



COSTURILE TEHNOLOGIILOR MODERNE DE PRODUCERE A ELECTRICITĂȚII DIN BIOMASA SOLIDĂ

ARION Valentin, GHERMAN Cristina, ȘVEȚ Olga, ARSENI Lucia
Universitatea Tehnică a Moldovei

Rezumat: *Lucrarea prezintă o analiză comparativă a surselor de producere a energiei electrice la scară mică și medie din biomasă solidă, a performanței și costurilor acestora, însoțită de o listă selectată de referințe.*

Cuvinte cheie: *biomasa solida, tehnologii de producere a energiei, costuri.*

THE COSTS OF MODERN TECHNOLOGY PRODUCING ELECTRICITY FROM SOLID BIOMASS

ARION Valentin, GHERMAN Cristina, ȘVEȚ Olga, ARSENI Lucia
Technical University of Moldova

Abstract: *This paper presents a comparative analysis of sources producing electricity at small and medium scale from solid biomass, their performance and costs, and a selected reference list.*

Keywords: *solid biomass, energy production technologies, costs*

СТОИМОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ИЗ ТВЕРДОЙ БИОМАССЫ

АРИОН В., ГЕРМАН К., ШВЕЦ О., АРСЕНИ Л.
Технический Университет Молдовы

Аннотация: *В статье представлен сравнительный анализ источников производства электроэнергии из твердой биомассы в малых и средних масштабах, их основные характеристики и стоимости, а также список основных библиографических источников.*

Ключевые слова: *твердая биомасса, технологии производства электроэнергии, стоимости.*

1. INTRODUCERE

Provocările din ultimul deceniu legate de schimbarea climei, securitatea aprovizionării cu energie și competitivitate necesită o schimbare profundă în ceea ce privește sursele de alimentare cu energie, modul în care energia se livrează și se consumă. Republica Moldova, alături de alte state europene, are nevoie de o asemenea schimbare. Există o necesitate imperioasă de a promova sursele distribuite/descentralizate de producere a energiei, precum și sursele de energii regenerabile.

În țară există un potențial considerabil de energie solară, eoliană și biomasă. Biomasă este prezentă peste tot și ea ne permite să producem căldură, electricitate și chiar biocarburanți. Potențialul disponibil de biomasă solidă (lemne de foc, paie, crengi din grădini, tulpini de floarea soarelui și porumb, precum și alte deșeuri din agricultură), care poate fi utilizat în scopuri energetice, este considerabil și constituie cca 2.5-3.0 milioane tone pe an.

În ultimul timp o atenție tot mai sporită se oferă tehnologiilor ce realizează conversia biomasei în căldură și electricitate. Prezintă interes și urmează de a determina competitivitatea acestor tehnologii pe piața internă a

energie, iar în acest scop se cere de a cunoaște indicatorii de cost și performanță a șirului de tehnologii existente. Costurile generării energiei din biomasă variază în funcție de tipul tehnologiei, capacitate, materie primă și modul de operare a instalațiilor.

Scopul acestei lucrări constă în identificarea caracteristicilor principale de performanță și cost ale tehnologiilor moderne de producere a energiei din biomasă, cu referință la sursele bibliografice respective, și prezentarea lor într-o formă compactă.

2. O PREZENTARE GENERALĂ A SURSELOR DESCENTRALIZATE DE PRODUCERE A ENERGIEI

Tehnologiile de producere a electricității din biomasă s-au dezvoltat foarte mult în ultimele decenii, indicând performanțe bune. Cele mai atractive sunt următoarele cinci tehnologii: ciclul organic Rankine, motorul Stirling, turbina cu abur, motorul cu ardere internă pe biogaz și pe singaz.

Ciclul Organic Rankine (ORC) este o tehnologie intens dezvoltată în ultima perioadă, disponibilă în capacități 400–2000 kW, și care are o aplicare tot mai largă. Tehnologia ORC poate atinge un randament electric de

până la 20 %; în regim de cogenerare randamentul global poate depăși 85%. Durata de funcționare a instalațiilor ORC este de până la 20 de ani.

Motorul Stirling (MS) este o tehnologie la faza de dezvoltare. În prezent sunt produse motoare cu puterea maximă de 75 kW, care ating un randament electric de circa 11-18%. Durata normată de viață – până la 15 ani. În regim de cogenerare motorul Stirling poate atinge un randament global de 89 %.

