



R O M Â N I A
MINISTERUL EDUCAȚIEI, CERCETĂRII ȘI TINERETULUI

UNIVERSITATEA "DUNĂREA DE JOS" DIN GALAȚI

STR. DOMNEASCĂ, NR. 47

Tel.: (+40) 236 - 414112 /3 /4; 413602;
460328

800008, GALAȚI, ROMÂNIA

Fax: (+40) 236 - 461353; 460904;
460426

E-mail: rectorat@univ.ugal.ro

DESCRIEREA ȘTIINȚIFICĂ ȘI TEHNICĂ (DST)

la contractul cu tema

**SISTEME AUTONOME DE GENERARE A ENERGIEI PRIN
TRIGENERARE UTILIZÂND COMBUSTIBILI ECOLOGICI
- SAGETRIGEN-**

FAZA DE EXECUTIE NR.III – 2009

CU TITLUL

**"Stabilirea modelelor matematice ale componentelor,
conectarea în ansamblu și validarea prin simulare"**

Director proiect
Prof.dr.ing. Badea Nicolae

CUPRINS-ETAPA III

STABILIREA MODELELOR MATEMATICE ALE COMPONENTELOR, CONECTAREA ÎN ANSAMBLU ȘI VALIDAREA PRIN SIMULARE

Obiective generale

Obiective specifice etapei II

Rezumat

DESCRIEREA ȘTIINȚIFICĂ ȘI TEHNICĂ

-DST-

Activitatea III.1 Stabilirea modelelor matematice pentru componentele sistemului	1
Activitatea III.1.1 Stabilirea modelelor matematice pentru conversia energie combustibil în energie termică	1
Activitatea III.1.2 Stabilirea modelelor matematice pentru conversie energie termica în energie mecanică și a energiei mecanice în energie electrică	10
Activitatea III.1.3 Stabilirea modelelor matematice pentru conversie energie termică în frig	31
Activitatea III.1.4 Alegerea soluției optime de producere a frigului în sistemele de trigenerare, din punct de vedere al randamentului energetic	44
Activitatea III.1.5 Modelarea a motorului termic pentru optimizarea raportului dintre combustibilul consumat și energia mecanică produsă, respectiv a raportului dintre combustibilul consumat și energia termică produsă	55
Activitatea III.1.6 Optimizarea energetică a generatorului electric prin reducerea pierderilor folosind metodele de simulare numerică și compensarea puterii reactive	97
Activitatea III.2 Stabilirea modelului matematic al sistemului cu trigenerare	112
Activitatea III.3 Stabilirea restricțiilor modelului	116
Activitatea III.4 Validarea modelelor prin simulare	118
Activitatea III.4.1 Studiul performanțelor sistemului de trigenerare	118
Activitatea III.4.2 Studiul folosirii eficiente a căldurii reziduale (rezultate din motorul termic și generatorul electric) din sistemul de trigenerare	152

Activitatea III.4.3 Studiul asupra alegerii corespunzătoare a mașinilor electrice și termice din cadrul sistemului de trigenerare în funcție de curbele de sarcină ale utilizatorilor	160
Activitatea III.4.4 Compatibilizarea modelelor și a instrumentelor soft folosite	172
Concluzii	176
Bibliografie	177

Notății

CCHP - Combined Cooling, Heating and Power	c_v - caldura specifică volumică (la volum constant)
SCHP - Separate Cooling, Heating and Power	Q_{in} - caldura primita (caldura la intrare)
CHRP - Combined Heating, Refrigeration and Power	η_{Otto} - randamentul ciclului Otto
BCHP - Building Cooling Heating and Power .	V - volum
CCPP - Combined Cycle Power Plant	r - raport de compresie
CHP - Combined Heating and Power	p - presiune
DER - Distributed/Decentralized Energy Resources	k - raport specific al caldurii
DP - Distributed/Decentralized Power	h - entalpia specifică
DG - Distributed Generation/Decentralized Generation	Q_{Din} - caldură primita de ciclului Diesel
GE - generator electric,	$Q_{D,aut}$ - caldură cedată de ciclul Diesel
MT - motor termic ,	W_{Diesel} - lucrul mecanic al ciclului Diesel
MP - motor primar	C_p - căldura specifică la presiune constantă
SC - schimbator de caldura	R_c - raport compresie limită
GE - generator electric;	η_{Diesel} - randamentul ciclului Diesel
RCM - refrigerator cu compresie mecanica	W_c -lucrul mecanic al ciclului Brayton
Rab - refrigerator cu absorbtie	W_t -lucrul mecanic al turbinei cu ciclu Brayton
Rad - refrigerator cu adsorbtie	Q_s -caldura primită a ciclului Brayton
AC - aer conditionat	W_{net} - lucrul mecanic net al al ciclului Brayton
IC - Combustie Interna	η - randamentul ciclului Brayton
W_{Otto} - L_{Otto} lucrul mecanic al unui ciclu Otto	η_c - randamentul compresiei isentropice
M - masa	η_t - randamentul compresiei isentropice a turbinei
u - energie internă specifică	W_{comp} - lucrul mecanic al compresorului
$T,$ - temperatură absolută, K	

W_{turb} -lucrul mecanic al turbinei cu gaz
 Q_{out} - caldura cedata de condensator
 Q_{in} - caldura primita de evaporator
 W_{in} - lucrul mecanic al compresorului
 W'_{in} -lucrul mecanic al pompei
 Q'_{in} - caldura dezvoltata in generator
 Q'_{aut} -caldura cedata in absorber
 $\dot{m}$ - debit masic
 i - entalpia
 x - concentrația
 $\dot{q}$ - rata schimbului de caldura
 ε - eficienta schimbului de caldura
 P -puterea la iesire a pompei
 p - presiune
 η_p - randamentul pompei
 v - volum specific
 m – masa
 V – volum
 T – temperatura
 P – presiune
 C_v – caldura specifica la volum constant
 C_p – caldura specifica la presiune constanta
 u – energie specifica interna
 W_{Otto} – lucru mecanic pentru ciclul Otto
 W_{Diesel} – lucru mecanic pentru ciclul Diesel
 η_{Otto} – randament termic al ciclului Otto
 η_{Diesel} – randament termic al ciclului Diesel
 $Q_{D,in}$ – caldura intrare pentru ciclul Diesel

