

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII
AL REPUBLICII MOLDOVA**

Universitatea Tehnică a Moldovei

Facultatea Energetică și Inginerie Electrică

Departamentul Energetică

Admis la susținere

Șef departament:

HLUSOV Viorica, conf. univ., dr.

„_____” _____ 2024

Oportunități de dezvoltare ale centralelor fotovoltaice plutitoare în condițiile Republicii Moldova

Teză de master

Student:

DÎRUL Vitalie,

_____ gr. EM-22M

Conducător:

EFREMOV Cristina,

_____ lect. univ., dr.

Chișinău, 2024

ADNOTARE

Autor – DÎRUL Vitalie. **Titlul** – *Oportunități de dezvoltare ale centralelor fotovoltaice plutitoare în Republica Moldova*

Structura lucrării: : lucrarea conține o introducere, patru capitole, concluzii, bibliografie 8 linkuri și 35 titluri utilizate, 83 pagini, 46 figuri, 9 tabele.

Cuvinte-cheie: epuizarea surselor tradiționale de energie, surse regenerabile de energie, energia solară, eficiență, centrala fotovoltaică plutitoare, potențial global, ecosistem, flexibilitate.

Scopul lucrării: Sublinierea importanței energiei din surse regenerabile, în special a energiei solare și a centralelor fotovoltaice plutitoare.

Obiectivele generale: Analiza aspectelor tehnice, inclusiv alegerea unor tehnologii durabile pentru amplasarea panourilor solare pe apă și asigurarea funcționării fiabile a acestora într-un mediu acvatic.

Rezultate obținute: introducerea de centrale cu panouri flotante pe lacurile Republicii Moldova reprezintă a soluție fezabilă, care nu afectează ecosistemul specific lacurilor și care permite și realizarea de alte activități.

ABSTRACT

Author – DÎRUL Vitalie **Title** – *Development opportunities of Floating Photovoltaic Plants in the Republic of Moldova*

Thesis structure: the paper contains an introduction, four chapters, conclusions, bibliography 8 links and 35 titles used, 83 pages, 46 figures, 9 tables.

Keywords: depletion of traditional energy sources, renewable energy sources, solar energy, efficiency, floating PV plant, global potential, ecosystem, flexibility.

The scope of the work: emphasise the importance of renewable energy, in particular solar energy and floating photovoltaic plants.

General objectives: Analysis of technical aspects, including the choice of sustainable technologies for placing solar panels on water and ensuring their reliable operation in an aquatic environment.

Result obtained: the introduction of floating panel plants on the country's lakes is a feasible solution that does not affect the specific ecosystem of the lakes and also allows other activities.

CUPRINS

Introducere	11
.....	
1. PERSPECTIVE DE DEZVOLTARE ȘI PROMOVARE A SURSELOR REGENERABILE DE ENERGIE LA NIVEL GLOBAL, EUROPEAN ȘI NAȚIONAL	12
.....	
1.1. Tranziția energetică și combaterea schimbărilor climatice	12
.....	
1.1.1. Dezvoltarea sustenabilă a surselor energetice în viitor	12
.....	
1.1.2. Obiectivele tranziției energetice către surse curate de energie	13
.....	
1.1.3. Cadrul legislativ și politic la nivel european în domeniul energiei	14
.....	
1.1.4. Pactul Verde European și obiectivul neutralității climatice	15
.....	
1.2. Decarbonarea sectorului energetic în contextul țintelor și a obiectivelor stabilite	16
.....	
1.2.1. Aspecte esențiale privind eficientizarea consumului de energie	16
.....	
1.2.2. Planul ambițios al UE privind decarbonarea totală a sectorului energetic	18
.....	
1.2.3. Stadiul curent și pe termen lung de dezvoltare a surselor regenerabile de energie	19
.....	
1.2.4. Promovarea surselor regenerabile la nivelul Republicii Moldova	20
.....	
1.3. Energia solară fotovoltaică și dezvoltarea sustenabilă a acesteia	23
.....	
1.3.1. Aspecte-cheie ale strategiei UE privind energia solară	23
.....	
1.3.2. Perspective de dezvoltare a panourilor fotovoltaice la nivel european și național	25
.....	
1.3.3. Situația actuală privind integrarea instalațiilor fotovoltaice în sistemul energetic	26
.....	
1.3.4. Aspecte privind potențialul solar în Europa și în Republica Moldova	27
.....	
2. PREMISE DE DEZVOLTARE A CENTRALELOR FOTOVOLTAICE PLUTITOARE (CFP)	29
.....	
2.1. Potențialul global de dezvoltare a centralelor fotovoltaice plutitoare	29
.....	
2.1.1. Beneficii asociate centralelor fotovoltaice plutitoare	29
.....	
2.1.2. Proiecte notabile globale privind implementarea centralelor fotovoltaice plutitoare	30
.....	
2.1.3. Aspecte generale privind provocările asociate	33

