

**Studiul tehnologiei de reciclare a structurilor rutiere
existente**

Student: Victor DODICA, IST 241M

**Conducător: Anatolie CADOCINICOV,
conf.univ., dr.**

Chișinău, 2026

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA

Universitatea Tehnică a Moldovei

Facultatea Urbanism și Arhitectură

Departamentul Ingineria Infrastructurii Transporturilor

Admis la susținere

Șef departament:

Eduard PROASPĂT conf.univ., dr.

„_____” _____ 2026

**STUDIUL TEHNOLOGIEI DE UTILIZARE A REZIDUURILOR
INDUSTRIALE ÎN OBTINEREA MIXTURILOR ASFALTICE**

Teză de master

Student: Victor DODICA, IST 241M

**Conducător: Anatolie CADOCINICOV,
conf.univ., dr.**

Chișinău, 2026

REZUMAT

Autor: Dodica Victor

Titlul tezei de master: *Studiul tehnologiei de reciclare a structurilor rutiere existente*

Lucrarea de față abordează tema reciclării structurilor rutiere ca soluție modernă, durabilă și eficientă pentru reabilitarea infrastructurii de transport. În contextul creșterii volumului de trafic, al limitării resurselor naturale și al accentuării preocupărilor de mediu, reciclarea materialelor existente din sistemul rutier devine o alternativă tot mai frecvent explorată în practică. Scopul lucrării constă în analizarea complexă a tehnologiilor de reciclare aplicabile drumurilor degradate, evaluarea performanțelor materialelor rezultate și validarea practicabilității acestora printr-un studiu de caz concret, cu accent pe tehnologia reciclării la rece in situ.

În primul capitol este realizată o analiză amplă a literaturii de specialitate, incluzând evoluția tehnologiilor de întreținere și reabilitare a drumurilor, definițiile și clasificarea metodelor de reciclare, precum și avantajele și limitările acestora. Sunt prezentate totodată bune practici de nivel european și internațional, care constituie repere metodologice pentru utilizarea reciclării ca tehnică modernă de intervenție asupra sistemelor rutiere.

Capitolul al doilea este dedicat materialelor utilizate în procesele de reciclare. Sunt examinate caracteristicile materialelor recuperate din structurile existente, rolul lianților hidraulici și bituminoși, precum și contribuția aditivilor și modificatorilor de performanță la îmbunătățirea proprietăților fizico-mecanice. De asemenea, sunt analizate standardele, normativele și reglementările tehnice specifice, cu relevanță pentru determinarea compozițiilor optime și pentru evaluarea calității lucrărilor.

În capitolul al treilea sunt descrise etapele tehnologice ale reciclării structurilor rutiere, cu accent pe reciclarea la rece in situ. Sunt prezentate investigațiile preliminare ale drumului, criteriile de dimensionare, succesiunea operațiilor tehnologice (frezare, dozare, amestecare, compactare și maturare), precum și echipamentele și utilajele necesare. Lucrarea analizează procedurile de control al calității în teren și posibilele probleme tehnice întâlnite, propunând soluții de optimizare a procesului.

Capitolul al patrulea prezintă studiul de caz realizat pe un sector de drum din Republica Moldova. Sunt descrise condițiile de exploatare, caracteristicile traficului, criteriile geotehnice și rezultatele investigațiilor de teren. Pe baza acestor date, este determinată compoziția optimă pentru reciclare cu ciment și alți lianți, urmată de desfășurarea lucrărilor de reciclare și executarea încercărilor de laborator și in situ. Analiza tehnico-economică relevă avantajele reciclării în raport cu soluțiile tradiționale de reabilitare atât din punct de vedere al performanței structurale, cât și al costurilor și al impactului asupra mediului. Rezultatele arată că soluția adoptată asigură îmbunătățiri semnificative în comportarea structurală a drumului și permite extinderea duratei de exploatare cu costuri reduse.

Ultimul capitol sintetizează concluziile generale și specifice studiului de caz, formulând recomandări practice pentru implementarea pe scară largă a tehnologiilor de reciclare în Republica Moldova. Totodată, sunt propuse direcții viitoare de cercetare, orientate spre optimizarea lianților, monitorizarea pe termen lung a structurilor rutiere reabilite prin reciclare și integrarea criteriilor de sustenabilitate în proiectarea drumurilor.

