



DAS<sup>50</sup>

EDIȚIA a XXXII-a

ASOCIAȚIA INGINERILOR DE INSTALAȚII DIN ROMÂNIA  
FILIALA MOLDOVA  
Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași  
Facultatea de Construcții și Instalații  
Departamentul de Ingineria Instalațiilor  
DAS - Iași



# CONFERINȚA

TEHNICO-ȘTIINȚIFICĂ  
cu participare internațională

INSTALAȚII PENTRU  
CONSTRUCȚII  
ȘI  
ECONOMIA DE ENERGIE

7 - 8 iulie 2022  
IAȘI  
ROMÂNIA

MATRIX ROM  
București, 2022

## **Comitete**

### **Președintele Conferinței**

**Vasilică CIOCAN**

CONF.UNIV.DR.ING. PREȘEDINTE AIIR FILIALA MOLDOVA

### **Președintele Onorific al Conferinței**

**Adrian RETEZAN**

PROF.UNIV.EM.DR.ING. PREȘEDINTE ONORIFIC AIIR FILIALA BANAT

### **Comitetul Științific**

Vasilică CIOCAN

Marina VERDEȘ

Mihai PROFIRE

Cătălin-Daniel GĂLĂȚANU

Victoria COTOROBAI

Cătălin-George POPOVICI

Ana-Diana ANCAȘ

Nelu-Cristian CHERECHEȘ

Andrei BURLACU

Iulian GHERASIM

Răzvan-Silviu LUCIU

Marius-Costel BALAN

Valeriu-Sebastian HUDIȘTEANU

Florin Emilian ȚURCANU

Robert Ștefan VIZITIU

### **Comitetul de Organizare**

Vasilică CIOCAN

Marina VERDEȘ

Mihai PROFIRE

Cătălin-Daniel GĂLĂȚANU

Victoria COTOROBAI

Cătălin-George POPOVICI

Ana-Diana ANCAȘ

Nelu-Cristian CHERECHEȘ

Andrei BURLACU

Iulian GHERASIM

Răzvan-Silviu LUCIU

Marius-Costel BALAN

Valeriu-Sebastian HUDIȘTEANU

Florin Emilian ȚURCANU

Robert Ștefan VIZITIU

Gheorghe AVRAM

Angela AVRAM

Lidia CĂRAUȘ

### **Secretariat**

Elena CREȚU

### **Redactare**

Vasilică CIOCAN

Andrei BURLACU

Marius Costel BALAN

Robert Ștefan VIZITIU

Autorii își asumă responsabilitatea pentru forma și conținutul lucrărilor.



## **PROCEDURA SIMPLIFICATA DE EVALUARE A PERFORMANTELOR ENERGETICE ALE POMPELOR DE CALDURA PENTRU PREPARAREA APEI CALDE DE CONSUM. ANALIZA ENERGETICA SI ECONOMICA**

**Mugurel TALPIGA, Florin IORDACHE**

*Universitatea Tehnică de Construcții București – Facultatea de Ingineria Instalațiilor*

### **Rezumat**

*Lucrarea are ca obiectiv principal prezentarea unei proceduri simplificate de evaluare a performanțelor energetice ale unui sistem sursa-consumator folosind o pompa de caldura cu comprimare mecanica de vapori. Un al doilea obiectiv il constituie identificarea capacitatii termice a pompei de caldura functie de capacitatea instalatiei de prepararea a apei calde de consum, ACC, a consumatorului. Justificarea raportului dintre capacitatea pompei de caldura si capacitatea instalatiei de preparare a apei calde de consum se face atat pe baza energetica cat si pe baza economica tinand seama de costurile de investitie si de exploatare.*

### **1. INTRODUCERE**

Utilizarea pompelor de caldura pentru rezolvarea aspectelor energetice in domeniul utilitatilor termice in cladiri (prepararea apei calde de consum) este din ce in ce mai recomandata in contextul actual in care se vorbeste despre cladirile nZEB. In acest sens a rezultat ca o problema importanta alegerea corespunzatoare a capacitatii pompei de caldura vis-à-vis de capacitatea consumatorului deservit. In acest sens s-a considerat un consumator de tip prepararea apei calde de consum si o pompa de caldura de tip aer-apa prin care se alimenteaza instalatia de preparare a apei calde a consumatorului. Corelatia dintre capacitatile energetice ale consumatorului si pompei de caldura este o problema destul de complexa care implica o serie de parametrii de functionare ai instalatiei de preparare a apei calde, domeniul de temperaturi exterioare pe lunile anului si altii. In lucrarea de fata ne propunem sa prezentam in principal procedura de analiza care sa conduca la identificarea raportului optim intre capacitatile energetice ale consumatorului si pompei de caldura.

## 2.Descrierea unei proceduri noi, simplificare de evaluare a performantelor energetice ale pompei de caldura deservind un consumator de ACC.

Procedura se bazeaza pe corelatia care exista intre eficienta frigorifica CARNOT si diferenta intre temperaturile mediilor cald si rece catre care se livreaza putere termica si respective din care se extrage putere termica.

$$\varepsilon_{VP}^C = \frac{T_{VP}}{T_{CD} - T_{VP}} = \frac{\theta_{VP} - \Delta t_{VP} + 273.15}{\theta_{CD} - \theta_{VP} + \Delta t_{CD} + \Delta t_{VP}} \quad (1)$$

O reprezentare grafica a eficientei frigorifice CARNOT conform relatiei (1) o regasim in fig.1 care urmeaza:

Pentru valori ale diferentelor medii de temperatura la vaporizatorul si condensatorul pompei de caldura de cca. 5 oC se obtine o corelatie destul buna intre eficienta  $\varepsilon_{CVP}$  si diferenta de temperatura  $\Delta\theta = \theta_{CD} - \theta_{CD}$  dupa cum se observa din fig. 2.

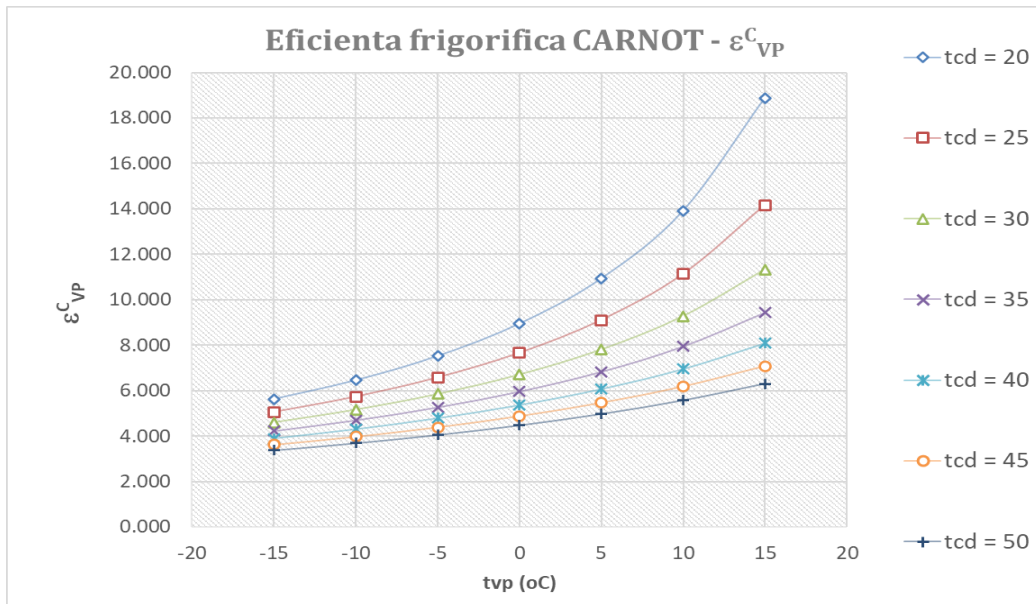


Fig.1

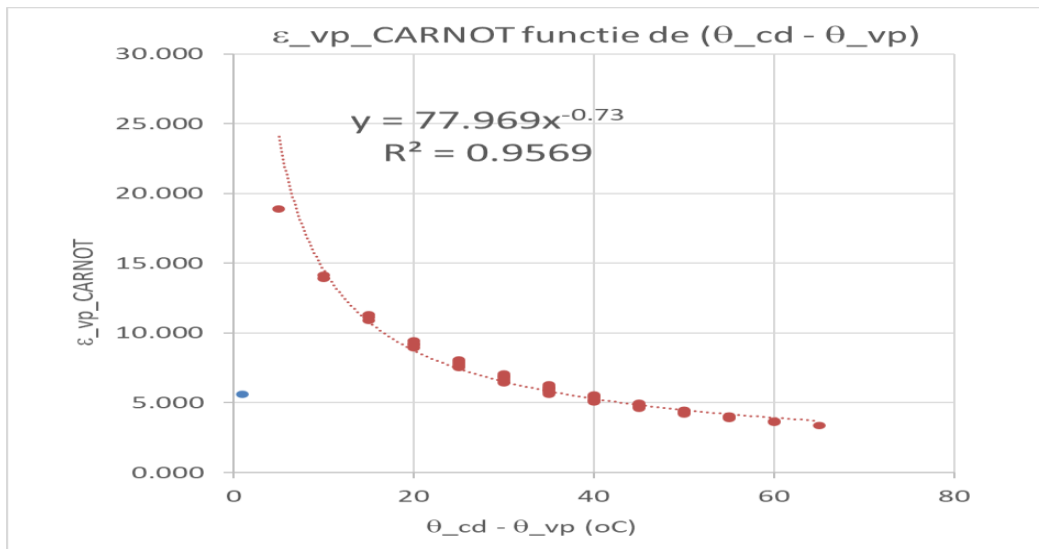


Fig.2

Adica :

$$\varepsilon_{VP}^C = 77.969 \cdot \Delta\theta^{-0.7236} = \frac{77.969}{\Delta\theta^{0.7236}} \quad (2)$$

Tinand seama de corelatia dintre eficienta frigorifica izentropica si eficienta frigorifica CARNOT pusa in evidenta in mai multe lucrari anterioare [1], [2], [3].

$$\begin{aligned} \varepsilon_{VP}^{IZ} &= M \cdot \varepsilon_{VP}^C - N = 0.958 \cdot \varepsilon_{VP}^C - 1.5321 \\ \varepsilon_{VP}^{IZ} &= 0.958 \cdot \frac{77.969}{\Delta\theta^{0.7236}} - 1.5321 \end{aligned} \quad (3)$$

Rezulta pentru coeficientul de performanta al pompei de caldura, COP expresia :

$$\begin{aligned} COP &= \left(1 + \varepsilon_{VP\_iz}^* \cdot \eta_{iz}\right) \cdot \eta_{EL} \\ COP &= \left[1 + \left(0.958 \cdot \frac{77.969}{\Delta\theta^{0.7235}} - 1.5321\right) \cdot \eta_{iz}\right] \cdot \eta_{EL} \end{aligned} \quad (4)$$

Evaluarea efectiva a COP-ului presupune cunoasterea sau determinarea prealabila a randamentelor izentropic,  $\eta_{IZ}$ , si electric  $\eta_{EL}$ .

Pe de alta parte in ceea ce priveste puterea electrica, avem expresia :

$$P_{EL} = \frac{P_{CD}}{COP} \quad (5)$$

Daca pompa de caldura se alege astfel incat  $P_{cd} = P_{nec}$ , iar :

$$\begin{aligned} P_{nec} &= H_{ACC} \cdot (t_{ac} - t_{ar}) \\ P_{CD} &= H_{ACC} \cdot (t_{ac} - t_{ar}) \\ H_{ACC} &= 1.163 \cdot G_{ACC} \end{aligned} \quad (6)$$

Debitul de apa calda de consum este un debit orar, mediu zilnic.

Pe de alta parte conform procedurii de lucru prezentate pe larg in [4], temperaturile madiilor rece si cald se stabilesc conform :

$$\begin{aligned} \theta_{VP} &= t_e \\ \theta_{CD} = t_m &= \frac{1}{2} \cdot (t_{ac} + t_{ar}) \end{aligned} \quad (7)$$

Relatiile (7) se scriu :

$$\begin{aligned} \theta_{VP} &= t_e; \quad \theta_{CD} = t_m \\ \Delta\theta &= \theta_{CD} - \theta_{VP} = t_m - t_e \end{aligned} \quad (8)$$

Astfel intre puterea electrica si puterea termica emisa la condensator exista relatiile :

$$P_{EL} = \frac{P_{CD}}{COP} = \frac{P_{CD}}{\left[ 1 + \left( 0.958 \cdot \frac{77.969}{\Delta\theta^{0.7236}} - 1.5321 \right) \cdot \eta_{iz} \right] \cdot \eta_{EL}}$$

$$P_{CD} = P_{EL} \cdot COP = \left[ 1 + \left( 0.958 \cdot \frac{77.969}{\Delta\theta^{0.7236}} - 1.5321 \right) \cdot \eta_{iz} \right] \cdot \eta_{EL} \cdot P_{EL} \quad (9)$$

$$\Delta\theta = t_m - t_e$$

Daca avem in vedere dependenta puterii termice necesare consumatorului si a puterii termice livrate de condensatorul pompei de caldura functie de temperatura exterioara prezentate in relatiile (10), atunci :

$$P_{nec} = H_{ACC} \cdot (t_{ac} - t_{ar})$$

$$P_{CD} = P_{EL} \cdot COP = \left[ 1 + \left( 0.958 \cdot \frac{77.969}{\Delta\theta^{0.7236}} - 1.5321 \right) \cdot \eta_{iz} \right] \cdot \eta_{EL} \cdot P_{EL} \quad (10)$$

$$\Delta\theta = t_m - t_e$$

Acestea pot fi reprezentate grafic dupa cum se observa in fig. 3.

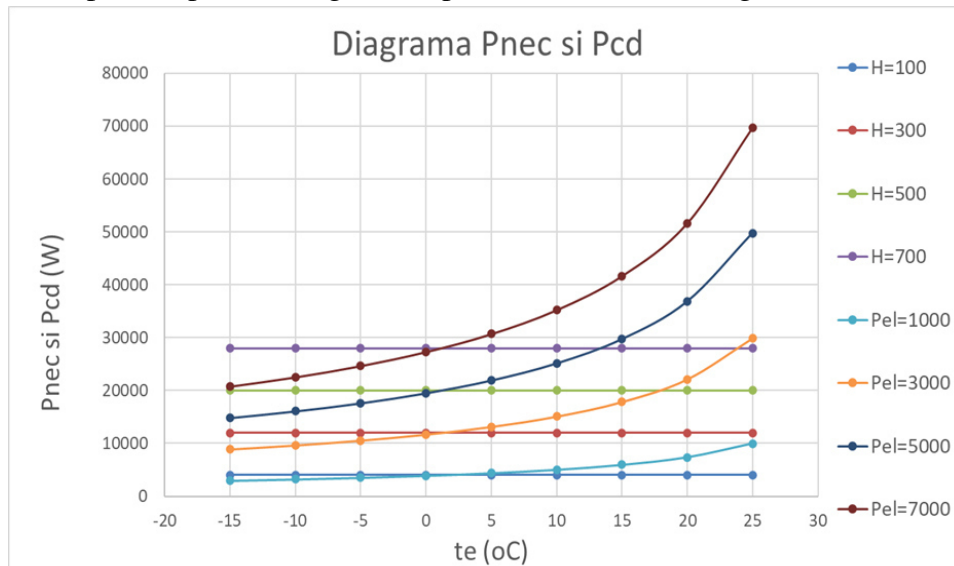


Fig. 3

Atat din relatiile (10) cat si din fig.3 se observa ca fiecare din cele 2 familii de curbe depinde de cate un parametru, Astfel puterea termica necesara a consumatorului depinde de capacitatea termica a consumatorului de apa caldă, HACC, iar puterea termica livrata de condensatorul pompei de caldura depinde de puterea electrica de alimentare a compresorului pompei de caldura. In fig. 3 se observa cum cele 2 familii de curbe se intersecteaza in puncte caracterizate pe abscisa de temperatura exterioara de echilibru. Consideram ca exista o asociatie optima intre curbele din cele 2 familii. Fiecare dreapta din fasciculul puterilor necesare  $P_{nec} = P_{nec}(te, HACC)$  isi are curba pereche optima din fasciculul  $P_{CD} = P_{CD}(te, PEL)$ . Aceasta curba, pereche optima, va rezulta in urma unei analize energetice si economice.

In vederea acestei analize s-a ales o valoare pentru capacitatea de transfer termic a consumatorului,  $HACC = 500 \text{ W/K}$  ceea ce corespunde aproximativ unei scari de bloc cu 10 etaje. In continuare s-a cautat in fasciculul de curbe ale puterii livrate de pompa de caldura

acele curbe care intersecteaza dreapta corespunzatoare puterii consumatorului pentru  $H = 500$  W/K in punctele de temperatura exterioara de echilibru,  $t_{eE} = -15, -10, -5, 0, +5$  si  $+10, +15, +20, +25$  oC. In plus se va considera ca aceste valori de temperatura exterioara sunt reprezentative (medii) pe domenii de 5 oC si pe intreaga perioada a anului au durate dupa cum rezulta din tabelul 1.

Tabel 1

$t_{eE}$ (oC)	$\Delta t_e$ (oC)	Nz (zile)
-15	-17.5 ...-12.5	2
-10	-12.5 ...-7.5	11
-5	-7.5 ...-2.5	32
0	-2.5 ...+2.5	60
5	+2.5 ...+7.5	53
10	+7.5 ...+12.5	24
15	+12.5 ...+17.5	75
20	+17.5 ...+22.5	84
25	+22.5 ...+27.5	24

Va trebui gasit parametrul putere electrica din expresia corespunzatoare a puterii termice livrate de pompa de caldura in situatia in care valoarea acesteia devine egala cu puterea termica necesara a consumatorului pentru temperaturile exterioare de echilibru adica  $t_{eE} = -15, -10, -5, 0, +5$  si  $+10, +15, +20, +25$  oC. Rezolvarea este simpla utilizand relatiile (10). Se obtin valorile prezentate in tabelul 2.

Tabel 2

$t_{eE}$ (oC)	Pcd (W)	Pel (W)
-15	20000	6737.985
-10	20000	6212.179
-5	20000	5675.411
0	20000	5125.485
5	20000	4559.454
10	20000	3973.186
15	20000	3360.545
20	20000	2711.612
25	20000	2008.063

In fig.4 se prezinta o varianta de tip exemplu pentru o intersectie intre cele 2 tipuri de curbe mentionate. Punctul de intersectie indica egalitatea dintre puterea necesara a consumatorului si puterea termica livrata de pompa de caldura, avand abscisa  $t_{eE}$ . Se disting cele 3 zone : Z1, Z2 si Z3. Zona Z1 este corespunzatoare puterii termice livrate consumatorului de centrala termica, zona Z2 corespunzatoare puterii termice livrate de pompa de caldura si zona Z3 corespunzatoare puterii termice livrate de pompa de caldura in conditiile scaderii puterii electrice utilizate de compresorul masinii. Dupa cum se observa zonele mentionate sunt zone de puteri termice a caror valori depind de temperatura exterioara. Astfel pentru  $t_e < t_{eE}$  pompa de caldura va functiona cu puterea electrica corespunzatoare temperaturii  $t_{eE}$  si cu un COP corespunzator temperaturii exterioare respective,  $t_e$ , iar pentru  $t_e > t_{eE}$  pompa de caldura va functiona cu  $P_{CD} = P_{ACC}$  si cu un COP corespunzator temperaturii exterioare respective,  $t_e$ . Trebuie mentionat faptul ca in cazul prepararii apei

calde de consum scadea puterii electrice se datoreaza cresterii valorii COP in domeniul  $t_e > t_{eE}$ . In fig.5 se prezinta tot cu caracter calitativ o diagrama a puterilor termice si electrice pentru cazul in care temperatura exterioara de echilibru este  $t_{eE} = -5$  oC. Se observa ca in zona temperaturilor exterioare,  $t_e$ , mai mici decat temperatura exterioara de echilibru,  $t_{eE}$ , puterea electrica se va pastra constanta pe valoarea maxima.

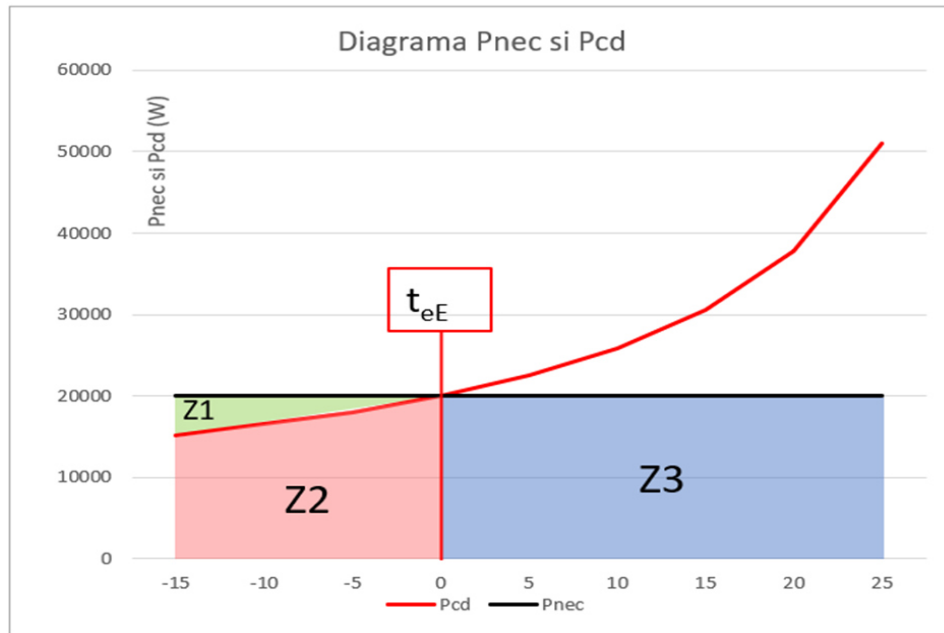


Fig. 4

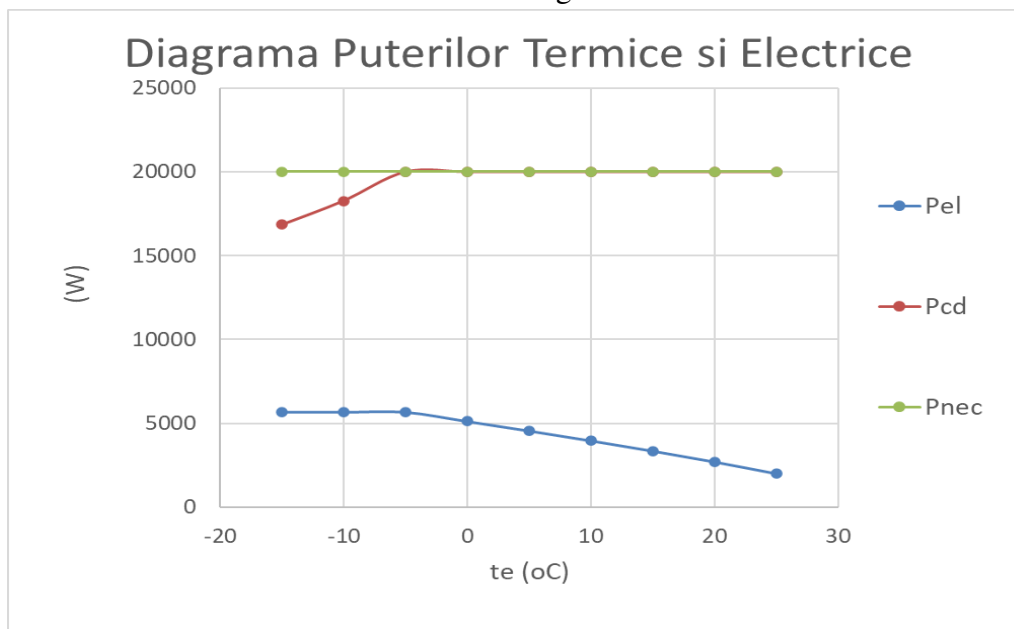


Fig.5

### 3. Aspecte energetice

O imagine mai concreta o avem in fig.6 care corespunde unei temperaturi  $t_{eE} = 0$  oC. O imagine asemanatoare omloaga celei din fig.6 este cea prezentata in fig.7 care se refera acum la energiile termice corespunzatoare acestor zone. Se observa o scadere a ponderii energiei furnizate de centrala termica in timp ce ponderea energiei termice furnizate de pompa



de caldura a crescut. Acest lucru se datoreaza frecventei de aparitie a temperaturilor exterioare care sunt mai mari in domeniul  $t_e = -5 \dots 0$  oC fata de domeniul  $t_e = -15 \dots -10$  oC. In figurile 8 si 9 se prezinta diagramele puterilor electrice si termice la vaporizator si respectiv diagramele energiilor electrice si la vaporizator

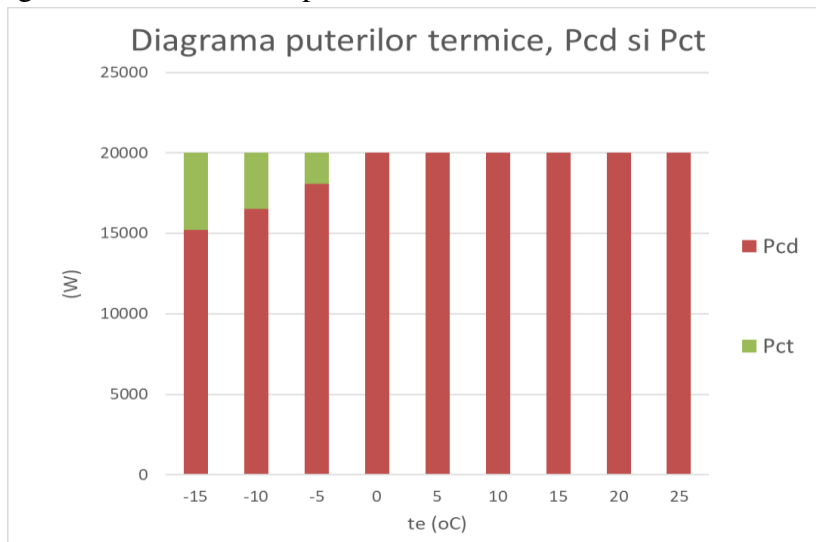


Fig.6

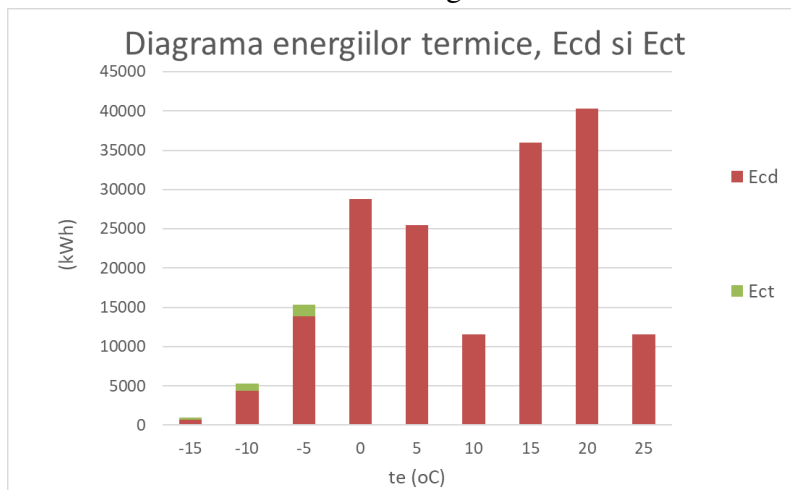


Fig.7

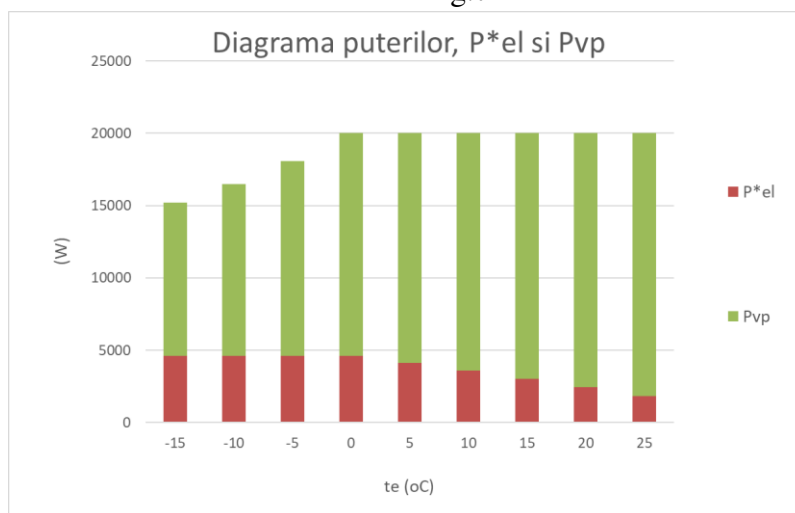


Fig.8

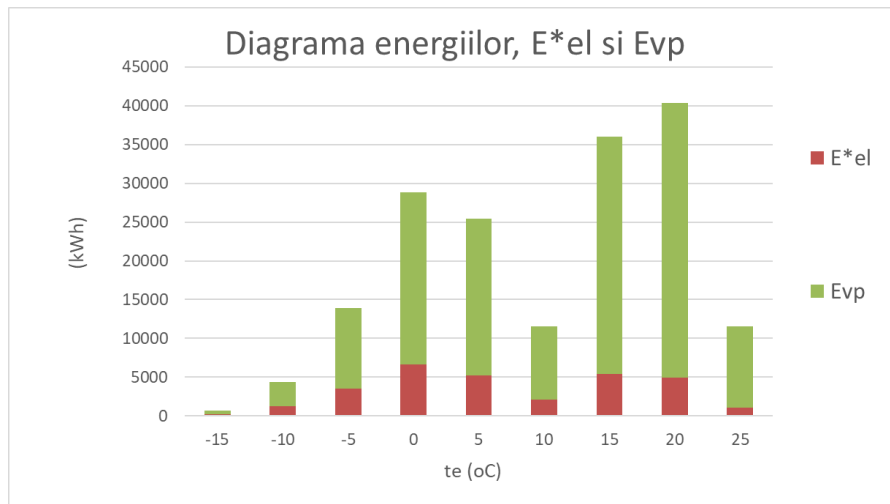


Fig.9

S-a procedat in acest fel pentru toate variantele de dimensionare a pompei de caldura si in final a rezultat urmatoarea situatie generala privind consumurile de energie :

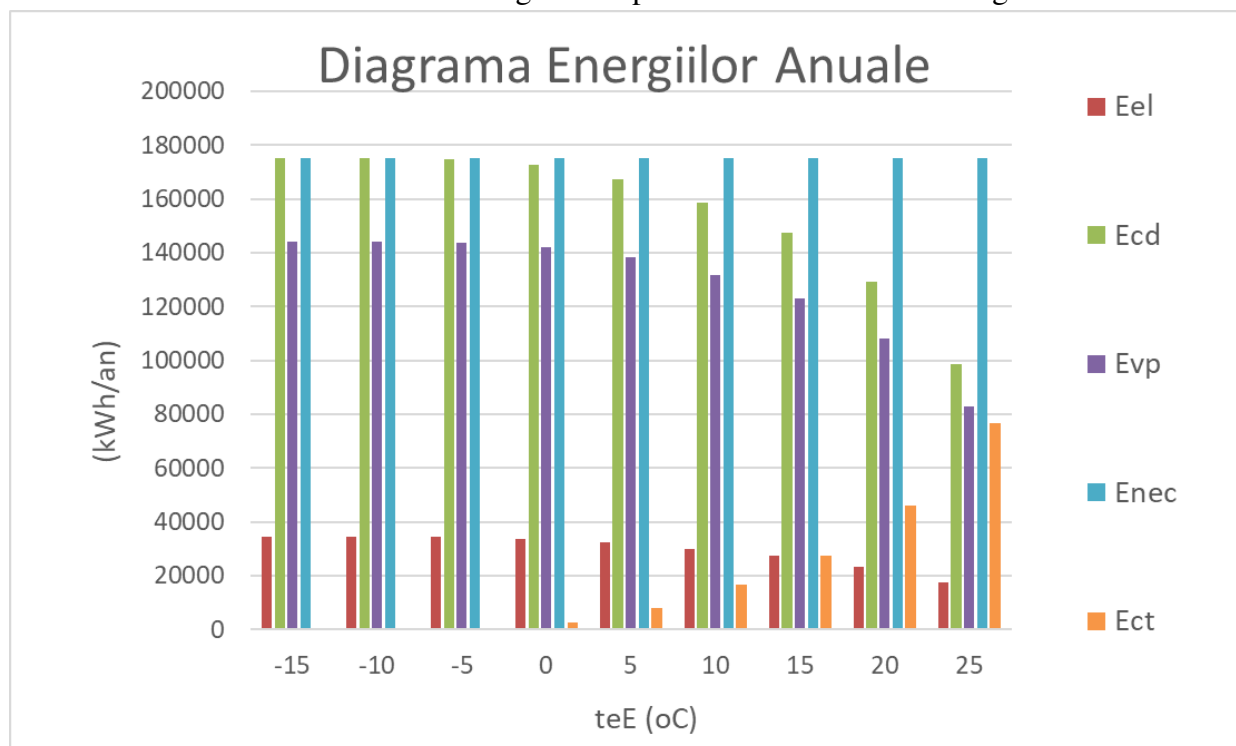


Fig.10

In fig.10 se prezinta toate categoriile de energii absorbite si consumate de sistemul sursa – consumator. Bara corespunzatoare energiei absorbite din mediu (regenerabila) consideram ca este acceptabila pentru o temperatura exterioara de echilibru, teE, in domeniu teE = 0 ...5 °C ceea ce inseamna un raport HAC/PEL = 0.12 si 0.18.

