

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI
Facultatea Energetică și Inginerie Electrică
Departamentul Energetică

Admis la susținere

Șef departament:

HLUSOV Viorica, conf. univ., dr.

„_____” _____ 2024

**Integrarea biomasei în producerea energiei termice în
sistemele de alimentare centralizată cu energie termică**

Teză de master

Masterand:

**ZAHARIA Nicolae,
gr. EMD-22M**

Conducătorul tezei de master:

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

Chișinău, 2024

ADNOTARE

Lucrarea "Integrarea biomasei în producerea energiei termice în sistemele de alimentare centralizată cu energie termică" explorează potențialul și avantajele utilizării biomasei ca sursă de energie în cadrul sistemelor de alimentare centralizată cu energie termică (SACET). Sunt analizate diverse aspecte legate de integrarea biomasei în producerea de energie termică, inclusiv aspecte tehnice, economice și de mediu. Prin intermediul unei revizuirii detaliate a literaturii de specialitate și a unor studii de caz relevante, lucrarea examinează eficiența energetică a diferitelor tehnologii utilizate în conversia biomasei în energie termică, impactul asupra emisiilor de gaze cu efect de seră și viabilitatea economică a implementării acestor tehnologii în practică.

Lucrarea oferă recomandări pentru optimizarea implementării tehnologiilor bazate pe biomasa în cadrul SACET-urilor, evidențiind beneficiile pe termen lung ale diversificării surselor de energie și reducerea dependenței de combustibilii fosili. Această lucrare oferă o contribuție valoroasă la înțelegerea complexității și a potențialului integrării biomasei în producerea de energie termică în cadrul SACET-urilor și furnizează informații esențiale pentru luarea deciziilor strategice în domeniul energiei, în contextul tranziției către surse de energie regenerabilă și sustenabilă.

ABSTRACT

The paper "Integration of biomass in the production of thermal energy in district heating systems" explores the potential and advantages of using biomass as an energy source in district heating systems (SACET). Various aspects related to the integration of biomass in thermal energy production are analyzed, including technical, economic and environmental aspects. Through a detailed literature review and relevant case studies, the paper examines the energy efficiency of different technologies used in the conversion of biomass to thermal energy, the impact on greenhouse gas emissions and the economic viability of implementing these technologies in practice.

The paper provides recommendations for optimizing the implementation of biomass-based technologies within SACETs, highlighting the long-term benefits of diversifying energy sources and reducing dependence on fossil fuels. This paper provides a valuable contribution to understanding the complexity and potential of biomass integration in thermal energy production within SACETs and provides essential information for strategic energy decision-making in the context of the transition to renewable and sustainable energy sources.

CUPRINS

INTRODUCERE	9
1. PROMOVAREA SER – UN IMPERATIV AL TIMPULUI	11
1.1. Aspecte generale privind preocupările globale în domeniul energiei	11
1.1.1. Schimbările climatice și impactul lor global	11
1.1.2. Fenomenul schimbării climei și necesitatea reducerii emisiilor de gaze cu efect de seră	12
1.1.3. Epuizarea resurselor energetice fosile și promovarea eficienței energetice și a SER	13
1.1.4. Tranziția spre surse regenerabile de energie.....	14
1.2. Cadrul normativ și instituțional pentru promovarea consumului energiei din SER	15
1.2.1. Legislație Uniunii Europene în domeniul surselor de energie regenerabile.....	15
1.2.2. Legislația națională în domeniul SER	16
1.2.3. Cadrul instituțional sectorial.....	19
1.3. Situația actuală a sistemelor de termoficare din țară	21
1.3.1. Termoelectrica S.A.....	21
1.3.2. CET-Nord S.A.	23
1.3.3. Alți operatori de furnizare a energiei termice.....	25
1.3.4. Abordarea provocărilor în promovarea termoficării în zonele urbane ale țării	27
1.4. Strategii de optimizare și integrare a SER în sistemele de termoficare	30
1.4.1. Identificarea oportunităților de îmbunătățire a eficienței energetice în termoficare	30
1.4.2. Tehnologii SER cu potențial sporit pentru termoficare	33
1.4.3. Studii de caz și exemple de bune practici	34
2. POTENȚIALUL DE CONVERSIE A BIOMASEI ÎN REPUBLICA MOLDOVA	39
2.1. Utilizarea biomasei în scopuri energetice	39
2.1.1. Tipuri de biomasă utilizate în producția de energie	39
2.1.2. Tehnologii de conversie a biomasei în energie utilizate în Republica Moldova.....	41
2.1.3. Impactul utilizării biomasei și lecțiile învățate.....	44
2.2. Estimarea potențialului de biomasă în Republica Moldova	45
2.2.1. Deșeurile de la culturile agricole cerealiere și leguminoase.....	45
2.2.2. Deșeurile lemnoase din pomicultură și viticultură	50
2.2.3. Deșeuri lemnoase din silvicultura.....	52
2.2.4. Deșeurile municipale solide biodegradabile.....	53
2.3. Formele de valorificare energetică a biomasei	53
2.3.1. Conversia termochimică	53

