

**RAPORTUL STIINTIFIC SI TEHNIC
(RST)**

la contractul cu tema

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

FAZA DE EXECUTIE NR.I – 2007

**CU TITLUL “ANALIZA CONCEPTUALA A SISTEMELOR CU
TRIGENERARE SI DEFINIREA STRUCTURILOR NECESARE
PENTRU SISTEMELE DE PRODUCERE CALDURA-ENERGIE-FRIG”**

Director proiect
Prof.dr.ing. Badea Nicolae

CUPRINS

ETAPA I.

ANALIZA CONCEPTUALA A SISTEMELOR CU TRIGENERARE SI DEFINIREA STRUCTURILOR NECESARE PENTRU SISTEMELE DE PRODUCERE CALDURA- ENERGIE-FRIG.

Obiective generale	11
Obiective specifice etapei I	11
Rezumat	11
Descrierea stiintifica si tehnica	14

Activitatea I.3

Studiu comparativ asupra variantelor de realizare a sistemelor cu trigenerare	14
I.3.01 Introducere	14
I.3.02 Indicatori de performanță ai sistemelor de producere în trigenerare	16
I.3.03 Randamentul electric al producerii in sistemele CCHP.....	23

Activitatea I.3.1

Explorarea variantelor termic-electric	24
I.3.1.1 Conversia termic-electric cu turbine cu abur	24
I.3.1.2 Conversia termic-electric cu turbine cu gaz	30
I.3.1.2.1 Soluții tehnice cu turbine industriale cu gaz	30
I.3.1.2.2 Soluții tehnice cu microturbine cu gaz	32
I.3.1.3 Soluții tehnice cu motoare termice cu combustie	34
I.3.1.3.1 Motoare cu mișcare oscilantă cu piston (motorul Otto)	34
I.3.1.3.2 Motoare Diesel	35
I.3.1.4 Soluții tehnice pentru conversia cu motoarele Stirling	37
I.3.1.5 Pilele de combustie.....	39
I.3.1.5.1 Pile de combustie alcaline (AFC).....	41
I.3.1.5.2 Pile de combustie cu acid fosforic (PAFC).....	41
I.3.1.5.3 Pile de combustibil cu carbonat topit (MCFC)	42
I.3.1.5.4 Pile de combustibil cu oxid solid (SOFC)	43
I.3.1.5.5 Pile de combustie cu membrană cu schimb de protoni (PEMFC).....	44

Activitatea I.3.2.

Explorarea variantelor caldura-frig	46
I.3.2.1 Cicluri frigorifice	46
I.3.2.2 Medii refrigerant-absorbante	48
I.3.2.3 Tipuri de refrigeratoare cu absorbtie	49
I.3.2.4 Tipuri de refrigeratoare cu adsorbție.....	51
I.3.2.5 Dezumidificarea in sistemele CCHP	54

Activitatea I.3.3.

Explorarea variantelor electric-frig	57
I.3.3.1 Instalatiile frigorifice cu comprimare mecanica	57
I.3.3.2 Instalatii frigorifice cu racire termoelectrica	60

Activitatea I.3.4

Configuratii ale sistemelor CCHP	63
I.3.4.1 Configuratii CCHP dupa conversia primara	64
I.3.4.2 Configuratii ale sistemelor CCHP dupa puterea instalata	70

Activitatea I.3.5.

Dezvoltarea sistemelor CCHP în lume	75
I.3.5.1 Statele Unite	75
I.3.5.2 Europa	77
I.3.5.3 Asia și zona Pacific	81
I.3.5.4 Alte țări	85

Concluzii	87
------------------------	----

Bibliografie	91
---------------------------	----

Notății

CHP Combined Heating and Power
CCHP Combined Cooling, Heating and Power
SCHP Separate Cooling, Heating and Power
CHRP Combined Heating, Refrigeration and Power-
BCHP Building Cooling Heating and Power .
CCPP Combined Cycle Power Plant
DER Distributed/Decentralized Energy Resources
DP Distributed/Decentralized Power
DG Distributed Generation/ Decentralized Generation
GE – generator electric,
MT – motor termic ,
MP motor primar
SC- schimbător de căldură
GA – generator de abur;
ȘÎ - supraîncalzitor intermediar;
CIP - corp de înalta presiune;
CMJP - corp de medie și joasă presiune;
GE - generator electric;
K - condensator;
PA - pompa de alimentare;
PR – preîncalzitor regenerativ
RCM- refrigerator cu compresie mecanică
RAb- refrigerator cu absorbție
RAd- refrigerator cu adsorbție
AC- aer condiționat
IC- Combustie Internă

OBIECTIVE GENERALE

Obiectivul general al contractului 21-063 /2007 cu denumirea „Sisteme autonome de generare a energiei prin trigenerare utilizand combustibili ecologici” este de studiu si realizare a unui echipament capabil sa produca electricitate, apa calda si caldura sau frig, cu o distributie descentralizata elastica, reglabila la dispozitia utilizatorului in functie de necesitatile orare si topologice ale cladirii rezidentiale.

Principalul argument în favoarea trigenerării (CCHP) este reducerea consumului de combustibil primar și, implicit, a emisiilor de gaze cu efect de seră – direcție strategică pentru politica energetică și de mediu(Directiva CE-8). Trebuie precizat ca sistemele CCHP distribuite transforma energia chimica prin arderea combustibililor fosili naturali sau a combustibililor regenerabili de tip biogaz sau biodiesel in formarea unei energii termice primare . Aceasta se transforma cu randamente diferite in alte forme de energie utile unui spatiu rezidential(caldura/frig , electricitate-prin lantul de transformare termic-mecanic-electric).

