

**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. II an 2008

CU TITLUL:

“ELABORAREA SOLUȚIEI TEHNICE A SISTEMULUI”

**Director proiect
Prof.dr.ing. Badea Nicolae**

Galati-2008

CUPRINS-ETAPA II

“ELABORAREA SOLUȚIEI TEHNICE A SISTEMULUI”

Obiective generale

Obiective specifice etapei II

Rezumat

DESCRIEREA ȘTIINȚIFICĂ ȘI TEHNICĂ

-DST-

Activitatea II.1	1
Analiza și elaborarea structurilor necesare sistemului de trigenerare	
II.1.1. Analiza distribuției costurilor diverselor forme de energie în clădirile rezidențiale	1
II.1.1.1 Analiza distribuției costurilor de energie electrică	1
II.1.1.2 Analiza distribuției costurilor la gaze naturale	8
II.1.1.3 Studiul de caz al consumurilor energetice în locuințele rezidențiale din zona urbană a regiunii de Sud-Est a României	12
II.1.2 Elaborarea structurilor necesare sistemului de trigenerare pentru asigurarea criteriilor de calitate și confort	23
II.1.2.1. Obiective și caracteristici generale ale sistemelor micro CCHP	24
II.1.2.2 Soluții tehnice de elaborare a trigenerării	28
II. 1.2.3 Structuri elaborate pentru sistemul de trigenerare (micro CCHP) pentru asigurarea criteriilor de calitate și confort	34
Activitatea II.2	48
Elaborarea soluțiilor tehnice pentru conversia energie	
II.2.1. Studiul maximizării transferului de căldură din motorul termic în sistemele de încălzire	48
II.2.1.1. Considerații generale	48
II.2.1.2 Elementele procesului de răcire a gazelor și recuperarea căldurii cu schimbător	49
II.2.1.3 Schimbătoare de căldură utilizate la recuperarea energiei termice produse de un motor la funcționarea în cogenerare/trigenerare	50
II.2.1.4 Analiza diagramelor de transfer de căldură ale	53

schimbătoarelor de căldură utilizate pentru producere de apă caldă	55
II.2.1.5 Bilanțul energetic al schimbătoarelor de căldură utilizate pentru producere de apă caldă	
II.2.2. Studiul maximizării transferului de căldură din motorul termic în sistemele de răcire	61
II.2.2.1 Metode și tehnici de trigenerare	62
II.2.2.2 Metode de maximizare a transferului de căldură din motorul termic în sistemele de răcire	64
II.2.3 Studiul maximizării transferului de energie termică în energie electrică	68
II.2.3.1 Metode de conversie a energiei termice în energie electrică	68
II.2.3.2 Generatoare electrice utilizate în sisteme de trigenerare	73
II.2.4 Studiul minimizării consumului de combustibil prin folosirea complementară a altor metode de obținerea a căldurii (electrice sau termice)	83
II.2.4.1 Folosirea biomasei (energie regenerabilă) la sistemele microCCHP	83
II.2.4.2 Sisteme complementare mCCHP pentru utilizarea energiei solare (regenerabile)	84
Activitatea II.3	93
Stabilirea structurii optime a sistemelor de comandă, protecție și monitorizare	
II.3.1 Studiul hard și soft al sistemului de comandă pentru asigurarea regimurilor de funcționare	93
II.3.1.1 Structura sistemelor de conducere distribuite	93
II.3.1.2. Structuri hardware de conducere a sistemului de trigenerare	95
II.3.1.3 Schema de conducere avansată pentru sisteme micro-CCHP	99
II.3.2 Studiul hard și soft al sistemului de comandă, protecție și monitorizare pentru asigurarea siguranței în funcționare	116
Activitatea II.4	125
Stabilirea specificației echipamentelor necesare	
II.4.1. Analiza materialelor folosite și a costurilor subsistemelor de trigenerare.	125
II.4.2 Elaborarea caietului de sarcini pentru achiziții	138
Concluzii	140

