UTILIZAREA BIM ÎN EFICIENTIZAREA ACTIVITĂȚILOR DE ADMINISTRARE ȘI DEZVOLTARE A INFRASTRUCTURII RUTIERE
STUDIU DE CAZ: IMPLEMENTAREA REALITĂȚII VIRTUALE TRIDIMENSIONALE

Ing. Mihai Tentiș[1]
Ing. Teodor Gabriel Brașov[1]
Geogr. Anca Rădulescu[1]

CESTRIN S.A., prin intermediul Direcției Inginerie și Studii de Teren continuă adaptarea permanentă a fluxurilor de lucru și analiză pentru a urmări constant pregătirea activă pentru trecerea completă la noile standarde în domeniul transporturilor rutiere, atât din perspectiva proiectării, cât și din perspectiva construirii, exploatării și întreținerii infrastructurii rutiere de importanță națională. Într-un context general dominat de transformarea digitală care poate fi considerată fără mari eforturi și justificări ca fiind cel puțin cvadridimensională prin introducerea celei de-a patra dimensiuni din perspectiva referinței temporale a seturilor de date, standardizarea bazelor de date într-un format internațional acceptat devine elementul firesc care va domina evoluția următorilor ani. Astfel, la nivelul CESTRIN S.A. se fac constant pași concreți în ceea ce privește dotarea tehnică, asigurarea capacităților software, a mediului de lucru și a instruirii adecvate încă dinainte de anul 2020, având în vedere dezvoltarea permanentă a capacității de a gestiona o singură bază de date unitară care să gestioneze concomitent parametri dimensionali ai seturilor de date, cât și caracterul temporal al acestora, indiferent de specificul activității fiecărei echipe de specialiști. Plecând de la principiul simplu al interoperabilității, s-au dezvoltat și definitivat fluxuri de lucru clare pentru implementarea utilizării realității virtuale tridimensionale ca tehnologie de vârf, atât în etapa de proiectare, cât și în cea de urmărire a execuției sau analizării elementelor construite post execuție. Pentru a putea valida corespunzător fluxurile de lucru necesare operaționalizării tehnologiei folosite pentru utilizarea realității virtuale tridimensionale, s-a pornit de la seturi de date standardizate în formate larg utilizate la nivelul întregului domeniu ocupațional, preponderent de tip CAD, care prin ajustări specifice au fost transpuse în format geospațial tridimensional integrat ulterior într-un mediu de lucru de tip cloud și acces concomitent multi-utilizator.

CESTRIN S.A., through the Engineering and Field Studies Directorate, continues to constantly adapt its workflows and analysis to actively prepare for the complete transition to new standards in the road transport sector. This applies both from a design perspective and from the standpoint of constructing, operating, and maintaining road infrastructure of national importance. In a general context dominated by digital transformation - which can easily be considered four-dimensional due to the introduction of the fourth dimension via the temporal reference of data sets—the standardization of databases into an internationally accepted format becomes the natural element that will dominate evolution in the coming years. Accordingly, CESTRIN S.A. has been consistently taking concrete steps regarding technical equipment, software capabilities, working environments, and adequate training since before 2020. This is aimed at continuously developing the capacity to manage a single, unified database capable of simultaneously handling both the dimensional parameters of data sets and their temporal character, regardless of the specific field of activity of each specialist team. Based on the simple principle of interoperability, clear workflows have been developed and finalized to implement the use of three-dimensional virtual reality as a cutting-edge technology. This is applied in the design phase, during construction monitoring, and for analysing post-execution-built elements. To properly validate the workflows required to operationalize this 3D virtual reality technology, the process started with standardized data sets in formats widely used across the entire occupational field—predominantly CAD type.

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

Through specific adjustments, these were translated into a three-dimensional geospatial format and subsequently integrated into a multi-user, simultaneous-access cloud working environment.