$Q_{D,out}$ – caldura iesire pentru ciclul Diesel
 $Q_{Otto,in}$ – caldura intrare pentru ciclul Otto
 $Q_{Otto,out}$ – caldura iesire pentru ciclul Otto
 r – coeficient compresie
 k – raportul caldurilor specifice
 h – entalpia specifica
 Q_{in} – caldura intrare
 Q_{out} – caldura iesire
 W_c – lucrul mecanic al compresorului pentru un ciclu Brayton
 W_t – lucrul mecanic al turbinei pentru un ciclu Brayton
 Q_s – caldura intrare pentru un ciclu Brayton
 η – randament termic pentru un ciclu Brayton
 η_c – randament isentropic compresor
 η_t – randament isentropic turbina
 W_{in} – lucru mecanic compresor
 W'_{in} – lucru mecanic pompa
 η_p – randament pompa
 Q'_{in} – caldura intrare generator
 Q'_{out} – caldura iesire absorber
 $\dot{m}$ – debit masic
 i –entalpia
 x – concentratia
 $\dot{q}$ – flux de schimb de caldura
 ε – randament al schimbului de caldura
 v – volum specific
 W_p – putere pompa

OBIECTIV GENERAL

Obiectivul general urmareste studiul si realizarea unui echipament complex cu trigenerare capabil sa produca electricitate, apa calda si caldura sau frig cu o distributie descentralizata, elastica (apa calda si electricitate, apa calda si racire, apa calda si caldura sau orice alta combinatie), optionala la dispozitia utilizatorului in functie de necesitatile orare cat si zonale, tinand seama de topologia cladirii rezidentiale.

OBIECTIVUL SPECIFIC AL ETAPEI

O.3 Stabilirea modelelor matematice proprii si de interactiune ale sistemelor cuplate, in vederea unei analize si sinteze pe baza de model. Toate activitatile activitatii prezentei etape sunt in corelare cu obiectivul specific descris in propunerea de proiect

REZUMAT

Procedeele utilizate pentru obtinerea prin micro-trigenerare a energiei electrice, caldurii si frigului, caldurii se bazeaza, in general, pe transformarea energiei chimice a combustibililor in cadrul proceselor de ardere. Modelarea sistemelor mCCHP se bazeaza pe cunoasterea in detaliu a modelelor de ardere a combustibililor folositi: hidrogen, motorina, gaz natural, biogaz si hidrogen. In cadrul activitatii III.1.1 s-au descris ecuatiile care guverneaza arderea si cinetica acestui proces pentru diferiti combustibili

Activitatea III.1.2 stabileste modelelor matematice pentru conversia energiei termice in energie mecanica (III.1.2.2) si a energiei mecanice in energie electrica (III.1.2.3). Tipul mCCHP-ului este determinat de tipul echipamentului de generare a energiei electrice si a modului de recuperare a caldurii. Pentru o structura generala de mCCHP se pot utiliza diferite variante de echipamente, fiecare caracterizate de modele matematice proprii, prezentate in subcapitolele A-D pentru turbine cu abur, turbine cu gaz, motoare Diesel, Otto si Stirling. In activitatea III.1.2.3, sunt stabilite modelele matematice ale generarii de energie electrica din lucru mecanic. Modelele matematice ale diferitelor solutii de realizare a conversiei mecanic/electric (generator sincron, generatorului sincron cu magneti permanenti) sunt prezentate inclusiv prin prisma puterii si cuplului, eficientei energetice si a comportarii in regim dinamic. Un accent deosebit se pune pe generatorul sincron cu magneti permanenti ca pe o solutie viabila a sistemelor mCCHP pentru uz rezidential.

Modelele matematice pentru conversia energiei termice in frig sunt prezentate in activitatea Activitatea III.1.3. Pentru sistemele mCCHP obtinerea eficienta a frigului necesar asigurarii confortului termic este cea mai delicata problema, deoarece energia disponibila este sub forma de caldura. Sunt prezentate modelele matematice ale obtinerii frigului prin metodele compresiei mecanice (III.1.3.1), prin absorbtie (III.1.3.2.A) si prin adsorbtie (III.1.3.2.B) cu variantele lor tehnologice. Asigurarea unui transfer eficient al fluxului termic in diverse conditii termocinamice presupune eficientizarea schimburilor de caldura (COP maxim), in acest sens fiind prezentate modelele matematice ale subsistemelor de refrigerare: schimbatoare de caldura, pompe, condensor, evaporator ((III.1.3.2.C.1-(III.1.3.2.C.6)). Pe baza modelelor matematice ale elementelor sistemelor mCCHP si a structurilor de sistem propuse si analizate in cadrul activitatii III.1.4., se determina solutia optima de producere a frigului in sistemele de trigenerare, din punct de vedere al randamentului energetic (III.1.4.2. Analiza energetică a soluției trigenerare). Sunt evidentiati principalii indicatori energetici (COP -coeficient de performanta si EES -

indicele de trigenerare). pentru sistemele CCHP si mCCHP. Pe baza ecuatiei EES asociate modelului mCCHP se prezinta variatii ale acestui indice in conditii limita de functionare prin prisma cererii si ofertei de energie electrica, caldura sau frig.

