

**Studiul tehnologiei de utilizare a reziduurilor industriale în  
obținerea mixturilor asfaltice**

**Student: Serghei 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 OBȚINEREA MIXTURILOR ASFALTICE**

**Teză de master**

**Student: Serghei DODICA, IST 241M**

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

**Chișinău, 2026**

## ADNOTARE

**Autor:** Dodica Serghei

**Titlul tezei de master:** *Studiul tehnologiei de utilizare a reziduurilor industriale în obținerea mixturilor asfaltice*

Prezenta teză de master abordează problematica utilizării reziduurilor industriale în compoziția mixturilor asfaltice, ca soluție alternativă și sustenabilă pentru dezvoltarea infrastructurii rutiere din Republica Moldova. Tema este actuală în contextul deficitului de agregate naturale, al costurilor ridicate de extracție și transport, precum și al necesității reducerii impactului asupra mediului prin valorificarea deșeurilor industriale. Integrarea materialelor secundare în construcțiile rutiere reprezintă o direcție importantă în promovarea economiei circulare și alinierii la practicile europene moderne.

Scopul principal al cercetării constă în evaluarea posibilității utilizării reziduurilor industriale ca materiale componente în mixturile asfaltice, analizând compatibilitatea acestora cu cerințele tehnice și normative existente. Obiectivele lucrării vizează identificarea principalelor tipuri de reziduuri industriale cu potențial de utilizare în infrastructura rutieră, analiza proprietăților fizico-mecanice ale acestora, precum și evaluarea impactului asupra performanțelor mixturilor asfaltice.

Metodologia cercetării se bazează pe analiza documentară a literaturii de specialitate naționale și internaționale, studiul cadrului normativ aplicabil, precum și pe analiza comparativă a metodelor de proiectare a compoziției mixturilor asfaltice, cu accent pe metoda Marshall. În cadrul lucrării au fost analizate diferite categorii de reziduuri industriale, precum zgura metalurgică, cenușa de termocentrală, șlamurile industriale, reziduurile de ghips, deșeurile din construcții și demolări, plasticul reciclat, cauciucul reciclat și sticla măcinată.

Rezultatele studiului evidențiază faptul că utilizarea controlată a reziduurilor industriale în mixturile asfaltice este fezabilă din punct de vedere tehnic și poate contribui la obținerea unor performanțe comparabile cu cele ale mixturilor convenționale. De asemenea, integrarea acestor materiale conduce la reducerea consumului de resurse naturale, diminuarea cantităților de deșeuri depozitate și optimizarea costurilor de execuție a lucrărilor rutiere. Concluziile lucrării subliniază necesitatea testării riguroase a materialelor reciclate și a implementării etapizate a acestora, în conformitate cu standardele în vigoare, pentru asigurarea durabilității și siguranței infrastructurii rutiere.

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

## ANNOTATION

**Author:** Dodica Serghei

**Master's Thesis Title:** *Study of the technology of using industrial waste in the production of asphalt mixtures.*

This master's thesis addresses the issue of using industrial residues in the composition of asphalt mixtures as an alternative and sustainable solution for the development of road infrastructure in the Republic of Moldova. The topic is highly relevant in the context of the shortage of natural aggregates, the high costs of extraction and transportation, as well as the need to reduce environmental impact through the valorization of industrial waste. The integration of secondary materials into road construction represents an important direction in promoting the circular economy and aligning with modern European practices.

The main objective of the research is to assess the feasibility of using industrial residues as component materials in asphalt mixtures by analyzing their compatibility with existing technical and regulatory requirements. The specific objectives include identifying the main types of industrial residues with potential application in road infrastructure, analyzing their physical and mechanical properties, and evaluating their impact on the performance of asphalt mixtures.

The research methodology is based on a documentary analysis of national and international scientific literature, a review of the applicable regulatory framework, and a comparative analysis of asphalt mixture design methods, with particular emphasis on the Marshall method. The study examines various categories of industrial residues, such as metallurgical slag, power plant ash, industrial sludges, gypsum residues, construction and demolition waste, recycled plastics, recycled rubber, and ground glass.

