



A XVI-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești”
SEBEȘ, 2016

ANALIZA OPȚIUNILOR DE COGENERARE PENTRU SISTEME DE TERMIFICARE PE BAZĂ DE BIOMASĂ

Carmen MATEESCU, Lucian MÂNDREA

ASSESSMENT OF THE COGENERATION OPTIONS FOR BIOMASS-BASED DISTRICT HEATING SYSTEMS

This paper aims to highlight the need to implement centralized district heating systems by promoting high-efficiency cogeneration and use local resources of wood biomass residuals. There are underlined the many benefits which the centralized heating systems offer locally. Moreover, there are presented solid arguments underlying the promotion of cogeneration plants based on solid biomass for a higher security of energy supply at reliable prices for consumers. Furthermore, this paper analyzes briefly four types of cogeneration systems designed for a wood biomass-based power plant, showing the advantages and disadvantages of each technical option.

Keywords: cogeneration, biomass, centralized heating

Cuvinte cheie: cogenerare, biomasă, încălzire centralizată

1. Introducere

Reabilitarea și modernizarea sistemelor de alimentare centralizată cu energie termică, inclusiv schimbarea tipului de combustibil la instalațiile de ardere energetice (de exemplu, trecere pe biomasă) reprezintă un obiectiv important în Programului Național pentru creșterea Eficienței Energetice și utilizarea Surselor Regenerabile de Energie în Sectorul Public [1].

Centralele de cogenerare pe bază de biomasă utilizează combustibil regenerabil care derivă din următoarele surse: deșeuri forestiere, deșeuri agricole, deșeuri de procesare. Într-o instalație industrială de procesare a lemnului, utilizarea deșeurilor lemnoase drept material combustibil este o opțiune evidentă deoarece deșeurile lemnoase rezultă ca produși secundari în procesele de producție [2].

Lucrarea își propune o analiză a opțiunilor sistemelor de cogenerare, adresată investitorilor și unităților administrativ-teritoriale, necesară în elaborarea de studii de fezabilitate pentru selectarea variantei optime, specifice condițiilor și necesităților locale.

2. Argumente în sprijinul dezvoltării centralelor pe bază de biomasă lemnoasă

Centralele de cogenerare pe bază de biomasă lemnoasă prezintă multiple beneficii, între care pot fi menționate următoarele:

- *Economia de costuri*

Cea mai mare parte din profitul sau economia costurilor acestor instalații provine din generarea de electricitate. În cazul centralelor de capacitate mare, energia electrică generată este vândută companiilor naționale de electricitate. În cazul sistemelor de cogenerare de capacitate mică și medie (0,2 - 20 MW) care sunt instalate în zone industriale sau cartiere de locuințe, energia produsă este utilizată la nivel local, reducându-se astfel costurile generate de utilizarea de electricitate din rețeaua națională.

- *Siguranța în furnizarea de energie electrică și termică*

Aceasta prezintă importanță majoră atât din motive comerciale, cât și din considerente de siguranță. Impactul oricărei întreruperi sau căderi temporare de curent poate fi minimizat prin configurarea centralei de cogenerare în acoperirea necesarului energetic local. În plus, combustia biomasei se realizează în general în boilere multi-combustibil, care permit selectarea și utilizarea unei diversități de combustibili. Spre exemplu, pot fi utilizați combustibili uzuali precum rumeguș de lemn, deșeuri lemnoase (scoarță, așchii, reziduuri umede și proaspete etc.), deșeuri lemnoase uscate provenite din industria de prelucrare a lemnului, alte deșeuri

lemnose uscate, dar și combustibil reciclat de tipul hârtie, cartoane, deșeuri lemnoase rezultate din demolări etc.

- *Control mai bun în exploatare*

Operarea și întreținerea centralelor moderne pe baza de biomasă implică un efort mult mai redus comparativ cu vechile sisteme cu boilere, sistemele de cogenerare fiind dotate cu echipamente automate performante de monitorizare și control.