Notății

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
CHP Combined Heating and Power
DER Distributed/Decentralized Energy Resources
DP Distributed/Decentralized Power
DG Distributed Generation/ Decentralized Generation
GE – generator electric,
MT – motor termic ,
MP motor primar
SC- schimbator de caldura
GA – generator de abur;
SÎI - supraincalzitor intermediar;
CIP - corp de inalta presiune;
CMJP - corp de medie si joasa presiune;
GE - generator electric;
K - condensator;
PA - pompa de alimentare;
PR – preincalzitor regenerativ
RCM- refrigerator cu compresie mecanica
RAB- refrigerator cu absorbtie
RAd- refrigerator cu adsorbtie
AC- aer conditionat
IC- Combustie Interna
WOtto =lucrul mecanic al unui ciclu Otto
m = masa
u = energie interna specifica
T = temperatura
cv = capacitatea specifica volumica
Q_{in} = caldura primita
η_{Otto} = randamentul ciclului Otto
V = volum
r = raport de compresie
P = presiune
k = raport specific al caldurii
h = entalpia specifica
Q_{D,in} = caldura primita de ciclului Diesel
Q_{D,out} = caldura cedata de ciclul Diesel
WDiesel = lucrul mecanic al ciclului Diesel
cp = caldura specifica la presiune constanta

r_c = raport compresie limită
 η_{Diesel} = randamentul ciclului Diesel
 W_c = lucrul mecanic al ciclului Brayton
 W_t = lucrul mecanic al turbinei cu ciclu Brayton
 Q_s = caldura primită a ciclului Brayton
 W_{net} = lucrul mecanic net al al ciclului Brayton
 η = randamentul ciclului Brayton
 η_c = randamentul compresiei isentropice
 η_t = randamentul compresiei isentropice a turbinei
 W_{comp} = lucrul mecanic al compresorului
 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'_{out} = 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
 COP = coeficient de performanță

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. Criteriul de calitate folosit la alegerea subsistemelor si a regimurilor de functionare este alcatuit din urmatoarele componente: eficienta conversiei, calitatea energiei electrice, confort termic, cost, etc.

Sistemele CCHP distribuite transforma energia chimica prin arderea combustibililor fosili naturali sau a combustibililor regenerabili in alte forme de energie utile unui spatiu rezidential (electricitate, caldura/frig - prin lantul de transformare termic-mecanic-electric).

OBIECTIVE SPECIFICE ALE ETAPEI

Atingerea obiectivului general implica urmatoarele activitati:

- (II.1) Analiza distributiei costurilor diverselor forme de energie in cladirile rezidentiale;
- (II.2) Elaborarea solutiilor tehnice pentru conversia energiei;
- (II.3) Stabilirea structurii optime a sistemelor de comanda, protectie si monitorizare;
- (II.4) Stabilirea specificatiei echipamentelor necesare.

Aceste activitati sunt in corelare cu obiectivele specifice descrise in propunerea de proiect si permit rezolvarea urmatoarelor *probleme specifice in etapa a II-a* :

O.1. *Analiza conceptuala si implementarea sistemelor autonome cu trigenerare, inclusiv sistemele de măsurare, comandă, protecție, monitorizare.*

O.2 *Studiul comparativ al costurilor sistemelor separate de furnizare a energiei electrice, a căldurii si a frigului cu sistemul autonom cu trigenerare.*

O.3 *Obiective manageriale: achiziție echipamente, elaborare rapoarte, avizare internă, coordonare lucrări.*

REZUMAT

Analiza conceptuala a sistemelor cu trigenerare a reliefat doua variante de transformare a caldurii in frig una prin compresie mecanica iar a doua prin compresie termica rezultand urmatoarea schema conceptuala de baza, pentru sistemele de tip CCHP.

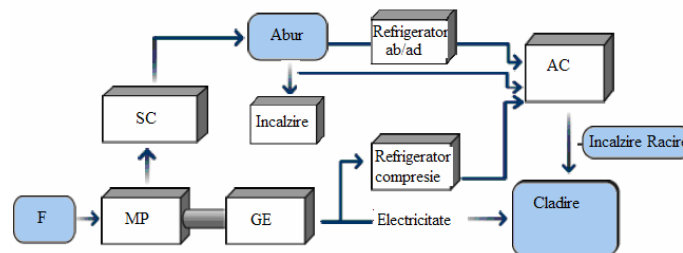


Figura II.1. Schema conceptuala de baza pentru sistemului CCHP

In aceasta etapa prin **activitatea II.1.1** am urmarit determinarea **raportului dintre energia electrica si termica pe categorii de consumatori standard** , raport determinat in urma analizei distributiei **costurilor de energie electrica, la consumatori standard de energie electrica** (clasificati conform ANRE) si a **costurilor la energia termica pentru consumatori standard de gaze naturale** (clasificati conform ANRGN)

Raportul *energie electrică / energia termică* in locuinta rezidentiala determinat pe baza statistica (a clasificariilor ANRE ai ANRGN) pentru anul 2007 este redat in tabelul urmator.