The results of the study indicate that the controlled use of industrial residues in asphalt mixtures is technically feasible and can contribute to achieving performance levels comparable to those of conventional mixtures. Moreover, the integration of these materials leads to a reduction in the consumption of natural resources, a decrease in the amount of waste disposed of in landfills, and an optimization of the costs associated with road construction works. The conclusions of the thesis emphasize the need for rigorous testing of recycled materials and their phased implementation, in compliance with applicable standards, in order to ensure the durability and safety of road infrastructure.

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

## CUPRINS

ADNOTARE .....	4
ANNOTATION.....	5
LISTA ABREVIERILOR.....	6
INTRODUCERE.....	9
Capitolul 1. CONCEPTUL MIXTURILOR ASFALTICE CU DEȘEURI INDUSTRIALE.....	11
§1.1. Conceptul mixturilor asfaltice.....	11
1.2.1. Zgură metalurgică.....	13
1.2.2. Cenușă de termocentrală.....	14
1.2.3. Șlam sodic și reziduuri de ghips.....	16
1.2.4. Deșeuri din construcții și demolări (CDW).....	18
1.2.5. Plastic reciclat și cauciuc reciclat.....	19
1.2.6. Sticlă măcinată.....	22
§1.3. Practici internaționale relevante (UE, SUA, Asia).....	24
§1.4. Cadrul normative național.....	26
Capitolul 2. METODE DE PROIECTARE A COMPOZIȚIEI MIXTURILOR ASFALTICE.....	29
§2.1. Metoda Marshall.....	30
§2.2. Metoda volumetrică.....	32
§2.3. Metoda suprafeței specifice.....	34
§2.4. Metoda Kraemer.....	35
§2.6. Analiza comparativă a metodelor de proiectare a mixturilor asfaltice.....	38
Capitolul 3. STUDIU DE CAZ PRIVIND UTILIZAREA REZIDUURILOR INDUSTRIALE ÎN OBȚINEREA MIXTURILOR ASFALTICE.....	41
§3.1. Cenușă de termocentrală - CET Chișinău.....	41
§3.2. Zgură metalurgică - Metalferos / Fălești.....	43
§3.3. Sticlă măcinată - Uzine Chișinău / Bălți. Potențial de utilizare în mixturile asfaltice din Republica Moldova.....	45

§3.4. Mix combinat de deșuri industriale (cenușă de termocentrală + zgură metalurgică + sticlă măcinată) în mixturile asfaltice.....	47
Capitolul 4. EVALUAREA IMPACTULUI ECONOMIC ȘI ECOLOGIC AL UTILIZĂRII REZIDUURILOR INDUSTRIALE ÎN MIXTURILE ASFALTICE.....	51
§4.1. Beneficii economice ale utilizării reziduurilor industriale.....	51
§4.2. Beneficii asupra mediului.....	53
§4.3. Evaluarea conform principiilor economiei circulare.....	55
Concluzii generale și recomandări.....	59
Lista cu referințe bibliografice.....	62

## INTRODUCERE

Infrastructura rutieră reprezintă un element strategic al dezvoltării socio-economice în Republica Moldova, asigurând interconectarea localităților, accesul la servicii esențiale și facilitarea schimburilor comerciale interne și internaționale. Conform evaluărilor tehnice realizate în ultimii ani, o parte considerabilă a rețelei rutiere naționale și locale prezintă un grad accentuat de degradare, generat de factori precum: uzura structurală acumulată în timp, intensificarea traficului greu în absența unor consolidări adecvate, utilizarea frecventă a materialelor tradiționale, în contextul unui deficit tot mai accentuat de agregate naturale, condițiile climatice severe, ce provoacă îmbătrânirea accelerată a mixturilor asfaltice.

În paralel cu necesitatea modernizării infrastructurii rutiere, Republica Moldova se confruntă cu provocări legate de gestionarea eficientă a deșeurilor industriale și reducerea impactului asupra mediului. Integrarea acestora în materialele rutiere poate reprezenta o soluție strategică, sustenabilă și economică, în deplină concordanță cu tendințele globale de valorificare a subproduselor industriale.

Utilizarea reziduurilor industriale în compoziția mixturilor asfaltice devine o direcție tot mai relevantă, având în vedere beneficiile pe care acestea le pot aduce.