2.3.2. Conversia biologică	54
2.3.3. Conversia fizică	56
2.3.4. Analiza metodelor de conversie	58
3. TEHNOLOGIILE DE CONVERSIE A BIOMASEI SOLIDE ÎN ENERGIE.....	59
3.1. Tehnologia de producere a bioetanol-ului	59
3.1.1. Introducere.....	59
3.1.2. Materii prime	60
3.1.3. Procesul chimic și de producere bioetanolului	61
3.1.4. Bariere și soluții în adoptarea tehnologiei	62
3.2. Tehnologia de producere a biodieselului	64
3.2.1. Biodiesel-ul – alternativa ecologică motorinei.....	64
3.2.2. Materii prime	64
3.2.3. Procesul de producere a biodieselului	65
3.2.4. Bariere și soluții în adoptarea tehnologiei	66
3.3. Tehnologia de producere a singaz-ului din biomasa.....	67
3.3.1. Fundamentele tehnologice ale gazeificării	67
3.3.2. Procesul de gazeificare explicat	68
3.3.3. Dimensiuni și tipuri de instalații.....	70
3.3.4. Bariere și soluții în adoptarea tehnologiei singaz-ului	71
3.4. Utilizarea singaz-ului în SACET.....	73
3.4.1. Integrarea biomasei în SACET-urile existente.....	73
3.4.2. Beneficiile aduse de utilizarea singaz-ului	74
3.4.3. Studii de caz internaționale.....	75
3.4.4. Lecții învățate și impactul acestora	75
4. ANALIZE TEHNICO-ECONOMICE ALE UTILIZĂRII SINGAZ ÎN SACET	77
4.1. Generarea energiei în baza singaz-ului obținut din biomasa solidă.....	77
4.1.1. Descrierea proiectului investițional de producere a energiei.....	77
4.1.2. Prezentarea tehnologiei de conversie	77
4.1.3. Modelul static-echivalent de calcul a cheltuielilor totale pentru proiectului investițional.....	78
4.1.4. Metodologia de calcul a costului nivelat al energiei produse.....	81
4.2. Centrală în cogenerare pe Miscanthus.....	84
4.2.1. Descrierea proiectului.....	84
4.2.2. Calculele economice aferente CET 3000 kWe pe biomasă din Miscanthus	86
4.2.3. Metoda cheltuielilor remanente de calcul a costului nivelat al energiei produse	88
4.2.4. Fezabilitatea economico-financiară a 3,000 kW Miscanthus CET	91

4.3. Evaluarea costului energiei termice produse la o centrală termică de referință	91
4.3.1. Formularea problemei.....	91
4.3.2. Descrierea centralei termice de referință	92
4.3.3. Calculul cheltuielilor totale, aferente producției de căldură.....	92
4.3.4. Calculul costului energiei termice produse	93
4.4. Concluzii privind viabilitatea utilizării singaz-ului în SACET	94
4.4.1. Rezultatele analizei tehnico-economice	94
4.4.2. Recomandări pentru optimizarea implementării	95
CONCLUZII.....	96
BIBLIOGRAFIE	97

INTRODUCERE

În contextul actual al schimbărilor climatice globale și al necesității de a reduce emisiile de gaze cu efect de seră, Republica Moldova, ca și alte țări, se confruntă cu provocarea tranziției energetice către surse mai curate și mai sustenabile de energie. Sursele regenerabile de energie (SER) oferă o alternativă promițătoare la combustibilii fosili tradiționali, având potențialul de a îmbunătăți securitatea energetică, de a reduce dependența de importuri și de a sprijini dezvoltarea economică durabilă.