#### 4.Aspecte economice

Pentru evaluarea economica s-a utilizat Fig.11 care este practic identica cu fig.5 in care insa s-au facut o serie de notatii a punctelor importante. Astfel dreptunghiul AHCJ contine diagrama puterilor termice necesare consumatorului pe toata perioada. Poligonul curbiliniu DBCJH contine diagrama puterilor termice livrate de pompa de caldura

consumatorului, iar poligonul curbiliniu EFGJH contine diagrama puterilor electrice utilizate de pompa de caldura. Triunghiul curbiliniu ABD contine diagrama puterilor termice livrate de centrala termica catre consumator. Segmentul de dreapta BI reprezinta puterea termica maxima livrata de pompa de caldura, iar segmentele EH si FI reprezinta puterea electrica maxima utilizata de pompa de caldura. Segmentul de dreapta AD reprezinta puterea maxima a centralei termice. Pentru orice temperatura exterioara de echilibru,  $t_{eE}$ , rezulta puterea electrica maxima utilizata de pompa de caldura si diagramele puterilor termice livrate de catre pompa de caldura si de catre centrala termica si diagrama puterii electrice utilizate de catre pompa de caldura. Acestor diagrame le corespund diagrame omoloage prin evaluarea energiilor asociate obtinute prin inmultirea valorilor puterilor cu durata in ore a acestora. Costurile asociate acestor energii termice si electrice se obtin prin inmultirea cu valorile costurilor specifice (lei/kWh<sub>th</sub> sau lei/kWh<sub>el</sub>).

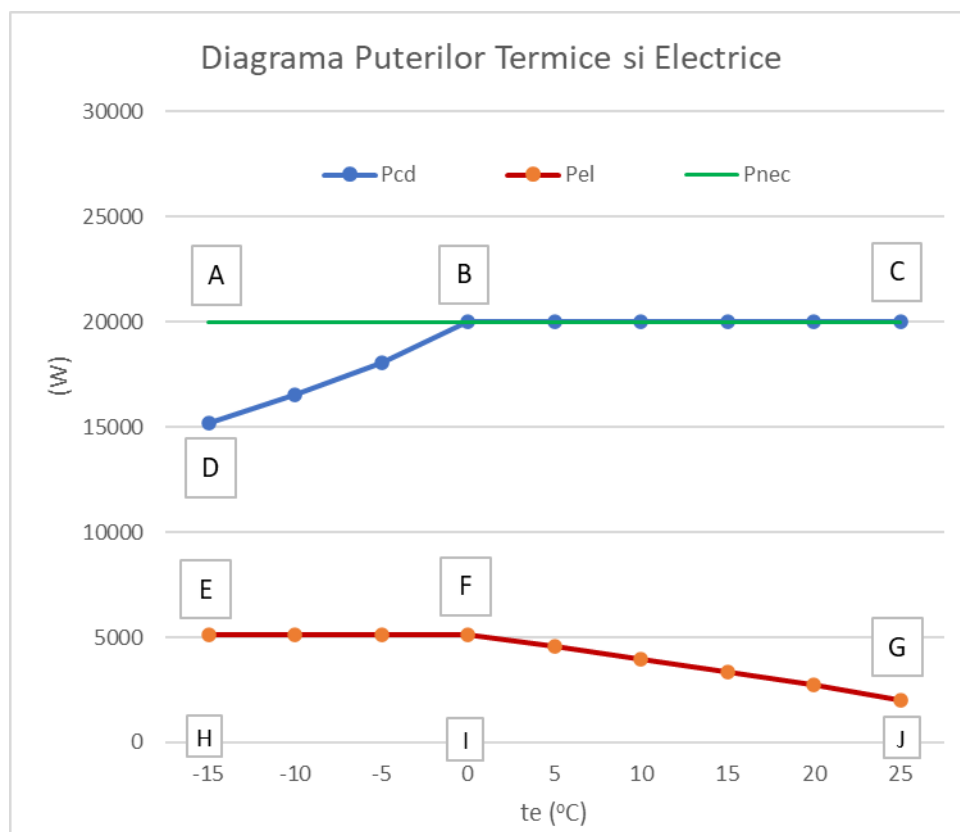


Fig.11

In ceea ce priveste costurile de investitie pentru pompa de caldura s-au utilizat costuri specifice (RON/W<sub>th</sub> sau RON/W<sub>el</sub>). Astfel pentru costurile de investitii rezulta relatiile :

$$CI_{CT} = cth_{CT} \cdot csi_{CT}$$

$$CI_{PC} = cth_{PC} \cdot csi_{PC}$$

(12)

Iar pentru costurile de exploatare :

$$\begin{aligned}
CE_{CT} &= cse_{th} \cdot N_{an} \cdot \sum_{BIN(-15)}^{BIN(+10)} 24 \cdot Nz_{BIN} \cdot pth_{CT_{BIN}} \\
CE_{PC} &= cse_{el} \cdot N_{an} \cdot \sum_{BIN(-15)}^{BIN(+10)} 24 \cdot Nz_{BIN} \cdot pel_{PC_{BIN}}
\end{aligned} \tag{13}$$

Pentru costurile de investitie si exploatare rezulta expresiile :

$$\begin{aligned}
CI_{total} &= CI_{CT} + CI_{PC} \\
CE_{total} &= CE_{CT} + CE_{PC} = \\
&= cse_{th} \cdot N_{an} \cdot \sum_{BIN(-15)}^{BIN(+10)} 24 \cdot Nz_{BIN} \cdot pth_{CT_{BIN}} + \\
&+ cse_{el} \cdot N_{an} \cdot \sum_{BIN(-15)}^{BIN(+10)} 24 \cdot Nz_{BIN} \cdot pel_{PC_{BIN}}
\end{aligned} \tag{14}$$

Si in final costul total global :

$$\begin{aligned}
C_{total} &= CI_{total} + CE_{total} = CI_{total} + \\
&+ cse_{th} \cdot N_{an} \cdot \sum_{BIN(-15)}^{BIN(+10)} 24 \cdot Nz_{BIN} \cdot pth_{CT_{BIN}} + \\
&+ cse_{el} \cdot N_{an} \cdot \sum_{BIN(-15)}^{BIN(+10)} 24 \cdot Nz_{BIN} \cdot pel_{PC_{BIN}} \\
C_{total} &= CI_{total} + CE_{total} = CI_{total} + \\
&+ N_{an} \cdot \left( \begin{aligned} &cse_{th} \cdot \sum_{BIN(-15)}^{BIN(+10)} 24 \cdot Nz_{BIN} \cdot pth_{CT_{BIN}} + \\ &+ cse_{el} \cdot \sum_{BIN(-15)}^{BIN(+10)} 24 \cdot Nz_{BIN} \cdot pel_{PC_{BIN}} \end{aligned} \right)
\end{aligned} \tag{15}$$

Din relatia (15) se observa ca graficul costului total este compus din 2 segmente de dreapta : un segment vertical la  $\tau = 0$  (investitia initiala) si in continuare o dreapta crescatoare functie de  $\tau$  (exploatarea). Si asta pentru fiecare din variantele teE = -15, -10, -5, 0, +5, +10, +15, +20, +25 oC. Sumele din cadrul relatiilor (13)...(15) au ca unitati de masura (kWh/an).

Datele concrete pe baza carora au rezultat costurile implicate in timp pentru diverse variante de configurare a sistemului sursa au fost :

Costurile specifice de investitie :

Tabel 3

Tip Sursa	Cost specific	(RON/kW)
Pompa se Caldura	csi_PC	1000.0
Centrala Termica	csi_CT	100

Costuri specifice de exploatare :

Tabel 4

Tip Energie	Cost specific	Var.1 (RON/kWh)	Var.2 (RON/kWh)
Energie electrica	cse_el	0.75	1,401
Energie termica	csi_th	0.31	0.61

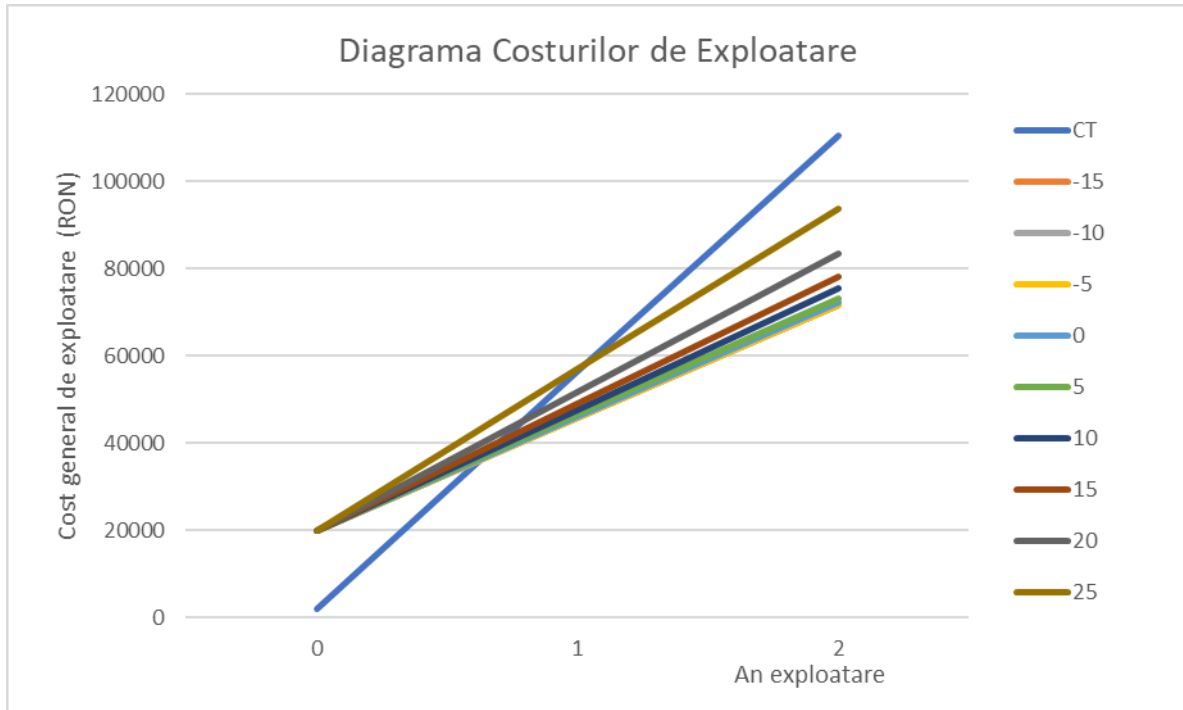


Fig.12

O analiza facuta asupra datelor prezentate in fig.12 arata ca timpii de recuperare a investitiei facute pentru pentru implementarea unei pompe de caldura pentru deservirea consumatorului de tip incalzirea spatiilor este functie de puterea electrica, implicit puterea de condensare aleasa in momentul instalarii echipamentelor. Asadar, in situatia exploatarii unei pompe de caldura pentru prepararea apei calde de consum, recuperarea investitiei este rapida, pentru pompa de caldura care ar satisface totalul necesar al consumatorului, in comparatie cu o sursa clasica, s-ar realiza in aproximativ 1 an. In calculele aferente diagramei din fig. 12, pretul energiei utilizat este constant pe toata perioada, fluctuatiile posibile nefiind evaluate.

Asa cum consideram ca s-a inteles, o temperatura exterioara de echilibru,  $teE$ , mai scazuta inseamna o pompa de caldura mai mare. Conform rezultatelor prezentate in fig.13 optam pentru o alegere a pompei de caldura astfel incat ea sa permita o acoperire a consumului energetic de cca. 60% – 65% din maximul posibil de cca. 80%. Astfel rezulta si o recuperare a investitiei de cca. 18 luni.

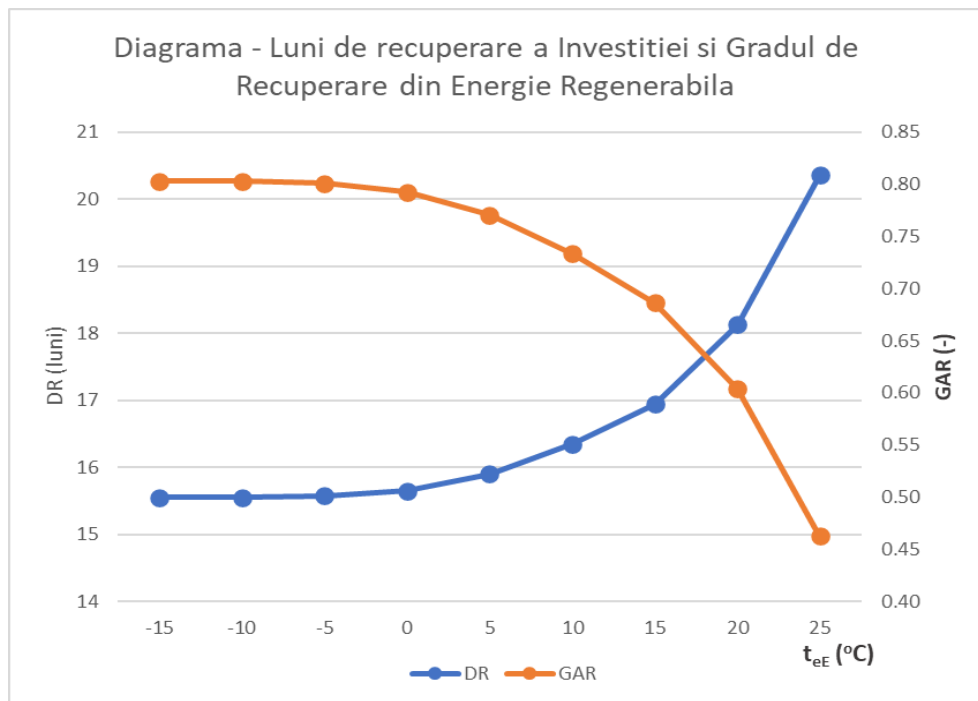


Fig.13

## 5. Concluzii

Procedura simplificata prezentata in lucrarea de fata are la baza procedura detaliata prezentata in lucrari anterioare [1]...[4], aspectul de noutate constand in dependenta COP-ului pompei de caldura de diferenta intre temperaturile mediilor cald si rece.  $\theta_{CD}$  si  $\theta_{VP}$ . Simplificarea consta in renuntarea la procesul iterativ de detereminare a COP-ului pentru situatiile in care  $t_e < t_{eE}$  rezultatul fiind o usoara subestimare a valorii COP-ului. Rezulta in acest fel o estimare rapida a performantelor pompei de caldura indiferent de valoarea temperaturii exterioare. Relatia (2) care exprima dependenta eficientei frigorifice Carnot de diferenta de temperaturi  $\Delta\theta$ , putem spune ca este specifica cazului in care consumatorul este, de exemplu, prepararea apei calde de consum putand rezulta o relatie de corelare mai adecvata.

Utilizarea pompei de caldura pentru prepararea apei calde de consum conduce la concluzia ca alegerea capacitatii pompei de caldura fata de capacitatea instalatiei de preparare ACC a consumatorului trebuie facuta astfel incat temperatura exterioara de echilibru,  $t_{eE}$ , sa se situeze in domeniul  $t_e = [0...5)$  oC, ceea ce corespunde unor valori ale raportului  $HACC/P_{el} = 0.12...0.18$ , ceea ce inseamna ca pompa de caldura trebuie sa acopere necesarul de preparare ACC al consumatorului la o temperatura exterioara in domeniul  $t_e = (0...5)$  oC. Acest lucru se datoreaza in principal faptului ca frecventa de aparitie a temperaturilor exterioare este majoritara dupa temperatura exterioara  $t_e > 0$ oC. Altfel spus raportul optim intre capacitatea pompei de caldura si capacitatea instalatiei de preparare ACC ar trebui sa fie cuprinsa in domeniul 0.12 si 0.18.

## ANEXA

Consideram util sa prezentam in aceasta ANEXA procedura simpla prin care se poate determina randamentul isentropic,  $\eta_{IZ}$ , atunci cand se dispune de o serie de informatii privind

valorile de catalog pentru COP<sub>0</sub>, θ<sub>VP0</sub>, θ<sub>CD0</sub>, PCD<sub>0</sub>, η<sub>EL</sub>. Aceasta procedura simpla a fost prezentata si in [4].

Se stabileste puterea electrica de catalog posibil a fi absorbita din retea :

$$P_{EL0} = \frac{P_{CD0}}{COP_0} \quad (A.1)$$

Se stabileste eficienta frigorifica CARNOT de catalog, ε<sub>CVPO</sub> si eficienta frigorifica izentropica de catalog:

$$\varepsilon_{VP0}^C = \frac{\theta_{VP0} - \Delta t_{VP} + 273.15}{\theta_{CD0} - \theta_{VP0} + \Delta t_{CD} + \Delta t_{VP}}$$

$$\varepsilon_{VP0}^{IZ} = M \cdot \varepsilon_{VP0}^C - N \quad (A.2)$$

1. Se stabileste randamentul izentropic al compresorului :

$$\eta_{IZ} = \frac{COP_0 - \eta_{EL}}{\varepsilon_{VP0}^{IZ} \cdot \eta_{EL}} \quad (A.3)$$

### Lista de Notatii

- ti0 – temperatura interioara normata, oC;
- te0 – temperatura exterioara de calcul, oC;
- tT0 – temperatura agent termic tur de calcul, oC;
- tR0 – temperatura agent termic retur de calcul, oC;
- tm0 – temperatura medie agent termic de calcul, oC;
- te – temperatura exterioara, oC;
- teE – temperatura exterioara de echilibru, oC;
- TVP – temperatura absoluta a agentului frigorific la vaporizare, K;
- TCD – temperatura absoluta a agentului frigorific la condensare, K;
- Δt<sub>VP</sub> – diferenta medie logaritmica de temperatura la vaporizatorul pompei, oC;
- Δt<sub>CD</sub> – diferenta medie logaritmica de temperatura la condensatorul pompei, oC;
- θ<sub>VP</sub> – temperatura mediului rece, oC;
- θ<sub>VP0</sub> – temperatura mediului rece de catalog, oC;
- θ<sub>CD</sub> – temperatura mediului cald, oC;
- θ<sub>CD0</sub> – temperatura mediului cald de catalog, oC;
- PVP – puterea termica absorbita la vaporizatorul pompei de caldura, W;
- PCD – puterea termica livrata la condensatorul pompei de caldura, W;
- PCD<sub>0</sub> – puterea termica de catalog livrata la condensatorul pompei de caldura, W;
- P<sub>nec</sub> – puterea necesara pentru incalzire a consumatorului, W;
- PEL – puterea electrica absorbita din retea de pompa de caldura, W;
- PEL<sub>0</sub> – puterea electrica de catalog absorbita din retea de pompa de caldura, W;
- PCT – puterea termica livrata de centrala termica, W;

EVP – energia termica absorbita la vaporizatorul pompei de caldura, kWh;  
 ECD – energia termica livrata la condensatorul pompei de caldura, kWh;  
 EEL – energia electrica absorbita de pompa de caldura, kWh;  
 Enec – energia termica pentru incalzire necesara consumatorului, kWh;  
 ECT – energia termica livrata de centrala termica, kWh;  
 H – capacitatea de transfer termic pe incalzire, a consumatorului, W/K;  
 $\varepsilon_{CVP}$  – eficienta frigorifica Carnot a pompei de caldura, -;  
 $\varepsilon_{CVPO}$  – eficienta frigorifica Carnot de catalog a pompei de caldura, -;  
 $\varepsilon_{IZVP}$  – eficienta frigorifica izentropica a pompei de caldura, -;  
 $\varepsilon_{IZVPO}$  – eficienta frigorifica izentropica de catalog a pompei de caldura, -;  
 COP – coeficientul de performanta energetica al pompei de caldura, -;  
 COP0 – coeficientul de performanta energetica de catalog al pompei de caldura, -;  
 $\eta_{iz}$  – randamentul izentropic al compresorului pompei de caldura, -;  
 $\eta_{EL}$  – randamentul electric al motorului compresorului pompei de caldura, -;  
 $M = 0.958$ ,  $N = 1.5321$  – parametrii constanti de lucru la eficienta frigorifica izentropica, -  
 $csi_{CT}$  – costul specific de investitie pentru centrala termica, lei/kW;  
 $csi_{PC}$  – costul specific de investitie pentru pompa de caldura, lei/kW;  
 $cse_{th}$  – costul specific de exploatare pentru gaze naturale (en. termica), lei/kWh;  
 $cse_{el}$  – costul specific de exploatare pentru energia electrica, lei/kWh;  
 $cth_{CT}$  – capacitatea termica instalata a centralei termice, kW;  
 $cth_{PC}$  – capacitatea termica instalata a pompei de caldura, kW;  
 $pel_{PC}$  – puterea electrica absorbita de pompa de caldura, kW;  
 $pth_{CT}$  – puterea termica livrata de centrala termica, kW;  
 $NzBIN$  – numarul de zile din BIN, zile;  
 $N_{an}$  – numarul de ani de exploatare al sursei hibrid, an;  
 $CI_{CT}$  – costul de investitie pentru centrala termica, lei;  
 $CI_{PC}$  – costul de investitie pentru pompa de caldura, lei;  
 $CE_{CT}$  – costul de exploatare pentru centrala termica, lei;  
 $CE_{PC}$  – costul de exploatare pentru pompa de caldura, lei;  
 $CI_{total}$  – costul de investitie total, lei;  
 $CE_{total}$  – costul de exploatare total, lei;  
 $C_{total}$  – costul total, lei;

### **Bibliografie**

- [1] – Florin Iordache, Alexandru Draghici – Procedura de evaluare a indicatorilor de performanta pentru masini frigorifice sau pompe de caldura – Revista Romana de Inginerie Civila, volumul 10 (2019) nr.4 - editura Matrixrom, Bucuresti;
- [2] – Florin Iordache, Alexandru Draghici, Mugurel Talpiga – Comportamentul termic dynamic al unei pompei de caldura functionand intre 2 rezervoare de acumulare – Revista Romana de Inginerie Civila – volumul 10 (2019) nr.4 – editura Matrixrom, Bucuresti;



- [3] – Florin Iordache, Mugurel Talpiga – Aspecte privind optimizarea constructiv functionala a unui sistem de pompa de caldura cu compresie (cu sursa de rezerva) pentru incalzirea unei cladirirezidentiale sau prepararea apei calde de consum – Revista Romana de Inginerie Civila, volumul 10 (2019) nr.2 – editura Matrixrom, Bucuresti;
- [4] – Florin Iordache, Mugurel Talpiga, Alexandru Draghici - Hibrid system energetic performance evaluation composed by vapor compression heat pump used in building heating and dailly hot water – Revista Romana de Inginerie Civila, volumul 13 (2022) nr.2 – editura Matrixrom, Bucuresti;



## **ANALIZA EFICIENȚEI UNUI RECUPERATOR DE CĂLDURĂ CU TUBURI TERMICE DE TIP APĂ-AER PRIN SIMULARE NUMERICĂ**

**Ștefănică-Eliza VIZITIU, Robert-Ștefan VIZITIU, Andrei BURLACU, Marius  
BRĂNOAEA, Marina VERDEȘ, Vasiliță CIOCAN, Marius-Costel BALAN**

*Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi din Iași, Facultatea de Construcții și Instalații*

### **Rezumat**

*În cadrul lucrării au fost realizate o serie de simulări în programul Autodesk CFD Simulation, cu scopul de a investiga eficiența unui recuperator de căldură cu tuburi termice de tip apă-aer. S-au analizat un număr de 7 scenarii, păstrându-se o temperatură și un debit constant pentru agentul primar, apa caldă, cu o variație a vitezei agentului secundar, aer, menținându-se o temperatură de intrare constantă. Cu cât viteza aerului a fost mai mică, cu atât temperatura acestuia la ieșirea din recuperator a fost mai mare. Cu toate acestea, calculând analitic eficiența recuperatorului, pe baza rezultatelor din simulări, s-a observat că cea mai ridicată eficiență a fost înregistrată în scenariul 5, când viteza de intrare a aerului a fost de 5m/s. De asemenea, și scenariile 6 și 7 au avut eficiențe apropiate, de 55.44%, respectiv 55.23%.*

### **1. INTRODUCERE**

Una dintre problemele majore din zilele noastre este reducerea emisiilor globale de dioxid de carbon (CO<sub>2</sub>) până în 2050 la o valoare apropiată de zero. Potrivit unei noi analize a IEA (IEA, 2022), emisiile globale de CO<sub>2</sub> asociate energiei au atins în 2021 cel mai ridicat nivel anual din istorie, cu o creștere de 6 % față de anul 2020. În vederea realizării acestei provocări globale până în 2050, este necesară în primul rând o schimbare a modului în care energia este produsă, transportată și consumată (IEA, 2021). Când vine vorba de diminuarea emisiilor de carbon și de asigurarea sustenabilității, recuperarea căldurii reziduale are un puternic potențial (Firth, et al., 2019). Acest studiu are ca scop analizarea prin simulare numerică a unui recuperator de căldură tip apă-aer ce utilizează tuburi termice gravitaționale pentru a extrage energie termică reziduală din ape uzate și a o ceda către un flux de aer proaspăt.

## 1.1 Stadiul actual al cercetărilor

În ultimii ani, cercetări promițătoare au scos la iveală un potențial semnificativ de utilizare a energiei termice reziduale în numeroase sectoare, prin urmare, un număr mare de studii se concentrează asupra eficienței sistemelor de recuperare a căldurii reziduale cu ajutorul tuburilor termice.

Există o gamă variată de sisteme disponibile de recuperare a căldurii, printre care schimbătoare de căldură cu plăci ondulate (Faizal & Ahmed, 2012), boilere de recuperare a căldurii reziduale (Men, et al., 2021), schimbătoare de căldură cu tuburi termice (Xie, et al., 2019) și altele, sisteme care permit captarea și reutilizarea surplusului de căldură din cadrul operațiunilor în curs de desfășurare pentru alte aplicații, precum încălzirea, dar și generarea de energie (Farhat, et al., 2022).

(Alizadeh, et al., 2022) a efectuat mai multe experimente și a proiectat un schimbător de căldură cu tuburi termice care recuperează energia reziduală din gazele de ardere rezultate în urma preparării apei calde menajere cu combustibili fosili. Conform rezultatelor obținute prin simulare, cantitatea de energie recuperată cu ajutorul țtuburilor termice a fost de 354W. Un avantaj major a fost că, prin utilizarea tuburilor termice, consumul de gaze naturale a fost redus la minimum cu 510,132 SCM pe an și a putut fi evitată emiterea a 756 de tone de CO<sub>2</sub>.

În industria ceramicii, a fost investigat potențialul de recuperare a căldurii reziduale din cuptoarele de ceramică prin utilizarea schimbătoarelor de căldură cu tuburi termice. (Jouhara, et al., 2021) au efectuat o analiză atât teoretică, cât și experimentală, care a fost validată prin rezultate numerice, arătând că, în regim staționar, schimbătorul de căldură cu tuburi termice care a fost instalat în fabrică a fost capabil să recupereze până la 100 kW.

