

RENTABILITATEA IMPLEMENTĂRII CENTRALELOR DE COGENERARE URBANE CU CICLU MIXT GAZE-ABUR ÎN ROMÂNIA

Marius-Costel Hoară PhD., V. Athanasovici, prof. dr.
Universitatea Politehnica București din România

1. INTRODUCERE

Tendința de descentralizare a energiei (electrice și termice) a condus la analiza soluțiilor de cogenerare care ar putea fi implementate în zonele urbane din România și care au eficiență ridicată respectiv impact cât mai mic asupra mediului. În acest scop s-a urmărit care sunt posibilele soluții de cogenerare la nivel mic și mediu care pot fi implementate și de asemenea care ar putea fi mai potrivite. Astfel, considerentele referitoare la eficiență, investiția și costurile de întreținere precum și durata de viață și tipurile de cazane recuperatoare aferente CCG, întrepătrunderea termodinamică a ciclurilor TG/TA, tipul de combustibil utilizat, disponibilitățile de producție a energiei, impactul asupra mediului, etc., avantajează foarte mult ciclurile combinate gaze-abur fără post combustie respectiv cu postcombustie limitată în echiparea centralelor de cogenerare de mică și medie capacitate. Din analiza tendințelor manifestate pe piața energetică s-a observat că aceste filiere energetice răspund foarte bine unui spectru larg de aplicații de cogenerare, reprezentând soluția preferată în foarte multe cazuri. [3]

Aspectele legate de alegerea tehnologiei de cogenerare cu ciclu mixt TG/TA, cerințele de energie (termică și electrică), condițiile de înaltă eficiență stabilite de lege precum și rentabilitatea implementării acestora au necesitat realizarea unor calcule de dimensionare optimă a acestor centrale de cogenerare care să analizeze soluția de cogenerare din punct de vedere tehnic, economic respectiv al impactului asupra mediului. În acest scop s-a realizat un algoritm de dimensionare a acestor centrale de cogenerare care a ținut cont și de incertitudinile și riscurile legate de viitor care a putut analiza soluția de cogenerare și a arătat cât de rentabil este să se implementeze centrale de cogenerare urbane cu ciclu mixt gaze-abur TG/TA în România.

2. ASPECTE PRIVIND DIMENSIONAREA CENTRALELOR DE COGENERARE URBANĂ CU CICLU MIXT GAZE-ABUR

Pentru realizarea calculelor de dimensionare optimă a centralelor de cogenerare urbane cu ciclu

mixt TG/TA sunt necesare date de intrare cu caracter tehnic și economic, soluția optimă de cogenerare stabilindu-se în funcție de criteriul economic de decizie. În figura 1 este prezentată schema logică de dimensionare a acestor tipuri de centrale de cogenerare, cu principalele module funcționale.

Pentru stabilirea soluției optime de dimensionare, calculele se fac pentru mai multe variante, în funcție de capacitatea, numărul și modul de încărcare și funcționare a echipamentelor din centrala de cogenerare precum și de criteriul de decizie avut în vedere.

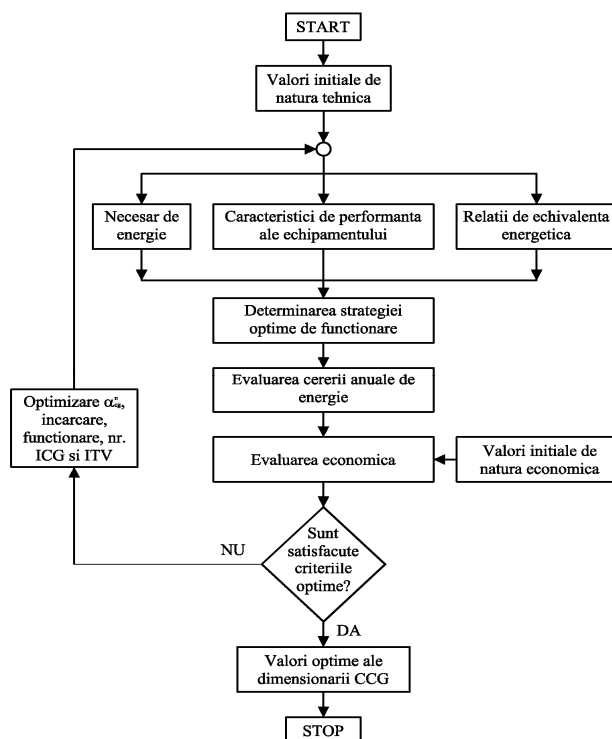


Figura 1. Schema logică de ansamblu a algoritmului pentru dimensionarea CCG cu ciclu combinat TG/TA de mică și medie putere.