CUVINTE CHEIE: GIS, BIM, STANDARDIZARE, TRIDIMENSIONAL, INTEROPERABILITATE

1. INTRODUCERE ȘI CONTEXT INTERNAȚIONAL

Conform standardelor internaționale de referință, în special seria ISO 19650, și literaturii academice de specialitate, BIM (Building Information Modeling) are o definiție tripartită, fiind analizat ca un proces, ca un produs și ca un sistem de management al informației [1]. Definiția oficială stipulează că BIM reprezintă utilizarea unei reprezentări digitale partajate a unui activ construit (clădire, drum, pod sau rețea de utilități), cu scopul de a facilita procesele de proiectare, execuție și exploatare, formând o bază de încredere pentru luarea deciziilor pe parcursul întregului său ciclu de viață [1,2].
Pentru a înțelege complexitatea sa structurală, conceptul este integrat pe trei dimensiuni operaționale:

1. Procesul (Modeling): Ansamblul de metode, fluxuri de lucru și politici prin care echipe multidisciplinare generează și schimbă date în mod colaborativ [3].
2. Produsul (Model): Livrabilul fizic reprezentat de modelul digital tridimensional interconectat cu baze de date, care conține atât geometria obiectelor, cât și atribute alfa-numerice (materiale, costuri, fișe tehnice) [2].
3. Gestiunea Informației (Information Management): Funcția critică care asigură o „sursă unică de adevăr” (Single Source of Truth) printr-un Mediu Comun de Date (CDE), permițând evoluția informației de la faza de idee până la post-utilizare [4].

Arhitectura modernă a BIM se extinde dincolo de geometria spațială 3D, fiind structurată pe dimensiuni standardizate de date: planificarea temporală a lucrărilor sau dimensiunea 4D, estimările bugetare și extrasele de cantități automate în dimensiunea 5D, analiza sustenabilității în 6D, și managementul activului pe termen lung (Facility Management) în dimensiunea 7D [5]. Prin urmare, BIM nu reprezintă un simplu software comercial, ci o metodologie de lucru digitală care înlocuiește livrabilele clasice cu un prototip digital inteligent [6].
La nivel mondial, Modelarea Informației Clădirii (BIM) nu mai este percepută doar ca o simplă tehnologie de modelare parametrică, ci ca o paradigmă colaborativă integrată, definită prin procese, tehnologii și politici destinate să gestioneze informațiile digitale pe întreg ciclul de viață al unui activ [3]. Această metodologie se bazează pe standarde deschise de date care asigură interoperabilitatea între diferite platforme software, transformând fluxurile tradiționale de lucru în ecosisteme informaționale unitare [7]. Deși inițial a fost dezvoltată pentru sectorul construcțiilor civile verticale, complexitatea rețelelor moderne de transport a impus extinderea acestui concept către infrastructura liniară (Horizontal BIM).
În acest context, Asociația Mondială a Drumurilor (PIARC) a preluat un rol de pionierat în adaptarea și standardizarea BIM pentru infrastructura rutieră mondială. PIARC subliniază că implementarea BIM în domeniul drumurilor necesită o aliniere structurală între gestionarea activelor rutiere (Asset Management) și seturile de date geometrice și temporale [8]. Adaptarea PIARC pune un accent deosebit pe integrarea dimensiunilor 4D (timpul) și 5D (costurile) pentru a simula execuția lucrărilor, optimizarea fluxurilor de trafic și reducerea amprentei de carbon încă din faza de proiectare [9]. Prin ghidurile și rapoartele sale tehnice recente, PIARC promovează utilizarea standardelor deschise (precum IFC pentru infrastructură) ca pilon central pentru digitalizarea ciclului de viață al drumurilor,

facilitând tranziția către managementul predictiv bazat pe modele digitale interconectate [10].

2. CONTEXT NAȚIONAL

Tranziția industriei de construcții din România către tehnologiile digitale a urmat o traiectorie strâns legată de dinamica economică post-decembristă. În anii 1990 și începutul anilor 2000, piața autohtonă a trecut prin faza de înlocuire a proiectării clasice de pe planșetă cu sistemele asistate de calculator bidimensionale (2D CAD) [11]. Deși această primă digitalizare a sporit viteza de editare a desenelor tehnice, ea nu a rezolvat problema fragmentării informaționale dintre specialități (arhitectură, structură, instalații). Erorile de coordonare din șantiere, neconcordanțele dintre liste de cantități și planșe, precum și lipsa de interoperabilitate au rămas cauze structurale majore pentru depășirile masive de bugete și termene în proiectele publice naționale din acea epocă [11,12].