Republica Moldova dispune de un potențial semnificativ de producție a energiei din surse regenerabile, inclusiv energia solară, eoliană, hidroenergia și, în mod particular, energia din biomasa. Biomasa, ca resursă abundentă într-o țară cu o economie agrară predominantă, reprezintă o oportunitate aproape neexploată în comparație cu potențialul deținut. Unul dintre mecanismele tehnologice promițătoare pentru valorificarea biomasei este gazeificarea, un proces termo-chimic care transformă materialele organice într-un gaz de sinteză (singaz), ce poate fi utilizat pentru producerea de energie electrică și termică. Implementarea tehnologiei de gazeificare a biomasei în cadrul Sistemelor de Alimentare Centralizată cu Energie Termică (SACET), precum CET Nord, ar putea oferi o cale eficientă pentru diversificarea mix-ului energetic și îmbunătățirea sustenabilității sistemului energetic național.

Această lucrare își propune să puncteze mici rezultate ale cercetării în domeniul potențialului integrării gazeificării biomasei în SACET-urile din Republica Moldova. Se vor evalua fezabilitatea tehnică, beneficiile economice și impactul de mediu al acestei tehnologii, în încercarea de a oferi o perspectivă cuprinzătoare asupra rolului pe care energia din biomasa îl poate juca în tranziția energetică a țării.

Prin accentuarea pe o tehnologie inovativă și sustenabilă, lucrarea vizează să contribuie la discuția mai amplă privind strategiile de reducere a dependenței de combustibilii fosili și de promovare a unei economii verzi în Republica Moldova, în linie cu angajamentele internaționale pentru combaterea schimbărilor climatice și promovarea dezvoltării durabile.

Actualitatea temei abordate în contextul producției bio-carburanților din biomasă solidă prin tehnologia de conversie Fischer-Tropsch evidențiază importanța crescută a promovării energiei regenerabile ca răspuns la provocările schimbărilor climatice și la necesitatea reducerii dependenței de combustibilii fosili. În lumina creșterii continue a emisiilor de gaze cu efect de seră și a efectelor lor dezastruoase asupra climei globale, cercetarea și dezvoltarea surselor regenerabile de energie devin imperative pentru tranziția energetică durabilă și pentru combaterea încălzirii globale.

La nivel național și european, sunt asumate angajamente semnificative pentru reducerea consumului de resurse energetice fosile și pentru promovarea surselor regenerabile de energie, cu accent pe utilizarea bio-carburanților ca alternativă viabilă pentru substituirea unei părți semnificative din consumul de carburanți fosili, care reprezintă aproximativ 27-35% din totalul consumului de combustibil.

În contextul producției de energie din surse regenerabile în Republica Moldova, este esențial să se exploreze și să se valorifice potențialul deșeurilor municipale solide și al biomasei lemnoase pentru producerea de bio-carburanți lichizi și gazoși, inclusiv prin tehnologia Fischer-Tropsch, care oferă o cale promițătoare pentru obținerea bio-carburanților sintetici. Aceste eforturi sunt însoțite de studii de caz care ilustrează aplicarea practică a acestor tehnologii pentru producerea de energie electrică și termică în regim de cogenerare, demonstrând fezabilitatea economică și beneficiile ecologice ale utilizării gazelor combustibile obținute din surse regenerabile.

Astfel, actualitatea temei este subliniată de necesitatea urgentă de a adresa problemele legate de schimbările climatice, de a reduce emisiile de gaze cu efect de seră și de a promova soluții sustenabile pentru producerea de energie, contribuind în același timp la dezvoltarea economică și la securitatea energetică a Republicii Moldova.

Scopul lucrării este de a investiga și de a evalua potențialul tehnologiei de gazeificare a biomasei ca soluție sustenabilă și eficientă pentru îmbunătățirea eficienței și diversificarea surselor de energie în cadrul Sistemelor de Alimentare Centralizată cu Energie Termică (SACET) din Republica Moldova.