Atingerea obiectivului general implica obiective specifice fiecărei etape in derularea proiectului.

OBIECTIVE SPECIFICE

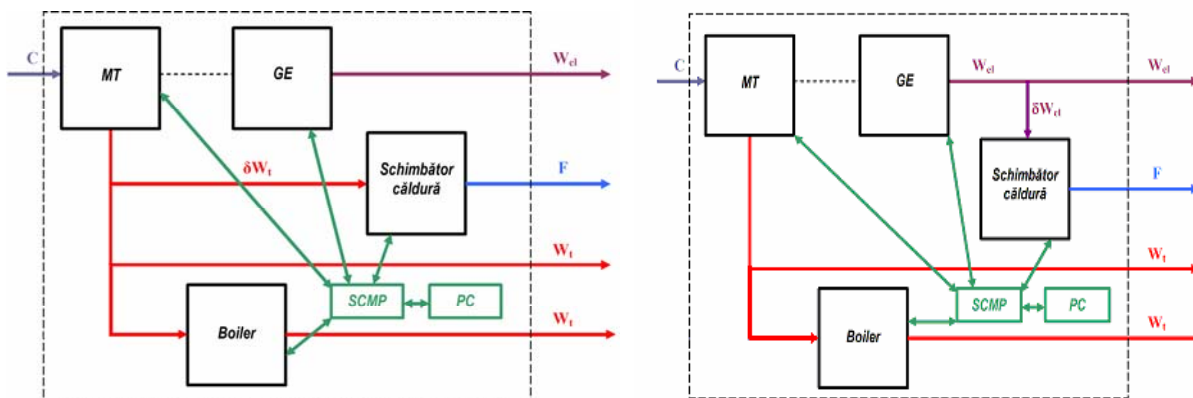
Obiectivele specifice al etapei I sunt:

- analiza conceptuala a sistemelor cu trigenerare si
- definirea structurilor necesare pentru sistemele de producere caldura-energie-frig.

REZUMAT

Analiza conceptuala a sistemelor cu trigenerare implica definirea elementelor componente ale sistemelor cu trigenerare si interconectarea lor. Un sistem tipic de trigenerare contine cinci elemente componente : GE – generator electric, MT – motor primar , SC-schimbator de caldura ,SCMP-sistem control,monitorizare si protectie.

O prima diferenta in clasa sistemelor CCHP rezida din modul de conectare al instalației de producere a frigului (figura 1) Prima varianta presupune transformarea caldurii in frig iar a doua obtinere frigului din transformarea energiei electrice.



a.transformarea caldurii in frig

b. obținerea frigului din tranformarea energiei electrice

Figura 1 Procedee de trigenerare

Fiecare procedeu de trigenerare are propriu bilant al transformarilor energetice conform figurii 2

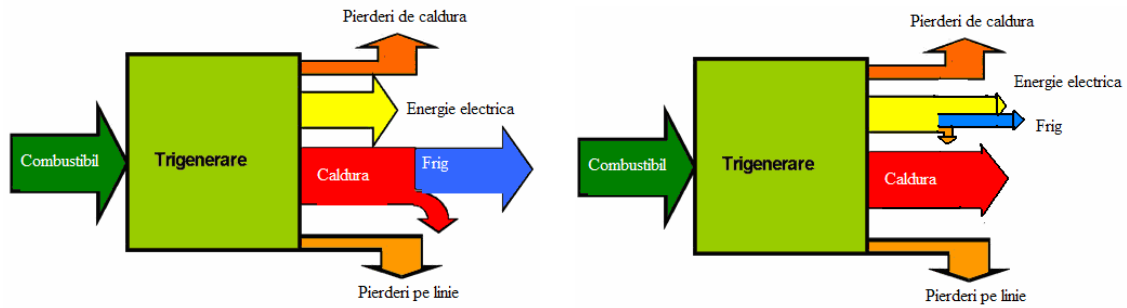


Figura 2 Bilantul energetic al procedeelor de trigenerare

Pentru compararea procedeelor de trigenerare și a performanțelor au fost definiți indicatorii de performanță față de producerea separată a energiilor precum: *eficiența electrică a producerii în trigenerare*; *eficiența termică*; *eficiența producerii frigului*; *eficiența globală*; *raportul energie electrică / energia termică*; *economia de combustibil*.

Al doilea obiectiv specific al etapei I îl constituie *definirea structurilor necesare pentru sistemele de producere căldură-energie-frig*. În acest sens au fost explorate variantele de conversie a energiilor din termic-electric, termic-frig și electric-frig.

Din *explorarea variantelor termic-electric (I.3.1)* au rezultat următoarele structuri de motoare primare: *turbine cu abur cu contrapresiune sau cu condensare*; *turbine cu gaze și recuperatoare de căldură*; *motoare cu ardere internă* (Diessel sau Otto); *motoare „Stirling”* și *pile de combustie* (cinci tipuri de pile).

Fiecarei structuri de motoare primare i s-au prezentat indicatorii de performanță (randament electric, termic, eficiența globală, raportul puterilor), avantajele și dezavantajele privind consumul de combustibil primar și emisiile de noxe.

