



EVALUAREA ECONOMICĂ A TEHNOLOGIILOR ORC ȘI MAI DE PRODUCERE A ENERGIEI DIN BIOMASĂ SOLIDĂ

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

Rezumat – In lucrare este abordată problema producerii energiei electrice și termice din biomasa solidă ce provine din silvicultură și agricultură (lemne de foc, deșeuri lemnoase, deșeuri agricole etc.) în condițiile Republicii Moldova. Sunt considerate două tehnologii de producere a energiei la scară medie și mică, bazate, respectiv, pe Ciclul Organic Rankine (ORC) și Motorul cu Ardere Internă (MAI). Pentru tehnologiile respective a fost determinat costul nivelat al energiei electrice și termice produse care, ulterior, este comparat cu costul mediu al energiei la sursele tradiționale utilizate în țară.

Cuvinte cheie – biomasa solidă, costul nivelat al energiei, tehnologia ORC, motorul cu ardere internă, cogenerare.

ECONOMIC ASSESSMENT OF ORC AND ICE TECHNOLOGIES OF ENERGY PRODUCTION FROM SOLID BIOMASS

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

Abstract – The paper addresses the problem of electricity and heat production based on solid biomass coming from forestry and agriculture (firewood, wood waste, crop waste, etc.) under the conditions of the Republic of Moldova. Two small and medium scale energy cogeneration technologies based on Organic Rankine Cycle and Internal Combustion Engine are considered. For these technologies there was determined the levelized cost of produced heat and electricity which is compared with the average energy cost for traditional sources available in the country.

Keywords – solid biomass, levelized cost of energy, ORC technology, the internal combustion engine, cogeneration.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОРЦ И ДВС ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ ИЗ ТВЁРДОЙ БИОМАССЫ

АРИОН Валентин, ГЕРМАН Кристина, АРСЕНИ Лучия
Технический Университет Молдовы

Реферат – В данной работе рассматривается проблема производства электрической и тепловой энергии на основе использования твердой биомассы полученной с лесного и сельского хозяйства (дрова, древесные отходы, отходы земледелия, и т.п.) в условиях Республики Молдова. Анализируются две энергетические технологии когенерации в малых и средних масштабах, основанные соответственно на Органическом Цикле Ранкина (ОРЦ) и Двигателе Внутреннего Сгорания (ДВС). Для этих технологий была определена так называемая выровненная стоимость электроэнергии и тепла, которая, сравнивается со средней стоимостью энергии у традиционных источников, имеющимися в стране.

Ключевые слова - твердая биомасса, выровненная стоимость энергии, технология ОРЦ, двигатели внутреннего сгорания, когенерация.

INTRODUCERE

Problemele de mediu și prețurile crescânde la resursele energetice tradiționale impun căutarea de noi soluții pentru acoperirea necesităților energetice. În acest context, biomasa solidă, provenită din silvicultură și, în special, din agricultură, care reprezintă una din cele mai importante resurse energetice disponibile în țară, poate servi ca materie primă pentru producerea energiei.

Lemnul din vechime se folosește pentru producerea căldurii. În prezent, în zona rurală, pentru încălzire și prepararea hranei, anual se consumă în medie cca

200-250 ktep¹ biomasă solidă, preponderent lemne de foc [1, 2]. Statisticile arată că deșeurile din agricultură au cel mai mare potențial energetic - peste 400 ktep [3], care merită a fi valorificat prin aplicarea tehnologiilor moderne.

În ultimul deceniu, în toată lumea se pune accent pe dezvoltarea și promovarea tehnologiilor de conversie a biomasei în energie și, în special, a celor care permit valorificarea resurselor cu potențial scăzut, printre care tehnologia bazată pe Ciclul Organic Rankine (ORC), tehnologiile de gazeificare a biomasei și utilizare

¹ ktep – mii tone echivalent petrol

ulterioară a gazului combustibil la producerea energiei electrice, termice și a biocarburanților.

1. FORMULAREA PROBLEMEI

În această lucrare este analizată performanța economică a tehnologiilor ORC și MAI de producere a energiei electrice și termice din biomasă solidă (paie și chips-uri).

Tehnologia ORC permite arderea directă a biomasei. Cât privește tehnologia MAI, biomasa solidă, mai întâi, este convertită în singaz (gaz combustibil), care, ulterior, este ars în motorul cu ardere internă.

2. METODOLOGIA CALCULULUI ECONOMIC

Criteriul de bază în evaluarea competitivității surselor de energie de regulă este costul nivelat minimal al energiei produse pe durata de studiu.

Costul nivelat al energiei (CNAE) se determină prin raportarea cheltuielilor totale actualizate (CTA) pe durata de studiu, la volumul actualizat al energiei produse (ETA),

$$CNAE = CTA/ETA \quad (1.1)$$

Cheltuielile CTA, asociate unei surse de energie, includ următoarele trei componente:

$$CTA = CTA_I + CTA_{comb} + CTA_{E\&M} \quad (1.2)$$

unde: CTA_I reprezintă cheltuielile cu investiția,

CTA_{comb} - cheltuielile cu combustibilul,

$CTA_{E\&M}$ - cheltuielile de exploatare și mentenanță.

