

Universitatea Tehnică a Moldovei



**Lantul de aprovizionare circular in proiectele de infrastructura. Reducerea
deseurilor si maximizarea reutilizarii resurselor**

Student: Andrian CALALB

gr. IST – 241-M

Conducător: Daniel LEPADATU

conf. univ. dr. abil.

Chişinău, 2026

Adnotarea

Prezenta lucrare a analizat lanțul de aprovizionare circular în proiectele de infrastructură rutieră, cu accent pe reducerea deșeurilor și maximizarea reutilizării resurselor, într-un context economic și tehnic marcat de presiuni crescânde asupra resurselor naturale și de necesitatea alinierii la principiile dezvoltării durabile. Studiul a evidențiat faptul că tranziția de la un lanț de aprovizionare liniar către unul circular reprezintă nu doar o opțiune strategică, ci o necesitate pentru infrastructura rutieră modernă.

Analiza conceptelor fundamentale ale economiei circulare și ale lanțului de aprovizionare a demonstrat că integrarea principiilor de reducere, reutilizare, reciclare și recuperare în proiectele de infrastructură rutieră conduce la creșterea eficienței utilizării resurselor, diminuarea impactului asupra mediului și optimizarea costurilor pe ciclul de viață al infrastructurii. În acest sens, materialele provenite din construcții și demolări, în special betonul reciclat, reprezintă o resursă valoroasă care poate fi reintegrată eficient în lanțul de aprovizionare rutier.

Lucrarea a arătat că utilizarea indicatorilor specifici economiei circulare constituie un instrument esențial pentru evaluarea performanței circulare a proiectelor de infrastructură. Indicatorii analizați permit cuantificarea gradului de circularitate, a eficienței utilizării resurselor și a beneficiilor economice și de mediu asociate. Totodată, aplicarea acestor indicatori evidențiază necesitatea unei abordări integrate, care să combine evaluarea cantitativă cu analiza calitativă a proceselor din lanțul de aprovizionare.

This paper has analyzed the circular supply chain in road infrastructure projects, with a focus on reducing waste and maximizing resource reuse, in an economic and technical context marked by increasing pressures on natural resources and the need to align with the principles of sustainable development. The study highlighted the fact that the transition from a linear to a circular supply chain is not only a strategic option, but a necessity for modern road infrastructure.

The analysis of the fundamental concepts of the circular economy and the supply chain has demonstrated that the integration of the principles of reduction, reuse, recycling and recovery in road infrastructure projects leads to increased resource efficiency, reduced environmental impact and optimized life cycle costs of the infrastructure. In this regard, construction and demolition materials, especially recycled concrete, represent a valuable resource that can be effectively reintegrated into the road supply chain.

The paper showed that the use of circular economy-specific indicators is an essential tool for assessing the circular performance of infrastructure projects. The indicators analyzed allow for the quantification of the degree of circularity, resource efficiency and associated economic and environmental benefits. At the same time, the application of these indicators highlights the need for an integrated approach, combining quantitative assessment with qualitative analysis of supply chain processes.

