

# REGULARIZAREA PARAMETRILOR INSTALAȚIILOR DE COGENERARE 5-3000 kW, BAZATE PE APLICAREA MOTOARELOR CU ARDERE INTERNĂ

Nicolae CLAICHNET, Călin NEGURĂ, Valentin ARION

Universitatea Tehnică a Moldovei

**Rezumat:** În lucrare sunt prezentate rezultatele regularizării șirului de tipodimensiuni al instalațiilor de cogenerare, bazate pe motoare cu ardere internă pe gaze naturale (IC-MAI), cu puteri instalate între 5 și 3000 kW. Șirul regularizat al tipodimensiunilor IC-MAI este obținut în urma colectării și prelucrării informațiilor cu privire la instalațiile de cogenerare disponibile pe piață.

**Cuvinte cheie:** cogenerare, instalații de cogenerare, puterea nominală, investiția specifică, cheltuieli de mentenanță, randament electric, randament termic, regularizare.

## 1. Introducere

Este cunoscut că cogenerarea este una din cele mai eficiente și atractive tehnologii industriale de producere a energiei termice și electrice. Progresul tehnico-științific în acest domeniu pe parcursul ultimilor decenii a avansat substanțial, făcând ca instalațiile de cogenerare, în special cele bazate pe utilizarea motoarelor cu ardere internă și alimentate cu gaze naturale, să capete o tot mai largă aplicare în sectorul producerii energiei.

În studii și cercetări ce privesc cogenerarea este nevoie de a dispune de principalele caracteristicile tehnice și economice ale instalațiilor de cogenerare existente pe piață. Marii producători de IC-MAI, prezenți pe piața europeană sunt: GE Jenbacher (Austria), Tedom (Cehia), Deutz (Germania), Perkins (Marea Britanie), Wartsila (Finlanda), Caterpillar (USA) și alții; doar în UE sunt peste 100 furnizori de IC-MAI. Informațiile cu privire la tipodimensiunile instalațiilor comercializate și performanța tehnologică a acestora pot fi accesate de pe site-urile companiilor respective, însă cât privește costurile (investiționale, de operare și mentenanță) - aceste date pot fi găsite doar în studii și proiecte concrete.

Dat fiind faptul, că de obicei, deținem un volum limitat de informații ce privesc IC-MAI, în special informații aferente costurilor, este nevoie de a purcede la o regularizare a șirului de tipodimensiuni ale IC-MAI și a parametrilor tehnico-economici ai instalațiilor respective. Aici termenul de regularizare se referă la un proces de ajustare a informațiilor disponibile, colectate din diferite surse și la diferite momente de timp, ce privesc caracteristicile principale ale instalațiilor, în scopul actualizării parametrilor de cost (cost transport, taxe vamale, cost montaj și start-up), precum și respectării unor legități existente pentru un șir de instalații IC-MAI (odată cu creșterea puterii nominale investiția specifică se diminuează, randamentul electric crește etc.).

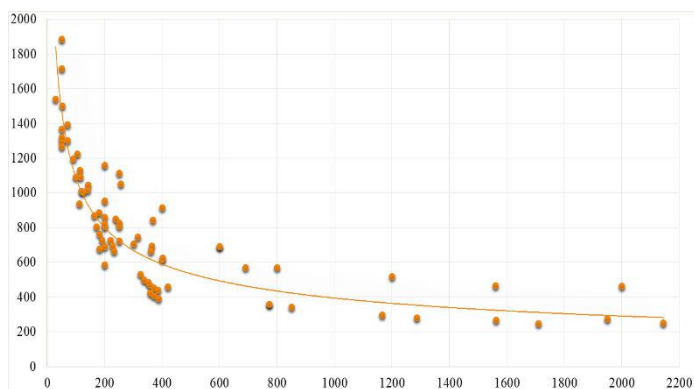


Figura 1. Curba de aproximare a investiției specifice, €/kWe [1]

Un exemplu de regularizare este prezentat în fig. 1, unde pentru un șir de instalații IC-MAI, a fost obținută curba (funcția) de aproximare a investiției specifice, care ne permite de a găsi valoarea acestui parametru pentru oricare valoare dată a puterii instalate [1].

Scopul acestei lucrări constă în regularizarea caracteristicilor tehnico-economice ale instalațiilor de cogenerare, bazate pe aplicarea motoarelor cu ardere internă și alimentate cu gaze naturale, cu capacitatea 5-3000 kWe.

