

CAPITOLUL 4. EVALUAREA ENERGIEI PRODUSE CU SISTEME DE INSTALAȚII UTILIZÂND SURSE REGENERABILE

4.1. Pompe de căldură (sursa - SR EN 15316-4-2)

4.1.1. Generalități

În acest capitol sunt prezentate metodele de calcul al consumurilor de energie pentru încălzirea spațiilor și pentru producerea apei calde de consum în clădirile prevăzute cu pompe de căldură. Sunt analizate următoarele tipuri de sisteme:

- pompe de căldură acționate electric, cu ciclu de compresie a vaporilor;
- pompe acționate cu motor termic cu ciclu de compresie a vaporilor;
- pompe de căldură cu ciclu de absorbție a vaporilor.

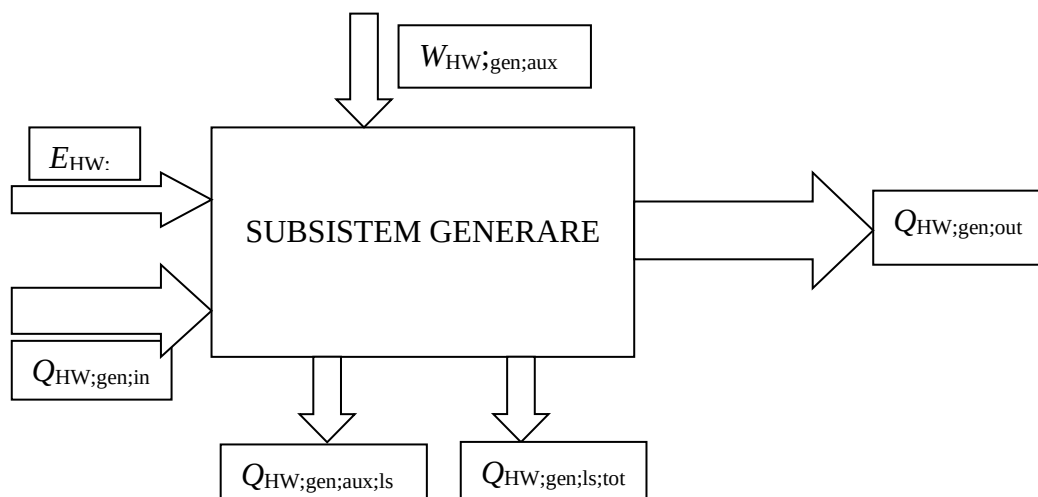


Figura 4.1 Bilanțul energetic al subsistemului de generare pentru încălzire

Legendă

- | | |
|--|--|
| <p>1 Aport de energie pentru acoperirea necesarului de energie termică (energie electrică, combustibil) $E_{HW;}$</p> <p>2 Căldura preluată de pompa de căldură din sursa de căldură $Q_{HW;gen;in}$</p> <p>3 Căldură furnizată de subsistemul de generare care acoperă necesarul de energie termică $Q_{HW;gen;out} = Q_{HW;gen;dis;out}$</p> <p>4 Pierderi termice ale subsistemului de generare $Q_{HW;gen;ls;tot}$</p> | <p>8 Aport de energie auxiliară $W_{HW;gen;aux}$</p> <p>9 Pierdere termică recuperată a componentelor auxiliare $Q_{HW;gen;aux;ls;rvd}$</p> <p>10 Pierdere termică nerecuperată a componentelor auxiliare $Q_{HW;gen;aux;ls}$</p> <p>11 Pierdere termică recuperabilă a componentelor auxiliare $Q_{H;gen;aux;ls;rbl}$</p> |
|--|--|

- | | |
|---|--|
| 5 Pierderi termice recuperabile ale subsistemului de generare $Q_{H;gen;ls;rbl}$ | 12 Pierdere termică nerecuperabilă a componentelor auxiliare $Q_{HW;gen;aux;ls;nrb}$ |
| 6 Pierderi termice nerecuperabile ale subsistemului de generare $Q_{HW;gen;ls;nrb}$ | 13 Subsistem de generare |
| 7 Pierderi termice recuperabile totale ale subsistemului de generare $Q_{H;gen;ls;rbl;tot}$ | |

Bilanțul energetic pentru pompa de căldură acționată electric (prezentat schematic în figura 4.1), în mod de încălzire, este exprimat prin relația:

$$E_{HW;gen;in} \times COP_{HW;gen} = Q_{HW;gen;out} + Q_{HW;gen;ls;tot} - Q_{HW;gen;in} - f_{gen;aux;ls;rbd} \times W_{HW;gen;aux} \quad (4.1)$$

unde s-au folosit notațiile

- $E_{HW;gen;in}$ - aportul de energie provenit din energie electrică, combustibil sau aportul de căldură pentru a acoperi necesarul de energie termică al subsistemului de distribuție pentru încălzire (H) și apă caldă de consum (W), în kWh;
- $COP_{HW;gen}$ - coeficientul de performanță mediu pentru încălzire și apă caldă de consum
- $Q_{HW;gen;out}$ - energia termică furnizată
- $Q_{HW;gen;ls;out}$ - pierderile termice totale ale subsistemului de generare
- $Q_{HW;gen;in}$ - energia termică ambientă preluată de pompa de căldură, din sursa de căldură
- $f_{gen;aux;ls;rbd}$ - fracția de energie termică auxiliară recuperată (dacă nu este inclusă în COP)
- $W_{HW;gen;aux}$ - consumul de energie auxiliară necesar pentru subsistemul de generare.

4.1.2. Mod de calcul (metoda lunară/anuală)

Scopul metodei este de a determina aportul de energie $E_{HW;gen;in}$, conform relației (4.1). Este dezvoltată o metodă lunară/anuală bazată pe BIN-uri.

Deoarece puterea termică și COP-ul pompei de căldură depind de condițiile de funcționare, (temperatura sursei și cea de disipare), calculul va fi efectuat pentru un număr de perioade j , în care temperatura sursei și temperatura de disipare sunt constante, iar rezultatele sunt însumate. Trebuie cunoscute (din calcule anterioare sau estimate) sarcina termică pentru încălzirea spațiilor și cea pentru prepararea apei calde de consum.

Metoda de calcul prezentată folosește BIN-uri ceea ce necesită evaluarea frecvenței cumulate a temperaturii aerului exterior care utilizează datele climatice naționale, medii orare ale unui an.

Conform Anexei A din SR EN 15316-4-2, sunt necesare următoarele date de intrare:

A.1 Date referitoare la descrierea pompei de căldură

- tipul pompei de căldură (aer-apă, apă-apă, saramură-apă)
- tipul utilităților deservite (încălzire, apă caldă de consum, stocare apă)
- combustibilul utilizat de pompa de căldură (electricitate, gaz, biomasă etc)

- combustibilul utilizat de sistemul de back-up al pompei de căldură (electricitate, gaz, biomasă)
- datele tehnice ale pompei de căldură (capacitatea termică în condiții standard de evaluare la sarcina maximă/sarcini intermediare, COP în condiții standard de evaluare la sarcina maximă/sarcini intermediare, energia de intrare în condiții standard de evaluare la sarcina maximă/sarcini intermediare, temperatura de intrare în condiții standard de evaluare la sarcina maximă/sarcini intermediare, ecartul de temperatură la vaporizator în condiții standard de evaluare la sarcina maximă, temperatura de ieșire în condiții standard de evaluare la sarcina maximă, ecartul de temperatură la condensator în condiții standard de evaluare la sarcina maximă, factorul de încărcare/ raportul de sarcină parțială la diverse sarcini intermediare, coeficient de depreciere/degradare, puterea electrică a echipamentelor auxiliare, constanta de timp pentru funcționarea în modul ON-OFF).
- coeficient de adaptare a COP-ului la condițiile de funcționare
- coeficient de adaptare a capacității termice la condițiile de funcționare
- factor de calcul pentru energia auxiliară
- coeficienți de funcționare la sarcină parțială (funcționare ON-OFF sau cu inverter)

A.2 Date de proiectare a sistemului

- temperatura de calcul, temperatura bivalentă, temperatura maximă de funcționare, temperatura maximă/minimă pentru sistemul de back-up
- locul de amplasare al pompei de căldură
- prioritatea de funcționare a subsistemelor (încălzire, apă caldă de consum, stocare)

A.3 Date privind condițiile de funcționare

- energia termică necesară și temperatura necesară pentru încălzire
- idem pentru prepararea apei calde de consum
- energia termică necesară pentru stocare
- diferența de temperatură la intrare (vaporizator)
- diferența de temperatură la ieșire (condensator)
- intervalul de timp de calcul
- temperatura interioară
- numărul de ore (pe lună/pe an) în care se regăsește fiecare valoare a temperaturii exterioare
- numărul de ore din lună (metoda lunară) sau an (metoda anuală) în care temperatura exterioară este inferioară celei de la pasul următor de timp
- factor privind aporturile datorate sistemului de reglaj
- factor pentru alte aporturi (interne, solare...)

Pașii de calcul sunt următorii:

- a) Construcția BIN-urilor
- b) Stabilirea cerințelor energetice pentru intervalele/bin-urile unice
- c) Calculul performanței termice a pompei de căldură
- d) Calculul necesarului de energie de rezervă ale BIN-urilor unice
- e) Calculul energiei auxiliare consumate

- f) Calculul pierderilor recuperabile ale subsistemului de generare
- g) Calculul energiei sursei de căldură
- h) Calculul energiei mecanice totale consumate pentru acoperirea cerințelor

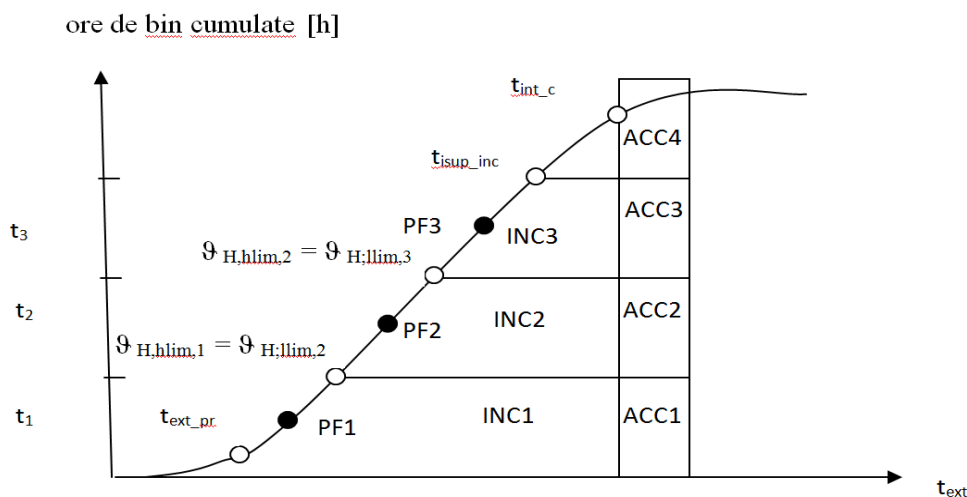
a) Construcția BIN-urilor

Numărul de bin-uri se alege în funcție de:

- tipul pompei de căldură
- informațiile disponibile referitoare la caracteristicile pompei de căldură, stabilite conform încercărilor standardizate
- perioada de calcul.

Criteriile de alegere a bin-urilor sunt:

- punctele de funcționare trebuie repartizate relativ uniform pe domeniul de funcționare;
- punctele de funcționare trebuie alese apropiate de punctele de încercare, pentru ca să se beneficieze de informații corecte privind caracteristicile pompei de căldură. Limitele bin-urilor sunt stabilite aproximativ în mijlocul punctelor de funcționare;
- numărul de bin-uri trebuie să reflecte variațiile de temperatură ale sursei de căldură și ale sistemului de disipare a căldurii (un singur bin este suficient dacă temperaturile sursei de căldură și ale sistemului de disipare a căldurii sunt constante pe tot domeniul de funcționare; în cazul variațiilor mari, trebuie să se aleagă un număr mai mare de bin-uri).



Legendă

t_{ext_pr} = temperatura exterioară de proiectare

t_{isup_inc} = temperatura ambiantă superioară pentru încălzire

t_{int_c} = temperatura interioară de calcul

t_{ext} = temperatura aerului exterior

PF = punct de funcționare

INC = încălzire, ACC = apă caldă de consum

Figura 4.2 – Ore de bin în funcție de temperatura aerului exterior – Exemplu cu 3 bin pentru încălzirea spațiilor și cerințe zilnice constante de energie termică pentru prepararea apei calde de consum (4 bin pentru prepararea apei calde de consum) (Sursa: SR EN 15316-4-2).

Această figură este reprodusă cu acordul ASRO nr. LUC/19/353/25.04.2019. Orice încălcare a dreptului de autor asupra standardelor constituie infracțiune și se pedepsește conform Legii nr. 8/1996 privind dreptul de autor și drepturile conexe.

Frecvența cumulată depinde numai de temperatura aerului exterior și deci nu ia în considerare aporturile termice. Deși cantitatea de energie este corectă prin utilizarea necesarului de energie termică ale subsistemului de distribuție, redistribuirea energiei pe bin-uri depinde și de aporturile termice (interne și solare).

Pentru o perioadă de calcul lunară, frecvența cumulată trebuie calculată ca diferența timp-temperatură cumulată, conform SR EN ISO 15927-6, luând o valoare de bază a temperaturii interioare de calcul (de obicei de 20 °C). Pentru fiecare lună, calculul se efectuează pentru bin-uri alese în funcție de informațiile disponibile din încercări, privind caracteristicile pompei de căldură.

Pentru o perioadă de calcul anuală, este necesară o redistribuire pe bin-uri, stabilind o limită superioară a temperaturii pentru încălzire, care depinde de aporturile solare și interne. Aceasta poate fi limita regulatorului de temperatură sau se poate stabili în funcție de aporturile utilizate și de tipul clădirii (cu cât aporturile utilizate sunt mai mari, cu atât limita aleasă va fi mai scăzută).

Pentru fiecare bin, puterea termică și COP-ul pompei de căldură se vor evalua pe baza încercărilor standardizate efectuate.

b) Determinarea cerințelor energetice pentru bin-urile unice

b1) Încălzirea spațiilor

Necesarul de energie termică al subsistemului de distribuție a încălzirii $Q_{H,dis,in}$ poate fi calculat conform cap. 3.1 din această Metodologie.

Cantitățile de energie necesare pentru fiecare bin sunt specificate în tabelul 14 din SR EN 15316-4-2. Aceste cantități rezultă din sarcinile termice datorate condițiilor climatice exterioare, sistemelor de reglare și sarcinilor interne provenite de la oameni, iluminat și echipamente.

Se poate folosi și o metodă alternativă pentru determinarea necesarului de căldură pentru încălzire, care folosește sistemul grade-ore, prezentată în continuare.

Necesarul de energie pentru încălzire rezultat din diferența de temperatură dintre interior și exterior este calculat cu ajutorul unui factor de ponderare obținut din evaluarea frecvenței cumulate a temperaturii aerului exterior, dedus din numărul gradelor-oră de încălzire cumulate (DH_H):

$$f_{H,j} = \frac{Q_{H,gen,out,j}}{Q_{H,gen,out}} = \frac{NB_DH_{H,\theta_{ext};lim;low,j} - NB_DH_{H,\theta_{ext};lim;low,j}}{NB_DH_{H,tot}} \quad [-] \quad (4.2)$$

Necesarul de energie pentru încălzire, pentru fiecare bin este calculat cu relația:

$$Q_{H;gen,out,j} = \text{Max}[f_{H,j} \times f_{H;ctrl} \times Q_{H;gen,out} - Q_{H;rvd,i}; 0] \text{ [kWh]} \quad (4.3)$$

în care s-au folosit notațiile:

$f_{H,j}$	- factorul de ponderare al funcționării pompei de căldură pentru încălzire, în bin-ul j	(-)
$f_{H,ctrl}$	- factorul de ponderare care ia în considerare impactul sistemelor de reglare asupra necesarului de energie pentru încălzire, în bin-ul j	(-)
$Q_{H;gen,out,j}$	- necesarul de energie termică al sistemului de distribuție a încălzirii, în bin-ul j	[kWh]
$Q_{H;gen,out}$	- necesarul total de energie termică al sistemului de încălzire	[kWh]
$Q_{H;rvd,i}$	- energia recuperată pentru încălzirea spațiilor a bin-ului j	[kWh]
$DH_{H,\theta hlim,j}$	- grade-oră de încălzire cumulate până la limita temperaturii superioare a bin-ului j (preluate din datele climatice naționale)	[°Ch]
$DH_{H,\theta llim,j}$	- grade-oră de încălzire cumulate până la limita temperaturii inferioare a bin-ului j (preluate din datele climatice naționale)	[°Ch]
$DH_{H,tot}$	- gradelor-oră de încălzire totale cumulate până la limita temperaturii superioare pentru încălzirea spațiilor	[°Ch]
NB_DH	- număr de grade-oră	

Gradele-oră de încălzire cumulate pentru diferite zone climatice, trebuie preluate din datele climatice naționale.

Durata t_j a bin-ului j , în [s], rezultă din relația:

$$t_j = (N_{ho;\theta hlim,j} - N_{ho;\theta llim,j}) \cdot 3600 \quad (4.4)$$

unde:

$N_{ho;\theta hlim,j}$	- numărul cumulat de ore până la limita temperaturii superioare a bin-ului j	[h]
$N_{ho;\theta llim,j}$	- numărul cumulat de ore până la limita temperaturii inferioare a bin-ului j	[h]

Durata sezonului de încălzire se obține prin însumarea tuturor duratelor t_j pentru încălzire.

Durata efectivă a bin-ului se obține scăzând perioada de întrerupere zilnică din durata bin-ului :

$$t_{eff,j} = t_j \cdot \frac{24h - t_{co}}{24h} \quad (4.5)$$

unde

$t_{eff,j}$	- durata efectivă a binului j	[s]
t_j	- durata binului j	[s]
t_{co}	- număr de ore de întrerupere/zi	[h/zi]

b2) Prepararea apei calde de consum

Necesarul de energie termică al sistemului de apă caldă de consum, $Q_{W,dis,in}$ se calculează în conformitate cu cap. 3.3 din prezenta Metodologie. Pentru bin-ul j necesarul poate fi calculat folosind un factor de ponderare pentru prepararea apei calde de consum conform relației:

$$k_{W,j} = \frac{Q_{W,gen,out,j}}{Q_{W,gen,out}} = \frac{t_j}{t_{tot}} \quad (4.6)$$

Rezultă necesarul de energie $Q_{W,gen,out,j}$ pentru prepararea apei calde de consum pentru bin-ul j :

$$Q_{W,gen,out,j} = k_{W,j} \cdot Q_{W,gen,out} \quad [\text{kWh}] \quad (4.7)$$

unde

$k_{W,j}$	- factorul de ponderare pentru prepararea apei calde de consum în bin-ul j	[-]
$Q_{W,gen,out}$	- necesarul de energie termică al sistemului de distribuție a apei calde de consum	[kWh]
t_j	- durata bin-ului j	[s]
t_{tot}	- durata totală a preparării apei calde de consum	[s]

c) Calculul performanței termice a pompei de căldură

(Sursa: paragrafele 6.7.2.2 și 6.7.2.3 din SR EN 15316-4-2)

Calculul COP-ului și al puterii termice se face pornind de la valoarea de referință stabilită la sarcină totală, din datele de intrare specifice și din condițiile de ieșire.

COP la sarcină totală

Matricea care prezintă coeficienții implicați de calcul al COP și al puterii termice la sarcină totală se bazează pe valoarea de referință corespunzătoare condițiilor nominale ale temperaturilor de intrare și de ieșire ale pompei de căldură, în funcție de tipul surselor de căldură (aer, apă, apă glicol).

Valorile pentru COP și energia (puterea) consumată la puterea termică maximă pentru condițiile de funcționare se bazează pe interpolare pornind de la matricea reprezentând tipul pompei de căldură. Dacă sunt disponibile, pot fi utilizate valori specifice în locul valorilor implicate.

Un astfel de principiu este prezentat în tabelele 11 și 12 din SR EN 15316-4-2.

Valoarea de referință a COP ($COP_{gen,ref}$) se înmulțește cu factorul de ponderare specific $f_{COP,i,j}$.

Matricea care prezintă coeficienții de corecție ai COP pentru temperatura de intrare la nivelul vaporizatorului și temperatura de ieșire la nivelul condensatorului, așa cum au fost definiți anterior, este obținută cu ajutorul factorilor de ponderare care iau în considerare doar variațiile temperaturii de intrare la temperatura de ieșire de referință (ultima linie) și doar variațiile temperaturii de ieșire la temperatura de intrare de referință (ultima coloană).

În anexa B și anexa C din SR EN 15316-4-2 sunt dați coeficienți recomandați pentru diferitele tehnologii de pompe de căldură la care se referă standardul.

Atunci când acești coeficienți sunt cunoscuți, ceilalți coeficienți de corecție pentru variațiile combinate ale temperaturilor de intrare și de ieșire sunt calculați astfel:

$$f_{COP;k+1,l+1} = f_{COP;k,l} \times f_{COP;k+1,l} \times f_{COP;k,l+1} \quad [-] \quad (4.8)$$

unde

k	reprezintă indicele pentru coloană;
l	reprezintă indicele pentru linie;
$f_{COP;k,l}$	reprezintă factorul de ponderare pentru COP pentru coloana k și linia l

Deoarece temperatura de intrare și temperatura de ieșire pentru pasul de timp considerat pot fi diferite de cele utilizate pentru stabilirea matricei, valorile dorite pentru COP la ϑ_{in} și $\vartheta_{w,out}$ sau ϑ_{in} și $\vartheta_{H,out}$ se calculează prin interpolare între valorile tabelare vecine.

Valorile implicite pentru coeficientul $f_{COP;k,l}$ pentru diferite tipuri de pompe de căldură sunt introduse în anexa B din SR EN 15316-4-2. Aceste valori pot fi altfel calculate conform anexei D din SR EN 15316-4-2 (sau anexa națională).

$$COP_{gen;LR100;k,l} = f_{COP;k,l} \times COP_{gen;Pn,ref} [-] \quad (4.9)$$

unde

$COP_{gen, Pn,ref}$ reprezintă valoarea COP în condiții de performanță nominală și la sarcină totală;
 $f_{COP;k,l}$ reprezintă coeficientul de multiplicare pentru COP în condițiile k,l

Se calculează următorii coeficienți de multiplicare (l: indicele liniei, indicele coloanei k):

$$C_{COP}(\vartheta_{gen;in}) = \frac{\vartheta_{gen;in} - \vartheta_{gen;in,l}}{\vartheta_{gen;in,l+1} - \vartheta_{gen;in,l}} \text{ și } C_{COP}(\vartheta_{gen;out}) = \frac{\vartheta_{gen;out} - \vartheta_{gen;out,k}}{\vartheta_{gen;out,k+1} - \vartheta_{gen;out,k}} [-] \quad (4.10)$$

unde

$$\vartheta_{gen;in,l+1} \geq \vartheta_{gen;in} \geq \vartheta_{gen;in,l} \text{ și } \vartheta_{gen;out,k+1} \geq \vartheta_{gen;out} \geq \vartheta_{gen;out,k}$$

Valoarea COP-ului pentru condițiile dorite de intrare și de ieșire se calculează cu relația:

$$COP_{gen,LR100}(\vartheta_{gen;in}, \vartheta_{gen;out}) = (1 - C_{COP}(\vartheta_{gen;in})) \times (1 - C_{COP}(\vartheta_{gen;out})) \times COP_{gen;LR100;k,l} + C_{COP}(\vartheta_{gen;in}) \times (1 - C_{COP}(\vartheta_{gen;out})) \times COP_{gen;LR100;k+1,l} + C_{COP}(\vartheta_{gen;out}) \times (1 - C_{COP}(\vartheta_{gen;in})) \times COP_{gen;LR100;k,l+1} + C_{COP}(\vartheta_{gen;in}) \times C_{COP}(\vartheta_{gen;out}) \times COP_{gen;LR100;k+1,l+1} \quad (4.11)$$

Putere termică disponibilă la sarcină totală

Valorile puterii termice utilizate de sistemul de încălzire cu pompă de căldură sunt obținute cu valori interpolate pornind de la temperaturile utilizate pentru calculul COP-ului la puterea de intrare maximă.

Valoarea de referință a $COP_{Pn;inref;outref}$ este multiplicată cu factorul de ponderare specific $f_{P;in;\theta out}$

Matricea este obținută cu aceleași principii descrise la calculul COP.

$$\Phi_{gen;LR100;k,l} = f_{gen;Pn;LR100;k,l} \times \Phi_{gen;Pn,ref} [kW] \quad (4.12)$$

unde

$\Phi_{gen;Pn,ref}$ Puterea termică în condițiile de performanță nominală și la sarcină totală;
 $f_{gen;PnLR100}(k,l)$ Coeficientul de multiplicare pentru condițiile termice la condițiile k, l. În tabelul 4.4 acest coeficient este utilizat în versiune abreviată $f_{P;k,l} = f_{gen;Pn;LR100;k,l}$

Valoarea puterii termice a pompei de căldură pentru condițiile dorite de intrare și ieșire se obține utilizând coeficientul de corelație obținut cu relația (4.10), relația (4.12) și cu următoarea:

$$\begin{aligned} \Phi_{gen;LR100}(\vartheta_{gen;in}, \vartheta_{gen;out}) = & (1 - C_{COP}(\vartheta_{gen;in})) \times (1 - C_{COP}(\vartheta_{gen;out})) \times \Phi_{gen;LR100;k,l} \\ & + C_{COP}(\vartheta_{gen;in}) \times (1 - C_{COP}(\vartheta_{gen;out})) \times \Phi_{gen;LR100;k+1,l} \\ & + C_{COP}(\vartheta_{gen;out}) \times (1 - C_{COP}(\vartheta_{gen;in})) \times \Phi_{gen;LR100;k,l+1} + C_{COP}(\vartheta_{gen;in}) \times C_{COP}(\vartheta_{gen;out}) \times \Phi_{gen;LR100;k+1,l+1} \end{aligned}$$

(4.13)

Energia mecanică corespunzătoare este calculată sub forma unei combinații a COP și a puterii termice la sarcină totală pentru combinația dintre temperatura de intrare și cea de ieșire pentru apa caldă de consum, încălzirea spațiilor și stocării.

$$E_{\text{gen;LR100}}(\vartheta_{\text{gen;in}}, \vartheta_{\text{gen;out}}) = \frac{\Phi_{\text{gen;LR100}}(\vartheta_{\text{gen;in}}, \vartheta_{\text{gen;out}})}{COP_{\text{gen;LR100}}(\vartheta_{\text{gen;in}}, \vartheta_{\text{gen;out}})} \times t_{ci} \text{ [kWh]} \quad (4.14)$$

unde

t_{ci} reprezintă durata pasului de timp pentru calcul (h)

Atunci când nu este disponibilă din modul de lucru al încercării, energia electrică necesară funcționării pompei de căldură (pompa, reglare, dispozitive electrice) este dedusă din puterea energiei introduse la sarcină totală.

$$W_{\text{gen;LR100;aux;el}} = E_{\text{gen;LR100}} \times f_{\text{gen;Pn;aux;int}} \text{ [kWh]} \quad (4.15a)$$

Exprimarea energiei și a puterii termice a pompei de căldură la sarcină totală pentru diferitele tipuri de utilizare

Deoarece energia mecanică și puterea termică depind de temperaturile de intrare și de ieșire, expresia energiei mecanice și a puterii termice la sarcină totală sunt exprimate astfel:

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{gen;LR100;X}}(\vartheta_{\text{gen;in}}, \vartheta_{\text{X;gen;out}}) \\ COP_{\text{gen;LR100;X}}(\vartheta_{\text{gen;in}}, \vartheta_{\text{X;gen;out}}) &= f_{\text{gen;LR100;\Delta\vartheta}}(\vartheta_{\text{gen;in}}, \vartheta_{\text{X;gen;out}}) \times COP_{\text{gen;LR100}}(\vartheta_{\text{gen;in}}, \vartheta_{\text{gen;out}}) \\ E_{\text{gen;LR100;X}}(\vartheta_{\text{gen;in}}, \vartheta_{\text{X;gen;out}}) &= \frac{\Phi_{\text{X;gen;LR100;X}}}{COP_{\text{gen;LR100;X}}(\vartheta_{\text{gen;in}}, \vartheta_{\text{X;gen;out}})} \times t_{ci} \end{aligned} \quad (4.15b)$$

unde

X = W, H sau sto;

$\vartheta_{\text{X;gen;out}} = \vartheta_{\text{gen;X;flw}}$ reprezintă temperatura de ieșire necesară pentru apa caldă de consum, încălzire sau stocare.

Compararea energiei la sarcină totală și cerințele energetice

Energia termică furnizată de pompa de căldură la sarcină totală este comparată cu energia termică necesară pentru diferitele subsisteme energetice.