- *Beneficii pentru mediul înconjurător*

Centralele de cogenerare pe bază de biomasă au o eficiență energetică foarte ridicată, ceea ce optimizează utilizarea de combustibil și elimină generarea de bioxid de carbon în mediu. În plus, centrala de cogenerare pe bază de biomasă reprezintă una dintre formele de generare de energie termică și electrică cele mai prietenoase mediului. Biomasă lemnoasă conține foarte puțin sulf și este o materie primă cu emisii de carbon neutre, ceea ce îi conferă avantaje semnificative în ceea ce privește protecția mediului, comparativ cu combustibilii fosili, în special cărbune. Creșterea gradului de valorificare a biomasei lemnoase la producerea de energie electrică și termică în centralele de cogenerare va determina reducerea gradului de poluare cu oxizi de azot și de sulf la nivel local și regional, care s-ar produce prin utilizarea combustibililor convenționali, precum cărbune și petrol.

- *Disponibilitatea materiei prime lemnoase*

Biomasă lemnoasă, disponibilă atât sub formă de deșeuri forestiere (crengi, așchii) cât și sub formă de material lemnos prelucrat (pelete, brichete), reprezintă un mare avantaj pentru implementarea sistemelor de cogenerare pe bază de biomasă în județele cu potențial lemnos ridicat. De asemenea, deșeurile forestiere reprezintă un material combustibil de calitate superioară deoarece sunt curate și au un conținut de cenușă scăzut (1 – 3 %). Deși pot avea un conținut de umiditate ridicat, acestea creează mai puține probleme echipamentelor de combustie. Materialele combustibile prelucrate din lemn (pelete, brichete) sunt obținute din deșeuri lemnoase, deshidratate și comprimate până la dublul densității energetice a lemnului verde. Acestea au o putere calorică mai mare, costuri mai mici de transport, o logistică îmbunătățită de stocare și utilizare automatizată, putând deveni un înlocuitor viabil

pentru diverși combustibili fosili (gaz natural, petrol, cărbuni) sau pentru lemnul de foc [1].

3. Analiza tehnico-economică a sistemelor de cogenerare

Conceptul de cogenerare definește producția simultană, cu aceeași instalație (grup turbină cu abur – generator, grup motor cu ardere internă – generator etc.), a energiei electrice și termice (sub formă de apă caldă, abur sau agent de răcire) [2].

Există o gamă relativ variată de sisteme de cogenerare. Diferențele între acestea constau în principal în tehnologia procesului de cogenerare; combustibilul utilizat; agentul purtător și parametrii căldurii livrate; raportul electricitate/căldură generată. Principalul avantaj al cogenerării este economia de energie; în cazul utilizării cogenerării ca tehnologie energetică, circa 85 % din energia conținută în combustibil se transformă în energie utilă (electricitate și căldură). Această caracteristică evidențiază faptul că, în cogenerare, valorificarea combustibilului se realizează cu o eficiență energetică mult mai bună în raport cu eficiența în cazul producerii de electricitate prin procedee clasice [3].

Exemplificând pentru o centrală de cogenerare pe bază de biomasă lemnoasă cu o putere energetică de 2140 kW, se asigură o eficiență în producerea de energie electrică de 14 % (corespunzătoare unei puteri electrice generate de cca. 300 kW), o eficiență în energia termică de 70 % (corespunzătoare unei puteri termice de cca. 1500 kW) și se înregistrează pierderi de cca. 16 % (corespunzătoare unei capacități energetice de 340 kW), așa cum este evidențiat în figura 1 [1].

