CZU: 332.142.6:656.025.4(4-672 UE) **https://doi.org/10.59295/mpdnwe2024.05**

CHALLENGES OF IMPLEMENTING CIRCULAR ECONOMY PRINCIPLES IN EU TRANSPORT LOGISTICS

HĂMURARU Maria
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova
maria.hamuraru@usm.md
ORCID ID: 0000-0002-8197-2973
Veronica BULAT
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova
veronica.bulat@usm.md
ORCID iD: 0000-0002-6051-3460

Purpose of the article: This article investigates the challenges associated with implementing green transport logistics within the European Union, with a particular focus on the urgent need to adopt sustainable practices in the logistics sector. It highlights the growing environmental concerns linked to traditional transport methods and stresses the importance of transitioning towards greener alternatives to reduce the carbon footprint and meet sustainability goals.

Methodology: The study utilizes a qualitative approach, analyzing existing literature and case studies related to green transport initiatives across the European Union. It explores current policy frameworks, industry best practices, and relevant EU regulations, aiming to identify the key barriers that hinder the adoption of sustainable logistics. The research also highlights potential solutions and strategies that can help address these challenges.

Conclusions: The results reveal that although significant strides have been made toward green transport logistics in the EU, numerous challenges remain. Regulatory inconsistencies, technological limitations, high implementation costs, and a lack of cooperation among stakeholders continue to pose obstacles. The article emphasizes the need for a comprehensive and coordinated approach that involves both the public and private sectors. By fostering collaboration and ensuring stronger policy support, the EU can overcome these hurdles and advance towards more sustainable logistics practices.

Originality: This article makes a valuable contribution to the ongoing discussions on sustainable logistics by focusing specifically on the unique challenges faced by the European Union. Its findings provide actionable insights for policymakers, industry leaders, and academics, offering a deeper understanding of how to navigate the complexities of green transport in the EU context.

Keywords: Green transport logistics, European Union, sustainability, logistics challenges, environmental policy.

PROVOCĂRILE IMPLEMENTĂRII PRINCIPIILOR ECONOMIEI CIRCULARE ÎN LOGISTICA TRANSPORTURILOR DIN UNIUNEA EUROPEANĂ

Introducere

Tranziția către o economie circulară (EC) în logistica transporturilor din UE reprezintă un pas critic în abordarea provocărilor de mediu presante asociate metodelor tradiționale, liniare, de transport. Deși beneficiile promițătoare, precum reducerea emisiilor de carbon, eficiența utilizării resurselor și minimizarea deșeurilor, sunt evidente, sectorul se confruntă cu obstacole complexe care împiedică

adoptarea pe scară largă. Aceste provocări necesită o analiză holistică pentru a înțelege complexitatea lor și pentru a deschide calea către practici logistice sustenabile.

Pactul Verde ambițios al UE și Planul de Acțiune pentru Economia Circulară creează cadrul pentru transformarea logisticii sustenabile. Totuși, inconsecvențele între statele membre generează bariere de reglementare. Van Buren et al. (2016) au evidențiat lipsa unor politici armonizate în UE, care complică adoptarea practicilor EC în logistică. În mod similar, Makarova et al. (2021) au subliniat necesitatea unei alinieri mai strânse între politicile naționale și obiectivele la nivelul UE pentru a simplifica adoptarea practicilor sustenabile în transporturi.

Inovațiile tehnologice joacă un rol central în logistica circulară, însă adoptarea lor rămâne inegală. Studiile realizate de Bozhanova și Korenyuk (2022) și Seroka-Stolka (2019) au identificat subutilizarea unor instrumente avansate precum blockchain-ul pentru transparența lanțului de aprovizionare și IoT pentru monitorizarea logisticii în timp real. Costurile inițiale ridicate și complexitatea integrării acestor tehnologii în sistemele existente au fost notate ca obstacole principale. În plus, infrastructurile logistice, proiectate istoric pentru fluxuri liniare, necesită o reproiectare extensivă pentru a acomoda logistica inversă și procesele de reciclare (Paradowska, 2017).