Aplicațiile solare sunt printre cele mai răspândite în ceea ce privește utilizarea tuburilor termice. Colectoarele termice solare funcționează ca un schimbător de căldură, absorbind radiația solară și transformând-o în energie termică. Deoarece colectoarele solare tradiționale au limitări, tuburile termice au fost integrate ca urmare a numeroase cercetări care au evidențiat avantajele acestora. În cadrul studiului efectuat, (Diao, et al., 2021) au proiectat un nou sistem solar de colectare a aerului care utilizează rețele de microtuburi de căldură cu plăci plate pentru a îmbunătăți transmiterea căldurii. Un impact major asupra performanței termice a sistemului este dat de debitul de aer, arată rezultatele experimentale. În ceea ce privește stocarea și transferul de căldură, sistemul obține puterea medie maximă de colectare a căldurii de 542,0W și eficiența de 35,8%, pentru un debit de aer de 220m<sup>3</sup>/h. În acest scenariu, puterea medie de stocare a căldurii rezultată pentru unitatea I este de 175,1W și 67,5% pentru eficiența medie de stocare a căldurii, în timp ce unitatea II are 136,0W și 87,5%.

Desalinizarea și reutilizarea apei sunt două strategii viabile pentru creșterea resurselor de apă dulce, fiind analizate numeroase tehnici în acest sens. (Zhang, et al., 2018) au studiat un sistem de desalinizare bazat pe un tub termic în buclă deschisă pentru a transforma căldura de joasă-temperatură pentru producerea de apă dulce. Ceea ce este nou la acest sistem este faptul că, fără niciun fel de energie suplimentară de intrare, apa de mare este pompată în evaporator de către forța capilară a fitilului poros NiO, iar vaporii rezultați sunt împinși spre condensator. Rezultatele au arătat că eficiența conversiei căldurii este de 65,2% la 34°C și de

90,7% la 60°C, ceea ce arată că sistemul propus este mult mai eficient decât majoritatea metodelor tradiționale de desalinizare.

Tuburile termice pot fi utilizate într-o gamă foarte variată de moduri în sectorul recuperării căldurii reziduale. (Peng & Jia, 2022) au realizat un studiu experimental folosind un sistem de tuburi termice care este capabil să extragă căldura internă din zona de adâncime a unui deal cu minerale de gangă. Eficiența conversiei termoelectrice a atins o valoare de 7,39%, iar prin adăugarea plăcii de absorbție, eficiența a crescut până la 9,02%, au arătat rezultatele experimentale. S-a demonstrat că un tub termic gravitațional are un impact notabil asupra răcirii în zonele de exploatare minieră, iar această cercetare oferă o perspectivă mai bună în domeniul tehnicilor de recuperare a căldurii reziduale.

Într-un set de simulări numerice realizate în 2019, s-a analizat transferul termic pentru un schimbător de căldură dual cu tuburi termice, ce prepară doi agenți termici concomitent, apă și aer. Energia termică din apa caldă reziduală este recuperată cu ajutorul tuburilor termice și transferată în cele din urmă, către agenții secundari. Eficiența recuperatorului de căldură s-a dovedit a crește invers proporțional cu debitele agenților secundari (Vizitiu, et al., 2019).

În cadrul acestui studiu s-au realizat simulări numerice pe un recuperator de căldură cu tuburi termice apă-aer, ce recuperează energia termică din ape reziduale.

## 2. MATERIALE ȘI METODE

### 2.1 Designul recuperatorului de căldură apă-aer

Recuperatorul de căldură de tip apă-aer este conceput astfel încât să extragă energia termică din ape reziduale și să o utilizeze pentru a încălzi un flux de aer proaspăt.

Echipamentul este format din 2 zone principale: evaporatorul și condensatorul. Cele două zone sunt separate cu o flanșă despărțitoare pentru a evita amestecul celor două fluide. În interiorul recuperatorului sunt introduse 14 tuburi termice verticale care acționează ca un super conductor atunci când baza lor este în contact cu o sursă de energie termică. Tuburile termice sunt de tip gravitațional și utilizează apă ca fluid de lucru. Acestea au fost concepute special pentru acest recuperator, gradul lor de umplere cu fluid fiind optimizat în urma mai multor încercări experimentale. Detaliile constructive ale recuperatorului de căldură sunt prezentate în tabelul 1.

**Tabel 1.** Detaliile constructive ale echipamentului

Componentă	Lungime [m]	Diametru [m]
Evaporator	0.400	0.250
Condensator	0.645	0.250
Flanșă despărțitoare	0.010	0.300
Tuburi termice	1.000	0.015
Diametru intrare/ieșire agent primar	-	0.015
Diametru intrare/ieșire agent secundar	-	0.150

Modelul 3D a fost realizat cu ajutorul software-ului Inventor Autodesk și importat în mediul de simulare Autodesk CFD Simulation. În figura 1 sunt prezentate schematic componentele recuperatorului de căldură descris.

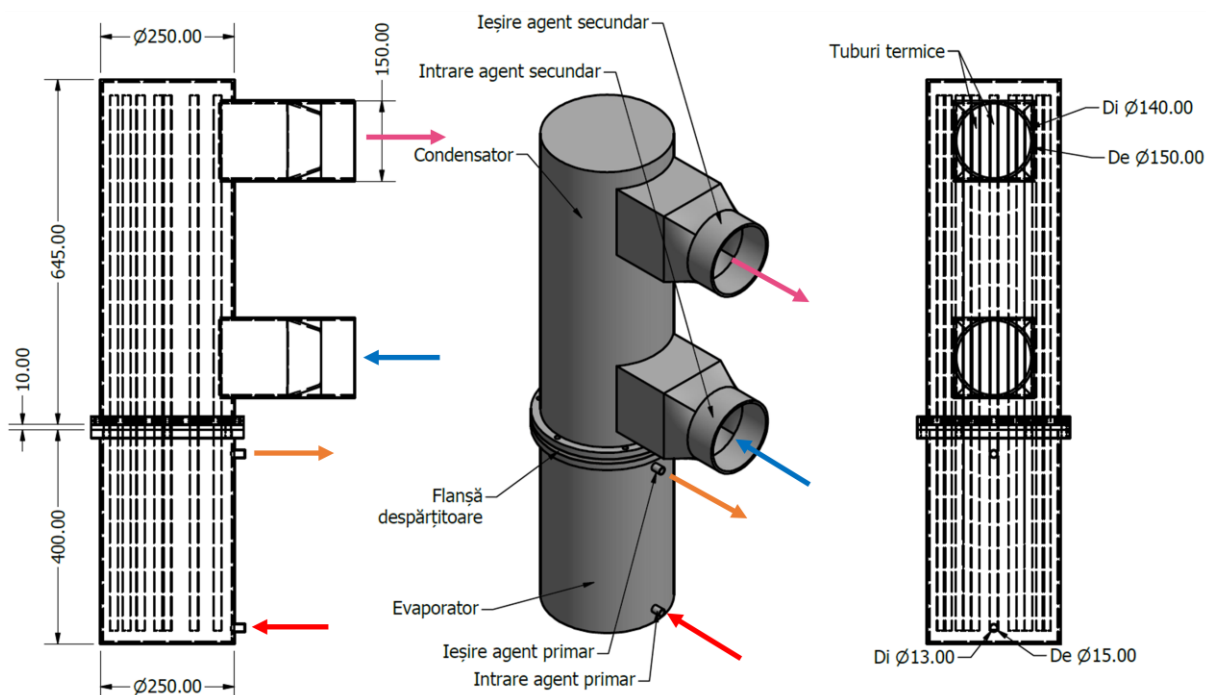


Figura 1. Model 3D al recuperatorului de căldură apă-aer

## 2.2 Standul experimental

Recuperatorul de căldură apă-aer a fost construit și s-a realizat un stand experimental pentru testarea acestuia. Agentul primar, apă caldă, este preparat de o centrală termică electrică cu o putere de de 8 kW, la temperatura necesară experimentului. Debitul acestuia este asigurat de pompa integrată în centrală. Circuitul primar se realizează prin legarea evaporatorului la centrală prin intermediul unor conducte de inox izolate termic cu diametrul de  $\frac{3}{4}$  țoli.

Circuitul agentului secundar aer se realizează printr-o tubulatură de inox cu diametrul de 125 mm. Circulația aerului este asigurată de un ventilator cu 9 trepte de viteză. Viteza aerului pentru fiecare treaptă a fost testată cu un anemometru digital iar valorile sunt centralizate în tabelul 2. Zona de intrare a aerului în tubulatură este plasată în exteriorul clădirii, temperatura aerului depinzând astfel de temperatura atmosferică. Scopul echipamentului este preîncălzirea sau încălzirea aerului introdus în clădire în timpul perioadelor reci iar date fiind temperaturile ridicate din această perioadă nu s-au realizat încă experimente.

În figura 2 este prezentat un model al standului experimental, așa cum este el prezent în laborator. Acesta urmează a fi testat prin încercări experimentale în sezonul rece.

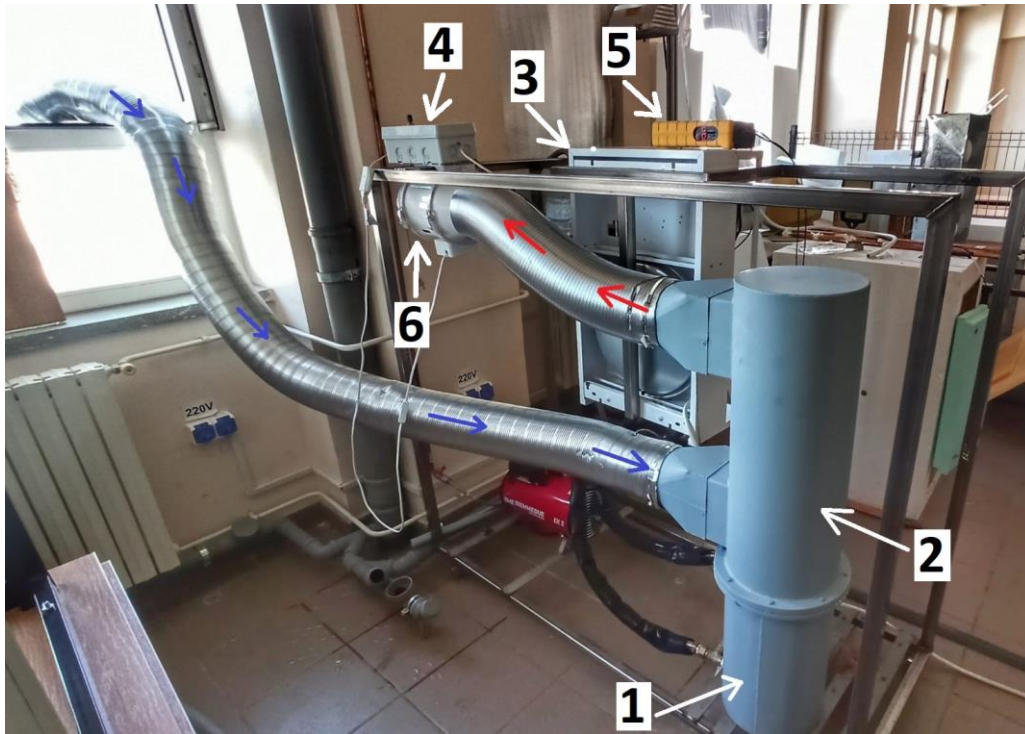


Figura 2. Stand experimental: 1 – Evaporator; 2 – Condensator; 3 – Centrala termică; 4 – Comutator de viteze; 5 – Termometru electronic; 6 – Ventilator;

### 2.3 Simulări numerice

Modelul 3D a fost importat în mediul de simulare Autodesk CFD Simulation unde i-au fost atribuite materialele corespunzătoare fiecărei componente. Evaporatorul, condensatorul și flanșa despărțitoare sunt realizate din oțel, tuburile termice din cupru, iar volumului din interiorul evaporatorului i-a fost atribuit apă, pe când volumului din interiorul condensatorului i-a fost atribuit aer.

În următoarea fază au fost alese condițiile la limită la care va fi supus echipamentul în simulările numerice. Temperatura agentului primar apă caldă la intrarea în evaporator va fi de 60 grade Celsius, iar temperatura agentului secundar aer la intrarea în vaporizator va fi impusă la 1 grad Celsius. Debitul apei va fi de 24 l/min, iar debitul aerului va fi variat după parametrii prezentați în tabelul 2. Vitezele alese sunt treptele de viteză ale ventilatorului ce va fi utilizat ulterior în partea experimentală pentru impunerea debitului de aer.

Tabel 2. Parametri de simulare

Nr. scenariu	Viteză aer [m/s]	Temperatură aer [°C]	Temperatură apă [°C]	Debit apă [l/min]
Scenariul 1	3.1			
Scenariul 2	3.4			
Scenariul 3	3.7			
Scenariul 4	4.4	1	60	24
Scenariul 5	5.0			
Scenariul 6	5.3			
Scenariul 7	5.8			

În următoarea etapă modelul 3D a fost discretizat într-o rețea de noduri, obținându-se un număr de 890K elemente. Este binecunoscut faptul că dacă numărul de elemente este mai mic, acuratețea rezultatelor va crește. Astfel, numărul de elemente a fost ales la un nivel optim ținându-se cont și de timpul computațional de calcul. În figura 3 este prezentat modelul cu rețeaua mesh aplicată.

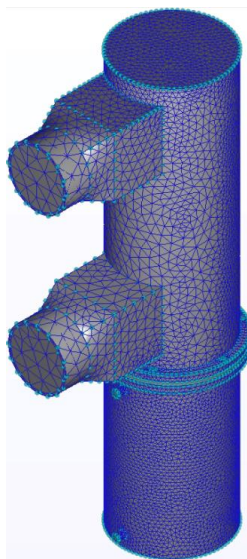


Figura 3. Mesh al recuperatorului de căldură apă-aer

## 2.4 Rezultate

După cum putem observa în tabelul 3, temperatura aerului la ieșirea din condensator este cu 13-16 grade Celsius mai mare decât la intrarea în acesta. Se poate observa că dacă viteza aerului este mai mică, atunci agentul termic secundar preia mai multă temperatură extrasă din agentul primar, cu ajutorul tuburilor termice.

Tabel 3. Rezultatele simulării

Nr. scenariu	Viteză aer intrare [m/s]	Temperatură aer ieșire [°C]
Scenariul 1	3.1	16.9
Scenariul 2	3.4	16.7
Scenariul 3	3.7	16.3
Scenariul 4	4.4	16.1
Scenariul 5	5.0	15.5
Scenariul 6	5.3	14.4
Scenariul 7	5.8	13.2

În figura 4 avem prezentate contururi 3D de temperatură rezultate în urma simulărilor. Se pot observa ușoare schimbări de temperatură în zona superioară a condensatorului, la scenariile cu viteze de intrare superioare.

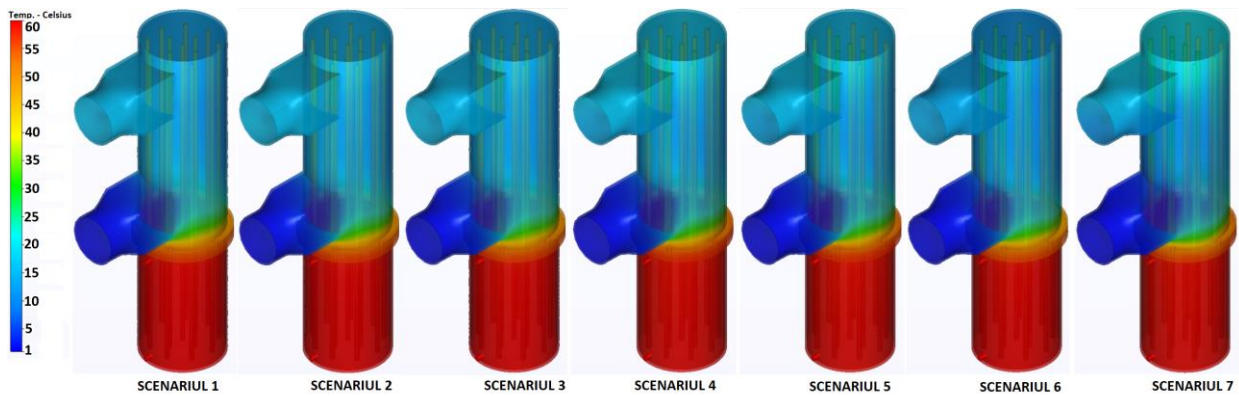


Figura 4. Contururi ale temperaturii statice pentru toate scenariile – 3D - 60 [°C]

În figura 5, au fost extrase planuri transversale pe mijlocul recuperatorului, pentru a vizualiza transferul termic din interiorul condensatorului.

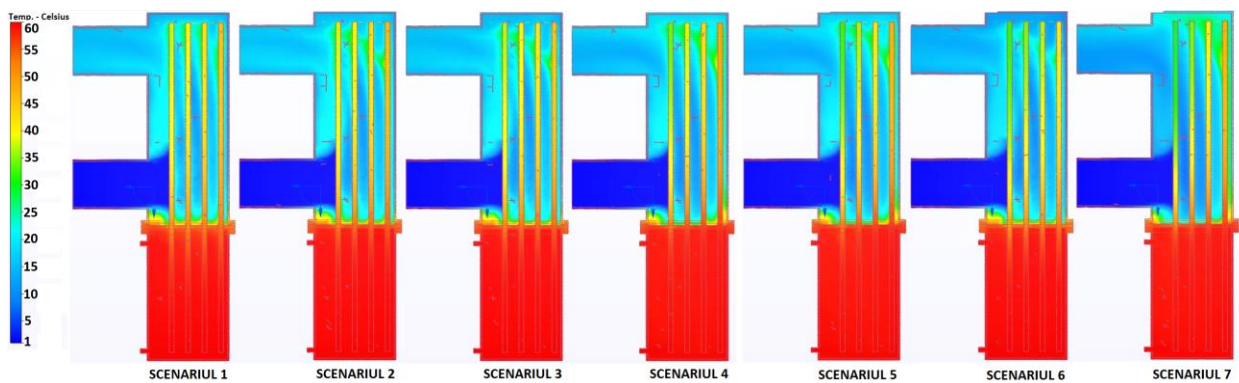


Figura 5. Contururi ale temperaturii statice pentru toate scenariile – 2D - 60 [°C]

Pentru vizualizarea mai detaliată a transferului termic din interiorul condensatorului, am redus ecartul de temperatură din legendă la intervalul 1-17 grade Celsius și am extras câte un plan transversal pentru fiecare scenariu, din zona condensatorului. Astfel, se poate observa mai clar diferența de temperatură între scenariile cu viteze mai mici ale aerului, față de cele cu viteze mai mari.

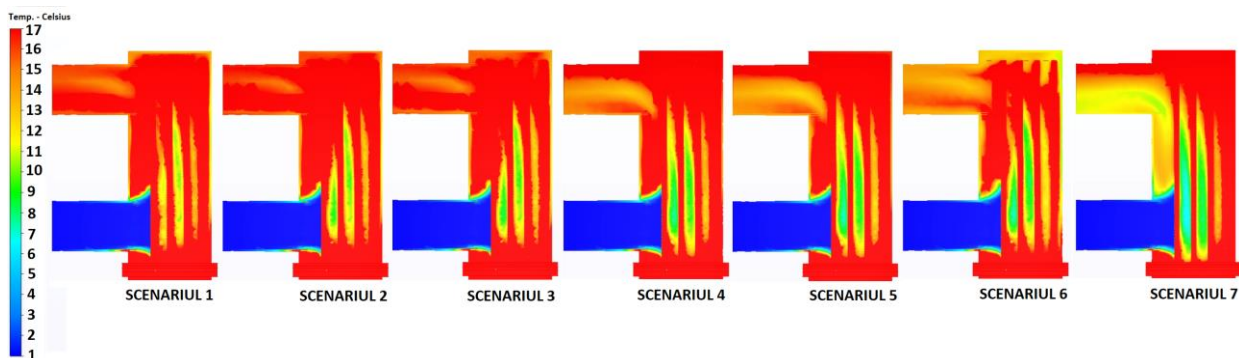


Figura 6. Detaliu temperatură în condensator



Analizând figurile 6 și 7, se poate observa impactul vitezelor superioare asupra temperaturii aerului la ieșirea din condensator.

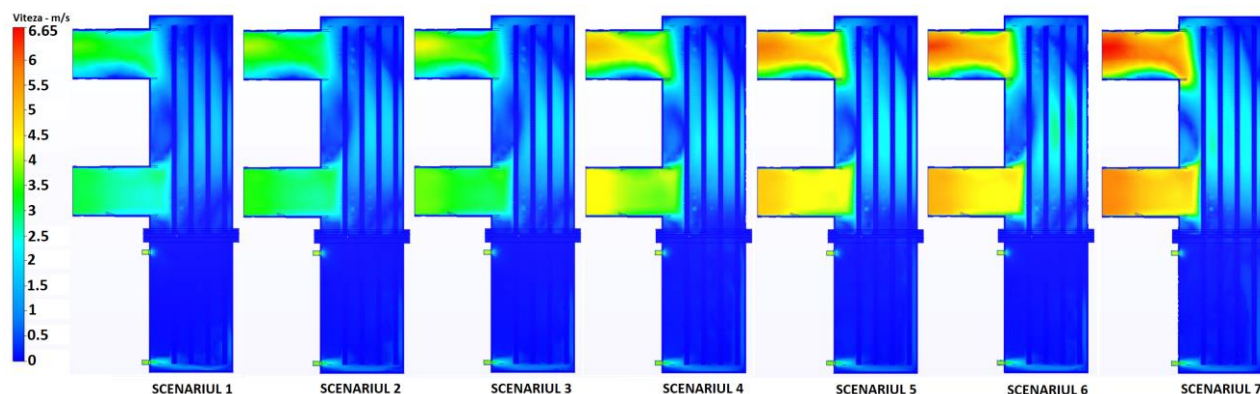


Figura 7. Contururi ale vitezei pentru toate scenariile – 2D

## 2.5 Eficiența recuperatorului

Eficiența recuperatorului de căldură de tip apă-aer poate fi evaluată ca eficacitatea termică a acestuia, care este raportul dintre rata transferului de căldură,  $Q$ , și rata transferului maxim de căldură a echipamentului,  $Q_{\max}$ . Ecuția poate fi exprimată sub forma:

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} \quad (1)$$

$$Q = C_{Ev}(T_{Ev,1} - T_{Ev,2}) = C_{Co}(T_{Co,2} - T_{Co,1}) \quad (2)$$

Cu ajutorul ecuației (2), putem determina rata de transfer termic pentru sistemul de recuperare a căldurii.  $C_{Ev}$  și  $C_{Co}$  reprezintă rata capacității termice pentru secțiunea evaporatorului și a condensatorului și pot fi determinate ca produs al debitului masic și căldura termică specifică pentru secțiunea menționată.

$$C_{Ev} = \dot{m}_{Ev} \times c_{p,Ev} \quad (3)$$

$$Q_{\max} = C_{\min}(T_{Ev,1} - T_{Co,1}) \quad (4)$$

$$Q_{\max} = \dot{m}_{Co} \times c_{p,Co}(T_{Ev,1} - T_{Co,1}) \quad (5)$$

Pentru exprimarea lui  $Q_{\max}$ , am utilizat  $C_{\min}$  în loc de  $C_{\max}$  deoarece  $Q_{\max}$  reprezintă rata maximă de transfer de căldură pentru recuperatorul de căldură, dar în acest caz avem un factor limitativ reprezentat de rata minimă a capacității termice între cele două fluide. Prin aplicarea ecuațiilor (2) și (5), ecuația (1) poate fi scrisă sub forma:

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} = \frac{\dot{m}_{Ev} \times c_{p,Ev} \times (T_{Ev,1} - T_{Ev,2})}{\dot{m}_{Co} \times c_{p,Co} \times (T_{Ev,1} - T_{Co,1})} \quad (6)$$

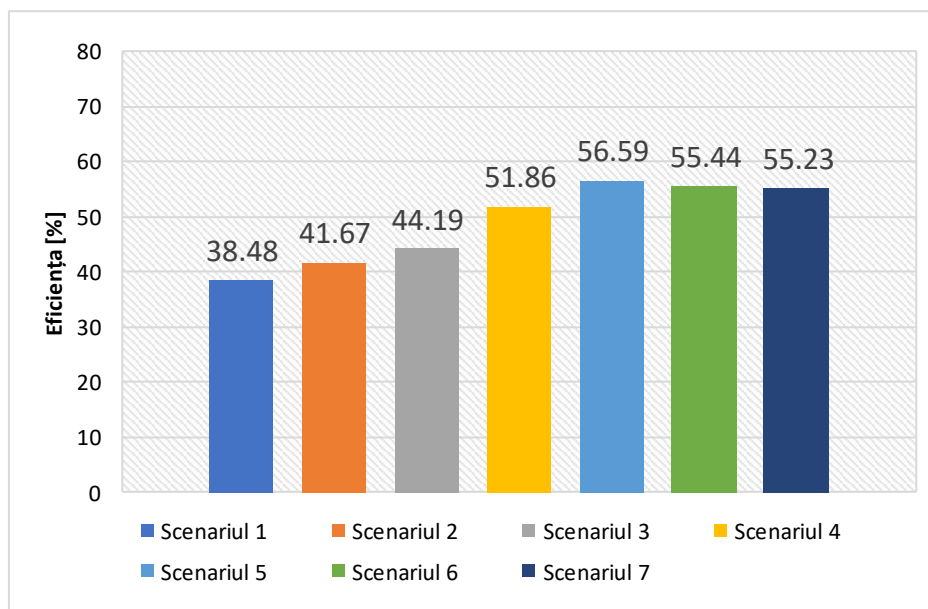


Figura 8. Reprezentarea grafică a eficienței recuperatorului

Cu toate că cea mai mare temperatură a fost obținută atunci când viteza a fost cea mai mică, recuperatorul de căldură a fost cel mai eficient în scenariul 5, când viteza aerului a atins 5 m/s. Astfel, cantitatea de căldură recuperată în acest scenariu, este mai mare decât în scenariile în care temperatura de ieșire este superioară.

Putem observa că în scenariile 6 și 7, când viteza crește la 5.3 m/s, respectiv 5.8 m/s, eficiența recuperatorului se păstrează în parametri apropiați.

### 3. CONCLUZII

În cadrul acestei lucrări s-au efectuat un număr de 7 simulări numerice, pe un recuperator de căldură de tip apă-aer cu tuburi termice. S-a păstrat o temperatură și un debit constant pentru agentul primar, apa caldă, și s-a variat viteza agentului secundar, aer, menținându-se o temperatură de intrare constantă.

Cu cât viteza aerului a fost mai mică, cu atât temperatura acestuia la ieșirea din recuperator a fost mai mare. Cu toate acestea, calculând analitic eficiența recuperatorului pe baza rezultatelor din simulări, s-a observat că cea mai ridicată eficiență a fost înregistrată în scenariul 5, când viteza de intrare a aerului a fost de 5m/s. De asemenea, și scenariile 6 și 7 au avut eficiențe apropiate, de 55.44%, respectiv 55.23%.

Putem concluziona echipamentul poate fi un mijloc eficient de recuperare a căldurii din ape uzate, acesta având capacitatea de a încălzi un debit de aer proaspăt, la costuri relativ reduse. Recuperatorul urmează a fi analizat și experimental, în perioada rece a anului.

## THE EFFICIENCY OF A WATER-AIR HEAT PIPE HEAT RECOVERY SYSTEM ANALYZED BY NUMERICAL SIMULATIONS

### **Abstract**

A series of simulations were carried out in Autodesk CFD Simulation software in order to investigate the efficiency of a water-to-air heat pipe heat recovery system. A number of 7 scenarios were analysed, maintaining a constant temperature and flow rate for the primary agent, hot water, with a variation of the velocity of the secondary agent, air, maintaining a constant inlet temperature. The lower the air velocity, the higher the temperature of the air at the outlet of the recovery system. However, by analytically calculating the efficiency of the recovery unit, based on results from the simulations, it was observed that the highest efficiency was recorded in scenario 5, when the inlet air velocity was 5m/s. Likewise, scenarios 6 and 7 also had close efficiencies of 55.44% and respectively 55.23%.

### **Bibliografie**

- Alizadeh, A. și alții, 2022. An experimental investigation on using heat pipe heat exchanger to improve energy performance in gas city gate station. *Energy*, Volumul 252, p. 123959.
- Diao, Y. și alții, 2021. Thermal performance analysis of a solar air collection–cascade storage system integrated with micro-heat pipe arrays. *Solar Energy*, Volumul 224, pp. 1271-1290.
- Faizal, M. & Ahmed, M. R., 2012. Experimental studies on a corrugated plate heat exchanger for small temperature difference applications. *Experimental Thermal and Fluid Science*, Volumul 36, pp. 242-248.
- Farhat, O. și alții, 2022. A recent review on waste heat recovery methodologies and applications. *Cleaner Engineering and Technology*, Volumul 6, p. 100387.
- Firth, A., Zhang, B. & Yang, A., 2019. Quantification of global waste heat and its environmental effects. *Applied Energy*, Volumul 235, pp. 1314-1334.
- IEA, 2021. *Net Zero by 2050*, Paris: IEA.
- IEA, 2022. *Global Energy Review: CO2 Emissions in 2021*, Paris: IEA.
- Jouhara, H. și alții, 2021. Investigation on a full-scale heat pipe heat exchanger in the ceramics. *Energy*, Volumul 223, p. 120037.
- Men, Y., Liu, X. & Zhang, T., 2021. A review of boiler waste heat recovery technologies in the medium-low temperature range. *Energy*, Volumul 237, p. 121560.
- Peng, H. & Jia, X., 2022. Experimental study on heat energy recovery and utilization of coal gangue hill based on gravity heat pipe. *Energy Reports*, Volumul 8, pp. 220-229.
- Vizitiu, R. Ș., Sosoi, G., Burlacu, A. & Țurcanu, . F. E., 2019. CFD analysis of a dual heat recovery system. *E3S Web of Conferences*, Volumul 85, p. 02007.
- Xie, C.-Y., Tao, H.-Z., Li, W. & Cheng, J.-J., 2019. Numerical simulation and experimental investigation of heat pipe heat exchanger applied in residual heat removal system. *Annals of Nuclear Energy*, 133(11), pp. 568-579.
- Zhang, X. și alții, 2018. Low-grade waste heat driven desalination with an open loop heat pipe. *Energy*, Volumul 163, pp. 221-228.



