

Modelarea sistemelor cu purtători multipli de energie în clădiri*

Modelling of systems with multiple energy carriers in buildings

Pavel Atănăsoae

Universitatea „Ștefan cel Mare” Suceava Str.
Universității 13, 720229, Suceava, Romania
E-mail: atanasoaee@eed.usv.ro

Rezumat. În lucrare se prezintă un exemplu de modelare a sistemelor cu purtători multipli de energie bazat pe conceptul de hub energetic. Modelul a fost personalizat pentru a putea fi utilizat în etapa de proiectare sau reabilitare a unei clădiri. Această abordare permite configurarea optimă a diferitelor surse de energie disponibile, inclusiv a surselor regenerabile, pentru alimentarea cu energie a clădirilor.

Cuvinte cheie: purtători multipli de energie, hub energetic, modelarea sistemelor

Abstract. The paper presents an example of modeling for systems with multiple energy carriers based on the concept of energy hub. The model was personalized to be used in the design or refurbishment stage of a building. This approach enables optimal configuration of the various available energy resources, including renewable sources, for the power supply of buildings.

Key words: multiple energy carriers, energy hub, systems modelling

1. Introducere

În cele mai multe cazuri, sursele de alimentare cu energie a unei clădiri sunt luate în considerare și analizate individual. Tratarea în comun și nu individual poate să conducă la o serie de beneficii. Aceste beneficii pot fi sintetizate în: continuitatea în alimentare cu energie, flexibilitatea în alimentare și potențialul de optimizare.

Disponibilitatea de energie pentru sarcina cerută nu mai este dependentă de o singură infrastructură având în vedere mai multe intrări în hub-ul energetic care pot fi utilizate pentru a satisface cererea de ieșire.

Creșterea flexibilității în alimentare se datorează căilor redundante care oferă un anumit grad de libertate în acoperirea curbei de sarcină.

Potențialul de optimizare derivă din faptul că mai multe surse și diferite combinații ale acestora pot fi utilizate pentru a satisface cerințele de consum cu un cost cât mai scăzut. Sursele utilizate pot fi caracterizate prin costuri diferite, emisiile aferente, disponibilitate și alte criterii.

* Lucrare inclusă în programul conferinței RCEPB 2014

De regulă, metodele de optimizare sunt utilizate pe sisteme cu o singură formă de energie: energie electrică, gaze naturale sau rețeaua de termoficare. În ultimul timp se constată o creștere a preocupărilor privind modelarea și analiza combinată a sistemelor cu surse multiple de energie [1-5].

2. Descrierea problemei

Alimentarea cu energie a unei clădiri se realizează din diverse surse, prin intermediul purtătorilor de energie, fie direct fie prin intermediul sistemelor de conversie care transformă energia dintr-o formă de energie în alta.

Luarea în considerare a interacțiunilor dintre aceste sisteme de energie s-a realizat după conceptul de hub energetic. Un hub energetic reprezintă interfața dintre infrastructura de transport (rețele), surse locale și consumurile (sarcinile) de energie din clădire. Elemente de bază ale unui hub energetic sunt: conexiunile directe și convertoarele (sursele locale) de energie.

De exemplu, energia electrică necesară consumatorilor din clădire poate fi asigurată fie din rețeaua electrică publică fie poate fi produsă local într-o centrală de cogenerare sau utilizând surse regenerabile de energie (solară, eoliană). Similar, pentru celelalte utilități necesare clădirii (încălzire, răcire) pot fi luate în considerare diverse soluții de alimentare (fig.1).

Astfel, necesarul de energie în clădire poate fi asigurat direct de la intrarea corespunzătoare sau poate fi generat parțial sau total în interiorul hub-ului. Printr-o astfel de abordare poate fi substituit sau chiar eliminat un purtător de energie neatractiv, de exemplu cu cost ridicat.