CFP.....	
2.1.4. Aplicații ale centralelor fotovoltaice în Europa	35
2.2. Perturbații asupra proprietăților și proceselor ecosistemului cauzate de CFP.....	37
2.2.1. Tipuri de structuri plutitoare utilizate la instalarea CFP	37
2.2.2. Elemente de design și de construcție ale sistemului fotovoltaic modular plutitor.....	39
2.2.3. Considerații privind impactul CFP asupra rezervoarelor de apă	44
2.2.4. Efectul acoperirii CFP asupra biomasei fitoplanctonului și compoziției speciilor.....	45
2.3. Particularități esențiale privind funcționarea centralelor fotovoltaice plutitoare.....	46
2.3.1. Elemente componente ale centralelor fotovoltaice plutitoare.....	46
2.3.2. Modulele fotovoltaice.....	47
2.3.3. Tipuri de invertoare în funcție de natura sarcinii.....	49
2.3.4. Sistemele de plutire și designul flotoarelor.....	50
3. STUDIUL INTEGRĂRII CENTRALELOR FOTOVOLTAICE PLUTITOARE ÎN SISTEMUL ENERGETIC NAȚIONAL	54
3.1. Creșterea flexibilității sistemului electroenergetic prin construcția CFP	54
3.1.1. Atractivitatea promovării CFP pe teritoriul Republicii Moldova	54
3.1.2. Aspecte generale cu privire la integrarea CFP într-o rețea electrică urbană.....	54
3.1.3. Abordarea CFP printr-o combinație cu mijloace de stocare	55
3.1.4. Posibile exploatare complementare cu centralele hidroelectrice de acumulare prin pompare.....	56
3.2. Soluții ale centralelor fotovoltaice plutitoare în Republica Moldova	57
3.2.1. Studiul lacurilor de acumulare pe teritoriul Republicii Moldova	57
3.2.2. Posibile locații de construcție ale CFP pe teritoriul Republicii Moldova	59
3.2.3. Potențialul capacității fotovoltaice a lacurilor din Republica Moldova	60

