



Universitatea Tehnică a Moldovei

**CĂTRE UN PLAN NAȚIONAL DE TERMOFICARE A
ORAȘELOR, BAZAT PE SURSE DE COGENERARE
PE HIDROGEN**

Masterand:

BERCO Marina,
gr. EM-23M

Conducător:

ARION Valentin,
prof. univ., dr. hab.

Chișinău, 2025

ADNOTARE

Autor – BERCO Marina. **Titlul** – *Către un plan național de termoficare a orașelor, bazat pe surse de cogenerare pe hidrogen..*

Structura lucrării: lucrarea conține o introducere, patru capitole, concluzii, bibliografie din 43 titluri și 22 link-uri utilizate, 106 pagini, 34 figuri, 24 tabele.

Cuvinte-cheie: cogenerare, hidrogen, termoficare, neutralitate climatică, eficiență energetică.

Problematica studiului: analizarea potențialului cogenerării bazate pe hidrogen pentru modernizarea și eficientizare sistemelor de termoficare urbane în contextul tranziției către neutralitate climatică.

Obiectivele studiului: identificarea tehnologiilor actuale pentru producerea și utilizarea hidrogenului în cogenerare; propunerea unui plan național pentru implementarea cogenerării bazate pe hidrogen în Republica Moldova.

Rezultate obținute: studiul evidențiază valabilitatea utilizării hidrogenului ca soluție pentru modernizarea sistemelor de termoficare. Este propus un plan național cogenerării bazate pe hidrogen în trei zone climatice ale țării, incluzând calcule pentru implementare.

ABSTRACT

Author – BERCO Marina. **Title** – *Developing a National Plan for urban heating systems based on hydrogen cogeneration technologies..*

Thesis structure: The paper comprises an introduction, four chapters, conclusions, 43 references and 22 links used, 106 pages, 34 figures, 24 tables.

Keywords: cogeneration, hydrogen, centralized heating, climate neutrality, energy efficiency.

Study issues: the study analyzes the potential of hydrogen-based cogeneration for modernizing and increasing the efficiency of urban heating systems in the context of transitioning towards climate neutrality.

The study's objectives: identifying current technologies for hydrogen production and utilization in cogeneration; proposing a national plan for the implementation in the Republic of Moldova

Result obtained: the study highlights the feasibility of using hydrogen as a solution for modernizing heating systems. A national plan is proposed the integration of hydrogen-based cogeneration across three climatic zones of the country, including implementation calculations.

CUPRINS

INTRODUCERE	9
1. TRANZIȚIA GLOBALĂ SPRE NEUTRALITATE CLIMATICĂ ȘI ROLUL TEHNOLOGIILOR	11
1.1. Importanța Acordului de la Paris în atingerea neutralității	11
1.1.1. Contextul istoric și obiectivele Acordului de la Paris	11
1.1.2. Angajamentul Uniunii Europene.....	12
1.1.3. Provocările globale în implementarea Acordului.....	14
1.2. Promovarea cogenerării în cadrul Uniunii Europene	16
1.2.1. Rolul cogenerării în decarbonizarea societății	16
1.2.2. Integrarea cogenerării pe hidrogen în strategia energetică.....	18
1.2.3. Beneficii economice ale cogenerării	19
1.3. Rolul tehnologiilor de cogenerare pe hidrogen în atingerea obiectivului de neutralitate	20
1.3.1. Hidrogenul regenerabil: soluția cheie.....	20
1.3.2. Captarea și stocarea carbonului.....	21
1.3.3. Integrarea cogenerării pe hidrogen în sistemele energetice urbane.....	23
2. TEHNOLOGIILE DE PRODUCERE A HIDROGENULUI	24
2.1. Importanța hidrogenului în noul sistem energetic	24
2.1.1. Hidrogenul fundament al economiei sustenabile.....	24
2.1.2. Hidrogenul verde și contribuția sa la tranziția energetică	26
2.1.3. Strategii globale pentru implementarea hidrogenului	27
2.2. Producerea hidrogenului prin electroliză	29
2.2.1. Principiile electrolizei apei și tipuri de electrolizoare	29
2.2.2. Progresele tehnologice în eficiența proceselor de electroliză.....	33
2.2.3. Integrarea electrolizei în rețelele energetice regenerabile	34
2.3. Producerea hidrogenului din deșeuri solide și prin reformarea metanolului	35
2.3.1. Gazificarea deșeurilor solide pentru obținerea hidrogenului.....	35
2.3.2. Reformarea metanolului: o soluție eficientă pentru separarea hidrogenului	36
2.3.3. Impactul de mediu al producției de hidrogen din metanol și deșeuri.....	38
2.4. Provocări și soluții tehnologice pentru stocarea hidrogenului	41
2.4.1. Tehnologii de stocare a hidrogenului sub formă lichidă și presurizată	41
2.4.2. Integrarea stocării hidrogenului în rețelele de termoficare urbană.....	42
2.4.3. Reducerea costurilor prin tehnologii inovatoare	43
3. TERMIFICAREA O COMPONENTĂ CHEIE A VIITORULUI SISTEM	45
3.1. Aspectul istoric și situația actuală al sistemelor de termoficare în Republica Moldova	45
3.1.1. Evoluția sistemelor de termoficare în Republica Moldova	45
3.1.2. Situația actuală a sistemelor de termoficare	46
3.1.3. Probleme și provocări în sectorul termoficării	50
3.2. Rolul sistemelor de termoficare în viitorul sistem energetic	51
3.2.1. Integrarea sistemelor de termoficare cu sursele regenerabile de energie	51
3.2.2. Rolul cogenerării de înaltă eficiență în tranziția energetică	53
3.2.3. Sistemele de termoficare ca parte a strategiilor de decarbonizare.....	55