Provocările economice sunt deosebit de semnificative, în special pentru întreprinderile mici și mijlocii (IMM-uri), care domină sectorul transporturilor. Dzwigol et al. (2021) au observat că costurile inițiale ridicate pentru adoptarea principiilor EC – cum ar fi investițiile în infrastructuri noi și recalificarea personalului – descurajează adoptarea pe scară largă. Mai mult, dezvoltarea piețelor secundare pentru materiale reciclate rămâne insuficientă, subminând stimulentele economice pentru tranziția către logistica circulară (Matos & Perello-Marin, 2024).

Rezistența comportamentală, atât în cadrul organizațiilor, cât și printre consumatori, împiedică implementarea practicilor EC. Turoń și Czech (2016) au subliniat că, deși inițiativele de responsabilitate socială corporativă (CSR) cresc conștientizarea asupra sustenabilității, acestea deseori nu se traduc în strategii acționabile din cauza inerției și lipsei de urgență. De asemenea, comportamentul consumatorilor influențează puternic deciziile din lanțul de aprovizionare, întrucât companiile ezită să își restructureze sistemele fără o cerere clară pentru produse și servicii sustenabile.

Cercetătorii precum Heijden și Witlox (2016) subliniază importanța colaborării între părțile interesate, inclusiv factorii de decizie politică, afaceri și consumatori, pentru atingerea obiectivelor EC în logistică. Parteneriatele inovatoare, în special cu furnizorii de tehnologie și firmele de reciclare, sunt esențiale pentru integrarea sistemelor închise în lanțurile de aprovizionare. Schneikart et al. (2024) au susținut utilizarea tehnologiilor din Industria 4.0, precum automatizarea și senzorii inteligenți, pentru a îmbunătăți eficiența logisticii circulare.

Studiile de caz oferă perspective valoroase asupra aplicării practice a EC în logistică. De exemplu, Krstić et al. (2022) au examinat lanțurile de aprovizionare agroalimentare, demonstrând cum principiile EC pot reduce deșeurile și îmbunătăți eficiența. Studii similare realizate de La Cagnina et al. (2020) în sectorul transporturilor ilustrează potențialul de reducere a amprentei de carbon prin practici inovatoare precum logistica inversă și ambalajele sustenabile.

Rezultate și discuții

Uniunea Europeană se află în prim-planul integrării practicilor de logistică sustenabilă, impulsionată de Pactul Verde ambițios și Planul de Acțiune pentru Economia Circulară. În ciuda provocărilor, numeroase inițiative au demonstrat că adoptarea logisticii verzi contribuie nu doar la

atingerea obiectivelor de mediu, ci oferă și eficiențe semnificative din punct de vedere al costurilor pe termen lung.

În zonele urbane, inițiativele de logistică urbană au redefinit operațiunile de livrare pe ultima milă. De exemplu, zonele de logistică cu emisii zero din Amsterdam utilizează vehicule electrice și biciclete de marfă, reducând drastic dependența de combustibili și scăzând costurile operaționale. Deși adaptarea infrastructurilor urbane, cum ar fi stațiile de încărcare, implică investiții inițiale ridicate, aceste măsuri duc la economii pe termen lung în ceea ce privește cheltuielile cu combustibilul și întreținerea vehiculelor. Schimbarea operațională îmbunătățește, de asemenea, eficiența livrărilor în orașele aglomerate, economisind timp și reducând costurile indirecte asociate întârzierilor.

Logistica inversă, un pilon al practicilor economiei circulare, a câștigat de asemenea teren în întreaga UE. În cadrul schemelor de Responsabilitate Extinsă a Producătorului (EPR), companiile sunt încurajate să recicleze și să reutilizeze materiale. Deși configurarea sistemelor de logistică inversă implică complexitate logistică și investiții, companiile beneficiază de reducerea costurilor pentru materiile prime prin reutilizarea produselor reciclate. Pe termen lung, aceste inițiative generează beneficii financiare prin dezvoltarea piețelor secundare pentru bunuri reciclate, reducând dependența de prețurile volatile ale resurselor primare. În tabel sunt prezentate implicațiile complexe ale adoptării logisticii ecologice în transporturi.