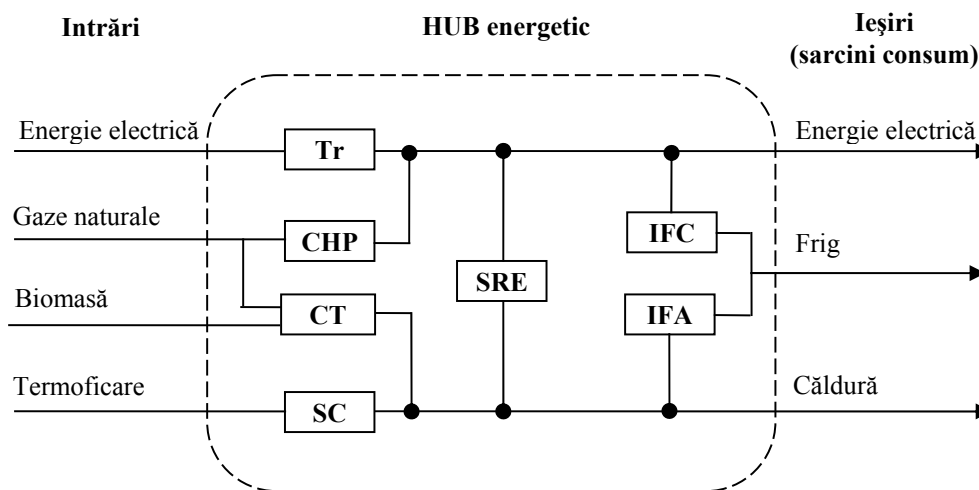


Fig.1. Exemplu privind structura unui hub energetic

Tr-transformator de putere coborâtor; CHP-centrală de cogenerare; CT-centrală termică; SC-schimbător de căldură; SRE-surse de energie regenerabile; IFC-instalație frigorifică cu compresie; IFA-instalație frigorifică cu absorbție.

Ecuția matricială care reprezintă un sistem cu purtători multipli de energie are forma următoare:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} L_{\alpha} \\ L_{\beta} \\ \vdots \\ L_{\omega} \end{bmatrix}}_L = \underbrace{\begin{bmatrix} c_{\alpha\alpha} & c_{\beta\alpha} & \cdots & c_{\omega\alpha} \\ c_{\alpha\beta} & c_{\beta\beta} & \cdots & c_{\omega\beta} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{\alpha\omega} & c_{\beta\omega} & \cdots & c_{\omega\omega} \end{bmatrix}}_C \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} P_{\alpha} \\ P_{\beta} \\ \vdots \\ P_{\omega} \end{bmatrix}}_P \quad (1)$$

unde:

$\alpha, \beta, \dots, \omega$ – sunt diferiți purtători de energie;

L – matricea sarcinilor (consumurilor din clădire);

P – matricea purtătorilor de energie care intră în contur (hub);

C – matricea de cuplaj între purtătorii de energie.

Coefficienții de cuplaj caracterizează eficiența energetică a conversiei și au valori cuprinse între:

$$0 \leq c_{ij} \leq 1 \quad (2)$$

Matricea de cuplaj între purtătorii de energie reflectă gradele de libertate în alimentare ce pot fi utilizate pentru optimizarea satisfacerii necesarului de energie în clădire.

3. Exemplu de aplicare

Pentru exemplificare, se consideră un consumator cu profilurile de consum prezentate în figura 2 pentru consumul anual de energie termică și respectiv în figura 3 pentru consumul anual de energie electrică.

