

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII
AL REPUBLICII MOLDOVA**

**Universitatea Tehnică a Moldovei
Facultatea Energetică și Inginerie Electrică
Departamentul Energetică**

Admis la susținere

Șefă departament:

HLUSOV Viorica, conf. univ., dr.

„_____” _____ 2025

**Integrarea surselor regenerabile și a sistemelor de
stocare a energiei într-o microrrețea**

Teză de master

Masterand: _____ *Semnătura* _____ **DIACOV Corina,**
gr. EM-23M

Conducător: _____ *Semnătura* _____ **BRAGA Dumitru,**
dr. ing., lect.univ.

Chișinău, 2025

ADNOTARE

Autor – DIACOV Corina. **Titlul** – *Integrarea surselor regenerabile și a sistemelor de stocare a energiei într-o microrețea.*

Structura lucrării: lucrarea conține o introducere, patru capitole, concluzii, bibliografie din 29 titluri și 14 link-uri utilizate, 120 pagini, 48 figuri, 16 tabele.

Cuvinte-cheie: consum de energie, microrețele, sistem de stocare, surse regenerabile, panou fotovoltaic, centrală eoliană.

Problematica studiului: identificarea și analiza provocărilor și oportunităților asociate implementării microrețelilor, inclusiv integrarea acestora în sistemele electroenergetice naționale, gestionarea eficientă a surselor de energie distribuită, optimizarea proceselor de stocare a energiei.

Obiectivele studiului: analiza stării actuale, tendințele și componentele microrețelilor, să se propună soluții pentru implementarea și integrarea acestora în sistemul electroenergetic.

Rezultate obținute: în urma studiului s-a demonstrat posibilitatea eficientă a integrării surselor regenerabile și de stocare a energiei într-o microrețea, inclusiv integrarea acestora în sistemul electroenergetic național.

ABSTRACT

Author – DIACOV Corina. **Title** – *Integrating renewable energy sources and energy storage systems into a microgrid.*

Thesis structure: The paper comprises an introduction, four chapters, conclusions, 29 references and 14 links used, 120 pages, 48 figures, 16 tables.

Keywords: energy consumption, micro-grids, storage system, renewable energy sources, photovoltaic panel, wind power station.

Study issues: identification and analysis of the challenges and opportunities associated with the implementation of microgrids, including their integration into national power systems, efficient management of distributed energy sources, optimization of energy storage processes.

The study's objectives: to analyze the current status, trends and components of microgrids, to propose solutions for their implementation and integration into the power system.

Result obtained: the study demonstrated the efficient possibility of integrating renewable and storage energy sources into a microgrid, including their integration into the national power system.

CUPRINS

	Pag.
INTRODUCERE	9
1. ANALIZA STĂRII ACTUALE ȘI TENDINȚELOR AFERENTE MICROREȚELELOR ...	10
1.1. Concepte și noțiuni generale conexe microrețelelor	10
1.2. Tipuri de microrețea	21
1.3. Componentele unei microrețele.....ș.....	26
1.4. Avantajele și barierele implementării microrețelelor pentru statele dezvoltate.....	29
1.5. Tendințele mondiale aferente microrețelelor.....	30
2. STUDIAREA DETALIATĂ A COMPONENTELOR UNEI MICROREȚELE	33
2.1. Etapele de implementare a proiectului unei microrețele	33
2.2. Sistemele de management energetic inclusiv managementul sarcinilor consumatorilor într-o microrețea.....	41
2.3. Surse de generare distribuită inclusiv SER integrate în microrețea.....	44
2.4. Sistemele de stocare aferente unei microrețele.....	48
2.5. Integrarea microrețelelor în sistemul electroenergetic al țării.....	51
3. CALCUL ȘI MODELAREA MICROREȚELOR	55
3.1. Analiza consumului și modelarea sarcinilor.....	55
3.2. Proiectarea surselor de energie.....	64
3.3. Calculul sistemului de stocarea a energiei.....	70
3.4. Proiectarea rețelei interne și legăturii cu SEN aferente unei microrețele.....	77
3.5. Modelarea regimurilor de funcționare a unei microrețele.....	86
4. FUNDAMENTAREA TEHNICO-ECONOMICĂ ȘI ANALIZA IMPACTULUI ASUPRA MEDIULUI	94
4.1. Determinarea investițiilor necesare pentru implementarea proiectului unei microrețele pentru un sector de vile.....	94
4.2. Determinarea prețului energiei produse de fiecare sursă inclusiv pentru echilibrare.....	96
4.3. Calculul tehnico-economic pentru varianta de funcționare în regim de insulă și pentru varianta de funcționare în paralel cu SEN.....	98
4.4. Influența microrețelei analizate asupra mediului ambiant.....	105
4.5. Studiul documentar și analiza comparativă al cadrului politic și legislativ al RM și UE în domniul surselor regenerabile de Energie.....	109
CONCLUZII	117
BIBLIOGRAFIE	119