Pentru fiecare structura propusa in cadrul proiectului de sistem mCCHP (prezentate in activitatile III.4.1.1 A-C) s-a facut o analiza a eficientei energetice a conversiilor pentru doua situatii limita de functionare caracteristice acestor sisteme, respectiv vara/iarna. Simularile au scos in evidenta o scadere a eficientei globale (EET) pe perioada de vara datorita subsistemului de generare a frigului (COP). Aceste analize au fost facute pentru regimurile stationare.

Sistemele de trigenerare de putere mica, care fac subiectul prezentului proiect, sunt dependente de variatia puternica a consumurilor de energie electrica, termica si frig din rezidenta. Drept urmare, sistemul mCCHP este caracterizat de o functionare dinamica, iar imbunatatirea performantelor implica introducerea sistemelor de stocare a energiei (caldura, electrica).

Elementele componente ale diferitelor variante de sistem mCCHP-trigenerare au fost simulate pe baza modelelor matematice prezentate in activitatile III.1.2 si III.1.3, folosind mediul de programare Matlab/Simulink. Analiza dinamicii motorului primar pentru regimul de pornire cat si pentru aplicarea unei sarcini/perturbatii a fost realizata in activitatea III.4.1.2.A unde s-a pus in evidenta rolul important al sistemelor de reglare automata pentru imbunatatirea regimului tranzitoriu.

In activitatea III.4.1.2.B a fost analizata in Matlab/Simulink dinamica generatorul sincron electric, iar in activitatea III.4.1.2.C si D s-a prezentat analiza dinamicii schimbatorului de caldura si sistemului de refrigerare

Studiul folosirii eficiente a căldurii reziduale (rezultate din motorul termic și generatorul electric) din sistemul de trigenerare, prezentat in activitatea III.4.2. este util in proiectarea modelului experimental al sistemului de trigenerare.

Dimesionarea elementelor sistemului mCCHP este abordata in Activitatea III.4.3., unde este evidentiata rolul raportului (P/P_{th}) la consumator. Cunoasterea acestui raport, ca medie zilnica si anuala, permite armonizarea cererii si ofertei de energie, respectiv alegerea motorului termic primar. Optimizarea functionarii sistemului de trigenerare depinde de indicatorii proprii si coeficientii de conversie, a caror analiza a fost prezentata in activitatea III.4.3.2.A. Derivând parțial în raport cu coeficientul termic și frigorific de trigenerare se pot determina condițiile pentru care eficiența energetică a producerii mixte de energie este constantă la variația acestor indicatori. Complexitatea domeniului CCHP face ca modelele functionale sa fie din domenii diferite ale stiintelor tehnice (electrice, termice, mecanice, chimice) iar tratarea unitara este esentiala in obtinerea unor simulari viabile(activitatea III.4.4). Tinand cont de faptul ca in fiecare domeniu al stiintei au fost dezvoltate programe specifice si performante de analiza si simulare (Matlab/simulink pentru automatizare, PSIM pe partea electrica, Autocad, Solidworks, Catia pe partea mecanica etc) compatibilitatea intre programe este limitata si de aceea utilizarea modelelor si rezultatelor simularii este dificila. Majoritatea acestor programe permit exportul si importul datelor si al rezultatelor in Matlab, motiv pentru care am optat pentru utilizarea acelor soft-uri ce au aceasta facilitate. Matlab-ul permite conceperea schemelor de reglare si automatizarea a proceselor din CCHP. Modelele matematice ale componentelor sistemului de trigenerare implementate in Matlab/Simulink au fost

verificate si cu soft-ul Engineering Equation Solver (EES) in special pentru partea termica iar in PSIM pe partea electrica.

CONCLUZII

1. Modelele matematice aferente componentelor sistemului cu trigenerare indica un numar ridicat de ecuatii aferente sistemului cu trigenerare, ecuatii neliniare a caror rezolvare este posibila numai prin softuri specializate care necesita putere mare de calcul;

2. Sistemele CCHP se diferentiaza prin:

a- modul de realizare al conversiei primare

b- modul de realizare a refrigerarii

c-varianatele tehnologice de recuperare a caldurii influenteaza eficienta globala a sistemului CCHP in corelatie cu parametrii termodinamici ai energiei termice

3. Simularea numerica a sistemelor mCCHP indica eficienta globala cuprinsa intre 60-70%, diferentiata pe perioada iarna/vara;

4. In urma simularilor realizate pe schemele conceptuale ale sistemelor mCCHP propuse se constata influenta majora pe care o are motorul termic primar asupra eficientei globale in ambele situatii limita folosite pentru simulare: vara/iarna;

5. Metodele de crestere ale puterii motoarelor primare sunt extensive (cresterea cilindrului, frecventa ciclurilor) si intensiv termodinamice (supraalimentare);

6. Eficienta energetica a trigenerarii este influentata de parametri si indicatori tehnici precum coeficientii de trigenerare, indicele de structura a productiei de energie, indicele frigorific;

7. Pentru a obtine o eficienta energetica maxima randamentele de productie a energiei si coeficientii de performanta ai instalatiilor frigorifice de varf trebuie sa tindă spre valori maxime. Producerea frigului în instalații de bază trebuie să se facă utilizând instalații frigorifice cu absorbție, iar producerea frigului în instalații de varf trebuie să se facă utilizând instalații frigorifice cu compresie. Totodată pentru a obține o eficiență maximă producția de căldură și frig trebuie să fie mai mare decât producția de energie electrică;

8. Datorita randamentului specific al sistemelor de refrigerare cu absorbtie/adsorbție eficienta energetica a sistemelor mCCHP scade in perioada de vara comparativ cu perioada de iarna;