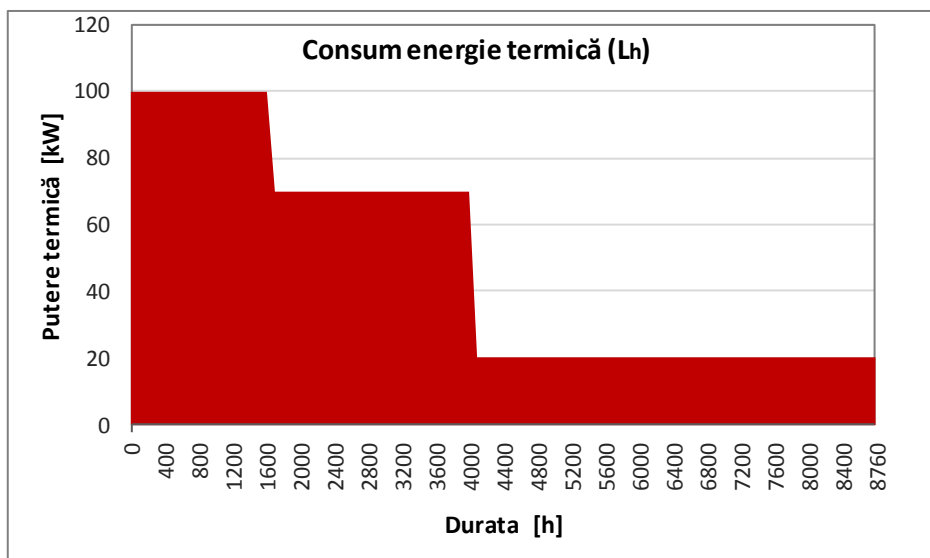


Fig.2. Curba clasată a consumului anual de energie termică

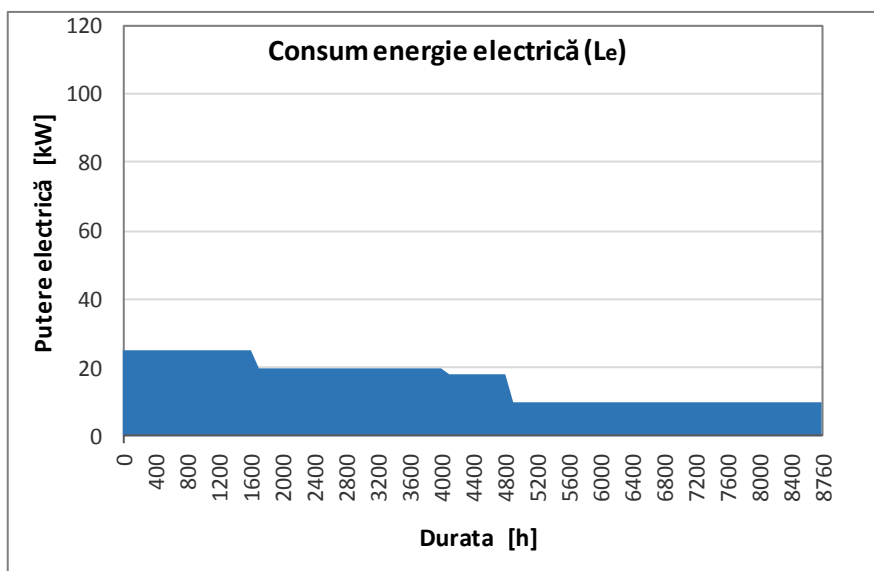


Fig.3. Curba clasată a consumului anual de energie electrică

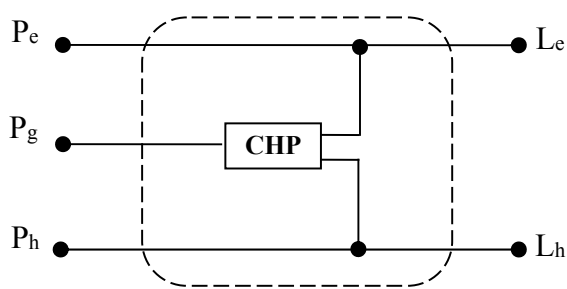


Fig.4. Scenariul 1

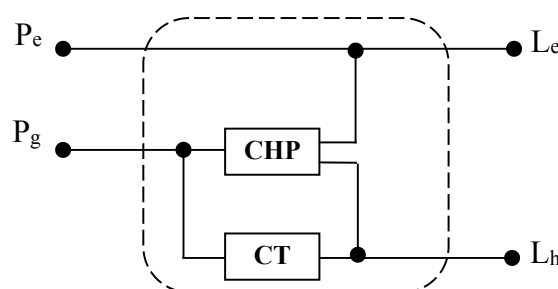


Fig.5. Scenariul 2

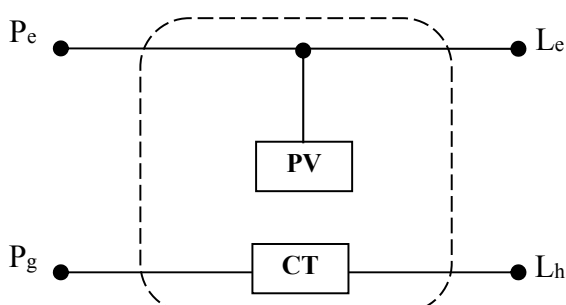


Fig.6. Scenariul 3

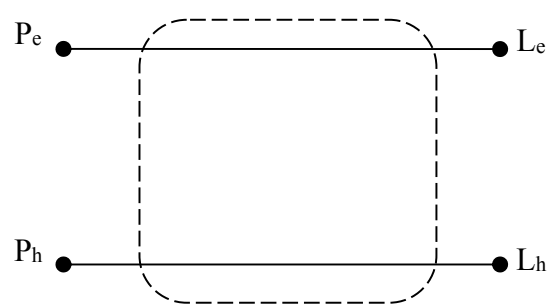


Fig.7. Scenariul 4

Pentru satisfacerea consumurilor de energie, aferente clădirii analizate, s-au luat în considerare următoarele scenarii:

1. Scenariul 1 (figura 4): alimentarea cu energie din rețelele publice de utilități (energie electrică și energie termică) și instalarea la consumator a unei centrale de cogenerare (CHP) pe combustibil gaze naturale;

2. Scenariul 2 (figura 5): alimentarea cu energie electrică din rețeaua publică și instalarea la consumator a unei centrale de cogenerare (CHP) și a unei centrale termice (ca sursă de vârf), ambele utilizând combustibil gaze naturale;
3. Scenariul 3 (figura 6): alimentarea din rețeaua publică și instalarea unei surse de energie regenerabilă (panouri fotovoltaice) pentru asigurarea consumului de energie electrică iar pentru consumul de energie termică instalarea unei centrale termice pe combustibil gaze naturale;
4. Scenariul 4 (figura 7): alimentarea cu energie din rețelele publice de utilități (energie electrică și energie termică) fără alte surse la consumator.

Performanțele diferitelor surse luate în considerare la analiza scenariilor se prezintă în tabelul 1 iar tarifele pentru energia consumată din rețelele publice se prezintă în tabelul 2.