Prin conținutul său, teza aduce o contribuție atât teoretică, prin sistematizarea și compararea tehnologiilor de reciclare, cât și practică, prin demonstrarea aplicabilității eficiente a reciclării la rece

in situ în condițiile traficului și infrastructurii rutiere din Republica Moldova. Rezultatele obținute confirmă că reciclarea structurilor rutiere reprezintă o soluție viabilă, sustenabilă și economic avantajoasă pentru reabilitarea rețelei de drumuri.

Cuvinte-cheie: mixturi asfaltice, reziduuri industriale, infrastructură rutieră, economie circulară, dezvoltare durabilă.

SUMMARY

Author: Dodica Victor

Master's Thesis Title: Study of recycling technologies for existing road structures.

This paper addresses the topic of recycling road structures as a modern, sustainable and efficient solution for the rehabilitation of transport infrastructure. In the context of increasing traffic volume, limited natural resources and increasing environmental concerns, recycling existing materials from the road system is becoming an alternative increasingly explored in practice. The purpose of the paper is to comprehensively analyze recycling technologies applicable to degraded roads, evaluate the performance of the resulting materials and validate their practicability through a concrete case study, with a focus on in situ cold recycling technology.

The first chapter provides an extensive analysis of the specialized literature, including the evolution of road maintenance and rehabilitation technologies, the definitions and classification of recycling methods, as well as their advantages and limitations. European and international good practices are also presented, which constitute methodological benchmarks for the use of recycling as a modern intervention technique on road systems.

The second chapter is dedicated to the materials used in recycling processes. The characteristics of materials recovered from existing structures, the role of hydraulic and bituminous binders, as well as the contribution of additives and performance modifiers to improving physical and mechanical properties are examined. Specific standards, norms and technical regulations are also analyzed, relevant for determining optimal compositions and for assessing the quality of the works.

The third chapter describes the technological stages of road structure recycling, with an emphasis on in situ cold recycling. The preliminary road investigations, the dimensioning criteria, the sequence of technological operations (milling, dosing, mixing, compaction and curing), as well as the necessary equipment and machinery are presented. The paper analyzes the field quality control procedures and possible technical problems encountered, proposing solutions to optimize the process.

The fourth chapter presents the case study carried out on a road sector in the Republic of Moldova. The operating conditions, traffic characteristics, geotechnical criteria and the results of field investigations are described. Based on these data, the optimal composition for recycling with cement and other binders is determined, followed by the implementation of recycling works and the execution of laboratory and in situ tests. The technical and economic analysis reveals the advantages of recycling compared to traditional rehabilitation solutions both in terms of structural performance, costs and environmental impact. The results show that the adopted solution ensures significant improvements in the structural behavior of the road and allows the extension of the service life at low costs.

The last chapter summarizes the general and specific conclusions of the case study, formulating practical recommendations for the large-scale implementation of recycling technologies in the Republic of Moldova. At the same time, future research directions are proposed, oriented towards the optimization of binders, long-term monitoring of road structures rehabilitated through recycling and the integration of sustainability criteria in road design.

Through its content, the thesis makes both a theoretical contribution, by systematizing and comparing recycling technologies, and a practical one, by demonstrating the effective applicability of in situ cold recycling in the conditions of traffic and road infrastructure in the Republic of

Moldova. The results obtained confirm that the recycling of road structures represents a viable, sustainable and economically advantageous solution for the rehabilitation of the road network.

Keywords: asphalt mixtures, industrial residues, road infrastructure, circular economy, sustainable development.