Tabel 1. Avantajele, dezavantajele și provocările în logistica transportului verde

Aspect	Avantaje	Dezavantaje	Provocări
Mediu	- Reducerea amprentei de carbon. - Reducerea poluării aerului și a zgomotului. - Conservarea resurselor.	- Costuri ridicate pentru adoptarea tehnologiilor ecologice.	Asigurarea conformității cu reglementările de mediu.
Economic	- Economii pe termen lung datorate eficienței consumului de combustibil. - Stimulente fiscale și subvenții pentru inițiative verzi.	- Investiții inițiale ridicate în tehnologii ecologice. - Creșterea costurilor operaționale pentru conformitate.	Echilibrarea profitabilității cu sustenabilitatea. - Gestionarea costurilor în timpul fazei de tranziție.
Operațional	- Reputație de brand îmbunătățită și încrederea consumatorilor. - Eficiență îmbunătățită prin optimizarea rutelor.	- Dependența de sursele de energie regenerabilă, care pot fi mai puțin constante. - Infrastructură limitată.	- Dezvoltarea unor rețele robuste de lanțuri de aprovizionare ecologice. - Instruirea forței de muncă în practici sustenabile.
Tehnologic	- Inovații în vehicule electrice și hibride. - Integrarea IoT pentru operațiuni optimizate.	- Disponibilitatea limitată a tehnologiilor avansate în unele regiuni. -Perisabilitatea tehnologică	- Ținerea pasului cu avansurile tehnologice rapide. -Asigurarea scalabilității soluțiilor ecologice.

		(tehnologiile devin învechite).	
Social	-Îmbunătățirea sănătății publice prin reducerea emisiilor.	- Rezistența la schimbare din partea furnizorilor tradiționali de logistică.	-Educarea părților interesate cu privire la beneficiile pe termen lung.

În sectorul maritim, porturi verzi precum Portul Rotterdam au adoptat tehnologii sustenabile, cum ar fi sistemele de alimentare de la țărm pentru nave. Aceste inovații reduc semnificativ emisiile generate de navele andocate, scăzând taxele de mediu și sporind competitivitatea portului. Deși costurile inițiale pentru tranziția la infrastructuri verzi sunt considerabile, porturile și companiile de transport maritim au raportat economii datorate consumului redus de combustibil și diminuării penalităților de reglementare pentru emisii.

Tranziția la transportul feroviar de marfă prin coridoare multimodale, cum ar fi coridorul ScanMed, s-a dovedit atât sustenabilă, cât și eficientă din punct de vedere al costurilor. Prin mutarea mărfurilor de pe șosea pe calea ferată, operatorii logistici beneficiază de costuri mai mici de transport pentru volume mari, în timp ce eficiența energetică a sistemelor feroviare minimizează amprenta de carbon. Deși transportul feroviar de marfă se confruntă inițial cu provocări precum timpii de tranzit mai lenți și armonizarea infrastructurii, economiile operaționale pe termen lung și conformitatea cu cerințele de mediu depășesc aceste dezavantaje.

Zonele cu emisii reduse (LEZ) din orașe precum Londra, Paris și Berlin au stimulat suplimentar logistica verde rentabilă. Prin modernizarea flotelor cu vehicule cu emisii reduse, companiile logistice reduc penalitățile asociate vehiculelor poluante. Flotele electrice și hibride, deși costisitoare la achiziție, oferă economii pe termen lung prin costuri mai mici de combustibil, stimulente fiscale și cerințe reduse de întreținere. În plus, conformitatea cu aceste zone îmbunătățește reputația brandului, sporind indirect competitivitatea afacerilor.