## **EFICIENȚA EXERGETICĂ ȘI TESTAREA POMPELOR DE CĂLDURĂ**

**Ioan BOIAN, Nicolae IORDAN**

*Universitatea „Transilvania” din Brașov*

### **Rezumat**

*Lucrarea abordează chestiuni specifice aplicării standardului EN 15316-4-2: 2017, în speță ipoteza utilizată pentru interpolarea datelor caracteristice regimului de lucru al pompelor de căldură de tip aer-apă având sarcină parțială, în domeniul încălzirii clădirilor. Modularea turației grupului electromotor-compresor aduce avantajul sporirii evidente a eficienței energetice a soluției bazate pe pompa de căldură, însă complexitatea de calcul se amplifică și este necesară precizarea elementelor asociate principiului de funcționare în vederea unei aplicări adecvate a metodei.*

### **1. INTRODUCERE**

Necesarul energetic redus substanțial în condițiile clădirilor aproape zero energetic, nZEB implică o evaluare mult mai precisă precum și posibilitatea de adaptare la modificările condițiilor exterioare de temperatură. Pe de altă parte înlocuirea soluțiilor de încălzire bazate pe combustibilii fosili cu pompe de căldură ridică probleme de estimare îndeajuns de precisă a performanțelor termice și economice pe lângă soluții de reglaj fin a căldurii furnizate în raport cu variațiile de temperatură exterioare. Dacă în urmă cu 20 de ani pompele de căldură adaptau căldura furnizată la necesarul clădirii prin modul de funcționare de tip pornit/oprit în perioada actuală se preferă soluția bazată pe electromotoarele cu turație variabilă, una din soluții fiind convertoarele de frecvență (așa-numitele ”inverter-controlled heat pumps”), figura 1. Modularea continuă a turației, specifică unei sarcini parțiale (cuprinse între 15% și 100%) permite funcționarea fără întreruperi a grupului electromotor – compresor, ceea ce elimină pierderile datorate regimului tranzitoriu, care provoacă atât degradarea pronunțată a eficienței (care poate să coboare chiar sub 25%) cât și a puterii termice furnizate [1].

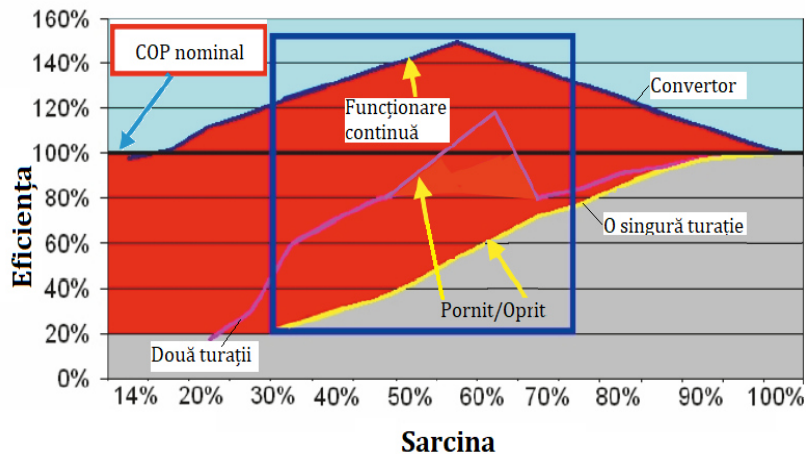


Fig. 1. Eficiența pompei de căldură în regim de sarcină parțială [1]  
(source: CEN-CE project)

În cazul utilizării unui convertor capacitatea de încălzire a pompei de căldură este dată de necesarul de căldură al spațiului de încălzit. Soluția bazată pe modularea continuă a turației electromotorului oferă avantajul exploatării sistemului pompa de căldură la eficiențe maxime pe tot intervalul de sarcină parțială, în condițiile reducerii ecartului de temperatură a agentului de lucru între condensator și vaporizator. Însă regimul de lucru în sarcină parțială implică pe lângă o testare pe stand mai adecvată și un calcul mai minuțios în vederea evaluării mai precise a consumurilor energetice.

Pompele de căldură în calitate de echipamente destinate încălzirii și/sau răcirii spațiilor interioare funcționează pe baza ciclului termic inversat: energia introdusă sub formă de lucru mecanic - în cazul comprimării mecanice a agentului de lucru, respectiv sub formă de căldură în condițiile sistemelor bazate pe principiul ab-/ad-sorbției servește la ridicarea nivelului de temperatură al acestuia, așa cum se prezintă în figura 2.

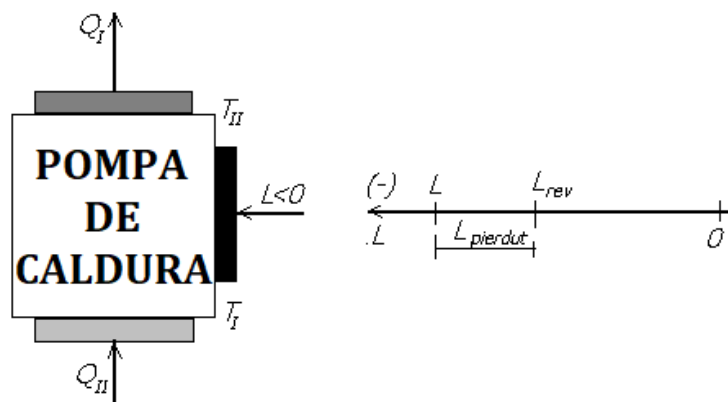


Fig. 2. Schematizare procesului reversibil din pompa de căldură cu comprimare mecanică.

Așadar, spre deosebire de echipamentele bazate pe arderea combustibililor fosili la care căldura provine în integralitate din aceștia, pompele de căldură preiau energie termică la nivel de temperatură scăzut, de regulă din mediul ambiant (aer, apă, sol - ca resurse

regenerabile), sau dintr-un proces din care rezultă căldură reziduală, deci ca resursă recuperabilă; aceasta este sursa rece. Energia introdusă în sistem - lucru mecanic, sau căldură servește la ridicarea nivelului de temperatură și se regăsește practic în totalitate în energia/căldura furnizată de pompa de căldură. Conform convenției de semn din termodinamica tehnică, atât lucrul mecanic introdus cât și căldura furnizată de echipament au semn negativ.

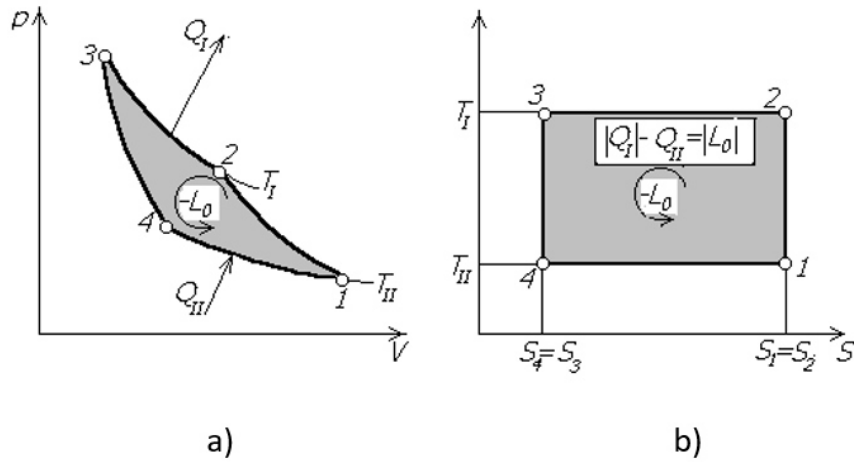


Fig.3. Ciclul Carnot reversibil în coordonate p-V (a), respectiv T-S (b)

În situația ideală procesul de tip carnot se desfășoară reversibil, fără pierderi, fiind compus din două izoterme reversibile și două adiabate reversibile, exemplificat în figura 3 [2]. Evaluarea performanței energetice a pompei de căldură se realizează cu ajutorul coeficientului de performanță, COP; pentru cazul ideal, al ciclului carnot.

$$COP_{pcc} = \frac{|Q_I|}{|L_0|} = \frac{1}{1 - \frac{Q_{II}}{|Q_I|}} \quad (1)$$

$$COP_{pcc} = \frac{1}{1 - \frac{T_{II}}{T_I}} \quad (2)$$

Coeficientul de performanță carnot este exprimat cu ajutorul celor două temperaturi absolute (Kelvin), ale sursei,  $T_{II}$  respectiv cea furnizată de pompa de căldură,  $T_I$ . Ciclul ideal oferă valori generoase atunci când cele două temperaturi sunt apropiate: de exemplu pentru  $\vartheta_{II} = 7^\circ\text{C}$  ( $T_{II} = 280,15 \text{ K}$ ) și  $\vartheta_I = 45^\circ\text{C}$  ( $T_I = 318,15 \text{ K}$ ) rezultă  $COP_{pcc} = 8,37$ . Valorile reale ale coeficientului de performanță,  $COP_{real}$ , întâlnite în practică, exprimate ca raport dintre puterea termică furnizată de pompa de căldură și puterea electrică absorbită de electromotorul de antrenare a compresorului sunt sensibil mai mici comparativ cu valorile specifice ciclului ideal  $COP_{pcc}$ . Astfel,  $COP_{real}$  reprezintă în cazul puterilor termice mai mici de 10 kW mai puțin de 50% din  $COP_{pcc}$ . Aceasta se datorește pierderilor exprimate cu ajutorul lucrului mecanic,  $L_{pierdut}$  care se adaugă la lucrul mecanic minim necesar în condițiile unui proces ideal, adică reversibil  $L_{rev}$ .

$$|L_{real}| = |L_{rev}| + L_{pierdut} \quad (3)$$

Lucrul pierdut, ca diferență între cel real și cel minim (reversibil) este rezultatul tuturor ireversibilităților specifice,  $\sum I$  înmulțite cu temperatura absolută a mediului ambiant,  $T_0$

$$L_{real} - L_{rev} = T_0 \cdot \sum I \quad (4)$$

Ireversibilitățile reprezintă deci cauza pierderilor energetice care îndepărtează situațiile reale de cea ideală în care pierderile sunt nule, ( $L_{pierdut} = 0$ ). Caracterizarea situațiilor reale din punctul de vedere al îndepărtării/apropierii de situația ideală este realizată de gradul de ireversibilitate, întotdeauna subunitar

$$\eta_R = \frac{COP_{real}}{COP_{pcC}} = \frac{\frac{Q_I}{[L]_{real}}}{\frac{Q_I}{[L]_{rev}}} = \frac{[L]_{rev}}{[L]_{rev} + L_{pierdut}} = \frac{1}{1 + \frac{L_{pierdut}}{[L]_{rev}}} < 1 \quad (5)$$

Din expresia de mai sus se poate remarca faptul că pierderi egale cu lucrul mecanic minim (reversibil) conduc la un grad de ireversibilitate  $\eta_R = 0,5$ , iar situațiile în care  $\eta_R < 0,5$  se întâlnesc atunci când pierderile energetice depășesc lucrul reversibil.

## 2. Eficiența exergetică

Gradul de ireversibilitate indică măsura în care se distruge exergia: o parte din exergia furnizată sub forma lucrului util de antrenare a compresorului se distruge, astfel încât doar restul exergiei introduse se va regăsi în căldura disponibilă la condensatorul pompei de căldură. În aceste condiții gradul de ireversibilitate definit mai sus reprezintă în fapt eficiența exergetică a pompei de căldură.

$$\eta_R = \frac{COP_{real}}{COP_{pcC}} = \frac{\text{Exergia care se dorește a fi furnizată}}{\text{Exergia care este necesar a fi introdusă}} = \eta_{H;C;gen;COP;exer} \quad (6)$$

Notația eficienței exergetice de la finalul expresiei de mai sus corespunde cu cea utilizată în Standardul EN 15316-4-2:2017 (Anexa D). Trebuie menționat că eficiența exergetică, exprimând calitatea procesului, nu este constantă pe tot parcursul acestuia. Valoarea maximă ce poate fi atinsă de eficiența exergetică, este cea specifică ciclului carnot fiind egală cu 1 (100%); exergia distrusă este nulă, pierderile de lucru fiind nule. Cu toate acestea în situațiile reale întâlnite în practică eficiența exergetică nu atinge niciodată limita aceasta.

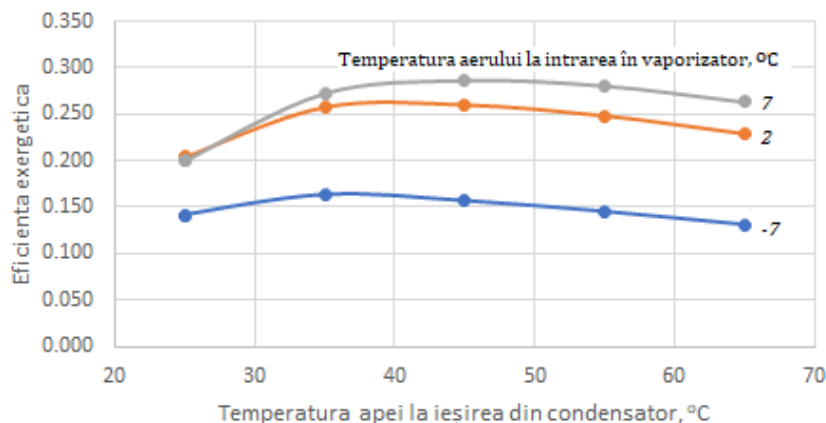


Fig.4. Variația eficienței exergetice cu temperatura apei la ieșirea din condensator, având ca parametru temperatura aerului la intrarea în vaporizator (pentru o pompă de căldură aer-apă)

După cum se poate observa din figura 4, eficiența exergetică depinde de temperatura de intrare a aerului în vaporizator, precum și de cea dorită la condensator. Domeniul cel mai vulnerabil pentru pompele de căldură care utilizează aerul ca sursă este cel cuprins între  $+7^{\circ}\text{C}$  și  $-7^{\circ}\text{C}$  datorită fenomenului de depunere a condensului pe suprafața vaporizatorului; pe măsură ce temperatura aerului se apropie de  $0^{\circ}\text{C}$  condensul depus îngheață, înrăutățind astfel transferul termic de la sursa de căldură. După cum se poate remarca, variația eficienței exergetice pentru o temperatură constantă a sursei de căldură nu depășește valoarea de 0,3 în cazul capacităților (puterilor termice) reduse, de ordinul a câțiva kW. Însă la echipamentele de mare putere, (MW), eficiența exergetică poate depăși valoarea de 0,5 atingând chiar 0,7. Totodată, variația eficienței exergetice pentru intervale de temperatură a apei încălzite la condensator care nu depășesc  $10^{\circ}\text{C}$ , așa cum se procedează la testarea pe stand a acestor echipamente, în conformitate cu standardele în vigoare, seriile EN 14825, [3], EN 14511, [4] respectiv EN 16147 [5] este de ordinul a câteva procente: 2...7% la o temperatură a aerului la intrarea în vaporizator de  $+7^{\circ}\text{C}$ , respectiv de 4...18% la  $-7^{\circ}\text{C}$ .

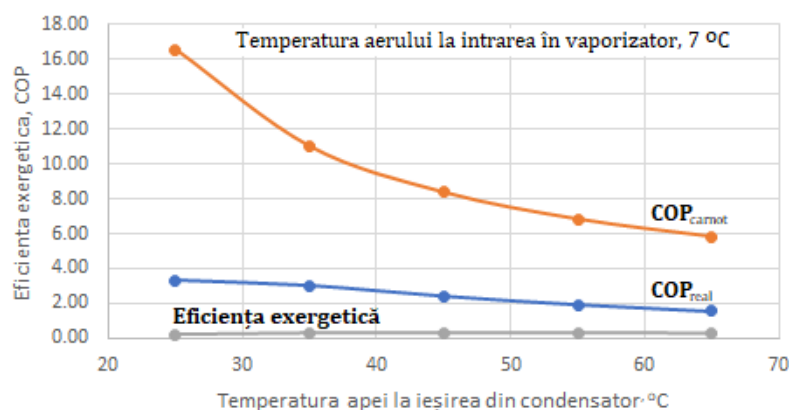


Fig.5. Eficiența exergetică, COP Carnot și COP real pentru o pompă de căldură aer-apă.

Comparând variația eficienței exergetice cu cea specifică ciclului Carnot se poate observa anvergura substanțial mai mare a acesteia din urmă, figura 5. Aceasta are ca efect și o variație semnificativ mai redusă a COP<sub>real</sub> comparativ cu COP<sub>Carnot</sub>.

### 3. Evaluarea performanței termice a pompelor de căldură

Domeniul aplicațiilor bazate pe pompele de căldură este relativ nou și implică o serie de elemente insuficient cunoscute: ce tip de pompă trebuie aleasă pentru o aplicație anume? Care vor fi rezultatele tehnice și economice care se vor constata după utilizarea acestora? Cum se vor putea generaliza datele acumulate și cu ce costuri și implicații? În aceste condiții este absolut necesar să se cunoască comportamentul funcțional al diferitelor tipuri de pompe de căldură utilizate în diverse aplicații practice. Testele pe stand și standardele operaționale rezultate vizează răspunsurile necesare la aceste chestiuni.



Testele efectuate pe stand se efectuează pentru un număr relativ limitat de condiții, în speță temperaturile de lucru, condițiile climatice, sursele de căldură și scopurile utilizării. Standardul EN 14825 stabilește obligația producătorului de a testa echipamentele destinate diverselor aplicații la temperaturi scăzute, 35 °C, intermediare, 45 °C, medii 55 °C și ridicate, 65 °C pentru cele trei tipuri de climat - mediu, cald și rece. Cu toate acestea în vederea evaluării eficienței energetice pentru o perioadă de timp relativ îndelungată (o lună, un sezon, etc.) este necesar să poată fi determinate elemente ale performanței termice – capacitatea termică și coeficientul de performanță - în condiții de temperatură diferite de cele relativ restrânse la care au fost testate pe stand. Seria de standarde EN 14511 stabilește modalitatea de interpolare pentru valorile dorite ale COP, respectiv ale capacității termice în condiții de sarcină nominală pentru câteva tipuri de surse de căldură. În acest sens este definit coeficientul de corecție,  $f_{COP}$  în raport cu cel aferent sarcinii nominale

$$f_{COP} = \frac{COP_{gen;LR100}}{COP_{gen;Pn;ref}} \quad (7)$$

Similar este definit și factorul (de multiplicare) pentru evaluarea capacității termice în condiții termice diferite  $\phi_{gen;LR100}$  de cele la care s-a efectuat testarea,  $\phi_{gen;Pn;ref}$

$$f_{gen;Pn;LR100} = \frac{\phi_{gen;LR100}}{\phi_{gen;Pn;ref}} \quad (8)$$

În figura 6 este exemplificată corelația existentă între coeficientul  $f_{COP}$  și temperatura de intrare a aerului în vaporizatorul pompei de căldură,  $\theta_{in}$ , respectiv temperatura de ieșire a apei încălzite  $\theta_{out}$ , cu ajutorul condensatorului acesteia, în regim de sarcină nominală. Se poate remarca degradarea mai pronunțată a coeficientului  $f_{COP}$  în intervalul de temperaturi +7...-7°C: COP se reduce la jumătate în cazul ridicării temperaturii apei de la 35 la 65°C în condiții de temperatură constantă a aerului +7°C, respectiv la o cincime dacă aceasta scade la -7°C. Aceasta se datorește depunerii de condens pe suprafața vaporizatorului urmată de înghețarea acestuia. Trebuie precizat că temperatura agentului de lucru din vaporizator este cu circa 15°C mai scăzută față de cea a aerului din atmosfera înconjurătoare; în cazul pompelor de căldură care utilizează apa ca sursă termică această diferență de temperatură este de 4°C, identică cu cea de la condensator.

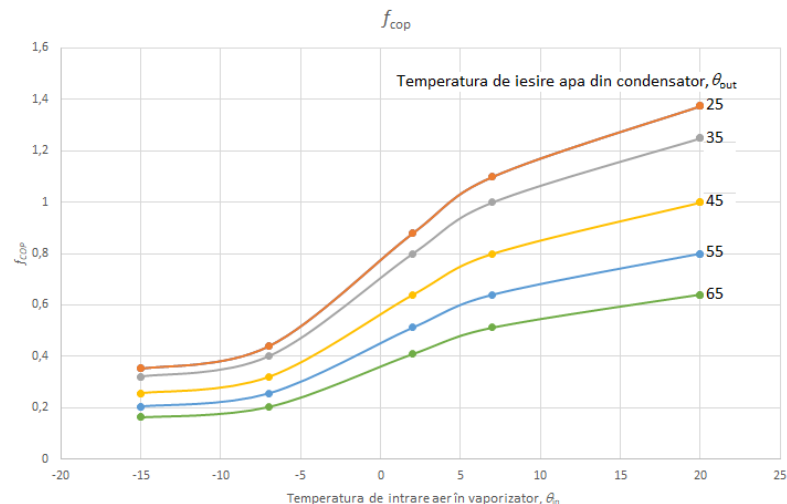


Fig. 6. Dependența factorului de corecție  $f_{COP}$  de temperatura de intrare a aerului în vaporizator și de temperatura de ieșire a apei încălzite în condensatorul unei pompe de căldură aer-apă în condiții de sarcină nominală

De remarcat faptul că regimul de funcționare în exploatare este de regulă diferit de cel utilizat la testare. În mod curent sarcina de încălzire se modifică, în vreme ce capacitatea termică a pompei de căldură (puterea termică) este constantă: sarcina termică a spațiului este una parțială în raport cu cea nominală a pompei de căldură. Factorul de sarcină  $LR$  este definit prin standardul 15316-1 ca raport al necesarului de energie termică al sistemului de distribuție aferent intervalului de funcționare bin  $Q_{\partial in;\partial out;X;out}$  și produsul dintre capacitatea termică a pompei de căldură,  $\Phi_{\partial in;\partial out;X}$  în acest interval bin și durata de timp a acestui interval,  $t_{ci}$

$$LR = \sum_X \frac{Q_{\partial in;\partial out;X;out}}{\Phi_{\partial in;\partial out;X} \cdot t_{ci}} = \frac{Q_{\partial in;\partial out;X;out}}{\Phi_{\partial in;\partial out;X}} = \frac{t_X}{t_{ci}} \quad (9)$$

unde  $t_X$  reprezintă timpul de lucru efectiv corespunzător duratei de timp a intervalului bin  $t_{ci}$  pentru care se efectuează calculul. Valoarea maximă ce poate fi atinsă de factorul de sarcină  $LR$  este 1 (100%), valori supraunitare indicând faptul că energia furnizată de pompa de căldură nu satisface necesarul de energie pentru încălzire; în acest caz diferența dintre cele două valori trebuie furnizată de un sistem back-up. De regulă, factorul de sarcină este limitat inferior la valoarea 0,2 (20%) din considerente ce țin de funcționarea compresorului: sub această valoare, pentru adaptarea la necesarul de încălzire compresorul va lucra în regim oprit/pornit.

Modularea turației compresorului implică în fapt reglarea temperaturii furnizate de condensator în corelație cu necesarul de căldură al spațiului. În cazul pompelor de căldură care utilizează aerul atmosferic ca sursă termică modularea turației are ca efect reducerea diferenței de temperatură a agentului de lucru dintre condensator și vaporizator în concordanță cu sarcina termică. Aceste modificări funcționale atrag după sine și variația eficienței de lucru, COP și implicit a puterii electrice absorbite de electromotorul de antrenare. Evaluarea prin calcul a performanței energetice pe care o poate atinge un sistem bazat pe pompa de căldură controlată prin convertor implică date de testare care să permită modelarea funcționării sistemului la regimuri de lucru reale, dependente de variațiile climatice. În mod evident, testarea nu trebuie să fie una exagerat de minuțioasă, cronofagă și costisitoare. Apoi, prin interpolare se vor obține date de funcționare pentru regimuri de lucru diferite de cele testate. Metoda de interpolare oferită de standardele în vigoare se bazează pe eficiența exergetică așa cum s-a prezentat anterior. Observația referitoare la modificarea relativ redusă a eficienței exergetice odată cu variația temperaturii apei încălzite cu ajutorul condensatorului stă la baza unei abordări simplificate și practice a comportamentului pompelor de căldură. Astfel, pornind de la valoarea determinată la testare pentru coeficientul de performanță în condiții de referință, așa cum sunt ele precizate în standardul european EN 14511,  $COP_{gen;ref}$  respectiv de la valoarea COP corespunzătoare situației ideale – carnot – pentru aceleași condiții de referință  $COP_{gen;exer}$  se poate exprima eficiența exergetică în condiții de referință

$$\eta_{H;gen;COP;exer}$$

$$\eta_{H;gen;COP;exer} = \frac{COP_{gen;ref}}{COP_{gen;exer}} \quad (10)$$

Totodată, eficiența exergetică corespunzătoare unor condiții de temperatură relativ apropiate ( $\vartheta_{out} \cong \vartheta_{ref}$ ), de forma

$$\eta_{H;gen;COP;exer} = \frac{COP_{gen;(\vartheta_{in};\vartheta_{out})}}{COP_{gen;exer}(\vartheta_{in};\vartheta_{out})} \quad (11)$$

Coeficientul de performanță corespunzător ciclului carnot, pentru situația pompelor de căldură cu comprimare mecanică și antrenare cu electromotor depinde de temperatura agentului de lucru din vaporizator,  $\vartheta_{gen;in}$  respectiv de cea din condensator,  $\vartheta_{gen;out}$

$$COP_{gen;exer}(\vartheta_{in};\vartheta_{out}) = \frac{\vartheta_{gen;out} + 273,15}{\vartheta_{gen;out} - \vartheta_{gen;in}} \quad (13)$$

Variația relativ redusă a eficienței exergetice pentru intervale restrânse de temperatură, adică pentru valori apropiate de condițiile de referință ( $\vartheta_{in} \cong \vartheta_{ref}$ )

$$\eta_{H;gen;COP;exer} \cong \eta_{H;gen;COP;\vartheta_{in};\vartheta_{out}} \quad (14)$$

permite evaluarea coeficientului de performanță  $COP_{gen;(\vartheta_{in};\vartheta_{out})}$  pentru temperaturi suficient de apropiate de cele la care s-a efectuat testarea pe stand  $COP_{gen;ref}$

$$COP_{gen;(\vartheta_{in};\vartheta_{out})} = \frac{COP_{gen;ref}}{COP_{gen;exer;ref}} \cdot COP_{gen;exer}(\vartheta_{in};\vartheta_{out}) \quad (15)$$

sau,

$$COP_{gen;(\vartheta_{in};\vartheta_{out})} = \frac{COP_{gen;exer}(\vartheta_{in};\vartheta_{out})}{COP_{gen;exer;ref}} COP_{gen;ref} \quad (15a)$$

Termenul  $\frac{COP_{gen;exer}(\vartheta_{in};\vartheta_{out})}{COP_{gen;exer;ref}}$  notat cu  $f_{gen;COP;exer}$  reprezintă factorul de corecție al COP, pentru condițiile de temperatură, diferite atât la intrare cât și la ieșire în/din pompa de căldură și poate fi calculat cu ajutorul temperaturilor de intrare și de ieșire din aceasta atât în condițiile de referință, cât și în cele apropiate ca valoare

$$f_{gen;COP;exer} = \frac{COP_{gen;(\vartheta_{in};\vartheta_{out})}}{COP_{gen;exer;ref}} \quad (16)$$

În expresia coeficientul de performanță corespunzător ciclului carnot intervin temperaturile agentului de lucru la ieșirea din condensator, respectiv cea de intrare a acestuia în vaporizator. Din considerente practice este mai convenabilă exprimarea coeficientului de corecție  $f_{gen;COP;exer}$  cu ajutorul temperaturii medii ale agenților intermediari, astfel încât diferența de temperatură între agentul intermediar și cel de lucru poate fi aproximată la valoarea de 15°C în cazul aerului respectiv 4°C [1] în cazul apei. În figura 7 au fost schematizate temperaturile specifice pompei de căldură.

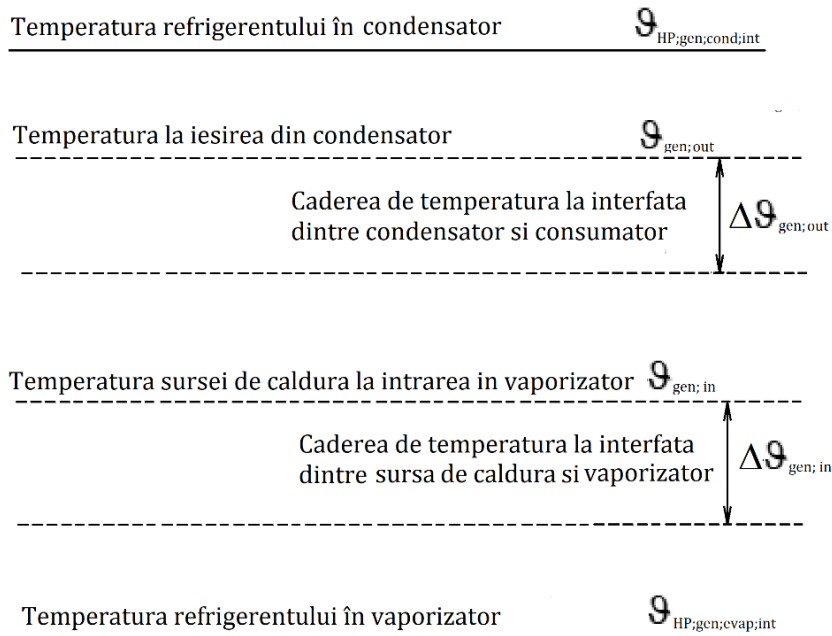


Fig. 7. Temperaturile agentului de lucru din pompa de căldură precum și cele de intrare/ieșire ale agenților intermediari în/din vaporizator, respectiv condensator.

În aceste condiții factorul eficienței exergetice capătă forma

$$f_{LR,exer} = \frac{COP_{exer;X}}{COP_{exer;biv}} \cdot \left[ \frac{(T_{out;biv} - 0,5 \cdot \Delta T_{out;biv}) \cdot (T_{in;XX} + 0,5 \cdot \Delta T_{in;XX})}{(T_{out;XX} - 0,5 \cdot \Delta T_{out;XX}) \cdot (T_{in;biv} + 0,5 \cdot \Delta T_{in;biv})} \right]^{n_{exer}} \quad (17)$$

unde  $T_{out;biv} = \vartheta_{out;biv} + 273,15$  [K] reprezintă temperatura de ieșire din pompa de căldură în condiții de bivalență. Temperatura bivalentă  $\vartheta_{out;biv}$  este temperatura cea mai scăzută la care puterea termică a pompei de căldură este egală cu sarcina de încălzire a clădirii, figura 8.