3.3. Cogenerarea energiei rămâne sursă principală de energie în sistemul de termoficare	56
3.3.1. Avantajele cogenerării față de alte surse de energie în sistemele de termoficare.....	56
3.3.2. Rolul cogenerării în integrarea surselor regenerabile de energie	57
3.3.3. Tendințe și perspective pentru cogenerare în sistemele urbane de termoficare	59
3.4. Cogenerarea bazată pe utilizarea MAI pe hidrogen.....	61
3.4.1. Tehnologii și inovații în motoarele cu ardere internă pe hidrogen.....	61
3.4.2. Avantajele utilizării hidrogenului în cogenerare	63
3.4.3. Provocări și soluții pentru implementarea MAI pe hidrogen în cogenerare.....	64
4. CĂTRE UN PLAN NAȚIONAL DE TERMOFICARE	67
4.1. Elemente ce privesc calculul consumului anual de căldură	67
4.1.1. Metoda aplicată la evaluarea consumului de căldură în clădiri.....	67
4.1.2. Determinarea consumurilor specifice de căldură din SACET.....	70
4.1.3. Consumul total de energie termică pe cele trei zone climatice ale țării	72
4.2. Evaluarea consumului de energie termică și dimensionarea cogenerării	74
4.2.1. Analiza consumului de energie termică pentru trei zone climatice	74
4.2.2. Determinarea cotei optime a cogenerării	76
4.2.3. Acoperirea sarcinilor termice pentru trei zone climatice al Republicii Moldova.....	81
4.3. Compararea costurilor nivelate în cogenerare pentru tipuri diferite de combustibil	83
4.3.1. Costurile nivelate ale energiei în centralele de cogenerare cu gaze naturale	83
4.3.2. Costurile nivelate în cogenerarea pe bază de hidrogen	91
4.3.3. Rezultate comparative și concluzii privind cogenerarea cu gaze naturale și hidrogen	98
CONCLUZII.....	100
BIBLIOGRAFIE.....	102

INTRODUCERE

Schimbările climatice reprezintă una dintre cele mai mari provocări ale secolului XXI, afectând ecosisteme, economii și comunități la nivel global. În acest context, tranziția către surse de energie durabile, eficiente și prietenoase cu mediul devine o prioritate pentru guverne, organizații internaționale și sectorul privat. Un element central al acestei tranziții îl constituie dezvoltarea și implementarea tehnologiilor bazate pe hidrogen, un vector energetic versatil și cu potențial semnificativ de decarbonizare.