Primele contacte ale specialiștilor români cu concepte tridimensionale parametrice au avut loc la mijlocul anilor 2000, în special în mediul privat, prin intermediul marilor birouri de arhitectură și inginerie care colaborau cu investitori străini [13]. Cu toate acestea, software-urile capabile de modelare inteligentă erau utilizate izolat, doar ca instrumente avansate de vizualizare 3D sau geometrie volumetrică, fără a implementa esența metodologiei BIM: managementul integrat al datelor non-grafice pe întreg ciclul de viață al construcției [13,14].

Un moment de cotitură la nivel legislativ l-a reprezentat adoptarea la nivelul Uniunii Europene a Directivei 2014/24/UE privind achizițiile publice [15]. Acest document a introdus recomandarea explicită ca statele membre să folosească instrumente electronice specifice de modelare a datelor (BIM) pentru contractele publice de lucrări. Pentru România, transpunerea acestor principii în legislația națională a achizițiilor publice (Legea nr. 98/2016) a marcat debutul eforturilor oficiale de aliniere la bunele practici comunitare [15,16].

În această perioadă, conștientizarea importanței BIM a fost susținută puternic de apariția unor asociații profesionale nonguvernamentale și grupuri de inițiativă (precum *BIMtech* sau filiala locală *buildingSMART România* în curs de cristalizare) [17]. Aceste organizații, formate din tineri specialiști, cadre universitare și dezvoltatori software, au început primele campanii ample de educare a pieței, traducerea ghidurilor internaționale și organizarea de conferințe tehnice. Cu toate acestea, în lipsa unui mandat guvernamental ferm, utilizarea BIM a rămas asimetrică: intensă în sectorul clădirilor de birouri de clasă A din marile centre urbane (București, Cluj-Napoca, Timișoara) și aproape inexistentă în proiectele de infrastructură publică majoră [17].

Accelerarea administrativă decisivă s-a produs în ultimii ani, determinată de condiționalitățile economice europene și de accesarea fondurilor prin Planul Național de Redresare și Reziliență (PNRR). Pentru a evita riscul de pierdere a fondurilor destinate marilor proiecte de infrastructură, statul român a trebuit să își asume digitalizarea structurală a sectorului [12,18].

Pilonul central al acestei reforme a fost redactarea și aprobarea Strategiei Naționale pentru Implementarea BIM în Achizițiile Publice de către Ministerul Dezvoltării, Lucrărilor Publice și Administrației [18]. Acest document programatic trasează o foaie de parcurs (roadmap) clară pentru introducerea graduală a obligativității modelării digitale. Primele faze vizează proiectele majore de infrastructură de transport (autostrăzi, magistrale feroviare) și spitalele regionale de urgență, urmând ca metodologia să fie extinsă progresiv către toate categoriile de lucrări publice [14,18].

Din punct de vedere tehnic și normativ, eforturile s-au concentrat pe crearea unui limbaj comun de proiectare. Prin Asociația de Standardizare din România (ASRO), s-a realizat adoptarea integrală ca standarde naționale a seriei internaționale de referință SR EN ISO 19650 [19]. Standardul definește cerințele stricte pentru managementul informațiilor,

impunând instituțiilor publice și companiilor din România utilizarea unor instrumente fundamentale:

- CDE (Common Data Environment): Mediul Comun de Date pentru stocarea și partajarea securizată a informațiilor;
- EIR (Exchange Information Requirements): Cerințele clare ale beneficiarului cu privire la datele pe care dorește să le primească;
- BEP (BIM Execution Plan): Planul prin care ofertantul/constructorul demonstrează cum va îndeplini aceste cerințe [12,19].