9. Sistem rezidențial CCHP cu pile de combustie a fost propus a fi realizat experimental. In baza raportul dintre energia electrică și energia termică utilă P/P_{th} din locuința, raport determinat pe baza cererii consumatorului rezidențial se poate alege, rezultat al comparării cu indicele de cogenerare structura de sistem CCHP ce poate realiza cu raport apropiat. Variabilitatea ridicata orara, lunara si sezoniera a acestui factor implica introducerea de sisteme de incalzire sau stocare a energiei pentru asigurarea cerintelor consumatorilor casnici. Sistemul CCHP propus se compune in acest mod dintr-o pila de combustie ce poate urmarii si asigura cererea de energie electrica si un sistem de generare caldura ce trebuie sa acopere necesarul termic in conditii de varf. Instalația de generare frig poate fi cu compresie mecanica, caz in energia de intrare in instalatia frigorifica este electrica sau instalatie cu compresie termica, caz in energia de intrare in instalatia frigorifica este termica. Indiferent de tipul de refrigerare agentul frigorific este

apa racita la 3-5 °C care se este pompata in ventiloconvectoare . Acestea din urma realizeaza transferul final de frig in spatiul de locuit. Ventilo-conectoarele ofera posibilitatea unei functionari duale apa rece/apa calda astfel ca in perioada de iarna pot fi folosite la incalzire schimbând calea de circulatie a agentului termic, in speta de la acumulatorul de apa calda si unitatea de incalzire la varf. Schema functionala a sistemului CCHP este redată in figura 1.

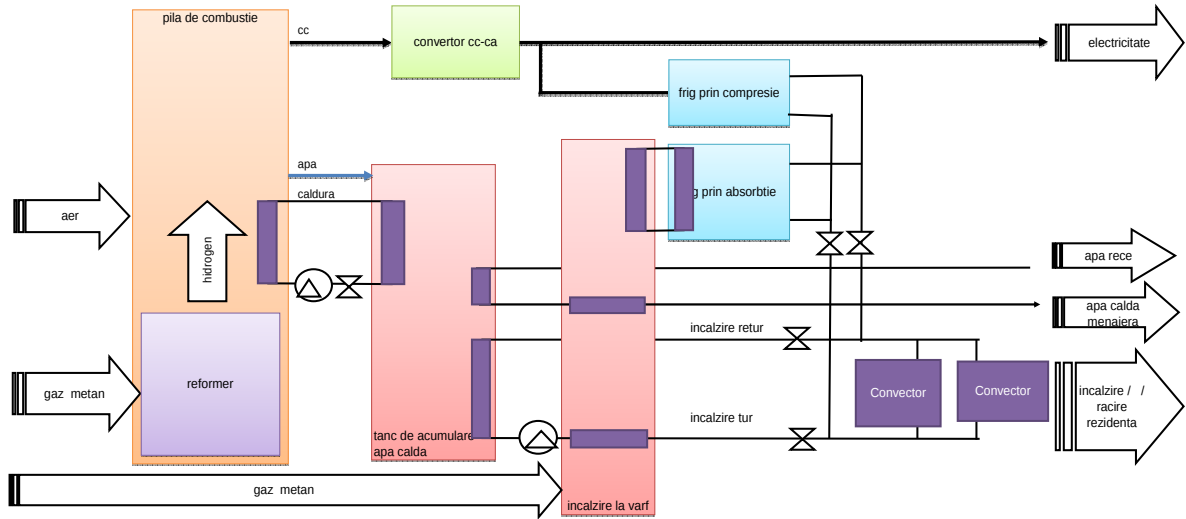


Figura 1. Schema funcțională a sistemului CCHP

A. Diagrama conversiei energiilor in sistemului CCHP

Schemei functionale a sistemului CCHP redată in figura 1 ii corespunde diagrama energetica din figura 2 . In baza performantelor individuale ale elementelor componente se analizeaza eficienta energetica totala a sistemului CCHP. Celor doua variante de racire le corespund conform figurii urmatoarele relatii între energii

a. Varianta cu compresie mecanica

$$E_{cg} = E + E_c = E + \frac{F_c}{COP_c}, \quad Q_{cg} = \gamma E_{cg}, \quad Q_D = Q_{cg} - Q_{AM}, \quad Q_D + Q_{CV} = Q_I$$

b. Varianta cu compresie termica

$$E_{cg} = E, \quad Q_{cg} = \gamma E_{cg}, \quad Q_D = Q_{cg} - Q_{AM}, \quad Q_D + Q_{CV} = Q_I + \frac{F_a}{COP_a}$$

Relatiile sunt completate cu

$$\alpha_e = \frac{E_{cg}}{W_{cg}}, \quad \alpha_Q = \frac{Q_{CV}}{W_V}, \quad W = W_{cg} + W_V, \quad \eta_{CCHP} = \frac{E + F + Q_I + Q_{AM}}{W}$$

Unde γ - indicele de cogenerare al pilei de combustie.