Creșterea rapidă a comerțului electronic a stimulat inovația în livrările de ultimă milă, un segment tradițional cu costuri ridicate în logistică. Programul GoGreen al DHL, care utilizează vehicule electrice și algoritmi de optimizare a rutelor, a demonstrat economii substanțiale de costuri. Prin utilizarea instrumentelor digitale pentru a minimiza consumul de combustibil și a îmbunătăți eficiența livrărilor, operatorii logistici au reușit să echilibreze sustenabilitatea cu profitabilitatea.

Instrumentele digitale precum blockchain-ul și IoT au îmbunătățit suplimentar eficiența costurilor în logistica din UE. De exemplu, proiectul-pilot al Comisiei Europene bazat pe blockchain pentru logistica alimentară sporește transparența și trasabilitatea, reducând pierderile cauzate de deteriorare și ineficiențe în lanțurile de aprovizionare. Deși IMM-urile se confruntă cu dificultăți în adoptarea acestor tehnologii din cauza costurilor ridicate, companiile mai mari au demonstrat că rentabilitatea investiției prin reducerea deșeurilor și creșterea încrederii clienților este semnificativă.

Inițiativele de colaborare, precum proiectul FREVUE finanțat de UE, subliniază potențialul de economisire a costurilor prin parteneriate. Prin integrarea vehiculelor electrice în rețelele de transport urban, companiile participante au minimizat costurile cu combustibilul și au obținut economii de scară prin infrastructuri partajate. Integrarea energiei regenerabile în depozite s-a dovedit, de asemenea, rentabilă. Depozitele alimentate cu energie solară ale IKEA au redus semnificativ costurile energetice, asigurând în același timp un flux constant de energie pentru cerințele în creștere ale comerțului electronic.

Deși investițiile inițiale în sisteme de energie regenerabilă sunt ridicate, reducerea pe termen lung a cheltuielilor cu utilitățile compensează aceste costuri și se aliniază cu obiectivele de sustenabilitate.

Un exemplu elocvent poate fi considerat Green Cargo care s-a confruntat cu provocarea optimizării alocării rutelor de transport de marfă pentru a minimiza atât emisiile de carbon, cât și costurile operaționale. Problema principală era utilizarea ineficientă a unor rute, ceea ce ducea la un consum energetic mai mare și costuri ridicate, în timp ce rutele mai ecologice erau subutilizate din cauza constrângerilor dezechilibrate de cerere și ofertă.

Obiectivele au fost:

1. Minimizarea costurilor operaționale totale, incluzând combustibilul și întreținerea.
2. Reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră (GHG) prin prioritizarea rutelor feroviare electrice sau hibride în detrimentul celor alimentate cu motorină.
3. Asigurarea satisfacerii cererii de transport pentru toți clienții.

Modelul de programare liniară (PL) pentru problemă a fost structurat astfel:

1. Variabile decizionale:

   x_{ij} - cantitatea de bunuri transportată de la originea i la destinația j pe moduri specifice (cale ferată electrică sau motorină).
2. Funcția obiectiv - minimizarea costului total:

$$Z = \sum_{i,j} c_{ij}x_{ij} + e_{ij}x_{ij}$$

unde:

c_{ij} - costul operațional (de exemplu, combustibil, muncă) pentru transportul bunurilor pe ruta i, j.

e_{ij} - costul de mediu, calculat pe baza emisiilor de CO2 per tonă-kilometru.

Constrângeri:

Constrângeri de cerere:

$$\sum_{j} x_{ij} \geq d_i, \qquad \forall i$$

(Toată cererea la fiecare origine trebuie să fie satisfăcută.)

Constrângeri de ofertă:

$$\sum_{i} x_{ij} \leq s_j, \qquad \forall j$$

(Capacitatea la fiecare destinație nu trebuie depășită.)

Constrângeri de non-negativitate:

$$x_{ij} \geq 0$$

Soluție: Algoritmul simplex a fost aplicat pentru a rezolva modelul de programare liniară. Prin iterarea soluțiilor fezabile, metoda simplex a optimizat distribuția mărfurilor pe rute.