## 2. Colectarea și prelecarea datelor inițiale

Pe parcursul unei perioade de timp a fost colectată informația cu privire la instalațiile IC-MAI disponibile pe piață spre comercializare. Sursele de informații folosite în acest scop au fost: paginile web a producătorilor/furnizorilor de instalații, proiecte și studii concrete, ce privesc cogenerarea, etc. Puterea nominală unitară a instalațiilor a IC-MAI existente în prezent pe piață variază de la câțiva kilowați până la 15-18 megawați. Principalele caracteristici ale IC-MAI înregistrate au fost: puterea nominală  $P_{nom}$  (ce corespunde puterii electrice  $P_e$ ), puterea termică  $P_t$ , investiția totală (inclusiv cheltuielile pentru transport, montaj și start-up)  $I_{tot}$ , cheltuielile anuale de mentenanță  $k_{men}$  (exprimate în procente din investiția  $I_{tot}$ ), costul reparației capitale a MAI  $I_{RK}$ , randamentul electric  $\eta_e$  și randamentul termic  $\eta_t$ .

Datele colectate, în cele din urmă, au fost prezentate în formă tabelară, fiind aranjate în ordinea creșterii puterii unitare nominale. Noul șir regularizat al IC-MAI, evident, se va referi la un interval de valori ale puterii nominale ( $P_{nom. min}$  ;  $P_{nom. max}$ ) pentru care au fost găsite date inițiale.

## 3. Evaluarea cheltuielilor aferente mentenanței preventive a IC-MAI

Lipsa informației privind cheltuielile cu mentenanța motoarelor cu ardere internă ne-a impus să realizăm o evaluare a acestora. Studiul documentar efectuat la această temă ne-a permis de a elabora o metodologie de calcul a cheltuielilor cu mentenanța IC-MAI.

Fiecare producător de instalații IC-MAI dispune de un sistem/program de mentenanță planificată, care prevede o serie de intervenții – revizii tehnice și reparații, după un anumit număr de ore de funcționare (tab. 1). Potrivit sistemului de reparații preventive planificate în funcție de amplexarea lucrărilor care se execută reviziile tehnice (RT) se împart în revizii de gradul 0 (RT 0), gradul 1 (RT 1) și de gradul 2 (RT 2), iar reparațiile se împart în reparații curente (RC), reparații medii (RM) și reparații capitale (RK). Reparațiile curente, la rândul lor, se împart în reparații curente de gradul I (RC 1) și de gradul II (RC 2). Intreținerea tipică a IC-MAI include servicii minore (RT 0) pentru schimbarea uleiului și a filtrului după 100 ore de la punerea în funcțiune și după reparația capitală, sau la intervale de aproximativ 1000 h – în celelalte cazuri. Intervențiile majore (RC), de regulă, au loc la intervale de aproximativ 20-25 mii ore de operare. După aproximativ 60 mii de ore de operare este necesară o reparație capitală a motorului, care presupune scoaterea din funcțiune a instalației pe o perioadă de până la 7-8 zile [2-6].

**Tabelul 1.** Un exemplu de plan al reviziilor tehnice și reparațiilor planificate

Anul	Ore de operare	RT 0	RT 1	RT 2	RC 1	RC 2	RM	RK	Total, €/an
1	100	X							11042,6
	2000	X	X						
	4000	X	X						
	6000	X	X						
	8000	X		X					
3	18000	X	X						22356,8
	20000	X	X						
	22000	X	X		X	X			
	24000	X		X					
4	26000	X	X						18590,4
	28000	X	X						
	30000	X	X						
	32000	X		X			X		
6	42000	X	X		X	X			22356,8
	44000	X	X						
	46000	X	X						
	48000	X		X					
2, 5, 7 și 8	58000	X	X						10430,4
	60000	X	X						
	62000	X	X						
	64000	X		X				X	

Pentru 13 tipodimensiuni IC-MAI au fost determinate cheltuielile anuale de mentenanță  $C_{O\&M, t}$ , iar mai apoi și cheltuielile totale actualizate  $CTA_{men} - CTA_{men} = \sum C_{men, t} \cdot at$ , pentru ca, în final, să fie posibilă

evaluarea cheltuielilor anuale medii (nivelate) de mentenanță pe perioada de funcționare a instalației  $C_{O\&M,niv}$   
 $- C_{O\&M,niv} = CTA_{men}/T_{T,i}$ .

Pentru a putea extinde valorile  $C_{men,niv}$  asupra altor instalații vom determina și coeficientului  $k_{O\&M}$ , care reprezintă raportul lui  $C_{men,niv}$  la investiția totală -  $k_{O\&M} = C_{men,niv}/I_{tot}$ .