Calculul CTA, pe componente, se realizează prin aplicarea modelului economic static, echivalent celui dinamic [4]. Fiecare componentă a cheltuielilor totale (1.2), fie notată CTA_x se determină ca fiind produsul cheltuielilor ($C_{0,x}$), pentru un an de referință t_0 , la o durată de studiu recalculată ($\bar{T}_{x,T}$) [4],

$$CTA_x = c_{0,x} \cdot \bar{T}_{x,T} \quad (1.3)$$

De menționat, că durata $\bar{T}_{x,T}$ ia în considerație mai mulți factori, printre care, după caz, durata calendaristică de studiu T , factorul timp (rata de actualizare i), dinamica prețului la combustibil, rata de degradare a capacității de producere a instalației etc.

În caz general, modelul dinamic de calcul al lui $\bar{T}_{x,T}$ este:

$$\bar{T}_{x,T} = \sum_{t=1}^T (1+x)^{-t}, \quad (1.4)$$

iar cel static echivalent –

$$\bar{T}_{x,T} = \left[1 - (1+x)^{-T} \right] / x \quad (1.5)$$

unde: T reprezintă durata calendaristică a perioadei de studiu, x - o rată echivalentă de actualizare, precizată după caz.

Volumul actualizat al energiei electrice produse pe durata de studiu –

$$WTA = W_0 \cdot \bar{T}_{x,T}$$

unde W_0 este volumul energiei produse în anul de referință, $\bar{T}_{x,T}$ - durata recalculată a perioadei de studiu,

care reflectă costul capitalului, fenomenul degradării instalației, creșterii costului combustibilului. În acest caz rata echivalentă de actualizare x se determină cu expresia -

$$x = (1+r_{degr}) \cdot (1+i)/(1+r) - 1 \text{ sau } x = (i+r_{degr}+r \cdot i-r)/(1+r),$$

Pentru calculul duratei $\bar{T}_{x,T}$, în cele din urmă, se aplică formula (1.5).

De menționat că, pentru determinarea costului nivelat al energiei electrice în cadrul unei centrale de cogenerare, este utilizată metoda cheltuielilor remanente. Conform acestei metode, costul energiei termice se accepta la nivelul costului unei surse de referință $CNAE_{Q,ref}$, iar costul energiei electrice produse $CNAE_W$ se determină cu formula

$$CNAE_W = CTA_W/WTA,$$

în care,

$$CTA_W = CTA - CTA_{Q,REF},$$

și $CTA_{Q,ref} = CNAE_{Q,ref}$.

3. DESCRIEREA TEHNOLOGIILOR CONSIDERATE

3.1. Tehnologia Ciclului Organic Rankine

Tehnologia ORC are la bază ciclul Rankine în care, ca agent de lucru, sunt utilizate fluide organice precum toluenul, izobutanul, izopentanul, freonul sau fluidele siliconice. Masa moleculară a acestor compuși organici este mai mare decât cea a apei, iar temperatura de fierbere este mai mică. Aceste caracteristici permit valorificarea surselor de căldură cu parametri termodinamici reduși (biomasa solidă, căldura reziduală recuperată din procesele industriale sau de la motoarele și turbinele cu gaz, etc.) pentru generarea energiei electrice.

Utilizarea biomasei solide pentru producerea electricității în instalațiile ORC presupune existența a două circuite închise, unul pentru uleiul termic iar celălalt pentru fluidul organic utilizat ca agent de lucru. Combustia biomasei are loc în cazan unde gazele de ardere, cu temperatura de 850-1000°C, încălzesc uleiul termic din circuitul intermediar până la temperatura de cca 300°C.

Avantajul utilizării uleiului termic constă în faptul că, la temperaturile necesare evaporării agentului organic de lucru, uleiul termic rămâne în stare lichidă, astfel în cazan nu este necesară o presiune ridicată.

Cedarea căldurii de la uleiul termic la agentul organic de lucru și vaporizarea acestuia are loc în vaporizator. Fluidul vaporizat se destinde în turbina, care antrenează generatorul electric cuplat direct, iar mai apoi se condensează în condensator, unde, ca mediu de răcire, este utilizată apa sau aerul.

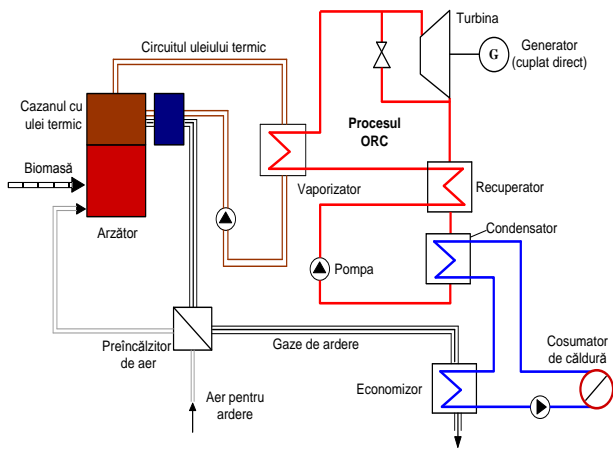


Figura 1. Schema de principiu a instalației ORC

Condensatul este preluat de pompa de circulație și iarăși presurizat, astfel se încheie ciclul termodinamic (fig. 1). De menționat, că atât uleiul termic din circuitul intermediar, cât și agentul de răcire, nu se află în contact direct cu fluidul organic. În cazul unui "fluid uscat", sau în cazul aplicațiilor cu temperaturi înalte, eficiența ciclului ORC poate fi îmbunătățită prin utilizarea unui recuperator imediat după turbină.