Tabel 9.

Tip consumator	Raport energie electrica/termica		
	P/Pth-D1	P/Pth-D2	P/Pth-D3
Da	0,18	0,04	0,01
Db	0,45	0,09	0,03
Dc	0,90	0,18	0,06
Dd	2,71	0,54	0,18
De	5,42	1,08	0,36

Prin activitatea *II.1.1.3* am efectuat un studiu de caz al consumurilor energetice in locuintele rezidentiale din zona urbana a regiunii de Sud-Est a Romaniei. Studiul de caz se refera la analiza consumurilor si a costurilor de energie electrica si termica a unor consumatori rezidentiali ce au aproximativ, acelasi indice de confort termic in locuinta. Selectia consumatorilor a fost facuta tinand cont de veniturile familiale ale consumatorilor si de faptul ca acestia nu fac restrictii la utilitati in asigurarea indicelui de confort in locuinta. Acesti consumatori sunt reprezentativi pentru populatia urbana cu venituri peste medie.

Prin acest studiu de caz am comparat costurile totale la energia electrica si termica intre cele doua categorii de consumatori (racordati la sistemul de termoficare-tip D1 respectiv cu centrala termica de apartament-tip D2) , cu si fara AC conform combinatiilor de consumatori din tabelul urmator.

Tabelul14.

Tip consumator termic	Tip consumator electric	Cost Energie electrica	Cost Energie termica	Cost actual total	Costuri Consumator cu CT (tip D2)	Costuri Consumator cu CT si AC
		Lei	Lei	Lei	Lei	Lei
Termoficati D1	C1-Da-AC	83,15	145,00	228,15	191,75	191,75
	C2-Da	39,25	145,00	184,25	147,85	147,85
	C3-Da	37,16	145,00	182,16	145,76	145,76
Cu Centrala individuala D2	C4-Db	51,65	108,60	160,25	160,25	160,25
	C5-Db	32,7	108,60	141,30	141,30	141,30
	C6-Dc-Ac	53,05	108,60	161,65	161,65	161,65

Costurile actuale aferente consumatorilor analizati (preluate din facturile consumatorilor si prezentate tabelele 10,12,12 si 13 (activitatea II.1.1.2) precum si

proгноза acestor costuri, pentru consumatorii analizati, in cazul dotarii locuintelor cu sistem de racire si/sau centrala termica individuala sunt redade in graficul urmator.

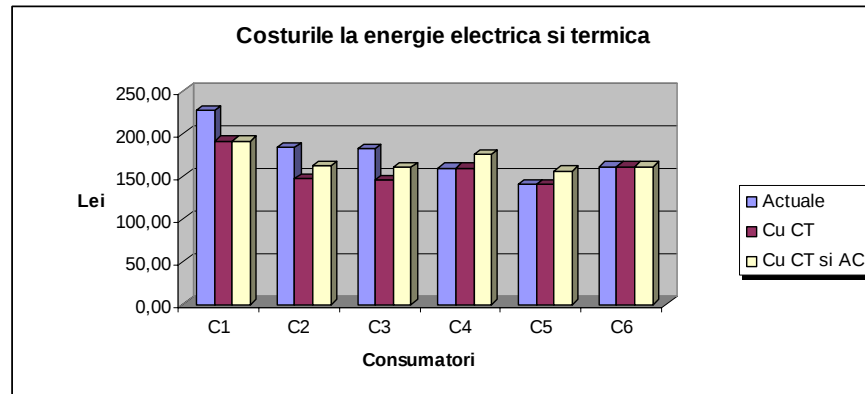


Figura II.2

Studiul de caz comparativ efectuat, a reliefat costurile actuale pe care le suporta consumatorul pentru a-si asigura confortul asemanator sistemului de trigenerare in care frigul se obtine prin compresie mecanica.

Acest studiu este util in analiza economica a modelului experimental de sistem autonom de trigenerare.