Din *explorarea variantelor termic-frig (I.3.2)* au rezultat următoarele sisteme frigorifice: *cu absorbție sau cu adsorbție* într-o treaptă sau în două trepte de compresie termică. Pentru fiecare metodă de conversie au fost analizate mediile absorbant-refrigerante sau adsorbant-refrigerante, limitele de temperatură minimă și maximă, randamentele conversiei și impactul substanței de refrigerare asupra mediului. În funcție de tipul motorului primar și caracteristicile termice ale acestuia au fost prezentate posibilitățile de conectare ale refrigeratoarelor.

Din *explorarea variantelor electric-frig (I.3.3)* au rezultat următoarele sisteme frigorifice: *cu compresie mecanică sau racire termoelectrică* într-o treaptă sau în mai multe trepte de compresie. Sunt prezentate performanțele refrigeratoarelor cu acționare mecanică în funcție de raportul puterilor electric/termic precum și costurile acestora per KW.

Din explorarea variantelor de conversie energetică rezultă următoarea schemă conceptuală de bază pentru sistemului CCHP.

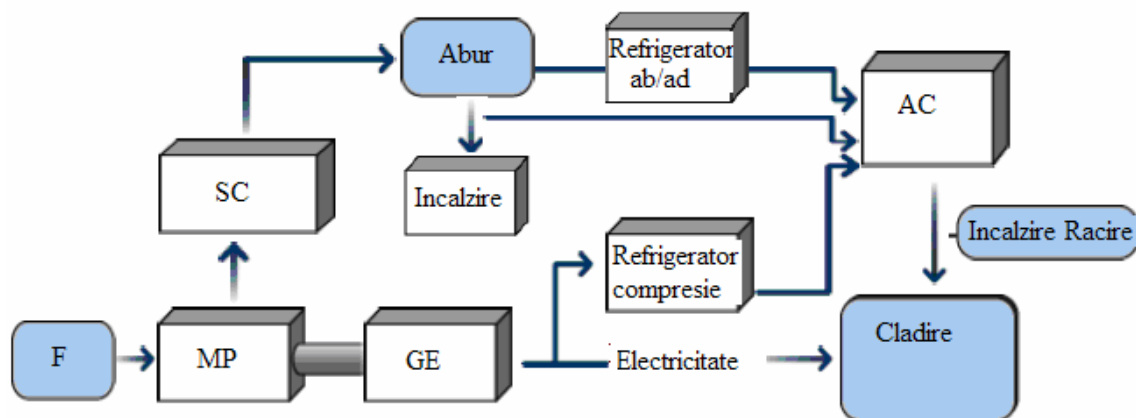


Figura 3. Schema conceptuală de bază pentru sistemul CCHP

Intrucat fiecare element din schema conceptuală are diferite variante de realizare practică conform procedurilor de conversie expuse mai sus rezulta numeroase topologii (structuri) de sisteme CCHP cu utilitate practică (I.3.4). Pentru a identifica ce sisteme CCHP se pot utiliza rezidențial au fost identificate criteriile de clasificare a acestora, criterii bazate pe conversia primară după puterea instalată. Performanțele fiecărei configurații analizate sunt prezentate în corelație cu costurile de instalare și exploatare aferente.

Problemele de utilizare rațională a energiei și creșterea eficienței energetice nu pot fi desprinse de problemele de mediu (emisiile de CO_2 și NO_x) iar actualitatea tematicii sistemelor CCHP a fost analizată în toate principalele zone ale lumii (I.3.5). Exemplele prezentate arată preocupările și realizările în domeniul CCHP subliniindu-se rolul politicilor energetice ale țărilor din toate continentele.

Politicile țărilor din toate continentele inclusiv din UE recunosc atât importanța sistemelor CCHP pentru îndeplinirea obligațiilor referitoare la modificările climatice cât și pentru definirea instrumentelor posibile de promovare a tehnologiei CCHP și DER.

În categoria sistemelor CCHP cu utilizare rezidențială, exemplele sunt limitate pe piața curentă, cercetările sunt canalizate pentru capacități relativ mici, în care există un mare potențial de transfer tehnologic și potențial comercial bazat pe avantajele economice la utilizator.

CONCLUZII

Studiul comparativ a variantelor de realizare a sistemelor cu trigenerare permite evidentiarea următoarelor concluzii:

Concluzia 1. Indicatorii de performanță tehnologică ai sistemelor de trigenerare sunt:

1.1. *Eficiența electrică a producerii în trigenerare* $\eta_E = \frac{P_E}{P_p}$ - raportul dintre energie electrică produsă

anual în trigenerare și energie primară din combustibilii utilizați pentru producerea energiei termice utile și a energiei electrice.

1.2. *Eficiența termică* $\eta_{th} = \frac{P_{th}}{P_p}$ - raportul dintre energie termică utilă produsă anual în co-trigenerare și

energia din combustibilii utilizați în procesul de trigenerare

1.3. *Eficiența producerii frigului* $\eta_c = \frac{P_c}{P_p}$ ca raport între puterea de răcire pe puterea de intrare

1.4. *Eficiența globală* $\eta_{cchp} = \frac{P_E + P_{th} + P_c}{P_{cchp}} = \frac{P_u}{P_{cchp}}$ - raportul dintre energia produsă anual în trigenerare

și energia conținută în combustibilii utilizați pentru trigenerare. Aceasta eficiență se compară cu eficiența globală a producerii separate de energie electrică, termică și de răcire

$$\eta_{schp} = \frac{\frac{P_E}{\eta_E} + \frac{P_{th}}{\eta_{th}} + \frac{P_c}{\eta_c}}{P_{schp}} = \frac{P_E + P_{th} + P_c}{P_{schp}} = \frac{P_u}{P_{schp}}$$