3. ALTERNATIVE DE CALCUL PENTRU STABILIREA FUNCȚIONĂRII CENTRALELOR DE COGENERARE URBANE CU CICLU MIXT TG/TA

Pentru realizarea calculelor de dimensionare optimă a centralelor de cogenerare urbane cu ciclu mixt TG/TA sunt necesare date de

intrare cu caracter tehnic și economic, soluția optimă de cogenerare stabilindu-se în funcție de criteriul economic de decizie. În figura 1 este prezentată schema logică de dimensionare a acestor tipuri de centrale de cogenerare, cu principalele module funcționale.

3.1. Modul de încărcare a centralelor de cogenerare cu ciclu mixt TG/TA de mică și medie putere

Dimensionarea CCG cu ciclu mixt TG/TA este realizată după grafic termic, adică după cererea de căldură, presupune că energia electrică produsă va fi o consecință a asigurării căldurii având la bază cererea de căldură (q_{cons}) și (α_{cg}^n). Ca urmare puterea electrică a ICG (P_{ICG}) va fi tot timpul produsă strict pe seama lui (q_{ICG}), adică va fi produsă strict în regim de cogenerare ($P_{\text{ICG}} = P_{\text{cg}}$).

În ceea ce privește relația „de piață” cu Sistemul Electroenergetic Național (SEN), aceasta poate fi:

A. Centrala de cogenerare livrează energia electrică în SEN pe bază de contracte reglementate

În acest caz, se presupune că CCG nu are restricții din punct de vedere al valorilor puterilor electrice produse în CCG, toată cantitatea de energie electrică produsă în cogenerare de aceasta fiind cumpărată de SEN, așa cum este prezentat în figura 2.

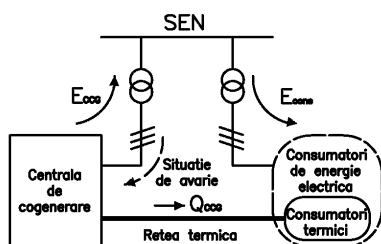


Figura 2. Schema unei CCG urbane cu ciclu mixt TG/TA dimensionată după grafic termic care vinde energia electrică pe bază de contracte reglementate.

B. Centrala de cogenerare livrează energia electrică unor terți consumatori în baza unor contracte bilaterale

În acest caz, $P_{\text{cg}}^n = P_c^{\text{max}}$ ceea ce înseamnă că CCG acoperă integral necesarul maxim de putere electrică al consumatorului cu care a încheiat

contractul bilateral, pe baza puterii nominale instalate. CCG nu se afla în situația de a vinde energie electrică cumpărată suplimentar (eventual din SEN);

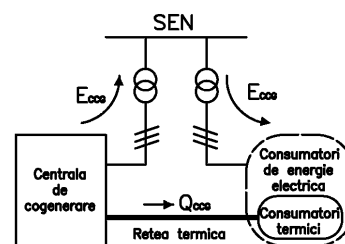


Figura 3. Schema unei CCG urbane dimensionată după grafic termic care vinde energia electrică pe bază de contracte bilaterale.

În cazul în care centrala de cogenerare comercializează energia electrică:

- pe bază de contracte reglementate, prețul este stabilit la nivelul a 90% din prețul mediu de tranzacționare a energiei electrice realizat în anul anterior pe piață pentru ziua următoare;
- pe bază de contracte bilaterale, prețul energiei electrice vândută către consumator este stabilit de comun acord între părțile participante.

3.2. Alternative de calcul în vederea funcționării centralelor de cogenerare urbane cu ciclu mixt TG/TA

Alegerea echipamentelor de cogenerare cu ciclu mixt TG/TA de mică și medie putere în calculele de dimensionare, presupune existența unei baze de date cât mai complete cu echipamente de cogenerare de acest tip, existente pe piață.

