și dezvolta independent și imparțial propriile seturi de date cu utilizare multiplă care se vor adăuga Bazei de Date Tehnice Rutiere naționale și care vor putea fi consultate la nivelul CNAIR S.A. de către specialiștii desemnați.

The proposed work aims to present complete and validated workflows both in the office and in the field, starting from the data collection planning stage and continuing with the actual data collection, the application of trajectory corrections to achieve centimeter-level accuracy across all three coordinate axes (latitude, longitude, and altitude), the primary processing of raw data, the extraction of 3D vector geometries and surfaces, and the transfer of information into a centralized geospatial database (GIS) accessible to all users with specific rights. Specifically, the research on the proposed subject focused on the automated extraction of elements that are an integral part of the road infrastructure, such as road guardrails, light poles or poles in the vicinity of the road network, the asphalt surface, high-precision longitudinal and cross-sectional profiles, the creation of a tool for detailed analysis of elevations belonging to built fronts in residential areas crossed by road infrastructure, and the creation of baseline datasets in compliance with international standards, which can be used for the efficient management of modeling related to existing noise pollution across the national road network. The ultimate goal of implementing these workflows based on three-dimensional laser scanning (known by the acronym LiDAR) is to develop the operational capacity of the road network administrator to independently and impartially build its own multi-use datasets, which will be added to the National Road Technical Database and will be available for consultation within CNAIR S.A. by designated specialists.

CUVINTE CHEIE: GIS, LIDAR, AUTOMATIZARE, PRECIZIE, ADMINISTRARE

1) Centrul de Studii Tehnice Rutiere și Informatică (tel. 021.317.11.20, e-mail. office@cestrin.ro)

1. INTRODUCERE

Infrastructura rutieră constituie un element esențial al sistemului de transport, aducând o contribuție la mobilitatea populației, conectivitate teritorială și dezvoltare economică. Administrarea corectă și eficientă a acesteia presupune existența unor informații actualizate cu privire la caracteristicile fizice ale drumurilor, starea infrastructurii rutiere, elemente de siguranță și evoluția acestora pe parcursul ciclurilor lor de viață.
Procesul de digitalizare din sectorul construcțiilor și infrastructurii a generat apariția unor noi abordări privind colectarea, procesarea și valorificarea informațiilor. În ceea ce privește Ghidul privind utilizarea instrumentelor BIM în generarea și gestionaera datelor digitale aferente contrucțiilor (RTC 9 – 2022), managementul informațiilor constituie un proces continuu care urmărește generarea, administrarea și folosirea datelor digitale pe întregul ciclu de viață al elementului de infrastructură. Prin urmare, informațiile nu mai sunt privite doar ca rezultate, ci ca resurse strategice necesare pentru planificare, monitorizare și luarea deciziilor [1].
În ultimii ani, tehnologiile de scanare tridimensională au cunoscut o dezvoltare considerabilă, oferind posibilitatea realizării unor reprezentări digitale mult mai detaliate ale mediului rutier. Tehnologia de scanare laser mobilă (MLS) a demonstrat o eficiență sporită în reducerea dramatică a timpului de achiziție a datelor pe coridoarele de transport aglomerate [2]. Astfel, integrarea norilor de puncte în sisteme avansate de management al activelor rutiere permite o monitorizare proactivă și predictivă a degradărilor geometrice ale suprafeței de rulare [3]. Automatizarea extracției elementelor rutiere liniare și punctuale direct din datele LiDAR reduce considerabil erorile umane asociate digitizării manuale tradiționale [4], contribuind astfel la generarea unor baze de date tridimensionale complexe de precizie. Conform studiilor recente, precizia centimetrică obținută prin sisteme MLS este absolut esențială pentru modelarea digitală corectă a terenului în zonele cu geometrii complexe, precum rampele și pasajele [5]. Implementarea bazelor de date spațiale unificate la nivelul întregului obiectiv rutier optimizează fundamental procesul de luare a deciziilor în întreținerea curentă a drumurilor [6]. Precizia mare a datelor, viteza de colectare și posibilitatea actualizării frecvente a informațiilor fac scanarea tridimensională (LiDAR) o soluție importantă pentru gestionarea modernă a rețelelor de transport.
În ceea ce privește scopul acestui articol, acesta este de a analiza modul în care scanarea tridimensională mobilă poate contribuie la automatizarea fluxurilor de date utilizate în gestionarea infrastructurii rutiere, evidențiind principalele avantaje, etapele de procesare și posibilitățile de valorificare a informațiilor rezultate în activitățile de administrare a infrastructurii rutiere.

