



Universitatea Tehnică a Moldovei

UTILIZAREA SCANĂRII LASER TERESTRE LA RENOVAREA MONUMENTELOR ARHITECTURALE

Masterand:

Țiganu Denis

Conducător:

Vlasenco Ana

**conferențiar universitar
doctor în științe tehnice**

Consultant:

Țiganu Eugeniu

asistent universitar

Chișinău, 2025

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA

Universitatea Tehnică a Moldovei

Facultatea Construcții, Geodezie și Cadastru

Departamentul Inginerie Civilă și Geodezie

Admis la susținere:

Șef departament ICG, conf. univ., dr.

_____ **A. Taranenco**

“ ____ ” _____ **2025**

**UTILIZAREA SCANĂRII LASER TERESTRE LA
RENOVAREA MONUMENTELOR
ARHITECTURALE**

Teză de master

Student: _____ **Țiganu Denis, GC-2304M**

Conducător: _____ **Vlasenco Ana, conf. univ., dr.**

Consultant: _____ **Țiganu Eugeniu, asist. univ.**

Chișinău, 2025

REZUMAT

la teza de master cu tema „UTILIZAREA SCANĂRII LASER TERESTRE LA RENOVAREA MONUMENTELOR ARHITECTURALE”, autor Țîganu Denis

În contextul provocărilor cu care se confruntă patrimoniul arhitectural, utilizarea tehnologiilor moderne, precum scanarea laser terestră, este esențială pentru conservarea și renovarea monumentelor. Această tehnologie permite obținerea unor modele 3D precise ale structurilor, facilitând analize detaliate și intervenții eficiente. Teza explorează aplicațiile scanării laser terestre în renovarea monumentelor, subliniind avantajele acesteia în ceea ce privește precizia, eficiența și conservarea patrimoniului. Cercetarea include evaluarea tehnologiilor utilizate, realizarea de modele 3D, studiul unui caz practic - renovarea Stadionului Republican din Chișinău și analiza provocărilor întâmpinate în utilizarea acestei tehnologii. Scopul lucrării este de a demonstra importanța scanării laser pentru protejarea și revitalizarea patrimoniului arhitectural, oferind direcții viitoare pentru aplicarea acestei tehnologii în restaurarea monumentelor.

Obiectivul principal al proiectului este de a analiza și demonstra aplicabilitatea scanării laser terestre în procesul de renovare a monumentelor arhitecturale, subliniind impactul acestei tehnologii asupra preciziei, eficienței și conservării patrimoniului cultural. Proiectul urmărește să arate cum scanarea laser poate contribui la obținerea unor modele 3D de înaltă precizie, facilitând intervenții de restaurare mai eficiente, fără a afecta integritatea monumentelor.

Lucrarea este structurată în trei capitole, cu un total de 76 de pagini și 37 de surse bibliografice. Primul capitol prezintă contextul patrimoniului arhitectural și importanța utilizării tehnologiilor moderne, precum scanarea laser terestră, în conservarea și renovarea monumentelor istorice. Al doilea capitol detaliază tehnologiile de scanare laser terestră și aplicațiile software asociate, evidențiind avantajele acestora în colectarea datelor și crearea modelelor 3D. În al treilea capitol, se analizează aplicarea tehnologiilor de scanare laser în renovarea Stadionului Republican din Chișinău, prezentând echipamentele utilizate, precum Leica BLK360 și DJI Phantom 4 RTK, și software-urile precum Leica Cyclone Register 360, Leica 3DR și Agisoft Metashape. Aceste tehnologii au permis obținerea unor modele 3D precise, esențiale pentru documentarea și restaurarea monumentului, având beneficii semnificative în protejarea patrimoniului și în simularea soluțiilor de restaurare compatibile cu valorile istorice ale stadionului.

ABSTRACT

to the master thesis with the theme

„THE USE OF TERRESTRIAL LASER SCANNING IN ARCHITECTURAL MONUMENTS RENOVATION”, author Țîganu Denis

In the context of the challenges faced by architectural heritage, the use of modern technologies, such as terrestrial laser scanning, is essential for the conservation and restoration of monuments. This technology allows the creation of precise 3D models of structures, facilitating detailed analysis and efficient interventions. The thesis explores the applications of terrestrial laser scanning in monument renovation, highlighting its advantages in terms of precision, efficiency, and heritage preservation. The research includes the evaluation of the technologies used, the creation of 3D models, a practical case study—the renovation of the Republican Stadium in Chișinău—and an analysis of the challenges encountered in using this technology. The purpose of the work is to demonstrate the importance of laser scanning for the protection and revitalization of architectural heritage, offering future directions for applying this technology in monument restoration.

