



Universitatea Tehnică a Moldovei

REUTILIZAREA ȘI VALORIFICAREA ECHIPAMENTELOR FOTOVOLTAICE ÎN CONTEXTUL ECONOMIEI CIRCULARE

Student: Popovschi Dan, ACGV-241M

Conducător: Begleț Natalia, conf. univ., dr.

Chișinău, 2026

REZUMAT

Popovschi Dan: „Reutilizarea și valorificarea echipamentelor fotovoltaice în contextul economiei circulare”, teză pentru obținerea titlului de master în inginerie, domeniul ACGV, Chișinău, 2026.

Teza este structurată în introducere, cinci capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie, figuri, tabele și anexe.

Cuvinte-cheie: sisteme fotovoltaice, economie circulară, reutilizare, reciclare, eficiență energetică, energie regenerabilă.

Lucrarea abordează problematica utilizării sustenabile a resurselor în sectorul energetic, cu accent pe necesitatea gestionării eficiente a echipamentelor fotovoltaice la sfârșitul ciclului de viață, în contextul dezvoltării accelerate a energiei regenerabile și al reducerii impactului asupra mediului. Extinderea utilizării sistemelor fotovoltaice conduce la acumularea unui volum semnificativ de deșeuri electronice, ceea ce impune implementarea unor soluții eficiente de reutilizare și valorificare a acestora.

Obiectivul principal al cercetării constă în analiza metodelor de reutilizare, recondiționare și reciclare a echipamentelor fotovoltaice, în vederea integrării acestora în modelul economiei circulare și reducerii impactului asupra mediului. În acest sens, au fost analizate conceptele de economie circulară, structura și funcționarea sistemelor fotovoltaice, precum și procesele de degradare și durata de viață a echipamentelor.

Metodologia de cercetare include analiza documentară a literaturii de specialitate și a cadrului normativ, metode comparative pentru evaluarea soluțiilor tehnologice existente, analiza ciclului de viață al echipamentelor fotovoltaice, precum și evaluări tehnico-economice și de mediu. De asemenea, a fost realizată o analiză a cadrului legislativ european și național și a posibilităților de implementare a soluțiilor propuse în Republica Moldova.

Rezultatele obținute evidențiază faptul că reutilizarea și reciclarea echipamentelor fotovoltaice permit recuperarea unei proporții ridicate de materiale valoroase și contribuie la reducerea consumului de resurse și a impactului asupra mediului. Totodată, s-a constatat că aplicarea principiilor economiei circulare conduce la optimizarea utilizării resurselor și la creșterea eficienței economice a sistemelor energetice.

În concluzie, reutilizarea și valorificarea echipamentelor fotovoltaice reprezintă o soluție tehnic viabilă și sustenabilă pentru dezvoltarea sectorului energetic, contribuind la reducerea deșeurilor, conservarea resurselor naturale și la creșterea sustenabilității sistemelor energetice.

ABSTRACT

Popovschi Dan: “Reuse and Valorization of Photovoltaic Equipment in the Context of the Circular Economy”, Master’s thesis in Engineering, ACGV field, Chișinău, 2026.

The thesis is structured into an introduction, five chapters, general conclusions and recommendations, a bibliography, figures, tables, and annexes.

Keywords: photovoltaic systems, circular economy, reuse, recycling, energy efficiency, renewable energy.

The paper addresses the issue of sustainable resource use in the energy sector, focusing on the need for efficient management of photovoltaic equipment at the end of its life cycle, in the context of the rapid development of renewable energy and the reduction of environmental impact. The expansion of photovoltaic systems leads to the accumulation of a significant amount of electronic waste, which requires the implementation of efficient reuse and valorization solutions.

The main objective of the research is to analyze the methods of reuse, refurbishment, and recycling of photovoltaic equipment in order to integrate them into the circular economy model and reduce environmental impact. In this regard, the concepts of circular economy, the structure and operation of photovoltaic systems, as well as the degradation processes and lifetime of the equipment were analyzed.

The research methodology includes the documentary analysis of specialized literature and the regulatory framework, comparative methods for evaluating existing technological solutions, life cycle analysis of photovoltaic equipment, as well as techno-economic and environmental assessments. In addition, an analysis of the European and national legislative framework and the possibilities for implementing the proposed solutions in the Republic of Moldova was carried out.

The obtained results highlight that the reuse and recycling of photovoltaic equipment allow the recovery of a high proportion of valuable materials and contribute to reducing resource consumption and environmental impact. At the same time, it was found that the application of circular economy principles leads to the optimization of resource use and increased economic efficiency of energy systems.

In conclusion, the reuse and valorization of photovoltaic equipment represent a technically viable and sustainable solution for the development of the energy sector, contributing to waste reduction, conservation of natural resources, and increased sustainability of energy systems.