Scopul *activitati II.1.2* este de a elabora structuri de sisteme de trigenerare (microCCHP) concepute pe baza performantelor elementelor componente ale sistemului. Trigenerarea aplicata in domeniul locuintelor microCCHP, acopera uzual cerintele: $<5 \text{ kW}_e$, $<25 \text{ kW}_{th}$. Motoarele termice primare care pot fi folosit la mCCHP sunt: motoare cu ardere interna, micro-turbine, pile de combustie, motoare cu ardere externa (motor Stirling). Elaborarea structurilor pentru un sistem micro CCHP este complexa si are la baza cunoasterea foarte bine a bilantului termic al rezidentei si a raportului dintre caldura si energia electrica necesara (P/P_{th}). Alegerea solutiei de motor primar este dependenta de raportul puterilor. Corelarea intre raportul puterilor sistemului de trigenerare si cererea consumatorului casnic este esentiala in promovarea unui sistem mCCHP. Cererea de putere in sistem rezidential este ilustrata in figurile II.3 si II.4.

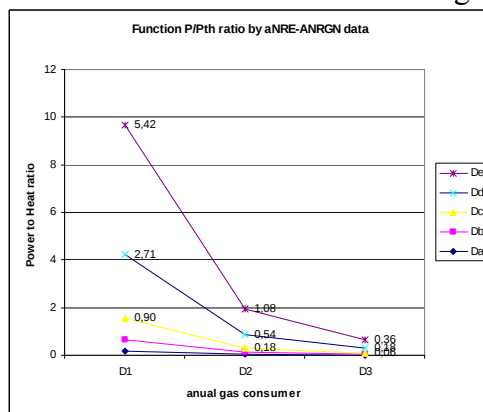


Figure II.3 Ratio P/Pth function gas standard consumers

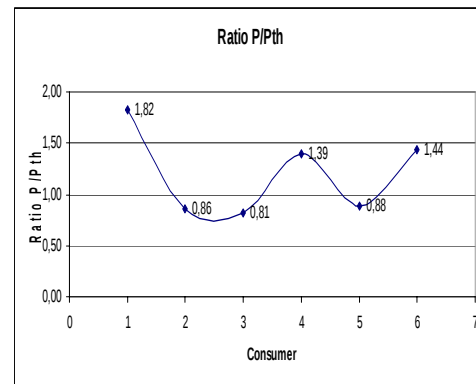


Figure II.4 Ratio P/Pth function consumers

Cu toate acestea importante variatii ale raportului P/P_{th} se pot produce pe perioada unei zile, ceea ce la un interval lunar de analiza conduce la $P/P_{th}=0,1...2,5$ (iarna...vara) Strategiile de elaborare a structurilor a sistemelor micro CHP/CCHP tin seama de: *puterea totala proiectata electrica si termica si a raportului acestora P/P_{th} , de totala nesincronizarea consumurilor de energie electrica si termica (variabilitatea zi/noapte si sezoniera a consumurilor)* In acest capitol s-a propus o noua strategie in elaborarea structurilor bazata pe mentinerea constanta a raportului P/P_{th} cu asigurarea cerintelor consumatorilor cu utilizarea energiilor regenerabile. In sens au fost elaborate trei variante de sisteme CCHP.

In cadrul *activitatii II.2* au fost elaborate solutiile tehnice pentru conversia energiei cu referire in special la maximizarea transferurilor energetice si minimizarea consumului de combustibil .Prin activitatea II.2.4 *se studiaza sistemele CCHP rezidentiale cu folosirea complementara a combustibililor ecologici (regenerabili)* Activitatea II.3 a stabilit structurile optime ale sistemelor de comanda , protectie si monitorizare. Pornind de la structura ierarhica a sistemelor de control si tinand cont de elementele constructive ale sistemului CCHP au fost identificate marimile de intrare si iesire aferente fiecarui element component si s-a pus bazele generarii algoritmilor de conducere in diverse variante

Schema de principiu cu conducere avansata pentru un sistem micro-CCHP este indicata in Figura II.5 , schema ce include performantele de monitorizare si verificare..