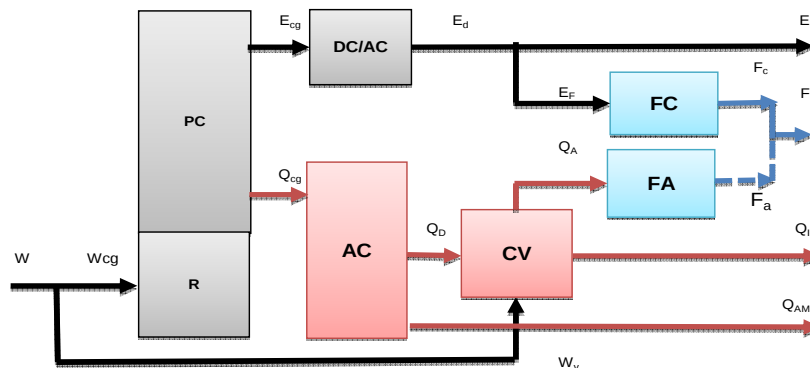
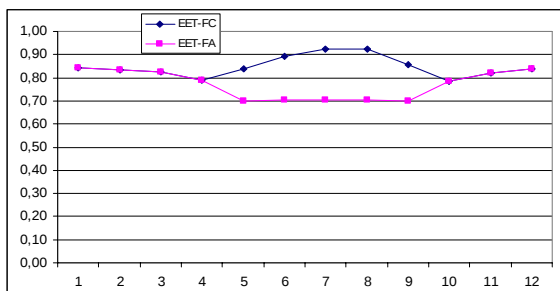
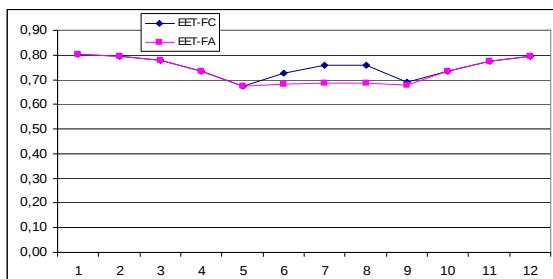


Figura 2. Diagrama distribuției energiilor în CCHP

Rezultatele simulării numerice, pentru un COP-3 al sistemului de racire cu compresie mecanică și COP-0,8 al celui cu compresie termică, evidențiază la consum redus de energie electrică, un randament superior al instalației cu compresie mecanică (figura 3a). La consumuri ridicate ale energiei electrice randamentul instalației cu activare termică se apropie de cel al sistemului de racire cu compresie mecanică (figura 3 b).



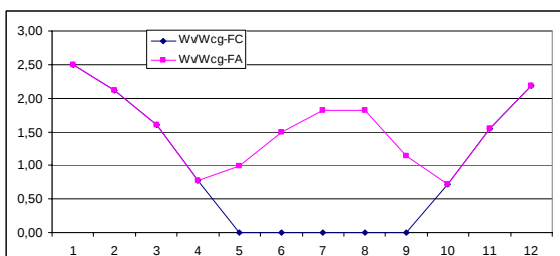
a Cerere de energie electrică 100 kWh/luna



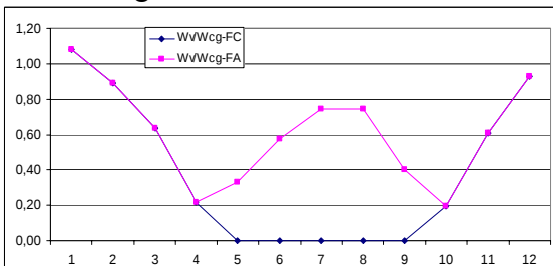
b Cerere de energie electrică 200 kWh/luna

Figura 3. Randamente ale sistemului CCHP

Energia gazului metan este consumată în perioada de iarnă atât de pila cât și de sistemul de încălzire suplimentară (figura 4 a). Diferența între cele două moduri de realizare a sistemului de racire își pune amprenta asupra consumului de combustibil în perioada de vară (figura 4 a, b) în care se consumă o cantitate mai mare de combustibil consumat de sistemul de încălzire în special la cerere redusă de energie electrică.



a Cerere de energie electrică 100 kWh/luna

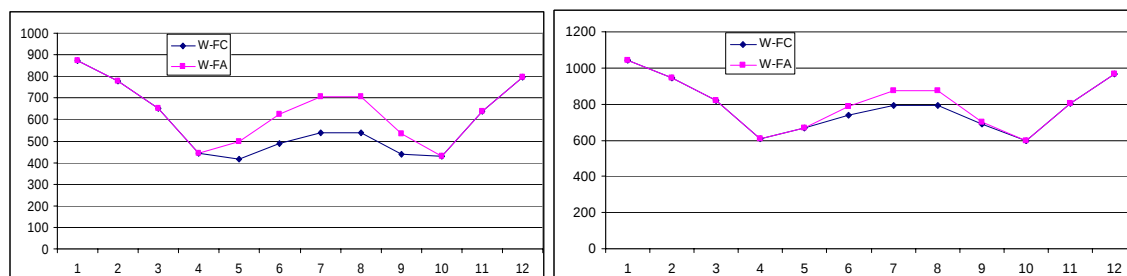


b Cerere de energie electrică 200 kWh/luna

Figura 4. Raportul energiilor sursă intermediară/pilă combustibil

Economia de energie realizată prin utilizarea sistemului de racire cu compresie mecanică poate fi dedusă din figura 5 unde au fost prezentată energia combustibilului consumat

pentru cele doua cereri de energie electrica. Pentru o cerere lunara de energie electrica de 100 kWh economia de combustibil este de 80m³.