Materiale precum cenușa de termocentrală, zgura metalurgică, șlamul calcaros sau sticla măcinată manifestă potențial tehnic dovedit în numeroase studii internaționale, iar unele dintre ele sunt deja utilizate în țări din Uniunea Europeană, SUA și Asia. Republica Moldova, prin poziționarea sa economică și industrială, dispune de surse relevante de astfel de materiale, ceea ce facilitează introducerea lor în practica inginerescă.

Unul dintre principalele obstacole în execuția lucrărilor rutiere îl reprezintă accesul limitat la agregate naturale de calitate superioară.

Printre dificultățile identificate se numără:

- resurse geologice insuficiente în proximitatea centrelor urbane;
- costuri ridicate de extracție și transport;
- restricții ecologice privind exploatarea carierelor;
- variabilitatea calității materialelor extrase.

În acest context, utilizarea materialelor secundare poate compensa deficitul de agregate, contribuind totodată la creșterea durabilității structurilor rutiere prin înlocuirea parțială sau totală a anumitor fracții minerale sau a filerului.

Scopul principal al acestei teze constă în evaluarea posibilității utilizării reziduurilor industriale în compoziția mixturilor asfaltice, cu accent pe performanța mecanică, stabilitatea rutieră și impactul ecologic.

Obiectivele specifice, lucrării date sunt:

1. Identificarea tipurilor de reziduuri industriale aplicabile în infrastructura rutieră din Republica Moldova.

2. Analiza proprietăților fizico-chimice ale materialelor selectate: cenușă de termocentrală, zgură metalurgică, șlam calcaros și sticlă măcinată.

3. Proiectarea mixturilor asfaltice modificate cu înlocuiri parțiale ale agregatelor sau filerului.

4. Evaluarea performanțelor mecanice (densitate, stabilitate, rigiditate, volum de goluri) conform metodei Marshall și standardelor europene.

5. Analiza sensibilității la apă și comportamentul la îmbătrânire.

6. Formularea concluziilor privind fezabilitatea utilizării acestor reziduuri în infrastructura rutieră a Republicii Moldova.

În cadrul acestei cercetări se utilizează o metodologie integrată, structurată pe următoarele etape: documentarea teoretică privind utilizarea reziduurilor industriale în mixturi asfaltice; colectarea și caracterizarea materialelor provenite din surse industriale naționale (CET Chișinău, Metalferos etc.); determinări granulometrice și analize microstructurale (SEM/EDX - descriere metodologică); proiectarea dozajelor de mixturi asfaltice folosind metodele Marshall și volumetrice; execuția probelor experimentale pentru mixtura martor și mixturile modificate; evaluarea parametrilor fizico-mecanici; compararea rezultatelor prin analiza grafică și interpretare statistică; formularea concluziilor și recomandărilor privind utilizarea acestor materiale în construcțiile rutiere. Metodologia este construită în baza cerințelor standardelor europene EN 13108, precum și a normativelor în vigoare la nivel național.

Noutatea științifică a cercetării constă în: aplicarea concomitentă a patru tipuri de reziduuri industriale relevante pentru Republica Moldova în compoziția mixturilor asfaltice; elaborarea unui studiu experimental amplu, cu rezultate tehnice simulate, dar coerente cu realitatea inginerescă; analiza comparativă a performanțelor mixturilor modificate față de mixtura martor, conform criteriilor specifice infrastructurii rutiere locale; abordarea unei teme aliniată direct cu principiile economiei circulare și strategiile europene privind valorificarea materialelor secundare.

Importanța lucrării se manifestă prin: oferirea unei alternative reale la deficitul de agregate naturale; posibilitatea reducerii costurilor de producție a mixturilor asfaltice; diminuarea impactului ecologic al deșeurilor industriale; stimularea adoptării unor tehnologii moderne și sustenabile în domeniul construcțiilor rutiere.

Rezultatele obținute în cadrul tezei pot constitui fundament pentru studii viitoare, dar și pentru inițierea unor proiecte pilot în infrastructura rutieră națională.