2. AMPLASAREA ȘI CADRUL NATURAL

Arealul analizat este reprezentat de nodul rutier al Autostrăzii A0 situat între drumurile naționale DN1 și DN2, în partea de nord a Municipiului București, pe teritoriul administrativ al județului Ilfov. Zona de studiu este localizată în proximitatea Aeroportul Internațional Henri Coandă și constituie unul dintre cele mai importante puncte de conectivitate ale infrastructurii rutiere din zona metropolitană a Capitalei.
Nodul rutier face parte din sistemul de centură modernizat al Municipiului București, având rolul de a asigura legătura dintre principalele axe de transport naționale și regionale. Prin poziția sa strategică, acesta facilitează redistribuirea fluxurilor de trafic și contribuie la reducerea congestionării rețelei rutiere din interiorul orașului. Evaluarea post construcție, inclusiv din perspectivă geotehnică și morfologică a acestor sectoare critice de autostradă este sprijinită direct de profilele transversale de înaltă precizie care pot fi extrase automat din norii de puncte obținuți în urma scanării mobile continue [7]

Din punct de vedere geografic, arealul de studiu este amplasat în sectorul central al Câmpiei Române, în cadrul subunității cunoscute sub denumirea de Câmpia Vlăsiei. Relieful este caracterizat prin altitudini reduse și diferențe de nivel nesemnificative, aspect favorabil dezvoltării infrastructurii de transport. Valorile altitudinale se situează, în general, între 80 și 100 m, iar pantele terenului sunt reduse, permițând amenajarea unor lucrări de infrastructură de mare amploare.
Din punct de vedere climatic, zona se încadrează în climatul temperat-continental de câmpie, caracterizat prin veri calde și ierni relativ reci. Temperatura medie anuală depășește 10°C, iar cantitățile medii anuale de precipitații se situează în jurul valorii de 550–600 mm. Aceste condiții influențează procesele de exploatare și întreținere a infrastructurii rutiere, în special în perioadele cu fenomene meteorologice extreme.
Rețeaua hidrografică este reprezentată de cursuri de apă cu caracter permanent și temporar aparținând bazinului hidrografic al râului Colentina, precum și de numeroase canale de desecare specifice zonelor de câmpie. Din punct de vedere geotehnic, predomină depozitele sedimentare cuaternare alcătuite din argile, nisipuri și pietrișuri, care oferă condiții favorabile dezvoltării infrastructurii rutiere, cu respectarea măsurilor specifice de fundare și drenaj.
Importanța arealului analizat rezultă atât din poziția sa în cadrul rețelei naționale de transport, cât și din complexitatea elementelor de infrastructură existente, aspecte care îl recomandă pentru evaluarea posibilităților de utilizare a scanării tridimensionale mobile în procesul de colectare și automatizare a fluxurilor de date necesare administrării infrastructurii rutiere.
Arealul de studiu este amplasat în partea de nord a Municipiului București, pe teritoriul județului Ilfov și include două dintre cele mai importante noduri rutiere ale sectorului nordic al Autostrăzii A0: intersecția A0–DN1–DN2 și intersecția A0–A3. Aceste noduri fac parte din infrastructura strategică de transport dezvoltată pentru preluarea și redistribuirea fluxurilor de trafic din zona metropolitană a municipiului București.
Intersecția A0 cu DN1 și DN2 asigură conectivitatea dintre autostrada de centură și două dintre cele mai importante drumuri naționale din România. DN1 realizează legătura dintre București și centrul țării prin Ploiești și Brașov, în timp ce DN2 reprezintă principala axă rutieră care conectează capitala cu regiunea Moldovei. Prin intermediul acestui nod sunt preluate volume importante de trafic local, regional și național.
De asemenea, nodul rutier dintre Autostrada A0 și Autostrada A3 reprezintă un punct de conectivitate major în cadrul rețelei de transport naționale. Autostrada A3 asigură legătura dintre București și zona centrală și nord-vestică a României, constituind unul dintre cele mai importante coridoare rutiere aflate în dezvoltare. Conectarea acesteia cu Autostrada A0 permite redistribuirea fluxurilor de trafic în jurul capitalei și facilitează accesul către principalele direcții de transport fără traversarea zonelor urbane aglomerate.
Complexitatea geometrică a acestor noduri rutiere, caracterizate prin bretele de acces, pasaje, rampe și multiple relații de trafic, oferă condiții favorabile pentru evaluarea metodelor moderne de colectare și procesare a datelor spațiale. Din acest motiv, zona a fost selectată ca areal de studiu pentru analiza posibilităților de automatizare a fluxurilor de date utilizate în administrarea infrastructurii rutiere.