The main objective of the project is to analyze and demonstrate the applicability of terrestrial laser scanning in the renovation process of architectural monuments, emphasizing the impact of this technology on the precision, efficiency, and conservation of cultural heritage. The project aims to show how laser scanning can contribute to obtaining highly accurate 3D models, facilitating more efficient restoration interventions without affecting the integrity of the monuments.

The thesis is structured in three chapters, with a total of 76 pages and 37 bibliographic sources. The first chapter presents the context of architectural heritage and the importance of using modern technologies, such as terrestrial laser scanning, in the conservation and restoration of historic monuments. The second chapter details the terrestrial laser scanning technologies and associated software applications, highlighting their advantages in data collection and the creation of 3D models. The third chapter analyzes the application of laser scanning technologies in the renovation of the Republican Stadium in Chișinău, presenting the equipment used, such as Leica BLK360 and DJI Phantom 4 RTK, and software such as Leica Cyclone Register 360, Leica 3DR, and Agisoft Metashape. These technologies allowed the creation of precise 3D models, essential for documenting and restoring the monument, offering significant benefits in protecting heritage and simulating restoration solutions compatible with the historical values of the stadium.

CUPRINS

INTRODUCERE	7
1. PATRIMONIUL ARHITECTURAL ȘI TEHNOLOGII MODERNE ÎN PROCESUL DE CONSERVARE ȘI RENOVARE	9
1.1 Importanța conservării patrimoniului arhitectural	9
1.2 Tehnologia scanării laser	10
1.2.1 Scanarea laser terestră.....	11
1.2.2 Scanarea aeriană	12
1.3 Aplicabilitatea scanării laser terestre	14
1.3.1 Catedrala Notre-Dame din Paris	15
1.3.2 Colosseum (Roma, Italia)	16
1.3.3 Taj Mahal (Agra, India).....	18
1.3.4 Circul din Chișinău	19
1.4 Patrimoniul arhitectural al municipiului Chișinău.....	20
1.5 Acte normative și reglementări în conservarea patrimoniului arhitectural.....	21
2. TEHNOLOGII ȘI APLICAȚII SOFTWARE PENTRU SCANAREA LASER.....	23
2.1 Generalități.....	23
2.2 Integrarea scanării laser terestre cu alte tehnologii de colectare a datelor.....	24
2.3 Tehnologii de colectare și prelucrare a datelor	25
2.3.1 CHCNAV I50 GNSS RTK	25
2.3.2 Total Station TS16	27
2.3.3 Drona DJI Phantom 4 RTK.....	28
2.3.4 Agisoft Metashape Professional.....	29
2.3.5 Utilajul BLK360.....	30
2.3.6 Software Leica Cyclone Register 360 (BLK EDITION)	31
2.3.7 Leica Cyclone 3DR	32
2.4 Evoluția tehnologiei în domeniul conservării patrimoniului	34
3. UTILIZAREA SCANĂRII LASER LA RENOVAREA STADIONULUI REPUBLICAN DIN CHIȘINĂU	36
3.1 Zona de lucru	36
3.2 Stabilirea pozițiilor optime pentru scanare	38
3.3 Înregistrarea datelor	40

3.3.1 Centrarea și calarea instrumentului.....	40
3.3.2 Prelucrarea datelor obținute în urma scanării laser.....	41
3.3.3 Evaluarea preciziei și exportarea	42
3.4 Modelarea datelor 3D	44
3.5 Avantajele utilizării modelelor 3D de plasă poligonală texturată (3D MESH).....	46
3.6 Evaluare și raportare flexibilă.....	47
CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI	51
BIBLIOGRAFIE	52
ANEXE.....	56
Anexa 1. Raportul măsurătorilor efectuate cu scannerul LASER LEICA BLK 360 (BLK EDITION).....	57
Anexa 2. Raportul măsurătorilor efectuate cu drona DJI PHANTOM 4 RTK.....	66

INTRODUCERE

În contextul actual, în care patrimoniul arhitectural se confruntă cu provocări semnificative, precum deteriorarea din cauza factorilor de mediu și intervențiile inadecvate, utilizarea tehnologiilor moderne devine esențială pentru conservarea și renovarea monumentelor. Scanarea laser terestră reprezintă o soluție inovatoare care transformă modul în care arhitecții, inginerii și conservatorii abordează restaurarea clădirilor istorice. Această tehnologie permite obținerea unor modele 3D extrem de precise ale structurilor existente, facilitând astfel o analiză detaliată a stării acestora.