3.2.4. Scenarii de dezvoltare pentru diferite tipuri de densități ale CFP pe lacuri	61
3.3. Aspecte tehnice de dezvoltare a CFP în zonele rurale ale Republicii Moldova.....	65
3.3.1. Studiul de caz privind dezvoltarea CFP în comunități energetice rurale din Centrul Moldovei.....	65
3.3.2. Studiul de caz privind dezvoltarea CFP în comunități energetice rurale din Nordul Moldovei.....	68
3.3.3. Studiul de caz privind dezvoltarea CFP în comunități energetice rurale din Sudul Moldovei.....	70
3.3.4. Măsuri de creștere a rezilienței în comunități energetice rurale.....	73
4. FEZABILITATEA PROIECTULUI INVESTIȚIONAL CE PRIVEȘTE UTILIZAREA CENTRALELEOR FOTOVOLTAICE PLUTITOARE.....	74
4.1. Date inițiale aplicate în calculele tehnico-economice privind fezabilitatea proiectului investițional	74
4.1.1. Date inițiale la baza calculului economic al fezabilității CFP	74
4.1.2. Informații inițiale privind soluția de proiect.....	74
4.2. Determinarea cheltuielilor totale aferente CFP.....	75
4.2.1. Cheltuieli cu investiția	75
4.2.2. Cheltuieli de operare și mentenanță.....	76
4.3. Determinarea Indicatorilor de eficiență economică.....	76
4.3.1. Determinarea cheltuielilor totale actualizate	76
4.3.2. Evaluarea rentabilității proiectului investițional	76
Concluzii	78
Bibliografie	79

INTRODUCERE

În lumea de astăzi, care se confruntă cu provocările schimbărilor climatice și cu epuizarea surselor convenționale de energie, rolul surselor regenerabile de energie devine din ce în ce mai important. În acest context, energia solară se evidențiază prin potențialul său de eficiență și curățenie fără precedent. Pentru a utiliza în mod optim acest potențial, tehnologia modernă oferă abordări inovatoare, iar una dintre acestea este proiectarea de centrale solare pe suprafețe de apă. Proiectarea și funcționarea centralelor solare pe apă oferă o serie de avantaje. În primul rând, permite utilizarea eficientă a spațiilor mari de apă pentru a găzdui panouri solare, minimizând conflictele cu utilizarea terenurilor fezabile pentru agricultură. Acest lucru este valabil mai ales în mediile cu terenuri limitate și cerere crescută de energie. În plus, apa poate servi ca agent de răcire naturală pentru panourile solare, sporind eficiența și longevitatea acestora.

Aspectul economic al proiectării centralelor solare de producere a apei este evaluat prin luarea în considerare a costurilor de infrastructură, echipament și întreținere. Cu toate acestea, pe termen lung, astfel de investiții pot fi justificate datorită costurilor scăzute de exploatare și a furnizării stabile de energie electrică.

Capitolul 1 prezintă perspective de dezvoltare și promovare a surselor regenerabile de energie la nivel global, european și național. Tranziția energetică și combaterea schimbărilor climatice, decarbonarea sectorului energetic în contextul Țintelor și al obiectivelor stabilite și energia solară fotovoltaică și dezvoltarea sustenabilă a acesteia.

Capitolul 2 este concentrat pe potențialul global de dezvoltare a centralelor fotovoltaice plutitoare, perturbații asupra proprietăților și proceselor ecosistemului cauzate de CFP cum ar fi impactul acestora asupra rezervoarelor de apă, efectul acoperirii cu CFP asupra biomasei fitoplanctonului și asupra compoziției speciilor, luând în considerare și particularitățile esențiale privind funcționarea centralelor fotovoltaice plutitoare.

Capitolul 3 este destinat studiului integrării centralelor fotovoltaice plutitoare în sistemul energetic național al Republicii Moldova, aspecte privind creșterea flexibilității sistemului electroenergetic prin construcția CFP și soluții ale centralelor fotovoltaice plutitoare în Republica Moldova.

În Capitolul 4 este determinată fezabilitatea proiectului investițional ce privește utilizarea centralelor fotovoltaice plutitoare. S-a efectuat determinarea cheltuielilor totale aferente CFP, cheltuieli cu investiția, cheltuieli de operare și mentenanță și a indicatorilor de eficiență economică.