## **Lista cu referințe bibliografice**

- [1] J. D'Angelo, J. Cowser, D.D. Newcomb, *Warm-Mix Asphalt: European Practice*, 2008.
- [2] European Asphalt Pavement Association, *The Use of Warm Mix Asphalt*. EAPA position paper, (2014). <http://www.eapa.org/> (accessed May 26, 2018).
- [3] R. Mallick, J. Bergendahl, A laboratory study on CO<sub>2</sub> emission from asphalt binder and its reduction with the use of warm mix asphalt, *International Journal of Sustainable Engineering*. 2 (2009) 275–283. <https://doi.org/10.1080/19397030903137287>.
- [4] N. Bower, H. Wen, S. Wu, K. Willoughby, J. Weston, J. DeVol, Evaluation of the performance of warm mix asphalt in Washington state, *International Journal of Pavement Engineering*. 17 (2016) 423–434. <https://doi.org/10.1080/10298436.2014.993199>.
- [5] C. Raab, I. Camargo, M.N. Partl, Ageing and performance of warm mix asphalt pavements, *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. 4 (2017) 388394. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2017.07.002>.
- [6] A. Topal, B. Sengoz, B.V. Kok, M. Yilmaz, P. Aghazadeh Dokandari, J. Oner, D. Kaya, Evaluation of mixture characteristics of warm mix asphalt involving natural and synthetic zeolite additives, *Construction and Building Materials*. 57 (2014) 38–44. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.093>.
- [7] A. Vaitkus, D. Čygas, A. Laurinavičius, Z. Perveneckas, Analysis and evaluation of possibilities for the use of Warm mix asphalt in Lithuania, *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering - BALT J ROAD BRIDGE ENG*. 4 (2009) 80–86. <https://doi.org/10.3846/1822-427X.2009.4.80-86>.
- [8] A. Vaitkus, D. Čygas, A. Laurinavičius, V. Vorobjovas, Z. Perveneckas, and Influence of warm mix asphalt technology on asphalt physical and mechanical properties, *Construction Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.212>.
- [9] G.C. Hurley, B.D. Prowell, Evaluation of Aspha-Min® Zeolite for Use in Warm Mix Asphalt, (2005). <https://trid.trb.org/view/787746>.
- [10] G. Hurley, B. Prowell, Evaluation of Sasobit® for use in warm-mix asphalt, 2005.
- [11] A. Ali, A. Abbas, M. Nazzal, A. Alhasan, A. Roy, D. Powers, Effect of temperature reduction, foaming water content, and aggregate moisture content on performance of foamed warm mix asphalt, *Construction and Building Materials*. 48 (2013) 1058–1066. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.07.081>
- [12] N. Bower, H. Wen, S. Wu, K. Willoughby, J. Weston, J. DeVol, Evaluation of the performance of warm mix asphalt in Washington state, *International Journal of Pavement Engineering*. 17 (2016) 423–434. <https://doi.org/10.1080/10298436.2014.993199>.

- [13 ] Motz, H., Geiseler, J., “Products of steel slags – an opportunity to save natural resources”, Waste Management, 2001.
- [14 ] FHWA, User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction, 2016.
- [15 ] EN 13043: Aggregates for bituminous mixtures.
- [16 ] A. CADOCINICOV, STUDIUL APLICĂRII ZGURII METALURGICE ÎN CONSTRUCȚIA DRUMURILOR//  
[https://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/https://repository.utm.md/bitstream/handle/5014/16646/Conf\\_Probleme\\_actuale\\_Urbanism\\_2021\\_p381-384.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/https://repository.utm.md/bitstream/handle/5014/16646/Conf_Probleme_actuale_Urbanism_2021_p381-384.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [ 17] Read, J., Whiteoak, D., The Shell Bitumen Handbook, ICE Publishing, 2003.
- [ 18] European Coal Combustion Products Association (ECOBA), FGD Gypsum, 2018.
- [19 ] EN 13043 – Aggregates for bituminous mixtures.
- [20 ] FHWA, Recycled Materials in Asphalt Pavements, 2017
- [ 21] White, G., Use of Plastic Waste in Asphalt, Construction Materials, 2019.
- [ 22] Rahman, M., Performance of Plastic-Modified Asphalt Mixtures, 2018.
- [23 ] Caltrans, Asphalt Rubber Usage Guide, 2016.
- [24 ] ASTM D6114 – Standard Specification for Asphalt-Rubber Binder.
- [25 ] European Commission, Circular Economy Action Plan, 2020.
- [26 ] FHWA, User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction, 2016.
- [27 ] Park, S.B., Lee, B.C., Kim, J.H., “Studies on mechanical properties of concrete containing waste glass aggregate”, Cement and Concrete Research, 2004.
- [28 ] Arabani, M., Azarhoosh, A.R., “The effect of recycled glass on asphalt mixtures”, Construction and Building Materials, 2012.
- [29 ] EN 13043 – Aggregates for bituminous mixtures.
- [ 30] <https://blog.wavin.com/en-gb/>
- [31 ] <https://transportation.org/>
- [32 ] <efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/https://www.standard.md/public/files/Hot-328-adoptare4d8b8.pdf>
- [33 ] <https://acreditare.md/>
- [34 ] <https://oatucl.md/>
- [ 35] <https://mded.gov.md/declaratia-ministerului-economiei-si-infrastructurii-in-legatura-cu-aplicarea-standardelor-en-la-producerea-mixturilor-asfaltice-executate-la-cald-pentru-intretinerea-si-reparatia-drumurilor-publice>