Cuprins

Capitolul 1 – Introducere	9
1. Contextul general al cercetării	9
2. Succese și provocări ale economiei circulare	9
3. Situația sectorului rutier în Republica Moldova.....	11
Capitolul 2 : Concepte ale lanțului de aprovizionare	12
1. Lantul liniar versus circular	12
2. Lantul de aprovizionare circular in proiectele de infrastructura rutiera	13
Tipuri de deșeuri utilizabile în infrastructură rutieră.....	13
Capitolul 3 : Ce este economia circulară ?	16
Prezentare generală a conceptului de economia circulară	16
Beneficiile economiei circulare	19
Protecția mediului.....	20
Reducerea dependenței de materii prime.....	20
Încurajarea inovării în economie	21
Crearea de noi locuri de muncă	22
Capitolul 4: Indicatori specifici pentru o economie circulara sustenabila.....	23
Introducere	23
1. Indicele efortului de dezasamblare (DEI).....	23
2. Indicele de sfârșit de viață (EoL).....	24
3. Indicator de reciclare setat	24
4.Indicatorul potențialului de reutilizare (RPI).....	24
5. Indicele Economiei Circulare (CEI)	24
7. Rata de beneficii a reciclabilității (RBR)	25
8.Raportul Eco-Cost Valoare (EVR)	25
9. Prototip de Indicator al Economiei Circulare (CEIP).....	25
10. Indicator economic sintetic de mediu	26
11. Indicator de longevitate	26
12. Scorul de reutilizare a materialelor (MRS).....	26
13.Indicele de reciclare (RI)	26
14. Indicatorul de performanță al economiei circulare (IPC)	26
15. Metrica de circularitate la nivel de produs (PLCM).....	27
17. Indici de sfârșit de viață.....	27
18. Indicele de reutilizare (IEOLRu).....	28
19. Indicele de remanufacturare (IEOLRm).....	28
20. Indicele de reciclare (IEOLRc).....	28
21. Indicele de incinerare.....	28
22. Indicele de dezirabilitate a reciclării (RDI)	28

23. Indicele circular durabil (SCI)	28
24. Indicatorul Global al Resurselor (GRI)	29
25. Set de indicatori: Indicatori de performanță ai sustenabilității,	29
27. Matricea combinată	29
28. Timp efectiv de dezasamblare	30
29. Metrica de ușurință a dezasamblării (eDiM)	30
30. Recuperarea valorii produsului la sfârșitul utilizării	30
31. Refabricare cu ajutorul instrumentului PROduct PROfiles	30
32. Calculator de circularitate	31
33. Indicatori la nivel mezo	31
34. Evaluarea cantitativă a aspectelor economice și de mediu	31
35. Productivitatea resurselor	31
Concluzii	31
Capitolul 5 : Materialele reciclabile din Constructii	33
Introducere	33
Tipuri de deseuri reciclabile in constructii	34
Reciclarea in contextual actual	36
Capitolul 6 : Reciclarea deșeurilor din construcții și demolări	42
Tipuri de deșeuri provenite din demolări	43
Betonul, deșeul provenit din demolări	44
Tehnologia de reciclare ale betonului	45
CONCLUZII	47
Capitolul 7 : Principalele frâne ale economiei circulare în infrastructura rutieră ..	49
1. Bariere tehnologice	49
2. Bariere economice și de piață	50
3. Bariere instituționale și de reglementare	50
4. Bariere culturale și organizaționale	51
5. Interdependența barierelor în infrastructura rutieră	51
Concluzii – Implicații pentru infrastructura rutieră	51
Capitolul 8 : Integrarea economiei circulare și a Industriei 4.0 în infrastructura rutieră din România și Republica Moldova	53
Introducere – Context specific infrastructurii rutiere din RO și MD	53
Rolul Industriei 4.0 în susținerea economiei circulare în infrastructura rutieră din RO și MD	53
Concluzii	55
Concluzii generale	56
Bibliografie selectiva	58

Introducere

1. Contextul general al cercetării

Provocările legate de echilibrarea dezvoltării industriale, a sănătății mediului și a oamenilor, precum și a creșterii economice în China și în alte părți ale lumii sunt factori determinanți pentru strategiile recente de utilizare a resurselor și de dezvoltare cu emisii reduse de carbon, care includ aplicarea conceptului de economie circulară (EC). O temă centrală a conceptului EC este evaluarea materialelor într-un sistem cu buclă închisă, cu scopul de a permite utilizarea resurselor naturale, reducând în același timp poluarea sau evitând constrângerile de resurse și susținând creșterea economică. Obiectivele acestui studiu sunt să revizuiască istoricul conceptului EC pentru a oferi un context pentru o examinare critică a modului în care este aplicat în prezent. Categoriile tematice sunt utilizate pentru a organiza analiza literaturii de specialitate privind aplicațiile actuale, inclusiv instrumentele și abordările politice; lanțurile valorice, fluxurile de materiale și produsele; și inovația tehnologică, organizațională și socială. Analiza literaturii de specialitate ilustrează variabilitatea succesului și eșecului proiectelor EC în timp și în funcție de regiune. Sunt identificate succesele EC, provocările cheie și lacunele în cercetare. Rezultatele analizei literaturii de specialitate oferă informații utile cercetătorilor, precum și grupurilor multipartite care doresc să definească conceptul EC în termeni practici și să ia în considerare potențialele provocări și oportunități pe care le prezintă atunci când este implementat.