1.5. *Economia de combustibil* raportată la consumul de combustibil în cazul producerii separate. Aceasta economie se determină pornind de la puterea corespunzătoare combustibilului economisit ce reprezintă diferența dintre puterea primară în cazul producerii separate și puterea primară în cazul producerii combinate:

$$P_s = P_{schp} - P_{cchp}$$

Raportând această putere la puterea primară în cazul producerii separate se obține *procentul de combustibil salvat (economisit)* pentru producerea combinată

$$s = 1 - \frac{P_{cchp}}{P_{schp}}$$

Procentul de combustibil economisit (salvat) poate fi definit și prin randamente

$$s = 1 - \frac{P_{cchp}}{P_{schp}} \frac{P_u}{P_u} = 1 - \frac{P_u}{P_{schp}} \frac{1}{\frac{P_u}{P_{cchp}}} = 1 - \frac{\eta_{schp}}{\eta_{cchp}}$$

$$\text{sau în funcție de puteri } s = 1 - \frac{P_{cchp}}{\frac{P_E}{\eta_E} + \frac{P_{th}}{\eta_{th}} + \frac{P_c}{\eta_c}}$$

1.6. *Eficiența efectivă electrică sau eficiența utilizării combustibilului* ca raport între puterea electrică și puterea combustibilului utilizat din care se scade puterea necesară obținerii caldurii utile și de

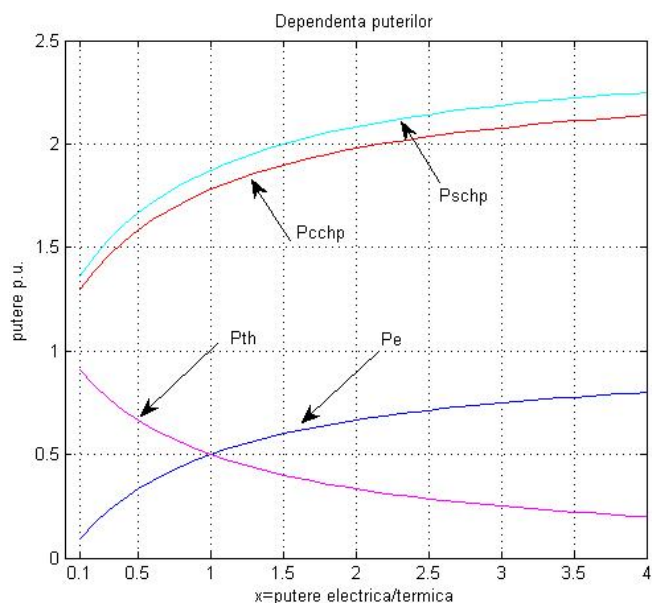
refrigerare

$$\eta_{ecchp} = \frac{P_E}{P_{cchp} - \left(\frac{P_{th}}{\eta_{th}} + \frac{P_c}{\eta_c} \right)}$$

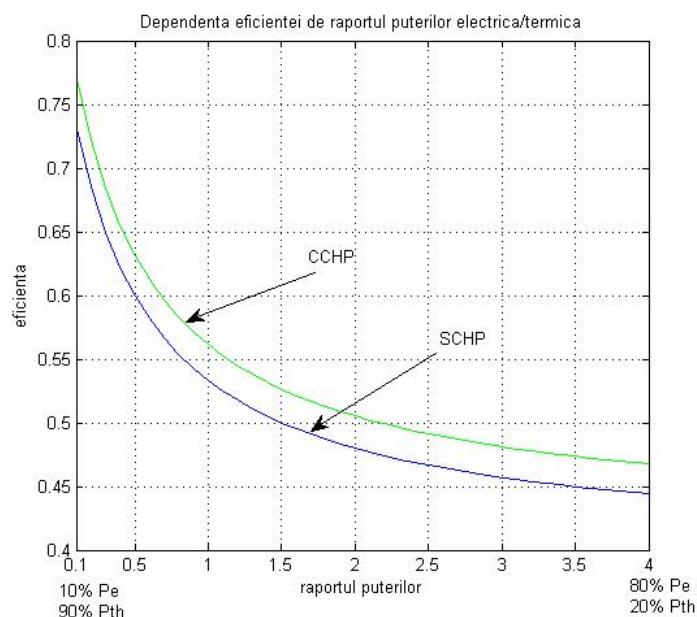
1.7. *Raportul energie electrică / energie termică* – raportul dintre energia electrică și energia termică

utilă produse în trigenerare. Fata de acest raport se exprima eficienta totala cand se compara eficienta sistemului separat de producere a energiei cu eficienta sistemului combinat.