Practica utilizării *Turbinelor cu abur (TA)* indică puteri aplicate mai mari de 500 kW și până la sute de MW. În comparație cu tehnologiile sus menționate, TA are un randament mai înalt, de circa 15-30 %, durata de viață fiind de 20 ani.

O tehnologie ce capătă amploare este *Motorul cu ardere internă (MAI)*, proiectat să funcționeze pe gaze naturale, însă el poate fi alimentat și cu biogaz sau singaz; această tehnologie este disponibilă la capacități de la câțiva kW până la 5-6 MW. MAI are un randament electric de circa 37-43 %, care este mai mare decât cel al TA.

Capacitatea MAI variază simțitor în dependență de tipul combustibilului utilizat. Astfel, la funcționarea pe gaze naturale capacitatea MAI este puterea nominală indicată de producător. La funcționarea MAI pe biogaz capacitatea dezvoltată de instalație scade cu 14-16 %, iar în cazul funcționării pe singaz – cu 32-35 % față de cea nominală.

În cazul utilizării biomasei solide în calitate de combustibil este de așteptat de a vedea un *gazeificator cuplat cu motorul cu ardere internă*. Gazeificatorul produce singaz, care mai apoi este curățit și direcționat către motor.

Randamentul global al cuplului Gazeificator-MAI poate atinge 70-80%, iar randamentul electric până la 20-25% - la capacități mici și medii și până la 40% - la capacități mari; durata de viață este de cca 15 ani.

3. COSTURILE TEHNOLOGIILOR MODERNE DE PRODUCERE A ELECTRICITĂȚII

Fezabilitatea implementării tehnologiilor moderne de producere a energiei din biomasă solidă este în mare parte determinată de costurile acestora, care variază considerabil de la o sursă de referință la alta.

În urma analizei unui șir mare de surse bibliografice au fost identificate intervalele de valori ale investiției specifice și cheltuielilor E&M pentru cele cinci tehnologii considerate. Rezultatele obținute sunt prezentate în mod sintetic în tabelul 1 în funcție de capacitatea instalației de producere.

Din tabelul 1 se observă existența efectului de scară asupra investiției specifice: valoarea ei scade odată cu creșterea puterii unității generatoare.

Conform datelor prezentate, tehnologia ORC se dovedește a fi cea mai costisitoare – valoarea investiției specifice

variază între 2600-10500 €/kW, pe când cheltuielile E&M sunt comparativ mici: 1.0-3.6 % din valoarea investiției.

Investițiile în tehnologia TA variază între 1300-5700 €/kW în dependență de puterea instalată.

Costul investiției în motorul Stirling rămâne înalt: 4500-5900 €/kW; cheltuielile E&M ating circa 5 % din investiție.

Motoarele cu ardere internă se caracterizează cu o investiție specifică comparativ mică de 900-1400 €/kW. Cheltuielile E&M sunt comparativ mari, atingând cca 19% din valoarea investiției pentru un motor cu puterea de 5 MW.

Adesea pentru MAI, alimentate cu singaz, investiția este prezentată pentru întreg ansamblul Gazeificator-MAI și ea variază în funcție de capacitatea cuplului. La centralele la care gazeificatorul utilizează aer în calitate de agent de lucru, investiția constituie cca 1400 – 4500 €/kW, pe când în cazul utilizării aburului sau oxigenului investiția practic se dublează (vezi detalii în tabelul 1).

4. ECUAȚII PENTRU CALCULUL COSTURILOR

MAI proiectat pentru utilizarea gazelor naturale

Consultarea unor surse ce privesc costurile MAI oferă posibilitatea exprimării costului investiției și a cheltuielilor de exploatare și mentenanță prin intermediul unor expresii exponențiale generalizatoare [1].

Investiția în MAI (I_{MAI}) poate fi determinată în funcție de puterea instalată (P , kW) și tipul combustibilului utilizat conform expresiei

$$I_{MAI} = 1.919 \cdot K \cdot P^{0.8496}, \text{ Euro}, \quad (1)$$

unde coeficientul K este egal cu: 1.0 în cazul alimentării cu gaz natural, 1.15 – cu biogaz și 1.55 - cu singaz.