[36] Huang, Y. H./Pavement Analysis and Design. 2nd Edition, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2004.— Lucrare fundamentală privind comportarea mecanică a amestecurilor asfaltice și principiile de proiectare.

[ 37] Asphalt Institute/ MS-2: Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types. 7th Edition, Lexington, KY, 2014. — Document de bază pentru proiectarea amestecurilor asfaltice la nivel internațional.

[38] Asphalt Institute, MS-2: Mix Design Methods for Asphalt Concrete, Lexington, 2014.// <https://www.scribd.com/document/558949727/Asphalt-Institute-MS2-7th-Edition-Asphalt-Institute-Mix-Design>

[ 39] Roberts F.L. et al., Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction, NAPA, 1996// <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1853783>

[40] EN 12697-34, Bituminous mixtures – Test methods – Marshall test, CEN, Bruxelles// [https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/3932b867-10ea-4628-9113-dde2768f04b6/en-12697-34-2020?srltid=AfmBOop2smxO1\\_nTPIANiJehs-h18Mp\\_S7IPvzBo7k0Z94yD-7NvxRkh](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/3932b867-10ea-4628-9113-dde2768f04b6/en-12697-34-2020?srltid=AfmBOop2smxO1_nTPIANiJehs-h18Mp_S7IPvzBo7k0Z94yD-7NvxRkh)

[41] A. Nikolaides, Highway Engineering: Pavements, Materials and Control of Quality, CRC Press, 2014.// Anda Ligia BELC, Metode sustenabile de îmbunătățire a caracteristicilor reologice ale amestecurilor asfaltice

[42] Huang, Y.H., Pavement Analysis and Design, Pearson, 2004// <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1555821>

[ 43] Asphalt Institute, MS-2: Mix Design Methods for Asphalt Concrete, 2014// <https://www.scribd.com/document/558949727/Asphalt-Institute-MS2-7th-Edition-Asphalt-Institute-Mix-Design>

[ 44] EN 13108 / EN 12697 – Amestecuri asfaltice. Metode de încercare și cerințe volumetrice.

[45] Anda Ligia BELC, Metode sustenabile de îmbunătățire a caracteristicilor reologice ale amestecurilor asfaltice

[ 46] Duriez, M., Arrambide, J., Traité de matériaux routiers, Paris, 1962.// <efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.e-periodica.ch/cntmng?pid=bts-002:1962:88::218>

[ 47] Meininger, R.C. Asphalt Mixture Design Concepts, ASTM, 2004

[48] Kraemer, C., Bituminous Mixture Design Methods, Berlin, 1956.// <https://www.scribd.com/document/633145346/chapter-5-bituminous-mixes>

[49] Read, J., Whiteoak, D., The Shell Bitumen Handbook, Thomas Telford, London, 2003.// <https://www.scribd.com/document/118177123/Shell-Bitumen-HB>

[50] Strategic Highway Research Program (SHRP), Superpave Mix Design Manual, National Research Council, Washington, D.C., 1994.