Republica Moldova, fiind o țară cu resurse naturale limitate și cu o dependență energetică semnificativă de importuri, se confruntă cu nevoia urgentă de a-și moderniza infrastructura energetică. Sistemele de termoficare, o componentă vitală a infrastructurii energetice urbane, au rămas în mare parte relicve ale perioadei sovietice, prezentând pierderi ridicate de energie și eficiență redusă. În acest context, cogenerarea bazată pe hidrogen apare ca o soluție inovatoare, capabilă să adreseze atât problemele tehnice, cât și cele economice și de mediu ale sectorului.

Lucrarea de față, intitulată "Către un plan național de termoficare a orașelor, bazat pe surse de cogenerare pe hidrogen", își propune să exploreze soluții viabile pentru modernizarea și eficientizarea sistemelor de termoficare din Republica Moldova, prin integrarea hidrogenului ca sursă primară de energie. Prin analiza tehnologiilor existente, a strategiilor globale și a condițiilor specifice țării, lucrarea oferă un cadru comprehensiv pentru elaborarea unui plan național adaptat nevoilor actuale și viitoare.

Primul capitol al lucrării se concentrează pe contextul internațional, subliniind importanța Acordului de la Paris și a altor inițiative globale pentru atingerea neutralității climatice. Este evidențiat rolul Uniunii Europene ca lider în adoptarea politicilor de reducere a emisiilor și promovarea surselor regenerabile. Capitolul prezintă, de asemenea, provocările și oportunitățile asociate cu tranziția energetică, evidențiind necesitatea adoptării unor soluții integrate și sustenabile.

Capitolul al doilea abordează tehnologiile de producere a hidrogenului, cu un accent special pe metodele inovatoare, precum electroliza apei utilizând energie regenerabilă și gazificarea deșeurilor solide. Este discutată importanța hidrogenului verde în contextul unei economii circulare și sunt analizate provocările legate de costuri, infrastructură și integrarea în sistemele existente.

În capitolul al treilea este analizată situația actuală a sistemelor de termoficare din Republica Moldova, cu accent pe aspectele istorice, problemele infrastructurii și potențialul de modernizare. Sunt prezentate exemple de succes din alte țări și posibilități de adaptare a acestora la contextul național. Se evidențiază, de asemenea, necesitatea diversificării surselor de energie și rolul cogenerării în atingerea obiectivelor de eficiență energetică.

Capitolul final propune un plan național pentru implementarea cogenerării bazate pe hidrogen, detaliind pașii necesari pentru adoptarea acestei tehnologii. Sunt incluse calcule privind consumul de energie, soluții pentru optimizarea infrastructurii și recomandări pentru politici publice care să sprijine tranziția.

Această lucrare reprezintă un demers interdisciplinar, îmbinând aspecte tehnice, economice și de mediu pentru a oferi o viziune integrată asupra viitorului sistem energetic al Republicii Moldova. Prin contribuțiile sale, ea își propune să sprijine procesul de decarbonizare, să reducă dependența energetică a țării și să promoveze o dezvoltare sustenabilă pe termen lung.