INTRODUCERE

Microrețelele reprezintă o componentă esențială în evoluția sistemelor energetice moderne, având un rol crucial în integrarea surselor de energie regenerabilă și în îmbunătățirea eficienței consumului de energie. Aceste rețele mici și autonome sunt capabile să opereze independent de rețelele principale de electricitate, oferind astfel un grad înalt de flexibilitate și securitate energetică. În contextul global actual, marcat de provocările schimbărilor climatice și al eforturilor de tranziție către un sistem energetic mai sustenabil, microrețelele devin o soluție promițătoare pentru a răspunde nevoilor energetice locale, dar și pentru a contribui la obiectivele globale de reducere a emisiilor de carbon.

Microrețelele pot include surse de energie regenerabilă, precum panouri solare, turbine eoliene sau generatoare pe biomasă, care sunt conectate într-un sistem integrat, capabil să furnizeze energie consumatorilor într-un mod flexibil și controlat. Acestea permit gestionarea eficientă a resurselor de energie prin implementarea unor sisteme avansate de stocare a energiei, care asigură un flux continuu chiar și în absența producției de energie din surse regenerabile. De asemenea, microrețelele sunt prevăzute cu sisteme de management energetic care optimizează consumul și distribuția energiei în funcție de cerințele pieței și ale utilizatorilor.

În această lucrare, se va analiza în detaliu conceptul și funcționarea microrețelelor, începând cu o prezentare a noțiunilor fundamentale și a tipologiilor acestora, continuând cu analiza componentelor specifice, cum ar fi sursele de generare distribuită, sistemele de stocare și managementul energetic. De asemenea, va fi studiată procesul de implementare a unui proiect de microrețea, etapele sale și provocările întâlnite în fiecare fază a dezvoltării, de la planificare la execuție și operare. O atenție specială va fi acordată aspectelor tehnico-economice ale acestor proiecte, fiind analizate costurile de implementare, beneficiile pe termen lung și impactul asupra mediului.

Implementarea microrețelelor presupune depășirea unor bariere tehnice și economice semnificative, iar succesul lor depinde de integrarea armonioasă a diverselor componente și de dezvoltarea unui cadru legislativ și politic favorabil. Reglementările și politicile guvernamentale joacă un rol esențial în promovarea investițiilor în surse de energie regenerabilă și în crearea unui mediu de afaceri stimulativ pentru dezvoltarea acestora. De asemenea, pentru a asigura funcționarea optimă a microrețelelor, este necesar un control riguros al consumului de energie, al producției și al fluxurilor de energie între diferitele componente ale rețelei. În acest context, integrarea tehnologiilor de stocare a energiei și a sistemelor de management al sarcinilor

consumatorilor va facilita un consum mai echilibrat și va contribui la îmbunătățirea eficienței energetice.