Tabelul 1

Performanțele diferitelor surse luate în considerare la analiza scenariilor

	Putere electrică nominală [kW]	Putere termică nominală [kW]	Randament		Factor de utilizare a capacității nominale	Investiția specifică [Euro/kW]	Operare și mentenanță [%] din investiție
			electric [%]	termic [%]			
CHP	10	20	28	56	-	1500	3
CT	-	80 în S2	-	90	-	53	1,5
		100 în S3					
PV	8	-	-	-	0,16	2500	1

Tabelul 2

Tarifele pentru energia consumată din rețelele publice

Energie electrică [Euro/kW]	Gaze naturale [Euro/kW]	Energie termică [Euro/kW]
0,107	0,027	0,030

Scenariul 1:

Ecuția (1) particularizată pentru secenariul 1:

$$\begin{bmatrix} L_e \\ L_h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{ee} & c_{ge} & c_{he} \\ c_{eh} & c_{gh} & c_{hh} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_e \\ P_g \\ P_h \end{bmatrix} \quad (3)$$

Prin înlocuirea coeficienților de cuplaj, ecuația devine:

$$\begin{bmatrix} L_e \\ L_h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \eta_{CHPe} & 0 \\ 0 & \eta_{CHPh} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_e \\ P_g \\ P_h \end{bmatrix} \quad (4)$$

Rezultă următoarele ecuații:

$$\begin{cases} L_e = P_e + \eta_{CHPe} \cdot P_g \\ L_h = \eta_{CHPh} \cdot P_g + P_h \end{cases} \quad (5)$$

Pentru rezolvare se ține seama de indicele de cogenerare (raportul putere electrică/putere termică):

$$y = \frac{P_{CHPe}}{P_{CHPh}} \left[\frac{kW}{kW} \right] \quad (6)$$

Se impune P_{CHPh} (prin alegerea instalației de cogenerare) și se rezolvă sistemul de ecuații (4) rezultând necunoscutele P_e , P_g și P_h (tabelul 3).