a Cerere de energie electrica 100kWh/luna

b Cerere de energie electrica 200kWh/luna

Figura 5. Energia combustibilului

BIBLIOGRAFIE

1. Midwest CHP Application Center and Avalon Consulting, Inc, Combined heat & Power (CHP) resource guide, 2003;
2. Mississippi cooling, heating, and power (micro CHP) and bio-fuel center, Cooling, heating, and power for buildings (CHP-B) Instructional module, January 2004;
3. Mississippi cooling, heating, and power (micro CHP) and bio-fuel center, micro-cooling, heating, and power (m-CHP) instructional module, December 2005;
4. U.S. Department of energy, Single-cooling, heating, and power (CHP) performance metric and energy savings assessment, October, 2004;
5. Pacific Northwest National Laboratory, Advanced CHP control algorithms: scopespecification, April 2006;
6. Pacific Northwest National Laboratory, Specification of selected performance monitoring and commissioning verification algorithms for CHP systems, October, 2006;
7. ANDRE GENON, WILLY LEGROS, Machines électriques, Hermes Science Europe, 2000, 350 pg ;
8. ATANASIU, G., BOLDEA, I., Analiza unitară a mașinilor electrice, Ed. Academiei, București, 1993;
9. MĂGUREANU, R., Mașini electrice speciale pentru sisteme automate, Ed. Tehnică, București, 1980;
10. MARCEL JUFER, Traité d'Électricité, Vol X, Machines électriques, Presses Polytechniques et universitaires Romandes, Paris, 1995, 386 pg. ;
11. FRANSUA, AL., Mașini și acționări electrice - Probleme fundamentale -, Ed. Tehnică, București, 1985;
12. GALAN, N., GHIȚĂ, C., CISTELECAN, M., Mașini electrice, București, E.D.P. 1981;
13. GHEORGHIU, I. S., FRANSUA, AL., Tratat de mașini electrice, Vol. 1, 2, 3, 4 București, Ed. Academiei, 1970 -1971;
14. GHIȚĂ, C., Convertoare electromecanice, Vol. 1, Ed. ICPE, București, 1998;

15. GHÎȚĂ, C., *Convertoare electromecanice*, Vol. 2, Ed. ICPE, București, 1999;
16. GHÎȚĂ, C., *Convertoare electromecanice*, Vol. 3, Ed. ICPE, București, 2001;
17. BODEFELD, TH., SEQUENZ, H., *Elektrische Maschinen*, Viena, 1972;
18. BOLDEA, I., *Parametrii mașinilor electrice*, Ed. Academiei, București, 1991;
19. CÂMPEANU, A., *Masini electrice*, Craiova, Scrisul romanesc, 1987;
20. BĂLĂ, C., *Mașini electrice*, E.D.P., București, 1982;
21. ILAȘ, C., *Teoria sistemelor de reglare automată*, Ed. Matrix Rom, București, 2001;
22. NASAR, A., BOLDEA, I., *Electrical machines: dynamics and control*, CRS Press, 1993.
23. Pacific Northwest National Laboratory, *Monitoring and commissioning verification algorithms for CHP systems*, March 2008;
24. Sven Erik Mattsson, *On Modeling Of Heat Exchangers In Modelica, Proceedings of the 9th European Simulation Symposium, ESS'97*, Oct 19-23, 1997, Passau, Germany, 1997;
25. Granet, Irwing. *Thermodynamics and heat power*. 2nd Edition. Reston Publishing Company, Inc. 1980.
26. HORLOCK J. H., *Cogeneration – Combined Heat & Power (CHP). Thermodynamics and Economics*, Kriegen Pub, 1997.
27. HORLOCK J. H., *Combined Power Plants. Including Combined Cycle Gas Turbine (CCGT) Plants*, Pergamon Press, Oxford, 1992.
28. Haywood R. W., *Analysis of Engineering Cycles, Power, Refrigerating and Gas Liquefaction Plant*, Pergamon Press, Oxford, 1991.
29. Athanasovici V., *Utilizarea căldurii în industrie*, Vol. I, Editura Tehnica, București 1995;
30. Athanasovici V., Le Corre O., Brecq G. și Tazerout M., *Thermoeconomic Analysis Method for Cogeneration Plants*, *Proceedings of ECOS'2000*, Nederland, pp. 157-164, 2000.
31. Staicovici M. D., *Polybranched regenerative GAX cycles for combined power and cooling production*, *Proceedings of Int. Congr. Refrig.*, 19th, 4A, pp. 542-551, 1995.
32. Archer D. H., Wimer J. G. și Williams M. C., *A phosphoric acid fuel cell cogeneration system retrofit to a large office building*, *Proceedings of Intersociety Energy Conversion Engineering Conference*, Vol. 2, pp. 817-824, 1997.
33. Havelský V., *Energetic efficiency of cogeneration systems for combined heat, cold and power production*, *International Journal of Refrigeration* 22, pp. 479-485, 1999.
34. Silveira L. J., Walter A. C. da S. și Luengo C. A., *Cogeneration for small users: case studies for Brazilian tertiary sector*, *Proceedings, ASME Cogen-Turbo Power Conference*, Austria, 1995.
35. Silveira L. J., Leal E. M. și Ragonha Jr. L. F., *Analysis of a molten carbonate fuel cell: cogeneration to produce electricity and cold water*, *Energy* 26, pp. 891-904, 2001.
36. Ahluwalia V., *Cogeneration case study – Sydney Institute of Technology*, *AIRAH Journal*, Apr., 49 (4), pp. 19-26, 1995.