Vederea generală a unei unități de cogenerare ORC este prezentată în figura 2.



Figura 2. Instalație ORC, 400 kW, Austria [5]

Randamentul global al procesului ORC poate fi majorat prin valorificarea căldurii gazelor de ardere evacuate; în particular ea poate fi folosită la încălzirea aerului în preîncălzitor și apei de rețea în economizor.

Ciclul organic Rankine, sau ciclul ORC, din punct de vedere termodinamic, reprezintă una dintre cele mai eficiente tehnologii de conversie a căldurii în energie electrică.

Ciclurile ORC sunt cicluri în buclă închisă, implicând cinci etape majore:

1. Fluidul (propan, amoniu, etc.) este pompat cu presiune.
2. Fluidul presurizat este vaporizat într-un schimbător de căldură folosind sursa de căldură.
3. Vaporii presurizați sunt extinși într-o turbină care este cuplată cu un generator electric.
4. Vaporii descărcați din turbină sunt condensați înapoi în lichid folosind un turn de răcire sau un conductor cu ventilatoare și condensator.

5. Lichidul condensat este returnat în pompa într-un ciclu care se repeta continuu într-o buclă închisă.

Principalele avantaje ale tehnologiei ORC sunt:

- eficiența înaltă, în deosebi în regim de cogenerare,
- randament ridicat al turbinei (până la 85%),
- stres mecanic minimal pentru turbină datorită turațiilor joase,
- viteză redusă, ce permite cuplarea directă a generatorului electric, fără reductoare de turație,
- comportament bun la pornire și la sarcini parțiale,
- pornire și oprire automată,
- operare complet automată,
- cheltuieli de exploatare și întreținere considerabil mai reduse,
- nici o problema de coroziune,
- nu sunt probleme de eroziune a paletelor turbinei,
- nu necesita stații de tratare a apei ca în cazul turbinelor cu abur,
- turbina este foarte silențioasă,
- durată de viață este considerabil mai mare.

Aplicațiile tipice ale instalațiilor ORC

Tehnologia ORC de producere a energiei este pe larg aplicată în mai multe domenii, în principal la:

- conversia biomasei în energie,
- valorificarea căldurii reziduale a
 - apelor uzate industriale,
 - gazelor fierbinți de la cuptoare,
 - gazelor de eșapament provenite de la centralele cu turbine cu gaze și motoarele staționare,
- valorificarea căldurii apelor geotermale,
- conversia căldurii, rezultate în concentratoarele solare, în electricitate.

3.2. Motoarele cu ardere internă

Tehnologia motoarelor cu ardere internă (MAI) este utilizată la scară largă pentru producerea electricității, inclusiv în regim de cogenerare. Puterea instalată a acestora variază de la 10 kW până la cca 10 MW, ceea ce le face potrivite pentru diverse aplicații și domenii. Cea mai largă aplicare a motoarelor cu ardere internă este în domeniul comercial, instituțional și industrial.

Utilizarea largă a MAI se explică prin numeroasele avantaje precum sunt:

- investiția specifică este relativ mică,
- gabaritelor mici comparativ cu alte tehnologii,
- posibilității de valorificare a energiei termice,
- perioada de construcție scurtă,
- flexibilitatea – timp scurt de pornire și oprire a instalației,
- eficiență înaltă,
- operare și mentenanță relativ ușoară,
- opțiuni de utilizare a mai multor tipuri de combustibil – combustibili lichizi și gazoși.

Motoarele cu ardere internă se clasifică după mai multe criterii:

După *modul de aprindere* MAI pot fi cu aprindere prin scânteie sau prin comprimare. Aprinderea prin scânteie este caracteristică pentru MAI alimentate cu benzină sau gaze, pe când aprinderea prin comprimare – pe motorină.

După *spațiul producerii amestecului carburant* - motoare cu formarea amestecului carburant în exteriorul cilindrului și motoare cu formarea amestecului carburant în cilindru.

După *numărul de timpi* MAI pot fi în doi sau patru timpi.

Randamentul electric al motoarelor cu ardere internă variază de la 20 la 45%. În regim de cogenerare eficiența poate atinge 92-95% [6, 7].

Eficiența instalației MAI este determinată de mai mulți factori, printre care tipul combustibilului utilizat și capacitatea calorică a acestuia, gradul de utilizare a puterii electrice și termice, compania producătoare etc.

Imaginea unui motor cu ardere internă, alimentat cu biogaz, este prezentată în figura 3.



Figura 3. Instalație de cogenerare MAI, pe biogaz [8].