Tabelul 3

Puterile purtătorilor de energie în scenariul 1

Sarcini necesare [kW]		Durata [h/an]	Sarcini necesare [kW]		Durata [h/an]	Sarcini necesare [kW]		Durata [h/an]	Sarcini necesare [kW]		Durata [h/an]
L_e	25	1600	L_e	20	2400	L_e	18	800	L_e	10	3960
L_h	100		L_h	70		L_h	20		L_h	20	
P_e	15		P_e	10		P_e	8		P_e	0	
P_g	35,71		P_g	35,71		P_g	35,71		P_g	35,71	
P_h	80		P_h	50		P_h	0		P_h	0	

Scenariul 2:

Ecuția (1) particularizată pentru scenariul 2:

$$\begin{bmatrix} L_e \\ L_h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \eta_{CHPe} & 0 \\ 0 & \eta_{CHPh} & \eta_{CT} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_e \\ P_{gCHP} \\ P_{gCT} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Rezultă următoarele ecuații:

$$\begin{cases} L_e = P_e + \eta_{CHPe} \cdot P_{gCHP} \\ L_h = \eta_{CHPh} \cdot P_{gCHP} + \eta_{CT} \cdot P_{gCT} \end{cases} \quad (8)$$

Pentru rezolvare, se procedează similar ca în cazul scenariului 1, rezultând necunoscutele P_e și P_g (tabelul 4), unde P_g :

$$P_g = P_{gCHP} + P_{gCT} \quad (9)$$

Tabelul 4

Puterile purtătorilor de energie în scenariul 2

Sarcini necesare [kW]		Durata [h/an]	Sarcini necesare [kW]		Durata [h/an]	Sarcini necesare [kW]		Durata [h/an]	Sarcini necesare [kW]		Durata [h/an]
L_e	25	1600	L_e	20	2400	L_e	18	800	L_e	10	3960
L_h	100		L_h	70		L_h	20		L_h	20	
P_e	15		P_e	10		P_e	8		P_e	0	
P_g	124,60		P_g	91,27		P_g	35,71		P_g	35,71	

Scenariul 3:

Ecuția (1) particularizată pentru scenariul 3:

Modelarea sistemelor de energie cu purtători multipli de energie

$$\begin{bmatrix} L_e \\ L_h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - FC_{PV} & FC_{PV} & 0 \\ 0 & 0 & \eta_{CT} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_e \\ P_{PV} \\ P_g \end{bmatrix} \quad (10)$$

Rezultă următoarele ecuații:

$$\begin{cases} L_e = (1 - FC_{PV}) \cdot P_e + FC_{PV} \cdot P_{PV} \\ L_h = \eta_{CT} \cdot P_g \end{cases} \quad (11)$$

Pentru rezolvare, se impune P_{PV} (prin alegerea puterii instalate a panourilor fotovoltaice) și se ține seama de factorul de utilizare a capacității instalate FC_{PV} pentru această tehnologie în condițiile din România [6], rezultând necunoscutele P_e și P_g (tabelul 5).

Tabelul 5

Puterile purtătorilor de energie în scenariul 3

Sarcini necesare [kW]		Durata [h/an]	Sarcini necesare [kW]		Durata [h/an]	Sarcini necesare [kW]		Durata [h/an]	Sarcini necesare [kW]		Durata [h/an]
L_e	25	1600	L_e	20	2400	L_e	18	800	L_e	10	3960
L_h	100		L_h	70		L_h	20		L_h	20	
P_e	23,72		P_e	18,72		P_e	16,72		P_e	8,72	
P_g	111,11		P_g	77,78		P_g	22,22		P_g	22,22	

Scenariul 4:

În această variantă consumurile de energie sunt asigurate din rețelele publice de utilități (tabelul 6).