Cheltuielile anuale fixe de exploatare și mentenanță ($C_{E\&M, \text{fix}}$) –

$$C_{E\&M, \text{fix}} = 752 \cdot \ln(P) - 2.175, \text{ Euro}, \quad (2)$$

iar cheltuielile anuale variabile ($C_{E\&M, \text{var}}$) –

$$C_{E\&M, \text{var}} = 0.0194 \cdot P - 0.1007/E, \text{ Euro}, \quad (3)$$

unde E reprezintă cantitatea de energie produsă (kWh) de MAI pe parcursul unui an.

Gazeificator pe paie și chips-uri

Investiția în gazeificator (I_G) poate fi determinată orientativ cu expresia -

$$I_G = -433.2 \cdot \ln(P) + 4520.1, \text{ Euro} \quad (4)$$

iar costul nivelat al singazului produs (c_{sg}) –

$$c_{sg} = -16.2 \cdot \ln(P) + 227, \text{ Euro/mie m}^3, \quad (5)$$

unde P este capacitatea gazeificatorului la ieșire, kW.

Tabelul 1. Caracteristicile principale ale tehnologiilor considerate

Parametri	Unitatea	Puterea instalata, kW				
		<100	100 -500	500 -1000	1000 -5000	>5000
ORC						
Investiția specifică	€/kW	-	7000 – 10500 [2, 5 ,6 ,15]	4900 – 8200 [2, 3 ,6 ,7 ,13]	2600 – 6000 [2, 7, 13, 15, 21]	-
Cheltuielile E&M	% din I	-	2.6 [5, 6]	1 – 3.2 [3, 4, 6, 7]	3.6 [4]	-
Durata normată de viață	ani	-	20 [2, 3]	20 [3]	20 [3]	-
Randamentul electric	%	-	17.4 – 18 [2, 5, 6]	18.5 – 19.5 [3, 6, 32]	17.9 – 19.9 [32]	-
Motor Stirling						
Investiția specifică	€/kW	4500 – 5900 [13, 14, 17]	-	-	-	-
Cheltuielile E&M	%	5 [14]	-	-	-	-
Durata normată de viață	ani	15[14]	-	-	-	-
Randamentul electric	%	10.5 – 18 [13, 14, 17, 33]	-	-	-	-
Turbină cu abur						
Investiția specifică	€/kW	-	-	5700 [19]	2400 – 5000 [7, 13, 14, 15, 18, 19]	1300 -3400 [6, 7, 13, 14, 15, 20, 29]
Cheltuielile E&M	%	-	-	3 – 4 [14]	3 – 4 [14, 19]	3 – 4 [14]
Durata normată de viață	ani	-	-	20 [19]	20 [19]	20 [14]
Randamentul electric	%	-	-	25 [19]	25 – 30 [19, 36]	29 -30 [14, 20]
MAI						
Investiția specifică	€/kW	1400	1360 [19]	1100 [23]	900- 1450 [23, 24]	-
Cheltuielile E&M	%	6.9 – 10.4 [22]*	8.8 – 13.3 [22]*	9.8 – 14.7 [22]*	12.5 – 18.8 [22]*	-
Durata normată de viață	ani	15 [25]	15 [25]	15 [25]	20 – 30 [25]	-
Randamentul electric	%	37 – 41 [35]	36.3 -38.9 [34]	38.1 – 42.8 [34]	41.1 – 43 [34]	-
GAZEIFICATORUL cuplat cu MAI						
Investiția specifică	€/kW	4500 [22]	3300 – 6500 [28]	1800 – 5000 [8, 9, 13, 14, 22, 27]	2000 – 3600 [7, 11, 12, 14, 20]	1400 – 3300 [7, 14, 27]
Cheltuielile E&M	%	3 [22]	3 -5 [8, 9, 14, 22]	3 – 5 [8, 9, 14, 22]	2,1 – 5 [7, 11, 12, 14, 20]	2,4 [14]
Durata normată de viață	ani	15 [14]	15 – 20 [14]	20 [14]	15 - 20[14, 20]	15 – 20 [14]
Randamentul electric	%	25 [22]	25 [26]	30 [14]	25 – 35 [7, 14, 20]	35 – 40 [14]