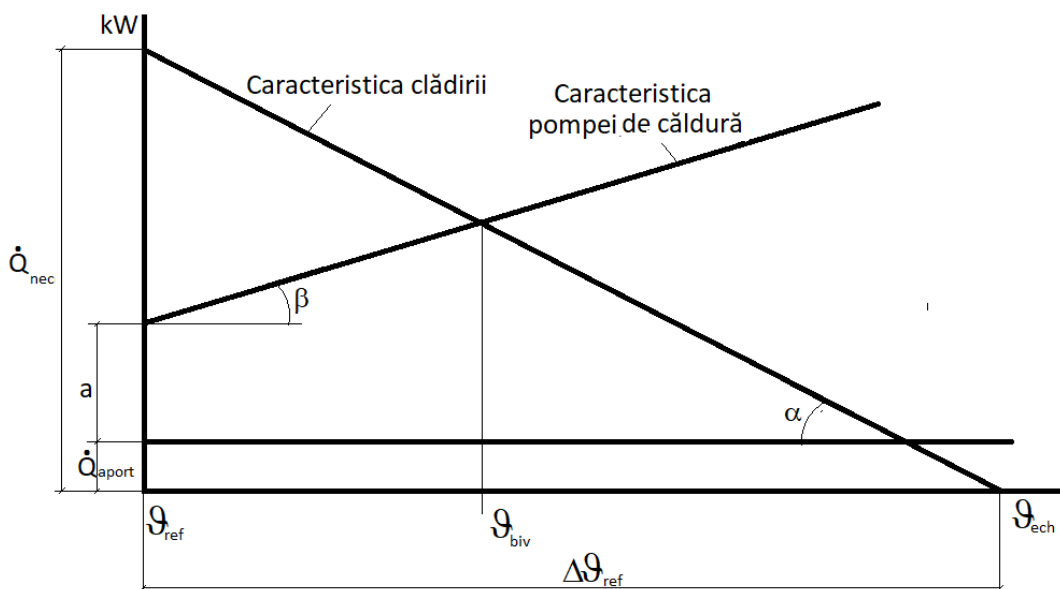


Fig. 8. Elementele determinante pentru temperatura bivalentă

Temperatura bivalentă depinde de temperatura de confort  $\partial_{conf}$  (ex. 20°C), dar și de aporturile interne și solare,  $\dot{Q}_{aport}$  precum și de caracteristica clădirii ( $tg \alpha = \dot{Q}_{nec}/(\partial_{ech} - \partial_{ref})$ ), respectiv de caracteristica pompei de căldură (a, tg  $\beta$ )

$$\partial_{out \text{ biv}} = \left( \partial_{conf} - \frac{a + \dot{Q}_{aport}}{tg \alpha} \right) \cdot \frac{1}{\frac{tg \beta}{tg \alpha} + 1} \quad (18)$$

Cu ajutorul valorilor calculate pentru factorul eficienței exergetice în punctele A, B, C, D (adică 35°C, 45°C, 55°C, și 65°C) precum și în condițiile de bivalență se determină prin ponderare cu factorul de sarcină teoretic

$$f_{LR;exer}(t) = f_{LR;exer;XX} - (f_{LR;exer;XX} - f_{LR;exer;YY}) \cdot \frac{LR_{exer;XX} - LR_{exer}(t)}{LR_{exer;XX} - LR_{exer;YY}} \quad (19)$$

Valoarea COP se obține din  $COP_{carnot}$  și din factorul eficienței exergetice calculat pentru fiecare pas de timp.

$$COP_{gen;\partial_{in};\partial_{out}}(t) = f_{LR;exer}(t) \cdot COP_{gen,exer}(t) \quad (20)$$

Aceasta permite apoi să se calculeze valoarea energiei electrice consumate pentru generarea căldurii necesare.

#### 4. Concluzii

Tendința de eficientizare energetică manifestată în diverse domenii de activitate este prezentă nu numai în privința consumului specific al clădirilor: în ultimul deceniu s-a putut constata trecerea de la exploatarea discontinuă a pompelor de căldură caracterizate de putere termică (capacitate termică) constantă (regim de lucru de tip pornit–oprit) la funcționarea practic neîntreruptă însă cu turație variabilă. Aceasta a eliminat inconvenientul manifestat prin reducerea performanțelor termice – în speță consum exagerat de energie electrică. Îmbunătățirea substanțială a eficienței energetice obținută prin modularea turației grupului electromotor–compresor se face cu ajutorul convertoarelor de frecvență care au ajuns să reprezinte o fracțiune puțin relevantă din costul întregului ansamblu. Această schimbare în abordarea problemelor legate de utilizarea pompelor de căldură în domeniul încălzirii și răcirii clădirilor a adus cu sine necesitatea tratării cu mai multă atenție atât a etapei de testare pe stand cât și în cea a posibilității de evaluare prin calcul a performanței acestor sisteme. Este vorba de funcționarea în sarcină parțială a echipamentelor ceea ce implică necesitatea de corelare a sarcinii (turației) cu temperatura obținută în urma procesului specific pompei de căldură. Dacă la această problemă se adaugă și dependența sarcinii de încălzire de temperatura aerului ambiant (considerat ca sursă de căldură) este evident că este vorba de o complexitate sporită. La aceasta se poate adăuga și inerția termică a clădirilor care atrage după sine și nevoia de a lua în considerare previziunile meteorologice. Calculul performanței pompelor de căldură pentru diferite regimuri de lucru se bazează pe metoda interpolării, aceasta fiind una de tip orar, spre deosebire de abordarea sezonieră din variantele anterioare ale acestor standarde. Testarea pe stand a unui număr sporit de produse a permis obținerea de concluzii generalizatoare, iar continuarea acestui efort va aduce desigur o cunoaștere și mai

aprofundată a domeniului. Însă, în etapa actuală există o oarecare dificultate în aplicarea metodei de calcul descrisă de standard, lucru recunoscut de autori prin afirmația ”standardele sunt mai detaliate dar nu întotdeauna explicite... și nu sunt ușor de aplicat”. Se recunoaște totodată necesitatea de instruire în vederea aplicării, precum și de sprijin pentru transpunerea acestor standarde la nivel național.

## EXERGY EFFICIENCY AND HEAT PUMP TESTING

### **Abstract**

*The paper presents the new way of calculating the performance of the heat pump based on the interpolation of the tested results when a constant exergy efficiency is considered.. The scope is to evaluate the part load operation performance other than the one resulted from tests carried out on stand. The exergetic approach used in the standard EN 15316-4-2:2017 for the adaptation of tests results to the operating conditions offer a more precise way to evaluate the energy performance of heat pump systems, even if „the new standards are not always easy to apply”, being „not always explicit”. Considering the high variability of COP values resulted from the temperature changes due to the continuous modulating operation, an interpolation between test conditions is possible in order to get a map describing the heat pump behaviour.*

### **Bibliografie**

1. Zirngibl, J. *Heat pump standard EN 15316-4-2 – From compliance to real consumption.* REHVA Journal – December 2020]
2. Boian, I., Chiriac, F. *Pompe de căldură.* MatrixRom, 2013
3. \*\*\*EN 14825. *Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling -Testing and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance*
4. \*\*\*EN 14511 series. *Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors, for space heating and cooling. Test methods.*
5. \*\*\*EN 16147. *Heat pumps with electrically driven compressors – Testing and requirements for marking for domestic hot water units.*



## **EVALUAREA CALITĂȚII AERULUI INTERIOR INTR-O ȘCOALA PRIMARA ȘI SOLUȚII DE IMBUNĂTĂȚIRE PRIN UTILIZAREA DE PURIFICATOARE DE AER**

**Tiberiu CATALINA<sup>1</sup>, Andrei DAMIAN<sup>1</sup>, Andreea VARTIRES<sup>1</sup>, Marius NITA<sup>1</sup>,  
Vicentiu RACOVITEANU<sup>1</sup>, Catalin NEGRUTIU<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti, Facultatea de Inginerie a Instalatiilor*

<sup>2</sup>*DAIKIN Europa-Centrala Romania*

### **1. INTRODUCERE**

Elevii își petrec o bună parte a timpului lor în sala de clasă (aproximativ 25%), făcând ca sălilor de clasă să li se acorde o foarte mare importanță, considerat ca și un al doilea camin. Gradul de ocupare al sălilor de clasă este foarte ridicat, sunt cele mai aglomerate în comparație cu oricare altă clădire din lume, de aceea este vital ca climatul interior să nu afecteze confortul, sănătatea sau performanța intelectuală a ocupanților. Proiectele de școli vizează atingerea unor norme minime de siguranță, sănătate, confort și încadrarea într-un buget minim, fără a avea drept scop optimizarea sănătății și a confortului utilizatorilor.

Început în ianuarie 2022, proiectul Școli Sănătoase (<https://scolisanatoase.ro/>) reunește o echipă interdisciplinară de experți formată din ingineri de instalații, ingineri constructori, arhitecți, antropologi, cercetători, chimiști, medici, profesori și este coordonată de Tiberiu Catalina, conferențiar la Universitatea Tehnică de Construcții București.

Dimensiunea de cercetare aplicativă a proiectului Școli Sănătoase are ca obiectiv implementarea și testarea într-o școală-pilot din București a unor soluții eficiente energetic de asigurare a calității aerului interior, a confortului termic, acustic și vizual. Proiectul propune, ca primă etapă, o serie de măsurători experimentale ale parametrilor interiori: temperatura, umiditatea, nivelul de praf, nivelul de compuși organici volatili, nivelul de radon, nivelul de dioxid de carbon și a altor poluanți interiori, nivelul de zgomot, nivelul iluminatului natural și artificial etc. **Dilema în cercetarea privind clădirile de școală provine din încercarea de a găsi un echilibru în triunghiul: eficiență energetică – confort termic – calitatea aerului interior.**

Confortul termic se bazează pe un cumul de 6 factori: temperatura aerului, temperatura radiantă, rata de ventilare a aerului, umiditatea relativă, calitatea îmbrăcăminții și rata metabolică de bază.

Aerisirea naturală prin intermediul ferestrelor exclusiv în timpul pauzelor nu este suficientă. Iar majoritatea școlilor nu deține sisteme de ventilare mecanică. Controlul ventilării poate fi însă dificil de realizat, din cauza condițiilor variabile (vânt, temperatură, presiune). Astfel că, în timpul unor temperaturi foarte ridicate vara sau foarte scăzute iarna, soluția nu este aplicabilă. Aparatele de climatizare utilizate în mod curent în școli nu îmbunătățesc calitatea aerului interior, iar ventilarea exclusiv naturală induce pierderi necontrolate de energie.

Pe măsură ce dovezile din studii de cercetare se acumulează, acestea trebuie nu doar arhivate, cât mai ales menținute la un nivel ușor accesibil, pentru a putea fi aplicate în noi proiecte. Iar pe măsură ce ne antrenăm și din ce în ce mai multe organizații vor utiliza proiectarea bazată pe dovezi (Evidence-based Design – EBD), va crește încărcătura de responsabilitate de pe umerii arhitecților și inginerilor.

## **REFERINTE**

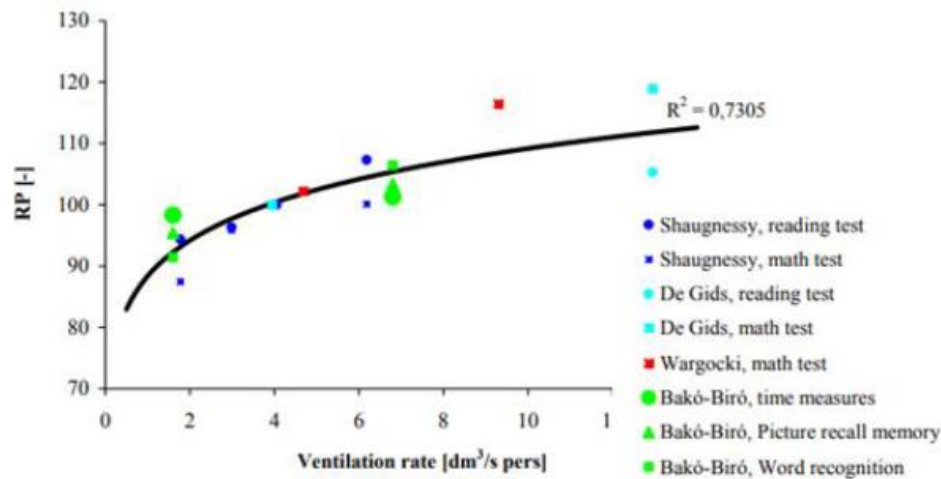
Copiii sunt deosebit de sensibili și în dezvoltare fizică (plămâni acestora nu sunt ajunși la maturitate) și în comparație cu un adult sănătos, vor suferi mult mai devreme consecințele unui mediu interior neadecvat. Școlile sunt ocupate de un număr mare de elevi care produc poluanți precum CO<sub>2</sub>, umiditate și praf. În plus, componentele clădirii, mobilierul și echipamentele contribuie la eliberarea de poluanți, cum ar fi compușii organici volatili (COV), formaldehida. Este necesară o ventilație adecvată pentru a elimina acești poluanți din aerul interior, totodată elevii produc și căldură, care, fără o ventilație adecvată, crește temperatura în clasă. Numărul copiilor cu probleme de sănătate legate de calitatea aerului este adesea subestimat, la nivel mondial, astmul este cea mai răspândită boală cronică la copii.

Un mediu sănătos și curat, lipsit (pe cât posibil) de alergeni (acarieni de casă, alergeni de pisică, polen etc.) și alte substanțe iritante (luând în considerare de exemplu vapori chimici sau praful din aer) reduce considerabil șansa de astm bronșic.

Expunerea copiilor cu astm bronșic și alte tulburări ale căilor respiratorii cât mai puțin posibil reduce dezvoltarea bolii, ceea ce aduce beneficii funcționării lor zilnice și sănătății pe viitor.

„În ultimii ani, au fost efectuate diverse studii privind relația dintre ventilație și performanța de învățare (Bakó-Biró et al., 2008; De Gids et al., 2008; De Gids et al., 2006; Shaughnessy și colab., 2006; Wargocki și colab., 2005).” Performanța de învățare scade puternic când debitul de ventilare alocat unei singure persoane este sub 4 l/s pers.





**Figura 1.** Relația dintre rata de ventilare și performanța relativă a învățării (Franchimon et al., 2009; Jacobs et al., 2007)

În figura 1 se poate observa că un mediu interior bun se realizează printr-o bună proiectare a clădirii și a sistemelor, dar și managementul și întreținerea adecvată împreună cu utilizarea responsabilă a dotărilor de către utilizatorii clădirii.

Prevalența calității aerului interior într-o clădire școlară, ca exemplu, o școală elementară din Finlanda, este evidențiată în articolul “Indoor environmental quality in school buildings, and the health and wellbeing of students” și are ca scop studiul la nivel de școală sau de clasă a simptomelor auto-raportate folosind date colectate printr-un chestionar de sănătate care cuprinde 37 de întrebări.

În urma chestionarului au rezultat următoarele:

Cele mai frecvente simptome săptămânale în semestrul de primăvară au fost oboseala (7,7%), nasul înfundat (7,3%) și durerea de cap (5,5%).

„La nivel de grup, valorile cele mai frecvent găsite peste 95% au fost respirația îngreunată, tusea cu respirație îngreunată și febra peste 37°C.”

„Factorii IEQ cei mai frecvent raportați care cauzează disconfort zilnic în sălile de clasă au fost zgomotul (11,0%) și calitatea slabă a aerului din interior (IAQ – Indoor air quality) (7,0%), care au fost, de asemenea, cele mai frecvent găsite, peste 95% la nivel de grup, împreună cu temperatura interioară ridicată resimțită și praf sau murdărie.”

„Deoarece elevii sunt principala sursă de poluare interioară în sălile de clasă, evaluarea calității aerului s-a bazat pe măsurători ale concentrației de dioxid de carbon.”

Particulele de nivel microscopic pătrund adânc în plămâni, ocolind apărarea naturală a organismului și pot intra în sânge provocând boli pulmonare, cancer, accidente vasculare, cerebrale și atacuri de cord. După ce particulele sunt inhalate, soarta fiecărei particule depinde de dimensiunea acesteia: cu cât particulele sunt mai fine, cu atât pătrund mai departe în corp. PM10, particule cu diametre mai mici de 10 micrograme ( $\mu\text{g}$ ), sunt suficient de mici pentru a trece prin firele de păr din nas.

Acestea călătoresc în tractul respirator și în plămâni, unde elementele metalice de pe suprafața particulelor oxidează celulele pulmonare, lezându-le ADN-ul și crescând riscul de cancer. Interacțiunile particulelor cu celulele pulmonare pot duce, de asemenea, la inflamație, iritație și blocarea fluxului de aer, crescând riscul sau agravând bolile pulmonare care îngreunează respirația, cum ar fi tulburarea pulmonară obstructivă cronică (BPOC), boala pulmonară chistică și bronșiectazia.

Obiectivele articolului sunt de a analiza calitatea aerului prin măsurări ale concentrației de CO<sub>2</sub> dar și a particulelor de praf PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>. Un al doilea obiectiv important a fost impactul unor purificatoare produse de DAIKIN asupra reducerii particulelor de praf.

## 2. STUDIU DE CAZ

### 2.1 Descriere scoala-pilot

Clădirea pilot este situată în București are regimul de înălțime Sp+P+2E, are amprenta la sol de aproximativ 765 m<sup>2</sup> și din informațiile primite de la administratorul imobilului reiese că a fost construită în jurul anului 1967, proiectul fiind un proiect tip re folosibil la mai multe școli. Construcția are o formă dreptunghiulară (cu excepția zonelor de capăt) cu laturile exterioare de 18.80 m x 45.50 m, având o deschidere marginală de 6.20m și patru deschideri cu mărimea cuprinsă între 3.00m și 3.20m și 15 travee cu mărimea cuprinsă între 3.00 m și 3.10 m. Înălțimile de nivel sunt: 1.80 m subsolul tehnic parțial și 3.40 m parterul, etajul 1 și etajul 2. Clădirea are acoperiș de tip pod cu șarpană din lemn.

Din punct de vedere funcțional clădirea cuprinde săli de clasă, laboratoare pentru chimie, biologie și informatică, cancelarie, bibliotecă, grupuri sanitare, spații administrative (birouri pentru director, secretariat, etc.), cabinet medical, spații tehnice, anexe și depozități.

Este de tip șarpanță acoperită cu tablă zincată și sisteme de jgheaburi și burlane din tablă zincată. Tâmplăria exterioară din PVC și geam termopan este parțial degradată.



**Figura 2.** Poza exterioara cladire si poza interior sala de curs

Au avut loc lucrări de rehabilitare cu scopul de a crește performanța energetică a unității de învățământ, respectiv reducerea consumurilor energetice pentru încălzirea

spațiilor, în condițiile asigurării și menținerii climatului termic interior, modernizarea acestora precum și ameliorarea aspectului urbanistic al localităților.

Lucrările s-au făcut conform celor menționate în auditul energetic întocmit pentru aceasta unitate de învățământ.

Lucrările de intervenție au presupus modificări ale elementelor de clădire care afectează consumurile energetice și calitatea învățământului în această unitate.

Aceste lucrări au fost concepute încât să asigure o imagine arhitecturală îmbunătățită, integrare în ansamblul urban, precum și o creștere a confortului utilizatorilor.

## 2.2 Descriere purificatoare de aer DAIKIN

Purificatoarele de aer Daikin filtrează particulele, alergenii și mirosurile neplăcute, pentru a furniza aer curat pentru respirație, optimizând nivelurile de confort și reducând riscurile asupra sănătății.

Purificatoarele de aer vă permit să controlați în totalitate locația și momentul de furnizare a aerului curat.

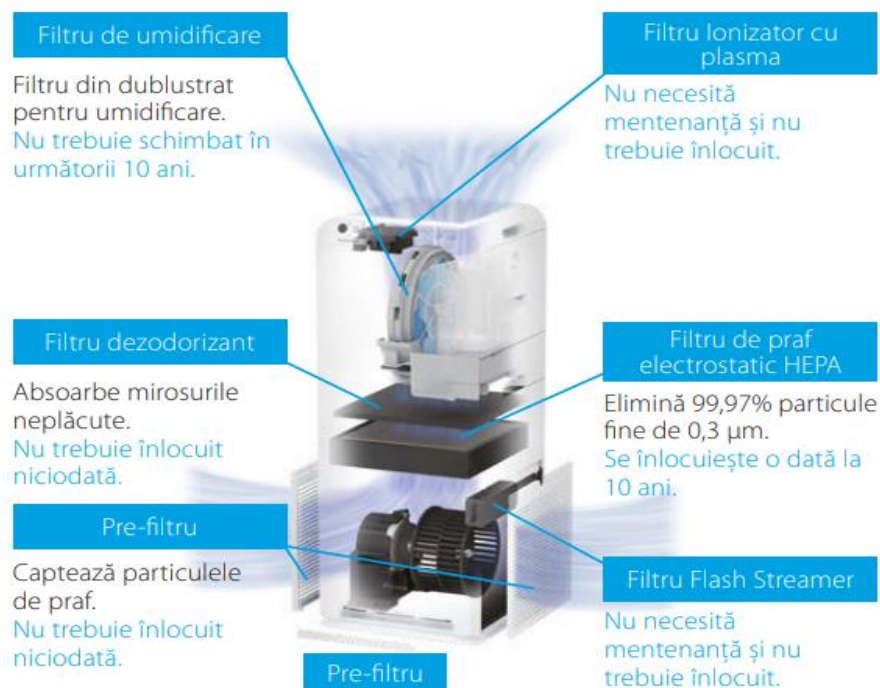
Dimensiunile compacte și greutatea ușoară vă permit să amplasați purificatorul de aer acolo unde este nevoie, iar comenzile sofisticate, dar ușor de utilizat, vă permit să controlați pe deplin debitul, nivelurile de umiditate și utilizarea programată.

Modurile diferite au funcții prestabilite, care pot fi utilizate în caz de situații speciale.



**Figura 3.** Purificatoare de aer DAIKIN

Asemenea tuturor produselor și sistemelor Daikin, purificatoarele de aer au eficiență energetică ridicată, grație senzorilor speciali, care detectează nivelul de poluanți din aer și pornesc și opresc unitatea în funcție de necesitate, în timp ce programatoarele permit programarea purificării automate a aerului.



**Figura 4.** Componenta unui purificator de aer Daikin MCK22W

Purificatorul de aer MCK55W de la Daikin are o capacitate de purificare a aerului de la 54m<sup>3</sup>/h în modul Silențios până la 330m<sup>3</sup>/h în modul Turbo, o capacitate de umidificare a acestuia de la 200ml/h până la 500ml/h și un consum maxim de energie de 56W în modul Turbo.

Din punct de vedere acustic, acesta produce un nivel de zgomot cuprins în intervalul 19-53dB(A), depinzând de modul de funcționare ales.

#### **Caracteristicile purificatorului de aer MCK55W:**

- **Funcția de umidificare**

Purificatorul are funcția de umidificare pentru menținerea unui raport optim de umiditate și protecție împotriva virusurilor.

- **Structura inovatoare**

Datorită noii structuri inovatoare pe verticală, aparatul este compact, eficient și silențios, iar grație roților incluse în pachet, aparatul este portabil și ușor.

- **Filtru HEPA electrostatic**

Elimină 99,97% particule fine de 0,3 μm de praf și poluanți. Filtrul are o durată de viață de 10 ani.

- **Modul antipolen**

Prin crearea unei turbulențe ușoare în aerul din încăperea, polenul este prins înainte de a ajunge pe podea.

- **Funcție de monitorizare praf PM2.5**

Controlează și afișează nivelul de praf și miros.

- **Child lock - protecție pentru copii**

Previne operarea necorespunzătoare a purificatorului de aer de către copii.

- **Modul economic**

În modul de economisire a energiei, setarea ventilatorului se mută automat pe Silențios sau Încet. Consumul de energie și zgomotul de funcționare sunt reduse.

- **Aer curat și purificat**

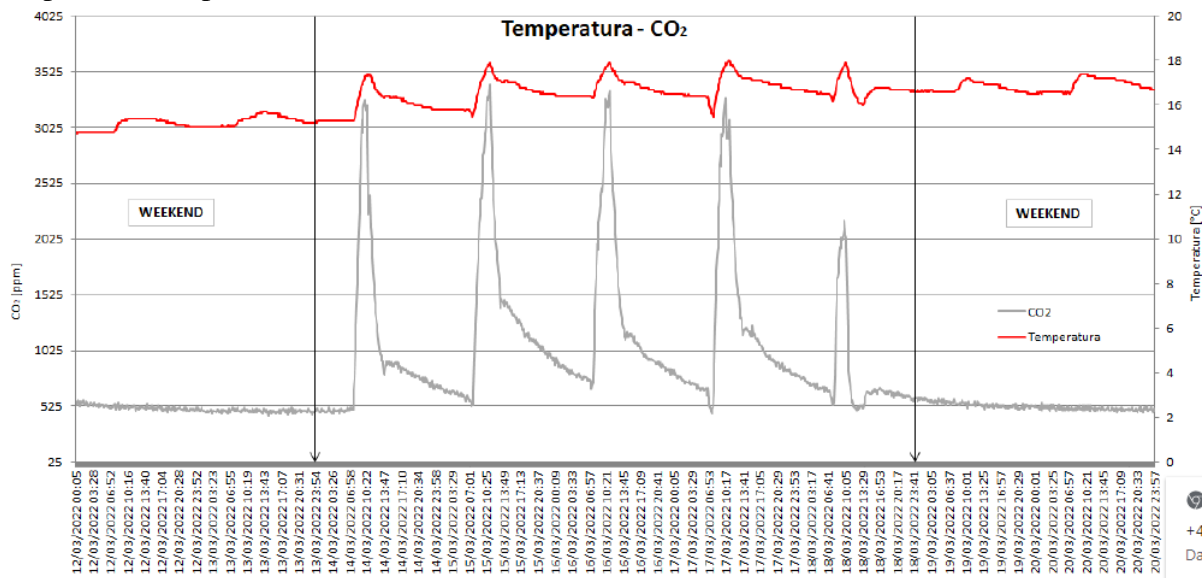
Aer curat obținut prin descărcarea ionilor de plasmă activi, cu ajutorul tehnologiei Flash Streamer.

- **Modul Auto**

Setarea ventilatorului (Silențios, Încet, Standard, Mare) este reglată automat în funcție de gradul de impuritate al aerului și de umiditate (când funcția de umidificare este activă). Capacitatea de purificare crește odată cu puterea ventilatorului.

### 3. REZULTATE

Prima etapa de masura a constat in evaluarea concentratiei de CO2 si a temperaturii interioare asa cum se poate observa din Figura 5. Putem observa ca se depaseste pragul maxim admisibil iar concentratia de CO2 ajunge la valori de 3000 ppm in mare parte a timpului de ocupare.



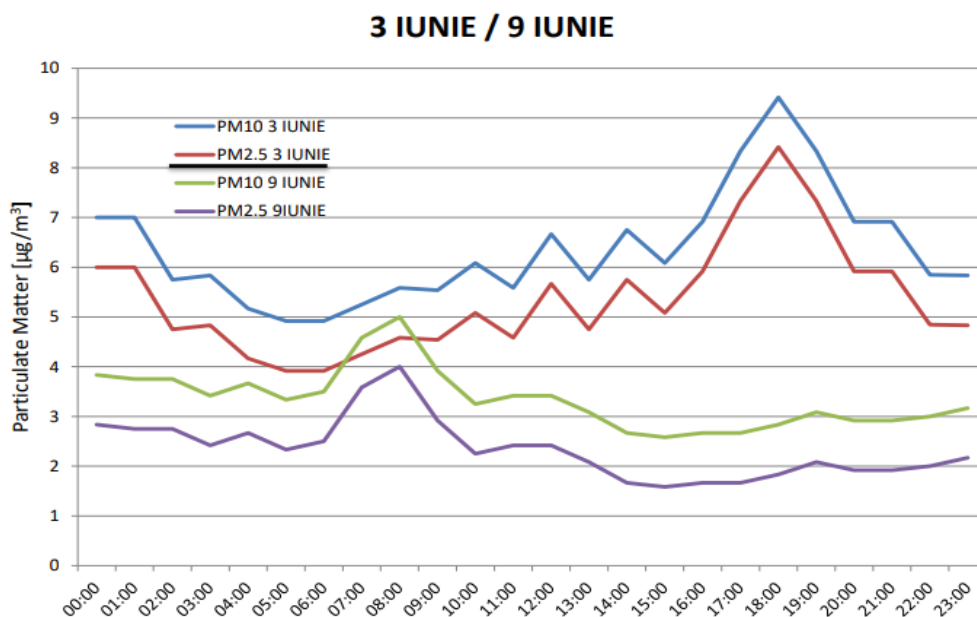
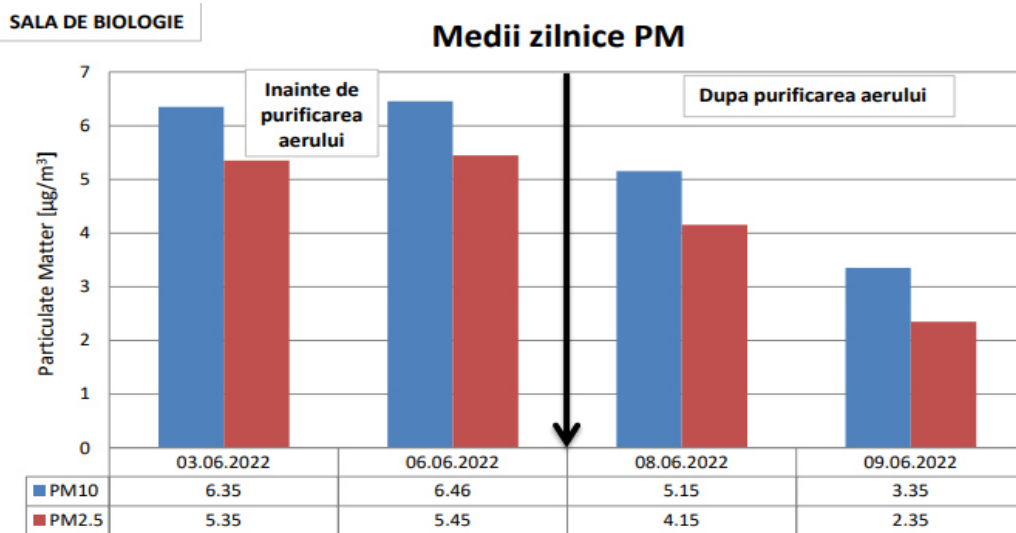
**Figura 5.** Masurari CO2 si temperatura sala de curs – saptamana 12.03-20.03.2022

Concentrația de CO2 crește în momentul în care elevii se adună în sala de clasă (cu aproximativ 30 de minute înainte de începerea orelor). Creșterea este una rapidă, înregistrându-se valori mari la aproximativ 2 ore de la începerea orelor.