CUPRINS

INTRODUCERE	Ошибка! Закладка не определена.
1. ANALIZA LITERATURII DE SPECIALITATE PRIVIND RECICLAREA STRUCTURILOR RUTIERE	Ошибка! Закладка не определена.
1.1. Noțiuni generale privind structurile rutiere existente	Ошибка! Закладка не определена.
1.2. Evoluția tehnologiilor de întreținere și reabilitare....	Ошибка! Закладка не определена.
1.3. Conceptul de reciclare rutieră	Ошибка! Закладка не определена.
1.4. Clasificarea tehnologiilor de reciclare.....	Ошибка! Закладка не определена.
1.5. avantajele și limitele tehnologiilor de reciclare	Ошибка! Закладка не определена.
1.6. Practici europene și internaționale în reciclarea structurilor rutiere	Ошибка! Закладка не определена.
2. MATERIALE FOLOSITE ÎN TEHNOLOGIILE DE RECICLARE.	Ошибка! Закладка не определена.
2.1. Materialele provenite din structurile rutiere existente.....	Ошибка! Закладка не определена.
2.2. Lianți hidraulici utilizați în reciclare (ciment, cenuși, adaosuri).....	Ошибка! Закладка не определена.
2.3. Lianți bituminoși (emulsii bituminoase, bitum spumat)	Ошибка! Закладка не определена.
2.4. Aditivi și modificatori de performanță.....	Ошибка! Закладка не определена.
2.5. Proprietățile fizico-mecanice ale materialelor reciclate	Ошибка! Закладка не определена.
2.6. Normative și standarde relevante (SR EN, STAS, AND etc.)	Ошибка! Закладка не определена.
3. TEHNOLOGIA DE RECICLARE A STRUCTURILOR RUTIERE EXISTENTE	Ошибка! Закладка не определена.
.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.1. Investigarea prealabilă a drumului și evaluarea degradărilor.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.2. Modele de analiză și criterii de dimensionare	Ошибка! Закладка не определена.
3.2.1. Baza teoretică a dimensionării structurale.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.2.2. Indicatori de proiectare	Ошибка! Закладка не определена.
3.3. Procesul tehnologic de reciclare la rece <i>in situ</i>	Ошибка! Закладка не определена.
3.3.1. Frezarea și concasarea materialelor existente....	Ошибка! Закладка не определена.
3.3.2. Dozarea și amestecarea lianților	Ошибка! Закладка не определена.
3.3.3. Compactarea stratului reciclat	Ошибка! Закладка не определена.
3.3.4. Maturarea și tratamentele de protecție.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.4. Echipamente și utilaje utilizate	Ошибка! Закладка не определена.
3.5. Controlul calității și verificările în teren	Ошибка! Закладка не определена.
3.6. Probleme tehnice posibile și soluții de optimizare...	Ошибка! Закладка не определена.
3.7 Exemple reale de drumuri implicate în lucrări de reabilitare în anul 2025.....	Ошибка! Закладка не определена.
4. STUDIU DE CAZ PRIVIND APLICAREA TEHNOLOGIEI DE RECICLARE	Ошибка! Закладка не определена.
Ошибка! Закладка не определена.	
4.1. Prezentarea sectorului de drum analizat.....	Ошибка! Закладка не определена.
4.2. Analiza traficului și condițiilor de exploatare	Ошибка! Закладка не определена.

- 4.3. Date geotehnice și rezultate ale investigațiilor de teren..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 4.4. Determinarea compoziției optime pentru reciclare cu ciment și piatră **Ошибка! Закладка не определена.**
- 4.5. Realizarea lucrărilor de reciclare și stabilizare **Ошибка! Закладка не определена.**
- 4.6. Încercări de laborator și încercări in situ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 4.7. Analiza tehnico-economică a soluției **Ошибка! Закладка не определена.**
- 4.8. Compararea cu soluții tradiționale de reabilitare **Ошибка! Закладка не определена.**
- 4.9. Interpretarea rezultatelor **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5. INFRASTRUCTURA RUTIERĂ A REPUBLICII MOLDOVA** **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.1 Structura și caracteristicile rețelei rutiere..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.2 Starea infrastructurii rutiere **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.3 Finanțarea și investițiile în infrastructura rutieră **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.4 Probleme principale și provocări..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.5 Importanța reabilitării și soluții tehnologice **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.6 Clasificarea drumurilor naționale, regionale și locale**Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.7 Investiții și surse de finanțare în infrastructura rutieră..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.8 Probleme și provocări ale infrastructurii rutiere **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.9 Necesitatea aplicării tehnologiilor de reciclare rutieră..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 6. CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI** **Ошибка! Закладка не определена.**
- 6.1. Concluzii generale..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 6.2. Concluzii specifice studiului de caz **Ошибка! Закладка не определена.**
- 6.3. Recomandări pentru implementare în Republica Moldova..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 6.4. Direcții viitoare de cercetare **Ошибка! Закладка не определена.**
- BIBLIOGRAFIE**..... **Ошибка! Закладка не определена.**

INTRODUCERE

Infrastructura rutieră reprezintă una dintre componentele fundamentale ale dezvoltării economice și sociale, asigurând mobilitatea persoanelor și a bunurilor, interconectarea zonelor geografice și funcționarea competitivă a economiei naționale. În contextul intensificării continue a traficului, al creșterii volumului de transport rutier și al necesității alinierii la standarde europene privind calitatea drumurilor, sistemul rutier se confruntă cu un nivel accentuat de degradare. Această realitate implică adoptarea unor strategii eficiente de întreținere și reabilitare, capabile să răspundă simultan cerințelor tehnice, economice și de protecție a mediului.