Dacă energia primită de pompa de căldură este mai mică sau egală cerințelor energetice, pompa de căldură funcționează la sarcină totală. Energia suplimentară este furnizată de sistemul de rezervă sau de un alt sistem de generare conform autorizației furnizate de sistemul de reglare.

În caz contrar, energia primită de pompa de căldură reprezintă completarea energiei termice primite de diferitele sub-sisteme (apă caldă de consum, încălzire și stocare).

Energie primită și timpul de funcționare pentru prepararea apei calde de consum

Puterea termică a pompei de căldură este calculată pentru condițiile necesare conform relației 4.15.

Timpul de funcționare corespunzător al pompei de căldură t_W se obține după cum urmează cu condiția $t_W/t_{ci} < 1$.

$$t_W = \text{Min} \left(\frac{Q_{\text{gen};W;\text{out}}}{\Phi_{\text{gen};LR100}(\vartheta_{\text{gen};in}, \vartheta_{\text{gen};out})}; t_{ci} \right) [\text{h}] \quad (4.16)$$

Energia mecanică primită de pompa de căldură și energia termică se calculează după cum urmează:

$$E_{\text{gen};in;W} = \frac{\Phi_{\text{gen};LR100;W}(\vartheta_{\text{gen};in}, \vartheta_{\text{gen};out})}{COP_{\text{gen};W;LR100}(\vartheta_{\text{gen};in}, \vartheta_{\text{gen};out})} \times t_W [\text{kWh}] \quad (4.17)$$

$$Q_{\text{gen};in;W} = \Phi_{\text{gen};LR100;W}(\vartheta_{\text{gen};in}, \vartheta_{\text{gen};out}) \times t_W [\text{kWh}] \quad (4.18)$$

Calculul sarcinii parțiale (LR). Parametrii care influențează performanța la sarcină parțială.

Energia utilizată la sarcină parțială este rezultatul unor fenomene diferite:

- energia utilizată de grupul compresor după stabilirea condițiilor termice, $E_{\text{gen};in;comp}$;
- energia corespunzătoare utilizată rezultată din acțiunea de pornire și oprire, $E_{\text{gen};in;ON_OFF}$;
- energia utilizată de dispozitivele auxiliare (pompe etc.), $E_{\text{gen};in;aux}$.

Intrare: $\vartheta_{\text{gen};in}$, $\vartheta_{\text{gen};H;aut}$, $\vartheta_{\text{gen};W;aut}$, $Q_{\text{gen};HW;aut}$, $E_{\text{gen};LR100}$; $COP_{\text{gen};LR100}$.

Evaluarea COP-ului și a energiei la sarcina parțială depinde de tehnologia utilizată pentru pompele de căldură:

- reglarea PORNIT/OPRIT: pompa de căldură funcționează cu cicluri PORNIT/OPRIT la sarcină totală pentru tot domeniul sarcinii parțiale;
- compresorul funcționează cu ciclu PORNIT/OPRIT la putere maximă sau la nivelul sarcinii minime.
- un invertor sau modularea vitezei compresorului va determina adaptarea vitezei compresorului la sarcină; dacă sarcina este sub nivelul minim al sarcinii, pompa de căldură va reacționa cu un ciclu PORNIT/OPRIT, dar la o putere termică minimă.

Sunt luate în considerare două moduri pentru sarcina parțială atunci când:

- compresorul funcționează continuu;
- compresorul funcționează cu cicluri PORNIT/OPRIT la putere maximă.

Ipoteză: pentru energia primită de sistemul de distribuție a apei calde de consum, se consideră că pompa de căldură funcționează la sarcină totală, dacă este necesară încălzirea pe parcursul aceluiași pas de timp al calculului, atunci sarcina parțială este luată în considerare pentru perioada de timp rămasă.

- Calculul factorului de sarcină parțială (LR)

Calculul factorului de sarcină parțială se bazează pe durata necesară de funcționare pentru a răspunde consumului de energie pentru diferite subsisteme (încălzire și stocare) și comparată cu durata de timp rămasă după funcționarea pentru apa caldă de consum.

Durata necesară de funcționare a pompei de căldură pentru încălzire, respectiv stocare, este:

$$t_H + t_{sto} = \frac{Q_{H;gen;H;dis;out}}{\Phi_{H;gen;LR100}} + \frac{Q_{H;gen;sto;dis;out}}{\Phi_{sto;gen;LR100}} [h] \quad (4.19)$$

Cu $\Phi_{H;gen;LR100}$ și $\Phi_{sto;gen;LR100}$ obținute din relațiile 4.12-4.13.

Factorul de sarcină parțială corespunzător LR este obținut din relația 4.20 și este limitat la 1:

$$LR(t) = \frac{t_H + t_{sto}}{t_{ci} - t_W} [-] \quad (4.20)$$

Calculul COP-ului și al energiei consumate la sarcină parțială pentru pompele de căldură cu compresor (pentru încălzire și stocare)

- Sarcină parțială atunci când compresorul funcționează continuu

Acest mod apare pentru pompa de căldură cu invertor atunci când energia necesară este mai mică decât energia primită de pompa de căldură la sarcină totală pentru temperaturile de intrare și de ieșire la pasul de timp considerat. Raportul de sarcină este mai mare decât factorul de sarcină minim pentru compresor ($LR > LR_{cont;min}$).

$$Q_{H;gen;out} \geq Q_{gen,H,LR100} \times LR_{cont;min} [kWh] \quad (4.21)$$

Putere termică la sarcină parțială pentru modul continuu

Valoarea aportului de energie corespunde energiei necesare grupului compresor ($E_{gen,in,comp}$) și dispozitivelor auxiliare ($E_{gen,in,aux}$) pe parcursul întregului mod de funcționare continuă.

$$E_{H;gen;in} = (P_{gen;comp} + f_{gen;aux} \times E_{H;gen;in;ref}) \times t_H \text{ cu } f_{gen;aux} = \frac{P_{gen;aux}}{P_{gen;comp} + P_{gen;aux}} [kWh] \quad (4.22)$$

COP-ul la sarcină parțială se calculează pe baza energiei utilizate de grupul compresor (fără nici un dispozitiv auxiliar) sub forma unei funcții a sarcinii termice (necesară) pe parcursul modului continuu.

Valoarea minimă pentru modul continuu $LR_{contmin}$, și coeficientul de performanță corespunzător, $f_{COP,LRcont,min}$, pentru compresor și dispozitivele auxiliare pot fi obținute pornind de la performanțele încercării la sarcină parțială sau pe baza valorilor declarate de producător.

NOTĂ - Energia pentru compresor nu poate fi separată de energia utilizată pentru dispozitivele auxiliare.

COP la sarcină parțială pentru modul continuu

Valorile pentru $COP_{gen,net}$ și $f_{COP,net}$ corespunzător, fără influența dispozitive auxiliare, se determină separat. $f_{gen;LRcont,min;net}$ este deci o funcție obținută din valoarea minimă pentru o funcționare modulată continuă pentru un domeniu al factorului de sarcină de la $LR_{cont,min}$ la 1 (sarcină totală).

$$COP_{gen;LR100;net} = \frac{Q_{gen;out;LR100}(t)}{P_{comp;LR100} \times t_{ci}} = \frac{COP_{gen;LR100}(t) \times Q_{H;gen;LR100}(t)}{Q_{H;gen;LR100}(t) - P_{gen;aux} \times t_{ci} \times COP_{gen;LR100}} [-] \quad (4.23)$$

$$f_{gen;LR;cont,min;net} = \frac{LR_{cont,min} \times P_{comp;LR100} \times t_{ci}}{LR_{cont,min} \times P_{gen;LR100}(t) - P_{gen;aux} \times t_{ci}} [-] \quad (4.24)$$

unde

$$P_{comp,LR100} = P_{gen,LR100}(t) - P_{gen,aux} \quad (4.25)$$

Valoarea COP-ului la un raport de sarcină parțială ($LR_{cont,min} < LR \leq 1$) se calculează după cum urmează:

$$COP_{gen;LR;net} = COP_{gen;LR100;net} \times \left(1 + \left[(f_{gen;LRcont,min;net} - 1) \times \frac{(1-LR)}{(1-LR_{cont,min})} \right] \right) (-) \quad (4.26)$$

$$P_{comp,LR} = \frac{Q_{H,gen,out}(t)}{COP_{gen;LR;net} \times t_H} [kW] \quad (4.27)$$

$$E_{gen,in}(t) = (P_{comp,LR} + P_{gen,aux}) \times t_{ci} [kWh] \quad (4.28)$$

$$COP_{LR}(t) = \frac{Q_{H,gen,out}(t)}{E_{gen,in}(t)} [-] \quad (4.29)$$

Sarcină parțială atunci când compresorul funcționează în modul PORNIT/OPRIT

Acest mod se produce:

- pentru o pompă de căldură care funcționează în modul PORNIT/OPRIT;
- pentru o pompă de căldură cu invertor atunci când raportul de sarcină este mai mic decât sarcina minimă aplicabilă compresorului.

Compresorul funcționează în modul PORNIT/OPRIT:

1 - Pe parcursul pasului de timp al calcului în modul de încălzire și stocare $t_H + t_{sto}$, energia utilizată este o funcție liniară pornind de la 0 (modul PORNIT/OPRIT) sau $P_{gen;LR;cont,min}$ (pentru pompa de căldură cu invertor) sau de la valoarea maximă în condițiile de funcționare.

cu

$$P_{gen;comp;LR} = P_{gen;LR;cont,min} \times \left(1 - \frac{LR_{cont,min} - LR(t)}{LR_{cont,min}} \right) [kW] \quad (4.30)$$

$$cu P_{gen;LRcont,min} = P_{gen;LR100}(t) \times LR_{cont,min} [kW] \quad (4.31)$$

2 - Energia electrică utilizată de dispozitivele auxiliare se calculează pornind de la puterea utilizată de căldură la sarcină totală pentru condițiile pasului de timp:

$$W_{gen,aux}(t) = \frac{P_{gen,aux}}{E_{gen,Pn,ref}} \times E_{gen,in,LR100}(t) \times (t_H + t_{sto}) [kWh] \quad (4.31)$$

3 - Puterea utilizată datorită nereversibilității pompei de căldură (inerție) $P_{gen,comp,ONOF}$ este egală cu 0 la limita intervalului ($LR = 0; LR = LR_{cont,min}$) și în interiorul acestui interval este egală cu ce urmează:

$$P_{gen;comp;ONOF;LR} = P_{gen;LR;comp,min} \times \frac{\tau_{eq} \times LR \times (1-LR)}{\tau_{out,em,type}} [kWh] \quad (4.32)$$

τ_{eq} este un parametru caracteristic al pompei de căldură, datorită inerției pe parcursul regimului tranzitoriu PORNIT/OPRIT. Valorile implicite sunt propuse în anexa B din SR EN 15316-4-2.

$\tau_{out,em,type}$ reprezintă timpul de funcționare pentru a atinge condițiile necesare ale sistemului de distribuție. Această valoare depinde de categoria emițătorilor pentru încălzire și de temperatura apei calde de consum. Valorile implicite sunt propuse în tabelul 13 din SR EN 15316-4-2.

Pentru pasul de timp considerat, energia utilizată de pompa de căldură și COP-ul corespunzător sunt calculate după cum urmează:

$$E_{H;gen,in}(t) = (P_{gen,comp,LR} + P_{gen,aux} + P_{gen,comp,ONOF,LR}) \times t_H \text{ [kWh]} \quad (4.33)$$

$$COP_{H;gen;LR}(t) = \frac{Q_{H;gen,out}(t)}{E_{H;gen,in}(t)} [-] \quad (4.34)$$

Funcționare atunci când cererea de energie este zero ($Q_{gen,out}(t) = 0$)

$$\text{Pompă de căldură alimentată: } E_{gen,in;LR0}(t) = P_{gen,aux} \times t_{ci} \text{ [kWh]} \quad (4.35)$$

$$\text{Pompă de căldură nealimentată: } E_{gen,in;LR0}(t) = 0 \text{ [kWh]} \quad (4.36)$$

Energie auxiliară ($W_{H;gen;aux}$)

Energia utilizată de dispozitivele auxiliare se calculează cu relația:

$$W_{H;gen;aux} = (f_{gen,aux} + f_{gen,Pn,aux,el}) \times E_{H+W,gen,in} + LR_{sto} \times P_{sto,aux} \times t_{ci} \text{ [kWh]} \quad (4.37)$$

Energie utilizată provenită de la sursa de căldură

Energia utilizată provenită de la sursa de căldură corespunde diferenței dintre energia primită și energia utilizată pentru funcționarea pompei de căldură (unde pierderile energetice prin anvelopa pompei de căldură sunt neglijate):

$$Q_{H;gen;ren,in} = \sum_{H,W,Sto} Q_{H,gen,out,j}(t) - \sum_{H,W,Sto} E_{H,gen,in,i}(t) \text{ [kWh]} \quad (4.38)$$

Calculul încălzitorului de rezervă

Energia de rezervă se calculează cu relația:

$$Q_{gen,bu,out} = Q_{H,gen,dis,out} + Q_{W,gen,dis,out} - Q_{H,gen,out} - Q_{W,gen,out} + Q_{gen,ls} \text{ [kWh]} \quad (4.39)$$

unde

- $Q_{gen,bu,out}$ reprezintă energia termică de rezervă furnizată la limita de funcționare a pompei de căldură la momentul j ;
- $Q_{H;gen,out}$ corespunde cerințelor de energie termică ale subsistemului de distribuție pentru încălzire;
- $Q_{W;gen,out}$ corespunde cerințelor de energie termică ale subsistemului de distribuție a apei calde de consum
- $Q_{H;gen,out}$ reprezintă energia termică furnizată de pompa de căldură în condițiile de funcționare pentru încălzire;
- $Q_{W;gen,out}$ reprezintă energia termică furnizată de pompa de căldură în condițiile de funcționare pentru apa caldă de consum.

Temperatura limită de funcționare trebuie să provină din datele producătorului sau să fie evaluată pe baza fluidului de răcire.

Pierderi totale și recuperabile ale subsistemului de generare

Pierderi termice recuperabile din consumul dispozitivelor auxiliare

Pierderile termice prin intermediul agentului termic se calculează cu relația:

$$Q_{HW,gen,aux,rvd} = \sum_k W_{gen,aux,k} \cdot f_{gen,aux,ls,rvd,k} \text{ [kWh]} \quad (4.40)$$

unde

$Q_{HW,gen,aux,rvd}$ reprezintă energia auxiliară total recuperată
 $W_{gen,aux,k}$ reprezintă consumul de energie auxiliară a componentei auxiliare k
 $f_{gen,aux,ls,rvd,k}$ reprezintă fracțiunea de energie auxiliară total recuperată sub formă de energie termică a componentei k

$f_{gen,aux,ls,rvd,k} = 0$ pentru pompa de căldură acționată electric.

Pierderile termice ale dispozitivelor auxiliare în mediul ambiant pot fi calculate conform relației:

$$Q_{HW,gen,aux,ls} = \sum_k W_{gen,aux,k} \cdot f_{gen,aux,ls,k} \text{ [kWh]} \quad (4.41)$$

iar pierderile termice în mediul ambiant sunt presupuse a fi recuperabile.

Pierderile termice recuperabile se calculează cu relația:

$$Q_{H,gen,aux,ls,rbl} = \sum_k W_{gen,aux,k} \cdot f_{gen,aux,ls,k} \cdot (1 - b_{gen,aux,k}) \text{ [kWh]} \quad (4.42)$$

unde

$Q_{HW,gen,aux,ls}$ corespunde pierderilor termice ale componentelor auxiliare în mediul ambiant
 $Q_{H,gen,aux,ls,rbl}$ corespunde pierderilor termice recuperabile ale componentelor auxiliare în mediul ambiant
 $W_{gen,aux}$ corespunde pierderilor termice ale componentelor auxiliare
 $f_{gen,aux,ls,k}$ reprezintă fracțiunea de energie electrică transmisă mediului ambiant
 Aceste valori trebuie definite într-o anexă națională. Dacă nu există nicio valoare națională, valorile implicite sunt date în anexa A.
 $b_{gen,aux,k}$ reprezintă factorul de reducere a temperaturii pentru componenta k , legat de amplasamentul componentei
 Valorile $b_{gen,aux,k}$ trebuie date într-o anexă națională. Dacă nu există valori naționale, valorile implicite sunt date în anexa A.

Pierderi totale ale subsistemului de generare

Pierderile termice totale prin anvelopa subsistemului de generare obțin prin însumarea pierderilor diferitelor componente (prin anvelopa pompei de căldură, pierderile datorate motorului pompelor de căldură acționate cu ajutorul unui motor cu ardere internă, pierderile de stocare pentru încălzirea spațiilor și prepararea apei calde de consum, pierderile datorate conductelor de racordare dintre generator și stocare), conform relației:

$$Q_{HW,gen,ls,tot} = \sum_k Q_{gen,ls,k} + Q_{HW,gen,aux,ls} \text{ [kWh]} \quad (4.43)$$

unde

$Q_{HW,gen,ls,tot}$ corespunde pierderilor termice totale ale subsistemului de generare în mediul ambiant [kWh]
 $Q_{gen,ls,k}$ corespunde pierderilor termice în mediul ambiant ale componentei k a subsistemului de generare [kWh]

$Q_{HW,gen,aux,ls}$ corespunde pierderilor termice ale componentelor auxiliare în mediul ambiant [kWh]

Pierderi termice recuperabile datorate pierderilor prin anvelopa subsistemului de generare

Pierderile prin anvelopă (considerate recuperabile) se calculează cu relația:

$$Q_{H,gen,ls,rbl} = \sum_k Q_{gen,ls,k} \cdot (1 - b_{gen,k}) \text{ [kWh]} \quad (4.44)$$

unde

$Q_{H,gen,ls,rbl}$ corespunde pierderilor termice recuperabile totale ale subsistemului de generare [kWh]

$Q_{gen,ls,k}$ corespunde pierderilor termice în mediul ambiant ale componentei k a subsistemului de generare [kWh]

$b_{gen,k}$ reprezintă factorul de reducere a temperaturii pentru componenta k, legat de amplasamentul componentei [-]

Valorile $b_{gen,aux,k}$ trebuie date într-o anexă națională. Dacă nu există valori naționale, valorile implicite sunt date în anexa A.

Pierderi termice recuperabile totale ale subsistemului de generare

Pierderile recuperabile totale pot fi obținute prin însumarea pierderilor prin anvelopa subsistemului de generare și a pierderilor dispozitivelor auxiliare în mediul ambiant, conform relației:

$$Q_{H,gen,ls,rbl,tot} = Q_{H,gen,ls,rbl} + Q_{H,gen,aux,ls,rbl} \text{ (kWh)} \quad (4.45)$$

unde

$Q_{H,gen,ls,rbl,tot}$ corespunde pierderilor termice totale recuperabile ale subsistemului de generare [kWh]

$Q_{H,gen,ls,rbl}$ corespunde pierderilor termice recuperabile ale subsistemului de generare [kWh]

$Q_{H,gen,aux,ls,rbl}$ corespunde pierderilor termice recuperabile ale dispozitivelor auxiliare [kWh]

Căldură ambiantă utilizată de subsistemul de generare

Cantitatea de căldură ambiantă utilizată pentru energia termică produsă de pompa de căldură pentru acoperirea cerințelor pentru încălzirea spațiilor și/sau prepararea apei calde de consum cât și a pierderilor subsistemului de generare, se calculează cu relația (4.1), în care energia dispozitivelor auxiliare recuperată trebuie stabilită la $f_{gen,Aux,ls,rld} = 0$ pentru pompele de căldură acționate electric, supuse încercării în conformitate cu standardele SR EN 14511. Pentru pompele de căldură acționate cu ajutorul motorului cu ardere internă sau cu gaz, $f_{gen,Aux,ls,rld}$ depinde de fracțiunea luată în considerare pe parcursul încercărilor.

Energie regenerabilă (sau recuperată) utilizată de pompa de căldură

Cantitatea de energie regenerabilă (sau recuperată, dacă sursa de intrare este sistemul de recuperare a aerului) se calculează cu relația:

$$E_{H,gen;ren,in} = Q_{HW;gen;dis;out} - (E_{HW;gen,in} + E_{HW;gen;bu,in}) \text{ [kWh]} \quad (4.46)$$

d) Determinarea energiei de rezervă a bin-urilor unice

$$E_{H,gen;bu,in} = \sum_{i=1}^{BIN_NB} [Nb_h(j) \times E_{H,gen;bu,in}(j)] \text{ [kWh]} \quad (4.47)$$

unde

$Nb_h(j)$ reprezintă numărul de ore pentru bin-ul j
 $E_{H,gen;bu,in}(j)$ reprezintă aportul de energie de rezervă pentru bin-ul j

e) Calculul aportului de energie auxiliară

Dacă este necesar, plecând de la relația 4.37, rezultatele sunt aplicate, pentru numărul de ore $Nb_h(j)$ ale bin-ului:

$$W_{H,gen;aux} = \sum_{i=1}^{BIN_NB} [Nb_h(j) \times W_{H,gen;aux}(j)] \text{ [kWh]} \quad (4.48)$$

unde

$W_{H,gen;bu,in}(j)$ - aportul de energie de rezervă pentru bin-ul j [kWh]

f) Calculul pierderilor subsistemului de generare recuperabile

Ca și în cazul energiei de rezervă, rezultatele din relațiile 4.43-4.45 pot fi aplicate, dacă este necesar, pentru numărul de ore ale bin-ului, $Nb_h(j)$.

$$Q_{H,gen;ls,rbl} = \sum_{i=1}^{BIN_NB} [Nb_h(j) \times Q_{H,gen;ls,rbl}(j)] \text{ [kWh]} \quad (4.49)$$

unde

$Q_{H,gen;ls,rbl}(j)$ reprezintă aportul de energie de rezervă pentru bin-ul j [kWh]

g) Calculul energiei din sursa de căldură

Calculul prezentat anterior, a fost efectuat în funcție de datele utilizate pentru caracterizarea performanței pompei de căldură. Pe urmă, rezultatele pot fi multiplicare, pentru numărul total de ore ale bin-ului j , $Nb_h(j)$.

În funcție de pompa de căldură, energia adăugată energiei primite de la exterior poate fi considerată o energie recuperată, de exemplu pentru pompele de căldură aer/apă care funcționează cu aer recuperat și indicele „ren” din relația 4.50 devine „rvd”.

$$Q_{H,gen;ren,in} = \sum_{i=1}^{BIN_NB} [Nb_h(j) \times Q_{H,gen;ren,in}(j)] \text{ [kWh]} \quad (4.50)$$

unde

$Q_{H,gen;ren,in}(j)$ reprezintă aportul de energie regenerabilă pentru bin-ul j [kWh]

h) Calculul energiei mecanice totale consumate pentru acoperirea cerințelor

Calculul prezentat pentru fiecare bin j a fost efectuat cu datele disponibile pentru caracterizarea performanței pompei de căldură. Pe urmă, rezultatele pot fi multiplicare, pentru numărul total de ore ale bin-ului j , $Nb_h(j)$.

$$E_{H,gen,in} = \sum_{i=1}^{BIN_NB} [Nb_h(j) \times E_{H,gen,in}(j)] \text{ [kWh]} \quad (4.51)$$

unde

$E_{H,gen,in}(j)$ reprezintă aportul de energie mecanică pentru bin-ul j [kWh]

Același principiu se aplică pierderilor de energie recuperabile $Q_{H,gen;ls;rb}$, aportului de energie regenerabilă $Q_{H,gen;ren;in}$, energiei auxiliare $E_{H,gen,aux}$ și energiei de rezervă $Q_{H,gen;bu;in}$ care sunt calculate în conformitate cu relația 4.50.

4.1.3. Metoda orară de calcul

În cele ce urmează se prezintă doar pașii de calcul ai metodei; prezentarea completă se găsește în standardul SR EN 15316-4-2. Etapele care trebuie parcurse sunt următoarele:

- Determinarea necesarului de energie pentru încălzirea spațiilor și pentru prepararea apei calde de consum pentru perioadele de timp considerate - conform cap. 6.6 din SR EN 15316-4-2
- Calculul COP și a capacității termice la sarcină totală pentru pasul de timp considerat - conform cap. 6.7 din SR EN 15316-4-2
- Calculul energiei livrate de sistemul cu pompă de căldură funcție de condițiile climatice și de necesarurile de energie la sarcină totală pentru fiecare utilizare (încălzirea spațiilor și prepararea apei calde de consum)
- Verificarea necesității unui încălzitor de rezervă
- Calculul raportului de sarcină a pompei de căldură în diferite moduri de funcționare conform subcap. 6.7.2.6.2, din SR EN 15316-4-2
- Calculul consumului de energie auxiliară - conform cap. 6.8 din SR EN 15316-4-2
- Calculul pierderilor recuperabile ale subsistemului de generare - conform cap. 6.11 din SR EN 15316-4-2
- Calculul energiei totale de intrare care să acopere necesarurile conform subcap. 6.7.2.7, din SR EN 15316-4-2
- Calculul energiei de back-up - conform cap. 6.10 din SR EN 15316-4-2
- Sumarul valorilor de ieșire necesare și opționale

Metoda se bazează pe calculul cantităților de energie livrate și cedate de pompa de căldură, în funcție de datele de produs obținute prin încercări standardizate.

Rezultatele obținute prin aplicarea metodei orare sunt:

- pierderile totale de căldură recuperate ($Q_{HW,gen,aux,rvd}$)

- pierderile de căldură de la sursa auxiliară ($Q_{HW,gen,aux,ls}$)
- pierderile totale de căldură recuperate de la sursa auxiliară ($Q_{H,gen,aux,ls,rbl}$)
- consumul de energie din surse regenerabile ($Q_{HW,gen,ren,in}$)
- energia auxiliară totală ($W_{Hw,gen,aux}$)
- energia de back up ($Q_{gen,bu,out}$)
- COP-ul sistemului
- energia livrată pentru încălzire ($Q_{H,gen,dis,out}$)
- energia livrată pentru prepararea apei calde de consum ($Q_{W,gen,dis,out}$)

Schema logică a modului de calcul (pompa de căldură pentru încălzire și preparare apă caldă de consum) este prezentată în figura 4.3.

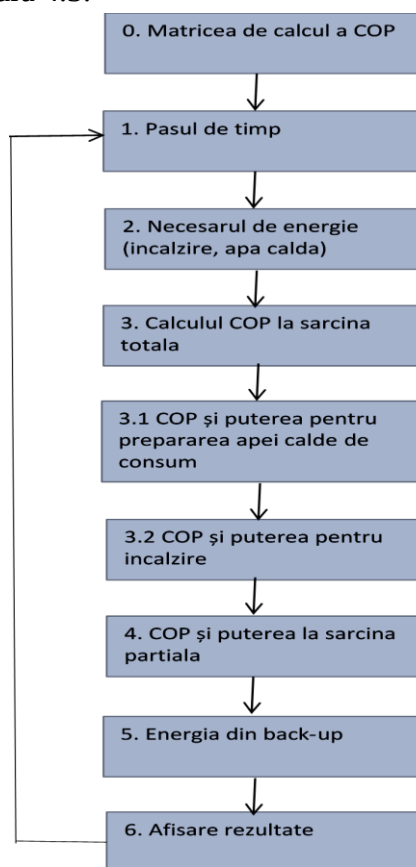


Figura 4.3. Evaluarea consumului de energie pentru instalații de încălzire, climatizare, ventilare mecanică, apă caldă de consum și iluminat în situația utilizării surselor regenerabile de energie

În situația utilizării surselor regenerabile de energie, consumul de energie pentru încălzire și/sau prepararea apei calde de consum, se diminuează cu valorile determinate pentru $Q_{H,gen,dis,out}$ și $Q_{W,gen,dis,out}$.

4.2. Sisteme solare termice

4.2.1. Domeniu de aplicare

Metoda de calcul se aplică în cazul clădirilor rezidențiale sau nerezidențiale dotate cu instalații de captare și utilizare a energiei solare pentru încălzirea spațiilor și prepararea apei calde de consum.

Instalația de captare și utilizare a energiei solare este compusă de regulă dintr-o buclă conținând suprafața de captare a energiei solare și un schimbător de căldură imersat într-un rezervor de acumulare sau plasat exterior rezervorului. Dacă schimbătorul de căldură al buclei solare este plasat la partea inferioară a rezervorului, la partea superioară a acestuia se află schimbătorul de căldură al sursei de rezervă bazată pe combustibil clasic. Agentul termic preparat în rezervorul de acumulare este agentul termic utilizat în instalația de încălzire centrală a consumatorului dacă utilitatea este încălzirea spațiilor consumatorului sau apa caldă livrată consumatorului.

Captatoarele solare utilizate pot fi captatoare plane cu placă absorbantă sau captatoare solare cu tuburi vidate. Rezervorul de acumulare are, în general, un volum care să permită consumatorului fructificarea întregii energii termice captate zilnic, de bucla solară.