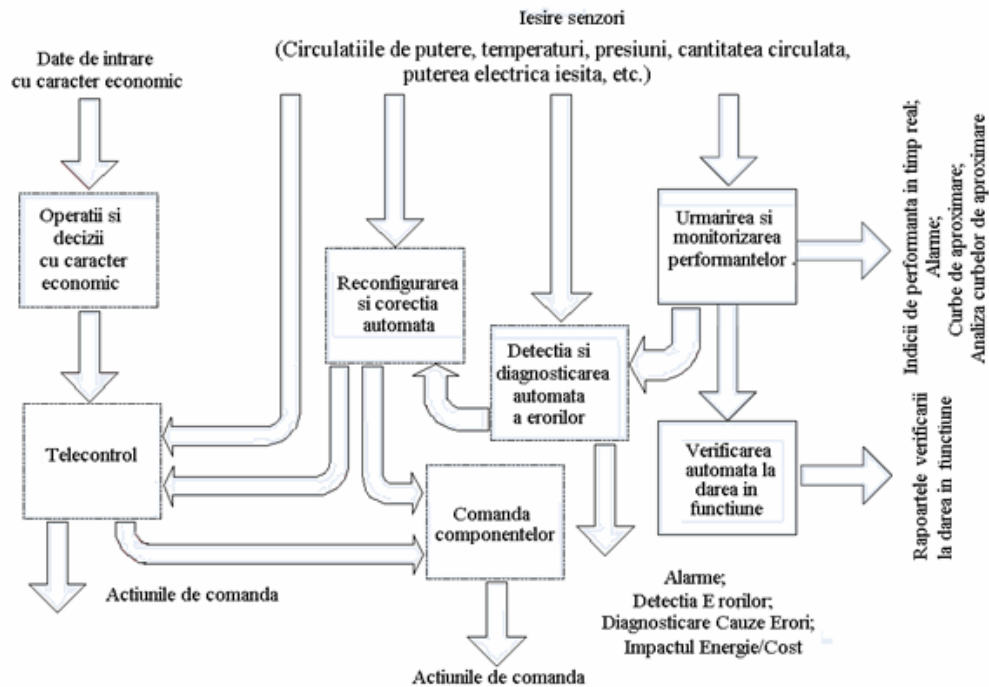


Figura II.5 Schema de principiu cu conducere avansata pentru un sistem micro-CCHP

In schema de conducere toate actiunile implementarii hard si soft pentru asigurarea regimurilor de functionare conduc spre componentele sistemului de trigenerare Din acest motiv trebuie cunoscuta diagrama intrari/iesri componentelor respectiv configuratia maximala a sistemului CCHP.

In ultima activitate II.4 s-au analizat materialele necesare si s-a elaborat caietul de sarcini cu stabilirea specificatiei sistemului CCHP.

Concluzii

In urma efectuării activitatilor II.1...II.4 se pot desprinde urmatoarele concluzii finale:

1. Din activitatea II.1.1 a reiesit **raportul dintre energia electrica si termica pe categorii de consumatori standard**, raport determinat in urma analizei distributiei costurilor de energie electrica, la consumatori standard de energie electrica (clasificati conform ANRE) si a costurilor la energia termica pentru consumatori standard de gaze naturale (clasificati conform ANRGN). Acest raport pentru anul 2007 este

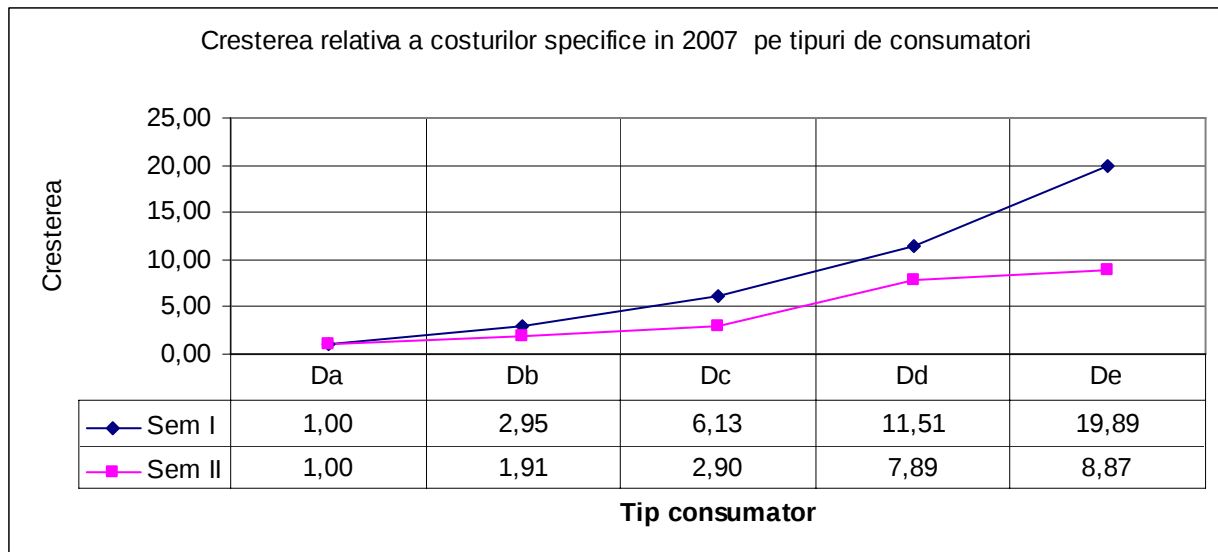
Tip consumator	Raport energie electrica/termica		
	P/Pth-D1	P/Pth-D2	P/Pth-D3
Da	0,18	0,04	0,01
Db	0,45	0,09	0,03
Dc	0,90	0,18	0,06
Dd	2,71	0,54	0,18
De	5,42	1,08	0,36