3. METODOLOGIE

Colectarea datelor a fost realizată cu ajutorul unui sistem de scanare tridimensională mobilă pe un autovehicul specializat. Arealul de studiu a fost reprezentat de nodul rutier al Autostrăzii A0 la intersecția cu A3, fiiind un sector caraterizat printr-o infrastructură complexă și prin prezența unor elemente de interes pentru administrarea rețelei rutiere.
În vederea efectuării colectării datelor, aceasta a fost realizată într-un regim dinamic, prin deplasarea vehiculului rutier pe traseele aferente nodului rutier evidențiat în figura numărul 1.

În timpul procesului au fost înregistrate simultan informații spațiale și imagini ale mediului rutier, de unde a rezultat un set de date georeferențiate utilizate în procesul ulterior de analiză și modelare. Alegerea acestei zone a urmărit evaluarea posibilităților de utilizare a datelor rezultate în procesele de administrare și monitorizare a infrastructurii rutiere.

Figura 1: Poziționarea geografică și perspectiva tridimensională a obiectivului studiat
Sursa: Date laser tridimensionale colectate cu echipament pus la dispoziția CESTRIN

În urma finalizării procesului de colectare, datele au fost procesate într-o etapă de compensare a traiectoriei. Prin această operațiune se poate determina cu precizie poziția și orientarea sistemului de scanare pe întreaga durată a deplasării. În cadrul procesului sunt integrate toate informațiile provenite de la sistemele de poziționare și navigație, conturându-se o traiectorie continuă și coerentă a vehiculului.
După ce s-a determinat traiectoria, datele brute au fost procesate pentru generarea norului de puncte tridimensional. Procesul a inclus asocierea coordonatelor spațiale cu măsurătorile efectuate și eliminarea eventualelor înregistrări eronate rezultate în timpul achiziției.
Norul de puncte rezultat reprezintă o descriere tridimensională detaliată a infrastructurii rutiere și a elementelor existente în zona analizată, așa cum poate fi observat în figura numărul 2. Acesta constituie baza pentru extragerea informațiilor necesare administrării infrastructurii, precum geometria carosabilului, elemente de siguranță rutieră, indicatoare și alte obiecte de interes.