Reabilitarea tradițională a drumurilor presupune, în cele mai multe cazuri, îndepărtarea și depozitarea materialelor existente, urmată de introducerea unor cantități semnificative de materiale noi. Deși eficientă în anumite situații, această abordare implică consum ridicat de resurse naturale, costuri logistice importante și un impact negativ asupra mediului. În ultimii ani, pe fondul orientării către practici sustenabile și economii circulare, reciclarea materialelor din structurile rutiere existente s-a impus ca soluție modernă, viabilă și responsabilă. Dintre tehnologiile emergente, reciclarea la rece in situ s-a remarcat prin versatilitate, performanțe structurale ridicate și reducerea substanțială a costurilor globale ale proiectelor de reabilitare.

Lucrarea de față are drept scop efectuarea unui studiu complex privind tehnologia de reciclare a structurilor rutiere existente, cu accent pe evaluarea materialelor reutilizate, optimizarea procesului tehnologic și analiza performanțelor obținute în condiții reale de exploatare. Demersul științific se înscrie într-o abordare etapizată, în concordanță cu structura tezei. În prima etapă este realizată o analiză aprofundată a literaturii de specialitate, cu prezentarea evoluției tehnologiilor moderne de întreținere și reabilitare, a conceptului de reciclare rutieră și a clasificării metodelor utilizate pe plan internațional. Ulterior, sunt analizate materialele specifice tehnologiilor de reciclare, incluzând materialele recuperate, lianții hidraulici și bituminoși, aditivii de performanță, precum și standardele tehnice de proiectare și execuție.

Capitolul dedicat tehnologiei de reciclare are rolul de a detalia fluxul tehnologic, etapele procesului de reciclare la rece in situ, criteriile de dimensionare structurală, tipurile de echipamente implicate și procedurile de control al calității, oferind o perspectivă operațională asupra modului de aplicare a metodei. Pentru validarea practică a tehnologiei, lucrarea include un studiu de caz realizat pe un sector de drum din Republica Moldova, în care sunt evaluate condițiile de exploatare, compoziția optimă a materialului stabilizat cu ciment și alți lianți, rezultatele testelor de laborator și in situ, precum și implicațiile tehnico-economice ale soluției adoptate în raport cu metodele tradiționale de reabilitare.

Prin îmbinarea perspectivei teoretice, experimentale și aplicative, cercetarea își propune să evidențieze potențialul reciclării structurilor rutiere ca metodă sustenabilă și competitivă de reabilitare a infrastructurii rutiere din Republica Moldova. Totodată, rezultatele obținute permit formularea unor concluzii și recomandări tehnice relevante pentru proiectanți, specialiști în drumuri și factori decizionali, precum și identificarea unor direcții viitoare de studiu care să sprijine dezvoltarea și standardizarea acestor tehnologii la nivel național.