2. **Concluzii privind consumul specific al energiei electrice** pentru tipurile de consumatori standard:rezultata analizei evolutiei consumului specific al energiei electrice in semestrul I/2007, diferentiata pe categoriile standardizate de consumatori, rezulta:

- o crestere a consumului specific la toate categoriile de consumatori (ceea ce denota o crestere a indicelui de calitate a vietii)
- consumurile specifice lunare sunt de 1kWh/m² la consumatorii din categoria Da (dotari minimale de aparataj electrocasnic si implicit confort) si de 14kWh/m² la consumatorii de tip De (datorita cresterii dotarii cu aparatura electrocasnica).
- Analiza evolutiei consumului specific al energiei electrice in semestrul II/2007fata de semestrul I/2007 diferentiata pe categoriile standardizate de consumatori,a aratat :
 - o deplasarea maximului de consum specific spre consumatorii din categoria Dd (tendinta este de deplasare a maximului de consum specific spre consumatorii din categoriile Dc , Db, Da);
 - o cresteri de 100% si mai mari la consumatorii de tip Db si Dd;
 - o cresteri de aproximativ 50% pentru consumatorii de tip Da si Dc;
 - o stagnarea consumului specific la consumatorii de tip De (saturarea locuintei cu aparatura electrocasnica).

3. Concluzii privind costurile specifice :

- o crestere puternica a costurilor specifice la energie electrica aferente consumatorilor Db, Dc, Dd si Da fata de Da (luat ca referinta)



Evolutia relativa a costurilor specifice

- Urmare a diferentierii pretului gazelor naturale se incurajeaza consumatorii de tip D2 si D3 se **incurajeaza instalarea de centrale termice individuale.**

4. Studiul de caz al consumurilor energetice in locuintele rezidentiale din zona urbana a regiunii de Sud-Est a Romaniei evidentiaza :

- costuri medii lunare la energia termica si utilitati pentru consumatorii racordati la sistemul de termoficare sunt cu 50% mai mari fata de cei cu centrala termica;
- costurile actuale pe care le suporta consumatorul in asigurarea unui confort asemanator sistemului de trigenerare (in care frigul se obtine prin compresie mecanica)
- structura consumurilor de energie electrica se modifica continuu si depinde de dotarile cu aparatura electrocasinica, clasa de consum a acestora
- consumurile de caldura si costurile aferente depind in mare parte de dimensiunile rezidentelor si de clasa de izolatie a acestora.

5. Raporul intre puterea electrica si puterea termica (P/P_{th}) consumata in Romania este in medie de 1/3, ceea ce arata un nivel redus de dotare cu aparatura electrocasnica coroborat cu un standard redus de eficienta termica a locuintelor

6. Strategiile de elaborare a structurilor sistemelor de trigenerare pot fi :

- Pe baza cerintelor consumatorilor avand ca baza:
 - acoperirea consumului maxim de energie electrica
 - Acoperirea consumului maxim de caldura din perioada de iarna
- pe baza indicatorilor de performanta ai sistemului de trigenerare(raportul P/P_{th} , eficienta globala, economia de combustibil) ;
- bazate pe mentinerea constanta a raportului puterilor P/P_{th} cu asigurarea cerintelor consumatorilor rezidentiali prin echilibrarea sarcinilor termice si/sau electrice cu energii regenerabile(captatori solari pasivi, PV)

7. Structurile de sisteme de trigenerare ce utilizeaza combustibili ecologici (biodiesel cu motor cu arderea interna, biomasa la motorul cu ardere externa, pile de

combustie si acumulatori electrice/termice) pot fi implementate in sistemele CCHP rezidentiale

8. Schema de principiu cu conducere avansata pentru un sistem micro-CCHP este indicata in Figura II.5. Algoritmii de comanda ,monitorizare, protectie, control cu structura ierarhica trebuie sa asigure siguranta in functionare in orice regim de functionare.