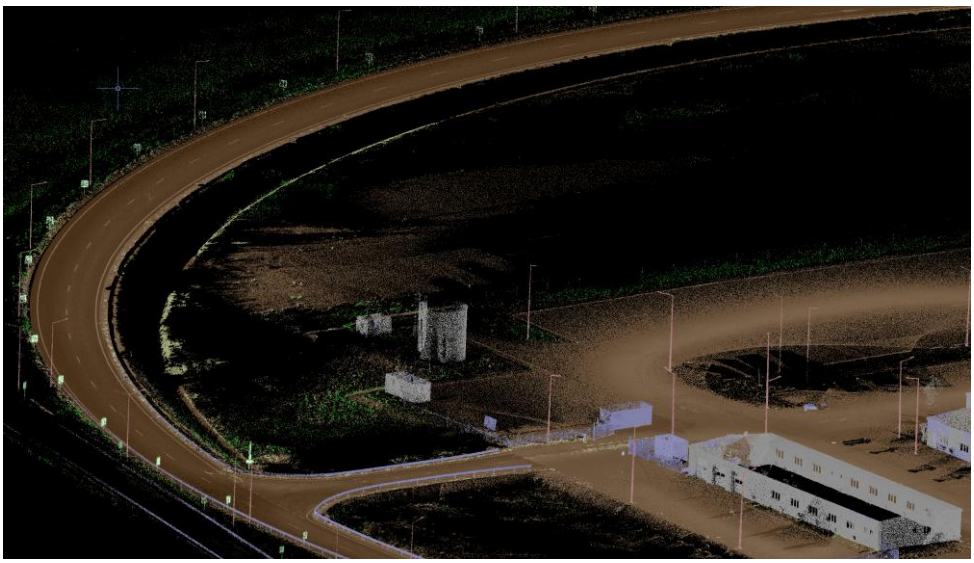
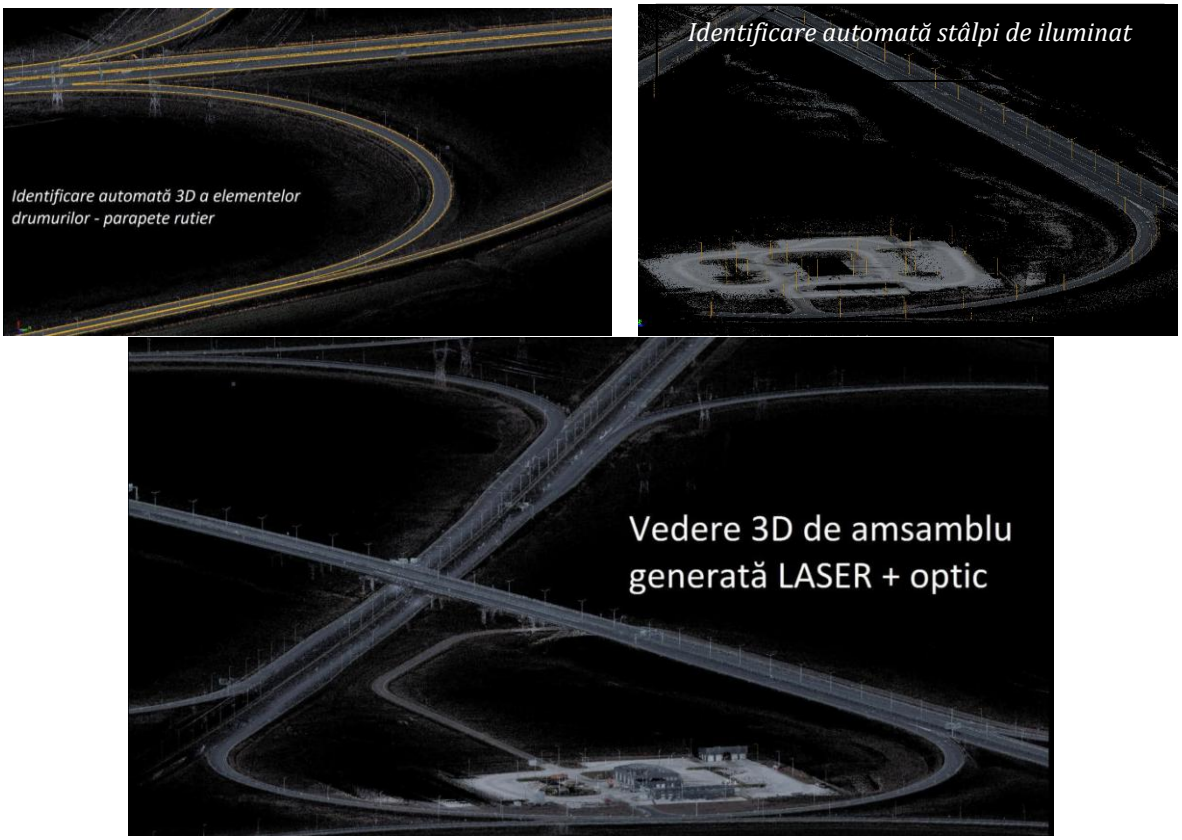