4.2.2. Descrierea metodei

Metoda de evaluare a performanțelor energetice ale instalației de utilizare a energiei solare este o așa numită metodă lunară care permite, pe fiecare lună din an și pe întreg anul sau sezonul respectiv, să se evalueze performanțele energetice.

Metoda presupune în prima etapă prelevarea unei serii de informații de natură constructiv-funcțională despre suprafața de captare a energiei solare, pompa și schimbătorul de căldură din cadrul buclei solare. De asemenea sunt necesare informații despre consumatorul de apă caldă sau de încălzire a spațiilor, informații cum ar fi consumurile zilnice, suprafața de încălzire și temperaturile de dimensionare a instalației etc. O categorie importantă și distinctă de date necesare sunt datele climatice referitoare la temperaturile exterioare și intensitățile radiației solare.

Odată cunoscute aceste date se trece la etapa a doua - aplicarea metodei propriu-zise, prin evaluarea unor parametri intermediari care vor permite în continuare evaluarea efectivă a performanțelor energetice ale instalației de utilizare a energiei solare pe fiecare lună din an și pe fiecare sezon și întreg anul. Etapa a treia constă în evaluarea performanțelor energetice ale sistemului care sunt reprezentate de randamentul de captare al buclei solare, gradul de acoperire energetică oferit consumatorului și energiile lunare, sezoniere și anuale captate.

Metoda de evaluare a performanțelor energetice ale instalației solare pentru încălzirea spațiilor și metoda de evaluare a performanțelor energetice ale instalației solare pentru prepararea apei calde de consum au o serie de elemente comune în fiecare din cele trei etape menționate însă în continuare se vor prezenta independent.

Termeni specifici și definiții

- F' – Factorul geometric de corecție al fluxului termic – este o caracteristică a captatorului solar care depinde de geometria acestuia prin raportul între diametrul țevilor și lățimea aripioarei longitudinale prin materialul plăcii absorbante etc;
- E_C – modului termic al suprafeței de captare reprezintă un factor sintetic care conține toate elementele constructiv-funcționale aferente suprafeței de captare care condiționează captarea energiei solare și transformare în energie termică – și este un parametru univoc dependent de numărul de unități de transfer termic aferent suprafeței de captare cu utilitate directă în evaluările energetice;
- F_C - factorul caracteristic aporturi-pierderi al captatorului solar m^2K/W
- E_S – modului termic al suprafeței schimbătorului de căldură dintre suprafața de captare și rezervorul de acumulare reprezintă un factor sintetic care conține toate elementele constructiv-funcționale aferente acestui schimbător de căldură care condiționează puterea termică transferată agentului termic secundar din rezervorul de acumulare – este un parametru univoc dependent de numărul de unități de transfer termic aferent suprafeței acestui echipament cu utilitate directă în evaluările energetice;
- E_{CS} – modului termic al buclei solare compuse din suprafața de captare și schimbătorul de căldură imersat în rezervorul de acumulare sau exterior acestuia și reprezintă un factor sintetic care conține toate elementele constructiv-funcționale aferente acestei secțiuni, care condiționează puterea termică captată și transferată agentului termic secundar din rezervorul de acumulare – și este un parametru stabilit pe baza modulilor termici aferenți suprafeței de captare și a schimbătorului de căldură din cadrul buclei cu utilitate directă în evaluările energetice;
- F_R^B – factor de corecție a fluxului termic captat aferent buclei solare – suprafața de captare solară și schimbător de căldură;
- H – transmitanța anvelopei clădirii – este un parametru care reflectă atât transferul termic prin anvelopa clădirii cât și transferul termic prin infiltrații sau prin ventilare, raportat la 1 grad diferență de temperatura între spațiul interior și mediul exterior;
- R_{INC} – rezistența termică a instalației de încălzire a consumatorului – este inversul coeficientului global de transfer termic aferent suprafeței instalației de încălzire a consumatorului;
- F_R^{BC} – factor de corecție a fluxului termic captat de întreg sistemul captare -consumator;
- β_{REF} – parametrul termic sintetic la care este supus ansamblul compus din bucla solară de captare și consumator – este raportul dintre diferența temperaturilor de intrare în sistemul captare-consumator și intensitatea radiației solare;
- η_{CC} – randamentul buclei de captare solară, - este raportul între puterea termică captată și intensitatea radiației solare;

Simboluri și abrevieri

- ϕ_I – unghiul de înclinare al captatorilor solari față de planul orizontal, °;
- ϕ_A – unghiul azimutal – unghiul între orientarea cardinală a captatorului solar față de orientarea sud, °;
- α - coeficientul de absorbție al plăcii captatorului, -;
- τ - coeficientul de transparență al elementului vitrat al captatorului, -;
- S_c – suprafața totală a captatoarelor solare utilizate de sistem, m^2 ;
- k_C – coeficientul global de transfer termic al captatorilor solari, $W/m^2.K$;
- F' – factor geometric de corecție al performanțelor captatorilor solari, -;
- S_S - suprafața schimbătorului de căldură din cadrul buclei solare, m^2 ;
- k_S – coeficientul global de transfer termic al schimbătorului de căldură al buclei solare, $W/m^2.K$;
- G_C – debitul de agent termic vehiculat în bucla solară, l/h ;
- V_a – volumul rezervorului de acumulare, l ;

G_{CONS} – debitul orar mediu zilnic de consum de apă caldă, l/h;
 S_{INC} – suprafața instalației de încălzire centrală a consumatorului, m²;
 G_{INC} – debitul de agent termic vehiculat în instalația de încălzire, l/h;
 t_r – temperatura apei reci, °C;
 t_c – temperatura apei calde, °C;
 t_{T0} – temperatura nominală a agentului termic la intrarea în instalația de încălzire centrală a consumatorului, °C;
 t_{R0} – temperatura nominală a agentului termic la ieșirea din instalația de încălzire centrală a consumatorului, °C;
 t_{m0} – media temperaturilor nominale ale agentului termic din instalația de încălzire a consumatorului, °C;
 t_T – temperatura agentului termic la intrarea în instalația de încălzire centrală a consumatorului, °C;
 t_R – temperatura agentului termic la ieșirea din instalația de încălzire centrală a consumatorului, °C;
 t_m – media temperaturilor agentului termic din instalația de încălzire, °C;
 t_{e0} – temperatura exterioară nominală, °C;
 t_e – temperatura exterioară, °C;
 t_{em} – temperaturi exterioare medii lunare, °C;
 I – intensitatea globală a radiației solare pe planul suprafeței de captare, W/m²;
 I_0 – intensitatea globală a radiației solare pentru un plan orizontal W/m², W/m²;
 a – debitul specific de agent termic în bucla solară, l/h.m²;
 F_C – factorul caracteristic aporturi-pierderi al captatorului solar, m².K/W;
 F_R^B – factor de corecție a fluxului termic captat de bucla solară, -;
 F_R^C – factor de corecție al fluxului termic captat datorat consumatorului, -;
 f_{cap} – factor de corecție al intensității globale a radiației solare datorat unghiului de înclinare al captatorilor solari și unghiului de deviație de la orientarea SUD al captatorilor solari, -;
 F_R^{BC} – factor de corecție a fluxului termic captat de sistemul compus din bucla solară și consumator, -;
 β_{REF} – parametrul termic sintetic la care este supus ansamblul compus din bucla solară de captare și consumator, m².K/W;
 η_{BC} – randamentul buclei de captare solară, -;
 f_u – factorul de utilizare al energiei captate, -;
 G_{AET} – gradul de acoperire energetică termic al buclei solare, %;
 G_{AE} – gradul de acoperire energetică al buclei solare, %;
 RND – randamentul de captare al sistemului, %;
 P_{CP} – puterea termică captată și livrată consumatorului, W;
 P_{CONS} – puterea termică solicitată de consumator, W;
 E_I – energia solară incidentă pe suprafața de captare, kWh;
 E_{CP} – energia termică captată de bucla solară, kWh;
 E_{CONS} – energia solicitată de consumator, kWh;
 Φ_{NEC0} – necesarul de căldură de calcul al clădirii consumatorului, W;
 N_{zl} – numărul de zile din lună, zi/lună;
 P_P – puterea pompei din bucla solară, W;
 P_{EL} – puterea medie zilnică a pompei din bucla solară, W;
 R_{INC} – rezistența termică a instalației de încălzire a consumatorului, m².K/W; este inversul coeficientului global de transfer termic aferent suprafeței instalației de încălzire a consumatorului;
 F_{INC} – factor adimensional de corecție;
 H – capacitatea de transfer termic a clădirii, W/K.

4.2.3. Metoda lunară

Metoda de evaluare a performanțelor energetice ale instalației de utilizare a energiei solare este o metodă lunară care permite, pentru fiecare lună din an și pe întreg anul sau pe un sezon, să se evalueze performanțele energetice.

Metoda presupune în prima etapă prelevarea unei serii de informații de natură constructiv-funcțională despre suprafața de captare a energiei solare, pompa și schimbătorul de căldură din cadrul buclei solare. De asemenea sunt necesare informații despre consumatorul de apă caldă sau de încălzire a spațiilor, informații cum ar fi consumurile zilnice, suprafața de încălzire și temperaturile de dimensionare a instalației etc. O categorie importantă și distinctă de date necesare sunt datele climatice referitoare la temperaturile exterioare și la intensitățile radiației solare.

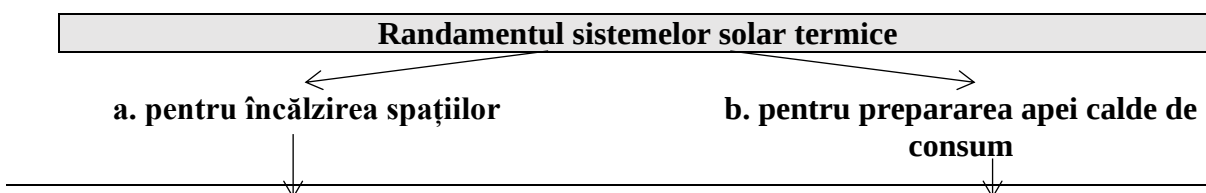
Odată cunoscute aceste date se trece la etapa a doua - aplicarea metodei propriu-zise, prin evaluarea unor parametri intermediari care vor permite în continuare evaluarea efectivă a performanțelor energetice ale instalației de utilizare a energiei solare. Etapa a treia constă în evaluarea performanțelor energetice ale sistemului care sunt reprezentate de randamentul de captare al buclei solare, gradul de acoperire energetică oferit consumatorului și energiile lunare, sezoniere și anuale captate.

Metoda de evaluare a performanțelor energetice ale instalației solare pentru încălzirea spațiilor și metoda de evaluare a performanțelor energetice ale instalației solare pentru prepararea apei calde de consum au o serie de elemente comune în fiecare din cele trei etape menționate însă în continuare se vor prezenta independent.

Valori recomandate ale parametrilor implicați în relațiile metodei :

- Factorul geometric de corecție a fluxului termic captat, F'
 - 0,9 – pentru captatoarele solare cu placa plană absorbantă;
 - 0,95 – pentru captatoarele solare cu tuburi vidate;
- Coeficientul global de transfer termic al schimbătorului de căldură din cadrul buclei solare, k_s
 - 600 W/m².K – pentru instalațiile solare noi cu schimbătoare de căldură imersate în rezervorul de acumulare
 - 400 W/m².K – pentru instalațiile solare vechi cu schimbătoare de căldură imersate în rezervorul de acumulare;
 - 2000 W/m².K – pentru instalațiile solare cu schimbătoare de căldură cu plăci plasate în exteriorul rezervorului de acumulare;
- Rezistența termică a sistemului de încălzire centrală – R_{INC}
 - 0,145 m².K/W - instalație cu corpuri statice de încălzire;
 - 0,48 m².K/W – încălzire de joasă temperatură prin pardoseală.

Etapizarea calculelor este următoarea:



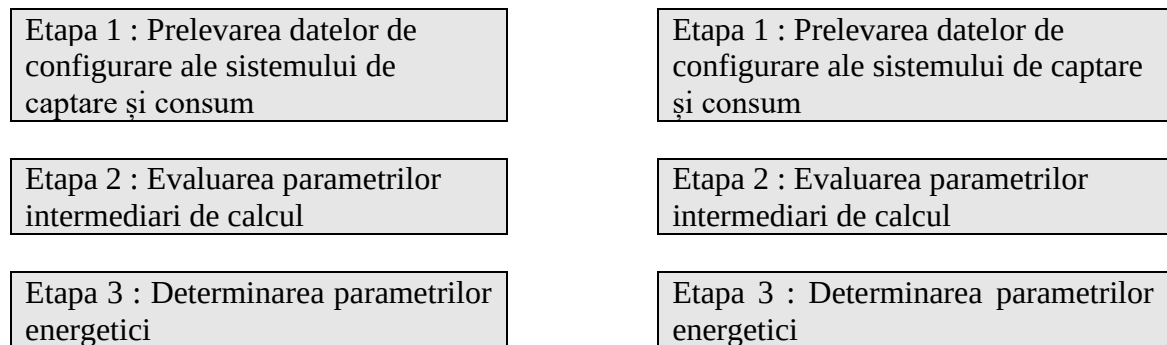


Figura 4.4. Schema etapelor metodei lunare

Pentru încălzirea spațiilor

A. Etapa 1 : Prelevarea datelor de configurare ale sistemului de captare și consum

- Suprafața de captare solară S_C ;
- Factorul geometric de corecție a fluxului termic captat, F' ;
- Coeficientul global de transfer termic al captatoarelor solare, k_C ;
- Coeficientul de absorbție al plăcii captatoare, α ;
- Coeficientul de transparență al elementului vitrat al captatoarelor, τ ;
- Unghiul înclinare față de planul orizontal, al captatoarelor, φ_I ;
- Unghiul deviere al orientării suprafeței de captare față de SUD, φ_A ;
- Suprafața schimbătorului de căldură din cadrul buclei solare, S_S ;
- Volumul rezervorului de acumulare, V_a ;
- Coeficientul global de transfer termic al schimbătorului de căldură din cadrul buclei solare, k_S ;
- Debitul de agent termic vehiculat în bucla solară, G_C ;
- Suprafața instalației de încălzire centrală a consumatorului, S_{INC} ;
- Temperaturile nominale ale agentului termic la dimensionarea instalației, t_{T0} , t_{R0} ;

Notă : În cazul în care temperaturile nominale ale agentului termic nu sunt cunoscute, acestea vor fi determinate pe baza evaluării necesarului de căldură de calcul Φ_{NEC0} , al clădirii consumatorului și a suprafeței stabilite pentru instalația de încălzire centrală a acestuia.

- Intensitățile radiației solare, medii lunare, pentru o suprafață de captare orizontală, I_O , pentru lunile sezonului rece din an, conform anexei cu date climatice;
- Temperaturile exterioare medii lunare pentru lunile sezonului rece, t_e ;

B. Etapa 2 : Evaluarea parametrilor intermediari de calcul :

- Se stabilește modulul termic al suprafeței de captare :

$$E_C = \exp\left(-\frac{F' \cdot k_C \cdot S_C}{1.163 \cdot G_C}\right) \quad (4.52)$$

- Se stabilește modulul termic al schimbătorului de căldură al buclei solare :

$$E_S = \exp\left(-\frac{k_S \cdot S_S}{1.163 \cdot G_C}\right) \quad (4.53)$$

- Se stabilește modulul termic al buclei de captare :

$$E_{CS} = \frac{E_C \cdot (1 - E_S) + E_S \cdot (1 - E_C)}{1 - E_C \cdot E_S} \quad (4.54)$$

d. Se stabilește capacitatea de transfer termic a clădirii :

i. Dacă se cunosc temperaturile nominale ale agentului termic :

$$R_{t1} = \frac{t_{m0} - t_{i0}}{t_{i0} - t_{e0}} \quad (4.55)$$

$$R_{t2} = \frac{t_{m0} - t_{i0}}{t_{T0} - t_{R0}} \quad (4.56)$$

$$H = \frac{S_{inc}}{R_{INC}} \cdot R_{t1} \quad (4.57)$$

$$G_{INC} = \frac{S_{inc}}{R_{INC}} \cdot \frac{R_{t2}}{1.163} \quad (4.58)$$

unde :

$$t_{m0} = \frac{t_{T0} + t_{R0}}{2} \quad (4.59)$$

ii. Dacă nu se cunosc temperaturile nominale ale agentului termic :

$$H = \frac{\Phi_{NEC0}}{t_{i0} - t_{e0}} \quad (4.60)$$

$$t_{m0} = \left(1 + \frac{H}{S_{INC}/R_{INC}}\right) \cdot t_{i0} - \frac{H}{S_{INC}/R_{INC}} \cdot t_{e0} \quad (4.61)$$

$$\delta_{t0} = \frac{H \cdot (t_{i0} - t_{e0})}{1.163 \cdot G_{INC}} \quad (4.62)$$

$$t_{T0} = t_{m0} + \frac{\delta_{t0}}{2} \quad (4.63)$$

$$t_{R0} = t_{m0} - \frac{\delta_{t0}}{2} \quad (4.64)$$

e. Se stabilește factorul de corecție aferent buclei solare, F_R^B :

$$F_R^B = \frac{1.163 \cdot G_C}{k_C \cdot S_C} \cdot (1 - E_{CS}) \quad (4.65)$$

f. Se stabilește factorul de corecție aferent consumatorului F_R^C :

$$F_R^C = 2 \cdot \frac{H}{S_C \cdot k_C} \cdot \frac{t_{i0} - t_{e0}}{t_{T0} - t_{R0}} \quad (4.66)$$

g. Se stabilește factorul de corecție al ansamblului buclă captare – consumator F_R^{BC} :

$$F_R^{BC} = \left(\frac{1}{F_R^B} + \frac{1}{F_R^C} \right)^{-1} \quad (4.67)$$

h. Se stabilește factorul adimensional F_{INC} :

$$F_{INC} = \frac{t_{R0} - t_{e0}}{t_{i0} - t_{e0}}$$

sau cu:

$$F_{INC} = 1 + \frac{H}{S_{INC}/R_{INC}} - \frac{0.43 \cdot H}{G_{INC}}$$

sau cu:

$$F_{INC} = 1 + \left(1 - \frac{0.5}{R_{t2}} \right) \cdot \frac{H}{S_{INC}/R_{INC}} \quad (4.68)$$

i. Se stabilește factorul de utilizare al energiei captate în funcție de valoarea raportului $V_a/(75 \cdot S_C)$:

$$f_u = 0.35 + 0.71836 \cdot \exp \left[-0.1 / \left(\frac{V_a}{75 \cdot S_C} \right) \right] \quad (4.69)$$

Daca $f_u > 1$ atunci $f_u = 1$

C. Etapa 3-a : Determinarea parametrilor energetici

a. Se stabilește factorul de corecție de unghi de înclinare și unghi de deviere de la orientarea SUD – f_{cap} , conform Anexei 1, pentru fiecare lună din an;

b. Se stabilesc valorile intensității radiației medii lunare pentru lunile sezonului rece :

$$I = f_{cap} \cdot I_0 \quad (4.70)$$

Valorile intensității solare în plan înclinat se pot calcula folosind modele validate de calcul, cum ar fi Klein and Theilacker (Duffie and Beckman, 1991). Aceste modele sunt integrate în diverse programe de calcul recunoscute internațional (RETSCREEN, TRNSYS, DesignBuilder).

c. Se stabilește valoarea parametrului β_{REF} pentru fiecare lună a sezonului rece:

$$\beta_{REF} = \frac{t_{i0} - t_e}{f_s \cdot I} \quad (4.71)$$

unde f_s – factor solar având valorile :Luna	ian	feb	mar	apr	mai	iun	iul	aug	sep	oct	noi	dec
f_s	4,5	4,0	3,4	3,0	2,7	2,5	2,5	2,7	3,0	3,4	4,0	4,5

d. Se stabilește randamentul buclei solare pentru fiecare lună a sezonului rece:

$$\eta_{BC} = F_R^{BC} \cdot [(\alpha \cdot \tau) - k_C \cdot F_{INC} \cdot \beta_{REF}] \quad (4.72)$$

e. Se stabilește puterea termică necesară pentru încălzirea spațiilor în fiecare lună :

$$P_{CONS} = H \cdot (t_{i0} - t_e) \quad (4.73)$$

f. Se stabilesc puterile termice medii lunare incidente :

$$P_I = S_C \cdot I \quad (4.74)$$

g. Se stabilesc puterile termice medii lunare captate :

$$P_{CP} = S_C \cdot I \cdot \eta_{BC} \cdot f_u \quad (4.75)$$

Dacă $P_{CP} < 0$ atunci se va considera $P_{CP} = 0$

Dacă $P_{CP} > P_{CONS}$ atunci se va considera $P_{CP} = P_{CONS}$.

h. Se stabilesc randamentele de captare medii lunare :

$$RND = \frac{P_{CP}}{P_I} \cdot 100 \quad (4.76)$$

i. Se stabilesc gradele de acoperire energetică termică medii lunare :

$$G_{AET} = \frac{P_{CP}}{P_{CONS}} \cdot 100 \quad (4.77)$$

j. Se stabilesc energiile incidente pe suprafața de captare în fiecare lună :

$$E_I = \frac{P_I \cdot 24 \cdot N_{zi}}{1000} \quad (4.78)$$

k. Se stabilesc energiile necesare la consumator în fiecare lună :

$$E_{CONS} = \frac{P_{CONS} \cdot 24 \cdot N_{zi}}{1000} \quad (4.79)$$

l. Se stabilesc energiile captate și livrate consumatorului de buclă solară în fiecare din lunile sezonului rece :

$$E_{CP} = \frac{P_{CP} \cdot 24 \cdot N_{zi}}{1000} \quad (4.80)$$

m. Se evaluează puterea medie zilnică a pompei din cadrul buclei solare :

$$P_{EL} = 0.25 \cdot P_P \quad (4.81)$$

n. Se stabilesc gradele de acoperire energetică medii lunare totale :

$$G_{AE} = \frac{P_{CP}}{P_{CONS} + P_{EL}} \cdot 100 \quad (4.82)$$

Pentru prepararea apei calde de consum

Etape 1 : Prelevarea datelor de configurare ale sistemului de captare și consum

- a. Suprafața de captare solară S_C ;
- b. Factorul geometric de corecție a fluxului termic captat, F' ;
- c. Coeficientul global de transfer termic al captatoarelor solare, k_C ;
- d. Coeficientul de absorbție al plăcii captatoare, α ;
- e. Coeficientul de transparență al elementului vitrat al captatoarelor, τ ;
- f. Unghiul de înclinare față de planul orizontal, al captatoarelor, ϕ_I ;
- g. Unghiul de deviere al orientării suprafeței de captare față de SUD, ϕ_A ;
- h. Suprafața schimbătorului de căldură din cadrul buclei solare, S_S ;
- i. Volumul rezervorului de acumulare, V_a ;
- j. Coeficientul global de transfer termic al schimbătorului de căldură din cadrul buclei solare, k_S ;
- k. Debitul de agent termic vehiculat în bucla solară, G_C ;
- l. Debitul orar mediu zilnic de apă caldă de consum, G_{cons} ;
- m. Temperatura apei reci și a apei calde, t_r , t_c ;
- n. Intensitățile radiației solare, medii lunare, pentru o suprafață de captare situată în plan orizontal pentru toate lunile anului, I_o , conform anexei cu date climatice;
- o. Temperaturile exterioare medii lunare pentru toate lunile anului, t_e .

Etape 2: Evaluarea parametrilor intermediari de calcul :

- a. Se stabilește modulul termic al suprafeței de captare :

$$E_C = \exp\left(-\frac{F' \cdot k_C \cdot S_C}{1.163 \cdot G_C}\right) \quad (4.83)$$

- b. Se stabilește modulul termic al schimbătorului de căldură al buclei solare :

$$E_S = \exp\left(-\frac{k_S \cdot S_S}{1.163 \cdot G_C}\right) \quad (4.84)$$

- B. c. Se stabilește modulul termic al buclei de captare :

$$E_{CS} = \frac{E_C \cdot (1 - E_S) + E_S \cdot (1 - E_C)}{1 - E_C \cdot E_S} \quad (4.85)$$

- C. Se stabilește factorul de corecție aferent buclei solare, F_R^B :

$$F_R^B = \frac{1.163 \cdot G_C}{k_C \cdot S_C} \cdot (1 - E_{CS}) \quad (4.86)$$

- D. Se stabilește factorul de corecție aferent consumatorului, F_R^C :

$$F_R^C = 2 \cdot \frac{1.163 \cdot G_{CONS}}{S_C \cdot k_C} \quad (4.87)$$

- E. Se stabilește factorul de corecție al ansamblului buclă captare – consumator, F_R^{BC} :

$$F_R^{BC} = \left(\frac{1}{F_R^B} + \frac{1}{F_R^C}\right)^{-1} \quad (4.88)$$

- F. Se stabilește factorul de utilizare al energiei captate în funcție de valoarea raportului $V_a/(75 \cdot S_C)$:

$$f_u = 0.35 + 0.71836 \cdot \exp \left[-0.1 / \left(\frac{V_a}{75 \cdot S_C} \right) \right] \quad (4.89)$$

Dacă $f_u > 1$ atunci $f_u = 1$

Etapa 3: Determinarea parametrilor energetici

- a. Se stabilește factorul de corecție de unghi de înclinare și unghi de deviere de la orientarea SUD – f_{cap} , conform Anexei 1, pentru fiecare lună din an;

- b. Se stabilesc valorile intensității radiației medii lunare pentru lunile anului :

$$I = f_{cap} \cdot I_0 \quad (4.90)$$

Valorile intensității solare în plan înclinat se pot calcula folosind modele validate de calcul, cum ar fi Klein and Theilacker (Duffie and Beckman, 1991). Aceste modele sunt integrate în diverse programe de calcul recunoscute internațional (RETSCREEN, TRNSYS, DesignBuilder).

- c. Se stabilește valoarea parametrului β_{REF} pentru fiecare lună din sezonul rece :

$$\beta_{REF} = \frac{t_r - t_e}{f_s \cdot I} \quad (4.91)$$

unde f_s – factor solar având valorile Luna	ian	feb	mar	apr	mai	iun	iul	aug	sep	oct	noi	dec
f_s	4,5	4,0	3,4	3,0	2,7	2,5	2,5	2,7	3,0	3,4	4,0	4,5

- d. Se stabilește randamentul buclei solare pentru fiecare lună din sezonul rece:

$$\eta_{BC} = F_R^{BC} \cdot [(\alpha \cdot \tau) - k_C \cdot \beta_{REF}] \quad (4.92)$$

- e. Se stabilește puterea termică necesară pentru prepararea apei calde de consum în fiecare lună :

$$P_{CONS} = 1.163 \cdot G_{CONS} \cdot (t_c - t_r) \quad (4.93)$$

- f. Se stabilesc puterile termice medii lunare incidente :

$$P_I = S_C \cdot I \quad (4.94)$$

- g. Se stabilesc puterile termice medii lunare captate :

$$P_{CP} = S_C \cdot I \cdot \eta_{BC} \cdot f_u \quad (4.95)$$

Dacă $P_{CP} < 0$ atunci se va considera $P_{CP} = 0$

Dacă $P_{CP} > P_{CONS}$ atunci se va considera $P_{CP} = P_{CONS}$.