În calculele de dimensionare se au în vedere următoarele alternative de calcul care țin cont de valorile nominale considerate pentru instalațiile energetice, pentru echipamentele diverselor variante de centrale de cogenerare de mică și medie putere:

- capacitățile nominale termice și/sau electrice considerate reprezintă valorile de dimensionare rezultate din algoritmul de calcul, indiferent dacă acestea corespund sau nu celor din baza de date cu echipamente reale de cogenerare. Caracteristicile de natură tehnică ale acestor echipamente, precum indicele de cogenerare nominal, eficiența electrică nominală, eficiența termică nominală, etc., se vor determina în funcție de capacitatea termică și electrică nominală a instalației de cogenerare, din grafice care au avut la bază valorile unor instalații reale de cogenerare;
- capacitățile nominale utilizate pentru instalațiile de echipare a CCG sunt considerate ca fiind valorile aferente unor instalații de cogenerare cu ciclu mixt TG/TA reale existente pe piață.

4. DETERMINAREA SOLUȚIEI DE COGENERARE OPTIME DIN PUNCT DE VEDERE ECONOMIC

Dimensionarea optimă a CCG urbană cu ciclu mixt TG/TA se realizează prin găsirea capacității optime de livrare a căldurii din ICG raportată la capacitatea termică nominală a CCG, reprezentând coeficientul nominal optim de cogenerare, $(\alpha_{cg}^n)_{opt} = q_{icg}^n / q_{CCG}^n$. Cererea de energie termică a consumatorului este astfel asigurată din instalațiile energetice ale centralei de cogenerare (instalații de cogenerare de bază respectiv instalații termice de vârf). Valoarea coeficientului nominal de cogenerare este influențată de performanțele energetice ale centralei de cogenerare și de

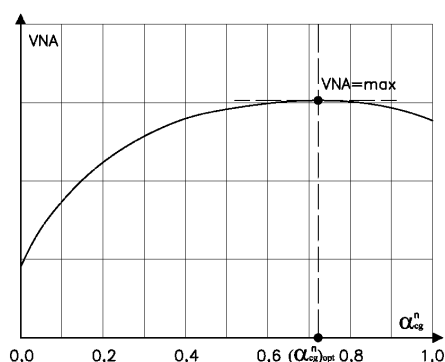


Figura 4. Dimensionarea optimă a CCG la atingerea valorii maxime a VNA [1]

investițiile aferente realizării acesteia. Ca urmare, acesta se stabilește în urma unor calcule de optimizare, care trebuie să țină seama de toate efectele adoptării sale asupra performanțelor tehnice și economice ale centralei de cogenerare. Criteriul

de optimizare adoptat este venitul net actualizat (VNA). Dependența de principiu a VNA de valoarea nominală a coeficientului de cogenerare este prezentată în figura 4.

5. RENTABILITATEA CENTRALELOR DE COGENERARE URBANĂ CU CICLU MIXT GAZE-ABUR

Calculul de dimensionare a centralelor de cogenerare urbană cu ciclu mixt TG/TA au avut în vedere două alternative de calcul: instalațiile de cogenerare cu ciclu mixt TG/TA, care echipează aceste centrale de cogenerare sunt fie reale fie ipotetice. Instalațiile reale de cogenerare cu ciclu mixt TG/TA au fost stabilite, pe baza unei analize statistice de piață, și s-a realizat o bază de date cu capacitățile și principalele caracteristici tehnice nominale ale acestor instalații de cogenerare. În ceea ce privește instalațiile de cogenerare ipotetice, s-a avut în vedere aceeași bază de date cu echipamente reale de cogenerare, însă capacitățile și principalele caracteristici tehnice ale acestora s-au determinat pe baza formulelor empirice obținute din graficele de variație ale parametrilor luați în considerare.

În tabelul 1 se prezintă o analiză comparativă între rezultatele calculului de dimensionare pentru cele două alternative de calcul avute în vedere.