BIBLIOGRAFIE

1. ARION, V., HLUSOV, V., GHERMAN, C. *"Modelarea economică a obiectivelor și sistemelor energetice pe termen lung: modelele statice-echivalente și aplicabilitatea acestora."*
2. ARION, V., BORDEIANU, C., BOȘCĂNEANU, A., CAPCELEA, A. *"Biomasa și utilizarea ei în scopuri energetice."* Editura "Garamond Studio Ltd", Chișinău, 2008, 236 p.
3. ARION, V., BOȘCĂNEANU, A. *"Producerea energiei din biomasa solidă prin gazificarea acesteia."* Meridian ingineresc, nr.1, UTM, Chișinău, 2009, p. 74-80.
4. ARION, V., GHERMAN, C., TUTUNARU, T. *"Fezabilitatea economico-financiară a producerii energiei electrice și termice la mini-CET prin valorificarea biogazului."* Meridian ingineresc, nr.1, UTM, Chișinău, 2009, p. 68-73.
5. ARION, V., BOȘCĂNEANU, A. *"Producerea energiei din biomasa solidă prin gazificarea acesteia."* Meridian ingineresc, nr.1, UTM, Chișinău, 2009, p. 74-80.
6. ARION, V., GHERMAN, C., TUTUNARU, T. *"Câteva modalități de calcul al costului nivelat al energiei pe termen lung."* Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților, 2009, UTM.
7. ARION, V., BOSTAN, D. *"Perspectiva biomasei solide în energetica rurală a Republicii Moldova."* Mesagerul energetic, Buletin CNR-CME, nr. 176, 2016.
8. ARION, V., HLUSOV, V., NEGURA, C. *"Considerarea inflației în evaluarea proiectelor de eficiență energetică și energii regenerabile (abordare microeconomică)."* FOREN-2016, România, 2016.
9. ARION, V., BUGAIAN, L., HLUSOV, V., NEGURA, C. *"Considerarea inflației în evaluarea proiectelor de eficiență energetică și energii regenerabile (abordare macroeconomică)."* Proceedings of 10th Int. Conf. SIELMEN, Oct., 2015, Chișinău.
10. ARION, V., GHERMAN, C. *"Impactul promovării surselor de energie electrică regenerabilă în Republica Moldova."* Proceedings of 9th Int. Conf. SIELMEN, Chișinău, Oct.
11. ARION, V., GHERMAN, C., BOROSAN, C. *"Fezabilitatea edificării unei centrale de cogenerare pe biomasă, ciclu combinat, cu gazeificarea integrată."* Conf. int. "Energetica Moldovei-2012", Aspecte reg. de dezv., Oct. 2012, Chișinău.
12. ARION, V., GHERMAN, C., ARSENI, L. *"Evaluarea economică a tehnologiilor ORC și MAI de producere a energiei din biomasă solidă."* Conf. int. "Energetica Moldovei-2012".
13. ARION, V., GHERMAN, C., ȘVEȚ, O., ARSENI, L. *"Costurile tehnologiilor moderne de producere a electricității din biomasa solidă."* Conferința internațională "Energetica Moldovei-2012".