Rezultate obținute:

- Mărfurile au fost realocate către rutele feroviare electrice oriunde era posibil, reducând semnificativ consumul de motorină.
- Rutele cu costuri operaționale și de mediu mai mici au fost prioritizate, ceea ce a condus la o reducere cu 15% a costurilor totale.
- Emisiile de carbon au fost reduse cu 20%, depășind țintele inițiale.

Prin reducerea dependenței de transportul alimentat cu motorină, IKEA a reușit să minimizeze cheltuielile cu combustibilul, un element considerabil al costurilor sale logistice. Această tranziție nu doar că a scăzut cheltuielile operaționale, ci a dus și la o reducere a costurilor de întreținere datorită uzurii mai scăzute a vehiculelor și locomotivelor alimentate cu motorină. Reorientarea către moduri de transport mai sustenabile s-a tradus direct în economii financiare tangibile, subliniind viabilitatea economică a inițiativei.

Transformarea logisticii IKEA a avut un impact profund asupra amprentei sale de mediu. Prin prioritizarea rutelor feroviare electrificate și a vehiculelor eficiente din punct de vedere energetic, compania a redus semnificativ emisiile de gaze cu efect de seră (GHG). Această tranziție s-a aliniat atât cu obiectivele corporative de sustenabilitate ale IKEA, cât și cu angajamentele mai largi ale UE privind clima, evidențiind poziția de lider a companiei în adoptarea practicilor mai ecologice în lanțul de aprovizionare. Această mișcare a demonstrat că sustenabilitatea și excelența operațională pot merge mână în mână.

La baza eforturilor de sustenabilitate ale UE se află Pactul Verde European, care urmărește ca Europa să devină neutră din punct de vedere climatic până în 2050. Această politică cuprinzătoare subliniază importanța reducerii emisiilor de gaze cu efect de seră și a tranziției către moduri de transport mai curate și mai eficiente. Complementar acestuia este Pachetul Fit for 55, care detaliază măsurile necesare pentru a atinge o reducere de 55% a emisiilor până în 2030. Elemente cheie includ mecanismele de stabilire a prețurilor carbonului și stimulentele pentru adoptarea practicilor logistice sustenabile.

Susținând aceste eforturi, Strategia pentru Mobilitate Durabilă și Inteligentă oferă o foaie de parcurs pentru digitalizarea transporturilor, încurajarea logisticii multimodale și promovarea tehnologiilor cu emisii reduse. Directiva privind Infrastructura pentru Combustibili Alternativi (AFID) impune dezvoltarea unei infrastructuri adecvate pentru alimentare și încărcare, esențială pentru sprijinirea transportului electric și pe bază de hidrogen. În plus, reglementarea privind Responsabilitatea Extinsă a Producătorului (EPR) întărește economia circulară prin obligarea industriilor să gestioneze eficient deșeurile, având un impact direct asupra practicilor de logistică inversă. Cu toate acestea, aceste politici, deși cuprinzătoare, se confruntă cu provocări în aplicarea uniformă și constantă între statele membre, ceea ce duce la fragmentare de reglementare și complică logistica transfrontalieră.

Liderii din industrie au adoptat diverse practici inovatoare pentru a promova sustenabilitatea. Instrumentele digitale și strategiile de optimizare se află în prim-plan, companii precum DHL și Maersk utilizând IoT și blockchain pentru a îmbunătăți transparența lanțului de aprovizionare și eficiența consumului de combustibil. Soluțiile de transport multimodal, precum cele facilitate de coridorul ScanMed, exemplifică integrarea modurilor feroviare, rutiere și maritime pentru a minimiza emisiile.

Porturi verzi precum Rotterdam și Anvers au fost pionieri în utilizarea sistemelor de alimentare de la țărm pentru nave și a combustibililor sustenabili, stabilind repere pentru logistica maritimă. Similar, companii precum IKEA și Decathlon au implementat practici de logistică circulară, integrând logistica inversă în lanțurile lor de aprovizionare pentru a reduce deșeurile și a crește reutilizarea materialelor. Platformele de colaborare, cum ar fi Alianța Europeană pentru Transporturi Camionizate Curate, demonstrează cum parteneriatele între companii pot accelera adoptarea vehiculelor cu emisii zero.