Concluzia 2. Simularea numerica a eficientei globale a sistemului CCHP fata de sistemul SCHP la o economie de 5% a combustibilului pentru producerea acelorasi puteri de iesire (electrica, termica ,de refrigerare) redată in figura 1 indica o crestere a eficientei utilizarii combustibilului primar , crestere dependenta de raportul puterilor electrica/termica



a. Dependenta puterilor de raportul putere electrica/termica



b. Dependenta eficientei globale de raportul putere electrica/termica

Figura 1 Dependenta indicatorilor de raportul putere electrica/termica

Concluzia 3. Structura conceptuala un sistem de trigenerare este urmatoarea:

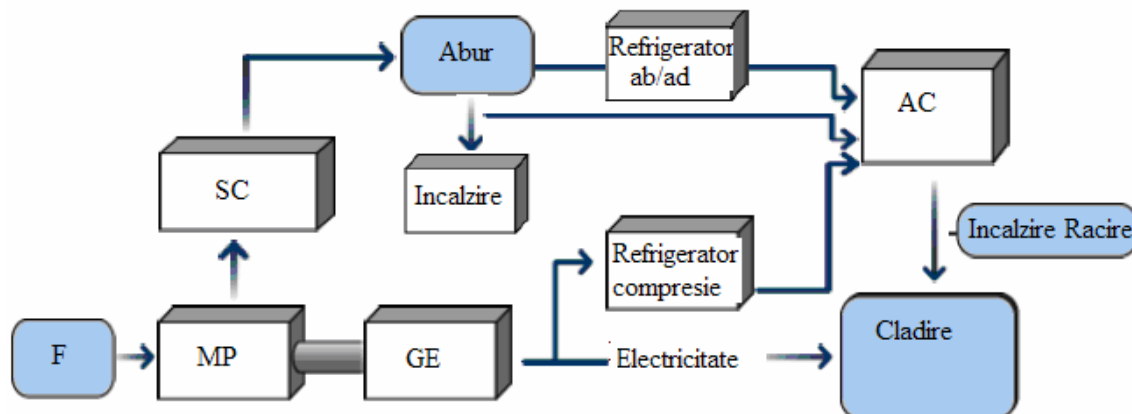


Figura 2. Schema conceptuala de baza pentru sistemului CCHP

unde :F-combustibil, MP-motor primar,GE-generator electric, SC- schimbator caldura,AC-aer conditionat

Concluzia 4. Structural, fiecare element din schema conceptuala are diferite variante de realizare tehnologica.

Conform activitatilor de analiza a diferitelor modalitati de realizare a conversiei prin trigenerare prezentate in descrierea stiintifica si tehnica, rezulta numeroase topologii (structuri) de sisteme CCHP cu utilitate practica, diferite prin:

4.1- modul de realizare al conversiei primare (motor termic, turbina, celula combustie) este determinant pentru eficienta electrica si influenteaza tehnologia de utilizare a caldurii.

4.2 - modul de realizare a refrigerarii (compresie mecanica, compresie termic activa, compresie termoelectrica) implica analiza COP-ului (Coeficient de Performanta), influenta asupra mediului a agentului refrigerant.

4.3 - variantele tehnologice de recuperare a caldurii influenteaza eficienta globala a sistemului CCHP in corelatie cu parametrii termodinamici ai energiei termice.

Concluzia 5. Analiza dezvoltarii sistemelor CCHP arata urmatoarele tendinte:

5.1 Sistemele CCHP sunt o dezvoltare a sistemelor CHP si urmaresc ca printr-un sistem distribuit si compact sa extinda pe intreaga perioada a anului eficienta sistemelor de tip CHP.

5.2 Aplicarea simultana a CCHP si a conceptului DER duce la economie de combustibil primar si implicit a reducerii de noxe (CO_2 , NO_x).

Concluzia 6. Analiza politicilor de dezvoltare a sistemelor CCHP in lume indica:

6.1 Marile state industrializate au politici orientate spre promovarea în viitor a producției și distribuției de energie (electrică, căldură/frig) sigură, disponibilă și ecologică în care sistemele de tip CCHP ocupa un loc important.

6.2 Politicile UE recunosc atât importanța sistemelor CCHP pentru îndeplinirea obligațiilor referitoare la modificările climatice cât și pentru definirea instrumentelor posibile de promovare a tehnologiei la nivelul UE. (directiva 2001/77/EC).