Unitățile generatoare bazate pe tehnologia MAI sunt, de obicei, proiectate pentru utilizarea combustibililor fosili – gazele naturale, benzină sau motorină. Biocarburanții, precum biogazul produs prin descompunerea anaerobică a materiei organice sau singazul, produs prin descompunerea termică a biomasei solide, pot fi, de asemenea utilizați pentru alimentarea motoarelor cu ardere internă.

Întrucât proprietățile combustibile ale biogazului și a singazului sunt inferioare combustibililor tradiționali, în cazul utilizării acestora, puterea dezvoltată și energia produsă sunt sub nivelul parametrilor nominali stabiliți pentru carburantul fosil. Aceasta înseamnă că la utilizarea biogazului și singazului, capacitatea instalată necesară a generatorului va rezulta una mai mare decât în cazul combustibilului tradițional (tab. 1).

Tabelul 1. Caracteristicile motorului CG260-16, Caterpillar, alimentat cu diferiți combustibili [7,9]

Puterea electrică	Randament, %		
	electric	termic	global
MAI pe gaze naturale*			
4300	44,1	42,7	86,8
MAI pe biogaz**			
3770	42,9	43,4	86,3
MAI pe singaz***			
2640	20-28	60-54	80-82

*34.56 MJ/Nm³, **18.0-23.3MJ/Nm³, ***6 – 11 MJ/Nm,

4. PARAMETRII UTILIZAȚII ÎN CALCULUL COSTULUI NIVELAT AL ENERGIEI

4.1. Date generale

Tehnologiile considerate în acest studiu - ORC și MAI, sunt tehnologii de cogenerare – de producere simultană a căldurii și electricității. Indiferent de faptul este căldura valorificată (comercializată) sau nu, oricum ea este produsă. Mai jos vom aplica termenul de producere în regim de cogenerare, având în vedere că căldura produsă la volumele prestabilite, este valorificată;

Tehnologiile ORC și MAI sunt evaluate și comparate în baza valorii costului nivelat al energiei; soluția pentru care $CNAE \rightarrow \min$, este cea mai atractivă. Pentru aceste tehnologii de cogenerare, în baza metodologiei CNAE, prezentate în para. 2, a fost determinat costul nivelat al energiei electrice pentru cazurile nevalorificării și valorificării energiei termice. O asemenea abordare este relevantă inclusiv și la stabilirea tarifelor de tip Feed-in.

Calculul costului nivelat au fost realizate pentru un șir de instalații, disponibile pe piață regională. Astfel, pentru tehnologia ORC au fost considerate instalațiile cu puterea electrică de 400, 611, 700, 1000 și 1700 kW, iar pentru MAI – 100, 500, 1000 și 5000 kW.

Incertitudinea datelor inițiale în calcule este abordată prin considerarea a două scenarii: *scenariul optimist* și *conservativ*.

Scenariul optimist este caracterizat de un set de informații inițiale, care conduce către valoarea minimă a lui CNAE, CNAE⁻ (factorul de capacitate a centralei - valoarea maximă, gradul de utilizare a puterii termice - max., randamentul - max., rata de creștere a consumului specific de combustibil – min., rata de creștere a prețului la combustibil – min., rata de degradare a capacității instalațiilor de producere a energiei – min.).

Scenariul conservativ, la rândul său, este caracterizat de un alt set de informații inițiale, care conduce către valoarea maximă conservativă a lui CNAE, CNAE⁺.

Astfel, pentru fiecare instalație generatoare studiată, au fost obținute cele două valori marginale ale lui CNAE, care determină intervalul de incertitudine al costului energiei produse.

În calcule a fost acceptat un șir de parametri comuni, caracteristici situației din Republica Moldova, în scopul

comparării ulterioare a diferitor tehnologii. Printre acești parametri sunt:

- *Durata de studiu*. Pentru tehnologiile de producere a energiei din biomasa solidă, durata de viață variază de la 7 până la 25 de ani. În calcule a fost acceptată o durată de studiu unică pentru toate tehnologiile, egală cu 15 ani, care, eventual, poate fi durata de contractare cu producătorii de energie regenerabilă în cadrul unor contracte de tip Feed-in.

- *Durata de utilizare a puterii maxime (sau factorul de capacitate)*. În calcule, pentru toate tehnologiile, a fost considerată una și aceeași durată de utilizare a puterii electrice maxime, cu valori între 7000 și 8000 h/an.

Pentru puterea maximă termică: 2000-4000 h/an. De menționat că, în situațiile în care la locul de consum va exista o cerere mai mare pentru energia termică, acest lucru doar va îmbunătăți indicatorii surselor de energie.

- *Rata de creștere a cheltuielilor pentru întreținere și reparații*. S-a acceptat o rată comună de 5-7% creștere anuală a cheltuielilor pentru întreținere și reparație.

- *Costul biocombustibilului și rata de creștere a lui*. Pentru tehnologia ORC, în calitate de combustibil sunt considerate paie și chips-urile (așchii) din lemn sau tulpinile de la floarea soarelui și porumb. Costurile biomasei solide, acceptate în calcule: paie – 40-60 €/t, chips-uri - 70-100 €/t; vom accepta o creștere anuală de 3 - 5 % a costului combustibilului.