14. ARION, V., GHERMAN, C., TUTUNARU, T. "*Utilizarea costului nivelat al energiei la compararea tehnologiilor de producere a energiei.*" Conf. Int. FOREN 2010, SP-94, Neptun, România.
15. ARION, V., GHERMAN, C., UNGUREANU, S. "*Solid Biomass Potential Assessment for Moldova.*" 6th Int. Conf. EPE-2010, Oct. 2010, Iași, România.
16. ARION, V., HLUSOV, V., GHERMAN, C. "*Substitution of dynamic models by equivalent-static ones in energy projects long-run cost assessment.*" 6th Int. Conf. EPE-2010, Oct. 2010, Iași, România.
17. ARION, V., GHERMAN, C., TUTUNARU, T. "*Utilizarea costului nivelat al energiei la compararea tehnologiilor de producere a energiei.*" Conferința internațională FOREN 2010, Neptun, România.
18. ARION, V., HLUSOV, V., GHERMAN, C. "*Competitivitatea economică a tehnologiilor moderne de cogenerare a energiei din biomasă solidă la scară mică.*" Conf. șt. jubiliară, UTM, Chișinău, Tehnica-UTM, 2014.
19. ARION, V., HLUSOV, V., GHERMAN, C. "*Bazele calculelor tehnico-economice și economico-financiare. Note de curs la disciplina 'Economia energiei'.*" Chișinău: Tehnica UTM, 2016.
20. ARION, V., HLUSOV, V., GHERMAN, C. "*Economia surselor de energie. Note de curs la disciplina 'Economia energiei'.*" Chișinău: Tehnica-UTM, 2016.
21. ARION, V., BOROSAN, C., ȘVEȚ, O. "*Producerea biogazului din deșeuri animaliere. Utilizarea biogazului la producerea căldurii și electricității.*" Ghid, Vol. 5 și 6, Min Ecol., Chișinău, 2013.
22. RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS "*Biomass Conversion Technologies: A Review of State-of-the-Art.*", vol. 82, pp. 1799-1821, 2018.
23. ELSEVIER, "*Cogeneration Systems Based on Biomass: Design and Optimization.*", Amsterdam, 2017.
24. RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS "*Recent Advances in Biomass Gasification: A Comprehensive Review.*", vol. 80, pp. 742-755, 2017.
25. ENERGY & FUELS, "*Biomass Pyrolysis: A Review of State-of-the-Art Technologies.*", vol. 31, no. 1, pp. 574-590, 2017.
26. RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS, "*Sustainable Biomass Supply Chains: A Comprehensive Review.*", vol. 76, pp. 78-93, 2017.
27. ROUTLEDGE, "*Bioenergy Technologies and Sustainable Development: A Comprehensive Overview.*", London, 2018.
28. SPRINGER, "*Biorefineries: Current Status, Challenges, and Future Prospects.*", Berlin, 2018.

29. BIORESOURCE TECHNOLOGY, "*Recent Advances in Biomass Pretreatment Techniques: A Comprehensive Review.*" vol. 248, pp. 156-176, 2018.
30. RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS "*Biomass Valorization for Sustainable Energy: A Comprehensive Review.*", vol. 90, pp. 692-707, 2018.
31. RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS, "*Sustainability Assessment of Biomass-based Energy Systems: A Review of Metrics and Methods.*" vol. 82, pp. 3913-3922, 2018.
32. PROGRESS IN ENERGY AND COMBUSTION SCIENCE, "*Advances in Biomass Gasification: State-of-the-Art, Challenges, and Future Directions.*" vol. 62, pp. 133-161, 2017.
33. UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN VIENA, INSTITUTUL DE INGINERIE CHIMICĂ, 2018. "*Uzină Demo de 8 MW pentru Gazeificarea Biomasei.*" Disponibil online: Institutul de Inginerie Chimică.
34. TEZA DE DOCTORAT, UNIVERSITATEA TRANSILVANIA DIN BRAȘOV, 2011, "*Cercetarea influenței regimurilor de funcționare și a caracteristicilor carburanților asupra parametrilor energetici și ecologici ai motoarelor cu ardere internă.*". Disponibil online: [Universitatea Transilvania din Brașov](#).
35. Teza de doctorat, Universitatea Transilvania din Brașov, 2014, "*Cercetări privind utilizarea bio-carburanților pentru motoarele de autovehicule.*". Disponibil online: [Universitatea Transilvania din Brașov](#).
36. COMISIA EUROPEANĂ, 2013, "*Politici privind sursele regenerabile și Directivele UE.*" Disponibil online: [Comisia Europeană](#).
37. PARLAMENTUL EUROPEAN, 2018, "*Atenuarea schimbărilor climatice cu politica UE în domeniul energiei curate.*". Disponibil online: Parlamentul European.
38. CRC PRESS TAYLOR AND FRANCIS GROUP, U.S.A., 2009 "*Advances in Fischer-Tropsch Synthesis, Catalysts and Catalysis.*". Disponibil online: [CRC Press](#).
39. ANDERSON, R.B., "*The Fischer-Tropsch Synthesis.*" Academic Press, New York, 1984. Disponibil online: Academic Press.
40. Biroul Național de Statistică, BNS, www.statistica.md