BIBLIOGRAFIE

1. ARION, Valentin, EFREMOV, Cristina. *Sporirea flexibilității sistemului electroenergetic național prin edificarea centralelor hidroelectrice cu acumulare prin pompare*. Chișinău: U.T.M., 2019. 74 p. ISSN 2668-7003, ISSN-L 2457-5011.
2. GILES, Sebastian. *Environmental impacts of floating solar photovoltaics on their host water bodies: opportunities and risks*. Lancaster Environment Centre, 2022.
3. SUN-HEE, Kim, SOON-JONG, Yoon, WONCHANG, Choi. *Design and Construction of 1 MW Class Floating PV Generation Structural System Using FRP Members*. Department of Architectural Engineering, Gachon University, Seongnam, 2017. 14p. 13120.
4. JIAN, Daia, CHI Zhangb, HAN Vincent Limc, KOK KENG Angb, XUDONG Qianb, JOHNNY Liang HENG Wongd, SZE TIONG Tanc, CHIEN Looi Wangd. *Design and construction of floating modular photovoltaic system for water reservoirs*. Department of Civil and Environmental Engineering, National University of Singapore, Singapore, 2018. 48p. 117576, 7491.
5. ADRIENNE, Dunham. *Exploring the potential for floating photovoltaic solar on man-made reservoirs in the united states*. Energy policy and climate Johns Hopkins university, USA, 2021. 21p.
6. EFREMOV, Cristina. *Centrale fotovoltaice și comunități energetice în cadrul unei foi de parcurs pentru o energie curată în Republica Moldova*. Technical University of Moldova, Faculty of Power and Electrical Engineering, Department of Energy, 78, 31 August 1989 St., Chisinau, Republic of Moldova, 2022. 14p. ORCID: 0000-0002-6370-0878.
7. LUSHNJARI, Anri, Jose, PEREZ, Jose. *Feasibility Investigation of Floating PV in Hydro reservoirs*. UPPSALA UNIVERSITET, Faculty of Science and Technology, 2021. 76p. Box 536.
8. CARLOS, Gamarra, JENNIFER, J. Ronk. *Floating Solar: An Emerging Opportunity at the Energy-Water Nexus*. Texas Water Resources Institute, Volume 10, Number 1, 2019. 16p. ISSN 2160-5319.
9. ARION, Valentin, EFREMOV, Cristina. *Pumped-storage hydro power plants in Moldova: benefits for grid reliability and integration of variable renewables*. Technical University of

Moldova, 168, Stefan cel Mare Bd., Chisinau, Republic of Moldova. 2020. 15p. ISSN 2587-3474, eISSN 2587-3482.

10. AYMAN Amer, HANI Attar, SAMER As'ad, SAMEH Alsaqoor, ILHAMI Cola, ALI Alahmer, MALIK Alali. *Floating Photovoltaics: Assessing the Potential, Advantages, and Challenges of Harnessing Solar Energy on Water Bodies*. Journal of Ecological Engineering, 2023. 16p. ISSN 2299–8993, License CC-BY 4.0.
11. PVTRIN. *Curs de instruire – Manualul Instalatorilor pentru Sisteme Fotovoltaice Solare*. 2011. 230p.
12. FRIEL, D., KARIMIRAD, M., WHITTAKER, T., DORAN, W. J., HOWLIN, E. *A review of floating photovoltaic design concepts and installed variations*. In 4th International Conference on Offshore Renewable Energy. CORE2019 proceedings, Glasgow: ASRANet Ltd, UK, 30 Aug 2019 ASRANet Ltd. 17p.
13. *Comunicare a comisiei către parlamentul european, consiliu, comitetul economic și social european și comitetul regiunilor*. Bruxelles, 2022. 27p. COM (2022) 221.
14. BLENGINI, Giovanni. *Floating photovoltaic systems: state of art, feasibility study in Florida and computational fluid dynamic analysis on hurricane resistance*. Politecnico di Torino, 2020. 114p.
15. EFREMOV, C., ARION, V., SĂNDULEAC, M. *Short Term Daily Storage Need Assessment for a Large PV Deployment Scenario - Preliminary Case Study for Republic of Moldova*. În: 10th International Conference on Energy and Environment: proc. IEEE CIEM, București, România, 2021. ISBN 978-1-6654-4584.
16. EFREMOV, Cristina. *Contribuții la majorarea flexibilității sistemului energetic în vederea integrării surselor de energie regenerabilă*. Teză de doctor în științe inginerești, U.T.M., Chișinău, 2022. 227p. C.Z.U.: 620.9:621.3(4+478) (043).
17. PIRCIU, Carmen-Florentina. *Studiu privind alimentarea unei rețele electrice urbane cu ajutorul panourilor fotovoltaice plutitoare*. București, Iulie 2023. 58p.
18. ARION, V., HLUSOV, V., GHERMAN, C. *Modelarea economică a obiectivelor și sistemelor energetice pe termen lung: modelele statice-echivalente și aplicabilitatea acestora*. EMERG 3, Editura AGIR, București, 2016, p.63.
19. ARION, V., HLUSOV, V., GHERMAN, C., ȘVEȚ O. *Ghid privind evaluarea economică a proiectelor din domeniile eficienței energetice și energiilor regenerabile*. Chișinău, Editura Sirius, 2014.