Motorul cu ardere internă este alimentat cu singazul produs din aceeași biomasă solidă, într-o instalație de gazeificare. Costul singazului folosit va depinde de capacitatea MAI, deci și a gazeificatorului.

- *Căldura inferioară de ardere a combustibililor*. Valori considerate în calcule: paie: 9-14 MJ/kg, așchii de lemn: 10-16 MJ/kg, singaz: 4-7 MJ/ m³.

- *Rata anuală de creștere a consumului specific de combustibil* acceptată în calcule - 0,5% anual, la fel ca și *rata de degradare a capacității instalației*.

- *Rata de actualizare* sau costul capitalului pentru toate tehnologiile este de 12 % anual. Această rată reprezintă valoarea medie ponderată a costului capitalului implicat: împrumut bancar în proporție de 65% la rata de 8 % și capital propriu în proporție de 35% la rata de 20 %.

- *Costul energiei termice la sursa de referință*. A fost acceptat un cost care ar corespunde unei centrale termice, alimentate cu același tip de combustibil: paie sau chips-uri. În urma calculelor realizate a fost determinat costul nivelat al energiei termice pentru cele două scenarii – 50 și 70 €/Gcal.

4.2. Parametrii tehnologiei ORC [9-12]

Unitățile ORC, găsite pe piață sunt de diferită putere și cost. În calculele realizate au fost considerate investiții specifice de la 10,3 mii €/kW pentru instalația cu puterea de 400 kW și până la 4,7 mii €/kW pentru instalația cu puterea 1800 kW (tab.2).

Tabelul 2. ORC: valoarea investiției specifice, €/kW

Puterea instalației ORC, kWe	Cu valorificarea energiei termice		Fără valorificarea energiei termice	
	min	max	min	max
400	9500	10500	9300	10300
600	6700	7900	6500	7700
700	5200	6200	5000	6200
970	4900	5500	4700	5300
1790	4200	4900	4000	4700

Randamentul electric al instalației ORC variază între 17 și 18%, pe când randamentul global este de 86-90 % .

Cheltuielile pentru întreținere și reparații (E&M) se iau în calcule ca % din investiția totală, valoarea acestora variază între 2,5-4%.

4.3. Parametrii tehnologiei MAI

Investiția specifică pentru motoarele cu ardere internă este mai mică decât în cazul ORC [13-14]. Valorile acesteia variază de la 550 €/kW pentru instalația cu puterea de 5 MW până la 1600 €/kW pentru instalația de 100 kW.

Investiția specifică pentru motoarele destinate producerii energiei electrice și termice (instalații de cogenerare) este cu cca 8-12% mai mare decât cele ce produc doar electricitate. În tabelul 3 sunt prezentate valorile investiției specifice pentru diferite capacități ale instalațiilor MAI.

Tabelul 3. MAI: investiția specifică, €/kW

Puterea MAI, kWe	Cu valorificarea energiei termice		Fără valorificarea energiei termice	
	min	max	min	max
100	1400	1700	1300	1600
500	1100	1300	1000	1200
1000	900	1100	800	1000
5000	650	770	550	680

Randamentul electric al MAI considerat în calcule este de 25-30%, iar randamentul global – 70-80%.

Cheltuielile pentru întreținerea și reparația MAI variază între 10-15 €/MWh_e.

5. CALCULUL COSTULUI NIVELAT AL ENERGIEI PRODUSE

Costul nivelat al energiei produse prin diferite tehnologii, a fost determinat pentru două cazuri: (i) fără valorificarea căldurii și (ii) cu valorificarea parțială a căldurii produse. Înainte de a prezenta rezultatele obținute, ar fi de menționat că toate calculele sunt efectuate pentru *un grad modest de utilizare a energiei termice produse*, care, în mare măsură, reflectă situația din țară. În particular, în calcule, pentru durata de utilizare a puterii termice maxime, au fost aplicate valori cuprinse între 2000 și 4000 ore pe an. Însă, în țară ar putea exista noduri de

consum termic *cu durate mult mai mari* – 6000 ore și mai mult, cazuri mai puțin probabile, pentru care tehnologiile considerate ar putea fi mult mai atractive.

5.1. Tehnologia Ciclului Organic Rankine

Instalațiile ORC considerate produc căldură și electricitate prin arderea directă a biomasei solide.

Rezultatele obținute ce privesc calculul CNAE pentru cazurile considerate sunt prezentate în tabelul 4, precum și în figurile 4 și 5.