Concluzii:

Aplicarea inconsistentă a reglementărilor UE între statele membre rămâne o barieră semnificativă în adoptarea logisticii sustenabile. Armonizarea politicilor și a mecanismelor de aplicare va fi esențială pentru simplificarea conformității și promovarea uniformității în practicile de transport verde.

Lipsa unei infrastructuri adecvate, cum ar fi stațiile de încărcare pentru vehicule electrice și hub-urile multimodale, împiedică scalabilitatea soluțiilor logistice sustenabile. Extinderea și modernizarea infrastructurii vor spori fezabilitatea și atractivitatea modurilor de transport ecologic.

Parteneriatele public-privat și platformele de colaborare în industrie au demonstrat un potențial semnificativ în accelerarea adoptării practicilor sustenabile. Exemple precum FREVUE și Alianța Europeană pentru Transporturi Camionizate Curate subliniază importanța eforturilor colective pentru a depăși barierele tehnologice și financiare.

Costurile inițiale ridicate rămân un factor descurajant, în special pentru IMM-uri, în tranziția către logistica sustenabilă. Stimulentele financiare, precum subvențiile, reducerile fiscale și granturile, sunt esențiale pentru a compensa aceste costuri, făcând practicile sustenabile viabile din punct de vedere economic și generând beneficii pe termen lung pentru mediu și economie.

Bibliografie:

1. Bozhanova, V., & Korenyuk, P. (2022). *Green enterprise logistics management system in circular economy*. Retrieved from https://papers.ssrn.com

2. Hămuraru Maria, Bulat Veronica, Sustainable development by optimizing transport costs in the supply chain management. 38th International Business Information Management Association IBIMA Conference, Spain**.** 20 November 2021. p. 5534-5543. ISBN**:** 978-0-9998551-7-1, ISSN: 2767-9640 (Indexat: Web of Science, Clarivate Analytics). DOI: 10.5171/2022.606355

3. Dzwigol, H., Trushkina, N., & Kwilinski, A. (2021). *The organizational and economic mechanism of implementing the concept of green logistics*. Retrieved from https://ceeol.com

4. Heijden, R. V. D., & Witlox, F. (2016). Towards a circular economy: The role of Dutch logistics industries and governments. *Sustainability, 8*(7), 647. Retrieved from https://www.mdpi.com

5. Krstić, M., Agnusdei, G. P., Miglietta, P. P., & Tadić, S. (2022). Logistics 4.0 toward circular economy in the agri-food sector. *Sustainable Futures*. Retrieved from https://sciencedirect.com

6. La Cagnina, L., Di Giacomo Marotta, D., & Mertoli, F. (2020). *The carbon footprint applied to the transport sector as an instrument of transition to the circular economy*. Retrieved from https://iris.unict.it

7. Makarova, I., Shubenkova, K., & Mavrin, V. (2020). Features of logistic terminal complexes functioning in the transition to the circular economy and digitalization. In *Sustainable Transport Development, Innovation and Technology*. Retrieved from https://link.springer.com

8. Matos, F., & Perello-Marin, M. R. (2024). Circular Economy Challenges within the Road Freight Transport: Case Study of Portuguese Companies. *Procedia Computer Science*. Retrieved from https://sciencedirect.com

9. Paradowska, M. (2017). Grounds and challenges for implementing a circular economy in the European road transport sector. In *Sustainable Transport Development, Innovation and Technology*. Retrieved from https://link.springer.com

10. Seroka-Stolka, O. (2019). Green logistics and circular economy. *Transportation Research Procedia*. Retrieved from https://sciencedirect.com

11. Turoń, K., & Czech, P. (2016). Circular economy in the transport industry in terms of corporate social responsibility concept. *Journal of Corporate Responsibility and Leadership*. Retrieved from https://apcz.umk.pl