Un exemplu numeric este prezentat în tab. 1 și tab. 2, din care rezultă -  $CTA_{men} = 77468$  €. Pentru  $T = 10$  ani și  $i = 10\%$  avem -  $T_{T,i} = 5,335$  ani, iar -  $C_{men,niv} = 77468/5,335 = 14521$  €/an și  $k_{men} = C_{men,niv}/I_{tot} = 14521/401843 = 3,61\%$ .

**Tabelul 2.** Calculul CTA, aferente mentenanței IC-MAI pe durata de viață

Anul t	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
$a_t = (1+i)^{-t}$	0,91	0,83	0,75	0,68	0,62	0,56	0,51	0,47	-
$C_{men,t}$ , €/an	11043	10430	22357	18590	10430	22357	10430	10430	116068
$C_{men,act.}$ , €	10039	8620	16797	12697	6476	12620	5352	4866	<b>CTA=77468</b>

Cheltuielile cu reparația capitală nu sunt incluse în componenta  $C_{men,t}$ , ele fiind contabilizate ca cheltuieli cu investiția, ce contribuie la extinderea resursei de funcționare a MAI.

**Tabelul 4.** Parametrii regularizați ai instalațiilor de cogenerare cu puterea nominală  $P_{nom}$  5-3000 kW

Nr.	$P_e$	$P_t$	$i_s$	$I_{tot}$	$I_{RK}$	$k_{men}$	$\eta_e$	$\eta_t$	$\eta_{gl}$
	kWe	kWt	€/kWe	€	% / $I_{tot}$	% / $I_{tot}$	%	%	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	5	13	4028	20142	41,2	10,9	28,1	65,2	93,3
2.	10	23	3161	31606	37,9	9,4	29,8	62,5	92,3
3.	20	40	2480	49596	34,9	8,1	31,5	59,9	91,4
4.	30	55	2152	64551	33,2	7,4	32,5	58,4	90,9
5.	40	70	1946	77824	32,1	6,9	33,2	57,4	90,7
6.	50	83	1799	89972	31,3	6,6	33,8	56,7	90,5
7.	60	97	1688	101292	30,6	6,3	34,3	56,0	90,4
8.	70	109	1600	111967	30,0	6,1	34,8	55,5	90,3
9.	80	121	1526	122119	29,6	6,0	35,1	55,1	90,2
10.	90	133	1465	131836	29,1	5,8	35,5	54,7	90,1
11.	100	145	1412	141181	28,8	5,7	35,8	54,3	90,1
12.	200	252	1108	221536	26,5	4,9	37,8	52,1	89,9
13.	300	349	961	288340	25,2	4,5	39,1	50,8	89,8
14.	400	486	869	347628	24,4	4,2	40,0	49,9	89,9
15.	500	576	804	401889	23,7	4,0	40,7	49,2	89,9
16.	600	682	754	452453	23,2	3,8	41,3	48,7	90,0
17.	700	787	714	500137	22,8	3,7	41,8	48,2	90,0
18.	800	893	682	545487	22,4	3,6	42,2	47,8	90,1
19.	900	998	654	588889	22,1	3,5	42,6	47,5	90,1
20.	1000	1104	631	630631	21,8	3,4	43,0	47,2	90,2
21.	1100	1210	610	670936	21,6	3,4	43,3	46,9	90,3
22.	1200	1315	592	709975	21,4	3,3	43,6	46,7	90,3
23.	1300	1421	575	747892	21,1	3,2	43,9	46,4	90,4
24.	1400	1526	561	784800	21,0	3,2	44,2	46,2	90,4
25.	1500	1632	547	820795	20,8	3,1	44,4	46,0	90,5
26.	1600	1738	535	855960	20,6	3,1	44,7	45,9	90,5
27.	1700	1843	524	890363	20,5	3,0	44,9	45,7	90,6
28.	1800	1949	513	924065	20,3	3,0	45,1	45,5	90,6
29.	1900	2054	504	957118	20,2	3,0	45,3	45,4	90,7
30.	2000	2160	495	989567	20,1	2,9	45,5	45,2	90,7
31.	3000	3216	429	1287966	19,1	2,7	47,0	44,1	91,1

#### 4. Metodologia regularizării

Parametrii expuși regularizării sunt: puterea electrică (puterea nominală)  $P_{nom}$ ; puterea termică  $P_t$ ; investiția specifică  $i_s$ ; cheltuielile de mentenanță  $k_{men}$ ; cheltuielile cu reparația capitală  $I_{RK}$ , randamentul electric

$\eta_e$  și randamentul termic  $\eta_t$ . Vom nota prin  $Y$  vectorul parametrilor ce urmează a fi regularizați –  $Y = (y_1, \dots, y_7) = (P_{nom}, P_t, i_s, k_{men}, I_{RK}, \eta_e, \eta_t)$ .