Tabelul 4. Valorile CNAE pentru tehnologia ORC

Combustibil	400 kW		600 kW		700 kW		1000 kW		1700 kW		
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	
Producerea doar a electricității											
Paie	€/kWh	0.28	0.52	0.22	0.44	0.18	0.39	0.18	0.36	0.16	0.34
	lei/kWh	4.33	7.99	3.35	6.75	2.83	6.03	2.73	5.60	2.49	5.32
Chips-uri	€/kWh	0.32	0.61	0.25	0.53	0.22	0.49	0.21	0.46	0.20	0.44
	lei/kWh	4.91	9.53	3.94	8.29	3.42	7.57	3.31	7.14	3.07	6.86
Cogenerare											
Paie	€/kWh	0.16	0.47	0.07	0.39	0.03	0.34	0.03	0.32	0.01	0.30
	lei/kWh	2.40	7.16	1.01	5.93	0.47	5.23	0.46	4.81	0.17	4.53
Chips-uri	€/kWh	0.19	0.57	0.11	0.50	0.07	0.45	0.07	0.42	0.05	0.40
	lei/kWh	3.00	8.72	1.67	7.56	1.13	6.86	1.10	6.43	0.82	6.16

*1 € = 15,5 lei

Datele obținute permit de a observa că producerea energiei în instalațiile ORC conduce către un cost mediu nivelat de cca 2,5 lei/kWh (producerea doar a electricității) și 0,17 lei/kWh (cogenerare) – în scenariul optimist.

În scenariul conservativ, costul mediu nivelat al electricității produse rezultă la nivel de 5,32 lei/kWh (doar electricitate) și 4,53 lei/kWh (cogenerare).

Utilizarea paielor versus chips-urilor conduce către costuri mai mici; paietele au o căldură de ardere mai mică decât chips-urile, însă ele sunt și mai ieftine.

De remarcat, că conform unui studiu realizat, costul nivelat al energiei furnizate din rețeaua publică (pe perioada următorilor 15 ani) va constitui cca 2,2-3,0 lei/kWh. Din cele menționate rezultă că, aplicarea tehnologiei ORC în condițiile Republicii Moldova, este fezabilă doar în cazul cogenerării.

Cele două valori limită ale CNAE formează un interval de incertitudine (fig.4).

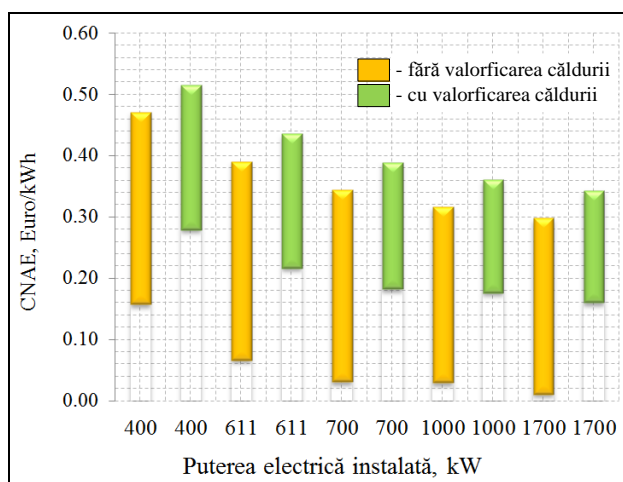


Figura 4. ORC: Intervalele valorilor CNAE (pe paie)

Atractivitatea tehnologiei va crește odată cu creșterea gradului de utilizare a căldurii produse. Urmează a ne orienta la aplicații pentru care durata utilizării puterii maxime a energiei termice consumate depășește 3000 ore pe an – lucru care poate fi realizat prin utilizarea acestor surse în noduri cu consum ridicat de energie termică.

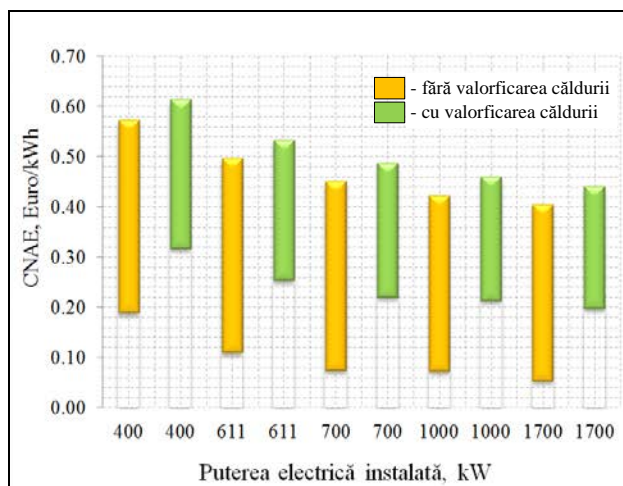


Figura 5. ORC: Intervalele valorilor CNAE (pe chips-uri)

5.2. Motorul cu ardere internă

În studiu sunt considerate instalațiile de cogenerare cu motoare cu ardere internă, alimentate cu singazul produs din paie și chips-uri. Pentru cele două cazuri considerate (nevalorificarea și valorificarea parțială a căldurii), rezultatele obținute sunt prezentate în tabelul 5, precum și în figurile 6 și 7.

Din analiza datelor obținute rezultă că costul nivelat al electricității produse de MAI poate avea valori cuprinse între 2-13 lei/kWh – în cazul producerii doar a electricității (căldura este cedată în mediul ambiant) și între 1,5-12,5 kWh în cazul cogenerării energiei.