Bibliografie selectiva

1. Allwood, JM, 2014. Evaluarea economiei circulare: rolul reciclării în cadrul unei ierarhii a strategiilor de gestionare a materialelor. În: Worrell, E., Reuter, M. (Eds.), Manual de reciclare: Starea actuală a artei pentru practicieni, analiști și oameni de știință, pp. 445e477.
2. Ghid, VDRJ, Van Wassenhove, LN, 2009. Sau forumul despre evoluția circuitelor închise Cercetarea lanțului de aprovizionare. Oper. Res. 57, 10e18.
3. Comisia Europeană. Studiu de analiză pentru identificarea potențialului economiei circulare acțiuni, prioritate sectoare, material fluxuri & valoare lanțuri; 2014.
4. Adibi, N., Lafhaj, Z., Yehya, M., Payet, J., 2017. Indicator global al resurselor pentru evaluarea impactului asupra ciclului de viață: aplicat în studiul de caz al turbinelor eoliene. J. Clean. Prod. 165, 1517e1528. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.226>.
5. Aldieri, L., Carlucci, F., Vinci, CP, Yigitcanlar, T., 2019. Inovația de mediu, diseminarea cunoștințelor și implicațiile politice: o analiză sistematică a literaturii privind efectele economice. J. Clean. Prod. 239, 118051
6. Z., Yehya, M., Payet, J., 2017. Indicator global al resurselor pentru evaluarea impactului asupra ciclului de viață: aplicat în studiul de caz al turbinelor eoliene. J. Clean. Prod. 165, 1517e1528. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.226>. Aldieri, L., Carlucci, F., Vinci, CP, Yigitcanlar, T., 2019.
7. Inovația de mediu, diseminarea cunoștințelor și implicațiile politice: o analiză sistematică a literaturii privind efectele economice. J. Clean. Prod. 239, 118051.
- Andersen, MS, 2007. O notă introductivă despre economia mediului înconjurător Economie circulară. Știința sustenabilității 2, 133e140.
- Arbolino, R., De Simone, L., 2019. Regândirea politicilor publice și private în Europa cu sprijinul unui indice de sustenabilitate industrială. Int. Environ. Agreements Polit. Law Econ.
8. Arbolino, R., De Simone, L., Carlucci, F., Yigitcanlar, T., Ioppolo, G., 2018a. Către o ecologie industrială durabilă: implementarea unei noi abordări în evaluarea performanței regiunilor italiene.
9. J. Clean. Prod. 178, 220e236. Arbolino, R., Carlucci, F., De Simone, L., Ioppolo, G., Yigitcanlar, T., 2018b. The Policy Diffusion of Environmental Performance in the European Countries Ecological Indicators, 89, pp. 130e138.
10. Arbolino, R., Yigitcanlar, T., L'Abbate, P., Ioppolo, G., 2019. Elaborarea unor politici eficiente de creștere: estimarea potențialelor de dezvoltare teritorială provincială. Land