- h. Se stabilesc randamentele de captare medii lunare :

$$RND = \frac{P_{CP}}{P_I} \cdot 100 \quad (4.96)$$

i. Se stabilesc gradele de acoperire energetică termică medii lunare :

$$G_{AET} = \frac{P_{CP}}{P_{CONS}} \cdot 100 \quad (4.97)$$

j. Se stabilesc energiile incidente pe suprafața de captare în fiecare lună :

$$E_I = \frac{P_I \cdot 24 \cdot N_{zi}}{1000} \quad (4.98)$$

k. Se stabilesc energiile necesare la consumator în fiecare lună :

$$E_{CONS} = \frac{P_{CONS} \cdot 24 \cdot N_{zi}}{1000} \quad (4.99)$$

l. Se stabilesc energiile captate și livrate consumatorului de buclă solară în fiecare lună :

$$E_{CP} = \frac{P_{CP} \cdot 24 \cdot N_{zi}}{1000} \quad (4.100)$$

m. Se evaluează puterea medie zilnică a pompei din cadrul buclei solare :

$$P_{EL} = 0.25 \cdot P_P \quad (4.101)$$

n. Se stabilesc gradele de acoperire energetică medii lunare totale :

$$G_{AE} = \frac{P_{CP}}{P_{CONS} + P_{EL}} \cdot 100 \quad (4.102)$$

4.2.4. Exemple de calcul pentru metoda lunară

Metoda de evaluare a performanțelor energetice ale instalației solare, atât pentru încălzirea spațiilor cât și pentru prepararea apei calde poate fi implementată într-un program de calcul tabelar. Se prezintă în continuare, în acest sens, un exemplu pentru încălzirea spațiilor și un alt exemplu pentru prepararea apei calde de consum. Rezervorul de acumulare are, în general, un volum care să permită consumatorului fructificarea întregii energii termice captate diurn de bucla solară.

a. Pentru încălzirea spațiilor

Date Configuratie Sistem Captare, Consumator, Date Clima			
Suprafata de Captare			
1	Unghi inclinare suprafata captare (φ_i) (°) =		40
2	Unghi azimut suprafata captare (φ_a) (°) =		0° SUD
3	Coeficient transfer termic captatoare (k_c) (W/m ² .K)	prospect	3
4	Suprafata de captare solara (S_c) (m ²) =		85.1
5	Coeficient absorbtie captatoare (α) (-) =	prospect	0.9
6	Coeficient transparenta captatoare (τ) (-) =	prospect	0.85
7	Factor geometric captatoare (F') (-) =	prospect	0.9
Serpentina rezervor acumulare			
1	Suprafata serpentina rezervor (S_s) (m ²) =		8.51
2	Coeficient transfer termic serpentina (k_s) (W/m ² .K) =		800
3	Volum rezervor acumulare (V_a) (l) =		4256
4	Debit agent termic bucla captatoare-serpentina (G_c) (l/h) =		4256
Consumator			
1	Suprafata instalatiei de incalzire centrala (S_{inc}) (m ²) =		216
2	Temperaturi nominala tur incalzire (t_{TO}) (°C) =		60
3	Temperatura nominala retur incalzire (t_{RO}) (°C) =		40
4	Temperatura interioara normata (t_{i0}) (°C) =		20
5	Temperatura exterioara nominala (t_{e0}) (°C) =		-15
6	Rezistenta termica instalatie incalzire (R_{inc}) (m ² .K/W) =		0.145
7	Coeficient transfer de caldura al instalatiei k_{INC} (W/m ² K) =		6.90
Etape de Calcul			
1	Modulul termic al suprafetei de captare (E_c) (-) =		0.955
2	Modulul termic al suprafetei serpentinei (E_s) (-) =		0.253
3	Modulul termic al buclei de captare (E_{cs}) (-) =		0.955
4	Raportul diferentelor de temperaturi (R_{t1}) (-) =		0.857
5	Raportul diferentelor de temperaturi (R_{t2}) (-) =		1.500
6	Debit agent termic instalatie incalzire (G_{inc}) (l/h) =		1921.3
7	Factorul adimensional FRB (-) =		0.866
8	Factorul adimensional FRC (-) =		17.5
9	Factorul adimensional FRBC (-) =		0.825
10	Factorul adimensional FINC (-) =		1.571
11	Factor de utilizare a energiei solare (f_u) (-) =		0.968

Date Climatice	Localitatea		Bucuresti										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Luna	Ian	Feb	Mar	Apr	Mai	Iun	iul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	AN
I_0 (W/m ²)	49.6	85	124.8	167.2	205.6	233.5	200.8	233.2	175.5	114.2	54.2	41.3	
t_e (°C)	-1.2	1.2	5.6	11.3	17.5	21.4	23.4	22.5	16.8	11.1	5.2	-0.2	
Stabilirea parametrilor intermediari de calcul													
Zile	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
f_{cap} (-)	1.71	1.43	1.25	1.07	0.97	0.91	0.93	1.05	1.22	1.44	1.58	1.63	
I (W/m ²)	84.816	121.55	156	178.904	199.432	212.485	186.744	244.86	214.11	164.448	85.636	67.319	
N_h (ore)	744	672	744	720	744				720	744	720	744	
f_s (-)	4.5	4	3.4	3	2.7	2.5	2.5	2.7	3	3.4	4	4.5	
Performanta Energetica													
β_{REF} (m ² .K/W)	0.056	0.039	0.027	0.016	0.005	-0.003	-0.007	-0.004	0.005	0.016	0.043	0.067	
η_{BC} (-)	0.42	0.48	0.53	0.57	0.61	0.64	0.66	0.65	0.61	0.57	0.46	0.37	
P_i (W)	7220	10347	13279	15229						13998	7290	5730	
P_{cons} (W)	27069	24005	18387	11109	0	0	0	0	0	11364	18897	25792	
P_{cp} (W)	2903	4818	6760	8380	0	0	0	0	0	7718	3270	2064	
P_{CT} (W)	24166	19187	11627	2729	0	0	0	0	0	3646	15627	23729	
GA_{et} (-)	10.72	20.07	36.77	75.44						67.92	17.30	8.00	33.746
RND (%)	40.208	46.566	50.905	55.027						55.137	44.856	36.013	46.959
E_i (kWh)	5372	6953	9880	10965						10415	5249	4263	53096
E_{cp} (kWh)	2160	3238	5029	6034						5742	2354	1535	26092
E_{cons} (kWh)	20139	16131	13680	7998						8455	13606	19189	99199

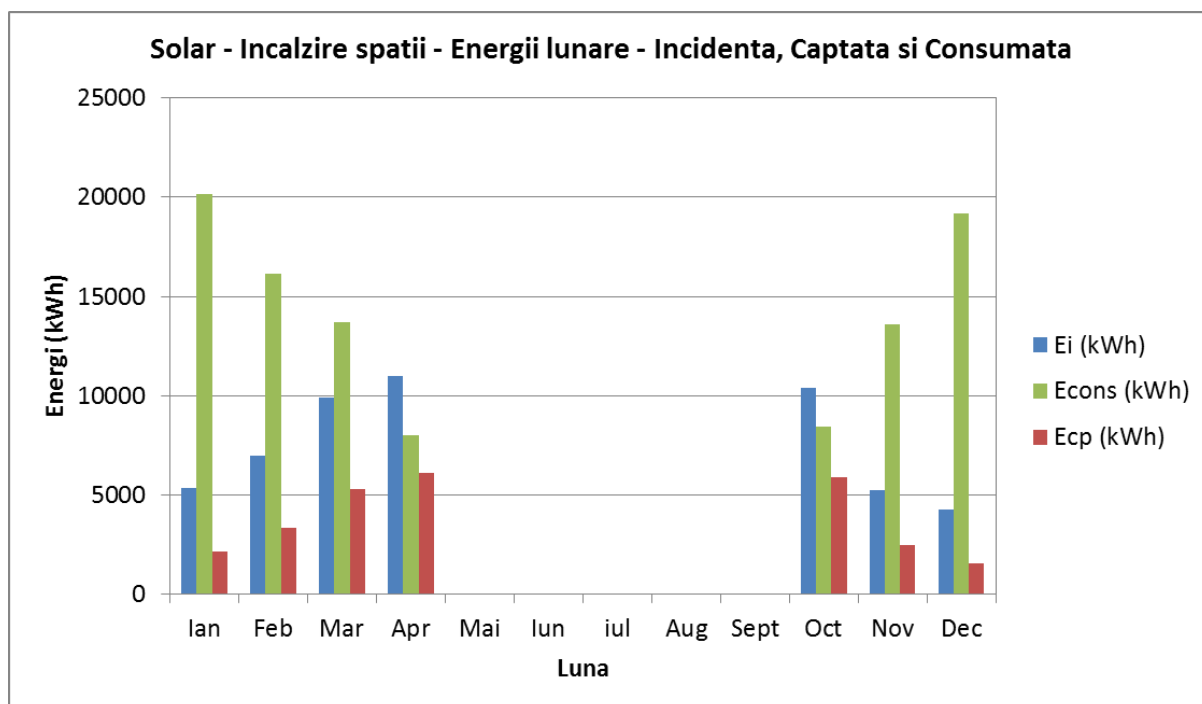


Figura 4.5. Energii lunare pentru incalzirea spatiului: Incidentă (Ei), Captată (Ecp) și Consumată (Econs)

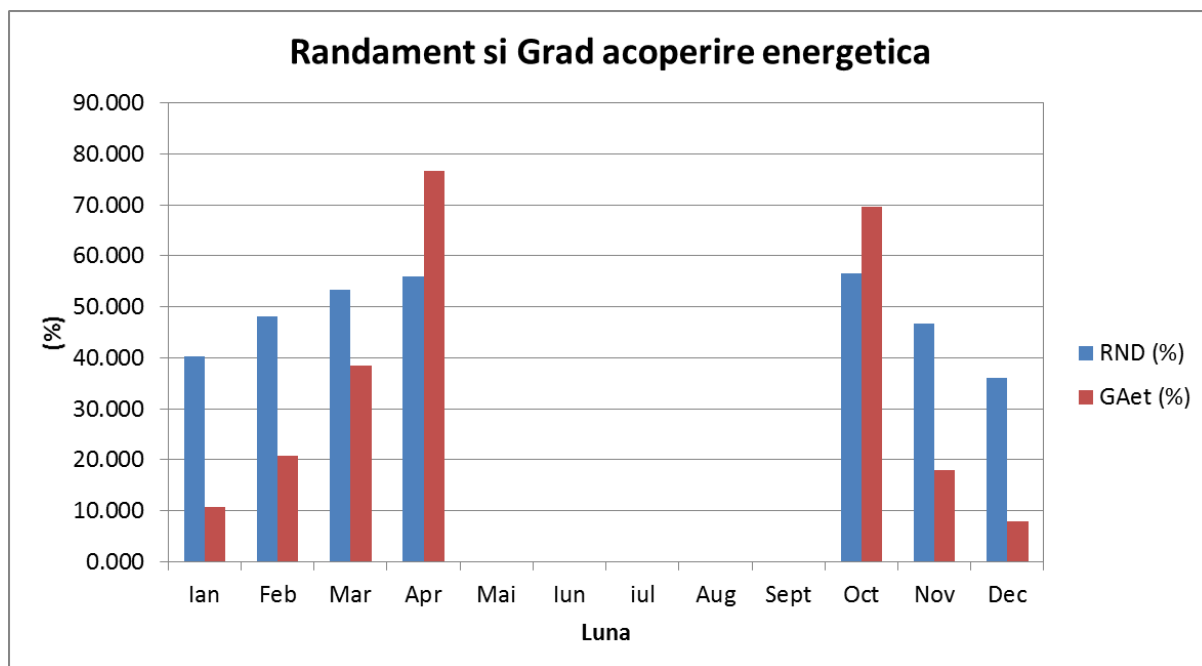


Figura 4.6 Randament și Grad acoperire energetică

b. Pentru prepararea apei calde de consum

Date Configuratie Sistem Captare, Consumator, Date Clima				
Suprafata de Captare				
1	Unghi inclinare suprafata captare fata de planul orizontal (ϕ_i) ($^\circ$) =			40
2	Unghi azimut suprafata captare (ϕ_a) ($^\circ$) =			0° SUD
3	Suprafata de captare solara (S_c) (m^2) =			22.5
4	Coeficient absorbtie captatoare (α) (-) =			0.9
5	Coeficient transparenta captatoare (τ) (-) =			0.85
6	Coeficient transfer termic captatoare (k_c) ($W/m^2.K$) =	prospect		3.5
7	Factor geometric captatoare (F') (-) =			0.9
Serpentina rezervor acumulare				
1	Suprafata serpentina rezervor (S_s) (m^2) =			1.5
2	Coeficient transfer termic serpentina (k_s) ($W/m^2.K$) =			800
3	Volum rezervor de acumulare (V_a) (l) =			1687.5
4	Debit agent termic bucla captatoare-serpentina (G_c) (l/h) =			1575
Consumator				
1	Debit orar de apa calda de consum (G_{cons}) (l/h) =			93.75
2	Temperaturi apa calda consum (θ_{ac}) ($^\circ C$) =	variabila lunar		55
3	Temperatura apa rece (θ_{ar}) ($^\circ C$) =	variabila lunar		15

Etape de Calcul				
1.	Modulul termic al suprafetei de captare (E_c) (-) =			0.962
2.	Modulul termic al suprafetei serpentinei (E_s) (-) =			0.519
3.	Modulul termic al buclei de captare (E_{cs}) (-) =			0.964
4.	Factor corectie sistem (FRB) (-) =			0.848
5.	Factor corectie consumator (FRC) (-) =			2.769
6.	Factor corectie bucla captare consumator (FRBC) (-) =			0.649
7.	Factor de utilizare (f_u) (-) =			1.000

Localitatea		Bucuresti											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Date Climatice	Ian	Feb	Mar	Apr	Mai	Iun	Iul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
I_o (W/m ²)	49.6	85	124.8	167.2	205.6	233.5	200.8	233.2	175.5	114.2	54.2	41.3	
t_e (°C)	-1.2	1.2	5.6	11.3	17.5	21.4	23.4	22.5	16.8	11.1	5.2	-0.2	
t_{ar} (°C)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
Stabilirea parametrilor intermediari de calcul													AN
f_{cap} (-)	1.71	1.43	1.25	1.07	0.97	0.91	0.93	1.05	1.22	1.44	1.58	1.63	
I (W/m ²)	84.816	121.55	156	178.904	199.432	212.485	186.744	244.86	214.11	164.448	85.636	67.319	
N_h (ore)	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8760
f_s (-)	4.5	4	3.4	3	2.7	2.5	2.5	2.7	3	3.4	4	4.5	
Performanta Energetica													
β_{REF} (m ² .K/W)	0.042	0.028	0.018	0.007	-0.005	-0.012	-0.018	-0.011	-0.003	0.007	0.029	0.050	
η_{BC} (-)	0.400	0.432	0.456	0.481	0.507	0.524	0.538	0.522	0.503	0.481	0.432	0.383	
P_i (W)	1908.36	2734.875	3510	4025.34	4487.22	4780.913	4201.74	5509.35	4817.475	3700.08	1926.81	1514.678	3593.07
P_{cons} (W)	4361.250	4361.250	4361.250	4361.250	4361.250	4361.250	4361.250	4361.250	4361.250	4361.250	4361.250	4361.250	4361.250
P_{CP} (W)	763.724	1181.876	1601.873	1936.105	2275.887	2505.289	2258.547	2878.197	2423.243	1778.977	831.681	579.566	1751.247
$P_{ELEC\ POMP\ A}$ (W)	28.000	28.000	28.000	28.000	28.000	28.000	28.000	28.000	28.000	28.000	28.000	28.000	28.000
RND (%)	40.020	43.215	45.637	48.098	50.719	52.402	53.753	52.242	50.301	48.079	43.164	38.263	47.158
G_{AET} (%)	17.51	27.10	36.73	44.39	52.18	57.44	51.79	65.99	55.56	40.79	19.07	13.29	40.15%
GAE (%)	17.40	26.93	36.50	44.11	51.85	57.08	51.46	65.57	55.21	40.53	18.95	13.20	39.90%
E_i (kWh)	1419.82	1837.836	2611.44	2898.245	3338.492	3442.257	3126.095	4098.956	3468.582	2752.86	1387.303	1126.92	31508.81
E_{cp} (kWh) - RECUPERAT	568.2109	794.2209	1191.793	1393.995	1693.26	1803.808	1680.359	2141.378	1744.735	1323.559	598.8105	431.1968	15365.33
E_{cons} (kWh)	3244.77	2930.76	3244.77	3140.1	3244.77	3140.1	3244.77	3244.77	3140.1	3244.77	3140.1	3244.77	38204.55
$E_{ELEC\ POMP\ A}$ (kWh)	20.832	18.816	20.832	20.16	20.832	20.16	20.832	20.832	20.16	20.832	20.16	20.832	245.28

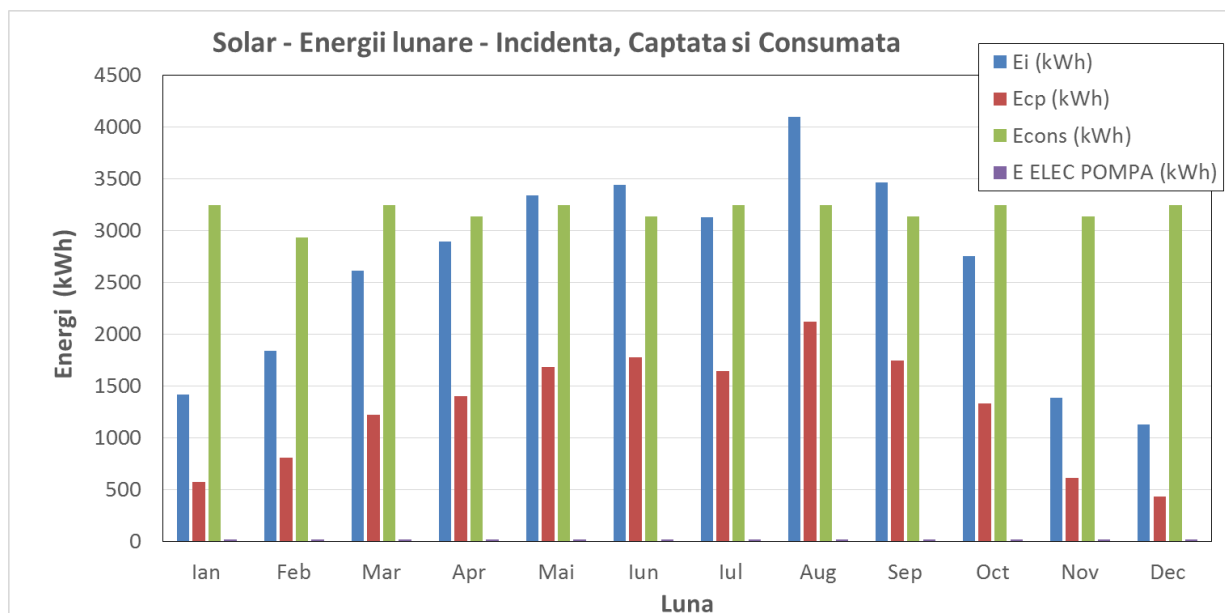


Figura 4.7 Solar - Energii lunare : Incidentă, Captată și Consumată

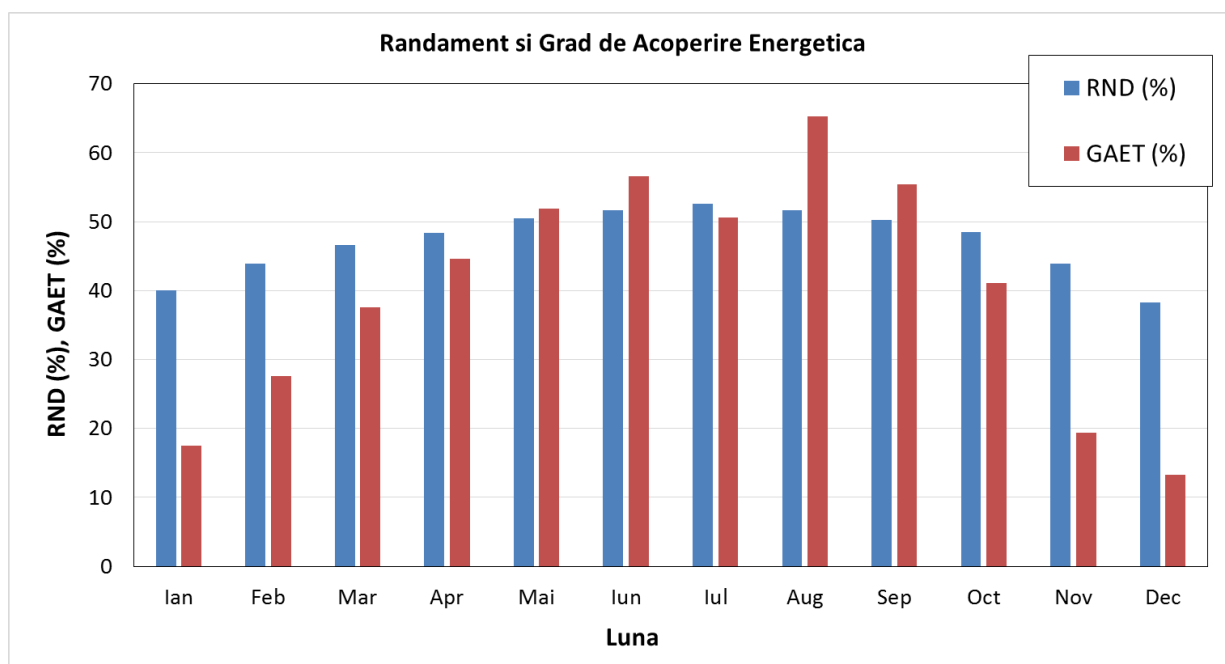


Figura 4.8 Randament și Grad de Acoperire Energetică

Anexa A1 (informativă)

Valorile factorului de corecție, f_{cap} , funcție de unghiul de înclinare și orientarea față de
axa Sud – Nord

ϕ_i	30°						
ϕ_a	Vest 90°	Vest 60°	Vest 30°	0°	Est 30°	Est 60°	Est 90°
ian	0.94	1.23	1.48	1.59	1.51	1.29	0.99
feb	0.93	1.13	1.30	1.37	1.32	1.17	0.97
mar	0.92	1.06	1.17	1.22	1.20	1.11	0.97
apr	0.94	1.02	1.07	1.09	1.07	1.02	0.94
mai	0.94	0.99	1.01	1.01	1.00	0.97	0.92
iun	0.93	0.96	0.97	0.97	0.96	0.95	0.92
iul	0.91	0.95	0.97	0.98	0.99	0.98	0.95
aug	0.94	1.02	1.06	1.08	1.05	1.00	0.92
sep	0.95	1.09	1.18	1.21	1.17	1.07	0.93
oct	0.96	1.16	1.32	1.37	1.31	1.15	0.95
nov	0.94	1.19	1.40	1.49	1.42	1.23	0.97
dec	0.96	1.23	1.45	1.52	1.43	1.20	0.94

ϕ_i	35°						
ϕ_a	Vest 90°	Vest 60°	Vest 30°	0°	Est 30°	Est 60°	Est 90°
ian	0.93	1.25	1.53	1.66	1.57	1.31	0.99
feb	0.92	1.14	1.32	1.40	1.35	1.18	0.96
mar	0.91	1.06	1.18	1.24	1.21	1.11	0.96
apr	0.92	1.01	1.06	1.08	1.06	1.01	0.92
mai	0.92	0.97	0.99	0.99	0.98	0.95	0.90
iun	0.91	0.94	0.95	0.94	0.94	0.93	0.90
iul	0.89	0.93	0.95	0.96	0.97	0.96	0.93
aug	0.92	1.01	1.06	1.07	1.04	0.99	0.90
sep	0.94	1.08	1.19	1.22	1.17	1.06	0.91
oct	0.94	1.17	1.34	1.41	1.34	1.16	0.93
nov	0.92	1.20	1.44	1.54	1.47	1.25	0.96
dec	0.95	1.25	1.49	1.58	1.47	1.22	0.92

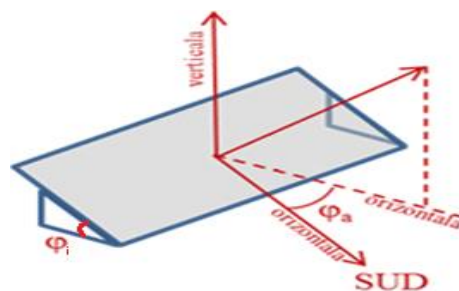
ϕ_i	40°						
ϕ_a	Vest 90°	Vest 60°	Vest 30°	0°	Est 30°	Est 60°	Est 90°
ian	0.91	1.26	1.57	1.71	1.62	1.33	0.98
feb	0.90	1.14	1.34	1.43	1.37	1.18	0.95
mar	0.89	1.05	1.18	1.25	1.21	1.10	0.94
apr	0.90	1.00	1.05	1.07	1.05	1.00	0.90
mai	0.90	0.95	0.97	0.97	0.96	0.93	0.87
iun	0.88	0.92	0.92	0.91	0.92	0.91	0.88
iul	0.87	0.91	0.93	0.93	0.95	0.94	0.90
aug	0.90	0.99	1.04	1.05	1.03	0.97	0.87
sep	0.92	1.08	1.19	1.22	1.17	1.06	0.89
oct	0.93	1.17	1.36	1.44	1.35	1.16	0.91
nov	0.91	1.21	1.47	1.58	1.50	1.26	0.95
dec	0.94	1.27	1.54	1.63	1.51	1.23	0.91

ϕ_i	45°						
ϕ_a	Vest 90°	Vest 60°	Vest 30°	0°	Est 30°	Est 60°	Est 90°
ian	0.90	1.27	1.61	1.76	1.66	1.35	0.97
feb	0.88	1.13	1.35	1.45	1.38	1.18	0.93
mar	0.87	1.04	1.18	1.25	1.21	1.09	0.92
apr	0.88	0.98	1.04	1.05	1.04	0.98	0.88
mai	0.88	0.93	0.95	0.94	0.94	0.91	0.85
iun	0.86	0.89	0.89	0.88	0.89	0.88	0.85
iul	0.84	0.89	0.90	0.90	0.92	0.92	0.88
aug	0.88	0.97	1.02	1.03	1.00	0.95	0.85
sep	0.90	1.07	1.18	1.22	1.17	1.04	0.87
oct	0.91	1.17	1.37	1.45	1.36	1.16	0.90
nov	0.89	1.21	1.49	1.62	1.53	1.26	0.93
dec	0.92	1.27	1.57	1.67	1.54	1.23	0.89

φi	50°						
φa	Vest 90°	Vest 60°	Vest 30°	0°	Est 30°	Est 60°	Est 90°
ian	0.88	1.26	1.63	1.80	1.69	1.35	0.95
feb	0.86	1.12	1.35	1.46	1.39	1.18	0.91
mar	0.84	1.02	1.17	1.24	1.20	1.08	0.90
apr	0.86	0.96	1.01	1.03	1.01	0.96	0.86
mai	0.85	0.91	0.92	0.91	0.91	0.88	0.82
iun	0.83	0.86	0.86	0.84	0.85	0.85	0.82
iul	0.81	0.86	0.87	0.87	0.89	0.89	0.85
aug	0.86	0.95	0.99	1.00	0.98	0.92	0.82
sep	0.87	1.05	1.17	1.21	1.15	1.02	0.85
oct	0.89	1.16	1.38	1.46	1.37	1.15	0.88
nov	0.87	1.20	1.51	1.65	1.55	1.26	0.92
dec	0.90	1.27	1.59	1.70	1.56	1.23	0.87

φi	55°						
φa	Vest 90°	Vest 60°	Vest 30°	0°	Est 30°	Est 60°	Est 90°
ian	0.86	1.26	1.64	1.82	1.70	1.35	0.94
feb	0.84	1.11	1.35	1.47	1.39	1.17	0.89
mar	0.82	1.00	1.15	1.23	1.19	1.06	0.88
apr	0.83	0.93	0.99	1.00	0.99	0.93	0.83
mai	0.82	0.88	0.89	0.87	0.87	0.85	0.79
iun	0.80	0.83	0.82	0.80	0.81	0.82	0.79
iul	0.78	0.83	0.83	0.83	0.85	0.86	0.83
aug	0.83	0.92	0.96	0.96	0.95	0.89	0.79
sep	0.85	1.03	1.15	1.19	1.13	1.00	0.82
oct	0.87	1.15	1.37	1.46	1.36	1.13	0.85
nov	0.85	1.19	1.51	1.66	1.55	1.25	0.90
dec	0.88	1.27	1.60	1.72	1.57	1.22	0.85

φi	60°						
φa	Vest 90°	Vest 60°	Vest 30°	0°	Est 30°	Est 60°	Est 90°
ian	0.84	1.25	1.65	1.84	1.71	1.34	0.92
feb	0.81	1.09	1.34	1.46	1.38	1.15	0.87
mar	0.80	0.98	1.13	1.21	1.17	1.04	0.85
apr	0.81	0.91	0.96	0.96	0.95	0.91	0.81
mai	0.79	0.85	0.85	0.83	0.83	0.82	0.76
iun	0.77	0.80	0.78	0.75	0.77	0.79	0.76
iul	0.75	0.79	0.79	0.78	0.81	0.83	0.80
aug	0.80	0.89	0.93	0.92	0.91	0.86	0.77
sep	0.82	1.00	1.12	1.17	1.11	0.98	0.80
oct	0.85	1.13	1.36	1.45	1.34	1.11	0.83
nov	0.83	1.18	1.51	1.67	1.55	1.24	0.87
dec	0.86	1.25	1.61	1.73	1.57	1.21	0.82



4.3. Sisteme de cogenerare

4.3.1. Obiective și domenii de aplicare

În acest capitol se descrie o metodă de evaluare a performanțelor unităților de cogenerare integrate în clădiri. Aceste unități sunt cunoscute sub numele de unități de microcogenerare, minicogenerare sau unități de cogenerare de mică putere (respectiv de puteri electrice mai mici de 1 MWe). Metoda se bazează pe calculul producției de energie electrică, al producției de căldură utilă și al pierderilor termice recuperabile.

O unitate de cogenerare integrată în clădire este o unitate de cogenerare instalată cu scopul de a furniza diverse servicii (ex. încălzire, preparare apă caldă pentru consum menajer și eventual, răcirea într-o clădire - ceea ce conduce la conceptul de trigenerare).

Unitatea de cogenerare poate funcționa individual, ca sursă unică de producere a energiei termice în clădire sau, așa cum se întâmplă de cele mai multe ori, asociată și cu alte surse de producere a energiei termice/frigului (cum ar fi cazane, mașini frigorifice cu absorbție sau compresie mecanică).