Cuprins

REZUMAT	5
ABSTRACT	6
INTRODUCERE	9
1. ECONOMIA CIRCULARĂ ÎN SECTORUL ENERGETIC.....	12
1.1 Conceptul și principiile economiei circulare.....	12
1.2 Economia circulară în domeniul energiei regenerabile.....	14
1.3 Politici și reglementări privind economia circulară	17
CONCLUZII	21
2. SISTEME FOTOVOLTAICE ȘI COMPONENTELE ACESTORA	24
2.1 Principiul de funcționare al sistemelor fotovoltaice	24
2.2 Componentele principale ale sistemelor fotovoltaice	26
2.3 Durata de viață și degradarea echipamentelor fotovoltaice	29
CONCLUZII	32
3. REUTILIZAREA ȘI VALORIFICAREA ECHIPAMENTELOR FOTOVOLTAICE	35
3.1 Reutilizarea panourilor fotovoltaice.....	35
3.2 Reciclarea componentelor sistemelor fotovoltaice	38
3.3 Beneficiile economice și ecologice ale reutilizării	42
3.4 Exemple de bune practici la nivel internațional.....	46
3.5 Provocări și limitări în reutilizarea echipamentelor fotovoltaice.....	48
CONCLUZII	49
4. ANALIZA CADRULUI LEGISLATIV ȘI A POSIBILITĂȚILOR DE IMPLEMENTARE ÎN REPUBLICA MOLDOVA	52
4.1 Cadrul legislativ privind energia regenerabilă în Republica Moldova	52
4.2 Reglementări privind deșeurile electronice și echipamentele fotovoltaice	55
4.3 Analiza situației actuale în Republica Moldova	57
4.4 Propuneri și direcții de dezvoltare privind reutilizarea și reciclarea echipamentelor fotovoltaice	60
CONCLUZII	62
5. ANALIZA IMPACTULUI ECONOMIC ȘI DE MEDIU AL REUTILIZĂRII ECHIPAMENTELOR FOTOVOLTAICE.....	65

5.1 Impactul economic al reutilizării echipamentelor fotovoltaice	65
5.2 Impactul asupra mediului al reutilizării echipamentelor fotovoltaice	66
5.3 Analiza comparativă: reutilizare, reciclare și utilizarea echipamentelor noi	68
CONCLUZII	70
CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI.....	72
BIBLIOGRAFIE	74

INTRODUCERE

În contextul actual al dezvoltării economice globale și al intensificării presiunilor asupra mediului înconjurător, sectorul energetic se confruntă cu provocări majore legate de asigurarea securității energetice, reducerea dependenței de resursele fosile și diminuarea impactului negativ asupra mediului. Creșterea continuă a consumului de energie, determinată de dezvoltarea industrială, urbanizare și creșterea nivelului de trai, este corelată cu epuizarea progresivă a resurselor convenționale și cu accentuarea fenomenelor climatice extreme. În acest context, tranziția către un sistem energetic sustenabil devine o necesitate strategică, susținută atât de politicile internaționale, cât și de angajamentele asumate la nivel european privind neutralitatea climatică și dezvoltarea durabilă [1], [4].

Sursele regenerabile de energie, în special energia solară, ocupă un rol central în acest proces de transformare, datorită caracterului lor inepuizabil și impactului redus asupra mediului. Tehnologiile fotovoltaice, bazate pe conversia directă a energiei solare în energie electrică, au cunoscut o dezvoltare accelerată în ultimele decenii, fiind susținute de progrese tehnologice semnificative și de politici publice orientate spre decarbonizare. Extinderea utilizării sistemelor fotovoltaice în sectorul rezidențial, industrial și comercial a condus la creșterea considerabilă a capacităților instalate la nivel global, consolidând poziția acestora ca soluție viabilă pentru producerea de energie curată [24], [25].

Cu toate acestea, dezvoltarea rapidă a tehnologiilor fotovoltaice generează și o serie de provocări emergente, în special în ceea ce privește gestionarea echipamentelor la sfârșitul ciclului de viață. Panourile fotovoltaice au o durată de exploatare estimată la aproximativ 25–30 de ani, după care randamentul acestora scade sub nivelul optim din punct de vedere economic. În lipsa unor strategii eficiente de gestionare, aceste echipamente pot deveni o sursă semnificativă de deșeuri electronice, având în vedere conținutul lor în materiale precum sticla, aluminiul, siliciul și metalele conductoare. În același timp, aceste materiale reprezintă resurse valoroase, care pot fi recuperate și reutilizate în procesele de producție.