- Use Pol. 86, 313e321. Arbolino, R., Boffardi, R., Ioppolo, G., 2020. O perspectivă asupra sectorului chimic italian: cum să l facem ecologic și eficient.
11. Clean. Prod. 264, 121674. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121674> . Azevedo, S., Godina, R., Matias, J., 2017. Propunere de indice circular sustenabil pentru companiile producătoare. Resurse 6, 63. <https://doi.org/10.3390/resources6040063>
 12. Wu Sediul central, Și Y, Xia Î, Zhu WD. Eficacitate de cel/cea/cei/cele politică de circular economie în China: o analiză bazată pe DEA pentru perioada secolului al XI-lea plan cincinal. Conservarea resurselor Reciclare 2014;83 : 163–75 .
 13. Wu R, Geng Y, Liu W. Tendințe privind amprenta resurselor naturale în BRIC (Brazilia, Rusia, India și China). J.Clean Prod. 201 .
 14. Zhu Q, Geng Y, Sarkis J. Schimbarea răspunsurilor organizaționale chineze la evoluție presiuni de ecologizare. Ecol Econ 2016 ; 121: 65–74 .
 15. Fujii M, Fujita T, Dong L, Lu C, Geng Y, Behera SK, Chiu ASF. Posibilitatea de în curs de dezvoltare emisii reduse de carbon industriei prin urban simbioză în asiatic orașe. J Curat Prod . 2016;114: 376–86 .
 16. Zhijun F, Baterea cuielor Y. Punând o circular economie în practica în China. Susțineți Știință 2007;2(1) : 95–101 .
 17. Wang H, Hashimoto S, Yue Î, Moriguchi Y, Lu Z. Decuplare analiză de patru țări selectate. J Ind Ecol 2013;17(4) : 618–29 .
 18. Naustdalslid J. Economia circulară în China – dimensiunea de mediu a societate armonioasă. Int J Sustain Dev World Ecol 2014;21(4):303 – 13 .
 19. Zhu Q, Geng Y, Lai KH. Practici de economie circulară în rândul producătorilor chinezi variații în cooperarea lanțului de aprovizionare orientată spre mediu și performanța implicații. J Mediu înconjurător Manager 2010;91(6) : 1324–31 .
 20. Jonas Grafström, Siri Aasma, Breaking circular economy barriers, Journal of Cleaner Production, Volume 292, 2021, 126002.
 21. Shubhangini Rajput, Surya Prakash Singh, Connecting circular economy and industry 4.0, International Journal of Information Management, Volume 49, 2019, Pages 98-113.
 22. Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. Journal of Cleaner Production, 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
 23. Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy – A new sustainability paradigm? Journal of Cleaner Production, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>

24. Haas, W., Krausmann, F., Wiedenhofer, D., & Heinz, M. (2015). How circular is the global economy? An assessment of material flows, waste production, and recycling in the European Union and the world in 2005. *Journal of Industrial Ecology*, 19(5), 765–777. <https://doi.org/10.1111/jiec.12244>
25. Korhonen, J., Nuur, C., Feldmann, A., & Birkie, S. E. (2018). Circular economy as an essentially contested concept. *Journal of Cleaner Production*, 175, 544–552. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.256>
26. Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
27. Ellen MacArthur Foundation. (2015). *Circularity indicators: An approach to measure circularity*. Cowes, UK.
28. European Commission. (2018). *Measuring progress towards circular economy in the European Union – Key indicators for a monitoring framework*. SWD(2018) 17 final.
29. European Commission. (2015). *Closing the loop: An EU action plan for the circular economy*. COM(2015) 614 final.
30. Eurostat. (2018). *Circular economy indicators – Monitoring framework*. European Commission.
31. Di Maio, F., & Rem, P. C. (2015). A robust indicator for promoting circular economy through recycling. *Journal of Environmental Protection*, 6, 1095–1104. <https://doi.org/10.4236/jep.2015.610096>
32. Di Maio, F., Baldé, K., & Polder, M. (2017). Measuring resource efficiency and circular economy: A market value approach. *Resources, Conservation & Recycling*, 122, 163–171. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.02.009>
33. Franklin-Johnson, E., Figge, F., & Canning, L. (2016). Resource duration as a managerial indicator for circular economy performance. *Journal of Cleaner Production*, 133, 589–598. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.023>
34. Figge, F., Thorpe, A. S., Givry, P., Canning, L., & Franklin-Johnson, E. (2018). Longevity and circularity as indicators of eco-efficient resource use in the circular economy. *Ecological Economics*, 150, 297–306. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.030>
35. Heshmati, A. (2017). A review of the circular economy and its implementation. *International Journal of Green Economics*, 11(3–4), 251–288. <https://doi.org/10.1504/IJGE.2017.089856>