Din tabelul 1, se constată că din punct de vedere al valorii maxime a venitului net actualizat, între variante analizate există diferențe mari datorită faptului că acestea au puteri termice instalate diferite. Creșterea puterii termice instalată în

Tabelul 1. Comparatie între echipamentele de cogenerare cu ciclu mixt TG/TA reale, existente pe piață, respectiv ipotetice.

Mărimea	UM	Echipamente cu ciclu mixt TG/TA				
		ipotetice	existente pe piață			
Firma producătoare	-	-	Zorya Mashproekt	GE Energy Aero	GE Energy Aero	GE Energy Aero
Model	-	-	UGT 15CC1	LM2000PJ	LM2000PS	LM2000PJ
Puterea termică nominală	kW _t	42.587	37.758	40.922	41.568	42.587
Puterea electrică nominală	kW _{el}	24.123	42.400	47.822	47.914	24.410
Eficiența electrică	%	44,4%	44,4%	47,6%	45,0%	47,2%
Eficiența termică	%	39,4%	39,5%	40,7%	39,0%	41,2%
Eficiența globală	%	83,8%	83,9%	88,3%	84,0%	88,4%
Indicele de cogenerare	kW _{el} /kW _t	1,147	1,135	1,143	1,144	1,147
VNA ^{max}	€	6.546.994	3.939.402	5.613.631	5.943.288	6.507.116

centrala de cogenerare mărește VNA^{\max} . De asemenea, având în vedere valorile maxime ale venitului net actualizat, între cele două categorii de variante analizate, pot apărea diferențe semnificative. De asemenea, există diferențe mari din punct de vedere al valorii VNA^{\max} și atunci când se compară diversele echipamente de cogenerare „reale”, existente pe piață, chiar dacă acestea au aceeași putere termică nominală sau dacă între echipamente există o mică diferență din acest punct de vedere.

În general, alegerea echipamentului de cogenerare se face în funcție de puterea termică nominală a acestuia, rezultată prin stabilirea coeficientului nominal de cogenerare. Faptul că valoarea VNA poate fi diferită de la un echipament la altul, se poate urmări și în exemplul de calcul ale cărui rezultate sunt prezentate în figura 5, unde s-au calculat valorile maxime ale VNA pentru echipamente ipotetice de cogenerare cu ciclu mixt TG/TA cu puteri termice instalate între 25 MW_t și 40 MW_t, cu vânzarea energiei electrice prin contracte reglementate.

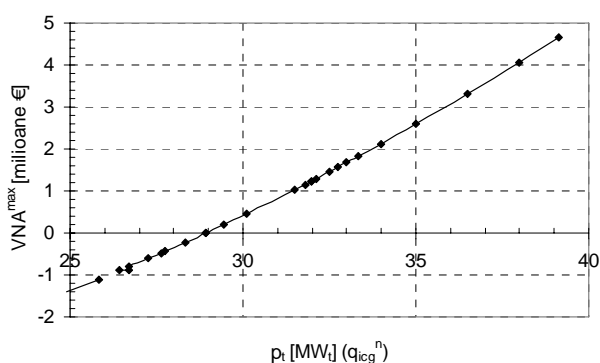


Figura 5. Valorile VNA^{\max} pentru CCGMMP echipate cu instalații de cogenerare cu ciclu mixt TG/TA ipotetice, în funcție de puterea termică nominală a echipamentului de cogenerare

Punctele de pe curba prezentată în figura 5, corespund unor echipamente ipotetice de cogenerare cu ciclu mixt TG/TA diferite din punct de vedere al principalelor caracteristici tehnice ale acestora (randament, indice de cogenerare, etc.).

Diferențele care apar între valorile VNA^{\max} , în cazul utilizării unor echipamente de cogenerare diferite, dar care au aceleași capacități nominale sau apropiate, se datorează deosebirilor ce apar între principalele caracteristici tehnice ale acestor echipamente. Aceste deosebiri determină valori diferite ale producțiilor anuale de energie, respectiv ale consumurilor anuale de combustibil. Deci, costurile anuale variabile vor fi diferite, în timp ce investiția și costurile anuale fixe vor fi aproximativ egale. Cum în costurile anuale totale, cele variabile

reprezintă peste 80%, este normal ca valorile VNA să fie diferite.