Tabelul 5. Valorile CNAE pentru instalația MAI

Combustibil		100 kW		500 kW		1000 kW		5000 kW	
		min	max	min	max	min	max	min	max
Producerea doar a electricității									
Paie	€/kWh	0.25	0.70	0.20	0.59	0.17	0.53	0.13	0.45
	lei/kWh	3.86	10.84	3.06	9.09	2.63	8.24	1.97	6.92
Chips	€/kWh	0.29	0.85	0.24	0.74	0.21	0.69	0.17	0.60
	lei/kWh	4.53	13.21	3.71	11.45	3.29	10.64	2.63	9.32
Cogenerare									
Paie	€/kWh	0.21	0.66	0.16	0.56	0.13	0.50	0.09	0.41
	lei/kWh	3.18	10.20	2.46	8.67	2.05	7.82	1.44	6.38
Chips	€/kWh	0.24	0.80	0.20	0.71	0.17	0.65	0.13	0.55
	lei/kWh	3.80	12.41	3.08	10.93	2.67	10.10	2.03	8.59

Valorile minime și maxime ale CNAE determină intervalul de incertitudine a costului.

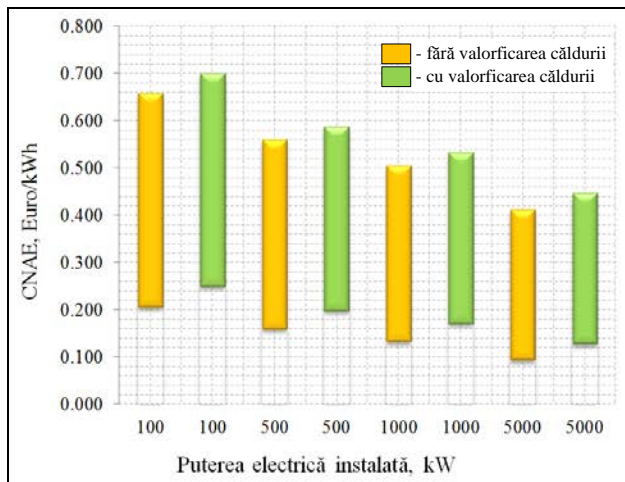


Figura 6. MAI: Intervalele valorilor CNAE (pe paie)

Pentru durate de utilizare a puterii maxime mai mari de 4000 ore pe an, costul nivelat al energiei electrice va rezulta considerabil mai mic, făcând tehnologia MAI fezabilă pentru implementare.

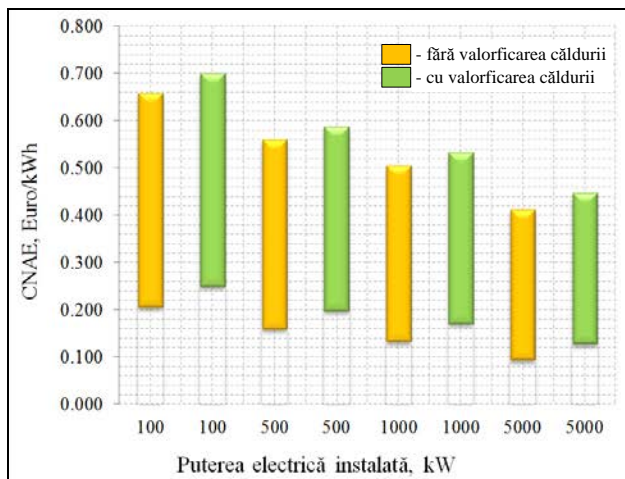


Figura 7. MAI: Intervalele valorilor CNAE (pe chips-uri)

5.3. Analiza comparativă a tehnologiilor ORC și MAI

Atât tehnologia ORC cât și MAI permit de a valorifica pe larg toate tipurile de biomasă solidă, ce rezultă din silvicultură și agricultură; în primul caz biomasa este arsă, iar în al doilea – convertită în singaz.

Pentru o comparare numerică a celor două tehnologii, vom analiza performanța instalațiilor de aceeași capacitate, fie 1 MW putere instalată.

Conform calculelor, se dovedește că, tehnologia ORC, caracterizată de investiții mult mai înalte, în cazul producerii energiei în regim de cogenerare, este considerabil mai atractivă (0,03 vs. 0,13 €/kWh - pe paie și 0,07 vs. 0,17 €/kWh - pe chips-uri).

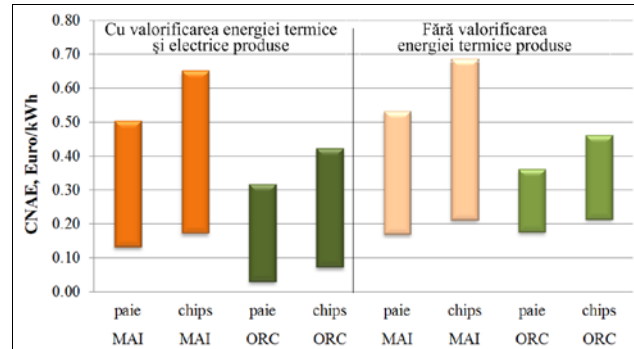


Figura 7. ORC versus MAI

În cazul producerii numai a electricității, costurile nivelate pentru cele două tehnologii sunt, practic, unele și aceleași - stare de imperceptibilitate (fig.6).

În plus, tehnologia ORC executată de regulă în module, ar fi mai sigură în exploatare decât MAI+gazeificator.