Tabelul 6

Puterile purtătorilor de energie în scenariul 4

Sarcini necesare [kW]		Durata [h/an]	Sarcini necesare [kW]		Durata [h/an]	Sarcini necesare [kW]		Durata [h/an]	Sarcini necesare [kW]		Durata [h/an]
L_e	25	1600	L_e	20	2400	L_e	18	800	L_e	10	3960
L_h	100		L_h	70		L_h	20		L_h	20	
P_e	25		P_e	20		P_e	18		P_e	10	
P_h	100		P_h	70		P_h	20		P_h	20	

Analiza economică în vederea aplicării diverselor soluții de alimentare cu energie a unei clădiri presupune determinarea valorii nete actualizate a costurilor implicate în realizarea investițiilor și exploatarea instalațiilor pe durata de viață a investiției respective.

Valoarea netă actualizată (VNA) reprezintă proiecția la momentul „0” a tuturor costurilor menționate în funcție de rata de depreciere a monedei considerate [7]:

$$VNA = C_0 + \sum_{k=1}^S C_{Ek} \sum_{t=1}^N \left(\frac{1 + f_k}{1 + i} \right)^t + C_M \sum_{t=1}^N \left(\frac{1}{i + 1} \right)^t \quad (12)$$

în care:

C_0 – costul investiției totale în anul „0” [Euro];

C_E – costul anual al energiei consumate, la nivelul anului de referință [Euro/an];

C_M – costul anual al operațiunilor de mentenanță [Euro/an];

f – rata anuală de creștere a costului energiei (0,1 %);

i – rata de actualizare (7 %);

k – indice corespunzător sursei de energie utilizate;

N – durata fizică de viață a sistemului analizat (15 ani).

Costurile totale evidențiate prin valoarea netă actualizată, pentru fiecare scenariu analizat, sunt prezentate în tabelul 7.

Tabelul 7

Costurile totale comparative pentru scenariile analizate

	Scenariul 1	Scenariul 2	Scenariul 3	Scenariul 4
VNA [Euro]	217191	222014	270214	253147

Costurile minime, pentru profilurile de sarcină ale consumatorului analizat, se realizează în cazul scenariului 1.

4. Concluzii

Întreaga infrastructură de alimentare cu energie a unei clădiri poate fi considerată ca un sistem de noduri de energie interconectate.

Interacțiunea între purtătorii de energie se realizează prin intermediul sistemelor de conversie care transformă energia dintr-o formă în alta.

Această flexibilitate în alimentarea cu energie a clădirii ridică noi semne de întrebare cu privire la funcționarea optimă a sistemului.

Printr-o astfel de abordare pot fi indentificate diverse probleme de optimizare privind utilizarea energiei în clădiri. Astfel, în faza de proiectare sau reabilitare a unei clădiri, pot fi selectate diverse surse în vederea unei cuplări optime pentru satisfacerea consumurilor de energie în clădire (încălzire, răcire, energie electrică).

Referințe

- [1] M. Geidl, G. Andersson, „Optimal power flow of multiple energy carriers”, in IEEE Transaction Power Systems, vol. 22, 2007, pp. 145-155.
- [2] M. Geidl, G. Koeppl, P. Favre-Perrod, B. Klockl, G. Andersson, K. Frohlich, 2007, „Energy hubs for the future” in IEEE Power and Energy Magazine, vol.5, no.1, 2007, pp. 24-30.
- [3] V. Corrado, E. Fabrizio, M. Filippi, „Modelling and optimization of multi-energy source building systems in the design concept phase”, Proceedings of Clima 2007 WellBeing Indoors, REHVA World Congress, June 10-14, 2007, Helsinki, Finland.
- [4] A. Sheikhi, Sh. Bahrami, A.M. Ranjbar, S. Sattari, M. Adami, „Financial Analysis for a Multi-Carrier Energy System Equipped with CCHP”, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'13), March 20-22, 2013, Bilbao, Spain.
- [5] A. Sheikhi, A. M. Ranjbar, M. Mahmoody, F. Safe, „CHP Optimize Selection Methodology for an Energy Hub System”, 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering, May 8-11, 2011, Rome, Italy.
- [6] *** ANRE (Autoritatea Națională de Reglementare în domeniul Energiei): <http://www.anre.ro>
- [7] *** Mc 001/3-2006, Metodologie de calcul al performanței energetice a clădirilor.