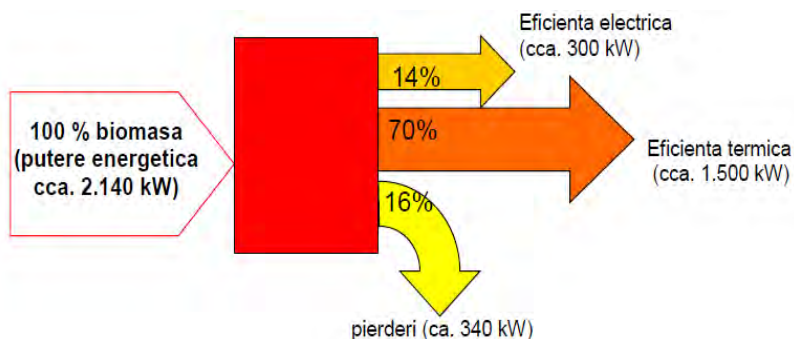


Fig. 1 Randamentul de operare al centralei de cogenerare

Dacă s-ar opta pentru construirea unei centrale pe bază de biomasă, cu producerea independentă de energie electrică și energie termică, s-ar înregistra o eficiență de cca. 30 % în producerea de energie electrică, incluzând și pierderile pe rețea, în cazul unui sistem centralizat (figura 2, a) și o eficiență de cca. 90 % în producerea de energie termică în cazul unui sistem descentralizat (figura 2, b).

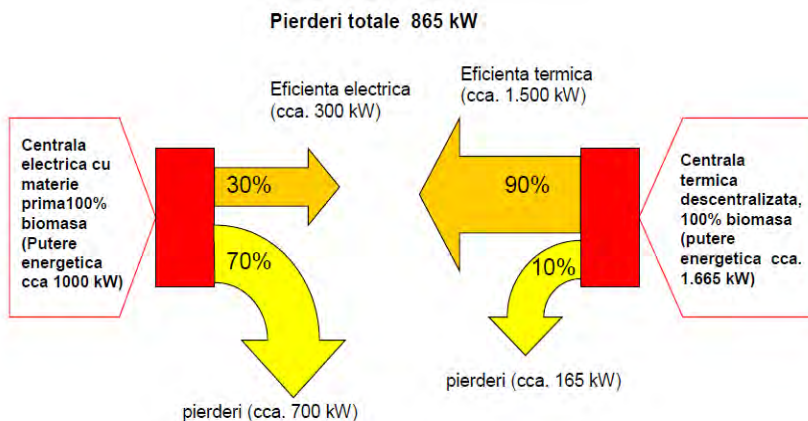


Fig. 2 (a, b) Randamentul de operare al centralei electrice (stânga), respectiv centralei termice (dreapta)

Prin producerea de energie electrică și termică separat se obțin cu cca. 150 % mai multe pierderi de energie (525 kW), comparativ cu sistemul de cogenerare de înaltă eficiență propus, aceste pierderi având influențe negative asupra climatului și resurselor de biomasă lemnoasă. Prin urmare, o centrală de cogenerare pe bază de biomasă lemnoasă reprezintă o soluție tehnologică mai eficientă și mai puțin poluantă decât o centrală de producere de energie electrică și termică individuală [9].

În continuare sunt analizate patru variante de sisteme de cogenerare pentru o centrală de încălzire care funcționează cu biomasă lemnoasă, selectarea variantei optime fiind o opțiune specifică fiecărei aplicații. În analiza opțiunilor s-au luat în considerare atât aspectele tehnice cât și cele economice privind implementarea și exploatarea sistemului, ținând cont și de gradul de dezvoltare și de maturitatea tehnologică.