Conform ASHRAE (The American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers) nivelul de concentrații de CO<sub>2</sub> interior nu trebuie să depășească valoarea de 1000ppm.

La finalul orelor concentrația de CO<sub>2</sub> scade brusc, scădere datorată elevilor ce părăsesc încăperea și ferestrelor ce sunt deschise în vederea aerisirii sălii de curs. În momentul în care sursa de poluare interioară principală (oamenii) nu mai sunt prezenți și ferestrele sunt deschise, concentrația de dioxid de carbon scade destul de rapid (în 2 ore), atingând valori cuprinse între aproximativ 950ppm și 1500ppm. Practic, aerul interior viciat a fost “spălat” de aerul exterior curat, astfel concentrația de dioxid de carbon din aerul interior a fost diminuată.

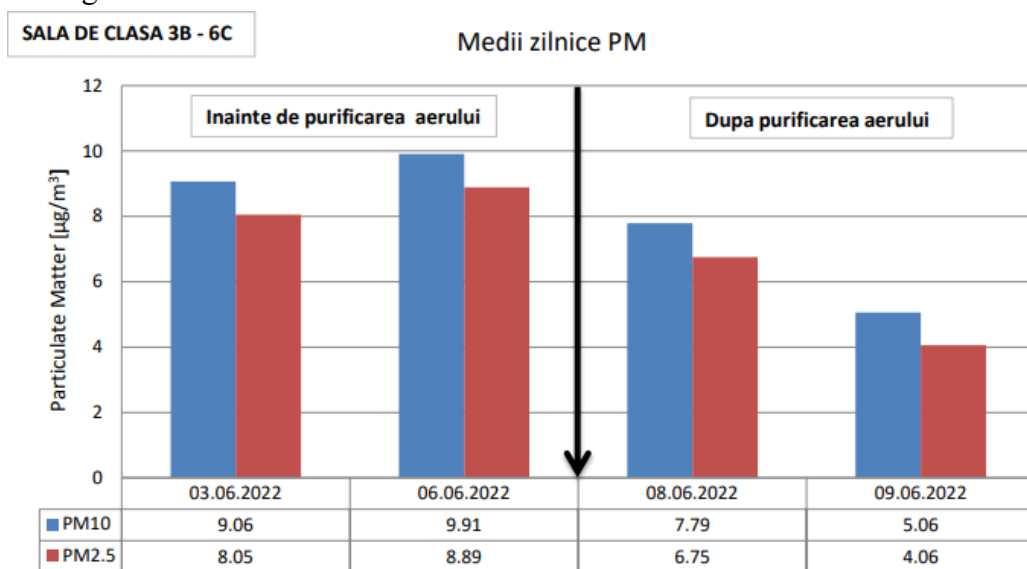
După închiderea ferestrelor, concentrația de CO<sub>2</sub> continuă să scadă lent, această scădere este datorată neetanșeităților (infiltrațiilor de aer), realizându-se permanent schimburi de aer cu încăperile vecine și/sau exteriorul. La finalul zilelor din cursul săptămânii, la ora 23:00, s-au înregistrat valori cuprinse între 460ppm și 687ppm, valori la care calitatea aerului interior se consideră ca fiind una bună.



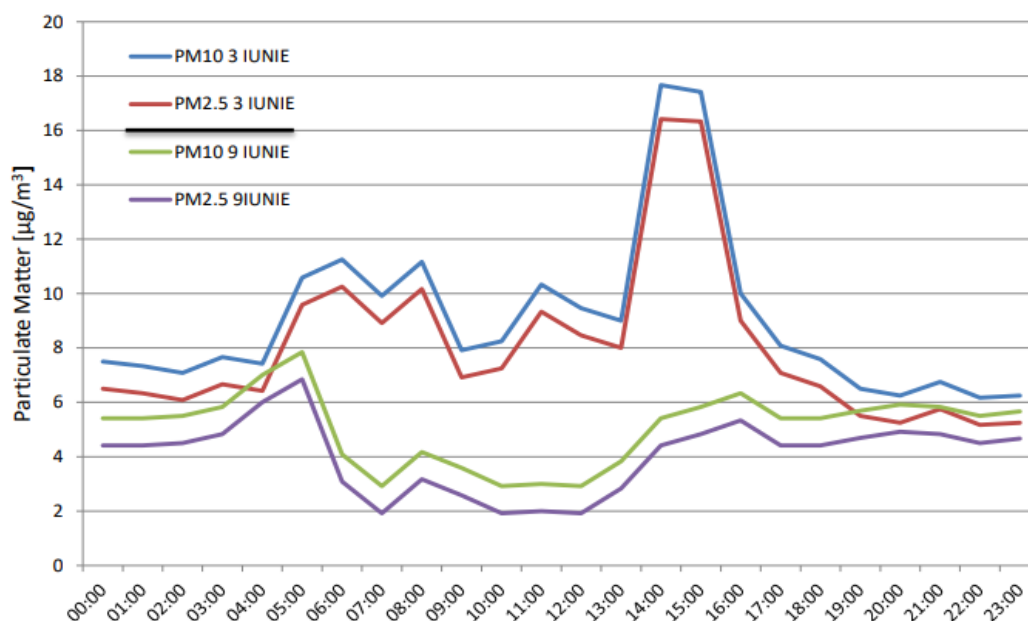
**Figura 6.** Analiză particule de praf PM<sub>2.5</sub> și PM<sub>10</sub> cu și fără purificatoare – Sala de Biologie

S-a ales ca și perioadă de analizare a datelor înregistrate de senzorii Daikin IAQ zilele de până în montarea purificatoarelor de aer Daikin MCK55W, zilele de 3 și 6 iunie, respectiv zilele de după montarea acestora, acestea fiind zilele de 8 și 9 iunie. În ziua de 7 iunie, la aproximativ ora 15:00 au fost instalate purificatoarele de aer, datele înregistrate în această zi nefiind luate în calcul în cadrul comparației.

În sala de Biologie se poate observa o îmbunătățire a calității aerului prin scăderea concentrației particulelor de praf PM2.5 de la o medie de 5.45μg/m<sup>3</sup> înregistrată înaintea instalării purificatoarelor de aer, la o medie de doar 2.35μg/m<sup>3</sup> după instalarea acestora. În ceea ce privește concentrația de particule de praf mai mari PM10, aceasta a scăzut de la valoarea medie înregistrată de 9.91 μg/m<sup>3</sup> la o valoare medie de 5.06 μg/m<sup>3</sup>. Practic, concentrațiile de particule de praf PM2.5 și PM10 au fost reduse cu aproximativ 50% în cazul sălii de Biologie.



**3 Iunie / 9 Iunie**



**Figura 7.** Analiză particule de praf PM2.5 și PM10 cu și fără purificatoare – Sala 3B/6C

În sala de clasă 3B - 6C s-au înregistrat valori mai mari ale concentrației de particule de praf, acest lucru este datorat numărului mai mare de elevi prezenți și de o activitate a acestora mai ridicată în timpul orelor. O activitate fizică mai ridicată conduce la o rată mai mare de antrenare a particulelor de praf în aerul interior (particulele de praf de PM10 sau mai mici sunt mai ușoare și implicit sunt menținute în aer un timp mai îndelungat, acestea pot rămâne cu ușurință în aer timp de câteva ore).

Conform datelor înregistrate în perioada premergătoare instalării purificatoarelor de aer s-au observat valori medii ale concentrației de particule de praf de până la 9.91  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  în cazul PM10, și de până la 8.89  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  în cazul PM2.5.

Ca și în cazul sălii de Biologie, valorile medii ale concentrației de PM10 și PM2.5 se înjumătățesc, acestea reducându-se până la o valoare medie a PM10 de 5.06  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  și o valoare medie a PM2.5 de 4.06  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### 4. CONCLUZII

Calitatea aerului în școala generală “Alexandru Ioan Cuza” din București, conform studiului realizat, este una redusă. Acest studiu a avut ca scop urmărirea parametrilor aerului de-a lungul timpului prin folosirea senzorilor ce au permis stocarea datelor referitoare la concentrația de dioxid de carbon, temperatură, umiditate, particule de praf și prelucrarea acestora pentru stabilirea calității aerului interior (IAQ).

În urma acestui studiu s-au observat concentrații ridicate de dioxid de carbon în timpul orelor, valorile acestora au depășit cu mult concentrațiile de CO<sub>2</sub> maxime admise conform ASHRAE

, concentrații de 1000ppm peste concentrația de CO<sub>2</sub> de la exterior.

Au fost atinse valori de până la 3500ppm, cu 3000ppm peste valoarea concentrației de CO<sub>2</sub> din mediul exterior, valoarea acesteia fiind de aproximativ 420ppm în zona școlii.

În ceea ce privește praful la interiorul sălilor de clasă, rezultatele arată faptul ca sunt prezente particule de praf PM10 și PM2.5 în cantități destul de ridicate, acest lucru putând duce la probleme grave de sănătate în rândul elevilor, aceștia fiind foarte vulnerabili mai ales la particulele fine de praf precum este PM2.5 și PM10 (particule cu un diametru sub 2.5 micrometri, respectiv sub 10 micrometri), acestea nefiind filtrate de nas și gât (precum sunt particulele mai mari de 10 micrometri) și se pot infiltra cu ușurință în căile respiratorii și în plămâni.

Recomandarea pentru creșterea calității aerului este implementarea unui sistem de ventilare mecanică cu recuperare de căldură, folosind energia extrasă din aerul viciat pentru încălzirea sau răcirea aerului proaspăt introdus din mediul exterior. În acest fel se realizează o economie de energie pentru ventilarea sălilor de clasă, eliminarea pierderilor necontrolate de energie prin deschiderea manuală a ferestrelor și eliminarea disconfortului termic la deschiderea acestora. Totodată, prin introducerea unui sistem de ventilare mecanică se reduce variația bruscă a temperaturii în planurile paralele cu ferestrele (în momentul deschiderii acestora), ducând la o mai bună omogenitate a temperaturilor aerului în toată sala de clasă.

În acest caz, problema disconfortul creat de curenții de aer la deschiderea ferestrelor este eliminată și ea, sistemul de ventilare mecanica introduce aerul proaspăt cu o viteză setată constantă pe la partea superioară a încăperii, neinfluențând negativ activitatea elevilor.



Conform datelor prezentate în Fig.6 și Fig.7 - concentrația particulelor de praf din aerul interior al sălilor de clasă este redusă cu până la 50% de purificatoarele de aer Daikin, acest lucru contribuind la o creștere a calității aerului în școală și implicit o creștere a calității vieții elevilor și a personalului din cadrul școlii.

## **ASSESING THE INDOOR AIR QUALITY IN A SCHOOL AND MEANS OF IMPROVING IT BY USING AIR PURIFIERS**

### **Bibliografie**

- [1] Asociația de Standardizare din Romania (ASRO). SR EN 7730 - Ambianțe termice moderate. Determinarea analitică și interpretarea confortului termic prin calculul indicilor PMV și PPD și specificarea criteriilor de confort termic local, 2006.
- [2] M.El Asmar, A.Chokor, I.Srour. Are Building Occupants Satisfied with Indoor Environmental Quality of Higher Education Facilities?. Energy Procedia, Vol. 50, 2014, Pag. 751-760, 2014.
- [3] M. Turunena, O. Toyinboa, T. Putus, A. Nevalainen, R.Shaughnessy, U. Haverinen-Shaughnessy. Indoor environmental quality in school buildings, and the health and wellbeing of students. International Journal of Hygiene and Environmental Health, Vol. 217, Issue 7, Pag. 733-739, 2014.
- [4] F.R d'Ambrosio Alfano, L. Bellia, A. Boerstra, F. Van Dijken, E. Ianniello, G. Lopardo, F. Minichiello, P. Romagnoni, M.C.G. da Silva. Indoor Environment and Energy Efficiency in schools, REHVA Guidebook no.13, 2010.
- [5] M.C. Lee, K.W. Mui, L.T. Wong, W.Y. Chan, E.W.M. Lee, C.T. Cheung. Student learning performance and indoor environmental quality (IEQ) in air-conditioned university teaching rooms. Building and Environment, Vol.49, Pag. 238-244, 2012.
- [6] E.A Burdova, S. Vilcekova, L. Meciarova. Investigation of particulate matters of the university classroom în Slovakia. Energy Procedia, Vol. 96, Pag. 620-627, 2016.
- [7] S. Vilcekova, L. Meciarova, E. Kridlova Burdova, J. Katunska, D. Kosicanova, S. Doroudiani. Indoor environmental quality of classrooms and occupants' comfort in a special education school in Slovak Republic. Building and Environment, Vol.120, 1 Pag. 29-40, 2017.
- [8] Ministerul Dezvoltării Regionale și Turismului. Normativ privind proiectarea și execuția instalațiilor de ventilare și climatizare. Indicativ I5/2010, 2011.



## **SISTEME FOTOVOLTAIC-TERMICE HIBRIDE CU EFICIENȚA ENERGETICA RIDICATA**

**MARIUS BRANOAEA, ANDREI BURLACU, MARINA VERDEȘ, VASILICA  
CIOCAN, MARIUS COSTEL BALAN, ROBERT ȘTEFAN VIZITIU, ȘTEFANICA  
ELIZA VIZITIU**

UNIVERSITATEA TEHNICĂ „GHEORGHE ASACHI” DIN IAȘI  
FACULTATEA DE CONSTRUCȚII ȘI INSTALAȚII

### **Rezumat**

*Interesul față de energia verde a crescut în ultimele decenii, datorită efectului din ce în ce mai mare pe care schimbările climatice și sursele de energie nedurabile îl prezintă asupra planetei. Dintre sursele de energie regenerabilă, doar energia solară, hidroelectrică și eoliană oferă un potențial substanțial, în timp ce geotermia, energia valurilor și biomasa oferă o soluție locală.*

*Acest studiu își propune să proiecteze, să modeleze și să testeze eficiența energetică a unui sistem PVT pentru a depăși principalele dezavantaje ale panourilor fotovoltaice.*

*Acest studiu analizează performanța și eficiența a trei sisteme fotovoltaice hibride cu design original care utilizează apa ca agent de răcire.*

*Prin răcirea unui panou fotovoltaic cu un agent de răcire cu debite diferite, eficiența celulelor fotovoltaice este maximizată, iar prin menținerea temperaturii acestora cât mai aproape de temperatura nominală de funcționare a celulei (NOCT), studiul își propune să prevină degradarea prin supraîncălzire și răcire. cicluri în timpul zilei și nopții.*

*Prin răcirea unui panou fotovoltaic cu apă ca agent de răcire, randamentul celulelor fotovoltaice crește de la 17,85 în cazul panoului nerăcit la peste 19% în cazul sistemelor răcite cu apă la un debit de  $v = 3 \text{ l./min}$  și  $v = 5 \text{ l./min}$ .*

### **1. INTRODUCERE**

Pe baza analizei Global Energy review realizată de Agenția Internațională pentru Energie, consumul global de energie a crescut în ultimele decenii, singurul an în care nu a fost cazul a fost anul 2020 care a marcat debutul pandemiei virale SARS-CoV-2, consumul de energie din 2021 depășind atât valorile din 2020, cât și din 2019. Mai mult, deși cererea de surse regenerabile de energie a crescut anual din cauza unei crize energetice omniprezente, cererea de combustibili fosili a crescut semnificativ, ca urmare a scăderii în 2020 a cererii de cărbunele, în anul 2021 crescând cu până la 60% în comparație cu toate sursele regenerabile combinate [1].

În ceea ce privește consumul de energie, sectorul clădirilor este responsabil pentru peste 40% din consumul global de energie, iar în ceea ce privește emisiile, clădirile sunt responsabile pentru 30% din emisiile globale de CO<sub>2</sub>. Acesta este un rezultat al dezvoltării lumii și al unor

factori precum creșterea timpului de rezidență în interior, urbanizarea rapidă cuplată cu defrișări semnificative [2].

Recent, dezvoltarea sectorului energetic a fost orientată spre durabilitate și energie verde. Dintre toate sursele de energie curată și durabilă, soarele este una dintre cele mai importante surse deoarece este responsabil direct sau indirect de majoritatea surselor regenerabile de energie, în plus, este un progenitor direct și al combustibililor convenționali, având în vedere faptul ca o parte semnificativă a acestor combustibili sunt rezultatul procesului de fotosinteză. Energia solară în comparație cu alte tipuri de surse regenerabile de energie prezintă potențialul de a fi nu doar unul dintre cei mai mari furnizori de energie dintre sursele regenerabile, ci și unul dintre cei mai mari furnizori de energie dintre toate sursele, prin accesibilitatea sa, fiind implementabil pe fiecare continent. În plus, radiația solară poate fi convertită direct în energie termică sau energie electrică cu ajutorul modulelor termice sau fotovoltaice (PV) [3,4].

Prin implementarea sistemelor fotovoltaice se reduce vulnerabilitatea energetică a Uniunii Europene, prin producerea de energie pe plan local fără utilizarea combustibililor fosili care provin din afara comunității europene. În același timp, ținând cont de faptul că, odată cu tehnologia actuală, sistemele fotovoltaice au o durată de viață crescută, emisiile lor de CO<sub>2</sub> sunt reduse și potențialul de a stabiliza piața energiei și de a preveni viitoare penurii în ceea ce privește aprovizionarea cu energie sau crizele energetice [5,6,7].

Conform literaturii de specialitate, dacă temperatura celulei unui panou fotovoltaic de siliciu policristalin, monocristalin și siliciu amorf crește cu 1 °C, eficiența electrică a unității fotovoltaice va scădea cu 0,45%, 0,45% și respectiv 0,25% [8,9].

## **2. PANOURILE FOTOVOLTAICE**

Panourile fotovoltaice (PV) sunt realizate din rețele de celule fotovoltaice care convertesc direct energia radiată de soare în energie electrică. Conversia energiei solare în energie electrică în comparație cu alte tipuri de producție de energie prezintă mai multe avantaje: în afară de costul inițial, energia este gratuită, datorită faptului că producția de energie electrică se face fără piese în mișcare costurile de întreținere sunt reduse și este complet regenerabil din punct de vedere al emisiilor, panourile fotovoltaice nu produc gaze cu efect de seră, deșeuri sau zgomot.

În ceea ce privește parametrii de mediu care influențează durata de viață și eficiența unui panou fotovoltaic, cei mai notabili sunt radiația solară, direcția și viteza vântului, temperatura ambiantă, praful, umiditatea, umbrirea și temperatura celulei [10,11]. Majoritatea acestor parametri sunt parametri meteorologici, care nu pot fi controlați. Mai mult, există parametri care, deși în comparație cu parametrii de mediu, care par aleatorii dar pot fi controlați, precum orientarea, unghiul de înclinare și poziționarea, în marea majoritate a cazurilor acești parametri nu sunt gestionați, mai ales în cazul sisteme fotovoltaice tipice. Cu toate acestea, un parametru care poate fi controlat și unul care are un impact semnificativ asupra eficienței celulelor PV este temperatura lor de funcționare, iar menținerea temperaturii celulei cât mai aproape de temperatura nominală de funcționare a celulei (NOCT) este o modalitate de a maximiza eficiența celulei [12,13,14].

Din păcate, prin procesul de generare a energiei o parte din radiația solară nu este convertită în energie electrică, rezultând astfel o creștere a temperaturii celulelor fotovoltaice, ceea ce s-a tradus într-o reducere a eficienței conversiei energiei printr-o reducere a intensității

și tensiunii curentului invers proporționale cu temperatura celulelor. Acest fenomen a fost studiat de Fesharaki et al și Qiang et al în cercetările lor respective, evidențiate în Fig. 1. [15,16].

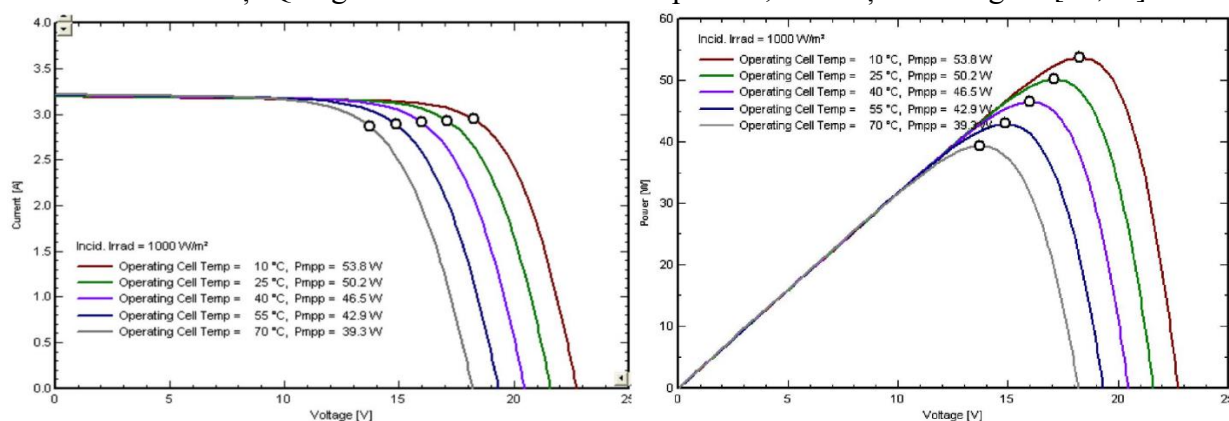


Fig. 1. Variația tensiunii în funcție de temperatura celulei, intensitatea curentului și puterea curentului celulei fotovoltaice

Luând în considerare efectul pe care temperatura îl are asupra performanței celulei fotovoltaice, se poate spune că răcirea este o cerință în unele cazuri pentru a maximiza eficiența conversiei electrice [15].

În ceea ce privește producția și eficiența energiei, eficiența actuală a celulelor solare în majoritatea sistemelor fotovoltaice comerciale este sub 20% [17].

Prin cercetarea științifică și evoluția tehnologiei, costul de producție al celulelor solare avansate este în scădere, aceste celule oferă o eficiență mai mare în comparație cu celulele comerciale, cu o celulă avansată, într-o singură joncțiune p-n, în teorie, eficiența realizabilă este de 29,4% [18].

### 3. RĂCIREA PANOURILOR FOTOVOLTAICE

Ținând cont de impactul semnificativ pe care parametrii de mediu îl prezintă asupra eficienței celulelor fotovoltaice, comunitatea de cercetare a studiat diverse metode de răcire pentru a asigura temperatura optimă a celulei și funcționarea celulei la parametri optimi.

Toate tipurile de tehnici de răcire pot fi caracterizate în două categorii:

Răcirea celulelor fotovoltaice active, care utilizează un agent de răcire pentru a reduce temperatura celulelor. Fluidele de răcire cel mai des utilizate sunt aerul și apa, dar oamenii de știință au analizat utilizarea agenților de răcire special concepuți, cum ar fi agenții de refrigerare sau nanofluidelor, dar aceștia au dezavantajul major de a fi foarte scumpe de produs [19]. Principalul avantaj al metodelor de răcire active este eficiența sporită cauzată de posibilitatea de a controla debitul agentului cu un ventilator sau o pompă, iar principalul dezavantaj al acestor tipuri de răcire este costul de funcționare [20,21,22,23].

Al doilea tip de metodă de răcire este răcirea pasivă. Acest tip de răcire se concentrează pe adăugarea de componente suplimentare pe partea din spate a panoului fotovoltaic cu scopul de a obține o convecție naturală mai bună. Componentele adăugate funcționează ca schimbătoare de căldură, extragând căldura din celulele fotovoltaice și dispersând-o în aerul din jur. În timpul cercetării lor, oamenii de știință au analizat utilizarea radiatoarelor, a tuburilor termice și chiar a materialelor cu schimbare de fază (PCM). Utilizarea tuburilor termice, în special, este intens studiată, domeniul lor de aplicație variind de la sectorul construcțiilor până la sectorul IT

[24,25,26]. Tehnicile de răcire pasivă prezintă avantajul de a fi mai ieftin de instalat și operat, singurul cost fiind costul inițial al componentelor adăugate dar principalul lor dezavantaj este faptul că este imposibil de controlat transferul de căldură și astfel eficiența lor este redusă în comparație cu tehnicile de răcire activă [27,28].

În ceea ce privește răcirea activă, răcirea panoului fotovoltaic folosind un fluid este mai eficientă în comparație cu metodele de răcire cu aer, deoarece fluidele prezintă o capacitate crescută de transport a căldurii în comparație cu aerul [29].

Boumaarafa și colab. a studiat un sistem hibrid fotovoltaic/termic (PVT) cu un schimbător de căldură tip serpentina și a relevat că oferă o eficiență cumulativă semnificativă, eficiența totală atingând 79,43% [30].

#### 4. METODOLOGIA CERCETĂRII

Pentru a îmbunătăți eficiența electrică a unui panou fotovoltaic și a reduce risipa de energie, așa cum este cazul majorității sistemelor pasive de răcire, au fost conceptualizate sisteme hibride numite sisteme fotovoltaic-termice (PVT) prin adăugarea unui sistem de recuperare a căldurii în spatele panoului. Panoul fotovoltaic, absorbind excesul de căldură generat de soare și folosindu-l pentru a produce energie termică, scăzând temperatura celulelor fotovoltaice ceea ce se traduce printr-o mai bună putere electrică. PVT-urile funcționează ca sisteme de cogenerare, iar utilizarea lor în aplicații casnice are un efect semnificativ asupra mediului [31].

Lucrarea abordează multiple simulări numerice pe trei tipuri de modele PVT tranzitorii, utilizând simulări numerice CFD cu software-ul Autodesk CFD pentru a studia distribuția termică a tuturor sistemelor în timpul funcționării. Aceasta a fost realizată pentru a demonstra cel mai eficient design al sistemului de răcire în creșterea performanței și eficienței de producție electrică a celulelor fotovoltaice.

Pentru studiu, a fost analizat un panou PV monocristalin pe bază de Si (Jinko Eagle PERC JKM315M-60-V) din cauza poziției avantajoase a cutiei de joncțiune cu principalii parametri prezentați în (Tabelul 1) [32].

Tabelul 1. Caracteristicile tehnice ale modului fotovoltaic

	STC	NOCT
Putere Maxima (Pmax)	315Wp	235Wp
Tensiune maximă (Vmp)	33.2V	31.2V
Intensitatea curentului maximă (Imp)	9.49A	7.56A
Intensitatea curentului de scurt circuit (Isc)	10.04A	8.33A
Eficiența modului (%)	19.24%	
Coeficientii de temperatură ai Pmax	-0.37%/°C	
NOCT	45±2°C	

Panoul fotovoltaic este format din 60 de celule fotovoltaice de 156x156 mm cu grosimea de 5 mm din siliciu monocristalin. Eficiența celulelor fotovoltaice este de 19,24% la temperatura nominală de funcționare a celulei de,  $T_{NOCT} = 45^{\circ}C$ . Scăderea randamentului celulelor fotovoltaice este de 0,37% /°C.

În prima fază, a fost necesară modelarea fiecărei piese individuale folosind software-ul Autodesk Inventor Professional 2021.

Panoul este compus dintr-un cadru metalic (3)  $L = 1650$  mm,  $l = 992$  mm,  $d = 35$  mm, 60 celule fotovoltaice (5),  $L = 156$  mm,  $l = 156$  mm,  $d = 5$  mm, închis în un strat protector de sticlă (4),  $L = 1650$  mm,  $l = 992$  mm,  $d = 5$  mm și răcit cu un sistem de recuperare a căldurii (6), prin

care apa curge de la un distribuitor (1) la un colector (2). Componentele modelelor pot fi vizualizate în Fig. 3.

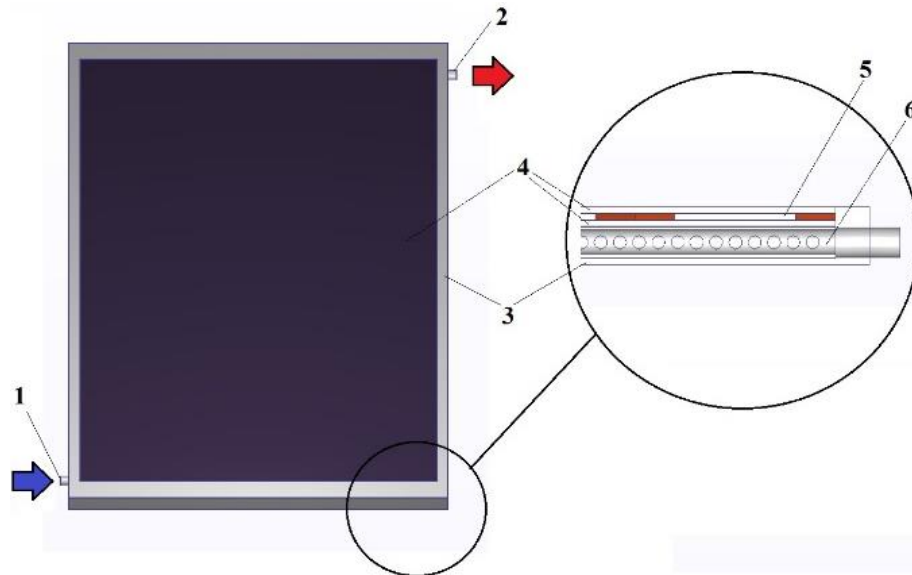


Fig. 3. Elemente modelelor panourilor fotovoltaic-termice

Pentru apă, pentru a avea o comparație pertinentă între cele trei modele de răcire, au fost luate în considerare patru valori ale vitezei: un debit mai mic de 1 l/min, un debit mai mare de 10 l/min și două debite intermediare de 3 și 5 l/min.

Următorul pas a constat în alocarea parametrilor de simulare prin setarea fiecărei componente a materialului din care este confecționată, procesul de plasare ulterior impunând condițiile la limită.