BIBLIOGRAFIE SI REFERINTE

- [1] COGEN Europe (The European Association for the Promotion of Cogeneration, www.cogen.org). *The European educational tool on cogeneration*, 2nd ed. December 2001
- [2] Institute for Promotion of Innovative Technologies (Italy), Wen Guo. *The state-of-the art of tri-generation and its application in tertiary sector*.
- [3] Energy and Environmental Analysis, Inc. *Market potential for advanced thermally activated BCHP in five national account sectors*. May 2003.
- [4] Hawaii Commercial Building Guidelines for Energy Efficiency: *Chapter 9. Building cooling, heating and power generation systems*.
- [5] Shipley AM, Neal Elliott R. (The American Council for an Energy-Efficient Economy). *Distributed energy resources and combined heat and power: a declaration of terms*. April 2000.
- [6] WADE (World Alliance of Decentralized Energy, www.localpower.org). *Guide to decentralized energy technologies*. 2002.
- [7] Resource Dynamics Corporation. *Assessment of distributed generation technology applications*. February 2001.
- [8] Ackermann T, Andersson G, Soder L. *Distributed generation: a definition*. Electric Power Syst Res 2001;57:195–204.
- [9] COGEN Europe (www.cogen.org). *A guide to cogeneration*. March 2001.
- [10] WADE (www.localpower.org). *The real benefits of decentralized energy*.
- [11] Masepohl T. The National Renewable Energy Laboratory (NREL). *On-site power systems for laboratories*. 2003.
- [12] EPA (US Environmental Protection Agency, www.epa.gov). *Introduction to CHP catalog of technologies: introduction to CHP technologies*.
- [13] Midwest CHP Application Center (University of Illinois at Chicago) and Avalon Consulting, Inc. *Combined heat and power resource guide*. September 2003.
- [14] WADE (www.localpower.org). *World survey of decentralized energy*. 2004.
- [15] IEA (The International Energy Agency). *Distributed Generation in liberalized electricity markets*. 2002.
- [16] COGEN Europe (www.cogen.org). *Decentralized generation technologies—potentials, success factors and impacts in the liberalized EU energy markets*. Final report, October 2002.
- [17] Navarro E, Diaz A. *European network for the integration of renewables and distributed generation* (the ENIRDGnet project partially supported by the European Commission under the 5th RTD Framework Program 2004).
- [18] The National Renewable Energy Laboratory (NREL), The Department of Energy (DOE), Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE) and the Gas Research Institute (GRI). *Gas-fired distributed energy resource technology characterizations*. October 2003.
- [19] EPA (www.epa.gov) *Technology characterization: steam turbines*. March 2002.
- [20] Alanne K, Saari A (Laboratory of Construction Economics and Management, Helsinki University of Technology). *Sustainable small-scale CHP technologies for buildings: the basis for multi-perspective decision-making*. Renew Sustain Energy Rev 2004;8:401–31.
- [21] EPA (www.epa.gov) *Technology characterization: reciprocating engines*. March 2002.
- [22] Resource Dynamics Corporation. *Cooling heating and power for industry a market assessment*. August 2003.
- [23] EPA (www.epa.gov) *Technology characterization: gas turbines*. March 2002.
- [24] Aspen Systems Corporation and Applied Management Sciences Group. *Combined heat and power: a federal manager's resource guide final report*. March 2000.
- [25] EPA (www.epa.gov) *Technology characterization: microturbines*. March 2002.
- [26] EPA (www.epa.gov) *Technology characterization: fuel cells*. March 2002.
- [27] Shipley AM, Neal Elliott R (The American Council for an Energy-Efficient Economy). *Stationary fuel cells: future promise, current type*. March 2004.

- [28] Fairchild P (Oak Ridge National Laboratory). *Integrated energy systems: technologies, program structure, and applications*. April 2002.
- [29] European Commission, Directorate-General for Energy. *Energy savings by CHCP plants absorption chillers in the hotel sector*. May 2001
- [30] Srihirin P, Aphornratana S, Chungpaibulpatana S. *A review of absorption refrigeration technologies*. Renew Sustain Energy Rev 2001;5:343–72.
- [31] Resource Dynamics Corporation. *Integrated energy systems (IES) for buildings: a market assessment*. August 2002.
- [32] Wang R, Wu J, Dai Y. *Adsorption refrigeration*. China Machine Press; 2002.
- [33] Wang R, Wang L. *Adsorption refrigeration-green cooling driven by low-grade thermal energy*. Chin Sci Bull 2005;50(3):193–204.
- [34] Yi T, Ruzhu W. *General situation and development of solid adsorption refrigeration technology*. Trans Shanghai Jiao Tong Univ 1998;32(4).
- [35] Srivastava NC, Eames IW. *A review of adsorbents and adsorbates in solid–vapour adsorption heat pump systems*. Appl Thermal Eng 1998;18:707–14.
- [36] Qun C, Gang T, Huqin Y. *Development of solid adsorption refrigeration asorbents*. Trans NanJing Chem Technol Univ 1999;21(6)
- [37] Alam KCA, Saha BB, Kang YT, Akisawa A, Kashiwagi T. *Heat exchanger design effect on the system performance of silica gel adsorption refrigeration systems*. Int J. Heat Mass Transfer 2000;43:4419–31.
- [38] Christy C, Fusco D, Toossi R (California State University Long Beach). *Adsorption air-conditioning for containerships and vehicles*. June 2001.
- [39] Energy and Environmental Analysis, Inc. *Natural gas impacts of increased CHP*. October 2003.
- [40] Maidment GG, Tozer RM. *Combined cooling heat and power in supermarkets*. Appl Thermal Eng 2002;22:653–65.
- [41] Maidment GG, et al. *Application of combined heat-and power and absorption cooling in a supermarket*. Appl Energy 1999;63:169–90.
- [42] Riley JM, Probert SD. *Carbon-dioxide emissions from an integrated small-scale CHP and absorption chiller system*. Appl Energy 1998;61:193–207.
- [43] Talbi M, Agnew B. *Energy recovery from diesel engine exhaust gases for performance enhancement and air conditioning*. Appl Thermal Eng 2002;22:693–702.
- [44] Miguez JL, Murillo S, Porteiro J, Lopez LM. *Feasibility of a new domestic CHP trigeneration with heat pump I. Design and development*. Appl thermal Eng 2004;24:1409–19.
- [45] Porteiro J, Miguez JL, Murillo S, Lopez LM. *Feasibility of a new domestic CHP trigeneration with heat pump II. Availability analysis*. Appl Thermal Eng 2004;24:1421–9.
- [46] Smith MA, Few PC. *Domestic-scale combined heat-and power system incorporating a heat pump: analysis of a prototype plant*. Appl Energy 2001;70:215–32.
- [47] Moss RW, Roskilly AP, Nanda SK. *Reciprocating Joule cycle engine for domestic CHP systems*. Appl Energy 2005;80:169–85.
- [48] Wang RZ, Kong XQ, Wu JY, Huang Fu Y, Wu DW. *Performance research of a micro CCHP system with adsorption chiller*. ISHPC-044-2005. Proceedings of the international sorption heat pump conference, Denver, CO, USA. 22–24 June 2005.
- [49] Marantan A. *Optimization of integrated micro-turbine and absorption chiller systems in CHP for buildings applications*. PhD. dissertation, Department of Mechanical Engineering, University of Maryland, College Park, 2002.
- [50] Kong XQ, Wang RZ, Huang XH. *Energy optimization model for a CCHP system with available gas turbines*. Appl Thermal Eng 2005;25(2–3):377–91.
- [51] Kong XQ, Wang RZ, Huang XH. *Energy efficiency and economic feasibility of CCHP driven by Stirling engine*. Energy Convers Manage 2004;45(9-10):1433–42.
- [52] Combined Heat and Power Club (www.chpclub.com). *Fuel cells—an Introduction*.