Tabelul 1

Sistem de gazeificare cu motor pe bază de gaz de lemn		
<p>Instalații de gazeificare există la nivel demonstrativ, implementate la scară mică, cu capacități instalate între 10 kW_e și 1000 kW_e. Raportul între căldura și electricitatea generate este situat la max. 2:1, chiar mai scăzut de 1:1. Există diferite tipuri de gazeificatoare, majoritatea acestora fiind de tipul “down-draft” (în pat fix), utilizate împreună cu un motor cu combustie internă. Prin gazeificare biomasa se convertește într-un gaz combustibil inflamabil. Gazul produs este răcit de la 850 °C la 150 °C și filtrat pentru a elimina particulele antrenate și gudronul, fiind ulterior curățat de compuși cu azot și sulf într-un sistem special de curățare. Gazul purificat cu temperatura de 50 °C alimentează un motor cu combustie internă.</p>		
Aspecte tehnico-economice	Avantaje	Dezavantaje
<p>Cantitatea de gaz combustibil rece generat: 71,4 % (centrala 8 MW_{th} în Gussing, Austria), respectiv 70-80 % (centrala 4 MW_{th} Harboor, DK); Randament electric: 25,6 % (centrala de 8 MW_{th} în Gussing), respectiv 28,5 % (centrala 4MW_{th} Harboor); Randament termic: 50,9 % (centrala de 8 MW_{th} în Gussing), respectiv 64,2 % (centrala 4MW_{th} Harboor); Randamentul centralei: 76,5 % (centrala de 8 MW_{th} in Gussing), respectiv 92,7 % (centrala 4 MW_{th} Harboor, când gudronul a fost ars suplimentar pentru producerea agentului termic necesar consumului); Centrala operează cu peleți de lemn cu umidități variate; 2 motoare pe gaz tip Jenbacher (GE) cu puterea de 1000 kW_e (centrala 4 MW_{th} Harboor); 1 motor pe gaz Jenbacher (GE) cu puterea de 2000 kW_e (centrala de 8 MW_{th} în Gussing). Costuri specifice adiționale pentru investiție: 4200 - 5600 Euro/kW_e; Costuri specifice pentru generarea energiei electrice: 0,19 Euro/kWh_e (proces up-draft) și respectiv 0,26 Euro/kWh_e (proces down-draft) [1].</p>	<p>Eficiență electrică ridicată;</p> <p>Poate fi utilizată biomasa cu conținut ridicat de umiditate (până la 55 %)</p>	<p>Costuri investiționale ridicate;</p> <p>Sistem foarte complex cu costuri ridicate de operare;</p> <p>Costuri de întreținere ridicate;</p> <p>Gazul produs conține largi cantități de gudron necesitând investiții semnificative în sisteme suplimentare de purificare;</p> <p>Sistemul de gazeificare se află în stadiul de dezvoltare și demonstrare; Tehnologia nu a ajuns la maturitate.</p>

Motor Stirling		
<p>Tehnologia este aplicabilă pentru capacități electrice de până la 100 kW, în centrale de cogenerare de mică putere. Motoarele Stirling funcționează în ciclu închis asemănător motoarelor cu combustie, utilizând un gaz ca element compresibil. Deoarece ciclul motorului Stirling este închis, el conține o cantitate determinată de gaz numit "fluid de lucru", de cele mai multe ori aer, azot, hidrogen sau heliu. Spre deosebire de alte tipuri de motoare nu sunt necesare supape. Gazul din motorul Stirling, asemănător altor mașini termice, parcurge un ciclu format din 4 transformări (timp): încălzire, destindere, răcire și compresie. Ciclul se produce prin mișcarea gazului înainte și înapoi între schimbătoarele de căldură cald și rece. Schimbătorul de căldură cald este în contact cu o sursă de căldură externă de exemplu un arzător de combustibil, iar schimbătorul de căldură rece este în legătură cu un radiator extern, de exemplu radiator cu aer. O schimbare intervenită în temperatura gazului atrage după sine modificarea presiunii, în timp ce mișcarea pistonului contribuie la compresia și destinderea alternativă a gazului. O astfel de centrală de cogenerare de mică putere, pe bază de biomasă solidă, folosind ca sistem de cogenerare motoare Stirling de 35 kW_e și 70 kW_e, a fost dezvoltată în scop de cercetare și implementată în Austria, de către BIOS Bioenergiesysteme GmbH [4]</p>		
Aspecte tehnico-economice	Avantaje	Dezavantaje
<p>Randament electric: 12-15 %; Randament total: 88,3 %; Putere electrică motor Stirling: 35 kW_e și 70 kW_e; Putere termică motor Stirling: 105 kW_{th} și 210 kW_{th} Costuri specifice adiționale pentru investiție: 5300 Euro/kW_e (capacitatea de 35 kW_e) și respectiv 4600 Euro/kW_e (capacitatea de 70 kW_e); Costuri specifice pentru generarea energiei electrice: 0,22 Euro/kWh_e (capacitatea de 35 kW_e) și respectiv 0,19 Euro/kWh_e (capacitatea de 70 kW_e)</p>	<p>Costuri ridicate de investiție;</p> <p>Posibilitatea utilizării de biomasă umedă;</p> <p>Disponibile echipamente de dimensiuni reduse;</p>	<p>Costuri de întreținere medii;</p> <p>Randament scăzut;</p> <p>Sistem aflat în stadiul de dezvoltare și demonstrare;</p> <p>Nu este comercial disponibil;</p> <p>Tehnologia nu a fost pe deplin demonstrată în exploatare;</p> <p>Tehnologia nu a ajuns la maturitate</p>