Teza de față își propune să exploreze aplicațiile scanării laser terestre în procesul de renovare a monumentelor arhitecturale, subliniind avantajele pe care le oferă în termen de precizie, eficiență și documentare. Prin studii de caz și analiza unor proiecte de restaurare, se va evidenția impactul pozitiv al acestei tehnologii asupra conservării patrimoniului cultural. În plus, se va discuta despre provocările întâmpinate în implementarea scanării laser terestre și despre perspectivele de dezvoltare a acestei metode în domeniul arhitecturii și restaurării.

Scopul general al acestui proiect este de a analiza și demonstra aplicabilitatea scanării laser terestre în procesul de renovare a monumentelor arhitecturale, subliniind impactul pozitiv al acestei tehnologii în ceea ce privește precizia, eficiența și conservarea patrimoniului cultural. În mod specific, proiectul își propune să evidențieze cum tehnologia de scanare laser poate contribui la obținerea unor modele 3D de înaltă precizie ale structurilor istorice, facilitând intervenții de restaurare mai eficiente și mai bine documentate. Scopul este, de asemenea, de a arăta cum această metodă inovativă protejează integritatea monumentelor, fără a le afecta autenticitatea, și cum poate contribui la conservarea durabilă a patrimoniului arhitectural pe termen lung.

În vederea atingerii acestui scop, cercetarea se concentrează pe următoarele obiective:

- Evaluarea tehnologiilor de scanare laser terestră utilizate în renovarea monumentelor arhitecturale, cu scopul de a înțelege avantajele și limitările acestora comparativ cu metodele tradiționale de restaurare.
- Stabilirea unei metodologii precise pentru realizarea unui model 3D al monumentelor istorice, utilizând echipamente moderne, cum ar fi Leica BLK 360 și DJI Phantom 4 RTK, și software-uri specializate pentru prelucrarea datelor.
- Examinarea impactului pozitiv al scanării laser în protejarea structurii monumentelor, prin obținerea unor modele 3D detaliat, fără intervenții fizice asupra fațadelor sau structurilor acestora.
- Realizarea unui studiu de caz pentru a demonstra aplicabilitatea scanării laser terestre în

renovarea unui monument arhitectural specific, evidențiind eficiența și precizia procesului de restaurare.

- Identificarea provocărilor și a soluțiilor întâmpinate în implementarea scanării laser terestre în renovarea monumentelor, cu scopul de a îmbunătăți utilizarea acestei tehnologii în domeniul restaurării patrimoniului cultural.
- Propunerea unor direcții viitoare pentru dezvoltarea și aplicarea tehnologiilor de scanare laser terestră în conservarea patrimoniului arhitectural, contribuind la crearea unor standarde mai eficiente pentru viitoare proiecte de restaurare.

Structura lucrării este organizată astfel încât să urmărească obiectivele cercetării pas cu pas. Primul capitol oferă informații despre importanța patrimoniului arhitectural și tehnologii moderne în procesul de conservare și renovare. În capitolul al doilea s-au descris tehnologiile de scanare laser și aplicațiile software asociate, evidențiind precizia, viteza și eficiența acestora în colectarea datelor și crearea modelelor digitale. Aceste tehnologii sunt esențiale în diverse domenii, de la conservarea patrimoniului până la inginerie, contribuind semnificativ la îmbunătățirea calității și sustenabilității proiectelor. Cel de-al treilea capitol, în cazul renovării Stadionului Republican din Chișinău, tehnologiile de scanare laser terestră și aeriană, cum ar fi Leica BLK360 și DJI Phantom 4 RTK, au demonstrat eficiența în documentarea și restaurarea monumentului. Cu ajutorul softurilor au permis obținerea unor modele 3D precise, esențiale pentru conservarea detaliilor arhitecturale și planificarea intervențiilor. Abordarea fără contact a asigurat protejarea patrimoniului și a permis simularea soluțiilor de restaurare compatibile cu valorile istorice ale stadionului.