Lista cu referințe bibliografice

1. https://www.ct.upt.ro/studenti/cursuri/lucaci/Alcatuirea_structurilor_rutiere.pdf
2. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/road-pavement>
3. <https://testbook.com/civil-engineering/types-of-pavement>
4. <https://testbook.com/civil-engineering/rigid-pavement>
5. <https://projectinfrastructure.com/subbase-and-base-course>
6. <https://en.wikipedia.org/wiki/Subgrade>
7. <https://www.asphaltinstitute.org/engineering/glossary-of-terms>
8. https://www.asd.md/wp-content/uploads/2021/02/NCM_D.02.01-2015-Proiectarea-drumur publice.pdf
9. <https://pavementinteractive.org/reference-desk/pavement-types-andhistory/pavementhistory/>
10. <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1992/1374/1374-009.pdf>
11. <https://vaasphalt.org/pavement-recycling>
12. <https://dpw.lacounty.gov/gmed/lacroads/treatmentcoldinplace.aspx>
13. <https://www.asphaltmagazine.com/ccprinva/>
14. <https://www.youtube.com/watch?v=coj-e5mhHEQ>
15. <https://www.mdpi.com/2412-3811/9/8/128>
16. <https://cordis.europa.eu/project/id/218747/reporting>
17. https://escholarship.org/content/qt8378s3vk/qt8378s3vk_noSplash_11bf309ffa2e34f73_cbf8105faa1650c.pdf
18. <https://www.mdpi.com/2412-3811/9/8/128>
19. <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/recycling/98042/16.cfm>
20. Austroads. (2018). *Guide to pavement technology – Part 4E: Recycled materials*.
21. Ministerul Infrastructurii și Dezvoltării Regionale. (2022). *Raport privind starea infrastructurii rutiere din RM*.
22. Thenoux, G., & González, A. (2010). *Stabilization of road materials with cement*.
23. Neville, A. M. (2011). *Properties of concrete*.
24. World Road Association (2016).
25. American Association of State Highway and Transportation Officials (1993)
26. World Road Association (2019)
27. American Association of State Highway and Transportation Officials (1993)
28. *Cod de Practică pentru proiectarea drumurilor* Republica Moldova
29. World Road Association (2019)
30. World Road Association (2019)
31. Bomag / Hamm Manual
32. https://en.wikipedia.org/wiki/M3_highway_%28Moldova%29
33. <https://stiripesurse.md/foto-drumul-m3-chisinau-comrat-giurgiuilesti-este-52-finalizat/>
34. <https://www.worldometers.info/maps/moldova-road-map/>
35. Norme tehnice – Administrația de Stat a Drumurilor, Moldova
36. Gheorghe Brătuș – „Reciclarea și stabilizarea drumurilor”, Ed. Matrix
37. Manual MT România – reciclare in situ
38. Portland Cement Association – Best Practices
39. Proiecte BERD Moldova – 2020–2023

40. Guvernul Republicii Moldova,
Strategia de dezvoltare a infrastructurii transporturilor, Chișinău.
41. Ministerul Infrastructurii și Dezvoltării Regionale al Republicii Moldova,
Programul de reabilitare și întreținere a drumurilor publice, Chișinău.
42. Administrația de Stat a Drumurilor (ASD),
Norme tehnice privind proiectarea, construcția și reabilitarea drumurilor publice, Chișinău.
43. Administrația de Stat a Drumurilor,
Ghid privind reciclarea la rece a structurilor rutiere existente, Chișinău.
44. Legea drumurilor nr. 509-XIII, Republica Moldova.
45. Caiete de sarcini și documentații tehnice pentru lucrări de reabilitare a drumurilor naționale și regionale, ASD, Chișinău.
46. EN 13108,
Bituminous mixtures – Material specifications, European Committee for Standardization (CEN).
47. EN 14227,
Hydraulically bound mixtures – Specifications, European Committee for Standardization.
48. EN 197-1,
Cement – Composition, specifications and conformity criteria, European Committee for Standardization.
49. EN 12697,
Bituminous mixtures – Test methods, European Committee for Standardization.
50. World Road Association,
Recycling of Road Pavements, Technical Committee Reports.
51. Wirtgen GmbH,
Cold Recycling Technology, Windhagen, Germany.
52. Asphalt Recycling and Reclaiming Association (ARRA),
Basic Asphalt Recycling Manual (BARM).
53. European Asphalt Pavement Association (EAPA),
Recycling of Asphalt Pavements, Brussels.
54. Federal Highway Administration,
Cold In-Place Recycling and Full-Depth Reclamation, Washington, D.C.
55. Huang, Y.H.,
Pavement Analysis and Design, Pearson Education.
56. Brown, E.R., Kandhal, P.S., Zhang, J.,
Performance Testing for Hot Mix Asphalt, ASTM.
57. Papagiannakis, A.T., Masad, E.A.,
Pavement Design and Materials, Wiley.
58. Thenoux, G., González, A., Dowling, R.,
Energy consumption comparison for different asphalt pavements recycling techniques, Construction and Building Materials.
59. Biroul Național de Statistică al Republicii Moldova,
Anuarul statistic al transporturilor.
60. Administrația de Stat a Drumurilor,
Rapoarte anuale privind starea rețelei de drumuri.