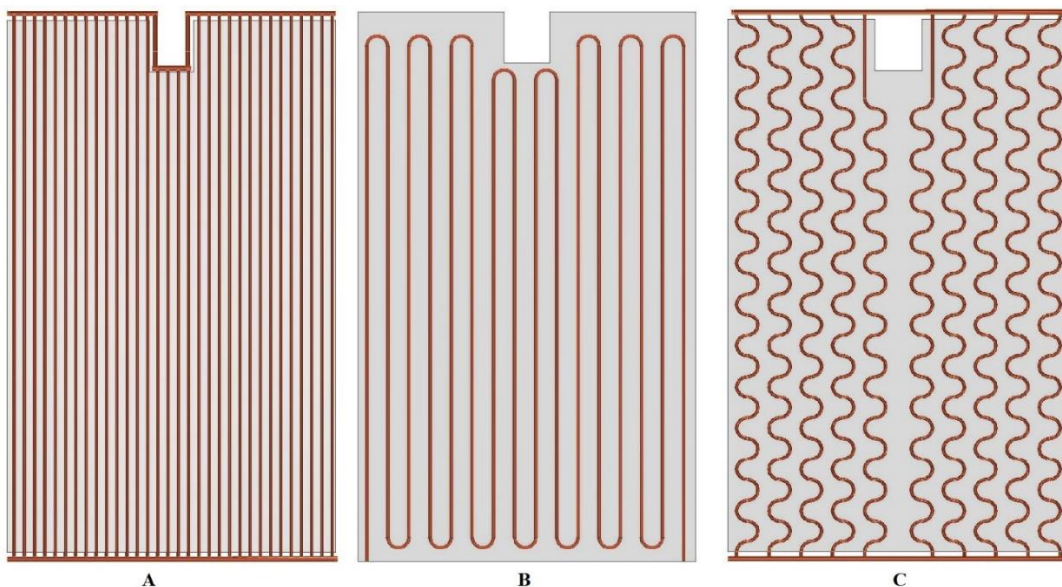


Fig. 4. Modele de plăci de recuperare a căldurii

## 5. Rezultate și discuții

După efectuarea simulărilor, a fost înregistrată temperatura medie a apei pentru fiecare caz, precum și temperatura medie pentru celulele fotovoltaice, așa cum este prezentat în Fig 5.

În figura 6 se poate observa partea din spate a panoului pentru fiecare tip de sistem de răcire analizat, precum și distribuția temperaturii.

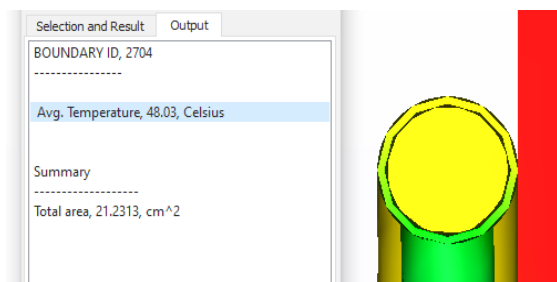


Fig. 5. Temperatura apei

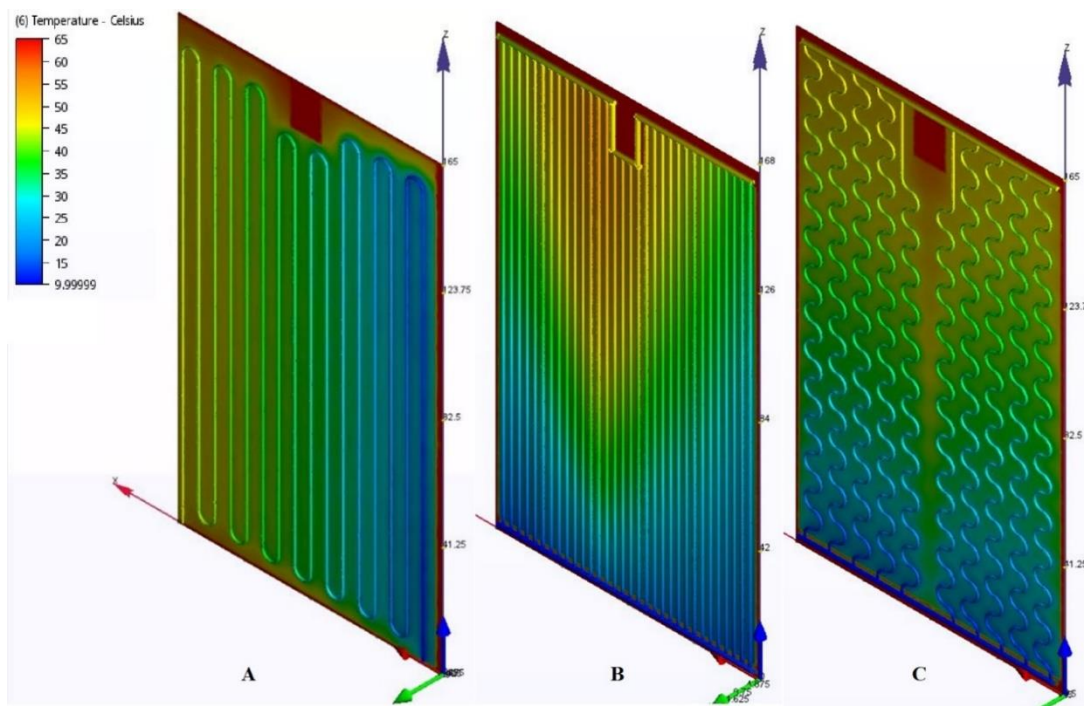


Fig. 6. Distribuția temperaturii pentru fiecare sistem răcire

Efectul pronunțat pe care temperatura de funcționare PV îl are asupra eficienței electrice PV ( $\eta_c$ ) este bine documentat [10].

$$\eta_c = \eta_{ref} - [\beta_{ref} \times \eta_{ref} \times (T_c - T_{ref})]$$

$\beta_{ref}$  = coeficientul radiației solare  $\approx 0.004$  K

$T_{ref}$  = temperatura de referință ( $^{\circ}$ C)

Valorile lui  $T_{ref}$  și  $\eta_{ref}$  sunt furnizate în mod normal de producătorul modului. Eficiența de conversie a energiei a fost determinată și afișată în Tab.2.

Tabelul 2. Rezultatele simularilor

	Debitul apei [l/min]	Temperatura celulei [ $^{\circ}$ C]	Temperatura apei [ $^{\circ}$ C]	Eficiența celulei [%]
PV	0	64.53	12	17.85
Tuburi Verticale	1	57.19	59.07	18.37
	3	50.34	48.03	18.86
	5	43.5	36.98	19.13
	10	35.36	28.62	18.55
Serpentine	1	56.83	64.08	18.40
	3	47.32	54.63	19.07
	5	37.81	45.19	18.73
	10	29.85	32.55	18.16

Serpentine Multiple	1	56.55	64.16	18.42
	3	46.91	54.74	19.10
	5	37.27	45.33	18.69
	10	29.48	34.07	18.14

Pentru o vizualizare mai ușoară a eficienței fiecărui sistem de răcire la fiecare debit, toate datele au fost introduse în graficele prezentate în Fig. 7.

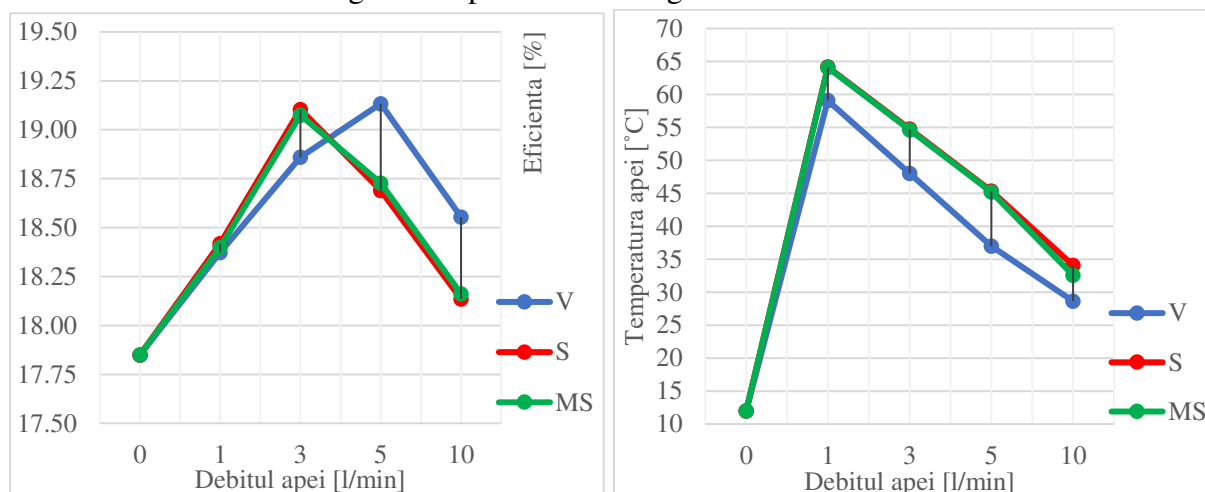


Fig. 7. Eficienta electrica si temperatura apei.

Eficiența maximă a fost obținută pentru sistemul de răcire cu tub vertical (V), cu o valoare de 19,13% cu un debit de apă de 5 l/min.

Prin răcire, randamentul producției electrice a crescut cu aproape 7% în cazul răcirii panoului fotovoltaic folosind serpentina unică (S) și serpentine multiple (MS) la un debit de 3 l/min și pentru sistemul de răcire cu tuburi verticale (V) la un debit de 5 l/min.

Sistemul de răcire compus dintr-o singură serpentină (S) și sistemul de răcire compus din serpentine multiple (MS) prezintă rezultate comparabile și tendințe similare, dar printre acestea două sistemul compus din serpentine multiple prezintă o distribuție mai bună a temperaturii.

În ceea ce privește performanța termică, valoarea maximă pentru temperatura apei la ieșire a fost de 64,16 °C la un debit de 1 l/min. Temperatura apei pentru debitul de 3 l/min în cazul sistemului cu serpentine multiple (MS), a atins 54,74 °C, ceea ce corespunde unei temperaturi a celei apropiate de valoarea NOCT.

Dintre aceste 3 sisteme, cel mai potrivit pentru răcirea unui panou fotovoltaic este sistemul cu serpentine multiple (MS), datorită faptului că oferă o creștere comparabilă a eficienței celulei la un debit mai mic în comparație cu sistemul de răcire cu tuburi verticale (V) și oferă o distribuție mai uniformă a temperaturii decât sistemul de răcire cu o singură serpentină (S).



### 3. CONCLUZII

Sistemele hibride generează cantități semnificative de energie electrică și, de asemenea, generează căldură.

Acest studiu analizează performanța și eficiența a trei sisteme fotovoltaice hibride cu design original, prin răcirea unui panou fotovoltaic folosind apă ca agent de răcire.

Prin, randamentul celulelor fotovoltaice crește de la 17,85 % în cazul panoului nerăcit la peste 19% în cazul sistemelor răcite cu apă la un debit de  $v = 3$  l/min și  $v = 5$  l/min.

Apa a atins o temperatură cuprinsă între 28,62 și 64,16 °C, iar temperatura apei pentru cel mai bun scenariu, serpentinele multiple (MS) la un debit de  $v = 3$  l/min a atins o temperatură de 54,74 °C, o temperatura ideală pentru ca apa să poată fi folosită ca apă caldă menajeră sau chiar ca agent termic.

Dintre aceste 3 sisteme, cel mai potrivit pentru răcirea unui panou fotovoltaic este sistemul cu serpentine multiple (MS), datorită faptului că oferă o creștere comparabilă a eficienței celulei la un debit mai mic în comparație cu sistemul de răcire cu tuburi verticale (V) și oferă o distribuție mai uniformă a temperaturii decât sistemul de răcire cu o singură serpentină (S).

#### HYBRID PHOTOVOLTAIC-THERMIC SYSTEM WITH ENHANCED CELL ENERGY EFFICIENCY

##### **Abstract**

*Interest towards green energy has been increasing over the past decades, due to the increasing effect climate change and unsustainable energy sources pose to the planet. Among the renewable energy sources only solar, hydropower and wind provide substantial potential, while geothermal, wave energy, and biomass provide a local solution.*

*This study aims to design, model, and test the energy efficiency of a PVT system to overcome the main drawbacks of photovoltaic panels.*

*This study analyses the performance and efficiency of three original design hybrid photovoltaic systems using water as a cooling agent.*

*Through cooling a photovoltaic panel with a cooling agent with various flow rates, the efficiency of the photovoltaic cells is maximized, and through keeping their temperature as close to the nominal operating cell temperature (NOCT), the study aims to prevent degradation through overheating and cooling cycles during the day and night.*

*Through cooling a PV panel with water as a coolant, the efficiency of the photovoltaic cells is increasing from 17.85 in the case of the uncooled panel to over 19% in the case of the water-cooled systems at a flow rate of  $v = 3$  l/min and  $v = 5$  l/min.*

##### **Bibliografie**

- [1] IEA (2021), Global Energy Review 2021. [Online]. Available from: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>.
- [2] Cao X, Dai X, Liu J. Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. Energy and Buildings. 2016; 128: 198–213.

- [3] AlAmri F, AlZohbi G, AlZahrani M, Aboulebdah M. Analytical Modeling and Optimization of a Heat Sink Design for Passive Cooling of Solar PV Panel. *Sustainability*. 2021; 13(6): 3490.
- [4] Kopnina H. Energy Policy in the European Union: Renewable Energy and the Risks of Subversion. In *Governance and Security Issues of the European Union*..M.C. Asser Press, The Hague; 2016. p. 167-184.
- [5] Kuznetsov P, Yuferev L, Voronin D, Panchenko V, Jasiński M, Najafi A, et al. Methods Improving Energy Efficiency of Photovoltaic Systems Operating under Partial Shading. *Applied Sciences*. 2021; 11(22): 10696.
- [6] Colarossi D, Principi P. Indoor and Outdoor Performance of an Enhanced Photovoltaic Panel through Graphene/Fins/Phase Change Materials. *Applied Sciences*. 2021; 11(19): 8807.
- [7] Why Europe's energy prices are soaring and could get much worse. [Online].; 2021. Available from: <https://www.euronews.com/2021/10/28/why-europe-s-energy-prices-are-soaring-and-could-get-much-worse>.
- [8] AL-Musawi AIA, Taheri A, Farzanehnia A, Sardarabadi M, Passandideh-Fard M. Numerical study of the effects of nanofluids and phase-change materials in photovoltaic thermal (PVT) systems. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2019; 137: pages623–636.
- [9] Kalogirou SA, Tripanagnostopoulos Y. Hybrid PV/T solar systems for domestic hot water and electricity production. *Energy Conversion and Management*. 2006; 47(18-19): 3368-3382.
- [10] Skoplaki E, Palyvos JA. On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations. *Solar Energy*. 2009; 83(5): 614-624.
- [11] Skoplaki E, Palyvos JA. Operating temperature of photovoltaic modules: A survey of pertinent correlations. *Renewable Energy*. 2009; 34(1): 23-29.
- [12] Dubey S, Sarvaiya N, Seshadri B. Temperature Dependent Photovoltaic (PV) Efficiency and Its Effect on PV Production in the World – A Review. *Energy Procedia*. 2013; 33: 311-321.
- [13] Kamuyu WCL, Lim JR, Won S, Ahn HK. Prediction Model of Photovoltaic Module Temperature for Power Performance of Floating PVs. *Energies*. 2018; 11(2): 447.
- [14] Idoko L, Anaya-Lara O, McDonald A. Enhancing PV modules efficiency and power output using multi-concept cooling technique. *Energy Reports*. 2018; 4: 357-369.
- [15] Fesharaki VJ, Dehghani M, Fesharaki JJ. The Effect of Temperature on Photovoltaic Cell Efficiency. In *Proceedings of the 1st International Conference on Emerging Trends in Energy Conservation - ETEC ; 2011; Tehran*.
- [16] Qiang F, Tong N. A Complex-Method-Based PSO Algorithm for the Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic System. *Second International Conference on Information Technology and Computer Science*. 2010;: 134-137.
- [17] Abdullah MF, Alghoul MA, Naser H, Asim N, Ahmadi S, Yatim B, et al. Research and development efforts on texturization to reduce the optical losses at front surface of silicon solar cell. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016; 66: 380-398.

- [18] Richter A, Hermle M, Glunz W. Reassessment of the Limiting Efficiency for Crystalline Silicon Solar Cells. *IEEE Journal of Photovoltaics*. 2013; 3: 1184-1191.
- [19] Salari A, Taheri A, Farzanehnia A, Passandideh-fard M, Sardarabadi M. An updated review of the performance of nanofluid-based photovoltaic thermal systems from energy, exergy, economic, and environmental (4E) approaches. *Journal of Cleaner Production*. 2020;: 124318.
- [20] Al-Waeli AHA, Chaichan M, Sopian , Kazem HA. Modeling and experimental validation of a PVT system using nanofluid coolant and nano-PCM. *Solar Energy*. 2019; 177: 178-191.
- [21] Bambrook SM, Sproul AB. Maximising the energy output of a PVT air system. *Solar Energy*. 2012; 86(6): 1857-1871.
- [22] Dubey S, Solanki SC, Tiwari A. Energy and exergy analysis of PV/T air collectors connected in series. *Energy and Buildings*. 2009; 41(8): 863-870.
- [23] Brănoaea M, Burlacu A, Verdeş M, Balan MC, Vizitiu RŞ. Enhancing the Energy Efficiency of Photovoltaic Cells Through Water Cooling. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022 January; 386.
- [24] Reay DA, McGlen RJ, Kew PA. *Heat Pipes, 6th Edition, Theory, Design and Applications*: Elsevier Ltd. ; 2014.
- [25] Brănoaea M, Burlacu A, Ciocan V, Verdeş M, Vizitiu RŞ. Numerical Investigation of a Novel Heat Pipe Radiant Floor Heating System with Integrated Phase Change Materials. *Proceedings of The 14th International Conference on Interdisciplinarity in Engineering—INTER-ENG 2020*. 2020;(63): 15.
- [26] Vizitiu RŞ, Burlacu A, Abid C, Şerban A, Verdeş M, Ciocan V, et al. EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON THE OPTIMUM FILLING RATIO OF HEAT PIPES USED FOR HEAT RECOVERY SYSTEMS. *Proceedings Of International Conference Building Services And Energy Efficiency*, Sciendo. 2020;: 154-161.
- [27] Wu S, Xiong C. Passive cooling technology for photovoltaic panels for domestic houses. *International Journal of Low-Carbon Technologies*. 2014;(9): 118-126.
- [28] Hudişteanu SV, Cherecheş NC, Popovici CG, Verdeş M, Ciocan V, Balan M, et al. Effect of cooling on power generated by photovoltaic panels. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021;(1141): 012008.
- [29] Gomaa MR, Hammad W, Al-Dhaifallah M, Rezk H. Performance enhancement of grid-tied PV system through proposed design cooling techniques: An experimental study and comparative analysis. *Solar Energy*. 2020 November; 211: 1110-1127.
- [30] Boumaaraf B, Boumaaraf H, Slimani MEA, Tchoketch\_Kebir S, Ait-cheikh MS, Touafek K. Performance evaluation of a locally modified PV module to a PV/T solar collector under climatic conditions of semi-arid region. *Mathematics and Computers in Simulation*. 2020; 167: 135-154.
- [31] Sahota L, Tiwari GN. Review on series connected photovoltaic thermal (PVT) systems: Analytical and experimental studies. *Solar Energy*. 2017; 150: 96-127.
- [32] Jinko. [Online]. [cited 2021 11 5. Available from: <http://jinkosolar.com.au/wp-content/uploads/2021/12/Eagle-JKM315M-60-A2-EN.pdf>.



## **SOLUȚII DE ASIGURARE CU AGENT TERMIC A CASELOR DE LOCUIT ÎN CONDIȚIILE REPUBLICII MOLDOVA**

**Ion ALBU, Svetlana ALBU**

*Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Construcții, Geodezie și Cadastru  
Departamentul Inginerie, Drept și Evaluarea Imobilului*

### **Abstract**

*În condițiile în care perioada de încălzire constituie 5,5 luni pe an, problema asigurării confortului termic este extrem de importantă. Autorii au realizat o analiză comparativă a celor mai răspândite în Republica Moldova trei soluții de încălzire a locuințelor: cu „cazan pe gaze naturale”, „cazan pe combustibil solid” și „pompa de căldură”. Eficiența utilizării este argumentată din punctul de vedere al angajamentului de capital necesar pentru instalare și exploatare pe durata de viață normativă. Autorii propun și argumentează din diferite puncte de vedere instalarea „pompelor de căldură” în zona istorică a or. Chișinău pentru asigurarea confortului termic în clădirile cu valoare arhitecturală..*

**Cuvinte cheie:** *costuri, randament, consum, eficiență energetică, cazan.*

### **1. INTRODUCERE**

Eficiența energetică se regăsește printre principalele obiective ale Strategiei energetice a Republicii Moldova până în anul 2030 - obiective comune cu cele urmărite de Comunitatea Energetică Europeană, care vor contribui la securitatea aprovizionării cu energie, la protecția mediului înconjurător și la combaterea schimbărilor climaterice. Fiecare cetățean este îndemnat să întreprindă măsuri destinate reducerii intensității energetice și a consumului de energie, gaze naturale în toate sectoarele economiei naționale, precum și valorificării surselor regenerabile de energie. Implementarea proiectelor de eficiență energetică și valorificarea surselor de energie regenerabile constituie o prioritate pentru R. Moldova. Cea mai avantajoasă sursă de energie depinde de circumstanțele locale, de locație, de clădire și de necesarul de căldură al acesteia.

Asigurarea confortului se va realiza prin respectarea temperaturii suficiente în încăperi, umiditate relativă în limitele admisibile și o ventilare corespunzătoare. Conform GOST 30494-96 „Clădiri rezidențiale și publice. Parametrii de microclimat interior”, este necesar de asigurat următorii parametri expuși în tabelul ce urmează. [7]

**Tabelul 1.** Indicatori optimi de respectat pentru a nu admite formarea punctului de rouă

Denumirea încăperii	Temperatura aerului, °C		Temperatura rezultantă, °C		Umiditatea relativă, %		Viteza mișcării aerului, m/sec	
	Optimă	Admisibilă	Optimă	Admisibilă	Optimă	Admisibilă	Optimă	Admisibilă
<b>Pe perioada rece a anului</b>								
Odaie de locuit	20 - 22	18 - 24	<b>19 - 20</b>	17 - 23	45 - 30	60	0,15	0,2
Bucătărie	19 - 21	18 - 26	<b>18 - 20</b>	17 - 25	N/N*	N/N	0,15	0,2
WC	19 - 21	18 - 26	<b>18 - 20</b>	17 - 25	N/N	N/N	0,15	0,2
Grup sanitar	24 - 26	18 - 26	<b>23 - 27</b>	17 - 26	N/N	N/N	0,15	0,2
Vestibul	18 - 20	16 - 22	<b>17 - 19</b>	15 - 21	45 - 30	60	0,15	0,2
Debara și Garaj	16 - 18	12 - 22	<b>15 - 17</b>	11 - 21	N/N	N/N	N/N	N/N
<b>Pe perioada caldă a anului</b>								
Odaie de locuit	22 - 25	20 - 28	22 - 24	18 - 27	60 - 30	65	0,2	0,3

Notă: N/N – Nu se normează

Sursa: elaborat de autor, [7]

Prin urmare, pentru asigurarea climatului favorabil în casa particulară de locuit se va urmări respectarea următorilor parametri: umiditatea relativă a aerului în limita 40-55%; temperatura interioară de la 16 până la 22°C, în dependență de destinația încăperilor; viteza mișcării aerului, 0,15-0,2 m/sec.

Menținerea temperaturii în încăperi depinde de materialele de construcție utilizate. Pentru a obține caracteristicile tehnice și economice optime ale casei de locuit și pentru a reduce consumul specific de energie este necesar a asigura:

- a) soluții de planificare volumetrică a caselor de locuit;
- b) orientarea rațională a casei și a încăperilor în raport cu „roza vânturilor”, ținând cont de direcțiile predominante ale vântului rece și ale fluxurilor radiației solare;
- c) utilizarea instalațiilor performante cu un consum redus de resurse energetice asigurând un randament maxim;
- d) utilizarea căldurii din aerul evacuat prin canalele de ventilare, utilizarea surselor regenerabile de energie solară, eoliană, termală etc.

Primele două condiții necesită soluționare la etapa de proiectare, iar ultimele două pot fi asigurate la orice etapă de viață a clădirii.

În ultimii ani prețurile pentru resursele energetice în Republica Moldova au crescut considerabil. Cota majoritară în cheltuielile anuale pentru asigurarea confortului în locuință revine încălzirii. Astfel, apare necesitatea unei alegeri argumentate a soluției de asigurare cu agent termic a locuinței.

În prezenta lucrare autorii și-au propus a identifica soluția eficientă pentru încălzirea unei case de locuit amplasate în zona centrală a Republicii Moldova. Sunt considerate trei dintre cele mai des utilizate în practică soluții: „pompa de căldură”, „cazanul pe gaze naturale” și „cazanul pe combustibil solid”.

Pompele de căldură sunt echipamente specifice dotate cu tehnologie modernă destinată încălzirii, răcirii și producerii apei calde menajere, prin utilizarea energiei acumulate în apele subterane, sol sau în aer, sub forma de căldură ecologică. Solul, apa și aerul sunt disponibile în cantități nelimitate pentru a fi utilizate ca sursă pentru o pompă de căldură. [3]

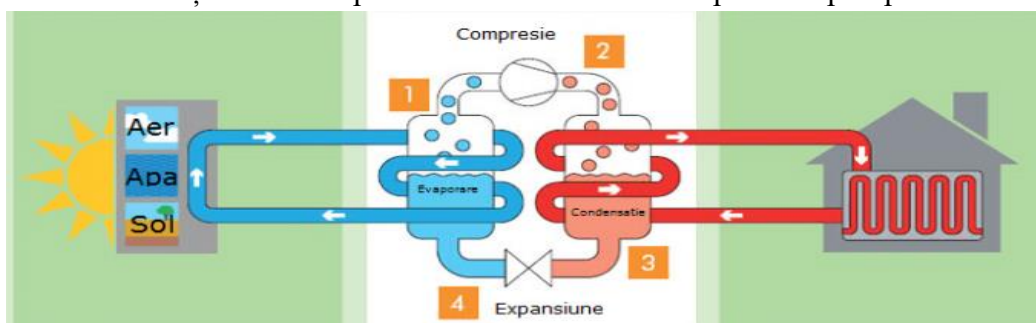


Figura 1. Destinația și principiul de funcționare a pompei de căldură  
Sursa: [4]

Pompa de căldură extrage în procesul de funcționare căldura din pământ, apă sau aer, iar apoi, cu ajutorul compresorului montat în interior produce energie termică pe care o transmite fluidul de lucru, apoi cu ajutorul pompei de circulație acesta se răspândește în interiorul circuitului de încălzire.

Principiul de funcționare a pompei de căldură se regăsește în frigider, congelatoare și aparate de aer condiționat, însă cu destinație inversă – a răci.

Pentru dimensionarea corectă a pompei de căldură este important a cunoaște regimul de funcționare de care depinde eficiența exploatării acesteia.

O pompă de căldură *supradimensionată* va mări volumul investițiilor și va conduce la acumularea unei uzuri fizice avansate (ca urmare a funcționării defectuoase prin porniri și opriri frecvente). O pompă de căldură *subdimensionată* duce la mărirea timpului de funcționare cu aceleași efecte de uzură avansată.

Tipul respectiv de colectoare ocupă un spațiu restrâns și se află în perimetrul proprietății. Funcționarea sistemului se bazează pe faptul că la o adâncime de 15 m temperatura geotermică este constantă tot parcursul anului, iar cu cât adâncimea crește, temperatura solului este mai înaltă. Colectoarele tip sondă reprezintă cel mai stabil sistem.

Cazanele pe gaze naturale sunt propuse în versiunea clasică sau cu condensare, deosebirea constă în următorii parametri: principiu de funcționare, putere, kW; suprafață de încălzire, m<sup>2</sup>; tiraj, forțat; număr de circuite 1 sau 2; număr de schimbătoare de căldură 1 sau

2; eficiență energetică, %; clasă de eficiență energetică; randament la putere termică, %; consum de curent, kW; emisii de oxid de azot, mg/kWh; zgomot, dB; dimensiuni, mm; greutate, kg. [5]

Printre ultimele tehnologii inovatoare propuse pe piața Moldovei este cea bazată pe condensarea vaporilor de apă rezultanți din arderea hidrocarburilor. Cazanul cu condens are atât avantaje cât și dezavantajele. Printre avantaje putem menționa:

1. Dimensiuni și greutate. Cazanele cu capacitate mică sunt compacte, pot fi amplasate într-un spațiu limitat.

2. Economie de combustibil. Până la 35% în comparație cu un cazanele clasice.

3. Zgomot redus.

4. Reducerea emisiilor nocive. Modelele cazanelor cu condens sunt în medie cu 70% mai ecologice decât omologii tradiționali pe gaz.

5. Temperatura scăzută a gazelor arse. Acest lucru permite instalarea coșurilor de fum mai ieftin și mai simplu față de coșurile din oțel clasic.

Dezavantajele cazanelor cu condens sunt condiționate de:

1. Prețul mai mare. Un astfel de cazan este cu 50-80% mai scump decât unul clasic [5].

2. Există funcții specifice în funcționarea sistemului, care necesită o pregătire a beneficiarului.

3. Necesitatea eliminării condensului. Datorită prezenței acidului în condensat, este inacceptabil să se scurgă în sistemul de canalizare local. Trebuie să fie prevăzut un sistem separat pentru neutralizarea condensului.

Pentru o funcționare eficientă, apa de retur ar trebui să fie de 30–40°C. Cu alte cuvinte, dacă în sistemele clasice raportul dintre temperaturile de alimentare și retur este de 75°C la 55°C, atunci în sistemele de condensare este de 55°C la 35°C. Astfel de cazane sunt recomandate și pentru sistemele „podea caldă”. [8]

Cazanele SAS cu ardere a combustibilului solid, sunt econoame și foarte convenabile pentru încălzirea caselor de locuit. Avantajul cazanelor SAS constă în simplitatea întreținerii și cost minim de exploatare. Fiabile și fără probleme, aceste cazane moderne de calitate europeană sunt fabricate pe linii de producție complet automatizate ale SAS în Polonia.