În acest context, conceptul de economie circulară se conturează ca o soluție sustenabilă pentru gestionarea resurselor, propunând un model economic bazat pe menținerea valorii produselor și materialelor în circuitul economic pentru o perioadă cât mai îndelungată. Spre deosebire de modelul liniar tradițional „extracție–producție–consum–eliminare”, economia circulară promovează reutilizarea, recondiționarea și reciclarea produselor, contribuind la reducerea consumului de resurse naturale și a cantității de deșeuri generate. Aplicarea acestui model în

sectorul energiei regenerabile, în special în domeniul sistemelor fotovoltaice, reprezintă o direcție esențială pentru asigurarea sustenabilității pe termen lung a acestui sector .

Actualitatea temei este determinată de necesitatea identificării și implementării unor soluții eficiente pentru gestionarea echipamentelor fotovoltaice uzate, în concordanță cu obiectivele de dezvoltare durabilă, politicile Uniunii Europene privind economia circulară și cerințele de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră. În condițiile în care volumul echipamentelor fotovoltaice scoase din uz este în continuă creștere, devine imperativă dezvoltarea unor tehnologii și strategii care să permită valorificarea acestora, reducând astfel impactul asupra mediului și optimizând utilizarea resurselor.

Obiectul de studiu al lucrării îl constituie echipamentele fotovoltaice și procesele asociate ciclului lor de viață, cu accent pe analiza posibilităților de reutilizare, recondiționare și reciclare în cadrul modelului economiei circulare. Sunt investigate atât caracteristicile tehnice ale sistemelor fotovoltaice și ale componentelor acestora, cât și impactul economic și de mediu generat de utilizarea și valorificarea acestora.

Scopul lucrării constă în analiza complexă a metodelor de reutilizare și valorificare a echipamentelor fotovoltaice, în vederea identificării unor soluții eficiente pentru integrarea acestora în cicluri sustenabile de utilizare. Totodată, lucrarea urmărește evaluarea impactului acestor soluții asupra mediului și economiei, precum și formularea unor recomandări privind implementarea principiilor economiei circulare în domeniul energiei regenerabile.

Pentru realizarea scopului propus, sunt formulate o serie de **obiective specifice**, care vizează:

- analiza conceptului de economie circulară și a aplicabilității acestuia în sectorul energetic;
- studierea structurii și funcționării sistemelor fotovoltaice;
- evaluarea duratei de viață și a proceselor de degradare a echipamentelor;
- analiza metodelor existente de reutilizare și reciclare a componentelor;
- examinarea cadrului legislativ și a posibilităților de implementare în Republica Moldova;
- evaluarea impactului economic și de mediu al reutilizării echipamentelor fotovoltaice.

Semnificația practică a cercetării este determinată de relevanța rezultatelor pentru domeniul ingineriei energetice și al protecției mediului. Implementarea soluțiilor propuse poate contribui la reducerea cantității de deșeuri electronice, la creșterea eficienței utilizării resurselor și la optimizarea costurilor asociate ciclului de viață al sistemelor fotovoltaice. De asemenea, rezultatele pot fi utilizate de către autorități publice, specialiști în domeniu și operatori

economici pentru dezvoltarea unor strategii și politici eficiente în domeniul energiei regenerabile și al economiei circulare.

Metodele de cercetare utilizate în cadrul lucrării includ analiza documentară a literaturii de specialitate și a cadrului normativ național și european, metode analitice și comparative pentru evaluarea soluțiilor tehnologice existente, analiza ciclului de viață al echipamentelor fotovoltaice, precum și metode de evaluare tehnico-economică și de mediu. Abordarea cercetării este una interdisciplinară, integrând aspecte ingineresti, economice și ecologice, ceea ce permite o analiză complexă și fundamentată a problematicii studiate [11], [15].

Prin abordarea temei propuse, lucrarea contribuie la dezvoltarea cunoștințelor în domeniul utilizării sustenabile a resurselor și evidențiază importanța integrării principiilor economiei circulare în sectorul energetic, în vederea realizării unui sistem energetic eficient, rezilient și prietenos cu mediul.