În ciuda progresului legislativ considerabil, piața din România se confruntă cu un decalaj operațional major între actorii privați și cei publici. Studiile academice de profil evidențiază o serie de bariere persistente în implementare:

- Asimetria tehnică: În timp ce marile companii de proiectare și antreprenorii generali multinaționali dețin fluxuri avansate în dimensiunile superioare (4D - timp, 5D - costuri), majoritatea autorităților contractante de stat nu dispun de personal calificat capabil să auditeze sau să recepționeze modelele digitale în formate deschise (precum IFC) [11,20].
- Costurile de tranziție: Schimbarea paradigmei implică investiții semnificative în licențierea software-urilor profesionale, upgrade-ul stațiilor hardware și programe continue de reconversie profesională a inginerilor formați în era CAD, generând o rezistență culturală la schimbare [17,20].

Cu toate acestea, implicarea unor instituții tehnice de referință (cum este CESTRIN S.A. în domeniul rutier) și a universităților de profil (Universitatea Tehnică de Construcții București, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, alături de centrele din Iași și Timișoara) încearcă să creeze o bază solidă pentru viitor [13,18]. Aceste entități colaborează activ pentru implementarea treptată a principiilor directoare care guvernează utilizarea activă a BIM și adaptarea ghidurilor specifice elaborate de Ministerul Dezvoltării, Lucrărilor Publice și Administrației pentru infrastructura rutieră din România cu menținerea standardelor internaționale, transformând astfel digitizarea dintr-o obligație birocratică într-un puternic vector de eficiență economică [16, 18].

3. METODOLOGIE

Integrarea realității virtuale tridimensionale (3D VR) în metodologia Horizontal BIM reprezintă un salt tehnologic major pentru sectorul infrastructurii rutiere, transformând bazele de date geospațiale și modelele liniare în medii imersive și interactive. Această sinergie optimizează radical modul în care autostrăzile, lucrările de artă și structurile rutiere complexe sunt proiectate, executate și gestionate.

Infrastructura rutieră modernă implică o intersecție densă de specialități: structuri (poduri, viaducte, pasaje), hidrotehnică (șanțuri, rigole, bazine de retenție), rețele de utilități (gaze, electricitate, telecomunicații) și enumerarea poate continua. Într-un mediu VR de tip cloud cu acces concomitent multi-utilizator, echipele de proiectare și reprezentanții CESTRIN S.A. pot analiza împreună intersecțiile spațiale (*clash detection*). Spre exemplu, prin vizualizarea imersivă a zonelor de conflict dintre pilonii unui viaduct și rețelele subterane, conștientizarea superioară asupra amplasării unor locuri de parcare sau înțelegerea superioară a spațiului disponibil pe un trotuar proiectat se permite rezolvarea instantanee a problemelor de coordonare într-un mediu colaborativ unificat între toți factorii implicați. În particular, metodologia studiată și adoptată la nivelul CESTRIN S.A stabilește că întregul flux de lucru intern pentru partea de birou se bazează pe 3 categorii de activități premergătoare analizei tridimensionale din șantier după cum urmează:

a. Pregătirea proiectului în mediul CAD:
- verificarea elementelor geometrice din CAD pentru a fi siguri că acestea sunt proiectate la scara reală într-un sistem de coordonate nativ (în cazul de față Stereo70);
- curățarea desenului de text 2D inutil, hașuri, linii de ghidaj secundare etc;
- salvarea proiectului adaptat sub forma unui nou fișier de tip .dwg sau .dxf.

b. Crearea proiectului și texturarea geometriilor în Trimble SketchUp:
- importarea fișierului .dwg sau .dxf cu menținerea aceleași unități de măsură;
- mutarea întregului model aproape de originea coordonatelor din Trimble SketchUp cu notarea precisă a vectorului de deplasare pentru georeferențiere ulterioară;
- asocierea de elevație și modelarea suprafețelor create pe baza elementelor geometrice din CAD, în vederea obținerii unei reprezentări tridimensionale conforme cu realitatea din teren;
- aplicarea unor texturi realiste pentru asfalt, marcaje rutiere, elemente geometrice etc;
- utilizarea extensiei Trimble SiteVision AR Exporter pentru salvarea modelului creat direct în format .trmb salvând astfel și fișierul de calibrare a poziției.

c. Încărcarea și sincronizarea modelului tridimensional obținut la punctul b. în mediul cloud de gestionare și distribuire a informației către dispozitivele din teren.