Spre deosebire de sistemele de încălzire centralizată în care căldura și energia electrică sunt produse la nivelul instalațiilor centrale și apoi transmise printr-un ansamblu de rețele la consumatorii situați la distanțe mai mici sau mai mari față de sursă, o unitate de cogenerare integrată în clădire produce căldură utilă care va fi utilizată local, chiar în interiorul clădirii.

Energia electrică produsă de unitatea de cogenerare integrată poate fi la rândul ei utilizată integral în clădire, sau poate fi și exportată în rețeaua de distribuție a energiei electrice (în SEN- sistemele naționale de distribuție a energiei electrice).

Calculul se bazează pe caracteristici de performanță ale unităților de cogenerare în condițiile de funcționare bazate pe cererea de căldură a consumatorilor. Aceste caracteristici de performanță trebuie să fie în acord cu reglementările europene și cu Regulamentul 305/2011 privind condițiile armonizate pentru comercializarea produselor pentru construcții.

Unitatea de cogenerare poate fi de orice tip (ex. motor termic, pilă de combustie etc.) de cele mai multe ori incluzând o sursă de vârf suplimentară și un rezervor de acumulare a energiei termice. Pentru calcule, sunt necesare datele de intrare, deci sistemul să fi fost testat în ansamblul său și să existe valori ale parametrilor caracteristici, pentru a avea toate informațiile necesare privind performanța energetică.

Primul pas este acela de a se realiza o schemă care definește limitele sistemului și fluxurile energetice. În Figura 4.9. este ilustrat un exemplu de configurare a unui sistem - ansamblu de instalații, utilizând un motor termic.

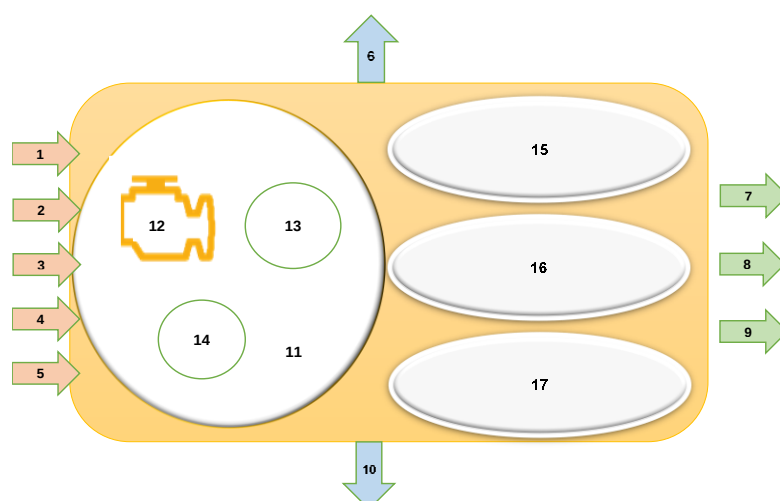


Figura 4.9. Configurarea limitelor pentru un sistem cu o unitate de cogenerare de mică putere cu motor cu ardere internă

1-energia primară introdusă prin combustibilul utilizat; 2-energie electrică aferentă echipamentelor auxiliare; 3-alimentare cu aer; 4- alimentare cu gaz; 5- sursă de apă rece de consum; 6- produse de ardere; 7- agent termic de încălzire; 8- energie electrică; 9- apă caldă de consum; 10- condensat; 11- ansamblul echipamentelor unității de cogenerare; 12- motor cu ardere internă; 13- generator de energie electrică; 14- sistem de control al producției de energie termică și electrică; 15- sursă de vârf pentru căldură; 16-modulul de reglare (management) a furnizării căldurii; 17- modulul de control/reglare/automatizare a funcționării unității și serviciilor furnizate

4.3.2. Principiul metodelor de calcul

Metodele ce se pot aplica vizează calculul consumului de combustibil, al energiei necesare funcționării echipamentelor auxiliare și calculul pierderilor recuperabile din unitățile de cogenerare ce furnizează energie electrică și energie termică necesară pentru încălzire, preparare a apei calde de consum și eventual răcire. Se pot aplica în principiu 2 metode: metoda profilului anual de încărcare și respectiv metoda „contribuției fracționate”.

Metoda profilului de încărcare anuală

Această metodă presupune trasarea curbelor clasate anuale pentru necesarul de căldură și de energie electrică. În această metodă se presupune ca întreaga cantitate de energie termică produsă în unitatea de cogenerare este consumată.

Metoda „contribuției fracționate”

În această metodă, la fiecare pas de timp de calcul ales se determină producția de energie termică din unitatea de cogenerare. Pentru fiecare putere termică, puterea electrică este calculată prin interpolare liniară între valori de date ale produselor în conformitate cu SR EN 50465. Calculele se pot realiza utilizând valori medii pe perioada unui an, divizând anul în intervale care pot fi ore, săptămâni sau luni.

lunare, săptămânale, sau cu alt pas de timp, calculând consumurile aferente, și apoi însumându-le. Această metodă oferă o acuratețe mai bună a rezultatelor obținute, de aceea se va prezenta în continuare mai detaliat.

Performanța unei unități de microcogenerare (randamentul termic, randamentul electric, randamentul global) variază în funcție de sarcina și condițiile de funcționare. În acest sens, în Raportul tehnic SR CEN/TR 15316-6-7 sunt furnizate informații suplimentare și sunt redată și valori implicite ce pot fi utilizate în calcule pentru diverse unități de cogenerare. Energia termică produsă poate fi utilizată pentru diverse servicii (încălzire, producere de apă caldă de consum menajer și eventual pentru răcire, prin intermediul unei mașini frigorifice cu absorbție - MFA). Pentru aceste servicii sunt necesare diverse racorduri la surse de apă, cuplarea cu rezervoare de acumulare etc. care trebuie cunoscute pentru aplicarea metodei de calcul.

Componentele conexiunilor electrice nu sunt luate în considerare decât dacă fac parte din unitatea de cogenerare și dacă au fost supuse la încercări/teste împreună.

4.3.2.1. Date de ieșire relevante pentru evidențierea performanței energetice

Pentru cazul surselor de cogenerare, din calculele efectuate se va urmări obținerea următoarelor date relevante pentru performanța energetică (Tabelul 4.1.):

Tabel 4. 1 Date relevante pentru performanța energetică

Descriere	Simbol	Unitatea de măsură
Consumul de energie primară	$E_{\text{gen;in,cr}}$	kWh
Producția de căldură utilă	$Q_{\text{CHW;gen;out}}$	kWh
Energie electrică (utilă) la ieșire din sistem	$E_{\text{el;gen;out}}$	kWh
Pierderi termice recuperabile	$Q_{\text{gen;ls;rbt}}$	kWh
Energia aferentă consumului aparatelor /echipamentelor auxiliare	$W_{\text{gen;aux}}$	kWh
Tipul de combustibil consumat (combustibil lichid, gaz, biogaz, biomasă etc.)	CGN_FUEL	
Randament electric la sarcina nominală $P_{\text{th;gen;out}}$	$\eta_{\text{el;cg}}$	-
Randament termic la sarcina nominală $P_{\text{th;gen;out}}$	$\eta_{\text{th;cg}}$	-
Timp echivalent de funcționare la sarcina nominală	t_{cg}	h
Factor de consum energetic	ε_{cg}	-
Indicele de cogenerare (raportul între energie electrică și termică)	σ_{cg}	-

4.3.2.2. Date de intrare

Datele de intrare necesare se referă atât la identificarea calitativă a echipamentelor (tipului acestora) dar și din punct de vedere cantitativ (valori ale parametrilor de interes necesari în

calcule). Datele utilizate în calcule respectiv cele furnizate de producători trebuie să fie declarate conform SR EN 50465 sau a SR ISO 3046-1. Datele de intrare solicitate pentru unitățile de cogenerare sunt redată în ANEXA A din SR EN 15316-4-4. Atunci când nu se cunosc aceste valori, unele date de bază pot fi introduse cu valori implicite furnizate în Anexa B aferentă SR EN 15316-4-4 și ANEXA C din SR CEN/TR 15316-6-7. În figura următoare este redat un exemplu de date de produs, declarate conform SR EN 50465, care descriu performanțele unităților de cogenerare la diverse sarcini de funcționare.

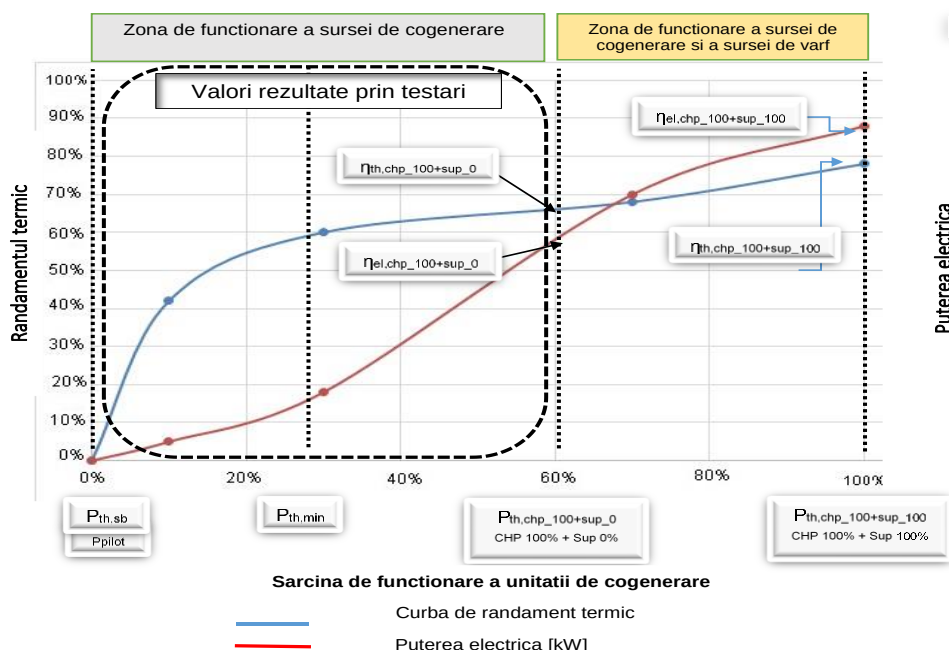


Figura 4.10. Exemplu de curbe sarcină-performanță pentru randamentul termic și electric pentru date de produs conform SR EN 50465

Date caracteristice și de identificare a echipamentelor

Descrierea produselor (identificare calitativă)

Datele necesare pentru identificarea calitativă a produselor pentru această metodă de calcul sunt prezentate în SR EN 15316-4-4 Tabelul B.1. din ANEXA B. Acestea se referă la identificarea tipului tehnicii de cogenerare (ex. motor Stirling, motor cu ardere internă, microturbină etc.), la tipul serviciilor furnizate (ex. încălzire, apă caldă de consum etc.) la tipul combustibilului utilizat (gaz, biogaz, biomasă etc.) și la numărul unităților de cogenerare.

Datele tehnice ale echipamentelor (din punct de vedere cantitativ)

Evaluarea performanței energetice a unităților de cogenerare este bazată pe testările de (echipamente) în conformitate cu SR EN 50465. În cazul în care se utilizează unități ce conțin pile de combustie, trebuie acordată o atenție specială deoarece acestea impun condiții de funcționare și constrângeri speciale. Datele tehnice ale produselor necesare pentru această metodă de calcul sunt prezentate în Tabelul 4.2.

Tabel 4.2 Date tehnice de intrare necesare pentru aplicarea metodei
(sursa: SR EN 15316-4-4)

Caracteristici	Simbol	Unitate de măsură din catalog	Unitate de măsură de calcul	Interval de valori valide
Producție de căldură utilă la funcționarea la sarcină maximă a surselor, atât de cogenerare (CHP) cât și a sursei de vârf (Sup) CHP 100 % + Sup 100 %	$P_{th;chp_100+sup_100}$	kW	kW	[0:70]
Putere electrică utilă (la ieșire) la CHP 100 % + Sup 100 %	$P_{el;out;chp_100+sup_100}$	kW	kW	[0:50]
Puterea aferentă aparatelor auxiliare la CHP 100 % + Sup 100 %	$P_{aux;chp_100+sup_100}$	kW	kW	[0:20]
Randament global la CHP 100 % + Sup 100 %	$\eta_{chp_100+sup_100}$	-	-	[0:1,2]
Randament termic la CHP 100 % + Sup 100 %	$\eta_{th;chp_100+sup_100}$	-	-	[0:1]
Randament electric la CHP 100 % + Sup 100 %	$\eta_{el;chp_100+sup_100}$	-	-	[0:0,5]
Producție de căldură utilă la funcționarea la sarcină maximă a sursei de cogenerare fără sursa de vârf (Sup) CHP 100 % + Sup 0 %	$P_{th;chp_100+sup_0}$	kW	kW	[0:70]
Putere electrică nominală la ieșire la CHP 100 % + Sup 0 %	$P_{el;out;chp_100+sup_0}$	kW	kW	[0:50]
Puterea aparatelor auxiliare la CHP 100 % + Sup 0 %	$P_{aux;chp_100+sup_0}$	kW	kW	[0:20]
Randamentul global la CHP 100 % + Sup 0 %	$\eta_{chp_100+sup_0}$	-	-	[0:1,2]
Randament termic la CHP 100 % + Sup 0 %	$\eta_{th;chp_100+sup_0}$	-	-	[0:1]
Randament electric la CHP 100 % + Sup 0 %	$\eta_{el;chp_100+sup_0}$	-	-	[0:0,5]
Putere termică minimă reglată constant	$P_{th;min}$	kW	kW	[0:50]
Pierderi termice în regim stabilizat	$P_{ls;sb}$	kW	kW	[0:20]
Putere termică la ieșire în mod în așteptare” (stand-by)	$P_{el;out;sb}$	kW	kW	[0:20]

Caracteristici	Simbol	Unitate de măsură din catalog	Unitate de măsură de calcul	Interval de valori valide
Puterea aparatelor/echipamentelor auxiliare în mod „în așteptare” (stand-by)	$P_{aux;sb}$	kW	kW	[0:20]
Puterea permanentă a arzătorului ce inițiază aprinderea	P_{pilot}	kW	kW	[0:20]

Se pot utiliza valori implicite care sunt furnizate în Anexa A Tabel B2. din SR EN 15316-4-4.

Datele de configurare a sistemului și proceselor

Datele necesare pentru configurarea sistemului se referă la amplasamentul unității de cogenerare (respectiv dacă este în spațiu încălzit/neîncălzit), racordurile hidraulice pe care le are unitatea (de exemplu existența rezervoarelor de acumulare etc.) precum și modul de reglare a funcționării sistemului.

Unitățile de cogenerare funcționează la puteri reglabile cuprinse între valori minime și maxime și funcționează în general în funcție de cererea de căldură. Pot fi aplicate și alte criterii de reglare și care pot influența performanța echipamentului de mCHP .

Date privind condițiile de funcționare

Datele condițiilor de funcționare necesare pentru această metodă de calcul sunt prezentate în tabelul următor.

Tabel 4.3 Condiții de funcționare (sursa SR EN 15316-4-4)

Nume	Simbol	Unitate de măsură	Plajă de valori
Energia termică (la ieșire) transmisă spre subsistemul sau subsistemele de distribuție de a căldurii	$Q_{CHW;dis;in}$	kWh	0...∞
Pasul de timp	t	h, m	1...8 760
Durata modului „în așteptare” (stand-by)	t_{sb}	h	1...8 760

Standardele SR EN 50465 și SR ISO 3046-1 oferă date:

- la încărcare de 0% (regim „în așteptare” – stand-by);
- la funcționarea CHP 100% și Sup 0% (energia termică și electrică produse de sursa de bază, în cogenerare, fără funcționarea sursei de vârf);
- la CHP 100% și Sup 100% (energia termică și electrică produse de sursa de bază, în cogenerare, dar și energia termică produsă de sursele de vârf, la capacitățile lor nominale).

La funcționare între aceste puncte se face o interpolare liniară, pentru a estima puterea electrică, puterea aferentă echipamentelor auxiliare și pierderile termice pentru fiecare punct, între sarcinile de la 0% la 100%.

4.3.2.3. Pasul de timp

Pasul de timp recomandat, care oferă acuratețea cea mai bună, este pasul de timp orar, dar se poate utiliza și un pas de timp anual sau lunar.

4.3.2.4. Procedura de calcul (sursa - SR EN 15316-4-4)

Producția de energie termică a unității de cogenerare se calculează la fiecare pas de timp de calcul. Corespunzător acesteia, prin interpolare liniară ale datelor produselor, se determină puterea electrică (un exemplu este dat în figura 4.11).

Puterea termică reală se calculează ca fiind:

$$P_{th,gen,out} = \min(P_{th,chp_100+sup_100} ; (Q_{CHW;gen,out}/t)) \quad [kW] \quad (4.103)$$

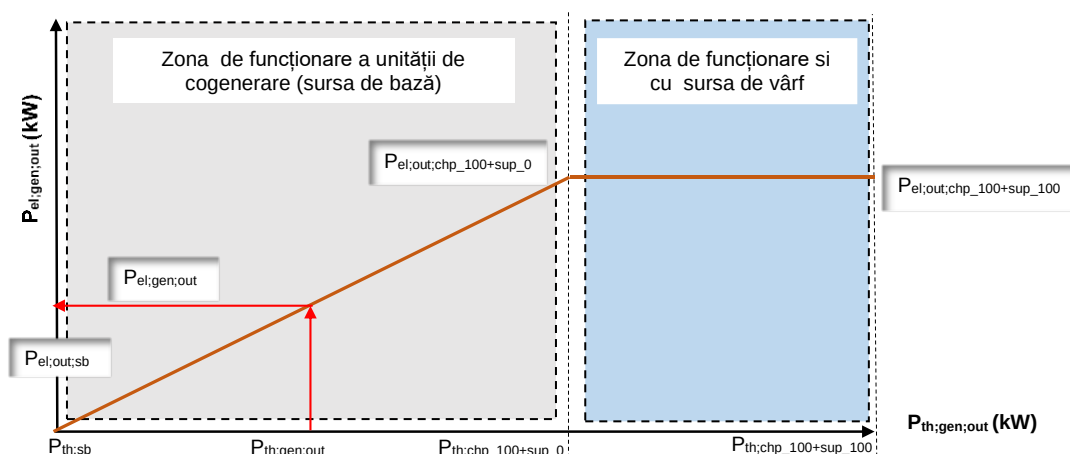


Figura 4.11. Mod de determinare a puterii electrice (sursa - SR EN 15316-4-4)

$P_{th,sb}$ corespunde modului de funcționare „în așteptare” (stand-by). Puterea electrică în această condiție de funcționare, $P_{el,out,sb}$, este egală cu 0, puterea echipamentelor auxiliare fiind ponderizată distinct. Pentru alte poziții ale punctului de funcționare, din interpolare liniară rezultă următoarele relații de calcul:

— Pentru $P_{th,sb} < P_{th,gen,out} < P_{th,chp_100+sup_0}$

$$P_{el,gen,out} = P_{el,out,sb} + (P_{el,out,chp_100+sup_0} - P_{el,out,sb}) * ((P_{th,gen,out} - P_{th,sb}) / (P_{th,chp_100+sup_0} - P_{th,sb})) \quad (4.104)$$

— Pentru $P_{th,chp_100+sup_0} < P_{th,gen,out} < P_{th,chp_100+sup_100}$

$$P_{el,gen,out} = P_{el,out,chp_100+sup_0} + (P_{el,out,chp_100+sup_100} - P_{el,out,chp_100+sup_0}) * ((P_{th,gen,out} - P_{th,chp_100+sup_0}) / (P_{th,chp_100+sup_100} - P_{th,chp_100+sup_0})) \quad (4.105)$$

Prin multiplicarea puterii rezultate cu timpul, rezultă energia electrică furnizată de sistem:

$$E_{el;gen;out} = P_{el;gen;out} t \quad (4.106)$$

Puterea aferentă echipamentelor auxiliare: trebuie calculată la fiecare pas de timp, inclusiv în modul de funcționare „în așteptare” (stand-by). Și această putere P_{aux} se poate calcula prin interpolare liniară, la fiecare putere termică (figura 4.12).

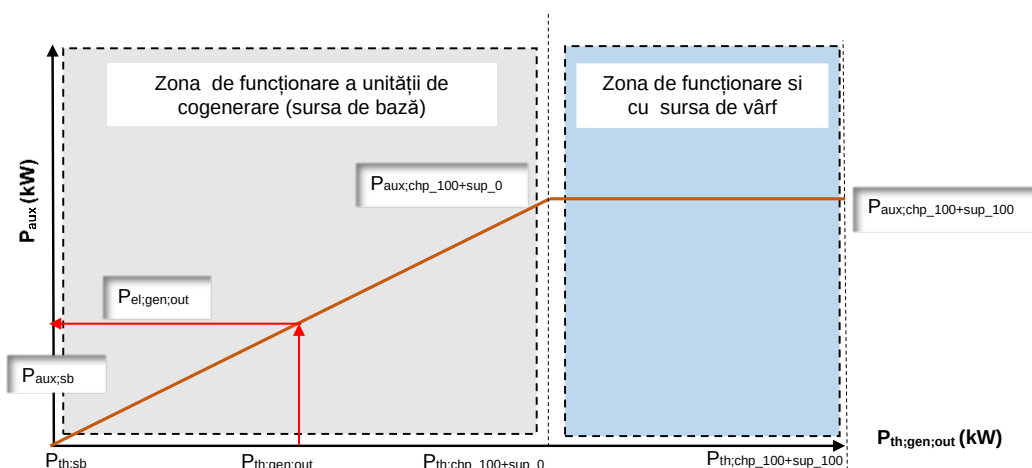


Figura 4.12. Mod de determinare a puterii aferente echipamentelor auxiliare (sursa - SR EN 15316-4-4)

Astfel:

— pentru $P_{th;sb} < P_{th;gen;out} < P_{th;chp_100+sup_0}$

$$P_{aux} = P_{aux;sb} + (P_{aux;chp_100+sup_0} - P_{aux;sb}) * ((P_{th;gen;out} - P_{th;sb}) / (P_{th;chp_100+sup_0} - P_{th;sb})) \quad (4.107)$$

— pentru $P_{th;chp_100+sup_0} < P_{th;gen;out} < P_{th;chp_100+sup_100}$

$$P_{aux} = P_{aux;chp_100+sup_0} + (P_{aux;chp_100+sup_100} - P_{aux;chp_100+sup_0}) * ((P_{th;gen;out} - P_{th;chp_100+sup_0}) / (P_{th;chp_100+sup_100} - P_{th;chp_100+sup_0})) \quad (4.108)$$

Energia aferentă echipamentelor auxiliare pentru pasul de timp se calculează cu relația :

$$W_{gen;aux} = P_{aux} t \quad (4.109)$$

Puterea aferentă echipamentelor auxiliare P_{aux} nu poate fi determinată la fiecare pas de timp dacă este măsurată și cunoscută **doar** producția de energie electrică neta (adică producția de energie electrică totală din care se scade consumul de energie al echipamentelor auxiliare).

Energia aferentă consumului echipamentelor auxiliare rezultă prin multiplicarea puterii din modul „în așteptare” (standby) $P_{aux;sb}$ cu timpul (durata t_{sb}):

$$W_{gen;aux} = P_{aux;sb} * t_{sb} \quad (4.110)$$

Această valoare este prevăzută în SR EN 15316-1.

Pierderile termice:

Puterea aferentă pierderilor termice la sursă $P_{gen;ls;sb}$, este suma pierderilor termice în modul în așteptare (stand-by) $P_{th;sb}$ și la nivelul sistemului de inițiere a arderii P_{pilot} .

$$P_{gen;ls;sb} = P_{ls;sb} + P_{pilot} \quad (4.111)$$

Pierderile termice la sursă sunt evidențiate prin randamentele termice :

$$P_{gen;in;chp_100+sup_0} = P_{th;chp_100+sup_0} / \eta_{th;chp_100+sup_0} \quad (4.112)$$

$$P_{gen;in;chp_100+sup_100} = P_{th;chp_100+sup_100} / \eta_{th;chp_100+sup_100} \quad (4.113)$$

Pierderile termice la CHP_100 % + Sup_0 % și CHP_100 % + Sup_100 % sunt calculate pe baza randamentului termic corespunzător acestor puncte de încercare/testare.

$$P_{gen;ls;chp_100+sup_0} = (1 - \eta_{th;chp_100+sup_0} - \eta_{el;chp_100+sup_0}) * P_{gen;in;chp_100+sup_0} \quad (4.114)$$

$$P_{gen;ls;chp_100+sup_100} = (1 - \eta_{th;chp_100+sup_100} - \eta_{el;chp_100+sup_100}) * P_{gen;in;chp_100+sup_100} \quad (4.115)$$

La fiecare pas de timp, se determină energia termică produsă de unitatea de cogenerare.

Pentru fiecare putere termică pierderile termice sunt determinate prin interpolare liniară între valorile datelor produselor (figura 4.13). Astfel:

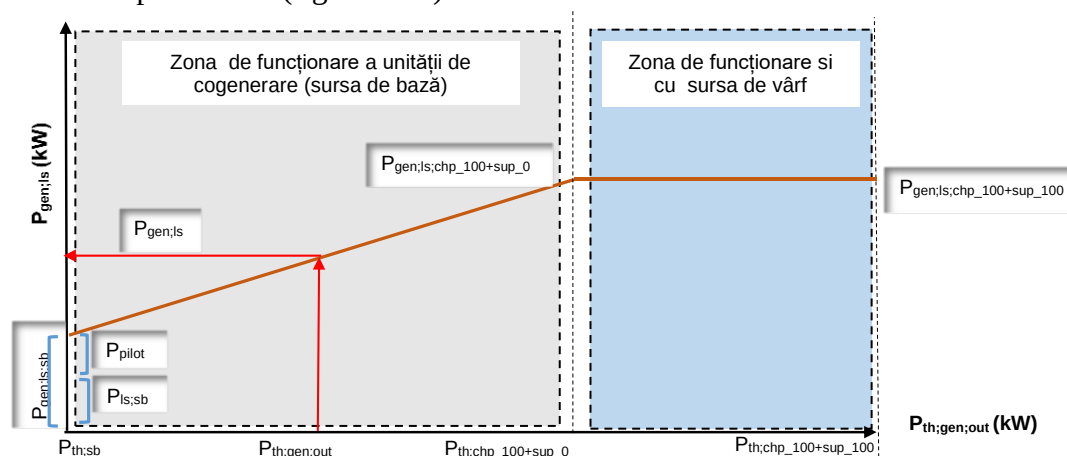


Figura 4.13. Mod de determinare a pierderilor termice (sursa - SR EN 15316-4-4)

Astfel:

- Pentru $P_{th;sb} < P_{th;gen,out} < P_{th;chp_100+sup_0}$

$$P_{gen;ls} = P_{gen;ls;sb} + (P_{gen;ls;chp_100+sup_0} - P_{gen;ls;sb}) * ((P_{th;gen,out} - P_{th;sb}) / (P_{th;chp_100+sup_0} - P_{th;sb})) \quad (4.116)$$

- Pentru $P_{th;chp_100+sup_0} < P_{th;gen,out} < P_{th;chp_100+sup_100}$

$$P_{gen;ls} = P_{gen;ls;chp_100+sup_0} + (P_{gen;ls;chp_100+sup_100} - P_{gen;ls;chp_100+sup_0}) * [(P_{th;gen,out} - P_{th;chp_100+sup_0}) /$$

$$(P_{th;chp_100+sup_100} - P_{th;chp_100+sup_0})] \quad (4.117)$$

Pierderile termice pentru pasul de timp considerat sunt calculate cu relația :

$$Q_{gen;ls} = P_{gen;ls} * t \quad (4.118)$$

Pierderile termice recuperabile

Din toate pierderile termice, doar pierderile în modul în așteptare (stand-by) pot fi recuperate în funcție de amplasarea unității de mCHP (în spațiu încălzit/neîncălzit).

Dacă aparatul se găsește într-un spațiu încălzit atunci :

$$Q_{gen;ls;rb;CHW} = P_{ls;sb} * t \quad (4.119)$$

Dacă aparatul nu este amplasat în spațiu încălzit atunci :

$$Q_{gen;ls;rb;CHW} = 0 \quad (4.120)$$

Cuplarea cu rezervoare de acumulare

În general unitățile de cogenerare nu sunt testate cu rezervor de acumulare, de aceea nu există date privind randamentele unui sistem de cogenerare care să aibă rezervor de acumulare.

Deoarece nici SR EN 50465, nici SR ISO 3046-1 nu furnizează informații suplimentare, în cazul existenței unui rezervor de acumulare, pierderile aferente stocării energiei termice trebuie să fie calculate separat. Acestea se pot calcula după cum este prevăzut la capitolul 3.3.8.