Astfel, lucrarea va contribui la o mai bună înțelegere a rolului tehnologiei moderne în protejarea și revitalizarea monumentelor arhitecturale, oferind totodată o bază solidă pentru viitoare cercetări și aplicații practice în acest domeniu.

BIBLIOGRAFIE

1. Ministerul Culturii și Patrimoniului Național, 2010. [online], [citată 14.10.2024]. Disponibil: <https://www.cultura.ro/>
2. UNESCO World Heritage Centre, 2023. [online], [citată 14.10.2024]. Disponibil: <https://whc.unesco.org/en/list/>
3. Richards Gred. Cultural tourism in Europe, 1996. [online], [citată 15.10.2024]. Disponibil: https://www.researchgate.net/publication/277040145_Cultural_Tourism_in_Europe
4. Notre-Dame Cathedral. [online], [citată 15.10.2024]. Disponibil: <https://www.friendsofnotredamedeparis.org/notre-dame-cathedral/>
5. Origins and architecture of the Taj Mahal. [online], [citată 15.10.2024]. Disponibil: https://en.wikipedia.org/wiki/Origins_and_architecture_of_the_Taj_Mahal
6. Historic Ensemble of the Potala Palace, Lhasa. [online], [citată 15.10.2024]. Disponibil: <https://whc.unesco.org/en/list/707/>
7. Albu Svetlana, et al., Patrimoniul construit: aspecte tehnice, economice și juridice. Probleme și propuneri. Chișinău, 2023. [online], [citată 15.10.2024]. Disponibil: https://www.researchgate.net/profile/AlbuSvetlana/publication/346446733_Patrimoniul_arhitectural_aspecte_legale_tehnice_si_economice/links/5fdb683292851c13fe930dc7/Patrimoniul-arhitectural-aspecte-legale-tehnice-si-economice.pdf
8. 3D Risk Mapping. Teoria și practica scanării terestre cu ajutorul laserului. Versiunea 2 [online], [citată 17.10.2024]. Disponibil: https://jllerma.webs.upv.es/pdfs/Leonardo_Tutorial_Final_vers5_ROMANIAN.pdf
9. Terrestrial Laser Scanning. [online], [citată 17.10.2024]. Disponibil: <https://www.earthscope.org/what-is/tls/>
10. E-cultură [online], [citată 16.10.2024] Disponibil: <https://www.adr.gov.ro/wp-content/uploads/2024/03/Raport-e-cultura.pdf>
11. Precision Laser Scans of Notre Dame Cathedral Can Help to Preserve, Restore, and Rebuild [online], [citată 15.10.2024] Disponibil: <https://shop.leica-geosystems.com/leica-blk/blk360/blog/precision-laser-scans-notre-dame-cathedral-can-help-preserve-restore-and-rebuild?srsId=AfmBOorQNuBkNTn1PKcZZSOufdNmiMIUhXpjctfrgKOWjaDKRYzQdZvV>

12. Time Scanners: How was the Colosseum designed? [online], [citat 17.10.2024]
Disponibil: https://www.sciencefocus.com/science/time-scanners-how-was-the-colosseum-designed?utm_source=chatgpt.com
13. Il cfr mandatario del progetto “servizi tecnici di rilievo geometrico 3d con metodologie geomatiche integrate del Colosseo”. [online], [citat 17.10.2024] Disponibil: https://www.cieffeerre.it/?utm_source=chatgpt.com
14. Saving the Taj Mahal: 3D scanners record monument in minute detail to guard against damage. [online], [citat 17.10.2024] Disponibil: <https://www.ibtimes.co.uk/saving-taj-mahal-3d-scanners-record-monument-minute-detail-guard-against-damage-1533338>
15. Circul din Chişinău are o copie digitală 3D, realizată cu un scanner laser. [online], [citat 18.10.2024] Disponibil: https://www.undp.org/ro/moldova/news/circul-din-chisinau-are-o-copie-digitala-3d-realizata-cu-un-scanner-laser?utm_source=chatgpt.com
16. Ştefăniţă Ion. Cartea neagră a patrimoniului cultural al municipiului Chişinău. " Continental Crup" SRL, 2010.
https://www.chisinau.md/public/files/anul_2021/cmc2021/07.20.21/28_instituirea_interdictiei_temporare_la_authorized_lucrarilor_de_constructie.PDF, [citat 28.11.2024]
17. Samadzadegan Farhad, Dadrass Javan F, Zeynalpoor Asl M. Architectural heritage 3D modelling using unmanned aerial vehicles multi-view imaging. In: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2023, vol. 48. p, 1395-1402.
18. Yörük Ali Akif, Bülbül Muhammed Abdullah, Hajısmail Salah. 3D Architectural Heritage Platform. In: Digital international journal of Architecture Art Heritage, 2022, vol. 1, no. 2, p. 65-90.
19. Storeide Markus Sebastian Bakken, et al. Standardization of digitized heritage: a review of implementations of 3D in cultural heritage. In: Heritage Science, 2023, vol.11, no.1, p.1-22.
20. Legea nr. 153/2011 [online], [citat 19.11.204]. Disponibil: <https://www.legis.md/>
21. Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage [online], [citat 19.11.204].Disponibil: <https://whc.unesco.org/en/conventiontext/>
22. Carta de la Venetia. [online], [citat 19.11.204]. Disponibil: https://openarchive.icomos.org/id/eprint/3010/1/Venice_Charter_RO.pdf
23. Directiva 2014/52/UE privind evaluarea efectelor anumitor proiecte publice și private asupra mediului. [online], [citat 19.11.204]. Disponibil: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0052&from=RO>