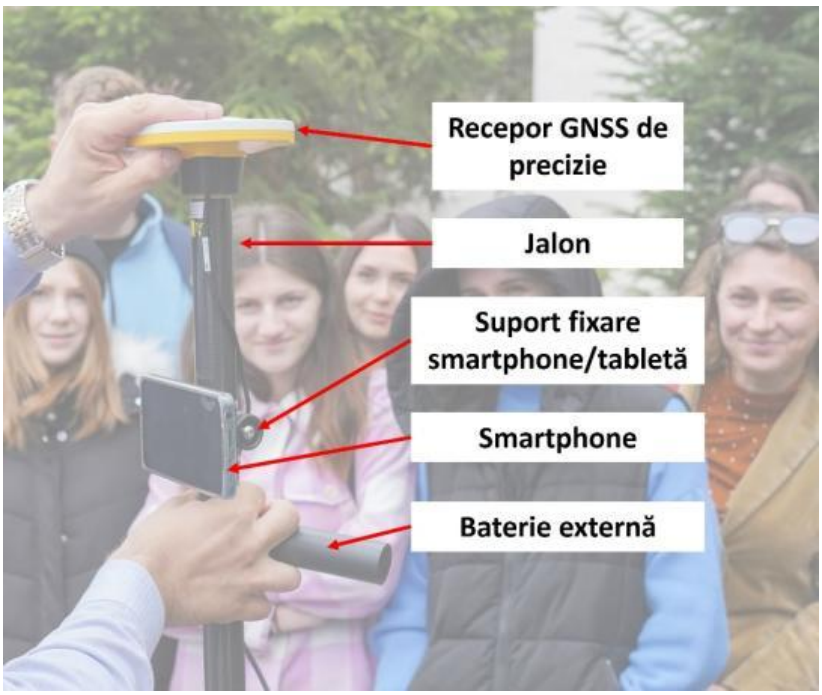


Figura 1: Părți componente ale platformei de vizualizare tridimensională a realității virtuale

Pe teren/șantier au fost realizate o serie de activități specifice, în ordinea cronologică prezentată în continuare după cum urmează:
- Setarea antenei GNSS, conectarea acesteia prin Bluetooth® la dispozitivul de vizualizare și obținerea corecțiilor în mod RTK sau Trimble RTX (corecții directe satelitare).
- Încărcarea proiectului direct din mediul cloud care se poate actualiza în timp real bazat pe operativitatea specialiștilor de la birou
- Orientarea și alinierea modelului tridimensional fie prin determinări dinamice de coordonate direct pe puncte comune între model și realitatea înconjurătoare sau prin poziționare și aliniere automată dacă întregul proiect are un fișier viabil de coordonate asociat.

În cadrul imaginii numărul 1 se pot observa elementele componente ale configurației hardware pentru partea de șantier deținută de CESTRIN S.A.

Ulterior acestor pași ai etapelor de birou și de teren s-a trecut la vizualizarea modelului tridimensional suprapus cu un nivel foarte ridicat al preciziei peste realitatea înconjurătoare cu consultarea atributelor asociate fiecărei geometrii tridimensionale și cu posibilitatea de a realiza fotografii georeferențiate sau a determina coordonate geografice suplimentare față de modelul tridimensional încărcat.

4. REZULTATELE CERCETĂRII

Prin parcurgerea tuturor etapelor descrise în partea metodologică s-a reușit pregătirea și stabilizarea fluxurilor de lucru și de informații pentru integrarea realității virtuale tridimensionale în capacitățile curente de analiză ale CESTRIN S.A., fie că vorbim despre dezvoltarea ulterioară a bazelor de date cu elemente preluate din componenta ITS, a studierii noilor proiecte înainte de începerea execuției sau a celor aflate în derulare. Concret, folosind această tehnologie în colaborare cu parteneri instituționali sau contractuali se vor putea face analize de precizie, cu un nivel net superior de înțelegere al contextului determinat de mediul înconjurător și o capacitate mai mare de a gestiona fluxurile de informații cu impact asupra principalelor trei direcții procedurale stabilite:

- studierea și implementarea unor elemente proiectate în toate fazele ale proiectului;
- simulare poziționare proporțională a obiectelor;
- identificare facilă a elementelor inaccesibile direct, fără alte pagube materiale.