*Cheltuielile pentru exploatare și mentenanță sunt prezentate ca 1-1.5 c€/kWh, la durata de funcționare de 8000 h/an

5. CONCLUZII

1. Costurile tehnologiilor moderne de producere a energiei termice și electrice din biomasa variază în funcție de: tipul tehnologiei, capacitatea de producție, materia primă folosită și calitatea ei, gradul de încărcare etc.
2. Costurile comparativ mari ale instalațiilor de cogenerare a energiei din biomasa solidă, complimentate cu costuri comparativ mici la combustibil fac aceste tehnologii atractive pe piața energiei. Sunt identificate caracteristicile principale ale

tehnologiilor moderne de producere a energiei din biomasa, cu referințe la sursele bibliografice respective, ce pot fi utilizate la efectuarea studiilor de fezabilitate economico-financiare.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Lawrence A. Schienbein, Patrick J. Balducci, Tony B. Nguyen, Daryl R. Brown, John G. DeSteele, Gregory A. Speer, *Avoiding distribution system upgrade costs using distributed generation*, DistribuTech Conference and Exhibition, Orlando, USA, January 2004, pp. 24.

- [2] Andrea Duvia, Al. Guercio, Cl. Rossi, *Technical and economic aspects of Biomass fuelled CHP based on ORC turbogenerators feeding existing district heating networks*, Proceedings of the 17th European Biomass Conference, Hamburg, Germany, 2009, pp.10.
- [3] Marco di Primo, Sabrina Santoroso, *Modern ORC systems for sustainable use of wood biomass and waste heat*, Proceedings of the 13th Energy Management Conference, Portoroz, Slovenia, 11-12 April 2011, pp.50.
- [4] Alessandro Guarco, *La cogenerazione a biomassa con moduli ORC Turboden.Valutazioni economiche e casi studio rappresentativi*, Mostra convegno della Tecnologia, Energia e Riscaldamento 2011, Milano, Italia, 30 giugno 2011, pp. 37. http://www.mcter.com/pdf_2011/turboden_guercio_mcter.pdf
- [5] Biomass fired CHP plant based on an ORC cycle – Project: ORC-STIA-Admont, Admont, Austria, 2001, pp. 12 http://ec.europa.eu/energy/renewables/bioenergy/doc/chp/bm_120_1998.pdf
- [6] O. Perego, A. Rossetti, *Casi de studio tecnico-economici d'impianti termoelettrici alimentati a biomasa. Stima della propensione alla cogenerazione*, Italia, 2011, pp.49
- [7] O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow, *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 2012, 1075 pp.
- [8] Aidan McDonnell, *Power solutions with biomass and biogas CHP*, Proceedings of the Bioenergy Conference 2008, Athenry, Ireland, 2008, pp. 34.
- [9] Joan Fornieles, *Financial study of biomass fuelled plants*, International Workshop: Small scale biomass systems for electricity generation and decentralised energy srvcies, ETSEIB, UPC Campus, Barcelona, Spain, 15-16 November 2010, pp. 14
- [10] 5 Years of Operating Experience with a 2 MW CHP Plant Based on Wood Gasification in Gussing, PDF presentation, REPOTEC, Austria <http://www.repotec.at>
- [11] Robert Cattolica, Kathy Lin, *Economic Analysis of a 3MW Biomass Gasification Power Plant*, Proceedings of Energy Sustainability, San Francisco, USA, July 19-23, 2009, pp. 9
- [12] Renewable Energy Cost Analysis - Biomass for Power Generation, IRENA, 2012, pp. 60.
- [13] Ingwald Obernberger, Gerald Thek, *Cost assessment of selected decentralised CHP applications based on biomass combustion and biomass gasification*, Proceedings of the 16th European Biomass Conference & Exhibition, Valencia, Italy, June 2008, pp.11.
- [14] Technology Data for Energy Plants, Danish Energy Agency, 2010, pp. 183. Technology Data for Energy Plants - Generation of Electricity and District Heating, Energy Storage and Energy Carrier Generation and Conversion, Danish Energy Agency, May 2012, 212pp.