În ceea ce privește impactul microrețelelor asupra mediului, acestea reprezintă o alternativă importantă la sistemele energetice tradiționale, bazate pe surse fosile, care au un impact considerabil asupra climei și ecosistemelor. Prin utilizarea surselor de energie regenerabilă, microrețelele contribuie semnificativ la reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră, promovând astfel un model energetic mai curat și mai sustenabil. De asemenea, microrețelele pot ajuta la reducerea pierderilor de energie, prin gestionarea mai eficientă a fluxurilor de electricitate și prin utilizarea energiei produse local.

În prezent, multe țări din întreaga lume, inclusiv state dezvoltate și în dezvoltare, investesc masiv în microrețele ca parte a strategiei lor de tranziție energetică. Aceste investiții sunt susținute de o serie de politici favorabile, care includ stimulente pentru sursele de energie regenerabilă, facilități fiscale și reglementări care sprijină dezvoltarea infrastructurii de stocare a energiei. De asemenea, microrețelele pot contribui la creșterea rezilienței în fața unor evenimente extreme, cum ar fi dezastrelor naturale sau întreruperile de alimentare cu energie din cauza unor defecțiuni ale rețelelor principale, oferind soluții autonome și rapide de furnizare a energiei.

Studiul microrețelelor implică o abordare interdisciplinară, care combină cunoștințe din domenii precum ingineria energetică, economia, politica și ecologia. În acest sens, cercetările și dezvoltările tehnologice joacă un rol esențial în perfecționarea acestor sisteme, în special prin îmbunătățirea eficienței surselor de energie regenerabilă și a sistemelor de stocare. În același timp, este important să se ia în considerare factori precum costurile de implementare, întreținerea și operarea pe termen lung a microrețelelor, pentru a asigura viabilitatea acestora din punct de vedere economic.

Astfel, analiza microrețelelor nu se limitează doar la aspectele tehnice, ci include și evaluări economice și de mediu, fiind necesar un echilibru între inovație tehnologică, eficiență economică și responsabilitate ecologică. De asemenea, integrarea acestora în sistemele energetice naționale sau regionale reprezintă o provocare suplimentară, dar și o oportunitate de a crea un sistem energetic mai flexibil, mai diversificat și mai rezilient, care să răspundă provocărilor energetice ale viitorului.