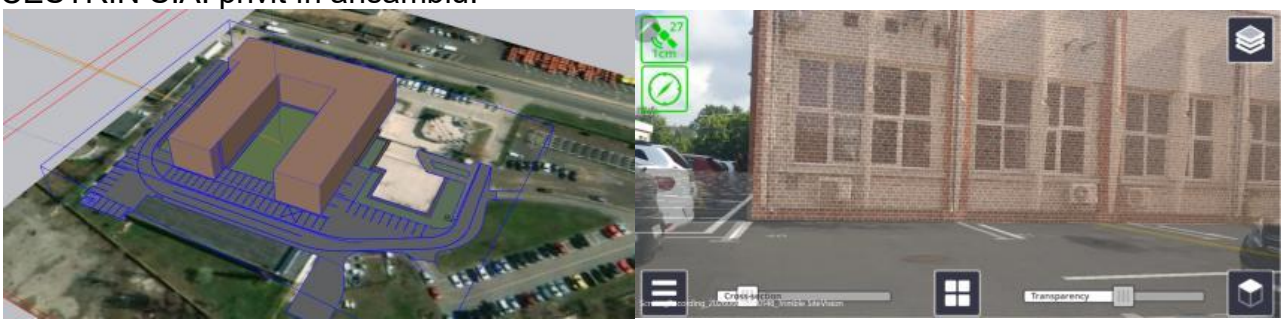
În imaginea numărul 2 se pot observa inclusiv elemente adiacente suprafeței asfaltate pentru obiectivul de investiții studiat. Se observă cum datorită poziționării de precizie toate elementele simulate sunt amplasate pe reperii reali din teren, păstrând proporționalitatea obiectelor.

Figura 2: Afișarea realității virtuale tridimensionale peste cadrul natural existent

Pentru a demonstra scalabilitatea verticală a modelelor tridimensionale și versatilitatea informațională a acestora s-au inclus și obiecte cu înălțime ridicată cum ar fi o nouă fațadă a clădirii, așa cum se poate observa în figura numărul 3, dar și atribute asociate fiecărui model digital în parte, așa cum se poate observa în figura numărul 4.

Figurile 3,4: Evidențierea scalabilității verticale a modelelor tridimensionale și asocierea de atribute direct în model

Suplimentar, prin constituirea unui model tridimensional cu straturi de informații din cât mai multe specializări, se reușește obținerea unei imagini de ansamblu complete asupra întregului obiectiv, perspectivă accesibilă centralizat pentru întreaga resursă umană implicată în derularea obiectivului de investiții. În figurile numărul 5 și 6 se poate vedea o exemplificare a unui obiectiv de investiții modelat de personal de specialitate din cadrul CESTRIN S.A. privit în ansamblu.



Figurile 5, 6: Exemplu de perspective tridimensionale asupra unui obiectiv de investiții cu date centralizate din multiple surse și domenii distincte

5. CONCLUZII

Cercetarea de față a evidențiat faptul că integrarea metodologiei *Horizontal BIM* în procesele de administrare, proiectare, execuție și întreținere a infrastructurii rutiere naționale nu mai reprezintă doar o opțiune tehnologică de avangardă, ci o necesitate fundamentală și un element firesc care va domina evoluția următorilor ani. Într-un context general guvernat de o transformare digitală profundă, caracterizată ca fiind mai mult decât cvadridimensională prin fuziunea parametrilor spațiali cu referința temporală a seturilor de date, standardizarea bazelor de date într-un format internațional acceptat devine pilonul central al modernizării rețelei rutiere de importanță națională.