37. Costa M. H. A. și Balestieri J. A. P., Comparative study of cogeneration systems in a chemical industry, *Applied Thermal Engineering* 21, pp. 523-533, 2001.
38. Tolmasquim M. T., Szklo A. S. și Soares J. B., Economic potential of natural gas fired cogeneration plants at malls in Rio de Janeiro, *Energy Conversion and Management* 42, pp. 663-674, 2001.
39. Gamou S., Yokoyama R. și Ito K., Optimal unit sizing of cogeneration systems in consideration of uncertain energy demands as continuous random variables, *Energy Conversion and Management* 43, pp. 1349-1361, 2002.
40. Er D. și Göktun S., Optimum performance of an irreversible solar-driven cogeneration heat pump system, *Energy Conversion and Management* 42, pp. 329-337, 2001.
41. Göktun S. și Özkaynak S., Performance parameters for the design of a solar-driven cogeneration system, *Energy* 26, pp. 57-64, 2001.
42. Göktun S., Solar powered cogeneration system for air conditioning and refrigeration, *Energy* 24, pp. 971-977, 1999.
43. Leal E. M. și Silveira J. L., Study of fuel cell co-generation systems applied to a dairy industry, *Journal of Power Sources* 106, pp. 102-108, 2002.
44. Fang M., Luo Z., Li X., Wang Q., Ni M. și Cen K., A multi-product cogeneration system using combined coal gasification and combustion, *Energy* Vol. 23, No. 3, pp. 203-212, 1998.
45. Ahmed M., Arakel A., Hoey D. și Coleman M., Integrated power, water and salt generation: a discussion paper, *Desalination* 134, pp. 37-45, 2001.
46. Darwish M. A., On electric power and desalted water production in Kuwait, *Desalination* 138, pp. 183-190, 2001.
47. Karameldin A. și Mekhemar S., Siting assesement of a water-electricity cogeneration nuclear power plant in Egipt, *Desalination* 137, pp. 45-51, 2001.
48. Kamal I., Thermo-economic modeling of dual-purpose power/desalination plants: steam cycles, *Desalination* 114, pp. 233-240, 1997.
49. Kronenberg G., Cogeneration with the LT-MED desalination process, *Desalination* 108, pp. 287-294, 1996.
50. El-Nashar A. M., Cost allocation in a cogeneration plant for the production of power and desalted water – comparison of the exergy cost accounting method with the WEA method, *Desalination* 122, pp. 15-34, 1999.
51. Rheinländer J., Lippke F., Schmitz-Goeb M. și Tüsel G. F., Electricity and potable wate from a solar tower power plant, *Renewable Energy*, Vol. 14, Nos. 1-4, pp. 23-28, 1998.
52. Maheshwari G. P., Al-Ramadhan M. și Al-Abdulhadi M., Energy requirement of water production in dual-purpose plants, *Desalination* 101, pp. 133-140, 1995.
53. Chelbi M., Ghedira L. și Allal S., Evaluation comparative d'un projet de cogénération pour la production d'éléctrcité et d'eau douce pour la Tunisie, *Desalination* 137, pp. 219-224, 2001.
54. Ioan BITIR-ISTRATE : «Valorificarea prin cogenerare a biogazului produs prin tratarea deșeurilor» Teză de Doctorat, Universitatea « Politehnica » București, Ianuarie 2002

55. Florin ALEXE, Victor CENUȘĂ : « Producerea energiei electrice și termice în centralele electrice » , Notițe de curs, Anul IV, Facultatea de Energetica, Universitatea « Politehnica » București ;
56. Aurel Câmpeanu – Mașini electrice. Probleme fundamentale, speciale și de funcționare optimă, Ed. Scrisul Românesc, Craiova, 1988;
57. Toma Dordea – Mașini electrice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1970;
58. Constantin Ghiță – Mașini electrice, Ed. MATRIX ROM, București, 2005;
59. Al. Fransua - Mașini și acționări electrice - Probleme fundamentale, Ed. Tehnică, București, 1985;
60. I.S. Gheorghiu, Al. Fransua - Tratat de mașini electrice, Vol. 1, 2, 3, 4 București, Ed. Academiei, 1970 -1971;
61. Stefan Fassbinder Deutsches Kupferinstitut - Programul Leonardo - Condensatoarele într-un mediu bogat în armonici, Iulie 2004;
62. Maria José Resende – Compensarea factorului de putere- e-Lee – laborator virtual;
63. Lucia Dumitru, Cătălin Dumitru – BAZELE ELECTROTEHNICII, București 2004;
64. C. I. Mocanu - Teoria circuitelor electrice, Bucuresti, EDP, 1979;
65. www.automation.siemens.com
66. www.power-technology.com
67. www.electro-plus.ro
68. www.technovolt.ro
69. S. Katipamula,M.R. Brambley, Advanced CHP Control Algorithms: Scope Specification, Pacific Northwest National Laboratory, 2006;
70. A. Khaliq, S.C. Kaushik, Thermodynamic performance evaluation of combustion gas turbine cogeneration system with reheat, Elsevier, 2004;
71. M. P. Boyce, Handbook for Cogeneration and Combined Cycle Power Plants, ASME Press, 2004;
72. I. Dincer, M. A. Rosen, Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development, Elsevier, 2007
73. S. Kandlikar, A New absorber heat recovery cycle to improve COP of aqua-ammonia absorption refrigeration system, American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers (ASHRAE)1982;
74. N. Petchers, Combined Heating, Cooling & Power Handbook: Technologies & Applications, Fairmont Press, 2006;
75. G. Chicco, P. Mancarella, Characterization and Planning of Small-Scale Multigeneration Systems, Doctoral Course, Politecnico di Torino, 2007.
76. Jaber J. O. și Probert S. D., Environmental-impact assessment for the proposed oil-shale integrated tri-generation plant, Applied Energy 62, pp. 169-209, 1999.
77. ***, New patents, Environment International, Vol. 21, Nr. 3, 1995.
78. Marinescu M., Baran N. și Radcenco V., Termodinamica tehnică, Vol. II, Editura MATRIX-ROM, București, 1998.