20. *Towards a green transformation of the Republic of Moldova. Analysis of the situation from 2021*. National report based on the OECD set of green growth indicators. EU4Environment. Funded by the EU. 2021. p. 89.
21. ERDIN, C., OZKAYA, G. *Turkey's 2023 energy strategies and investment opportunities for renewable energy*. *Sustain.*, vol. 11, no. 7, 23p, 2019, doi: 10.3390/su11072136.
22. SAHU, A., YADAV, N., SUDHAKAR, K. *Floating photovoltaic power plant: A review*, *Renew. Energy Rev.*, vol. 66, 824p. Dec. 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.08.051.
23. HOSENUZZAMAN, N., RAHIM, J., SELVARAJ, N., HASANUZZAMAN, M. *Factors affecting the PV based power generation*. *IET Seminar Digest*, 2014, vol. 2014, no. CP659, doi: 10.1049/cp.2014.1467.
24. IRENA (2021). *The republic of albania*. Renewables Readiness Assessment: Albania, Abhu Dhabi.
25. MICHELI, L. *The temperature of floating photovoltaics: Case studies, models and recent findings*. *Solar Energy*, 2021. 242p.
26. MUHAMMAD, S. *Application of Dynamic Programming for Optimal Hybrid Energy Management System: Hydro-Photovoltaic-Diesel-BESS*. *IEEE Access* [Preprint].
27. NAGANANTHINI, R., NAGAVINOTHINI, R. *Investigation on floating photovoltaic covering system in rural Indian reservoir to minimize evaporation loss*. 2021. 270p. 40(8), 781–805.
28. EXLEY, G. *Floating photovoltaics could mitigate climate change impacts on water body temperature and stratification*. *Solar Energy*, 219, 24–33.
29. Cristina EFREMOV „*Photovoltaics solutions and energy communities in a clean energy roadmap*”. In: *Journal of Engineering Sciences*. 2022, nr. 3, pp. 110-125. ISSN 2587-3474.10.52326/jes.utm.2022.29(3).10 https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/110-125_0.pdf[https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29\(3\).10](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29(3).10).

Link-uri

30. <http://neftianka.ru/energoeffektivnost/>
31. <http://www.m-economy.ru/art.php?nArtId=7062>
32. https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_World_Energy_Transitions_Outlook_Summary_2021_RU.pdf?rev=bbc217fbc6ea48b69a318b6475cc96e4

33. <https://forbes.ua/ru/innovations/plavuchi-sonyachni-elektrostantsii-07082023-15284>
34. <https://diez.md/2021/07/25/foto-sapte-lacuri-pitoresti-din-moldova-unde-poti-admira-frumusetea-naturii/>
35. <https://www.google.com/maps/@47.0577106,28.845963,14z?entry=ttu>