Tabelul 3

Sistem ORC (Organic Rankine Cycle)		
<p>Tehnologia ORC este relevantă în cazul capacităților medii, cu puterea electrică instalată între 200 kW_e - 1500 kW_e. Ambele motoare cu piston cu abur și turbină cu abur folosesc ciclul termodinamic Rankine. La capacități mici instalate acest lucru devine foarte ineficient și costisitor, datorită temperaturilor și presiunilor ridicate necesare. Este posibil să se înlocuiască apa ca mediu de lucru cu un compus organic cu un punct de fierbere mai mic, freon sau solvent organic (sistem ORC). Acest lucru permite ca sistemul să funcționeze mai eficient la temperaturi și presiuni mult mai scăzute și la scară mai mică. Mediul de lucru poate fi mai puțin coroziv pentru componente, cum ar fi paletetele de turbine, supraîncălzirea nu mai este necesară și, de asemenea, turbina poate funcționa la o viteză mai mică, ducând la îmbunătățirea fiabilității. Capacitățile electrice sunt de obicei în intervalul 300 kW_e-1,5 MWe, cu un raport al puterii termice față de electric în jurul raportului de 5:1</p>		
Aspecte tehnico-economice	Avantaje	Dezavantaje
<p>Costuri specifice adiționale pentru investiție: 2600 Euro/kW_e (capacitatea de 1570 kW_e) și respectiv 3600 Euro/kW_e (capacitatea de 650 kW_e);</p> <p>Costuri specifice pentru generarea energiei electrice: 0,14 Euro/kWh_e (capacitatea de 1570 kW_e) și respectiv 0,17 Euro/kWh_e (capacitatea de 650 kW_e).</p> <p>Costuri specifice adiționale pentru investiție: 2600 Euro/kW_e (capacitatea de 1570 kW_e) și respectiv 3600 Euro/kW_e (capacitatea de 650 kW_e);</p> <p>Costuri specifice pentru generarea energiei electrice: 0,14 Euro/kWh_e (capacitatea de 1570 kW_e) și respectiv 0,17 Euro/kWh_e (capacitatea de 650 kW_e).</p>	<p>Costuri de întreținere scăzute;</p> <p>Eficiență ridicată a sistemului (până la 98 %);</p> <p>Eficiență ridicată a turbinei (până la 85 %);</p> <p>Posibilitatea utilizării oricărui tip de biomasă, cu umidități variate, stres mecanic scăzut al turbinei;</p> <p>Durata de viață ridicată; sisteme auxiliare simple, proceduri simple start-stop;</p> <p>Tehnologie matură și robustă;</p> <p>Performanță ridicată la sarcina scăzută</p>	<p>Costuri de investiție ridicate</p>