79. Fulachier M.-H., Machines frigorifiques a absorption pour une trigénération performante – le point de vue d'un constructeur, Proceedings IFFI/AFF, Noiembrie 1999, pp. 13-21.
80. Moisy J., Etude de trigénération pour le tertiaire, Proceedings IFFI/AFF, Noiembrie 1999, pp. 27-41.
81. Sakata K., La trigénération dans les process industriels, Proceedings IFFI/AFF, Noiembrie 1999, pp. 89-94.
82. Uhlen, K, Foss, B.A., Gjosaeter, O.B., Robust control and analysis of wind/diesel hybrid power plant, IEEE Trans. On energy conversion, Vol.9, no.4, 1994, pp. 701-708;
83. Helsinki university of technology control engineering laboratory, Microgrid modelling and simulation, March 2006;
84. Fortune C., Trigénération et tarification, Proceedings IFFI/AFF, Noiembrie 1999, pp. 95-106.
85. Gallego A. G., Martins G. și Nebra S. A., Absorption refrigeration systems in cogeneration – thermoeconomic analysis of a system using natural gas in a brewery, Proceedings of ECOS'2000, Nederland, pp. 1597-1608, 2000.
86. Alefeld G. și Demmel S., CO₂ emission of competing heat and power supply systems, Proceedings of ECOS'1992, Spain, 1992, 339-343.
87. Le Goff P. și Hornut J. M., The coupling of an absorption-refrigeration with a co-generation system, Chemical Engineering Research & Design, Vol. 77, pp. 663-668, 1999.
88. Ziegler F., și Riesch P., Absorption cycles. A review with regard to energetic efficiency, Heat Recovery System & CHP, Vol. 13, Nr. 2, pp. 147-159, 1993.
89. Bruno J. C., Miquel J. și Castells F., Optimization of energy plants including water/lithium bromide absorption chillers, International Journal of Energy Research, Vol. 24, Nr. 8, pp. 695-717, 2000.
90. Lazzarin R. M., Longo G. A. și Romagnoni P. C., A new HVAC system based on cegeneration by an I. C. engine, Applied Thermal Engineering, Vol. 16, Nr. 7, pp. 551-559, 1996.
91. Leclère P., La thermodynamique au service des économis d'énergie et de l'environnement, Revue General du Froid, Vol. 90, pp. 18-30, Octombrie 2000.
92. Larger D., Machines à absorption en trigénération, Revue General du Froid, Nr. 990, pp. 60-62, Ianuarie-Februarie 1999.
93. Langreck J. și Pruiksma E., Extending the market for cogeneration with absorption refrigeration, Modern Power Systems, pp. 41-42, Iulie 1999.
94. Tozer R. și James R. W., Heat powered refrigeration cycles, Applied Thermal Engineering, Vol. 18, pp. 731-743, 1998.
95. Mostafavi M. și Agnew B., Thermodynamic analysis of combined diesel engine and absorption refrigeration unit – naturally aspirated diesel engine, Applied Thermal Engineering, Vol. 17, Nr. 5, pp. 471-478, 1997.
96. Mostafavi M. și Agnew B., Thermodynamic analysis of combined diesel engine and absorption unit – turbocharged engine with intercooling, Applied Thermal Engineering, Vol. 16, Nr. 8/9, pp. 733-740, 1996.

97. Mostafavi M. și Agnew B., Thermodynamic analysis of combined diesel engine and absorption refrigeration unit – supercharged engine with intercooling, Technical note, Applied Thermal Engineering, Vol. 16, Nr. 11, pp. 921-930, 1996.
98. Maidment G. G., Zhao X. și Riffat S. B., Combined cooling and heating using a gas engine in a supermarket, Applied Energy, Vol. 68, pp. 321-335, 2001.
99. Hisaki H., Kobayashi N., Yonezawa Y. și Morikawa A., Development of ice-thermal storage system using an adsorption chiller, Internal Absorption Heat Pump Conference, Vol. 31, pp. 439-444, 1993.
100. Tozer R. și James R., Absorption chillers applied to CHP systems, Building Service Engineering Research Technology, Vol. 16, Nr. 4, pp. 179-188, 1995.
101. Maidment G. G., Zhao X., Riffat S. B. și Prosser G., Application of combined heat-and-power and absorption cooling in a supermarket, Applied Energy, Vol. 63, pp. 169-190, 1999.
102. Wu Y. J., Rosen M. A., Assessing and optimizing the economic and environmental impacts of cogeneration/district energy systems using an energy equilibrium model, Applied Energy, Vol. 62, pp. 141-154, 1999.
103. Riley J. M. și Probert S.D., Carbon-dioxide emissions from an integrated small-scale CHP and absorption chiller system, Applied Energy Vol. 61, pp. 193-207, 1998.
104. Maidment G. G. și Tozer R. M., Combined cooling heat and power in supermarkets, Applied Thermal Engineering, Vol. 22, pp. 653-665, 2002.
105. Edera M. și Kojima H., Development of a new gas absorption chiller heater – advanced utilization of waste heat from gas-driven co-generation systems for air-conditioning, Energy Conversion and Management, Vol. 43, pp. 1496-1501, 2002.
106. Moné C. D., Chau D. S. și Phelan P. E., Economic feasibility of combined heat and power and absorption refrigeration with commercially available gas turbines, Energy Conversion and Management, Vol. 42, pp. 1559-1573, 2001.
107. Hart D. R. și Rosen M. A., Environmental and health benefits fo district cooling using utility-based cogeneration in Ontario, Canada, Energy, Vol. 21, Nr. 12, pp. 1135-1146, 1996.
108. Silveira J. L. și Gomes L. A., Fuel cell cogeneration system: a case of technoeconomic analysis, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 3, pp. 233-242, 1999.
109. Lin F., Yi J., Weixing Y și Xuzhong Q., Influence of supply and return water temperatures on the energy consumption of a district cooling system, Applied Thermal Engineering, Vol. 21, pp. 511-521, 2001.
110. Few P. C., Smith M. A. și Twidell J. W., Modelling of a combined heat and power (CHP) plant incorporating a heat pump for domestic use, Energy, Vol. 22, Nr. 7, pp. 651-659, 1997.
111. Bruno J. C., Miquel J. și Castells F., Modeling of ammonia absorption chillers integration in energy systems of process plants, Applied Thermal Engineering, Vol. 19, pp. 1297-1328, 1999.
112. <http://www.mhhe.com/engcs/mech/ees>