Metodologia regularizării șirului colectat de tipodimensiuni IC-MAI include următorii pași:

1. Datele colectate sunt prezentate în programul Microsoft Excel în formă tabelară (tabela cu date inițiale - tabela DI).
2. In baza instrumentelor oferite de Microsoft Excel, fiecare șir de valori  $y_2 \dots y_7$  ( $P_{nom}$ ) din tabela DI este aproximat de o funcție-putere de forma:  $y = ax^b$ . Astfel, pentru fiecare parametru -  $P_t$ ,  $i_s$ ,  $k_{men}$ ,  $I_{RK}$ ,  $\eta_e$  și  $\eta_t$  vom obținem câte o funcție-putere ce descrie dependența parametrului respectiv de puterea nominală.
3. In limitele valorilor de puteri  $P_{nom,min} - P_{nom,max}$  se generează (în formă tabelară) șirul valorilor puterii nominale, cu care dorim ulterior să operăm. Un asemenea șir este prezentat în tab. 4, coloana 2. Valorile  $P_{nom}$  în intervalul 10-100 kW sunt cuantificate la pasul 10, iar în intervalul 100-2000 kW – la pasul 200.
4. Pentru șirul nou de puteri nominale -  $P_{nom,1}$ ,  $P_{nom,2}$ ,  $P_{nom,3}$ , etc. sunt determinate valorile parametrilor vectorului  $Y$ ; în acest scop au fost utilizate funcțiile de aproximare  $y_2 \dots y_7$  ( $P_{nom}$ ), obținute anterior la p.2.

## 5. Prezentarea rezultatelor obținute

Plecând de la baza de date obținută s-a convenit de a regulariza caracteristicilor instalațiilor IC-MAI pentru intervalul de valori a puterii nominale 5-3000 kW. Ecuțiile de aproximare obținute sunt prezentate în tab. 3

**Tabelul 3.** Ecuțiile de aproximare a parametrilor IC-MAI,  $y_2 \dots y_7 = f(P_{nom})$

$y_2(P_{nom})$	$y_3(P_{nom})$	$y_4(P_{nom})$	$y_5(P_{nom})$	$y_6(P_{nom})$	$y_7(P_{nom})$
$P_t = 3,6713 x^{0,7985}, \leq 400 \text{ kW}$ $P_t = 1,0495x + 66,361$	$i_s = 7075,8x^{-0,35}$	$k_{men} = 15,544x^{-0,219}$	$I_{RK\%} = 50x^{-0,12}$	$\eta_e = 24,7x^{-0,08}$	$\eta_t = 71,9x^{-0,061}$

Valorile numerice (regularizate) a celor șapte parametri considerați sunt prezentate în tab. 4.

## Concluzii

1. Necesitatea efectuării unor studii, în special a celor comparative, presupune utilizarea unor informații coerente cu privire la caracteristicile principale ale instalațiilor proiectate sau aplicate.
2. În studii adesea apare necesitatea aplicării unei largi (sau chiar întregi) game de tipodimensiuni ale instalațiilor de cogenerare. În condițiile în care informația disponibilă cu privire la aceste instalații nu este completă (costurile investiționale, cheltuielile de operare și mentenanță etc.) – fiind una acumulată din diferite surse, la diferiți ani și vizând diferiți producători este mult posibil de a statua concluzii eronate.
3. Lipsa unor informații poate fi parțial rezolvată prin aplicarea unor aproximări. În cazul unei serii de tipodimensiuni ale IC-MAI, pentru o mai bună credibilitate în informațiile utilizate și rezultatele obținute, în prealabil se purcede la o regularizare a caracteristicilor principale ale instalațiilor în studiu.

## Referințe

1. BHKW-Kenndaten 2011, Module, Anbieter, Kosten, ASUE. <http://www.asue.de/>
2. GOST 18322-2016, Sistemul de întreținere și reparare a mașinilor. Termeni și definiții, Standard Interstatal. Moscova, Standardinform, 2017.
3. Fratila Gh., Fratila M., Samoila S. Automobile. Constructie, intretinere si reparare. Editura: [Didactica și Pedagogica](#), 2011, 480p.
4. Tedom Cogeneration. <http://cogeneration.tedom.com/>
5. Serviciul tehnic Premi 22, Tedom, 2001, 7p.
6. Engine oil charges for stationary gas Tedom engines, Reg.61-0 – 0281.1, 2006, changed in 2017. <http://cogeneration.tedom.com/download/?soubor=cogeneration-units-download&folder=1619>