Din figura 5, rezultă că se înregistrează valori pozitive ale VNA^{\max} pentru instalații de cogenerare cu ciclu mixt TG/TA având puteri termice nominale de peste 28.922 kWt. Aceasta demonstrează că implementarea unei CCG cu ciclu mixt TG/TA, care comercializează energie electrică numai prin contracte reglementate, își poate acoperi investiția doar pentru echipamente de cogenerare de bază cu puteri termice instalate de peste 28.922 kWt.

Pentru ca o CCG cu ciclu mixt TG/TA să fie eficientă economic chiar și la puteri termice instalate mai mici de 28.922 kWt, este necesar ca:

- legislația din România să faciliteze acest lucru, prin corelarea prețurilor combustibilului cu cel al energiei electrice vândută;
- centrala de cogenerare să comercializeze energia electrică nu numai prin contracte reglementate ci și bilaterale.

Astfel, în cazul în care CCG vinde energie electrică nu numai prin contracte reglementate ci și prin contracte bilaterale, eficiența economică a CCG crește, CCG devenind rentabilă pentru puteri termice instalate chiar și mai mici decât 28.922 kWt. Având în vedere faptul că creșterea puterii electrice livrate consumatorului cu care CCG încheie contract bilateral crește eficiența economică a CCG, în scopul obținerii unui efect maxim asupra eficienței economice, s-a luat în considerare posibilitatea ca CCG să vândă energia electrică numai prin acest tip de contracte. În aceste condiții, se înregistrează valori pozitive ale VNA^{\max} și pentru echipamente de cogenerare cu ciclu mixt TG/TA care au puteri termice instalate mai mici decât 28.922 kWt, determinându-se valoarea venitului net actualizat maxim nulă pentru o putere termică instală de 27.042 kWt. Având în vedere aceste aspecte, rezultă că centralele de cogenerare cu ciclu mixt TG/TA, cu puteri instalate mai mici decât 27.042 kWt sunt neeficiente din punct de vedere economic, chiar și în condițiile în care acestea ar vinde energia electrică numai prin contracte bilaterale.

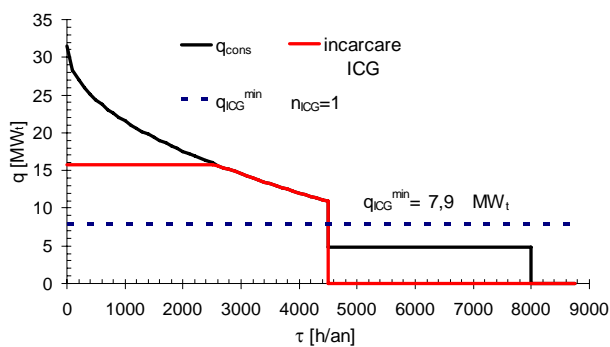
6. INFLUENȚA NUMĂRULUI INSTALAȚIILOR DE COGENERARE INSTALATE ÎNTR-O CENTRALĂ DE COGENERARE URBANĂ CU CICLU MIXT GAZE-ABUR

Într-o centrală de cogenerare cu ciclu mixt TG/TA de mică și medie putere, numărul

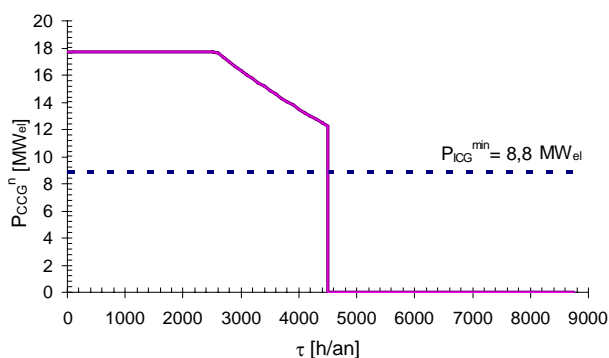
instalațiilor de cogenerare respectiv al instalațiilor termice de vârf influențează foarte mult venitul net actualizat precum și funcționarea și încărcarea CCG.