Figura 2: Eșantion de informații tridimensionale cu precizie centimetrică
Sursa: Date laser tridimensionale colectate cu echipament pus la dispoziția CESTRIN

Pe baza norului de puncte procesat s-au clasificat automat și extras diverse elemente aparținând infrastructurii rutiere care au fost transferate către baze de date cartografice integrate. Suplimentar, din modelul rezultat se oferă o reprezentare digitală a suprafeței analizate și poate fi utilizat pentru efectuarea măsurătorilor, analizelor spațiale și actualizarea bazelor de date necesare administrării infrastructurii rutiere.
Calitatea datelor rezultate poate fi influențată de o serie de factori care generează erori în procesul de achiziție și procesare. Printre aceștia se numără pierderea temporară a semnalului de poziționare, condițiile atmosferice nefavorabile, viteza de deplasare a vehiculului, existența obstacolelor care limitează vizibilitatea senzorilor și erorile asociate procesului de compensare a traiectoriei.
De asemenea, densitatea neuniformă a punctelor și prezența obiectelor aflate în mișcare pot afecta precizia modelului tridimensional. Identificarea și corectarea acestor erori reprezintă o etapă importantă pentru asigurarea calității produselor finale și pentru utilizarea acestora în procesele de administrare a infrastructurii rutiere.

4. REZULTATELE CERCETĂRII

Folosind instrumente software de specialitate s-au putut clasifica, filtra și extrage cu ușurință elemente componente ale infrastructurii rutiere, cum ar fi stâlpii de iluminat, parapetele rutier și a fost realizată și o aplicație web accesibilă publicului la adresa https://arcg.is/qGOG80 pentru a putea evidenția capacitățile interactive de măsurare tridimensională, pe baza informațiilor tridimensionale obținute ca urmare a scanării laser de precizie.
În figurile 3, 4 și 5 se poate observa vederea de ansamblu a evidențierii particulare a elementelor, plus o perspectivă tridimensională a întregului obiectiv, colorată pe baza imaginilor panoramice înregistrate de senzorii optici ai echipamentului



Figurile 3 – 5: Evidențiere automată parapete rutier, stâlpi de iluminat și perspectivă de ansamblu tridimensională asupra nodului rutier
Sursa: Date laser tridimensionale colectate cu echipament pus la dispoziția CESTRIN

Ulterior identificării automate a elementelor geometrice au fost generate geometrii vectoriale care au fost transpuse în format geospațial, folosind tipul și formatul de fișiere standard acceptate și care prin proceduri semi-automate pot deveni fluxuri de date pentru actualizarea altor proiecte mai ample cum este ,,Implementarea Bazei de Date Tehnice Rutiere". În figura numărul 6 pot fi observate toate elementele geometrice de tip punct generate pornind de la proiecția la sol a grupurilor de puncte determinate laser care au fost clasificate automat în categoria stâlpi de iluminat preluate în bază de date cartografică tridimensională.