4.3.3. Calculul energiei primare în cazul utilizării unităților de cogenerare

Deoarece în calculul performanței energetice interesează consumul de energie primară acesta se calculează astfel:

- Puterea termică introdusă prin combustibilul utilizat în unitatea de mCHP

$$P_{gen;in} = P_{th;gen;out} + P_{el;gen;out} + P_{gen;ls} \quad (4.121)$$

- Energia la intrare, introdusă prin combustibilul utilizat în unitatea de mCHP :

$$E_{gen;in} = P_{gen;in} * t \quad (4.122)$$

Această valoare este prevăzută în SR EN 15316-1 și trebuie să fie corelată din punct de vedere al notațiilor cu tipurile de combustibil folosit de unitățile de mCHP :

$$\text{Dacă se utilizează biocombustibil lichid} \quad E_{gen;in,bf} = E_{gen;in} \quad (4.123)$$

$$\text{Dacă se utilizează biogaz} \quad E_{gen;in,bg} = E_{gen;in} \quad (4.124)$$

$$\text{Dacă se utilizează biomasa} \quad E_{gen;in,bm} = E_{gen;in} \quad (4.125)$$

$$\text{Dacă se utilizează gaz natural} \quad E_{gen;in,ng} = E_{gen;in} \quad (4.126)$$

$$\text{Dacă se utilizează ulei} \quad E_{gen;in,oi} = E_{gen;in} \quad (4.127)$$

Randamentele proceselor

La finalul calculelor se evidențiază următoarele valori:

— Randament electric : $\eta_{el;cgn}$ corespunzător $P_{th;gen;out}$

$$\eta_{el;cgn} = (P_{el;gen;out}) * t / E_{gen;in} \quad (4.128)$$

— Randament termic : $\eta_{th;cgn}$ corespunzător $P_{th;gen;out}$

$$\eta_{th;cgn} = P_{th;gen;out} * t / E_{gen;in} \quad (4.129)$$

— Timpul echivalent de funcționare la sarcină nominală : t_{cgn}

$$t_{cgn} = \min (1; (Q_{CHW;gen;out} / (P_{th;chp_100+sup_100} * t))) * t \quad (4.130)$$

— Factorul de consum energetic : ε_{cgn}

$$\varepsilon_{cgn} = E_{gen;in} / (Q_{CHW;gen;out} + E_{el;gen;out}) \quad (4.131)$$

— Raportul între energia electrică și cea termică (indicele de cogenerare): σ_{cgn}

$$\sigma_{cgn} = (E_{el;gen;out} - W_{gen;aux}) / Q_{CHW;gen;out} \quad (4.132)$$

În ANEXA 4.3.A este redată informativ schema de calcul pentru sistemele cu unități de cogenerare. În ANEXA 4.3.B este redat un exemplu de calcul în cazul utilizării unităților de cogenerare. În ANEXA 4.3.C este redat randamentul orientativ pentru diferite tehnologii de cogenerare integrate în clădiri (bazate pe puterea calorică inferioară a combustibilului).

ANEXA 4.3.A – SCHEMA DE CALCUL PENTRU UTILIZAREA UNITĂȚILOR DE COGENERARE (sursa SR CEN/TR 15316-6-7)

$P_{th;gen;out} = \min (P_{th;chp_100+sup_100} ; (Q_{CHW;gen;out} / t))$	1
Pentru $P_{th;sb} < P_{th;gen;out} < P_{th;chp_100+sup_0}$ $P_{el;gen;out} = P_{el;out;sb} + (P_{el;out;chp_100+sup_0} - P_{el;out;sb}) * ((P_{th;gen;out} - P_{th;sb}) / (P_{th;chp_100+sup_0} - P_{th;sb}))$	2
Pentru $P_{th;chp_100+sup_0} < P_{th;gen;out} < P_{th;chp_100+sup_100}$ $P_{el;gen;out} = P_{el;out;chp_100+sup_0} + (P_{el;out;chp_100+sup_100} - P_{el;out;chp_100+sup_0}) * ((P_{th;gen;out} - P_{th;chp_100+sup_0}) / (P_{th;chp_100+sup_100} - P_{th;chp_100+sup_0}))$	3
$E_{el;gen;out} = P_{el;gen;out} * t$	4
Pentru $P_{th;sb} < P_{th;gen;out} < P_{th;chp_100+sup_0}$ $P_{aux} = P_{aux;sb} + (P_{aux;chp_100+sup_0} - P_{aux;sb}) * ((P_{th;gen;out} - P_{th;sb}) / (P_{th;chp_100+sup_0} - P_{th;sb}))$	5
Pentru $P_{th;chp_100+sup_0} < P_{th;gen;out} < P_{th;chp_100+sup_100}$ $P_{aux} = P_{aux;chp_100+sup_0} + (P_{aux;chp_100+sup_100} - P_{aux;chp_100+sup_0}) * ((P_{th;gen;out} - P_{th;chp_100+sup_0}) / (P_{th;chp_100+sup_100} - P_{th;chp_100+sup_0}))$	6
$W_{gen;aux} = P_{aux} * t$	7
$P_{gen;ls;sb} = P_{ls;sb} + P_{pilot}$	8
$P_{gen;in;chp_100+sup_0} = P_{th;chp_100+sup_0} / \eta_{th;chp_100+sup_0}$	9
$P_{gen;in;chp_100+sup_100} = P_{th;chp_100+sup_100} / \eta_{th;chp_100+sup_100}$	10
$P_{gen;ls;chp_100+sup_0} = (1 - \eta_{th;chp_100+sup_0} - \eta_{el;chp_100+sup_0}) * P_{gen;in;chp_100+sup_0}$	11
$P_{gen;ls;chp_100+sup_100} = (1 - \eta_{th;chp_100+sup_100} - \eta_{el;chp_100+sup_100}) * P_{gen;in;chp_100+sup_100}$	12
Pentru $P_{th;sb} < P_{th;gen;out} < P_{th;chp_100+sup_0}$ $P_{gen;ls} = P_{gen;ls;sb} + (P_{gen;ls;chp_100+sup_0} - P_{gen;ls;sb}) * ((P_{th;gen;out} - P_{th;sb}) / (P_{th;chp_100+sup_0} - P_{th;sb}))$	13
Pentru $P_{th;chp_100+sup_0} < P_{th;gen;out} < P_{th;chp_100+sup_100}$ $P_{gen;ls} = P_{gen;ls;chp_100+sup_0} + (P_{gen;ls;chp_100+sup_100} - P_{gen;ls;chp_100+sup_0}) * ((P_{th;gen;out} - P_{th;chp_100+sup_0}) / (P_{th;chp_100+sup_100} - P_{th;chp_100+sup_0}))$	14
$Q_{gen;ls} = P_{gen;ls} * t$	15
Daca CGN_LOC = INT $Q_{gen;ls;rb;CHW} = P_{ls;sb} * t$	16
Daca CGN_LOC <> INT $Q_{gen;ls;rb;CHW} = 0$	17
$P_{gen;in} = P_{th;gen;out} + P_{el;gen;out} + P_{gen;ls}$	18
$E_{gen;in} = P_{gen;in} * t$	19
Daca CGN_COMBUSTIBIL = BF $E_{gen;in;bf} = E_{gen;in}$	20
Daca CGN_COMBUSTIBIL = BG $E_{gen;in;bg} = E_{gen;in}$	21
Daca CGN_COMBUSTIBIL = BM $E_{gen;in;bm} = E_{gen;in}$	22
Daca CGN_COMBUSTIBIL = NG $E_{gen;in;ng} = E_{gen;in}$	23
Daca CGN_COMBUSTIBIL = OI $E_{gen;in;oi} = E_{gen;in}$	24
$\eta_{el;cg} = (P_{el;gen;out} - P_{aux}) * t / E_{gen;in}$	25
$\eta_{th;cg} = P_{th;gen;out} * t / E_{gen;in}$	26
$t_{cg} = \min (1; (Q_{CHW;gen;out} / (P_{th;chp_100+sup_100} * t)))$	27
$\epsilon_{cg} = E_{gen;in} / (Q_{CHW;gen;out} + E_{el;gen;out} - W_{gen;aux})$	28
$\sigma_{cg} = (E_{el;gen;out} - W_{gen;aux}) / Q_{CHW;gen;out}$	29

Aceast tabel este reprodus cu acordul ASRO nr. LUC/19/353/25.04.2019. Orice încălcare a dreptului de autor asupra standardelor constituie infracțiune și se pedepsește conform Legii nr. 8/1996 privind dreptul de autor și drepturile conexe.

ANEXA 4.3.B Exemplu de calcul pentru cazul aplicării unui sistem cu unitate de cogenerare

Tabelul B.1 — Date de intrare (Sursa SR CEN/TR 15316-6-7)

	Valoare măsurată	Valoare implicită	
CGN_TYPE		FC	
CN_FUEL		BF	
CN_LOC		INT	
$\eta_{th;chp_100+sup_100}$	0,58	0,35	-
$\eta_{el;chp_100+sup_100}$	0,14	0,25	-
$\eta_{th;chp_100+sup_0}$	0,78	0,70	-
$\eta_{el;chp_100+sup_0}$	0,20	0,50	-
$P_{ls;sb}$	0,70	0,70	kW
P_{pilot}	0,00	0,00	kW
$P_{th;sb}$		0,00	kW
t_{ci}	1		h
$P_{th;chp_100+sup_100}$	70		kW
$P_{el;out;chp_100+sup_100}$	10		kW
$P_{aux;chp_100+sup_100}$	2		kW
$P_{th;chp_100+sup_0}$	50		kW
$P_{el;out;chp_100+sup_0}$	10		kW
$P_{aux;chp_100+sup_0}$	1		kW
$Q_{CHW;gen;out}$	60		kWh
$P_{el;out;sb}$	0		kW
$P_{aux;sb}$	0,2		kW

Aceast tabel este reprodus cu acordul ASRO nr. LUC/19/353/25.04.2019. Orice încălcare a dreptului de autor asupra standardelor constituie infracțiune și se pedepsește conform Legii nr. 8/1996 privind dreptul de autor și drepturile conexe.

Tabelul B.2 — Schema model de calcul

Relatie de calcul	Etapă de calcul	Simbol	Valoare	Unitate de măsură
$P_{th;gen;out} = \min (P_{th;chp_100+sup_100} ; (Q_{CHW;gen;out} / t))$	1	$P_{th;gen;out}$	60	kW
Pentru $P_{th;sb} \leq P_{th;gen;out} \leq P_{th;chp_100+sup_0}$ $P_{el;gen;out} = P_{el;out;sb} + (P_{el;out;chp_100+sup_0} - P_{el;out;sb})$ $* ((P_{th;gen;out} - P_{th;sb}) / (P_{th;chp_100+sup_0} - P_{th;sb}))$	2	$P_{el;gen;out}$		kW

<u>Pentru</u> $\frac{P_{th;chp_100+sup_0}}{P_{el;gen;out}} \leq \frac{P_{th;gen;out}}{P_{th;chp_100+sup_100}}$ $P_{el;gen;out} = P_{el;out;chp_100+sup_0} + (P_{el;out;chp_100+sup_100} - P_{el;out;chp_100+sup_0}) * ((P_{th;gen;out} - P_{th;chp_100+sup_0}) / (P_{th;chp_100+sup_100} - P_{th;chp_100+sup_0}))$	3	$P_{el;gen;out}$	10,000	kW
$E_{el;gen;out} = P_{el;gen;out} * t$	4	$E_{el;gen;out}$	10,000	kWh
<u>Pentru</u> $\frac{P_{th;sb}}{P_{th;gen;out}} \leq \frac{P_{th;chp_100+sup_0}}{P_{th;chp_100+sup_100}}$ $P_{aux} = P_{aux;sb} + (P_{aux;chp_100+sup_0} - P_{aux;sb}) * ((P_{th;gen;out} - P_{th;sb}) / (P_{th;chp_100+sup_0} - P_{th;sb}))$	5	P_{aux}		kW
<u>Pentru</u> $\frac{P_{th;chp_100+sup_0}}{P_{aux}} \leq \frac{P_{th;gen;out}}{P_{th;chp_100+sup_100}}$ $P_{aux} = P_{aux;chp_100+sup_0} + (P_{aux;chp_100+sup_100} - P_{aux;chp_100+sup_0}) * ((P_{th;gen;out} - P_{th;chp_100+sup_0}) / (P_{th;chp_100+sup_100} - P_{th;chp_100+sup_0}))$	6	P_{aux}	1,500	kW
$W_{gen;aux} = P_{aux} * t$	7	$W_{gen;aux}$	1,500	kWh
$P_{gen;ls;sb} = P_{ls;sb} + P_{pilot}$	8	$P_{gen;ls;sb}$	0,70	kW
$\frac{P_{gen;in;chp_100+sup_0}}{\eta_{th;chp_100+sup_0}} = \frac{P_{th;chp_100+sup_0}}{\eta_{th;chp_100+sup_0}}$	9	$P_{gen;in;chp_100+sup_0}$	64,103	kW
$\frac{P_{gen;in;chp_100+sup_100}}{\eta_{th;chp_100+sup_100}} = \frac{P_{th;chp_100+sup_100}}{\eta_{th;chp_100+sup_100}}$	10	$P_{gen;in;chp_100+sup_100}$	120,690	kW
$P_{gen;ls;chp_100+sup_0} = (1 - \eta_{th;chp_100+sup_0} - \eta_{el;chp_100+sup_0}) * P_{gen;in;chp_100+sup_0}$	11	$P_{gen;ls;chp_100+sup_0}$	1,282	kW
$P_{gen;ls;chp_100+sup_100} = (1 - \eta_{th;chp_100+sup_100} - \eta_{el;chp_100+sup_100}) * P_{gen;in;chp_100+sup_100}$	12	$P_{gen;ls;chp_100+sup_100}$	33,431	kW
<u>Pentru</u> $\frac{P_{th;sb}}{P_{th;gen;out}} \leq \frac{P_{th;chp_100+sup_0}}{P_{th;chp_100+sup_100}}$ $P_{gen;ls} = P_{gen;ls;sb} + (P_{gen;ls;chp_100+sup_0} - P_{gen;ls;sb}) * ((P_{th;gen;out} - P_{th;sb}) / (P_{th;chp_100+sup_0} - P_{th;sb}))$	13	$P_{gen;ls}$		kW
<u>Pentru</u> $\frac{P_{th;chp_100+sup_0}}{P_{gen;ls}} \leq \frac{P_{th;gen;out}}{P_{th;chp_100+sup_100}}$				
$P_{gen;ls} = P_{gen;ls;chp_100+sup_0} + (P_{gen;ls;chp_100+sup_100} - P_{gen;ls;chp_100+sup_0}) * [(P_{th;gen;out} - P_{th;chp_100+sup_0}) / (P_{th;chp_100+sup_100} - P_{th;chp_100+sup_0})]$	14	$P_{gen;ls}$	17,357	kW
$Q_{gen;ls} = P_{gen;ls} * t$	15	$Q_{gen;ls}$	17,357	kWh
Dacă $CGN_LOC = INT$ $Q_{gen;ls;rbl;CHW} = P_{ls;sb} * t$	16	$Q_{gen;ls;rbl;CHW}$	0,700	kWh
Dacă $CGN_LOC < > INT$ $Q_{gen;ls;rbl;CHW} = 0$	17	$Q_{gen;ls;rbl;CHW}$		
$P_{gen;in} = P_{th;gen;out} + P_{el;gen;out} + P_{gen;ls}$	18	$P_{gen;in}$	87,357	kW

$E_{gen,in} = P_{gen,in} * t$	19	$E_{gen,in}$	87,357	kWh
Dacă CGN_FUEL = BF $E_{gen,in,bf} = E_{gen,in}$	20	$E_{gen,in,bf} =$	87,357	kWh
Dacă CGN_FUEL = BG $E_{gen,in,bg} = E_{gen,in}$	21	$E_{gen,in,bg} =$	0,000	kWh
Dacă CGN_FUEL = BM $E_{gen,in,bm} = E_{gen,in}$	22	$E_{gen,in,bm} =$	0,000	kWh
Dacă CGN_FUEL = NG $E_{gen,in,ng} = E_{gen,in}$	23	$E_{gen,in,ng} =$	0,000	kWh
Dacă CGN_FUEL = OI $E_{gen,in,oi} = E_{gen,in}$	24	$E_{gen,in,oi} =$	0,000	kWh
$\eta_{el,cgn} = (P_{el,gen,out}) * t / E_{gen,in}$	25	$\eta_{el,cgn}$	0,114	-
$\eta_{th,cgn} = P_{th,gen,out} * t / E_{gen,in}$	26	$\eta_{th,cgn}$	0,687	-
$t_{cgn} = \min (1 ; (Q_{CHW,gen,out} / (P_{th,chp_100+sup_100} * t)))$	27	t_{cgn}	0,857	-
$\epsilon_{cgn} = E_{gen,in} / (Q_{CHW,gen,out} + E_{el,gen,out} - W_{gen,aux})$	28	ϵ_{cgn}	1,275	-
$\sigma_{cgn} = (E_{el,gen,out} - W_{gen,aux}) / Q_{CHW,gen,out}$	29	σ_{cgn}	0,142	-

ANEXA 4.3.C Exemplu de date pentru instalațiile de cogenerare

Randamentele orientative și datele aferente pentru instalațiile de cogenerare integrate în clădiri sunt prezentate în tabelul C.1.

Tabelul C1. Randamentul orientativ pentru diferite tehnologii ale instalațiilor de cogenerare integrate în clădiri (bazate pe valoarea calorică inferioară a combustibilului)⁽¹⁾

(Sursa: SR CEN/TR 15316-6-7)

	Unitate de măsură	Motor cu ardere internă (gaz)	Motor cu ardere internă (diesel)	Microturbină	Motor Stirling	Pilă de combustie
P putere termică nominală (100 % CHP + 100 % Sup)	kW					
P putere termică nominală (100 % CHP + 0 % Sup)	kW					
$P_{th,min}$ putere termică reglată constantă	kW					
η randament termic (100 % CHP + 100 % Sup)	-	0.45 - 0.61	0.50 - 0.60	0.52 - 0.66	0.61 - 0.95	0.35 - 0.70
η randament electric (100 % CHP + 100 % Sup)	-	0.21 - 0.38	0.30 - 0.40	0.13 - 0.32	0.10 - 0.25	0.25 - 0.50

⁽¹⁾ Cifre preliminare, deoarece majoritatea sistemelor de cogenerare care utilizează tehnologia motorului Stirling și cea a sistemelor cu pile de combustie se află încă în stadiul de dezvoltare sau demonstrative.

η randament global (100 % CHP + 100 % Sup)	-	0.73 - 0.95	0.78 - 0.95	0.70 - 0.90	0.83 - 1.05	0.75 - 0.95
η randament termic (100 % CHP + 0 % Sup)	-					
η randament electric (100 % CHP + 0 % Sup)	-					
η overall efficiency (100 % CHP + 0 % Sup)	-					
$P_{el,max}$ energie electrică auxiliară (100 % CHP + 100 % Sup)	kW					
$P_{el,min}$ energie electrică auxiliară (100 % CHP + 0 % Sup)	kW					
P_{sb} energie electrică auxiliară (modul în așteptare)	kW					
$P_{th_{sb}}$ pierderi termice în modul în așteptare	kW					
P_{pilot} puterea permanentă a arzătorului de aprindere	kW [Hs]					

Aceasta reproducere a fost făcută cu acordul ASRO nr. LUC/19/353/25.04.2019. Orice încălcare a dreptului de autor asupra standardelor constituie infracțiune și se pedepsește conform Legii nr. 8/1996 privind dreptul de autor și drepturile conexe.

4.4. Sisteme urbane pentru încălzire/răcire

4.4.1. Obiective și domeniu de aplicare

În acest capitol se determină indicatorii energetici ai sistemelor energetice de tip centralizat. Sistemele energetice centralizate pot fi încălzirea centralizată, răcirea centralizată sau alt serviciu care implică agenți termici produși și distribuiți centralizat.

Notă: În Directiva 2012/27/EU articolul 2 Nr. (41) se definește prin "încălzire și răcire centralizată, eficientă" *"un sistem centralizat de încălzire sau răcire care utilizează cel puțin 50% energie regenerabilă, 50% căldură reziduală, 75% energia termică produsă în cogenerare sau 50% dintr-o combinație de acest fel"*.

4.4.2. Principiul metodei de calcul (sursa - SR EN 15316-4-5)

Sistemul energetic centralizat este considerat ca o „cutie neagră” (figura 4.14) pentru care indicatorii de performanță energetică sunt determinați și exprimați prin raportul dintre energia introdusă în sistem și energia furnizată de acesta.

Calculul surselor și a rețelelor de distribuție se poate face considerând un singur sistem, sau acestea pot fi împărțite în subsisteme (figura 4.16). Această situație poate să apară când părți ale rețelei de transport sunt operate de diferite companii de utilități sau funcționează cu parametri de sistem diferiți. Astfel, acest mod de tratare a problemei va avea ca rezultat subsisteme care consumă energie și respectiv subsisteme care furnizează energie. Energia dintr-un subsistem furnizor se evaluează prin intermediul propriilor indicatori de energie. Pentru subsistemul consumator, aceasta este o sursă externă de energie care este luată în considerare ca energie de intrare, având indicatorii ei energetici specifici. Conform SR EN 15316-4-5 - Tabelul B.7, subdiviziunea sistemelor este permisă numai dacă energia este măsurată la limita sistemului. Această cerință asigură faptul că indicatorii care rezultă urmează fluxurile energetice fizice. Dacă este cazul și există cerințe specifice (de exemplu soluții contractuale diferite), acestea trebuie prezentate printr-un tabel urmând formatul recomandat de SR EN 15316-4-5-Tabelul A.7.

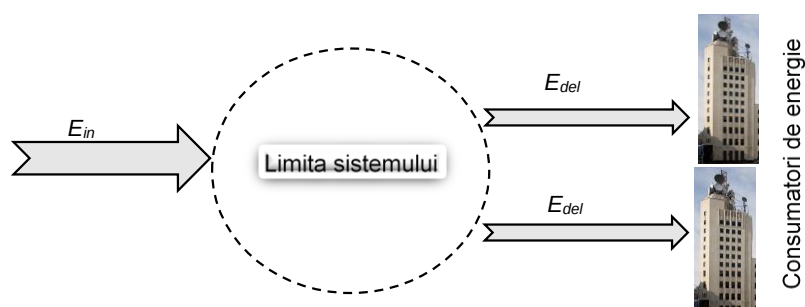


Figura 4.14. Schema bloc tipică pentru un sistem centralizat cu o singură ieșire

E_{in} -energia introdusă în sistem; E_{del} -energia ieșită din sistem (furnizată consumatorilor) ;

Astfel, se pot calcula coeficientul de pondere a sistemului energetic centralizat:

$$f_{we;des} = \frac{\sum_{cr} E_{in;cr} \cdot f_{we;cr}}{\sum E_{del}} \quad (4.133)$$

unde:

$E_{in;cr}$ conținutul energetic la intrare al vectorului energetic cr ;

$f_{we;cr}$ coeficientul de pondere a sistemul de transport al energiei cr (calculat separat);

E_{del} energia furnizată de sistem;

Modulul M1-7 aferente standardelor oferă valori implicite care se pot utiliza în calculele efective.

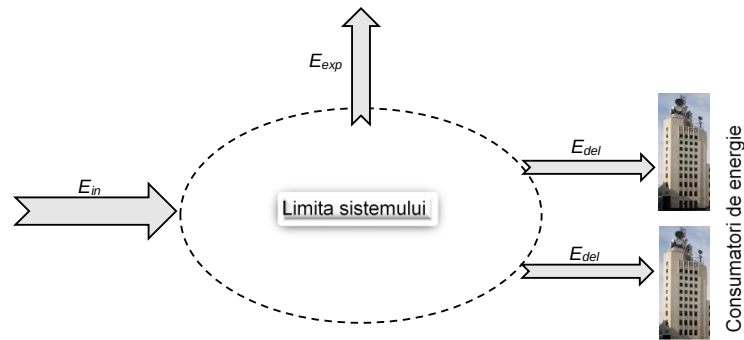


Figura 4.15. Schema bloc tipică pentru un sistem energetic centralizat cu mai multe ieșiri, cu energie exportată

E_{in} -energia introdusă în sistem ; E_{del} -energia ieșită din sistem ; E_{exp} -energia exportată ;

$$f_{we;des} = \frac{\sum_{cr} E_{in;cr} \cdot f_{we;cr} - E_{exp} \cdot f_{we;exp}}{\sum E_{del}} \quad (4.134)$$

unde

E_{exp} energia exportată către un sistem extern (de exemplu sistemul energetic national - SEN);

$f_{we;exp}$ coeficientul de pondere a energiei exportate (care se calculează separat).

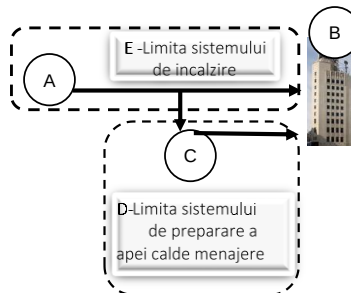


Figura 4.16. Schema bloc tipică pentru un sistem de energie centralizat divizat în subsisteme – exemplu

A- echipament de conversie aferent sistemului de încălzire; B- consumatorul de energie; C- echipament de conversie aferent sistemului de apă caldă menajeră

Dacă nu se pot calcula indicatorii energetici ai sistemului de furnizare, dar sunt cunoscute cel puțin energia primară și tipul de echipament de conversie a energiei, atunci pot fi utilizate valorile implicite din anexa B.3 din SR EN 15316-4-5.

4.4.2.1. Date de ieșire relevante pentru evidențierea performanței energetice

Indicatori energetici

Rezultatele procedurilor de calcul sunt indicatori care caracterizează un sistem energetic centralizat (Tabelul 4.4). Acești indicatori sunt împărțiți în două categorii, adică pe de o parte reflectă aspectele legate de randament, iar pe de altă parte țin seama și de sursa de preparare a

agenților termici. Indicatorii aferenți surselor de energie nu reflectă aspectele legate de eficiența sistemului, ci caracterizează strict sursa de preparare a agenților termici.

Tabel 4.4. Date de ieșire (sursa SR EN 15316-4-5)

Descriere	Simbol	Unitate
factor al energiei primare	$f_{p;des}$	-
factor de emisii CO ₂	$f_{CO2;des}$	-
Parte din energie regenerabila	$RE R_{des}$	-
Parte din căldura reziduală “deșeu”	WHR_{des}	-
Parte de căldură cogenerată	CHR_{des}	-

4.4.2.2. Date de intrare

Marea majoritate a sistemelor analizate sunt deja existente, astfel încât acestea ar trebui evaluate pe baza datelor energetice măsurate. Datorită numeroșilor factori care pot afecta și influența sistemele energetice centralizate, indicatorii pot fluctua în timp.

La determinarea condițiilor de funcționare finală se va ține seama de condițiile de proiectare, de datele tehnice de fabricație ale echipamentelor dar și de evoluțiile previzionate în privința eventualelor modificări ale cererii de căldură, modificări ale numărului de consumatori, orientarea către alte surse și / sau agenți termici.

4.4.2.3. Pasul de timp

În general, pentru schemele existente, calculele se pot realiza pe baza datelor energetice măsurate în ultimii trei ani. Dacă însă configurația sistemului sau tipul de combustibil au fost schimbate în ultimii trei ani, atunci calculul se poate baza și pe datele energetice dintr-un singur an.

Sistemele mari, care deservesc sute sau chiar mii de clienți, de regulă nu au posibilitatea de a determina lunar toate datele necesare a fi introduse. Majoritatea indicatorilor energetici vor fi, prin urmare, cei determinați anual.

În unele cazuri speciale sunt necesare și disponibile date de intrare sezoniere sau lunare, de exemplu într-un sistem de trigenerare, în care răcirea este realizată de o mașină frigorifică cu absorbție. Datele de intrare sezoniere sau lunare facilitează determinarea distinctă a unui indicator de performanță pentru răcire și a unui indicator de performanță pentru încălzire.

4.4.2.4. Procedura de calcul

Metoda simplificată

Deoarece fiecare sistem energetic centralizat este unic, nu este posibil să se indice o regulă de calcul specifică pentru fiecare caz.

Principiul de bază descris în SR EN 15316-4-5 articolul 6.1. este general valabil și poate fi aplicat oricărei scheme. Atâta timp cât limitele sistemului sunt clar definite și fluidul caloportor care traversează limita sistemului este cunoscut, principiul de bază conduce la rezultate rezonabile (excepție: sistem de încălzire centrală care include o cantitate importantă de energie electrică provenită din alte surse decât cele de cogenerare).