Prin studiul de caz implementat, CESTRIN S.A., prin intermediul Direcției Inginerie și Studii de Teren, a demonstrat aplicabilitatea practică și viabilitatea operațională a adaptării permanente a fluxurilor de lucru în conformitate cu noile exigențe europene și naționale. Pașii concreți făcuți de instituție încă dinainte de anul 2020 – axați pe dotare tehnică avansată, asigurarea capacităților software dedicate, optimizarea mediului de lucru și instruirea continuă a specialiștilor – au permis dezvoltarea unei capacități instituționale unice

de a gestiona o singură bază de date unitară. Această bază de date este capabilă să înglobeze simultan atât atributele dimensionale geometrice, cât și caracterul temporal (4D) al seturilor de date, indiferent de specificul sau de nișa de activitate a echipelor de specialiști implicate în proces.

Analiza detaliată a fluxului tehnologic utilizat pentru implementarea realității virtuale tridimensionale (3D VR) a relevat importanța critică a interoperabilității și a standardizării. Trecerea de la seturile de date tradiționale de tip CAD la formate geospațiale tridimensionale complexe, optimizate în medii de modelare precum Trimble SketchUp și exportate în formate native structurate (ex. .trmb), reprezintă o metodologie validată cu succes în cadrul acestei cercetări. Integrarea ulterioară a acestor modele într-un mediu de lucru de tip cloud, cu acces concomitent multi-utilizator, rezolvă una dintre cele mai vechi probleme ale sectorului național de construcții: fragmentarea informațională și lipsa de comunicare în timp real între specialiștii de la birou și echipele operative din teren.

Din perspectivă operativă, testarea pe șantier a platformei hardware și software – compusă dintr-un receptor GNSS de precizie centimetrică montat pe jalon, conectat prin Bluetooth® la un smartphone/tabletă și asistat de baterii externe pentru autonomie extinsă – va consolida caracteristica unei fiabilități și utilități excepționale. Obținerea corecțiilor în mod RTK sau prin sisteme satelitare directe (Trimble RTX) asigură o aliniere medie centimetrică care poate deveni și milimetrică (în anumite condiții meteorologice și metrologice) a modelelor virtuale peste cadrul natural existent, confirmând că tehnologia poate fi utilizată cu rigurozitate geodezică în proiecte rutiere și verificări structurale complexe.

Pe baza rezultatelor obținute, importanța și impactul utilizării realității virtuale tridimensionale în administrarea drumurilor pot fi sintetizate prin intermediul a trei direcții strategice majore, cu beneficii directe asupra eficienței economice:

1. Studierea și implementarea elementelor proiectate în toate fazele obiectivului: Tehnologia permite o înțelegere vizuală profundă și o validare dinamică a traseelor geometrice și a nodurilor rutiere înainte sau în timpul execuției. Acest lucru facilitează detectarea timpurie a erorilor spațiale (*clash detection*) între structurile rutiere (poduri, viaducte) și rețelele de utilități subterane sau aeriene, permițând rezolvarea instantanee a conflictelor într-un mediu colaborativ unificat.
2. Simularea și poziționarea proporțională a obiectelor în raport cu mediul înconjurător: Vizualizarea imersivă (exemplificată prin inserția elementelor adiacente suprafeței asfaltate și a vehiculelor la scară reală) oferă o capacitate net superioară de evaluare a contextului spațial. Aceasta sprijină deciziile legate de siguranța rutieră, cum ar fi validarea distanțelor de vizibilitate, amplasarea elementelor ITS sau organizarea fluxurilor de trafic temporar pe perioada șantierului.
3. Identificarea facilă a elementelor inaccesibile direct, fără pagube materiale: Utilizarea modelelor digitale în faza de exploatare și întreținere oferă echipelor de management al activelor (Asset Management) posibilitatea de a inspecta substructuri, rețele îngropate sau zone cu risc ridicat direct din birou sau prin proiecție AR sigură pe șantier, reducând costurile logistice și eliminând intervențiile distructive de explorare.