Figura 6: Exemplu de identificare automată și transfer către baze de date cartografice tridimensionale a elementelor de tip punct

În cele din urmă, menținând o importanță extrem de ridicată asupra întregului proces de automatizare a fluxului de date util pentru administrarea rețelei rutiere, s-a reușit generarea de profile transversale plecând de la un plan vertical de secvențiere a norului de puncte în care sunt stabilite punctele de inflexiune care trebuie urmate între două planuri verticale cu echidistanță definită. Folosind acest tip de generare geometrică bazată pe nor de puncte cu proprietăți similare s-a reușit poziționarea semiautomată pe hartă a parapetului rutier, dar și a marginii suprafeței stratului de uzură sau evidențierea facilă a rigolei de scurgere a apelor pluviale. În figura 7 se poate observa secvența de generare a profilului transversal și rezultatul format din polilinii tridimensionale compatibile pentru a fi incluse într-un sistem informațional geografic (GIS).

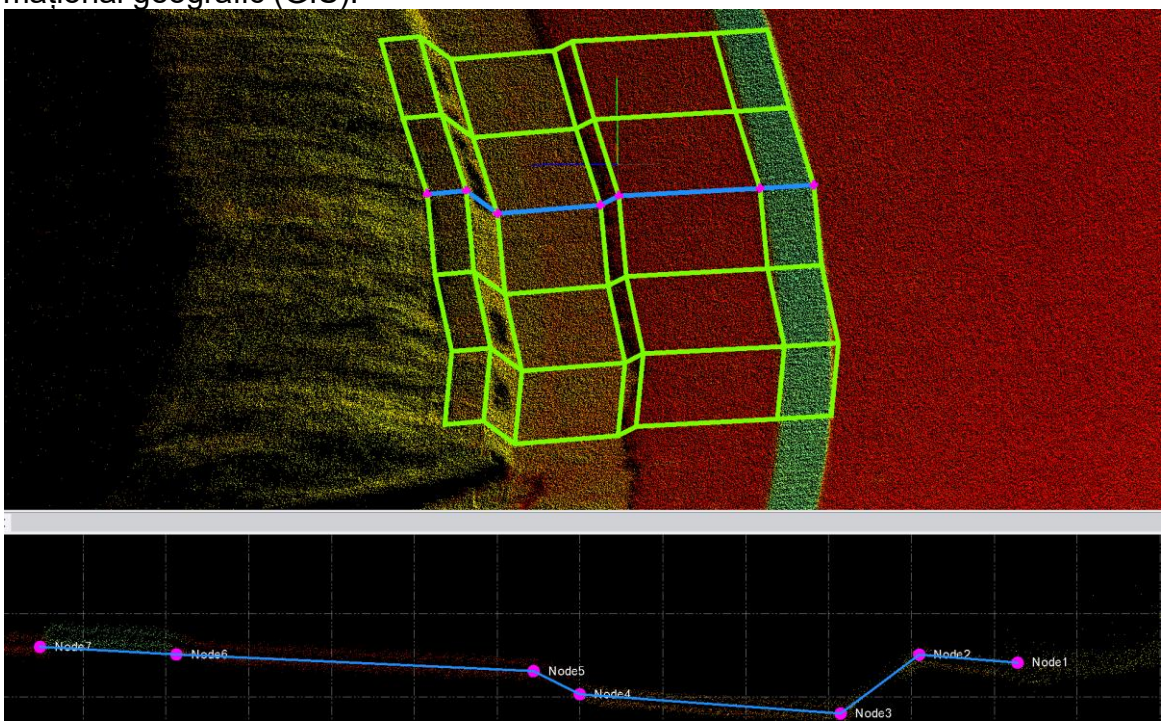


Figura 7: Exemplu marcare a punctelor de inflexiune în profil transversal și generare automată a profilelor la o distanță definită

5. CONCLUZII

Cercetarea de față a demonstrat viabilitatea, precizia și eficiența implementării fluxurilor de lucru automatizate bazate pe scanarea tridimensională mobilă (LiDAR) pentru administrarea modernă a infrastructurii rutiere din România. Prin intermediul metodologiei propuse și testate în cadrul nodurilor rutiere strategice ale Autostrăzii A0 (intersecțiile A0–DN1–DN2 și A0–A3), s-a validat un model complet de bune practici care acoperă integral etapele de planificare, colectare dinamică, compensare de traiectorie și procesare avansată a datelor spațiale raw. Rezultatele obținute confirmă faptul că tehnologia Mobile Laser Scanning asigură o precizie centimetrică tridimensională indispensabilă rigorilor tehnice actuale.