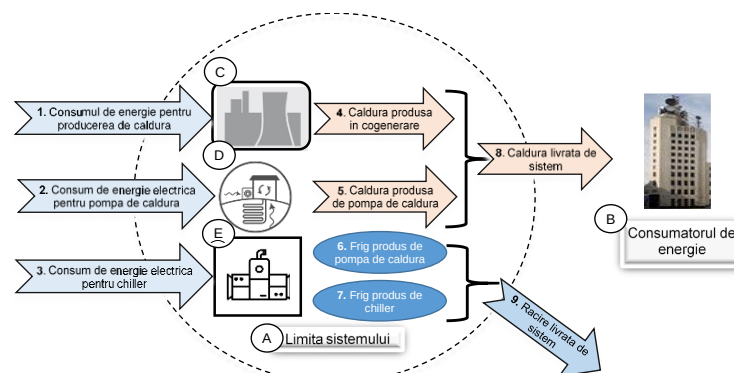
Dacă se ia ca exemplu un sistem centralizat de încălzire/răcire în care un echipament de cogenerare produce căldură, un chiller produce frig, iar o pompă de căldură produce căldură și frig (figura 4.17), pentru aplicarea metodei simplificate sunt necesare numai fluxurile de energie care trec limita sistemului (cantitățile 1, 2, 3, 8 și 9).

Abordarea prin metoda simplificată poate fi aplicată în trei moduri diferite astfel:

CAZUL a) căldura este considerată ca fiind produsul principal al sistemului iar factorul său de ponderare este necesar pentru evaluarea clădirilor alimentate. În acest caz, "frigul" este exportat către un alt sistem sau zonă și este considerat ca un bonus. Factorii de ponderare ai energiei exportate aferentă răcirii pot fi valori implicite bazate pe convenții, sau pot fi calculați (figura 4.17.a).

CAZUL b) răcirea este considerată ca fiind produsul principal al sistemului și factorul său de pondere este necesar pentru evaluarea clădirilor conectate. În acest caz, căldura este exportată către un alt sistem sau zonă și este considerată ca un bonus. Factorii de pondere ai căldurii exportate pot fi valori implicite bazate pe convenții sau pot fi calculați (figura 4.17.b).

CAZUL c) încălzirea și răcirea sunt livrate aceluiași clienți și sunt evaluate împreună cu aceiași factori de ponderare. (figura 4.17.c). Acest caz este un exemplu pentru combinarea sistemelor în conformitate cu SR EN 15316-4-5 articolul 6.2.3 și Tabelul B.6.



CAZUL a)

$$f_{we;HW} = \frac{1+2+3-9}{8}$$

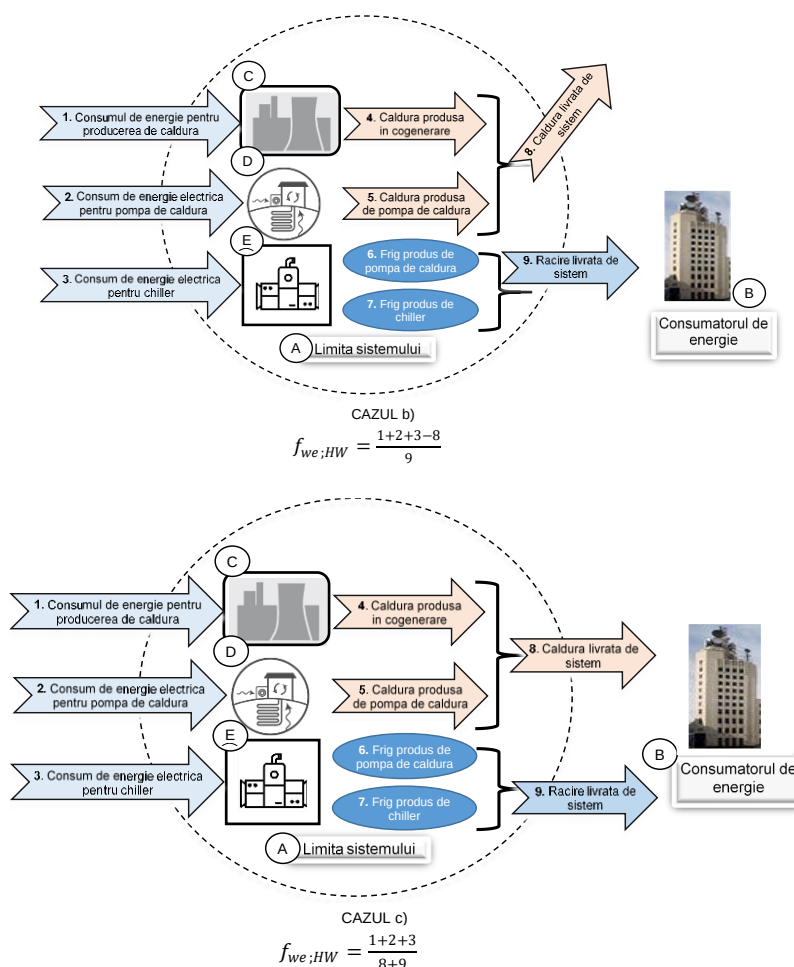


Figura 4.17. Configurare - exemplu pentru un sistem de încălzire și răcire centralizată

A- limita sistemului ; B- consumatorul de energie; C- unitatea de cogenerare;
D-pompa de căldură; E- chiller;

1- consumul de energie pentru producerea de căldură; 2- energia electrică necesară pentru pompa de căldură; 3- energia electrică necesară pentru chiller; 4- căldura produsă în cogenerare; 5- căldura produsă de pompa de căldură; 6- frig produs de pompa de căldură; 7- frig produs de chiller; 8- căldura livrată de sistem; 9- răcirea livrată de sistem

Dacă sunt necesari atât un factor de pondere specific pentru încălzire, cât și un factor de pondere specific pentru răcire, trebuie aplicată regula detaliată de calcul conform SR EN 15316-4-5 art. 6.2.2.4. Pentru acest calcul sunt necesare cantitățile 5 și 6:

$$\text{Pentru incalzire : } f_{we;HW} = \frac{1 + 2 \cdot \frac{5}{5+6}}{8}$$

$$\text{si respectiv pentru racire : } f_{we;HW} = \frac{2 \cdot \frac{6}{5+6} + 3}{9}$$

Exemplele de calcul pentru astfel de sisteme de alimentare cu energie electrică, încălzire și răcire centralizată se redau în anexa B a SR CEN/TR 15316-6-8.

Metoda calculului detaliat

În calculele detaliate, sistemele nu mai sunt privite ca niște „cutii negre” ci sunt necesare mai multe informații. Calculele sunt distincte și specifice pentru sistemul sursă și respectiv pentru sistemul de distribuție (figura 4.18). Acest tip de calcul este aplicabil mai ales atunci când sursa, respectiv sistemul de distribuție sunt exploatate de operatori diferiți.

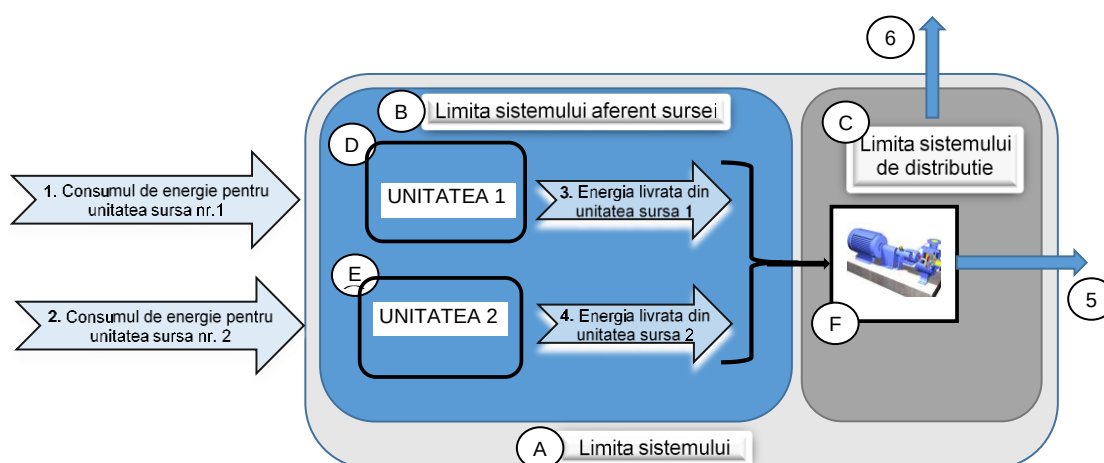


Figura 4.18. Componentele principale ale unui sistem energetic centralizat

A -limita sistemului energetic centralizat; B- limita sistemului aferent sursei ; C- limita sistemului de distribuție ;D- unitatea nr. 1 de producere a energiei; E- unitatea nr. 2 de producere a energiei; F- pompa de rețea: 1- energia de intrare în sursă 1($E_{in;gen1}$); 2- energia de intrare în sursă 2($E_{in;gen2}$);3- energia produsă (la ieșire) din sursă 1($E_{out;gen1}$); 4- energia produsă (la ieșire) din sursă 2 ($E_{out;gen2}$);5- energie livrată consumatorilor (E_{del});6- pierderi aferente distribuției energiei ($E_{dis;ls}$);

Sursa de energie

Sursa de energie poate fi o unitate de cogenerare, o sursă utilizând energie regenerabilă de tip clasic sau o combinație între acestea.

1. Sursă de tip cogenerare (sursa - SR CEN/TR 15316-6-8)

Sursele de cogenerare pot funcționa în cogenerare la capacitate maximă, în regim de ne-cogenerare sau în modul hibrid. Schema de configurare a unei astfel de surse este prezentată în figura 4.19:

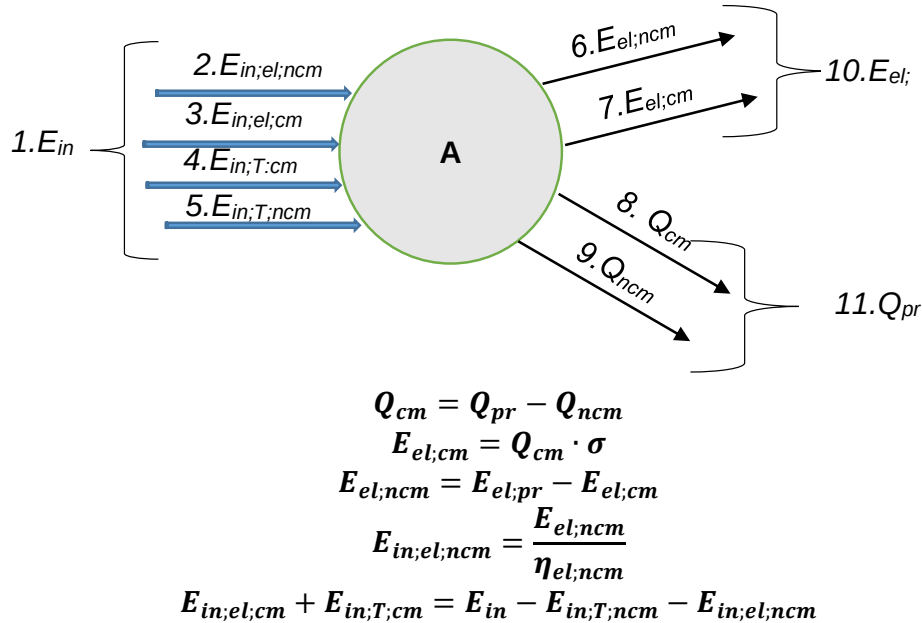


Figura 4.19. Fluxurile energetice pentru un sistem cu unitate de cogenerare

A- unitate de cogenerare; 1. E_{in} - energia introdusă prin combustibil ; 2. $E_{in;el;ncm}$ - energie introdusă prin combustibilul utilizat aferent producerii de energia electrică în modul de ne-cogenerare; 3. $E_{in;el;cm}$ - energie introdusă prin combustibilul utilizat aferent producerii de energia electrică în modul de cogenerare; 4. $E_{in;T;cm}$ - energie introdusă prin combustibilul utilizat aferent producerii de energia termică în regim de cogenerare ; 5. $E_{in;T;ncm}$ - energie introdusă prin combustibilul utilizat aferent producerii de energia termică în regim de ne-cogenerare ; 6. $E_{el;ncm}$ - energie electrică produsă în regim de ne-cogenerare ; 7. $E_{el;cm}$ - energie electrică produsă în regim de cogenerare ; 8. Q_{cm} - energie termică produsă în regim de cogenerare ; 9. Q_{ncm} - energie termică produsă în regim de ne-cogenerare ; 10. $E_{el;pr}$ - energie electrică totală produsă de unitatea de cogenerare ; 11. Q_{pr} - căldura totală produsă de unitatea de cogenerare ;

În timpul modului de funcționare mixt/hibrid doar cantitățile 1, 10 și 11 pot fi măsurate. Indicele de cogenerare σ (raportul dintre energia electrică și căldură) și eficiența electrică în modul de ne-cogenerare $\eta_{el, ncm}$ sunt necesare ca date de intrare suplimentare. Cantitățile 3 și 4 reprezintă energia primară în modul de cogenerare. Cantitățile 7 și 8 reprezintă energia produsă în modul de cogenerare. Cantitățile 2 și 6 sunt excluse din calcul.

Astfel, căldura produsă în regim de ne-cogenerare Q_{ncm} se calculează ca:

$$Q_{ncm} = Q_{pr} - Q_{cm} \quad (4.135)$$

$$E_{in;T;ncm} = \frac{Q_{ncm}}{\eta_{T;ncm}} \quad (4.136)$$

unde $\eta_{T;ncm}$ este randamentul termic în modul de funcționare de ne-cogenerare.

Pentru identificarea modului de funcționare pentru producerea de energie electrică, se determină randamentul global al unității de cogenerare, $\eta_{chp;tot}$:

$$\eta_{chp;tot} = \frac{E_{el;pr} + Q_{cm}}{E_{in} - E_{in;T;ncm}} \quad (4.137)$$

- dacă $\eta_{chp;tot} < \eta_{ref;tot}$ se consideră că unitatea de cogenerare funcționează în mod non-cogenerare sau în modul mixt / hibrid, iar partea de cogenerare se determină ca în paragraful următor.
- dacă $\eta_{chp;tot} \geq \eta_{ref;tot}$ unitatea de cogenerare funcționează în modul de cogenerare și nu se poate aplica paragraful următor.

O unitate de cogenerare care nu utilizează toată căldura și o evacuează în mediul înconjurător, are un randament total general mai scăzut. Acest lucru se poate realiza atunci când unitatea de cogenerare urmărește în special cererea de energie electrică. Rezultatul calculului performanței energetice a căldurii cu metoda bonusului de putere, a metodei alternative de producție și a metodei căldurii reziduale („deșeu”) poate fi alterat dacă nu sunt excluse din calcul partea de non-cogenerare a energiei electrice și consumul respectiv de combustibil. Acest lucru depinde de:

- diferența dintre eficiența electrică a unității de cogenerare și eficiența electrică dată de factorul de pondere a energiei electrice exportate (metoda bonusului de putere);
- diferența dintre eficiența electrică a unității de cogenerare și eficiența electrică a producției de energie electrică de referință (metoda căldurii reziduale);
- diferența dintre energia electrică produsă în modul complet de cogenerare și energia electrică produsă în mod non-cogenerare.

Valorile implicite pentru $\eta_{ref;tot}$ ar trebui să fie suficient de ridicate pentru ca partea de non-cogenerare să fie neglijabilă în calculul performanței energetice, la producerea căldurii.

Energia electrică aferentă modului de producție în cogenerare:

În modul hibrid $E_{el;cm}$ și $E_{in;cm}$ nu pot fi măsurate direct. Acestea se calculează ca fiind:

$$E_{el;cm} = Q_{cm} \cdot \sigma \quad (4.138)$$

unde

σ indicele de cogenerare și

$$E_{el;ncm} = E_{el;pr} - E_{el;cm} \quad (4.139)$$

$$E_{in;cm} = E_{in} - \frac{E_{el;ncm}}{\eta_{el;ncm}} - E_{in;T;ncm} \quad (4.140)$$

unde

$\eta_{el;ncm}$ randamentul producerii energiei electrice a unității de cogenerare în mod ne-cogenerare.

Factorii de pondere pentru căldură

Există mai multe metode pentru a determina factorii de pondere ai unui sistem de încălzire centralizată care include o sursă de cogenerare. Este în general dificil a cuantifica cota parte din energia primară introdusă $E_{in; T}$ prin combustibilul utilizat de sursa de cogenerare asociat numai căldurii produse și nici nu poate fi măsurată direct. Criteriile de selecție a metodei aplicabile, se găsesc în Tabelul A.11 și B11 din SR EN 15316-4-5. Astfel, factorii de pondere se calculează prin una din următoarele metode.

a) Metoda “bonusului” de putere

Această metodă se aplică tuturor unităților de cogenerare. Fluxurile energetice legate de energia electrică din modul de producție fără cogenerare pot distorsiona rezultatul pentru căldură, astfel încât acestea trebuie identificate și sunt excluse din calcul. Metoda poate fi exprimată și cu indicatori de eficiență în loc de cantități de energie.

$$f_{we;dh} = \frac{(1 + \sigma) \cdot CHR \cdot f_{we;cr;chp}}{\eta_{chp;tot} \cdot \eta_{hn}} + \frac{(1 - CHR) \cdot f_{we;cr;gen}}{\eta_{gen;T} \cdot \eta_{hn}} - \frac{(\sigma \cdot CHR - \beta_{hn}) \cdot f_{we;el;exp}}{\eta_{hn}} \quad (4.141)$$

unde

η_{hn}	este randamentul rețelelor termice de încălzire;
$\eta_{gen;T}$	este randamentul sursei de vârf;
$E_{el;hn}$	este energia auxiliară aferentă rețelei de încălzire (ex.energia electrică utilizată pentru pompe de circulație);
Q_{pr}	căldura totală produsă de unitatea de cogenerare ;
β_{hn}	$E_{el;hn} / Q_{pr}$;
CHR	Partea de energie termică produsă în regim de cogenerare

Primul termen reprezintă energia primară introdusă într-o unitate de cogenerare, al doilea termen reprezintă energia de intrare primară introdusă în sursa de vârf, al treilea termen reprezintă producția de energie electrică a unității de cogenerare. Dacă sistemul include mai multe unități de cogenerare, relația trebuie adaptată corespunzător.

b) Metoda simplificată a pierderii puterii electrice

Metoda se aplică numai în cazul surselor în care se utilizează turbine în condensatie iar căldura este produsă prin extragerea unei prize reglabile de abur. În această situație, deoarece prin priza turbinei se extrage abur pentru producerea căldurii, se produce o cantitate mai mică de energie electrică cu:

$$\Delta E_{el} = E_{in} \cdot \eta_{el;ncm} - E_{el;pr} \quad (4.142)$$

Partea aferentă căldurii din factorul de pondere în energia de intrare către unitatea de cogenerare este reprezentată de termenul : $\Delta E_{el} \cdot f_{we;el;exp}$.

Metodele prezentate anterior sunt cele mai uzuale. Ambele necesită valori de referință din sisteme externe pentru energia electrică și de aceea nu pot fi calculați factori de pondere aferenți energiei electrice produse (acest indicator fiind chiar un termen de intrare pentru metoda de calcul).

Calculul factorilor de pondere pentru căldură și energie electrică

Metodele prezentate mai jos permit determinarea factorilor de pondere pentru căldură și pentru energie electrică. Energia intrată în unitatea de cogenerare va fi împărțită între o parte afectată producerii de căldură și o altă parte afectată producției de energie electrică. Astfel, într-un sistem de încălzire centralizată, partea din energia intrată prin combustibilul utilizat în sursa de cogenerare afectată producerii căldurii $E_{in,T}$ va fi integrată la numărător, în formula (4.71).

$$E_{in,T} = \alpha_T \cdot E_{in} \quad (4.143)$$

unde

$E_{in,T}$ partea din energia introdusă în unitatea de cogenerare aferentă căldurii;

α_T factorul de alocare pentru căldură;

$$E_{in,el} = (1 - \alpha_T) \cdot E_{in} \quad (4.144)$$

unde

$E_{in,el}$ partea din energia introdusă prin combustibil aferentă producerii de energie electrică.

a) Metoda pierderii de putere electrică

Metoda este aplicabilă când căldura este extrasă prin prize dintr-o turbină cu condensatie. Este singura metodă care permite determinarea cheltuielilor reale de producere a căldurii într-o unitate de cogenerare fără sisteme de referință externe. Se bazează pe date specifice ale unității de cogenerare și reflectă eficiențele componentelor sale tehnice. Aceasta se bazează pe ideea că partea (cantitatea) de combustibil care este legată de producția de energie electrică pierdută datorită extracției de căldură, va fi alocată căldurii. Metoda nu necesită excluderea părții legate de electricitate a modului de ne-cogenerare. În acest caz, factorul de alocare pentru căldură se va calcula ca:

$$\alpha_T = \frac{\Delta E_{el}}{E_{el;pr} + \Delta E_{el}} \quad (4.145)$$

b) Metoda Carnot

Metoda Carnot este o versiune simplificată a metodei exergetice. Pentru aplicarea metodei este nevoie de temperaturi ca date suplimentare de intrare. Aceste temperaturi sunt însă ușor de măsurat. Se recomandă utilizarea temperaturii aerului exterior din locul în care este montată instalația. Pentru sistemele cu temperaturi de alimentare variabile se recomandă utilizarea unui interval de calcul lunar. Sistemele cu o temperatură constantă de alimentare pot fi calculate anual.

Temperatura medie a căldurii poate fi calculată ușor pornind de la temperaturile de alimentare și de retur, la limita sursei sau la ieșirea la nivelul unității de cogenerare, dacă este disponibilă.

Dacă temperatura de retur nu este disponibilă, se poate utiliza o diferență $\Delta T = 20$ K. În cazul unui sistem de alimentare cu abur se folosește temperatura aburului. Nu sunt necesare date din sisteme de referință externe. Metoda Carnot nu necesită excluderea părții legate de energia electrică a modului non-cogenerare. Se poate aplica tuturor unităților de cogenerare. Ideea de bază este legată de metoda pierderii electrice, dar se bazează mai mult pe conceptul fizic de exergie. Acesta determină valoarea exergiei și o compară cu energia electrică produsă pentru alocarea cantității de combustibil. În acest caz, factorul de alocare pentru căldură se va calcula ca:

$$\alpha_T = \frac{Q_{cm} \cdot \left(1 - \frac{T_{a;e;avg}}{T_{chp;mn}}\right)}{E_{el;pr} + Q_{cm} \cdot \left(1 - \frac{T_{a;e;avg}}{T_{chp;mn}}\right)} \quad (4.146)$$

unde

- $T_{a;e;avg}$ temperatura medie a aerului exterior pentru intervalul de calcul [K];
- $T_{chp;mn}$ temperatura medie a căldurii din cogenerare pentru același interval de calcul, măsurată la limita sistemului între partea de generare și partea de distribuție a sistemului de încălzire centralizat [K] (figura 4.19) ;

Dacă unitatea de cogenerare furnizează către mai mult de un sistem de distribuție cu diferite niveluri de temperatură, atunci $T_{chp;mn}$ și α_T vor fi determinate separat pentru fiecare sistem de distribuție.

c) Metoda alternativă de producere a energiei termice și electrice

Pentru metoda alternativă de producere se definesc date suplimentare de intrare privind două sisteme de referință externe și excluderea părților de energie termică și electrică aferente modului de ne-cogenerare. Aceasta metoda alocă o cantitate mai mare de combustibil producerii căldurii decât celelalte metode. Fluxurile de energie ale modului non-cogenerare (cantitățile 2, 5, 6 și 9 din figura 19) sunt excluse din calcul.

$$\alpha_T = \frac{\frac{Q_{cm}}{\eta_{T;ref}}}{\frac{E_{el;cm}}{\eta_{el;ref}} + \frac{Q_{cm}}{\eta_{T;ref}}} \quad (4.147)$$

unde

- $\eta_{T;ref}$ randamentul de referință a producerii căldurii;
- $\eta_{el;ref}$ randamentul de referință a producerii energiei electrice.

Aceste randamente se specifică în conformitate cu modelul prezentat în tabelul A.10 din SR EN 15316-4-5. Valorile implicite informative pot fi găsite în Tabelul B.10. SR EN 15316-4-5 .

d) Metoda căldurii reziduale ("deșeu")

În această metodă trebuie introduse date suplimentare despre sisteme de referință. Fluxurile energetice 2 și 6 din figura 4.19 care se referă la modul de ne-cogenerare se vor exclude din calcul. Această metodă folosește aceeași idee ca și metoda bonusului de putere, dar facilitează determinarea factorilor pentru energia electrică. Singura diferență față de metoda bonusului de putere este că sistemul de referință extern este reprezentat de randamentul producerii de energie electrică în locul factorului de energie primară.

$$\alpha_T = 1 - \frac{E_{el;cm}}{\eta_{el;ref} \cdot (E_{in} - E_{in;el;ncm})} \quad (4.148)$$

În cazul unei singure unități de cogenerare care produce energie electrică numai în modul de cogenerare, se aplica:

$$f_{P,dh} = \frac{E_{in;cr} \cdot f_{P;cr} - E_{el;cm} \cdot \frac{f_{P;cr}}{\eta_{el;ref}}}{\sum Q_{del}} \quad (4.149)$$

în timp ce prin metoda bonusului de putere este sub forma relației :

$$f_{P,dh} = \frac{E_{in;cr} \cdot f_{P;cr} - E_{el;cm} \cdot f_{P;el;exp}}{\sum Q_{del}} \quad (4.150)$$

astfel încât, dacă unitatea de cogenerare utilizează același combustibil ca și sistemul de referință, rezultatele celor două metode sunt aceleași.

e) Metoda pierderii electrice de referință

Această metodă urmează aceeași idee ca metoda simplificată de pierdere electrice, dar facilitează determinarea factorilor de energie electrică. Singura diferență față de metoda simplificată a pierderilor electrice este că sistemul de referință extern este reprezentat de eficiența producției de energie electrică în locul factorului de energie primară.

$$\alpha_T = \frac{\Delta E_{el}}{\eta_{el;ref} \cdot (E_{in} - E_{in;T;ncm})} \quad (4.151)$$

În cazul unei singure unități CHP care produce căldură numai în modul de cogenerare complet:

$$f_{P,dh} = \frac{\Delta E_{el} \cdot \frac{f_{P;cr}}{\eta_{el;ref}}}{\sum Q_{del}} \quad (4.152)$$

în timp ce prin metoda simplă de pierdere de putere electrică devine:

$$f_{P,dh} = \frac{\Delta E_{el} \cdot f_{P;el;exp}}{\sum Q_{del}} \quad (4.153)$$

astfel încât, dacă unitatea de cogenerare utilizează același combustibil ca și sistemul de referință, rezultatele celor două metode sunt aceleași.

În SR CEN/TR 15316-6-8 ANEXA B sunt redacte exemple numerice de aplicare a metodelor menționate.

Concluzionând, pentru un anumit sistem care alimentează în mod centralizat cu energie termică un număr de consumatori, rezultatele ar putea fi sistematizate într-un Raport care să includă:

- Numele localității deservite prin sistemul centralizat;
- Numele operatorului ce exploatează sistemul;
- Indicii de performanță energetică ai sistemului (cu menționarea anilor din care au provenit datele măsurate):

Indicii de performanță energetică ai sistemului

$f_{Pren;dh}$	$f_{Pren;dh}$	$f_{Ptot;dh}$	$f_{CO_2;dh}$
0,72	0,25	0,97	284 g/kWh
Valori calculate cu putere calorifică inferioară a combustibilului			

Indicatori energetici aferenți sursei (calculare cu date măsurate din anul 2017, 2018)

RER_{dh} (Procentul provenind din surse regenerabile de energie)	WHR_{dh} (Procentul provenind din surse de tip căldură reziduală "deseu")	CHR_{dh} (Procentul provenind din surse de cogenerare)
26 %	0 %	64 %

Sursa : SR CEN/TR 15316-6-8 ANEXA C.

Rezultatele obținute prin metodele menționate în acest subcapitol și sintetizate în astfel de Rapoarte ar trebui să reflecte performanțele fiecărui sistem centralizat în parte. Aceste valori ar trebui să fie cunoscute de către auditori prin Anexe la nivel național și utilizate în calculul performanțelor energetice ale obiectivelor certificate/auditate care sunt alimentate în sistem centralizat.

2. Sursa de tip pompe de căldură

Dacă o pompă de căldură oferă răcire și încălzire în același timp și sunt necesari indicatori de energie pentru fiecare dintre cele două produse, energia introdusă trebuie împărțită în funcție de energia produsă.

Sistemul de distribuție

Pierdere termică și energia electrică auxiliară a unei rețele energetice centralizate se calculează în conformitate cu standardele europene aferente. Pierderile de distribuție calculate se utilizează pentru determinarea energiei la ieșirea din sursă sau a energiei furnizate conform formulei următoare, în funcție de datele disponibile.

$$E_{out;gen} = E_{del} + E_{dis;ls} \quad (4.154)$$

unde

$E_{out,gen}$ Energia produsă la ieșirea din sistem;
 E_{del} Energia livrată;
 $E_{dis,ls}$ Pierderi aferente sistemului de distribuție;

Dacă datele de intrare pentru un anumit calcul nu sunt disponibile, pierderea prin rețeaua de distribuție poate fi setată la o valoare implicită. Modul în care trebuie introduse valorile pentru valorile implicite este prezentat în Tabelul A.8. Valorile implicite informative pot fi găsite în Tabelul B.8. SR EN 15316-4-5.