BIBLIOGRAFIE

1. TOMA Lucian. *Dezvoltarea și exploatarea unei micrețele*. Universitatea POLITEHNICA din București, SIE Galați 2012.
2. LASSETER Robert, AKHIL Abbas, STEPHENS John, DAGLE Jeff, and YINGER Robert, and more. The CERTS MicroGrid Concept - Integration of Distributed Energy Resources. U.S.A, April 2002.
3. LASSETER H. Robert, PIAGI Paolo. *Control and Design of Microgrid Components*. University of Wisconsin-Madison, January 2006.
4. BRAGA Dumitru, "The hydrogen role in the transition towards 100% energy from renewable sources". In: Energy. Environment. Efficiency. Resources. Globalization, Volume VIII, Issue 3/2022, pp 43 – 64. ISSN 2668-7003, ISSN-L 2457-5011
5. BRAGA Dumitru, "Integration of Energy Storage Systems into the Power System for Energy Transition towards 100% Renewable Energy Sources," 2021 10th International Conference on ENERGY and ENVIRONMENT (CIEM), 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/CIEM52821.2021.9614778
6. BRAGA Dumitru, teza de doctorat „Funcționarea sistemului energetic în perspectiva integrării masive a surselor regenerabile de energie”, Universitatea POLITEHNICA din București, data susținerii publice 27/01/2022.
7. ARION Valentin, APREUTESII Viorica. *Economia energeticii*. Note de curs. Chișinău, U.T. M, 2006.
8. ARION V., HLUSOV V., GHERMAN C., *Bazele calculelor tehnico-economice și economico-financiare*. Tehnica-UTM, 2016.
9. ARION V., HLUSOV V., GHERMAN C., *Economia surselor de energie*. Tehnica-UTM, 2016.
10. ARION Valentin. *Costurile instalațiilor electrice*, Chișinău U.T.M. 2004.
11. РОЖКОВА Л. Д., КОЗУЛИН В. С. *Электрооборудование станций и подстанций*. М.: Энергоатомиздат, 1987.
12. TODOS P. ș.a. *„Energie regenerabilă: Studiu de fezabilitate*. Chișinău: Ministerul Ecologiei Construcțiilor și Dezvoltării Teritoriului” PNUD Moldova, 2002.
13. AMBROS T. ș.a. *Surse regenerabile de energie. – Manual*, Chișinău: Editura „Tehnica-Info”, 1999.
14. NCM G.01.02:2015 *Proiectarea și montarea instalațiilor electrice în clădirile locative și sociale*. Disponibil: <https://ednc.gov.md/ncm-g-01-022015/>
15. NCM M.01.01:2016. *Eficiența energetică a clădirilor rezidențiale Performanța energetică a clădirilor Cerințe minime de performanță energetică a clădirilor*. Disponibil: <https://ednc.gov.md/ncm-m-01-012016/>
16. Guvernul RM „aprobarea Planului național de acțiuni în domeniul eficienței energetice pentru anii 2020-2030”. Disponibil: https://midr.gov.md/files/shares/Plan_ac_iuni_eficienta_energetica_2019-2021.pdf
17. *Directiva 2012/27/UE a Parlamentului European și a Consiliului din 25 octombrie 2012 privind eficiența energetică, de modificare a Directivelor 2009/125/CE și 2010/30/UE și de abrogare a directivelor 2004/8/CE și 2006/32/CE*. Disponibil: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0027>
18. *Directiva 2009/28/CE privind promovarea utilizării energiei din surse regenerabile, adaptată prin Legea nr. 10/2016*.

Disponibil: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/?uri=celex:32009L0028>

19. *Legea nr. 142 din 02.07.2010 cu privire la eficiența energetică.*
Disponibil: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=23981&lang=ro
20. *Legea nr. 92 din 29.05.2014 cu privire la energia termică și promovarea cogenerării.*
Disponibil: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=48676&lang=ro
21. *Legea nr. 128 din 11.07.2014 privind performanța energetică a clădirilor.*
Disponibil: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=95262&lang=ro
22. *Legea nr. 107 din 27.05. 2016 cu privire la energia electrică.*
Disponibil: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=105978&lang=ro
23. *Legea nr. 10 din 26.02.2016 privind promovarea utilizării energiei din surse regenerabile.*
Disponibil: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=106068&lang=ro
24. ROTARI Iulian, DIACOV Corina. *Analiza consumului energetic al Republicii Moldova în anul 2022 – articol prezentat la Conferința Tehnico- Științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor al U.T.M. Chișinău, 2024.*
25. MANGOS, Octavian, RACHIER, Vasile, SOBOR, Ion. *Determination of Wind Characteristics for Different Heights Based on Digital Maps of the Wind Potential of the Republic of Moldova.* In: Sielmen 14 International Conference on Electromechanical and Energy Systems. Ediția 14, 11-13 octombrie 2023, Craiova. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.: Editura ALMA, 2023, pp. 1-4. ISBN 979-835031524-0.
26. *Microgrid Design Guide*, December 2016.
Disponibil: <https://www.wbdg.org/NAVFAC/PPUBB/P-601.pdf>
27. *Energy Strategy Reviews*, Vol.49, September 2023
Disponibil: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X23000779>
28. *Fundamentals of Advanced Microgrid Design*, USAID
Disponibil: <https://www.usaid.gov/energy/mini-grids/technical-design/key-steps/fundamentals-advanced-microgrid-design>
29. *International Journal of Energy Research*
Disponibil: https://www.researchgate.net/publication/346428365_The_implementation_framework_of_a_microgrid_A_review