BIBLIOGRAFIE

1. Uniunea Europeană. *Lupta împotriva schimbărilor climatice*. Fișe descriptive despre Uniunea Europeană, 2024. 8 p.
2. *Acordul de la Paris*. Conferința Națiunilor Unite asupra Schimbărilor Climatice, Paris, 2015. 27 p. [citat 08.09.2024]. Disponibil: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
3. Consiliul Uniunii Europene. *The Paris Agreement: The EU's commitment to climate action*, 2024 [citat 14.09.2024]. Disponibil: <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/paris-agreement-eu/>
4. Comisia Europeană. *Committing to climate neutrality by 2050: Commission proposes European Climate Law and consults on the European Climate Pact*. Bruxelles, 4 martie 2020. 2 p.
5. Consiliul Uniunii Europene. *Neutralitatea climatică* [citat 22.09.2024]. Disponibil: <https://www.consilium.europa.eu/ro/topics/climate-neutrality/>
6. Consiliul Uniunii Europene. *Fit for 55: Reducing emissions for a climate-neutral EU* [citat 29.09.2024]. Disponibil: <https://www.consilium.europa.eu/ro/policies/fit-for-55/>
7. Comisia Europeană. *Committing to climate-neutrality by 2050: Commission proposes European Climate Law and consults on the European Climate Pact*. Bruxelles, 4 martie 2020. 2 p.
8. Exro Technologies. *Carbon Neutral vs. Net Zero: Understanding the Difference* [citat 29.09.2024]. Disponibil: <https://www.exro.com/industry-insights/carbon-neutral-vs-net-zero>
9. Consiliul Uniunii Europene. *Neutralitatea climatică*. Ultima revizuire: 6 noiembrie 2024.
10. ELCEN. *Cogenerare: O soluție pentru eficiență energetică și protecția mediului* [citat 05.10.2024]. Disponibil: <https://www.elcen.ro/service/cogenerare/>
11. Comisia Europeană. *Întrebări și răspunsuri: O strategie privind hidrogenul pentru o Europă neutră climatică*. Bruxelles, 8 iulie 2020. 5 p.
12. Comisia Europeană. *O strategie pentru hidrogen pentru o Europă neutră climatică*. Bruxelles, 8 iulie 2020, COM(2020) 301 final. 27 p.
13. Comisia Europeană. *Hydrogen Strategy for a Climate Neutral Europe*. Bruxelles, 8 iulie 2020. 2 p.
14. MDPI. *Sustainability | Green Hydrogen: A Critical Review of Production Pathways* [citat 12.10.2024]. Disponibil: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/23/13464>

15. Cummins. *Energy IQ: What is cogeneration, its benefits, and how does cogeneration work?* [citat 19.10.2024]. Disponibil: <https://www.cummins.com/news/2020/06/08/energy-iq-what-cogeneration-its-benefits-and-how-does-cogeneration-work>
16. *Protocolul de la Kyoto*. Convenția-cadru a Națiunilor Unite privind schimbările climatice, 1998. 21 p.
17. ENTEC. *The role of renewable H₂ import & storage to scale up the EU deployment of renewable H₂*. Karlsruhe, 2022. 200 p.
18. World Bank, Hydrogen Council. *Hydrogen Report: Sufficiency, sustainability, and circularity of critical materials for clean hydrogen*. Washington D.C., 2022. 33 p.
19. IRENA. *Green hydrogen strategy: A guide to design*. Abu Dhabi, 2024. 127 p.
20. IRENA. *Accelerating hydrogen deployment in the G7: Recommendations for the Hydrogen Action Pact*. Abu Dhabi, 2022. 144 p.
21. IRENA. *Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor*. Abu Dhabi, 2022. 118 p.
22. European Parliamentary Research Service. *Towards carbon neutrality through ambitious transformation of the EU energy system*. Bruxelles, 2022. 11 p.
23. C-Track 50 Project. *Guidebook for Achieving Carbon Neutrality by 2050*. Bruxelles, 2021. 64 p.
24. Dreamstime. *Key Components of Carbon Capture, Emission, and Storage System* [citat 27.10.2024]. Disponibil: <https://ro.dreamstime.com/key-components-carbon-capture-emission-storage-system-outline-diagram-labeled-educational-scheme-utilization-co-image286832138>
25. Expert groups of the agenda process. *Strategic Research and Innovation Agenda. Key findings and conclusions of the agenda process for the European research and innovation initiative on green hydrogen*. Bonn: German Federal Ministry of Education and Research, 2022. 28 p.
26. BRAGA Dumitru. *The hydrogen role in the transition towards 100% energy from renewable sources*. FORUMUL REGIONAL AL ENERGIEI PENTRU EUROPA CENTRALĂ ȘI DE EST – FOREN 2022, Costinești, România, 2022. 16 p.
27. Viitorul Energiei. *Rolul cheie al hidrogenului în noua economie a emisiilor de carbon net zero* [citat 02.11.2024]. Disponibil: <https://viitorulenergiei.ro/en/rolul-cheie-al-hidrogenului-in-noua-economie-a-emisiilor-de-carbon-net-zero/>
28. Centrul Național pentru Hidrogen și Pile de Combustie. *Perspective asupra utilizării hidrogenului în România*. București: ICIT Râmnicu Vâlcea, 2010. 23 p.