- [53] Tokyo Gas Co., Ltd. *Commercial unit of residential fuel cell cogeneration systems launch into the market*. December 2004.
- [54] Hamada Y, et al. *Field Performance of a polymer electrolyte fuel cell for a residential energy system*. *Renew Sustain Energy Rev* 2004;9:345–62.
- [55] Wang RZ, Oliveira RG. *Adsorption refrigeration—an efficient way to make good use of solar energy and waste heat*. ISHPC-keynote lecture, 2005. Proceedings of the international sorption heat pump conference, Denver, CO, USA. 22–24 June 2005.
- [56] Liu YL, Wang RZ, Xia ZZ. *Experimental study on a continuous adsorption water chiller with novel design*. *Int J Refrig* 2005;28(2):218–30.
- [57] Office for Power Technologies (www.eren.doe.gov/power). *Thermally activated technologies: combined cooling, heating, and power*.
- [58] CHP for Buildings Integration Test Center at University of Maryland, *Guide book*. October 2001.
- [59] Marantan A. *Optimization of integrated micro-turbine and absorption chiller systems in CHP for buildings applications*. PhD dissertation, Center for Environmental Energy Engineering, University of Maryland, College Park, 2002.
- [60] BROAD Air Conditioning Co. Ltd. (www.broad.com.cn) *A green perspective: green energy restructures the USA—world's largest exhaust chiller running in Austin*. 2004.
- [61] Goodell M. *City of Austin dedicates new “super-efficient” 4.5MW tri-generation plant*. (www.Trigeneration.com) Austin, Texas. June 14, 2004.
- [62] Stambler I. *4.6MW plant with an indirect fired 2600 ton chiller at 76.8% efficiency*. *Gas Turbine World*. August–September 2004.
- [63] Mercer M. *CHP gets new spin*. *Diesel and Gas Turbine Worldwide*. October 2004.
- [64] Midwest Application Center (www.CHPCenterMW.org). *Site fact sheet (Cooling, Heating, and Power Facility in University of Illinois at Chicago)*. 2001.
- [65] Midwest Application Center (www.CHPCenterMW.org). *Project profile*. University of Illinois at Chicago (East Campus).
- [66] Midwest Application Center (www.CHPCenterMW.org). *Project profile*. University of Illinois at Chicago (West Campus).
- [67] Chengzhang Z. *CHP applications in US and Europe used for reference in China*. *Popular Utilization of Electricity* 2003;2
- [68] Laitner J (US EPA), Parks W (US DOE), Schilling J, Scheer R (Energetics, Inc.). *Federal strategies to increase the implementation of combined heat and power technologies in the United States*. 2000.
- [69] Lemar P, Honton EJ (Resource Dynamics Corporation). *High natural gas prices and the updated market for CHP world energy engineering congress*. September 2004.
- [70] Jimison JW (US Combined Heat and Power Association). *CHP in the USA* (A presentation to CoGen Europe conference). 2004.
- [71] Jimison JW, Elliott N (USCHPA). *Policy update CHP on national legislative agenda*. August 2001.
- [72] Jimison JW, Elliott N. (USCHPA). *National Energy plan favors combined heat and power but lacks specifics*. May 2001.
- [73] Bamberger RL, Holt ME. *Bush energy policy: overview of major proposals and legislative action*. August 2001.
- [74] USCHPA (United States Combined Heat and Power Association). *Consensus action items from CHP roadmap process*. June 2001.
- [75] Reicher D (Texas New Energy Capital). *CHP roadmap workshop five years into the challenge*. September 2004.
- [76] WADE (www.localpower.org). *A lower cost policy response to the North American blackouts*. August 2003.
- [77] Smith M. (Office of Distributed Energy US Department of Energy). *Fifth annual CHP roadmap workshop*. September 2004.