- [ 51 ] Asphalt Institute, Superpave Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing, Manual Series No. 1 (MS-1), Lexington, 2003.
- [ 52 ] Roberts, F.L., Kandhal, P.S., Brown, E.R., Lee, D.Y., Kennedy, T.W., Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction, NAPA, 1996.
- [ 53 ] European Asphalt Pavement Association (EAPA), Asphalt in Figures, Brussels, 2018.
- [ 54 ] EN 13043 – Aggregates for bituminous mixtures and surface treatments.
- [ 55 ] EN 12697 – Bituminous mixtures – Test methods.
- [ 56 ] Mehta P.K., Monteiro P.J.M., Concrete: Microstructure, Properties, and Materials, McGraw-Hill, 2014.
- [ 57 ] Airey, G.D., State of the Art Report on Moisture Sensitivity of Asphalt Mixtures, Road Materials and Pavement Design, 2003.
- [ 58 ] European Commission, Waste Framework Directive 2008/98/EC
- [ 59 ] EAPA, Recycling of Industrial By-products in Asphalt, Bruxelles, 2020.
- [ 60 ] EN 1097-2 – Tests for mechanical and physical properties of aggregates – Los Angeles test.
- [ 61 ] Pasetto, M., Baldo, N., Performance-based analysis of asphalt concretes with steel slag, Construction and Building Materials, 2010.
- [ 62 ] Chiricuță Ion, Utilizarea cenușilor de termocentrală și a zgurilor de oțelărie în structurile rutiere.
- [ 63 ] Parlamentul Republicii Moldova, Legea nr. 209/2016 privind deșeurile, Monitorul Oficial al RM.
- [ 64 ] Ministerul Mediului al Republicii Moldova, Strategia de gestionare a deșeurilor 2013–2027, Chișinău.
- [ 65 ] Î.M. Regia Autosalubritate Chișinău, Raport anual privind gestionarea deșeurilor municipale, Chișinău.
- [ 66 ] Agenția de Mediu a Republicii Moldova, Raport privind fluxurile de deșeuri reciclabile, Chișinău.
- [ 67 ] Institutul de Ecologie și Geografie, AȘM, Studii privind valorificarea deșeurilor minerale în construcții, Chișinău.
- [ 68 ] Operatorii de reciclare din RM (ABS Recycling Moldova), Fișe tehnice pentru sticlă reciclată măcinată, Chișinău.
- [ 69 ] Administrația de Stat a Drumurilor, Norme tehnice pentru proiectarea și executarea îmbrăcăminților rutiere, Chișinău.
- [ 70 ] Universitatea Tehnică a Moldovei, Materiale alternative în construcțiile rutiere – note de curs și studii experimentale, Chișinău.

[71 ] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), AASHTO T 324 Standard Method of Test for Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Asphalt Mixtures, (2019).

[72 ] N. Santero, E. Masanet, A. Horvath, Life-cycle assessment of pavements. Part I: Critical review, *Resour. Conserv. Recycl.* 55 (2011) 801–809. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.03.010>.

[73 ] L.P. Thives, E. Ghisi, Asphalt mixtures emission and energy consumption: A review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 72 (2017) 473–484. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.087>.

[74 ] T. Schlegel, D. Puiatti, H.-J. Ritter, D. Lesueur, C. Denayer, A. Shtiza, The limits of partial life cycle assessment studies in road construction practices: A case study on the use of hydrated lime in Hot Mix Asphalt, *Transp. Res. Part Transp. Environ.* 48 (2016) 141–160. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.08.005>

[ 75 ] A.M. Rodríguez-Alloza, A. Malik, M. Lenzen, J. Gallego, Hybrid input–output life cycle assessment of warm mix asphalt mixtures, *J. Clean. Prod.* 90 (2015) 171– 182

[76 ] Administrația de Stat a Drumurilor, „Studii privind utilizarea materialelor alternative în construcția drumurilor”, Chișinău, 2021.

[77 ] Institutul de Proiectări în Construcții (INCERCOM), „Evaluarea impactului ecologic al mixturilor asfaltice modificate”, Chișinău, 2022.

[ 78 ] CET Chișinău, „Raport anual de mediu”, Chișinău, 2023.

[79] Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Construcții, „Cercetări privind utilizarea zgurii și cenușii în mixturi asfaltice”, Chișinău, 2020.

[80 ] Ministerul Mediului al Republicii Moldova, „Strategia națională de gestionare a deșeurilor 2013–2027”, Chișinău.