Astfel, în ceea ce privește valoarea VNA pentru două soluții de cogenerare cu aceeași valoare a coeficientului nominal de cogenerare, aceasta este diferită de la o soluție la alta, fiind posibil datorită diferențelor ce apar între echipamentele de cogenerare utilizate. În ceea ce privește valoarea optimă a coeficientului nominal de cogenerare pentru două variante care utilizează un număr diferit de instalații de cogenerare și instalații termice de vârf, aceasta poate diferi de la o variantă la alta deoarece se utilizează instalații de cogenerare cu capacități instalate diferite.

Modul de încărcare și funcționare a centralei de cogenerare cu ciclu mixt TG/TA este influențat de asemenea de numărul instalațiilor de cogenerare utilizate. În exemplul de calcul din figura 6 este prezentat acest lucru pentru un coeficient nominal de cogenerare de 0,5, în care CCG funcționează cu o singură instalație de cogenerare, iar în figura 7 CCG funcționează cu două instalații de cogenerare instalate.

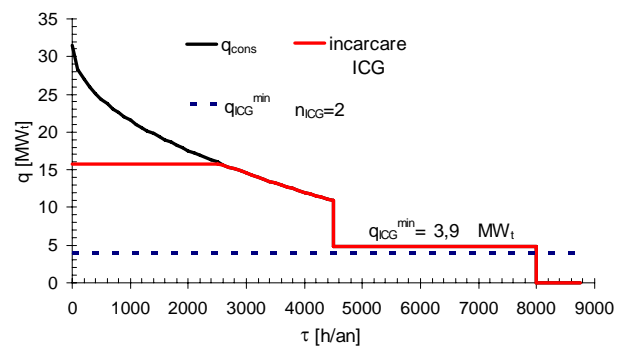


a) Acoperirea cererii de energie termică cu ICG și ITV din CCG

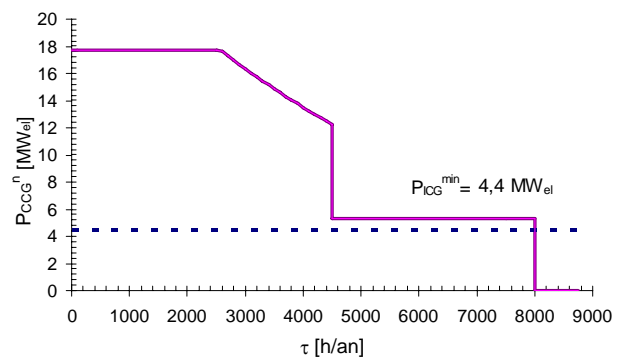


b) Încărcarea electrică a unui echipament de cogenerare din CCG.

Figura 6. Modul de încărcare și funcționare a centralei de cogenerare în funcție de numărul echipamentelor de cogenerare instalate în CCG ($n_{ICG}=1$).



a) Acoperirea cererii de energie termică cu ICG și ITV din CCG.



b) Încărcarea electrică a echipamentelor de cogenerare din CCG.

Figura 7. Modul de încărcare și funcționare a centralei de cogenerare în funcție de numărul echipamentelor de cogenerare instalate în CCG ($n_{ICG}=2$).

Ca urmare a rezultatelor prezentate în figurile 6 și 7, se constată că numărul de echipamente de cogenerare instalate în CCG determină încărcări și funcționări diferite ale CCG. Având în vedere faptul că instalațiile de cogenerare nu pot funcționa sub minimul tehnic, se constată că în figura 6, unde în CCG este instalată doar o singură instalație de cogenerare, aceasta nu funcționează o perioadă importantă de timp, astfel încât se diminuează avantajele utilizării cogenerării. În figura 7, unde în CCG sunt instalate două instalații de cogenerare cu capacități nominale mai mici, limita admisibilă de funcționare a acestora este mai mică, CCG funcționând pe întreaga perioadă a cererii de energie termică, mărind avantajele cogenerării.