În concluzie, implementarea ghidurilor naționale și a standardelor din seria SR EN ISO 19650, dublată de tehnologii imersive precum realitatea virtuală 3D, transformă digitalizarea dintr-o simplă obligație birocratică impusă de mecanismele de finanțare (cum este PNRR) într-un instrument indispensabil de eficiență economică și transparență. CESTRIN S.A. își consolidează astfel rolul de pionierat la nivel național, stabilind un model de bune practici în alinierea infrastructurii rutiere din România la standardele internaționale promovate de Asociația Mondială a Drumurilor (PIARC), deschizând calea către un management predictiv și sustenabil al rețelei de transport de importanță națională.

REFERINȚE

[1] International Organization for Standardization. ISO 19650-1:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) -- Information management using building information modelling -- Part 1: Concepts and principles. Geneva: ISO; 2018.

[2] Borrmann A, Beetz J, Koch C, Liebich T, editors. *Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice*. Cham: Springer; 2018.

[3] Succar J. Building Information Modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*. 2009;18(3):357-375.

[4] Hagedorn P, et al. BIM-Enabled Infrastructure Asset Management Using Information Containers and Semantic Web. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2023;37(1):04022045.

[5] Hardin B, McCool D. *BIM and construction management: proven tools, methods, and workflows*. 2nd ed. Indianapolis (IN): John Wiley & Sons; 2015.

[6] Bryde D, Broquetas M, Volm JM. The project benefits of Building Information Modelling (BIM). *International Journal of Project Management*. 2013;31(7):971-980.

[7] Eastman C, Teicholz P, Sacks R, Liston K. *BIM Handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. 3rd ed. Hoboken (NJ): John Wiley & Sons; 2018.

[8] World Road Association (PIARC). *Technical Report: Digitalization and Asset Management Frameworks for Road Infrastructure*. Paris: PIARC Technical Committees; 2023.

[9] Nováček J, Kohout T, Vrtal P, Svatý Z, Kocián K. Application of RSA Principles to Improve the BIM in the Road Design Process. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2022;XLVI-5/W1:159-164.

[10] Huang Y, Gao J, Wang L, Zhu J, Li W. A Framework of Life-Cycle Infrastructure Digitalization for Highway Asset Management. *Sustainability*. 2025;17(3):907.

[11] Di Giuda GM, Villa V, Piantanida P. BIM implementation and digital transition in the Romanian construction industry: Challenges and perspectives. Sustainability. 2021;13(14):7642.

[12] Popa M, Măneanu A, Călin G. Analiza gradului de adopție a tehnologiilor digitale în managementul proiectelor de infrastructură din România. Revista Română de Inginerie Civilă. 2024;15(2):112-125.

[13] Succar J. Building Information Modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. Automation in Construction. 2009;18(3):357-375.

[14] Eastman C, Teicholz P, Sacks R, Liston K. BIM Handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. 3rd ed. Hoboken (NJ): John Wiley & Sons; 2018.

[15] Parlamentul European și Consiliul Uniunii Europene. Directiva 2014/24/UE privind achizițiile publice și de abrogare a Directivei 2004/18/CE. Jurnalul Oficial al Uniunii Europene. 2014 Mar 28;L 94:65-242.

[16] Monitorul Oficial al României. Legea nr. 98/2016 privind achizițiile publice. Monitorul Oficial, Partea I, nr. 393 din 23 mai 2016.

[17] Ionescu A, Vasilescu C. Evaluarea maturității digitale în companiile de construcții cu capital românesc. Revista de Management și Inginerie Economică. 2023;22(1):45-58

[18] Ministerul Dezvoltării, Lucrărilor Publice și Administrației. Strategia națională pentru implementarea metodologiei BIM în achizițiile publice din România. București: Guvernul României; 2022.

[19] Asociația de Standardizare din România (ASRO). SR EN ISO 19650-1:2019. Organizarea și digitizarea informațiilor despre clădiri și lucrări de geniu civil, inclusiv modelarea informației clădirii (BIM). Managementul informațiilor prin utilizarea modelării informației clădirii. Partea 1: Concepte și principii. București: ASRO; 2019.
[20] Marinescu M, Dumitru G. Rolul programelor de finanțare europeană în digitalizarea procedurilor administrative din construcții. Studii și Cercetări de Administrație Publică. 2025;19(3):89-104.