Unul dintre cele mai importante succese ale acestei lucrări îl reprezintă capacitatea de clasificare și extracție automată a elementelor critice de infrastructură. Identificarea semiautomată a stâlpilor de iluminat, a parapetelor rutiere, precum și delimitarea precisă a marginilor stratului de uzură și a rigolelor de scurgere a apelor pluviale dovedesc trecerea de la metodele clasice, consumatoare de timp și expuse erorilor umane, la procese digitale inteligente. Generarea automată a profilelor longitudinale și transversale la distanțe (echidistanțe) predefinite reprezintă un salt calitativ major pentru ingineria rutieră, oferind modele matematice fidele ale realității din teren direct sub formă de polilinii 3D nativ compatibile cu sistemele informaționale geografice (GIS).

Din punct de vedere practic și instituțional, aplicabilitatea directă a acestor fluxuri de date susține nemijlocit proiectul național de „Implementare a Bazei de Date Tehnice Rutiere”. Această abordare oferă Companiei Naționale de Administrare a Infrastructurii Rutiere (CNAIR) un instrument de lucru independent, imparțial și extrem de rapid pentru actualizarea inventarului patrimonial. Datele centralizate nu doar că optimizează managementul activelor, dar servesc și ca fundament standardizat internațional pentru modelări complexe, cum ar fi hărțile strategice de zgomot și analiza poluării fonice din zonele rezidențiale periurbane.

Mai mult, dezvoltarea și publicarea aplicației web interactive de măsurare 3D demonstrează că datele geospațiale de înaltă rezoluție pot fi democratizate și puse la dispoziția specialiștilor într-un format vizual accesibil, eliminând barierele software-urilor comerciale rigide. În ciuda provocărilor operaționale identificate, cum sunt pierderile temporare de semnal GNSS sau densitățile neuniforme cauzate de elemente în mișcare, calitatea produsului cartografic final rămâne net superioară metodelor convenționale. În concluzie, adoptarea pe scară largă a scanării laser mobile reprezintă pilonul fundamental al transformării digitale în administrarea drumurilor naționale și autostrăzilor, garantând siguranță, eficiență economică și sustenabilitate pe întregul ciclu de viață al infrastructurii.

REFERINȚE

[1] Ministerul Dezvoltării, Lucrărilor Publice și Administrației. Ghid privind utilizarea instrumentelor BIM în generarea și gestionarea datelor digitale aferente construcțiilor (RTC 9 – 2022). București; 2022. p. 17, 19.

[2] Williams Q, Johnson T, Davis R. Efficiency of Mobile Laser Scanning Technologies on High-Density Urban Transportation Corridors. Journal of Transportation Engineering. 2024;150(4):04024012.

[3] Martinez-Sanchez J, Arias P, Cabo C. Point cloud infrastructure asset management: Automated road roughness and pavement distress evaluation. Automation in Construction. 2023;145:104630.

[4] Zhang L, Li J, Shen M, et al. Automated extraction of road guardrails and light poles from mobile LiDAR point clouds. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2022;188:132-147.

[5] Chen Y, Wang M, Tang J. Centimeter-level trajectory correction and digital terrain modeling for complex highway interchanges using MLS. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2025;26(2):1845-1857.
[6] Smith A, Brown B. Unified geospatial databases for national transport authorities: A strategic decision-making framework. International Journal of Geographical Information Science. 2023;37(8):1721-1743.
[7] Liu Y, Seo J, Cho Y. Automated cross-sectional profiling of highway embankments using mobile laser scanning data. Advanced Engineering Informatics. 2025;63:102604.