CONCLUZIE

1. Moldova deține un potențial important de biomasă solidă din silvicultură și, în special, din agricultură (paie, tulpini de floarea soarelui și de porumb, crengi din grădini, ramuri de la curățatul viței de vie etc.) care merită a fi valorificat pentru a produce căldură și electricitate.
2. Cele mai performante tehnologiile de conversie a biomasei solide în energie sunt instalațiile bazate pe Ciclul Organic Rankine (ORC) și Motoarele cu Ardere Internă (MAI). Prima presupune arderea directă, pe când cea de-a doua – conversia biomasei, mai întâi, în singaz.
3. Producerea combinată a energiei electrice și termice (cogenerarea energiei) rămâne a fi cea mai economicoasă cale de a produce energia, indiferent de tipul tehnologiei. Atât ORC cât și MAI reprezintă tehnologii de cogenerare.

Cu cât gradul mediu anual de încărcare al instalațiilor este mai mare, cu atât energia produsă este mai ieftină.

Surplusul de energie electrică neconsumat la locul de producere ușor poate fi injectat în rețeaua publică, pe când nu există așa posibilitate în ceea ce privește energia termică. Căldura produsă de ORC și MAI, neconsumată, va fi degajată în mediul ambiant. Iată de ce, instalațiile de cogenerare, la consumuri mici de energie termică, adesea se dovedesc a fi nerentabile.

4. Tehnologiile ORC și MAI, cu capacități mici și medii, sunt la limita competitivității cu sursele de energie tradiționale (rețeaua electrică și rețeaua termică).
5. În cazul cogenerării, în noduri cu consum înalt de căldură - ambele tehnologii sunt economic fezabile. Însă, în Republica Moldova asemenea noduri sunt puține. Iată de ce, în scopul promovării energiei regenerabile (biomasei), statul vine cu scheme de suport (Tarife Feed-in).
6. Ținând cont de faptul că tehnologiile considerate permit de a produce energia din deșeuri, merită de a promova instalațiile de tip ORC și MAI în țară, prin mecanismul Feed-in.
7. Promovarea tehnologiilor ORC și MAI prin mecanismul Feed-in trebuie să fie prioritară în raport cu alte tehnologii regenerabile, ținând cont de costul mai mic al energiei produse, disponibilitatea biomasei pe teritoriul republicii și posibilitatea funcționării instalațiilor generatoare fără oprire, pe tot parcursul anului.

BIBLIOGRAFIE

- [1] *Strategia privind valorificarea potențialului de biomasă și direcții de acțiune pentru dezvoltare și utilizare*. Ministerul Agriculturii și Industriei Alimentare a RM, 15.07.2011, 20 pp.
<http://www.maia.gov.md/doc.php?l=ro&idc=49&id=14450>
- [2] V. Arion, S. Ungureanu, C. Gherman, *Solid Biomass Potential Assessment for Moldova*, 6th International Conference on Electrical and Power Engineering, EPE-2010, 28-30 October 2010 - Iași, Romania,
- [3] V. Arion și alții, *Biomasa și utilizarea ei în scopuri energetice*, Editura Garamond-studio SRL, Chisinau, 2008, 268 pp.
- [4] V. Arion, V. Hlusușov, C. Gherman, *Substitution of Dynamic Models by Equivalent-Static ones in Energy Projects Long-Run Cost Assessment*, 6th international conference on electrical and power engineering, 28-30 October 2010 - Iași, Romania.
- [5] *Power generation and cogeneration*,
<http://www.ieabcc.nl/overview/powergeneration.html>
- [6] National Renewable Energy Laboratory. *Gas-Fired Distributed Energy Resource Technology Characterizations*. NREL/TP-620-34783.
- [7] LEXE0422-03 (06/2012). *Gas generator set product ratings summary*.
- [8] <http://zorg-biogas.com/options/cogeneration?lang=en>.
- [9] *Syngas cogeneration - CHP systems - technically superior by design*, <http://www.2g-cenergy.com/syngas.html>.
- [10] Ilaria Peretti, *Paper application of ORC units in sawmills. Technical-economic considerations*”, Turboden SRL, Brescia, 2008, 12 pp.
- [11] Duvia A., Tavolo S., *Application of ORC units in the Pellet Production field: Technical-Economic Considerations and overview of the operational results of an ORC plant in the industry installed in Mudau* (Germany), Proceedings of the 16th European Biomass Conference & Exhibition, Valencia, Spain, 2008.
- [12] Andrea Duvia, Al. Guercio, Cl. Rossi, *Technical and economic aspects of Biomass fuelled CHP based on ORC turbo-generators feeding existing district heating networks*, Proceedings of the 17th European Biomass Conference, Hamburg, Germany, 2009, 10 pp.
- [13] O. Perego, A. Rossetti, *Casi de studio tecnico-economici 'impianti termoelettrici alimentati a biomasa*. Stima della propensione alla cogenerazione, Italia, 2011, 49 pp.
- [14] Prospects for Landfill Biogas Energy Projects, Rachel Goldstein, US EPA, Landfill Methane Outreach Program Rimini, Italy November 7, 2006.