Sistemele de distribuție care livrează diferiți agenți termici pot fi combinate într-un singur sistem dacă sunt îndeplinite cerințele care sunt prezentate conform modelului din tabelul A.6. Opțiunile implicite informative pot fi găsite în Tabelul B.6. SR EN 15316-4-5.

4.4.3. Calculul indicatorilor sursei de energie (sursa - SR EN 15316-4-5)

Sunt calculați o serie de indicatori care caracterizează sursele de energie. Astfel:

a) Partea provenită din energie regenerabilă:

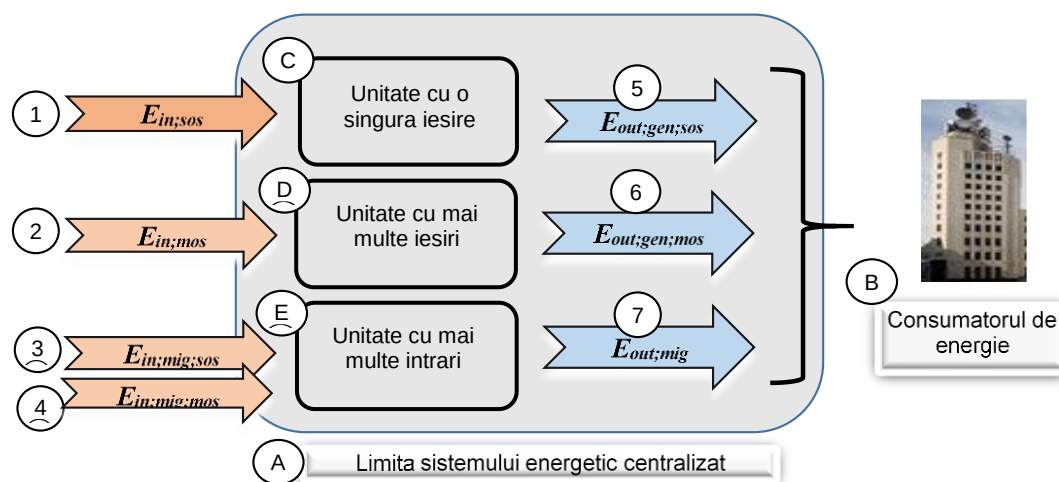


Figura 4.20 Sistem centralizat, care include o sursă cu mai multe intrări

A-limitele sistemului energetic centralizat; B- consumatorul de energie; C- unitate de producere a energiei pentru un agent termic dintr-un sistem cu o singură ieșire; D- Sursa de agent termic dintr-un sistem cu mai multe ieșiri; E- unitate de generare cu mai multe intrări; 1- energia introdusă într-un sistem cu o singură ieșire ($E_{in;sos}$); 2- energia introdusă într-un sistem cu mai multe ieșiri ($E_{in;mos}$); 3- energia introdusă într-o sursă cu mai multe intrări de la un sistem cu o singură ieșire ($E_{in;mig;sos}$); 4- energia introdusă în sursa cu mai multe intrări de la un sistem cu mai multe ieșiri ($E_{in;mig;mos}$); 5- energia ieșită din sursa pentru agentul termic dintr-un sistem cu

o singura ieșire ($E_{out;gen;sos}$); 6- energia ieșită din sursa pentru agentul termic de la un sistem cu mai multe ieșiri ($E_{out;gen;mos}$); 7- energia ieșită dintr-o sursă cu mai multe intrări ($E_{out;mig}$);

$$RER_{des} = \frac{E_{out;gen;sos} \cdot \frac{f_{Pren;sos}}{f_{Ptot;sos}} + E_{out;gen;mos} \cdot RER_{mos} + E_{out;mig} \cdot RER_{mig}}{E_{out;gen;sos} + E_{out;gen;mos} + E_{out;mig}} \quad (4.155)$$

Unde s-au utilizat notațiile:

- RER_{des} Partea provenind din energie regenerabilă aferentă sistemului centralizat;
- $f_{Pren;sos}/$ Factorul energiei primare regenerabile/totale corespunzător agentului energetic din sistemul cu o singura ieșire se calculează separat;
- $f_{Ptot;sos}$
- RER_{mos} Procentul al energiei regenerabile corespunzător agentului energetic din sistemul cu mai multe ieșiri. Un model pentru valorile implicite este dat în Tabelul A.5. Valorile implicite informative pot fi găsite în Tabelul B.5 SR EN 15316-4-5 ;
- RER_{mig} Partea provenind din energie regenerabilă aferentă energiei produse de sursa cu mai multe intrări;

$$RER_{mig} = \frac{E_{in;mig;sos} \cdot \frac{f_{Pren;sos}}{f_{Ptot;sos}} + E_{in;mig;mos} \cdot RER_{mos}}{E_{in;mig;sos} + E_{in;mig;mos}} \quad (4.156)$$

b) Partea ce provine din căldura reziduală („deșeu”)

$$WHR_{des} = \frac{E_{out;gen;mos} \cdot WHR_{mos} + E_{out;gen;mig} \cdot WHR_{mig}}{E_{out;gen;sos} + E_{out;gen;mos} + E_{out;mig}} \quad (4.157)$$

unde

- WHR_{des} Partea de căldură reziduală („deșeu”) din sistemul energetic centralizat;
- WHR_{mos} Partea de căldură reziduală („deșeu”) aferenta sistemului de transport dintr-un sistem cu mai multe ieșiri. Valorile implicite informative pot fi găsite în Tabelul B.5 SR EN 15316-4-5;
- WHR_{mig} Partea de căldură reziduală („deșeu”) corespunzătoare energiei produse de sursa cu mai multe intrări;

$$WHR_{mig} = \frac{E_{in;mig} \cdot WHR_{mos}}{E_{in;mig;sos} + E_{in;mig;mos}} \quad (4.158)$$

c) Partea de căldură obținută în cogenerare (Grad de cogenerare)

$$CHR = \frac{Q_{cm}}{Q_{tot}} \quad (4.159)$$

unde

- CHR - partea de căldură obținută în cogenerare (grad de cogenerare);
- Q_{cm} - căldura produsă în modul cogenerare;
- Q_{tot} - căldura totală produsă.

În SR CEN/TR 15316-6-8 Anexele A-C sunt date exemple de calcul. În aceste Anexe se regăsesc și valori implicite ale unor date necesare în calculul ce se efectuează prin metodele prezentate.

4.5. Panouri fotovoltaice

4.5.1. Descrierea metodei de calcul

Metoda descrisă în continuare evaluează energia electrică obținută de instalația de captare în intervale lunare, pentru întregul an de funcționare a sistemului.

Termeni și definiții

- Azimut: Unghiul cuprins între meridianul unui loc și planul vertical al direcției respective,
- Intensitate a radiației solare: Fluxul radiant pe suprafață, generat pe un plan oarecare, a radiației totale de la întreaga emisferă,
- Intensitate a radiației solare directe: intensitatea radiației solare generate prin receptarea radiației solare care provine dintr-un unghi solid care înconjoară concentric discul solar aparent,
- Intensitate a radiației solare difuze: intensitatea radiației solare generată prin receptarea radiației solare disperse dinspre întreaga boltă cerească, cu excepția unghiului solid care este utilizat la măsurarea intensității radiației solare directe,
- Intensitatea radiației solare reflectate: intensitatea radiației generate prin receptarea radiației solare globale reflectată în sus de un plan orientat în jos,
- Intensitatea radiației solare globală: intensitatea totală a radiației solare, măsurată pe un plan orizontal,
- Puterea maximă a captatorului: Puterea maximă a captatorului, atunci când intensitatea radiației solare pe planul captatorului are valoarea de 1000 W/m^2 ,
- Suprafața echivalentă de captare a panoului: Suprafața totală a panoului care realizează transformarea energiei solare incidente în energie electrică.

Simboluri și abrevieri

φ_I – unghiul de înclinare al captatorilor solari față de planul orizontal, °;
 φ_A – unghiul azimutal – unghiul între orientarea cardinală a captatorului solar față de orientarea sud, °;
 A_{tot} – aria totală a captatoarelor solare utilizate în sistem, m^2 ;
 I_{0i} – radiația solară totală în plan orizontal
 $P_{\text{max},1000}$ – puterea maximă a captatorului pentru o radiație solară de 1000, W;
 A_{panou} – Suprafața echivalentă de captare a panoului, m^2 ;
 I_{1000} – radiația solară egală cu 1000 W/m^2
 ε_{PV} – eficiența captatorului fotovoltaic, - ;
 k_{pk} – factor de putere de varf, - ;
 N_{zl} – numărul de zile lunar, zi ;
 N_p – numărul de panouri instalate, - ;
 f_{cap} – factor de corecție al intensității globale a radiației solare datorat unghiului de înclinare al captatorilor solari și unghiului de deviație de la orientarea SUD al captatorilor solari, - ;
 η_t – randamentul captatorului în funcție de temperatura din anexa națională, valori informative în anexa A2, - ;

η_{inv} – randamentul inverterului, - ;
 $\eta_{capture,i}$ – randamentul lunar de captare, - ;
 $E_{l,i}$ – energia obținută în luna de calcul i , kWh;
 $E_{inc,i}$ – energia totală incidentă în luna de calcul i , kWh;
 E_{tot} – energia totală anuală, kWh.

În prima etapă se stabilesc parametrii de instalare ai sistemului și se calculează radiația solară corespunzătoare acestora. Astfel se extrag o serie de informații constructive cum sunt unghiurile de înclinare și azimut funcție de axa Sud – Nord respectiv locația în care se află obiectivul analizat. Se stabilește factorul de corecție de unghi de înclinare și unghi de deviere de la orientarea SUD – f_{cap} , conform Anexei 1 (capitol 4.2), pentru fiecare lună din an.

În a doua etapă se realizează evaluarea sistemului instalat, ce permite captarea, transformarea energiei solare în energie electrică și conversia în tensiune utilă consumatorilor de curent alternativ. Astfel se extrag numărul de panouri fotovoltaice montate în obiectivul evaluat și o serie de date despre panourile fotovoltaice, cum sunt puterea maximă și suprafața echivalentă (fără rama metalică), randamentul inverterului pentru conversia în tensiune alternativă extras din foile de catalog aferente, cât și informații cu privire la radiația solară incidentă în plan orizontal pentru locația corespunzătoare din anexa cu date climatice. Se stabilește, factorul de corecție funcție de orientarea panoului în plan vertical și față de axa Sud – Nord, randamentul panoului solar în funcție de temperatură.

Evaluarea eficienței captatoarelor fotovoltaice s-a realizat ținând seama de puterea maximă pe care o are panoul pentru o radiație incidentă pe planul înclinat de 1000 W/m^2 . Aceasta putere este puterea totală disponibilă la bornele captatorului solar, evaluarea eficienței panoului făcându-se ținând seama de suprafața de captare echivalentă (fără rama de fixare).

Valori recomandate ale parametrilor implicați în relațiile metodei

Factorul de corecție a intensității globale a radiației solare (tabel 4.5) funcție de unghiul de înclinare al captatorilor solari - φ_I și unghiul de deviere față de direcția cardinală SUD - φ_A . De exemplu pentru : $\varphi_I = 45^\circ$ și $\varphi_A = 0^\circ$.

Tabel 4.5. Factorul de corecție a intensității globale a radiației solare

Luna	ianuarie	februarie	martie	aprilie	mai	iunie
f_{cap}	1.76	1.45	1.25	1.05	0.94	0.88
Luna	iulie	august	septembrie	octombrie	noiembrie	decembrie
f_{cap}	0.9	1.03	1.22	1.45	1.62	1.67

Valorile intensității solare în plan înclinat se pot calcula folosind modele validate de calcul, cum ar fi Klein and Theilacker (Duffie and Beckman, 1991). Aceste modele sunt integrate în diverse programe de calcul recunoscute internațional (RETSCREEN, TRNSYS, DesignBuilder).

4.5.2. Metoda lunară

Etapizarea calculelor este următoarea:

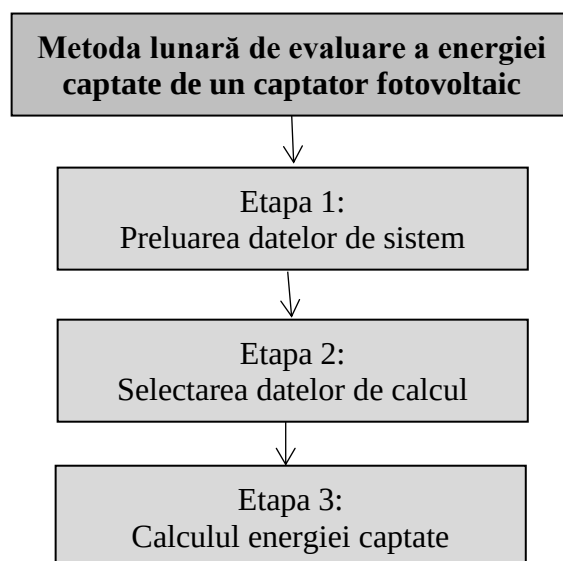


Figura 4.21 Schema etapelor metodei lunare

Etapa 1: Preluarea datelor de sistem

- Se identifică numărul captatoarelor solare fotovoltaice instalate, N_p ;
- Se stabilește unghiul de înclinare al captatorilor solari față de planul orizontal, φ_i ;
- Se stabilește unghiul azimutal – unghiul între orientarea cardinală a captatorului solar față de orientarea Sud, φ_a ;
- Se stabilește factorul de putere de vârf din anexa A3;
- Se stabilește din prospect suprafața echivalentă de captare a panoului, A_{panou} ;
- Se stabilește puterea maximă a panoului solar, $P_{max,1000}$, (W), din datele de catalog sau cu : $P_{max,1000} = I_{1000} \cdot k_{pk} \cdot A_{panou}$; (vezi anexa A3)
- Se stabilește din prospect randamentul inverterului, η_{inv} ; dacă nu este disponibil se alege 0,95 ;

Etapa 2: Selectarea datelor de calcul pentru evaluare

- Se selectează coeficienții de corecție în funcție de cele două unghiuri de înclinare respectiv orientare față de axa Sud – Nord, conform tabelului din paragraful referitor la valorile recomandate;
- Se selectează randamentul captatorului în funcție de temperatura din anexa A2, η_t ;
- Se completează tabelul corespunzător locației, cu valorile radiației solare lunare în plan orizontal aferent.

Etapa 3: Calculul energiei captate

- Se calculează suprafața totală instalată utilizând suprafața echivalentă a panoului, A_{panou} și numărul de panouri instalate, m^2 :

$$A_{tot} = N_p \cdot A_{panou} \quad (4.160)$$

- Se stabilește eficiența panoului fotovoltaic, ε_{pv} :

$$\varepsilon_{PV} = \frac{P_{max,1000}/A_{panou}}{I_{1000}} \quad (4.161)$$

- c. Se stabilește luna de calcul, numărul de zile aferent și radiația totală în plan orizontal din (anexa de date climatice) și se calculează energia totală lunară (kWh/lună):

$$E_{l,i} = \frac{1}{1000} \cdot 24 \cdot N_{zl} \cdot A_{tot} \cdot I_{O,i} \cdot f_{cap} \cdot \eta_t \cdot \eta_{inv} \cdot \varepsilon_{PV} \quad (4.162)$$

Calculul se realizează pentru toate lunile anului.

- d. Se însumează energiile obținute lună de lună, calculându-se astfel energia totală anuală realizată, (kWh/an):

$$E_{tot} = \sum_{i=1}^{12} E_{l,i} \quad (4.163)$$

- e. Se calculează energia totală lunară incidentă pe suprafața de captare:

$$E_{inc,i} = \frac{I_{O,i} \cdot f_{cap} \cdot A_{tot} \cdot 24 \cdot N_{zl}}{1000} \quad (4.164)$$

- f. Pentru obținerea unui randament de captare lunar, se raportează energia lunară obținută (relația 4.162) la energia lunară incidentă pe suprafața de captare.

$$\eta_{captare,i} = \frac{E_{l,i}}{E_{inc,i}} \quad (4.165)$$

4.5.3. Exemplu de calcul

Tabel 4.6. Valorile parametrilor de intrare de calcul, ale panourilor fotovoltaice instalate

φ_I	45	Zona	PV1	Loc	Bucuresti
φ_A	Sud	N_p	3	η_{inv}	0,97

Tabel 4.7. Valorile parametrilor calculați conform metodei lunare

	Ian	Feb	Mar	Apr	Mai	Iun	Iul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
I_T , Oriz (W/m ²)	49,6	85,0	124,8	167,2	205,6	233,5	200,8	233,2	175,5	114,2	54,2	41,3
f_{cap} (-)	1,76	1,45	1,25	1,05	0,94	0,88	0,9	1,03	1,22	1,45	1,62	1,67
I_T , (W/m ²) Inclinat	87,3	123,3	156,0	175,6	193,3	205,5	180,7	240,2	214,1	165,6	87,8	69
NRzi (zi/luna)	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$P_{max, 1000}$	252	252	252	252	252	252	252	252	252	252	252	252
A_{panou} [m ²]	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68
A_{tot} [m ²]	5,04	5,04	5,04	5,04	5,04	5,04	5,04	5,04	5,04	5,04	5,04	5,04
ε_{PV} [-]	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

	Ian	Feb	Mar	Apr	Mai	Iun	Iul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
η_t [-]	0,90	0,90	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,85	0,90	0,90
η_{inv} [-]	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
$E_{inc,i}$ [kWh/luna]	109.1	139.1	195	212.4	241.6	248.6	225.9	300.2	259	207	106.2	86.2
$E_{l,i}$ [kWh/luna]	14.3	18.2	24.1	24.7	28.1	28.9	26.3	34.9	30.2	25.6	13.9	11.3

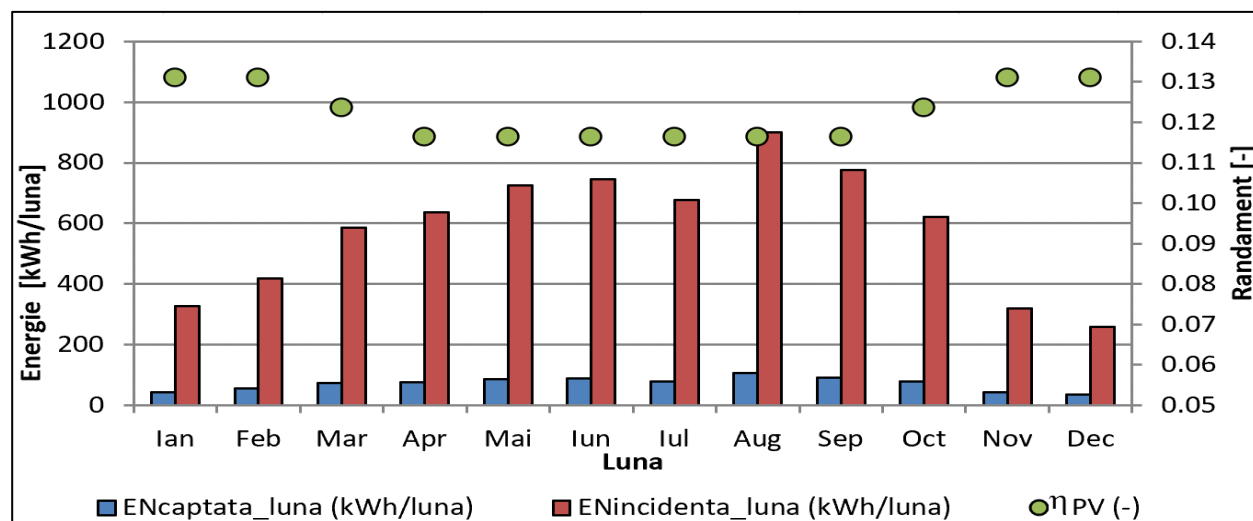


Figura 4.22. Energia incidenta, energia totală lunară livrată și randamentul de captare

Anexa A2, informativă

Valori informative ale randamentului, η_t , în funcție de temperatura exterioară

	Ian.	Feb	Mar	Apr	Mai	Iun.	Iul.	Aug	Sep	Oct.	Nov	Dec
Monocristalin	0.90	0.90	0.85	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.85	0.90	0.90
Policristalin												
Amorf												

Anexa A3, informativă (sursa SR EN 15316-4-3)

Valori informative ale factorului de putere de vârf, k_{pk}

Tip modul fotovoltaic	-
Siliciu monocristalin	0,15 ÷ 0,20
Siliciu policristalin	0,12 ÷ 0,18
Strat subțire de siliciu amorf	0,04 ÷ 0,10
Alte straturi subțiri	0,035
Strat subțire de diseleniură de cupru-galiu-indiu	0,105
Strat subțire de telurură de cadmiu	0,095
^a Cu o densitate a celulelor fotovoltaice de minim de 80%.	

4.6. Centrale eoliene (sursa – SR EN 15316-4-10)

4.6.1. Descrierea metodei de calcul

Pentru determinarea energiei electrice produse de WPS (wind power systems) se aplică procedura de calcul prezentată în standardul **SR EN 15316-4-10**.

Metoda de calcul este valabilă doar pentru sistemele WPS cu puterea mai mică de **75 kW** (adică sisteme de putere mică, utilizate în clădiri civile sau pentru producție locală). Sursa este de tip **ONSITE** (în/lângă/pe clădire) sau **NEARBY** (la o distanță care permite alimentarea direct din acel sistem).

Există 3 clase de centrale eoliene cu puterea mai mică de 75 kW, caracteristicile tehnice uzuale fiind prezentate în tabelul 4.8.

Tabel 4.8 Clase de centrale eoliene de puteri mici

TIP EOLIANĂ	Aria rotorului	Puterea turbinei	Diametrul rotorului	Înălțimea tipică a hub-ului
	A_{Rotor}	P_{WPS}	D_{Rotor}	h_2
	m^2	kW	m	m
S	40 - 200	≤ 75	7 - 16	20 - 50
XS	3,5 - 40	≤ 40	2,1 - 7	12 - 30
Micro	$\leq 3,5$	≤ 1	$\leq 2,1$	6 - 20

Mărimile pe baza cărora se determină energia produsă cu centralele eoliene sunt :

Tabel 4.9. Mărimi de calcul conform procedurii din SR EN 15316-4-10

INPUTS (marimi de calcul)	Simbol	UM
Viteza de referință la înălțimea de referință h_1	v_1	m/sec
Numărul de zile din lună	d_{mth}	d
Aria rotorului	A_{Rotor}	m^2
Diametrul rotorului	D_{Rotor}	m
Înălțimea hub-ului	h_2	m
Factor de calcul dependent de h	α	-

Se determină producția lunară netă de energie electrică (luna i) $Q_{f,\text{prod},\text{WPS},i}$, kWh, cu formula (4.166) următoare :

$$Q_{f,\text{prod},\text{WPS},i} = \sum P_{\text{WPS},\text{WK},n} \cdot t_{\text{WK},n} \quad (4.166)$$

în care

$P_{\text{WPS},\text{WK},n}$ puterea turbinei (WPS) în clasa n de viteză a vântului, în W

$t_{WK,n}$ durată medie a frecvenței în clasa n de viteză a vântului, în h

Puterea turbinei depinde de randamentul mediu global al turbinei și puterea vântului:

$$P_{WPS,WK} = f_{\text{mean-power}} \cdot P_{\text{Wind,WK}} \quad (4.167)$$

în care

$$f_{\text{mean-power}} = c_{p,\text{Betz}} \cdot \eta_{\text{Rotor}} \cdot \eta_{\text{Gearing}} \cdot \eta_{\text{Generator}} \cdot \eta_{\text{Electronics}} \quad (4.168)$$

iar

$$P_{\text{Wind,WK}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_{\text{Rotor}} \cdot v_{\text{WK}}^3 \text{ [W]} \quad (4.169)$$

Mărimile care intervin în relațiile (4.167...169) sunt indicate mai jos

$c_{p,\text{Betz}}$	coeficientul de putere Betz (limita Betz) care reprezintă limita maximă teoretică a unei turbine de a extrage putere electrică dintr-un curent de aer; dacă $v_2=1/3v_1$, atunci $c_{p,\text{Betz}}=16/27=59\%$ (eficiența teoretică maximă a unei turbine eoliene)
η_{Rotor}	eficiența rotorului
η_{Gearing}	eficiența mecanismului de transmisie (= approx. 98%)
$\eta_{\text{Generator}}$	eficiența generatorului (între 96 și 98%)
$\eta_{\text{Electronics}}$	eficiența componentelor electronice
ρ	densitatea aerului, în kg/m^3
A_{Rotor}	aria rotorului, în m^2
v_{WK}	viteza medie a vântului caracteristică unei clase de viteze, în m/s (4...16m/s)

Timpul (în ore) mediu de funcționare/lună aferent clasei n se determină astfel :

$$t_{WK,n} = 24 \cdot d_{\text{mth}} \cdot f(v_{WK,n}) \quad (4.170)$$

în care

$$f(v_{WK}) = \frac{k}{WS} \cdot \left(\frac{v_{WK}}{WS} \right)^{k-1} \cdot \exp \left(- \left(\frac{v_{WK}}{WS} \right)^k \right) \quad (4.171)$$

unde

$f(v_{WK})$	frecvența vitezei vântului în clasa de viteză a vântului respectivă, în %
v_{WK}	viteza medie a vântului pentru o clasă de viteză a vântului, în m/s
WS	factorul de scară (Waloddi) Weibull, în m/s
k	factorul de formă Weibull, adimensional
v_1	viteza de referință la înălțimea de referință h_1 , în m/s
v_2	viteza medie a vântului la înălțimea h_2 , în m/s
h_1	înălțimea de referință (uzual 10 m), în m
h_2	înălțimea hub-ului, în m
α	exponentul de calcul alocat înălțimii h

Factorul de scară (Waloddi) Weibull se determină cu relațiile (4.172-173) astfel:

$$WS = \frac{2 \cdot v_2}{\sqrt{\pi}} \quad (4.172)$$

$$v_2 = v_1 * \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^\alpha \quad (4.173)$$

4.6.2. Exemplu de calcul

Se consideră o centrală eoliană cu caracteristicile de mai jos:

Aria rotorului	A_{Rotor}	=38	m ²
Diametrul rotorului	D_{Rotor}	=7	m
Înălțimea de montare ax hub	h_2	=30	m
Viteza de referință a vântului	v_1	=8	m/sec
	la h_1	=10	m
	α	=0,14	-
Număr de zile pe lună	d_{mth}	=30	zile
k	= 2 (factor forma Weibull)		
ρ	= 1,225 kg/m ³		

Se calculează cu formulele (4.172) și (4.173):

WS (factor scara Weibull)	= 10,53
Viteza medie a vântului	$v_2=9,33$ m/s

Se ține cont că centrala eoliană funcționează din considerente constructive și economice doar pentru viteze ale vântului între 4 și 16 m/s.

Tabel 4.10 Exemplu de calcul pentru determinarea energiei produse cu o centrală eoliană

v_{WK}	$f(v_{WK})$	$\Sigma f(v_{WK})$	$t_{WK,n}$	$P_{wind,WK,n}$	$Q_{f,prod,WPS,i}$
m/s	[%]	[%]	[h]	[W]	[kWh]
	$f(v_{WK}) = \frac{k}{WS} \cdot \left(\frac{v_{WK}}{WS}\right)^{k-1} \cdot \exp\left(-\left(\frac{v_{WK}}{WS}\right)^k\right)$		$t_{WK,n} = 24 \cdot d_{mh} \cdot f(v_{WK,n})$	$P_{Wind,WK} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_{Rotor} \cdot v_{WK}^3$ [W]	$Q_{f,prod,WPS,i} = \sum P_{WPS,WK,n} \cdot t_{WK,n}$
1	0,90	0,90	6,5	-	-
2	2,65	3,54	19,1	-	-
3	4,25	7,80	30,6	-	-
4	5,64	13,44	40,6	302	12,259
5	6,75	20,19	48,6	589	28,643
6	7,54	27,73	54,3	1,018	55,282
7	8,00	35,73	57,6	1,617	93,117
8	8,13	43,87	58,6	2,414	14,137
9	7,98	51,85	57,5	3,437	197,512
10	7,59	59,43	54,6	4,741	257,482
11	7,00	66,44	50,4	6,275	316,332
12	6,29	72,72	45,3	8,146	368,929
13	5,51	78,23	39,7	10,357	410,718
14	4,71	82,94	33,9	12,936	438,326
15	3,93	86,87	28,3	12,936	365,834
16	3,20	90,07	23,1	12,936	298,452

Producția de energie electrică prin utilizarea centralei eoliene este:

$Q_{f,prod;WPS,I}=2857,0$ kWh/lună.