29. Dentons, Skynes Louis. *Перспективы использования водорода*. Москва: Dentons, декабрь 2020. 14 с.
30. МИТРОВА Т., МЕЛЬНИКОВ Ю., ЧУГУНОВ Д. *Водородная экономика – путь к низкоуглеродному развитию*. Москва: Московская школа управления Сколково, июнь 2019. 57 с.
31. Mesagerul energetic. *Stocarea energiei și tehnologiile hidrogenului*. Anul XIX, Nr. 214. București, 2021. 36 p.
32. Fanda Scientific. *Hydrogen as an Energy Source for the Future* [цитат 10.11.2024]. Disponibil: <https://fandascientificme.com/hydrogen-as-an-energy-source-for-the-future/>
33. FURU, Levente, ROȘ, Victor, BORZA, Gheorghe. *Analiza diferitor metode de obținerea hidrogenului*. România, 2021. 6 p.
34. ZOULIAS, Emmanuel, VARKARAKI, Elli, LYMBEROPOULOS, Nicolaos, CHRISTODOULOU, Christodoulos N., Karagiorgis, George N. *A review on water electrolysis*. Pikermi, Greece: CRES, 2020. 18 p.
35. Science. *The challenges of hydrogen and metals: A critical view on their sustainable deployment* [цитат 17.11.2024]. Disponibil: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aba6118>
36. *Производство водорода*. Материалы конференции по водородной энергетике. Москва, 2022. 39 с.
37. BERTONCINI, Massimo. *Stocarea energiei pe bază de hidrogen: soluții pentru echilibrarea rețelelor*. INGRID Project, World Future Energy Summit, Abu Dhabi, 2016. 30 p.
38. АЛТУНБАЕВ, Д.Р. *Водородная система автономного энергообеспечения малой мощности*. Магистерская диссертация. Тольятти, 2018. 90 с.
39. KORONEOS, C., DOMPROS, A., ROUMBAS, G. *Hydrogen production via biomass gasification—A life cycle assessment approach*. Thessaloniki, Greece: Aristotle University, 2007. 8 p.
40. Li, X., Yang, L., Hao, Y. *Absorption-Enhanced Methanol Steam Reforming for Low-Temperature Hydrogen Production with Carbon Capture*. Energies, 2023, 16p.
41. NNABUIFE, S. G., DARKO, C. K., OBIAKO, P. C., KUANG, B., SUN, X., JENKINS, K. A. *Comparative Analysis of Different Hydrogen Production Methods and Their Environmental Impact*. Clean Technol., 2023, 38 p.

42. ХОХОНОВ, А.А., ШАЙХАТДИНОВ, Ф.А., БОБРОВСКИЙ, В.А., АГАРКОВ, Д.А., БРЕДИХИН С.И., ЧИЧИРОВ А.А., РЫБИНА, Е.О. *Технологии хранения водорода. Водородные накопители энергии*. Набережные Челны: Научно-технический центр ПАО «КАМАЗ», 2020. 6 с.
43. SCHITEA, Dorin, IORDACHE, Ioan, MARINOIU, Adriana, BALAN, Mihai. *Large-scale hydrogen underground storage in Romania, a way for manage renewable energy sources*. Bucharest: FOREN 2014, 7 p.
44. ПОЛЯКОВА, Т.В. *Аналитическая записка: состояние и перспективы водородной энергетики в России и мире*. Центр глобальных проблем ИМИ, Москва, 2020. 37 с.
45. Ministerul Energiei. *Sistemele de termoficare centralizate vor fi evaluate cu suportul Băncii Mondiale și va fi elaborată Strategia națională de termoficare*. Disponibil: <https://energie.gov.md/ro/content/sistemele-de-termoficare-centralizate-vor-fi-evaluate-cu-suportul-bancii-mondiale-si-va-fi>.
46. Știri.md. *Ce ar trebui să facă Moldova ca să evite deconectările în orele de vârf?* Chișinău, 2024. [Citat 01.01.2025]. Disponibil: <https://stiri.md/article/economic/ce-ar-trebuie-sa-faca-moldova-ca-sa-evite-deconectarile-in-orele-de-varf/>
47. Ministerul Energiei. *Starea actuală a domeniului energiei regenerabile în Republica Moldova: potențial, provocări și oportunități*. Disponibil: <https://energie.gov.md/ro/content/starea-actuala-domeniului-energiei-regenerabile-republica-moldova-potential-provocari-si>.
48. BRAGA D., HLUSOV V. *Evaluarea posibilităților de valorificare a biomasei solide în sistemele de alimentare centralizată cu energie termică din Republica Moldova*. Chișinău: UNDP, 2024. 134 p.
49. Ministerul Energiei. *Energie termică și promovarea cogenerării*. Disponibil: <https://energie.gov.md/ro/content/energie-termica-si-promovarea-cogenerarii>.
50. Ministerul Energiei. *Moldova va avea două noi centrale de cogenerare care vor produce energie electrică și termică*. Disponibil: <https://energie.gov.md/ro/content/moldova-va-avea-doua-noi-centrale-de-cogenerare-care-vor-produce-energie-electrica-si-ce>.
51. Banca Mondială. *Banca Mondială sprijină servicii de termoficare eficiente și fiabile în Moldova*. Comunicat de presă, 21 noiembrie 2014. Disponibil: <https://www.worldbank.org/ro/news/press-release/2014/11/21/world-bank-efficient-reliable-district-heating-services-moldova>.