- [15] Erik Fisher, *Combined Heat and Power – CHP, basic data of technology description*, German Biomass Research Centre, 2011, pp. 16. <https://www.coach-bioenergy.eu/>
- [16] Biomass for Power Generation and CHP, IEA Energy Technology Essentials, 2007, pp. 4. <http://www.iea.org/techno/essentials3.pdf>
- [17] Filippo Marini, Riccardo Giacobazzi, *The ecological plant in Castel d'Aiano, The CHP system of Castel d'Aiano school campus: wood chips gasification and Stirling engine*, Italia, 2008, pp. 27 http://www.centrocisa.it/materiale/pubblicazioni/CasteldAiano_ing lese.pdf
- [18] Case study, Rough and Ready, 1,5 MW Wood-fired Combined heat and power plant, Washington, 2011, pp. 4 <http://www.northwestcleanenergy.org/NwChpDocs/Rough%20and%20Ready%20-%20case%20study%20-%20pp011811.pdf>
- [19] C. Obersteiner, Th. Erge, Chr. Sauer, D. Sothmann, *Market potentials, trends and marketing options for Distributed Generation in Europe*, MASSIG, 2009, 140pp. http://www.iee-massig.eu/papers_public/MASSIG_Deliverable2.1_Market_Potentials_and_Trends.pdf
- [20] Final report on technical data, costs and life of cycle inventories of biomass CHP plants, NEEDS, Sixth Framework Programme, 2008, pp. 36.
- [21] Kl. Koop, Mich. Koper, R. Bijnsma, St. Wonink, J.D. Ouwens, *Evaluation of improvements in end-conversion efficiency for bioenergy production*, Ecofys, 2010, 135 pp. http://ec.europa.eu/energy/renewables/bioenergy/doc/2010_02_25_report_conversion_efficiency.pdf
- [22] Samuel Carrara, *Small-Scale Biomass Power Generation*, PhD thesis in Energy and environmental Technology, University of Bergamo, Italia, 2010, pp. 259.
- [23] Rachel Goldstein, *Prospects for Landfill Biogas Energy Projects*, US EPA Landfill Methane Outreach Program, Rimini, Italy, November 7, 2006, pp. 34.
- [24] *Landfill Gas Energy Project Development Handbook, Appendix 4-A Electricity case studies*, EPA, USA, 2010, pp. 32. [http://www.epa.gov/lmop/documents/pdfs/pdlh_appa.pdf\(sursa](http://www.epa.gov/lmop/documents/pdfs/pdlh_appa.pdf(sursa)
- [25] Neil Wembridge, Nigel McGimpsey, *Thermal Power Station Advice-Reciprocating Engines Study*, Report for the Electricity Commission, New Zealand, November 2009, pp. 29.
- [26] M. Kirjavainen, K. Sipila, T. Savola, M. Salomon, Eija Alakangas, *Small-scale biomass CHP technologies. Situation in Finland, Denmark and Sweden*, Espoo, Finland, April 2004, pp. 76.
- [27] *Economic Assessment of Combustion Technologies for Specified Risk Material Disposal in British Columbia*, STANTEC Consulting Ltd., Canada, December 2008, pp. 49.
- [28] Jaap Koppejan, *Technology status and market opportunities*, IEA workshop on Biomass CHP, Ireland, October 2010, pp. 13 http://www.ieabcc.nl/workshops/task32_Dublin_SSC/01%20Koppejan.pdf
- [29] Ingwald Obernberger, Gerold Thek, *Techno-economic evaluation of selected decentralised CHP application based on biomass combustion in IEA partner countries*, Graz University of Technology, Austria, March 2004, pp.87.
- [30] 2011 Technology Map of the European Strategic Energy Technology Plan (SSET-Plan), Technology Descriptions, Luxembourg 2011, pp. 178.
- [31] David de Jager, *Financing Renewable Energy in the European Energy Market*, ECOFYS, European Commission, 2011, pp. 264.
- [32] <http://www.turboden.eu>
- [33] <http://www.stirling.dk>
- [34] <http://www.ge-energy.com>
- [35] <http://en.tedomengines.com/stationary-engines-biogas.html>
- [36] <http://www.promobio.eu/en/bioenergy-action-plans/best-practice-examples/>
- [37] Longzhi Li , Zhanlong Song ; Chunyuan Ma ; Xiqiang Zhao , *Technical and Economic Analysis on Syngas Production from Biomass Gasification, Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, 28-31 March 2010 Asia-Pacific.