- [78] Energy for Sustainable Development (ESD) Ltd. And COGEN Europe et al. *The future of CHP in the European market—The European Cogeneration Study*. May 2001.
- [79] Minnett S. (COGEN Europe). *Micro-CHP needs specific treatment in the European directive on cogeneration*. 2003.
- [80] Löffler P. (COGEN Europe). *Cogeneration in Europe: potentials, trends and EU policy responses*. October 2002.
- [81] Taylor C. *Treatment of CHP in EU accession country national allocation plans*. January 2004
- [82] Fazekas AI (Hungarian Power Companies Ltd.). Possibilities for The development of cogeneration in Hungary. 2004.
- [83] DEFRA (The Department for Environment, Food and Rural Affairs, www.defra.gov.uk). *The government's strategy for combined heat and power to 2010*. April 2004.
- [84] China Energy Conservation Investment Corporation. *Market assessment of cogeneration in China*. 2001
- [85] Shanghai Supervising Center of Energy Conservation. *Policy research of CHP in Shanghai*. 2002
- [86] WADE (www.localpower.org). *New 'National Survey of DE in China—2003': China—substantial prospects for clean and efficient decentralized energy systems*. March 2003
- [87] Japan Cogeneration Center (CGC). *Current status and trends in Japan*. 2003.
- [88] Jieyi D. *Development of gas-fired CHP projects in Japan*. Int Electric Power China 2002;6(4)
- [89] IEA (International Energy Agency). *Energy policies of IEA countries. Japan*. 1999, review.
- [90] Casten TR. (WADE). *The DG revolution—a second Indian miracle*. 2004.
- [91] Smouse SM, et al. *Promotion of biomass cogeneration with power export in the Indian sugar industry*. Fuel Process Technol 1998;54:227–47.
- [92] Bo Engle Persson (EC–ASEAN Cogeneration Program). *Business and marketing Business and marketing strategies*. 2004
- [93] EPA. *Overview of cogeneration and its status in Asia: cogeneration in Asia Today*. 1999.
- [94] Niels B-N. *Cogeneration policies in ASEAN*. February 2004.
- [95] Lacrosse L. *COGEN 3 Program and Activities*. April 2004.
- [96] Jaber JO, Probert SD. *Environmental impact assessment for the proposed oil-shale integrated tri-generation plant*. Appl Energy 1999;62:169–209
- [97] Najjar YSH. *Gas turbine cogeneration systems: a review of some novel cycles*. Appl Thermal Eng 2000;20:179–97.
- [98] Szklo AS, et al. *Economic potential of natural gas-fired cogeneration in Brazil: two case studies*. Appl. Energy 2000;67:245–63.
- [99] Szklo AS, et al. *Strategic cogeneration—fresh horizons for the development of cogeneration in Brazil*. Appl Energy 2001;69:257–68.
- [100] Silveira JL, Gomes LA. *Fuel cell cogeneration system. A case of techno-economic analysis*. Renew Sustain Energy Rev 1999;3:233–42.
- [101] Joseph EA, Roy-Aikins. *Cogeneration in rural development*. Energy 1995; 20(2): 95–104.
- [102] D.W. Wu, R.Z. Wang - *Progress in Energy and Combustion Science* 32 (2006) 459–495
- [103] Bathie, William W., *Fundamentals of Gas Turbines*, New York: John Wiley & Sons, 1984.
- [104] Borbely, Ann-Marie, and Kreider, Jan F., *Distributed Generation*, Washington D.C.: CRC Press, 2001.
- [105] Caton, Jerald A., and Turner, W. Dan, “Cogeneration,” *CRC Handbook of Energy Efficiency*, New York: CRC Press, Inc., 1997.
- [106] Decher, R., *Energy Conversion*, New York: Oxford University Press, 1994.
- [107] Dugan, R.E., and Jones, J.B., *Engineering Thermodynamics*, New Jersey: Prentice- Hall, Inc., 1996.
- [108] Harman, R.T., *Gas Turbine Engineering*, New York: John Wiley & Sons, 1981.
- [109] Harold, Keith E., Klein, Sanford A., and Radermacher, Reinhard. *Absorption Chillers and Heat Pumps*, New York: CRC Press, Inc., 1996.

- [110]Hodge, B.K., and Taylor, Robert P., *Analysis and Design of Energy Systems*, 3rd edition, New Jersey: Prentice-Hall, Inc. 1999.
- [111] Holman, J.P., *Heat Transfer*, 8th edition, St. Louis: McGraw-Hill, Inc., 1997.
- [112]Hoogers, Gregor, *Fuel Cell Technology Handbook*, Washington D.C.: CRC Press, 2003.
- [113] Horlock, J. H., *Cogeneration: Combined Heat and Power*, New York: Kreiger, 1997.
- [114] Kakac, Sadik, and Hongtan, Lui, *Heat Exchangers: Selection, Rating, and Thermal Design*, Washington D.C.: CRC Press LLC, 1998.
- [115]McQuiston, Faye C., Parker, Jerald D., and Spitler, Jeffrey D., *Heating, Ventilating, and Air Conditioning: Analysis and Design*, 5th edition, New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000.
- [116]Moran, Michael J., and Shapiro, Howard N., *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, 2nd Edition, New York: John Wiley & Sons, Inc., 1992.
- [117] Rolle, Kurt C., *Thermodynamics and Heat Power*, 5th edition, Columbus, Ohio: Prentice-Hall, 1999.
- [118]*CHP-B Instructional Module R-2* Shah, Ramesh K., “Recuperators, Regenerators and Compact Heat Exchangers,”*CRC Handbook of Energy Efficiency*, New York: CRC Press, Inc., 1997
- [119] Suryanarayana, N.V., *Engineering Heat Transfer*, New York: West Publishing Company, 1995.
- [120] Chandra, Louay, Parsons, Jim A., James, Carl, Hodge, B.K., and Steele, W. Glenn, *Desiccant Dehumidification Curriculum Module for Engineering/Technology HVAC Courses*, Mississippi State University, 2000.
- [121] Meckler, M., Heimann, R., Fisher, J., McGahey, K, *Desiccant Technology Transfer Workshop Manual*, American Gas Cooling Center, Arlington, VA, 1995.
- [122] W. R. Grace & Co., *Davison Silica Gels*, Davison Chemical Division, Baltimore, MD, 1996.