52. Știri.md. *Ce ar trebui să facă Moldova ca să evite deconectările în orele de vârf?* Chișinău, 2024. [Citat 01.01.2025]. Disponibil: <https://stiri.md/article/economic/ce-ar-trebuie-sa-faca-moldova-ca-sa-evite-deconectarile-in-orele-de-varf/>
53. Arion V., Hlusuov V., Leu V., Borosan C. *Cogenerarea de mică și medie putere*. Chișinău: Editura „Tehnica-UTM”, 2022. 138 p. ISBN 978-9975-63-531-9.
54. Secretariatul Cartei Energetice. *Cogenerare și centralizare a încălzirii: Cele mai bune practici pentru municipalități*. Bruxelles: Energy Charter Secretariat, 2006. 68 p.
55. Antocel Dionisie. *Soluții de modernizare a sistemului de alimentare centralizată cu energie termică din mun. Chișinău*. Chișinău: S.A. „Termocom”, 2020. 11 p.
56. International Energy Agency. *World Energy Outlook 2023*. Paris: IEA, 2023. 355 p.
57. Wärtsilä Energy. *Towards a 100% renewable energy future*. Helsinki, 2024. 86 p.
58. Wärtsilä. *Hydrogen in Power Generation*. 2024. [Citat 05.01.2025]. Disponibil: <https://www.wartsila.com/energy/sustainable-fuels/hydrogen-in-power-generation>.
59. Wärtsilä. *Wärtsilä launches world's first large-scale 100% hydrogen-ready engine power plant*. 18 iunie 2024. [Citat 05.01.2025]. Disponibil: <https://www.wartsila.com/media/news/18-06-2024-wartsila-launches-world-s-first-large-scale-100-hydrogen-ready-engine-power-plant-3464281>.
60. Wärtsilä. *Wärtsilä 50SG Gas Engine*. 2024. [Citat 05.01.2025]. Disponibil: <https://www.wartsila.com/energy/solutions/engine-power-plants/wartsila-50sg-gas-engine>
61. ARION V., EFREMOV C., ZĂNOAGĂ I., MÎȚA V., TUMURUC D., BALAN M. *Determinarea consumului de căldură în țară în profil teritorial*. Chișinău, 2018. 14 p.
62. Balanța Energetică a Republicii Moldova, ediția 2019, Biroul național de statistică, Chișinău, 2019.
63. Normativ în construcții. NCM M.01.02:2016. Performanța energetică a clădirilor. Metodologia de calcul al performanței energetice a clădirilor, MDRC, Chișinău, 2016, 150 p.
64. ARION V., *Ghid privind evaluarea economică a proiectelor din domeniile eficienței energetice și energiilor regenerabile*. Chișinău, 2014. 204 p. ISBN 978-9975-57-138-8.
65. Ministerul Infrastructurii și Dezvoltării Regionale. *Planul Național Integrat privind Energia și Clima pentru perioada 2025-2030*. Chișinău, 2024. 434 p.