24. Dezvoltarea sustenabilă a comunităților urbane cu ajutorul standardului SR ISO 37120. [online], [citată 19.11.2024]. Disponibil: <https://www.asro.ro/dezvoltarea-sustenabila-a-comunitatilor-urbane-cu-ajutorul-standardului-sr-iso-37120/>
25. Yahya Alshawabkeh, Norbert Haala. Integration of digital photogrammetry and laser scanning for heritage documentatio. Research gate 2006. [online], [citată 18.11.2024]. Disponibil: https://www.researchgate.net/publication/228857387_Integration_of_laser_scanning_and_photogrammetry_for_heritage_documentation
26. GNSS CHCNAV, [online], [citată 17.11.2024]
Disponibil: <https://chcnav.com/product-detail/i50-gnss>
27. Leica Viva TS16 Imaging Total Station [online], [citată 17.11.2024]
Disponibil: <https://pure-surveying.com/total-stations/ts16/>
28. DJI Phantom 4 RTK [online], [citată 17.11.2024] Disponibil: <https://www.dji.com/phantom-4-rtk>
29. AgiSOFT Metashape Professional. [online], [citată 18.11.2024]
Disponibil: <https://www.agisoft.com/features/professional-edition/>
30. Leica BLK360 Imaging Laser Scanner [online], [citată 18.11.2024]
Disponibil: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/blk360>
31. Leica Cyclone REGISTER 360 [online], [citată 18.11.2024]. Disponibil: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone/leica-cyclone-register-360>
32. Leica Cyclone 3DR [online], [citată 18.11.2024]. Disponibil: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone/leica-cyclone-3dr>
33. Naci Yastikli. Documentation of cultural heritage using digital photogrammetry and laser scanning. Journal of Cultural Heritage 8(4):423-427, 2007 [online], [citată 24.11.2024]. Disponibil: https://www.researchgate.net/publication/248546077_Documentation_of_cultural_heritage_using_digital_photogrammetry_and_laser_scanning
34. Ahmet Denker. Rebuilding Palmyra virtually: Recreation of its former glory in digital space. Virtual Archaeology Review 8(17):20, 2017. [online], [citată 24.11.2024]. Disponibil: https://www.researchgate.net/publication/318717262_Rebuilding_Palmyra_virtually_Recreation_of_its_former_glory_in_digital_space
35. Remondino F., Barazzetti L., Nex F., Scaioni M., Sarazzi D. UAV photogrammetry for mapping and 3D modelling-current status and future perspectives. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 38, ISPRS ICWG I/V UAV-g , 2011. [online], [citată 24.11.2024]. Disponibil:

https://www.researchgate.net/publication/285028412_UAV_photogrammetry_for_mapping_and_3D_modelling-current_status_and_future_perspectives

36. Expoziția virtuală „Stadionul Republican între sport, cultură și propagandă” [online], [citat 20.11.2024]. Disponibil: <https://arhiva.gov.md/5128-2/>
37. Portal informațional: e – Cadastru[online], [citat 18.11.2024]. Disponibil: <https://www.cadastru.md/ecadastru/f?p=100:1>