BIBLIOGRAFIE

1. Legea nr. 10/2016 privind promovarea utilizării energiei din surse regenerabile, Monitorul Oficial al Republicii Moldova, 2016.
2. Legea nr. 209/2016 privind deșeurile, Monitorul Oficial al Republicii Moldova, 2016.
3. Legea nr. 174/2017 cu privire la energetică, Monitorul Oficial al Republicii Moldova, 2017.
4. Strategia energetică a Republicii Moldova până în 2030, Guvernul Republicii Moldova.
5. Hotărârea Guvernului nr. 212/2018 privind deșeurile de echipamente electrice și electronice, Monitorul Oficial al Republicii Moldova, 2018.
6. Begleț N., Nicolaev E., Analiza confortului termic în clădirile publice. Studiu de caz, Romanian Journal of Civil Engineering, 2025, Vol. 16, Issue 4, p. 363, ISSN 2068-3987.
<https://doi.org/10.37789/rjce.2025.16.4.2>
7. Begleț N., Nicolaev E., Leanca L., Evaluarea eficienței energetice în instituțiile de învățământ din Republica Moldova: Studiu de caz pe baza rapoartelor de audit energetic, Conferințele Instalații pentru construcții și economia de energie, Iași, 2025, p. 35–52, ISSN 2069-1211.
8. Begleț N., Nicolaev E., Haiducova M., Leanca L., Evoluția cerințelor de performanță energetică a clădirilor în Republica Moldova: analiză comparativă și aplicații practice, Conferințele AIIR, Iași, 2025, p. 27–35, ISSN 2069-1211.
9. Begleț N., Ciutac-Nicolaev E., Promovarea și implementarea conceptelor legate de reciclarea deșeurilor din construcții și demolări, Conferință internațională, 2024, ISSN 2069-1211.
10. Begleț N., Termotehnica construcțiilor: Îndrumar aplicativ pentru orele practice, Chișinău, UTM, 2024.
11. Guțu-Chetrușca C., Braga D., Energy Crises—Energy Transition Driving Force, Proceedings of SIELMEN, 2023.
<https://doi.org/10.1109/SIELMEN59038.2023.10290742>
12. Braga D., Guțu-Chetrușca C., Hlusuș V., Biomass Potential and Suitable Technologies for Valorifying Biomass in District Heating Systems in the Republic of Moldova, Proceedings of SIELMEN, Craiova, 2025.
<https://doi.org/10.1109/SIELMEN67352.2025.11260674>

13. Mathieu-Mann A., Guțu-Chetrușca C., Comparative Energy Approaches in France and Republic of Moldova, Proceedings of SIELMEN, Craiova, 2025.
<https://doi.org/10.1109/SIELMEN67352.2025.11260741>
14. Guțu-Chetrușca C., Guțu A., Republic of Moldova Power Energy in the Pandemic, Journal of Engineering Science, 2021, Vol. 28, No. 4, p. 27–33.
[https://doi.org/10.52326/jes.utm.2021.28\(4\).02](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2021.28(4).02)
15. Guțu-Chetrușca C., Braga D., Integration of variable energy sources in energy systems, Journal of Engineering Science, 2022, Vol. 29, No. 2, p. 54–61.
[https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29\(2\).05](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29(2).05)
16. Guțul V. G., Zaițev O., Colomieț T., Calitatea aerului interior și eficiența energetică a clădirilor, Chișinău, 2020, ISBN 978-9975-3299-5-8.
17. Guțul V. G., Guțul V. I., Bazele aerodinamicii ventilării, Chișinău, 2025, ISBN 978-9975-3686-9-8.
18. Guțul V. G., Leu V., Grigore V., Analysis of the possibility of reducing energy consumption through the bivalent heating scheme with heat pump intercalation, Revista Ingineria Instalațiilor, 2026, p. 18–21, ISSN 2810-5303.
19. Danici-Guțul V., Grebinicenco V., Analysis of engineering solutions implemented for a hotel, Romanian Journal of Civil Engineering, 2024, Vol. 15, Issue 3, p. 349–355.
<https://doi.org/10.37789/rjce.2024.15.3.15>
20. International Energy Agency, Renewables 2023 Report, Paris, 2023.
21. International Renewable Energy Agency (IRENA), End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels, 2016.
22. United Nations Environment Programme (UNEP), Global E-waste Monitor, 2020.
23. World Bank, Energy Transition and Circular Economy Reports.
24. European Commission, Circular Economy Action Plan, Bruxelles, 2020.
25. European Commission, The European Green Deal, Bruxelles, 2019.
26. Directiva 2012/19/UE privind deșeurile de echipamente electrice și electronice (WEEE), 2012.
27. Agenția pentru Eficiență Energetică, Rapoarte și date statistice, Chișinău.
28. ANRE, Rapoarte privind piața energiei din Republica Moldova, Chișinău.
29. ECOTIC, Reciclarea panourilor fotovoltaice: provocări și bune practici.
<https://www.ecotic.ro/articole/reciclarea-panourilor-fotovoltaice-provocari-si-bune-practici/>

30. Genersy, Reciclarea panourilor fotovoltaice: problemă sau soluție.

<https://genersy.ro/resurse/blog/reciclarea-panourilor-fotovoltaice-problema-sau-solutie>

31. Circular Economy: Principles and Practice, Academic Press.

32. Renewable Energy Systems, Wiley Publishing.