Turbina cu abur		
<p>Generarea energiei termice utilizând turbina cu abur este relevantă în cazul centralelor de capacități mari, cu puteri instalate de peste 2000 kW_e. Principiul de lucru este în conformitate cu procesul clasic Clausius-Rankine. Aburul de înaltă temperatură și presiune este generat în boiler și intră apoi în turbina cu abur. În turbina cu abur, energia termică a aburului este transformată în lucru mecanic. Aburul de joasă presiune din corpul turbinei intră în condensator și se condensează. Aburul astfel răcit și condensat este transportat înapoi la boiler prin sistemul de recirculare. Procesul de generare de energie electrică de la abur cuprinde următoarele componente: un subsistem de ardere (de ardere a biomasei), un subsistem de abur (boiler de abur), o turbină cu abur cu generator electric, precum și sistemul de alimentare cu abur și condensat.</p>		
Aspecte tehnico-economice	Avantaje	Dezavantaje
<p>Temperatura aburului viu: 450 – 540 °C; Presiunea aburului: 20 bar – 100 bar; debitul aburului: 10 t/h – 125 t/h; Presiunea de extracție a aburului: 1 bar – 10 bar; Presiunea aburului exhaustat: 0,05 bar – 0,60 bar; Capacitatea electrică a turbinei: 2 MW_e– 25 MW_e; Eficiența electrică: 18 % pentru capacități mari de 2 MW_e – 25 MW_e, Costuri specifice adiționale pentru investiție: 2400 Euro/kW_e la capacități mari de 2 MW_e – 25 MW_e; Costuri specifice pentru generarea energiei electrice: 0,13 Euro/kWh_e la capacitatea de 5000 kW_e.</p>	<p>Tehnologie ajunsă la maturitate; Poate fi aplicabilă pentru un domeniu larg de capacități instalate; Înaltă eficiență la presiuni și temperaturi ridicate ale aburului; Poate fi utilizată biomasa de orice tip.</p>	<p>Costuri de investiție ridicate pentru sisteme de capacitate scăzută; Costuri de operare ridicate pentru întreținere, alimentare și tratamentul apei; Eficiența electrică redusă pentru turbinele mici <1 MW_e; Necesită personal instruit pentru operare; Disponibile doar echipamente de capacități mari; Eficiența totală scăzută; Necesită sistem de control special în cazul exploatării la sarcină scăzută</p>

4. Concluzii

■ Unul dintre domeniile prioritare ale politicii energetice europene îl reprezintă modernizarea și realizarea de noi capacități de producere a energiei electrice și termice prin valorificarea biomasei lemnoase. Prin cogenerare se produce simultan energie electrică și termică, mai eficient și cu emisii poluante mai reduse în raport cu tehnologiile clasice, conducând la reduceri substanțiale ale costurilor pentru energie la consumatori.

■ Există o largă varietate de sisteme de cogenerare, diferențele între aceste sisteme constând în principal în tehnologia procesului de cogenerare, în tipul de combustibilul utilizat, agentul purtător și parametrii căldurii livrate, precum și în raportul electricitate/căldură generată. Alegerea sistemului de cogenerare optim pentru soluția tehnologică cel mai bine adaptată condițiilor și necesităților locale este esențială pentru demararea unui astfel de proiect de investiții.

■ Datele prezentate în analiza opțiunilor se adresează dezvoltatorilor de proiecte și factorilor responsabili cu furnizarea de energie electrică și termică la nivel de municipalități, având rolul de a le permite acestora să evalueze oportunitatea aplicării cogenerării ca procedeu de alimentare cu cele două tipuri de energie, însă alegând cea mai adecvată soluție tehnică pentru o fezabilitate și profitabilitate maximă a proiectului de investiții.

BIBLIOGRAFIE

[1] * * * *Studiu de fezabilitate pentru centrala termică de cogenerare pe bază de biomasă lemnoasă*, elaborat de Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Inginerie Electrică ICPE-CA, în cadrul contractului de servicii nr. 1038/2010, responsabil contract dr.ing. Carmen Mateescu.

[2] * * * <http://www.sistemecogenerare.ro/continut/tehnologii-cogenerare>.

[3] * * * *Soluții noi de alimentare cu energie – Cogenerarea de mică și medie capacitate*, document elaborat de Comisia Europeană, disponibil on line.

[4] * * * <http://www.bios-bioenergy.at/en/electricity-from-biomass/steam-turbine.html>.

Dr.Ing. Carmen MATEESCU
cercetător științific în cadrul INC DIE ICPE-CA, institut
membru AGIR, e-mail: carmen.mateescu@icpe-ca.ro
Conf.Dr.Ing. Lucian MĂNDREA
Universitatea Politehnica București, Facultatea de Energetică,
membru AGIR, e-mail: lucian.mandrea@upb.ro