36. Huysman, S., De Schaepmeester, J., Ragaert, K., Dewulf, J., & De Meester, S. (2017). Performance indicators for a circular economy: A case study on post-industrial plastic waste. *Resources, Conservation & Recycling*, 120, 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.01.013>
37. Huysman, S., et al. (2015). The recyclability benefit rate of closed-loop and open-loop systems. *Resources, Conservation & Recycling*, 101, 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.05.014>
38. Jacobsen, N. B. (2008). Industrial symbiosis in Kalundborg, Denmark: A quantitative assessment of economic and environmental aspects. *Journal of Industrial Ecology*, 10(1–2), 239–255. <https://doi.org/10.1162/108819806775545411>
39. Genovese, A., Acquaye, A. A., Figueroa, A., & Koh, S. C. L. (2017). Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2997–3010. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.071>
40. Geng, Y., Zhu, Q., Doberstein, B., & Fujita, T. (2009). Implementing industrial symbiosis in China. *Journal of Industrial Ecology*, 13(5), 757–772. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2009.00176.x>
41. Desing, H., Brunner, D., Takacs, F., Nahrath, S., Frankenberger, K., & Hirsch, R. (2020). A circular economy within the planetary boundaries. *Journal of Cleaner Production*, 255, 120155. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120155>
42. Kristensen, H. S., & Mosgaard, M. A. (2020). A review of micro-level indicators for a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 243, 118531. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118531>
43. Linder, M., Sarasini, S., & van Loon, P. (2017). A metric for quantifying product-level circularity. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 545–558. <https://doi.org/10.1111/jiec.12552>
44. De Pascale, A., Arbolino, R., Szopik-Depczyńska, K., et al. (2021). Circular economy and sustainability: An empirical analysis. *Journal of Cleaner Production*, 281, 124942. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124942>
45. Li, W. (2011). Comprehensive evaluation research on circular economic performance of ecoindustrial parks. *Energy Procedia*, 5, 1682–1688. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.03.287>
46. Liu, R. H., Su, C. H., & Cao, H. (2012). Evaluation of the circular economy development level of Chinese chemical enterprises. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 1595–1601. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.151>

47. Smol, M., Kulczycka, J., Avdiushchenko, A. (2017). Circular economy indicators in relation to eco-innovation in European regions. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(3), 669–678. <https://doi.org/10.1007/s10098-016-1323-8>
48. Su, B., Heshmati, A., Geng, Y., & Yu, X. (2013). A review of the circular economy in China. *Journal of Cleaner Production*, 42, 215–227. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.020>
49. Szopik-Depczyńska, K., et al. (2018). The study of relationship in a hierarchical structure of EU sustainable development indicators. *Ecological Indicators*, 90, 120–131.
50. Tiejun, D. (2010). Two quantitative indices for the planning and evaluation of eco-industrial parks. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(7), 442–448. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.09.010>
51. Van Schaik, A., & Reuter, M. A. (2016). Recycling indices visualizing the performance of the circular economy. *World Metallurgy – ERZMETALL*, 69, 201–216.
52. Wang, H. F., Hsu, H. W. (2010). A closed-loop logistic model with a spanning-tree based genetic algorithm. *Computers & Operations Research*, 37(2), 376–389. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2009.06.001>
53. Wen, Z., & Meng, X. (2015). Quantitative assessment of industrial symbiosis. *Journal of Cleaner Production*, 90, 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.041>