7. CONCLUZII

În acest articol s-a arătat că eficiența economică a centralelor de cogenerare urbană cu ciclu mixt TG/TA este dependentă de puterea

termică instalată. Astfel, cu cât puterea termică instalată este mai ridicată cu atât proiectul de investiții devine mai rentabil. Astfel, ținând cont de modul de calcul, s-a constatat că la calcularea valorilor maxime ale VNA, pentru echipamente ipotetice de cogenerare cu ciclu mixt TG/TA de mică și medie putere, existente pe piață, în condițiile în care energia electrică este comercializată numai prin contracte reglementate, au rezultat valori pozitive ale VNA^{\max} pentru echipamente de cogenerare cu ciclu mixt TG/TA având puteri termice nominale de peste 28.922 kWt. În cazul în care se dorește ca o CCG să fie eficientă din punct de vedere economic și pentru puteri termice instalate mai mici, s-a arătat că aceasta trebuie să vândă energie electrică nu numai prin contracte reglementate ci și prin contracte bilaterale, eficiența economică a CCG crescând odată cu creșterea puterii electrice livrată consumatorului cu care CCG încheie contract bilateral. În acest caz, o CCG poate fi eficientă din punct de vedere economic și pentru puteri mai mici decât 28.922 kWt, dar care să nu scadă sub 27.042 kWt, acest punct reprezentând pragul critic de rentabilitate ($VNA^{\max}=0$). Chiar dacă diferența de putere termică instalată este mică (1.880 kWt), diferența între veniturile nete actualizate maxime pentru cele două cazuri (CCG vinde energia electrică fie pe bază de contracte reglementate fie pe bază de contracte bilaterale) este mare datorită diferenței de preț de vânzare a energiei electrice ($p_{en,el}^{\text{reglementat}} = 47,4$ €/MW_{el}h << $p_{en,el}^{\text{bilateral}} = 71,1$ €/MW_{el}h).

CONCLUZII

Numărul instalațiilor de cogenerare instalate în centrala de cogenerare urbană cu ciclu mixt TG/TA determină încărcări și funcționări diferite ale acesteia. Având în vedere ipoteza că ICG se va opri în cazul în care cererea de energie termică scade sub minimul tehnic, s-a arătat că atunci când, pentru aceeași cerere de energie termică:

- se folosește un singur echipament de cogenerare, CCG nu mai produce energie electrică pentru o perioadă de 3500 h/an, reducând eficiența economică a acesteia;
- se folosesc două sau mai multe echipamente de cogenerare instalate în CCG, aceasta poate funcționa pe întreaga perioadă de funcționare de 8000 h/an, posibilitatea producției de energie termică în cogenerare avantajând foarte mult centrala de cogenerare.

Bibliografie

1. Athanasovici, V. *Tratat de inginerie termică – Alimentări cu căldură. Cogenerare//* Ed. Agir Publishing, București, pag. 1758, 2010.
2. Hoară, M.C. *Eficiența tehnico-economică a ciclului mixt gaze-abur aplicat la soluțiile de cogenerare de mică și medie putere, Raport științific nr. 2, Universitatea Politehnica București, pag. 190, 2011.*
3. Hoară, M.C. *Stadiul și perspectivele ciclului mixt gaze - abur pentru cogenerare de mică și medie putere”, Raport științific nr. 1, Universitatea Politehnica București, pag. 213, 2011.*

Lista notațiilor

Notatie	Descriere	UM
$(\alpha_{cg}^n)_{opt}$	Coefficientul nominal cogenerare optim	-
CCG	Centrală de cogenerare	-
CCGM MP	Centrală de cogenerare de mică și medie putere	-
ICG	Instalație de cogenerare	-
ITV	Instalație termică de vârf	-
n_{ICG}	Numărul instalațiilor de cogenerare de bază	-
SEN	Sistemul electroenergetic național	-
TG/TA	Turbină cu gaze/turbină cu abur	-
E_{cons}	Cantitatea de energie electrică cerută de consumator	MW _{el} h/an
E_{CCG}	Cantitatea de energie electrică produsă de CCG	MW _{el} h/an
q_{CCG}	Puterea termică a CCG	MW _t
Q_{CCG}	Cantitatea de energie termică produsă de CCG	MW _t h/a n
q_{ICG}	Puterea termică a ICG	MW _t
q_{cons}	cererea de căldură	MW _t
P_{cg}	Puterea electrică produsă în cogenerare	MW _{el}
P_c^{\max}	necesarul maxim de putere electrică al consumatorului	MW _{el}
P_{ICG}	puterea electrică a ICG	MW _{el}
τ	Durata anuală de funcționare a CCG	h/an
VNA	Venitul net actualizat	€