Utilizarea cazanelor SAS este comparabilă cu cea a cazanelor cu condens pe gaz. Cazanele asigură o eficiență de până la 91%, garantând astfel arderea completă a combustibilului.

Automatizarea și construcția cazanului SAS asigură o siguranță maximă la funcționare și întreținere în conformitate cu standardele europene de siguranță. Cazanul este protejat împotriva supraîncălzirii peste 95°C, sistemul automatizat nu va permite creșterea temperaturii în cazan și îl va proteja de fierbere. Sistemul de încălzire cu cazan pe combustibil solid este comparativ simplu (fig.2). [9]

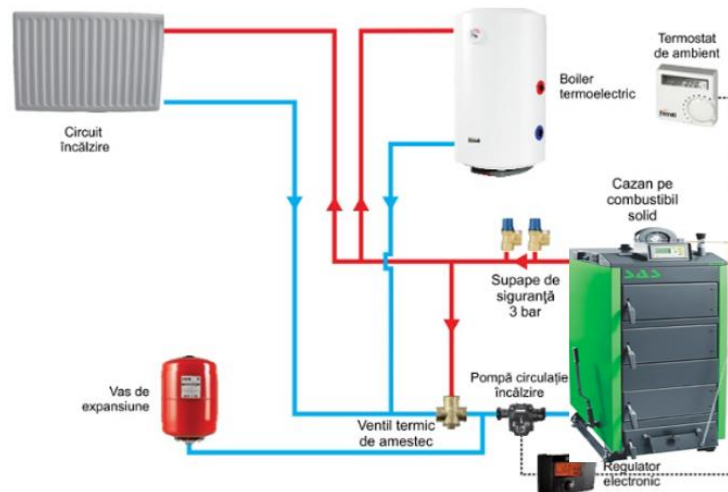


Figura 2. Sistemul de încălzire cu cazan pe combustibil solid SAS

## 2. Metoda

Analiza este efectuată pentru o suprafață încălzită de 260 m<sup>2</sup>, anvelopa casei de locuit fiind izolată cu polistiren expandat 100 mm, acoperișul – cu vată minerală 150 mm, geamurile sunt confecționate din PVC (2 sticle Low-e).

Variantele examinate vor asigura confort termic pe timp de iarnă de 21°C timp de 5,5 luni pe an. Consumurile sunt considerate cele efective în perioada monitorizată de 8 ani. Calculele sunt efectuate în prețuri curente.

Actualmente casa de locuit este asigurată cu agent termic produs de „Pompa de căldură ALTAL - 20 kW cu 2 compresoare” și colectori verticali montați în 4 puțuri paralele la 5 m distanță între ele cu adâncime de cca. 80 m fiecare. În puțurile de adâncime cu diametru de cca. 160-180 mm a fost introdusă țeava D.32/PN10 PE100 SDR17 x 2.0, iar în calitate de agent de transport al energiei la pompa de căldură se folosește un amestec pe bază de glicol. Pompa de căldură este conectată la rețeaua de energie electrică 220V și produce agent termic cu temperatura maximă de 55°C. Pentru asigurarea unei temperaturi medii de 21°C s-au monitorizat parametrii pompei de căldură și s-au corectat setările de funcționare:

- ✓ temperatura min. / max. a agentului termic 38 / 43 °C – pentru calorifere;
- ✓ temperatura min. / max. a agentului termic 27 / 33 °C – pentru încălzire prin pardosea;
- ✓ pierderile termice pe un circuit constituie cca. 3°C;
- ✓ temperatura solului la începutul sezonului de încălzire este de +12 °C;
- ✓ cea mai joasă temperatură înregistrată a solului la adâncime +2°C.
- ✓ consum mediu de energie electrică – 2,08/3,2kW/h; (un compresor/2 compresoare).



Cu cât temperatura solului este mai joasă cu atât consumul de energie electrică crește, deoarece funcționează ambele compresoare în același timp, această situație se înregistrează când pierderile în rețea sunt mai mari de 5°C. În acest caz, este necesar a restabili temperatura solului prin oprirea pompei de căldură și pornirea boilerului termoelectric sau cazanului pe gaze naturale.

Pentru asigurarea riscurilor, sistemul de încălzire a fost dotat cu cazan pe gaz de model „BOSCH 24kw, cu 2 conturi” (care se folosește și pentru încălzirea apei menajere). Cazanul posedă:

- ✓ sistem inteligent de detecție a debitului de apă și a necesarului de căldură;
- ✓ stabilitate foarte buna în funcționare pentru temperatura setată de utilizator;
- ✓ sisteme de siguranță, inclusiv supapă de siguranță la suprapresiune care protejează centrala termică la presiuni mai mari de 3 bar, senzor de temperatură a apei pe instalația de termoficare, presostat de aer care sesizează lipsa evacuării gazelor și altele.

În contextul scumpirii excesive a gazelor naturale și a energiei electrice, o alternativă de asigurare cu agent termic constituie cazanul pe combustibil solid.

Cazanul de încălzire pe cărbune SAS UWT - echipat cu un controler cu microprocesor și un ventilator suflant, este o alternativă, recomandat pentru încălzirea caselor, pavilioanelor, depozite etc., la o temperatură a apei în sistemul de încălzire care nu depășește 85°C, cu o presiune de lucru de 1,5 bar. Esența funcționării unității - cazanul, regulatorul (regulatorul de temperatură), ventilatorul - este că temperatura cazanului este menținută cu precizie la un nivel dat. Controlerul electronic măsoară constant temperatura apei din cazan și, pe această bază, reglementează în consecință funcționarea ventilatorului. În acest fel, reglează cantitatea de aer furnizată necesară procesului de ardere a combustibilului. În același timp, controlerul electronic controlează funcționarea pompelor de încălzire și de apă caldă (dacă sunt instalate în sistemul de încălzire).

Menționăm că circuitul de încălzire în casă este același pentru ambele sisteme posibile, cu calorifere din metal și încălzire prin podea. Ambele sisteme sunt conectate la termostatul de ambianță, pentru gestiunea eficientă a climatului termic din încăperi.

**Tabelul 2.** Caracteristici tehnice a cazanelor

Nr.	Specificații	U/M	Pompă de căldură 20kW	BOSCH 24kW	SAS UWT 29 kW
1	Suprafața de încălzire	m <sup>2</sup>	240 – 260	240	300
2	Afișaj		LSD	LSD	LSD
3	Temperatura minima a apei la ieșire	°C	30	25	60
4	Temperatura maxima a apei la ieșire	°C	55	65	90
5	Clasa eficiență energetică		A	A	-
6	Randament	%	92	94	85,9
7	Presiune maxima de lucru	bar	3	3	1,5
8	Dimensiunea cazanului	mm		400x300x7010	1470x680x1080
9	Greutatea cazanului	kg	75	38	420
10	Diametru coșului de fum	mm	-	90	180
11	Suprafața amplasării cazanului	m <sup>2</sup>	3	0	4,5

Sursa: elaborat de autor, [9, 10]

### 3. Rezultate și discuții

#### 3.1 Rezultate

Toate trei soluții examinate presupun o diferită completate cu echipamente și accesorii suplimentare. Analiza prețurilor pe piața din Chișinău ne permite a constata o investiție necesară de cca. 330 mii lei pentru instalarea „pompei de căldură”, cca.185 mii lei pentru „cazanul pe combustibil solid” și doar cca. 24 mii lei pentru „cazanul pe gaze” (tab.3).

**Tabelul 3.** Investiții necesare în soluții de încălzire

Nr crt	Indicatori	Unitate de măsură	Cantitatea	Preț unitar, lei	Investiții, lei
1.	Pompa de căldură 20kw	buc	1	120800	120800
2.	Servicii de proiectare	Set.	1	2000	2000
3.	Forarea puțurilor	m. l.	250	250	62500
4.	Tub polietilenă	m.l.	300	18	5400
5.	Vas de expansiune, 12 l.	Buc.	1	750	750
6.	Boiler termoelectric, 150 l.	Buc.	1	5760	5760
7.	Lucrări de montare și demarare	sistem	1		15000
8.	Soluție de glicol	l	400	60	24000
9.	Pompe de circulație	buc	3	1500	4500
10.	Accesorii	sistem	1		6000
11.	Spațiu amplasare	m2	3	17000	51000
<b>Total investiții „Pompă de căldură”</b>					<b>330210</b>
1.	Cazan Bosch 24kw, 2300W	Buc.	1	18900	18900
2.	Servicii de proiectare	Set.	1	1500	1500
3.	Montare, racordare cazan	sistem	1	2500	2500
4.	Accesorii	sistem	1	1500	1500
<b>Total investiții „Cazan pe gaze”</b>					<b>24400</b>
1.	Cazan SAS UWT 29 kW	Buc.	1	54100	54100
2.	Servicii de proiectare	Set.	1	2500	2500
3.	Vas de expansiune 24 l	Buc.	1	900	900
4.	Pompă de circulație	Buc.	1	1400	1400
5.	Grup de siguranță	Set.	1	860	860
6.	Coș de fum inox diametru 180mm	Set.	1	21000	21000
7.	Accesorii	sistem	1	5500	5500
8.	Boiler termoelectric. 150L	Buc.	1	5800	5800
9.	Spațiu amplasare	m2	4,5	17000	76500
10.	Servicii de montare	Set.	1	16000	16000
<b>Total investiții „Cazan pe combustibil solid”</b>					<b>184560</b>

Sursa: elaborat de autor

Considerabil diferă și consumurile efective a soluțiilor examinate (tab.4), precum și valorile care urmează a fi recuperate (amortizate) pe durata de viață (de exploatare) a

echipamentelor (tab.5). Conform informației din pașapoartele tehnice durata de exploatare constituie 15 ani, valoare considerată în calculele ulterioare.

**Tabelul 4.** Indicatori tehnico-economici a cazanelor de încălzire

Indicatori	Pompă de căldură 20kW	BOSCH 24kW	SAS UWT 29 kW
Consum mediu de energie electrică, kW/h	2,8	0,15	0,22
Consum mediu gaze naturale, m3/h	0	1,5	0
Consum lemne de foc, m3/24h	0	0	0,12
Consum pelete, kg/an	0	0	6500
Boiler termoelectric ELDOM 150L, kW/h	0,5	0	0,7
Servicii manoperă de alimentare, lei/an	0	0	3000
Servicii de deservire anuală, sistem	300	600	1000
Durata normată de exploatare, ani	15	15	15
Durata de încălzire în an, luni	5,5	5,5	5,5
Preț energie electrică, lei/kW	2,64	2,64	2,64
Preț gaze naturale, lei/m3	0	17,24	0
Preț pelete, lei / kg	0	0	4,4
Preț lemn de foc, m3	0	0	1300

Sursa: elaborat de autor

**Tabelul 5.** Calculul amortizării investițiilor

Nr.	Indicatori	Pompă de căldură 20kW	BOSCH 24kW	SAS UWT 29 kW
1	Amortizare lunară cazan	1464	229	656
2	Amortizare lunară echipamente	563	18	430
3	Amortizare servicii	964	48	224
4	Amortizare spații	638	0	956
	<b>Total amortizare lunara</b>	<b>3628</b>	<b>296</b>	<b>2266</b>
	<b>Total amortizare anuală</b>	<b>19954</b>	<b>1627</b>	<b>12463</b>

Sursa: elaborat de autor

Astfel, amortizarea lunară a investițiilor în sistemele de încălzire (exclusiv circuitul de încălzire), va constitui: 296 lei pentru cazanul pe gaze naturale, 2266 lei pentru cazanul pe combustibil solid și 3628 lei pentru pompa de căldură.

Prin urmare, considerând consumurile indicate în tab.4, cheltuielile de exploatare anuale pentru „pompa de căldură” constituie caa.50 mii lei, pentru „cazanul pe gaze” cca. 67 mi lei, iar pentru „cazanul pe combustibil solid” cca. 46 mii lei (tab.6).

**Tablelul 6.** Determinarea cheltuielilor de exploatare

Nr.	Indicatori	Pompă de căldură 20kW	BOSCH 24kW	SAS UWT 29 kW
1	Cheltuieli de energie electrică, lei/lună	5441	285	460
2	Cheltuieli de gaze naturale, lei/lună	0	11637	0
3	Cheltuieli de lemne/pelete de foc, lei/lună	0	0	4680
4	Salariu operare - încărcare curățare, lei/lună	0	0	1000
5	<b>Total cheltuieli lunare, lei</b>	<b>5441</b>	<b>11922</b>	<b>6140</b>
6	Total cheltuieli anuale, lei	29926	65572	33771
7	<b>Total amortizare anuală, lei</b>	<b>19954</b>	<b>1627</b>	<b>12463</b>
8	Cheltuieli de exploatare anuale, lei	49 879	67 198	46 234

Sursa: elaborat de autor

Angajamentul de capital necesar pe durata de 15 ani (în condiții statice și prețuri curente) constituie 747 mii lei pentru pompa de căldură, cca. 1 mln. lei pentru cazanul pe gaze și cca. 691 mii lei pentru cazanul pe combustibil solid. Respectiv, în condițiile curente cea mai eficientă soluție este încălzirea casei cu cazanul pe combustibil solid.

### 3.2 Discuții

Avantajul de 7,4% a cazanului pe combustibil solid față de pompa de căldură dispare odată cu creșterea prețului pentru lemne / pelete de foc doar cu 15% (cu 200 lei/m<sup>3</sup>), fapt extrem de probabil în condițiile unei inflații curente de 29% [11].

Utilizarea cazanului pe gaze devine acceptabilă în cazul reducerii (compensării) tarifului pentru gaze naturale cu 4,6 lei/m<sup>3</sup> (sau cu 27%) fapt ireal în condițiile Republicii Moldova.

În ultimii ani în municipiul Chișinău se lucrează asupra Planului Urbanistic Zonal „Centru” [12, 13]. Avându-se în vedere starea avariata a rețelelor inginerești în zonă istorică a Chișinăului, sunt în elaborare proiecte de înlocuire a rețelelor de apeduct și canalizare. În zona respectivă sunt amplasate majoritatea clădirilor vechi incluse în Lista monumentelor protejate de stat din mun. Chișinău, obiecte cu valoare istorică de nivel național și municipal [14]. Întreținerea acestora este destul de costisitoare deoarece utilizarea cazanelor pe combustibil solid / sobe este interzisă pe motiv de poluare excesivă a aerului. Rețeaua centrală orășenească de termoficare posedă un grad avansat de uzură, reieșind din numărul redus de consumatori amplasați în sectorul Centru (o mare parte și-au instalat cazane autonome pe gaz), înlocuirea acesteia este nerentabilă și nu se planifică în viitorul apropiat.

O posibilitate de asigurare a confortului termic în clădirile cu valoare istorică, cu condiția păstrării autenticității arhitecturale (neafectarea fațadelor și acoperișului), constă în instalarea pompelor de căldură. Pentru a reduce costurile de forare propunem a înlocui amplasarea verticală a conturilor cu amplasarea orizontală paralelă cu conducta de canalizare. Acest fapt va permite reducerea investițiilor cu cca.21% și economie de energie electrică de 25% (în prețurile curente cca. 1370 lei/lună).

#### 4. CONCLUZII

Dacă în 2018 autorii au constatat ineficiența instalării „pompei de căldură” în condițiile Republica Moldova, astăzi constatăm că „pompa de căldură” devine o soluție optimă pentru asigurarea confortului termic în locuințe. Aplicarea acestei soluții în zona istorică a or. Chișinău oferă mai multe avantaje: nu poluează mediul ambiant, nu afectează aspectul arhitectural-istoric al imobilului, asigură confortul termic în clădire la costuri rezonabile (cele mai mici în condițiile curente).

#### SOLUTIONS FOR THERMAL HOUSING INSURANCE IN THE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA

##### *Abstract*

*When the heating season is 5.5 months per year, the issue of ensuring thermal comfort is of utmost importance. The authors made a comparative analysis of the three most widespread solutions for heating homes in the Republic of Moldova: with "natural gas boiler", "solid fuel boiler" and "heat pump". The efficiency of use is argued in terms of the capital commitment required for installation and operation over the normative lifetime. The authors propose and argue from different points of view the installation of "heat pumps" in the historical area of Chisinau to ensure thermal comfort in buildings of architectural value.*

##### **Bibliografie**

1. Hotărârea nr. 294 din 31.05.2022 privind aprobarea prețurilor reglementate pentru furnizarea gazelor naturale de către S.A. „Moldovagaz” în contextul obligației de serviciu public, [accesat la 15.06.2022]. Disponibil: <https://www.anre.md/tarife-reglementate-de-furnizare-3-269>
2. Hotărârea ANRE nr. 326 din 08.06.2022, privind prețurile reglementate de furnizare a energiei electrice de către Î.C.S. „Premier Energy” S.R.L. (M.O. nr. 170-176 din 10.06.2022), [accesat la 15.06.2022]. Disponibil: [https://www.legis.md/cautare/getResults?doc\\_id=131655&lang=ro](https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=131655&lang=ro)
3. Pompă de căldură, [accesat la 15.06.2022]. Disponibil: [https://ro.wikipedia.org/wiki/Pompă\\_de\\_căldură](https://ro.wikipedia.org/wiki/Pompă_de_căldură)
4. ALBU I., ALBU S. Oportunitatea utilizării pompei de căldură în condițiile Republicii Moldova. Conferința Tehnico – Științifică Internațională „ENERGIE, ECOLOGIE, EFICIENȚĂ și EDUCAȚIEE”, ediția a V-a 19-20 aprilie, 2018. Chișinău, Republica Moldova. [accesat la 15.06.2022]. Disponibil: [https://www.researchgate.net/publication/324648102\\_OPORTUNITATEA\\_UTILIZARII\\_POMPEI\\_DE\\_CALDURA\\_IN\\_CONDITIILE\\_REPUBLICII\\_MOLDOVA](https://www.researchgate.net/publication/324648102_OPORTUNITATEA_UTILIZARII_POMPEI_DE_CALDURA_IN_CONDITIILE_REPUBLICII_MOLDOVA)

5. Oferte cazane și accesorii. [accesat la 15.06.2022]. Disponibil: <http://santehmaster.md/ro/magazin/cazane/cazane-pe-gaz/centrala-motan-optimus-mt-24kw-cu-2-schimbatoare>
6. БЛЭЗИ В. *Справочник проектировщика*. Строительная физика. Техносфера. Москва, 2012, ISBN 978-5-94836-308-0, 978-3-8085-4268-2, 616 стр.
7. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях, [accesat la 15.06.2022]. Disponibil: <https://files.stroyinf.ru/Data/274/27472.pdf>
8. Principiul de funcționare a centralei termice în condensare, avantaje/dezavantaje, [accesat la 15.06.2022]. Disponibil: <https://centrale.md/principiul-de-functionare-a-centralei-termice-in-condensare-avantaje-dezavantaje/>
9. Sistem de încălzire cu cazan pe combustibil solid SAS, [accesat la 15.06.2022]. Disponibil: [https://term.md/catalog/cazane-pe-combustibil-solid/cazane\\_sas/](https://term.md/catalog/cazane-pe-combustibil-solid/cazane_sas/)
10. Caracteristici tehnice a cazanelor, BOSCH 2300w, [accesat la 15.06.2022]. Disponibil: <https://cazan.md/ru/kondensacionnye-gazovye-kotly/697-bosch-2300w-24kw-.html>
11. Ritmul anual al inflației în luna mai 2022 a constituit 29,05%, [accesat la 15.06.2022]. Disponibil: <https://www.bnm.md/>
12. Caiet de sarcini, pentru definitivarea planului urbanistic zonal (PUZ) centru (nucleul istoric al Chișinăului), [accesat la 15.06.2022]. Disponibil: <https://storage.mtender.gov.md>
13. Proiectul Planului Urbanistic Zonal „Centru”, [accesat la 15.06.2022]. Disponibil: <https://chisinauproiect.md/>
14. Lista monumentelor protejate de stat din municipiul Chișinău, [accesat la 15.06.2022]. Disponibil: <https://www.chisinau.md/pageview.php?l=ro&idc=614&t=/Utile/Registre-i-Liste/Lista-monumentelor-protejate-de-stat-din-municipiul-Chisinau>

*Articolul a fost realizat în cadrul proiectului de cercetare nr. 20.80009.0807.34 „Sporirea valorii patrimoniului cultural din Republica Moldova”.*



## **STUDIUL PRIVIND RĂCIREA PANOURILOR FOTOVOLTAICE INTEGRATE ÎN FAȚADELE VENTILATE ALE CLĂDIRILOR**

**Alexandru CERNEI<sup>1</sup>, Chaimae EL FOUAS<sup>2</sup>, Cristian CHERECHES<sup>1</sup>, Sebastian  
HUDISTEANU<sup>1</sup>, Emilian TURCANU<sup>1</sup>, Diana ANCAS<sup>1</sup>, Catalin-George POPOVICI<sup>1</sup>,  
Marina VERDES<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi din Iași, Facultatea de Construcții și Instalații

<sup>2</sup>Laboratory of Renewable Energy, Embedded System and Information Processing, National School of Applied Sciences, Mohammed First University, Oujda 60000, Morocco

### **Rezumat**

*Lucrarea de față își propune să aducă în prim plan direcțiile de cercetare urmate de autori în vederea susținerii lucrării de disertație, în care s-a studiat variația temperaturilor și vitezelor în cadrul unor simulări numerice și experimentale a răcirii unui panou fotovoltaic integrat într-o fatadă ventilată cu secțiuni diferite ale canalului de ventilare. În vederea realizării obiectivului s-a utilizat programul de simulare, Ansys 2021 R2 Student. Rezultatele numerice au fost validate de către rezultate obținute experimental. Acestea arată că temperaturile de pe suprafața panoului fotovoltaic precum și temperatura și viteza aerului la ieșirea din canalul de răcire al acestuia cresc cu micșorarea secțiunii de curgere a aerului.*

*Cuvinte cheie: Panou fotovoltaic, Fatadă ventilată, Simulare numerică, Ansys*

### **1. INTRODUCERE**

Energia solară reprezintă energia electromagnetică transmisă de soare, aceasta stă la baza întregii vieți de pe Pământ. Lumina și căldura radiate de soare au fost utilizate de către oameni încă din antichitate cu ajutorul unei serii de tehnologii îmbunătățite permanent.

Radiația solară, împreună cu celelalte surse secundare de energie în afară de energia solară, cum ar fi energia vântului și energia valurilor, electricitatea hidro și biomasa, reprezintă cea mai mare parte din energia provenită din sursele regenerabile disponibile pe pământ. Din energia solară se utilizează numai o foarte mică parte.

Producerea de energie electrică din energie solară se bazează pe instalațiile termice și pe panourile fotovoltaice. Modalitățile în care se utilizează energia solară sunt limitate numai de imaginația omului.

Efectul fotoelectric a fost observat pentru prima dată în anul 1839 de către fizicianul francez Edmund Becquerel care a descoperit că anumite materiale pot produce cantități mici de curent electric când sunt expuse la lumină [1].

Panourile fotovoltaice realizează conversia directă a luminii în energie electrică la nivel atomic. Unele materiale au proprietatea de a absorbi fotoni de lumină și a elibera electroni. Acest efect poartă numele de efect fotoelectric. Atunci când acești electroni sunt captați rezultă un curent electric care poate fi utilizat ca electricitate.

În concluzie, sistemele fotovoltaice sunt sisteme care convertesc energia solară în energie electrică. Acestea presupun un cost destul de ridicat la investiție, în schimb este amortizat în 4 – 5 ani, iar durata de viață a unui panou fotovoltaic este aproximativ 25 ani.

Această lucrare oferă o aplicabilitate practică imediată prin utilizarea programului Ansys 2020 R2 care asigură cea mai cuprinzătoare suită de soluții de simulare din lume la ora actuală.[2]

## 2. Descrierea problemei

S-au studiat numeric trei cazuri în care panourile fotovoltaice sunt integrate în diferite secțiuni ale canalului de răcire al fațadei ventilate și s-au comparat rezultatele obținute în urma simulărilor.

Pentru început s-au realizat geometriile pentru fiecare secțiune de curgere a aerului la interiorul canalului de răcire al panoului fotovoltaic, ce urmează a fi studiate (Fig. 1) cu următoarele date:

- Lungime PV / canal de aer: 68 cm;
- Lățime PV / canal de aer: 42,6 cm;
- Grosime canal de aer: 20 cm, 15 cm, 10 cm pentru cele trei cazuri studiate.

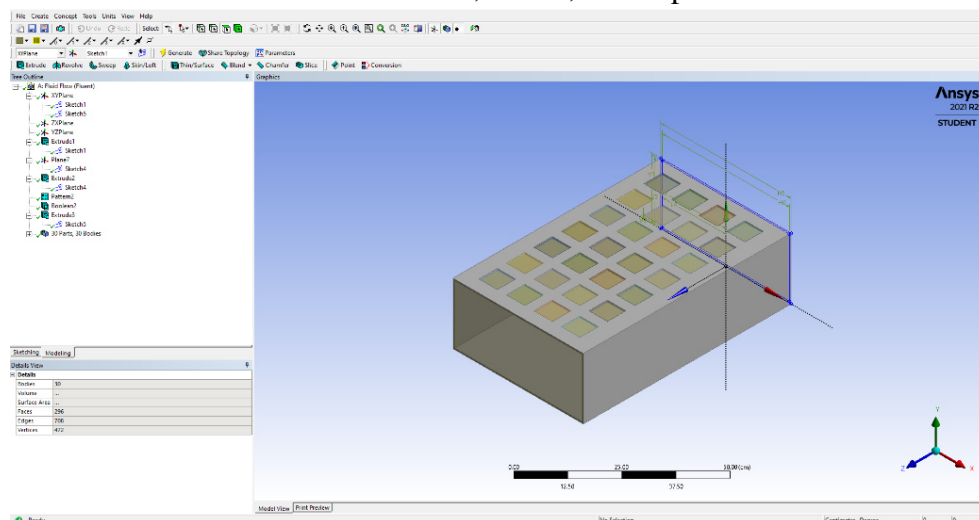


Fig. 1 Geometria studiată panoului fotovoltaic

Dupa realizarea geometriei s-a discretizat domeniul de calcul prin generarea rețelei de noduri în care vor fi calculate temperaturile și vitezele de curgere ale aerului în canal, precum și temperaturile suprafeței panoul fotovoltaic. (Fig. 2).



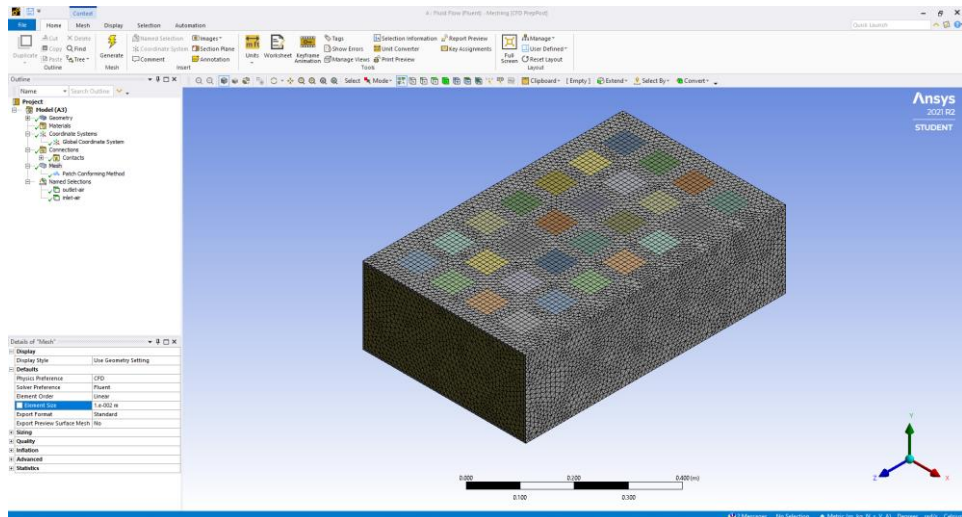


Fig. 2 Mesh-ul panoului PV

Dupa realizarea meshului, a urmat etapa de setup, în care s-au specificat datele și caracteristicile tehnice a panourilor fotovoltaice precum și a fluidului pentru răcire, în cazul acesta fluidul folosit fiind aerul.

Am folosit aluminiul ca material pentru carcasa panoului, iar pe aceasta au fost montate celule PV. În calitate de fluid de răcire am folosit aerul, temperatura acestuia la intrare fiind de 20 °C iar viteza de 0,1 m/s.

### 3. Simularea numerică a răcirii panoului PV

#### 3.1 Cazul I

Pentru primul caz s-a folosit un panou integrat in canalul de răcire cu secțiunea de 20 cm asupra căruia acționează o radiație solară de 265 W/m<sup>2</sup>.

În urma simulării executate de software, s-au obținut următoarele date:

- Temperatura maximă pe suprafața panoului fotovoltaic (Fig. 3): 38.16 °C;
- Temperatura medie pe suprafața panoului fotovoltaic: 37.06 °C;

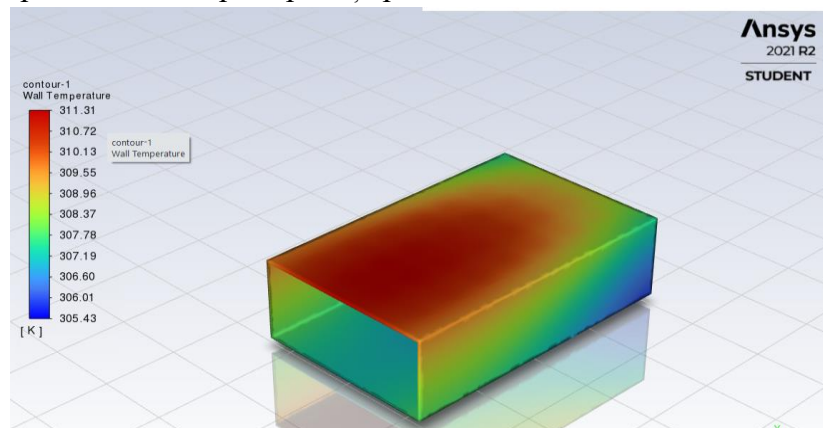


Fig. 3 Temperatura pe suprafața panoului integrat in canalul de răcire de 20 cm

În Fig. 4 putem observa distribuția temperaturilor în secțiunea de curgere a aerului la interiorul canalului de răcire al panoului fotovoltaic.

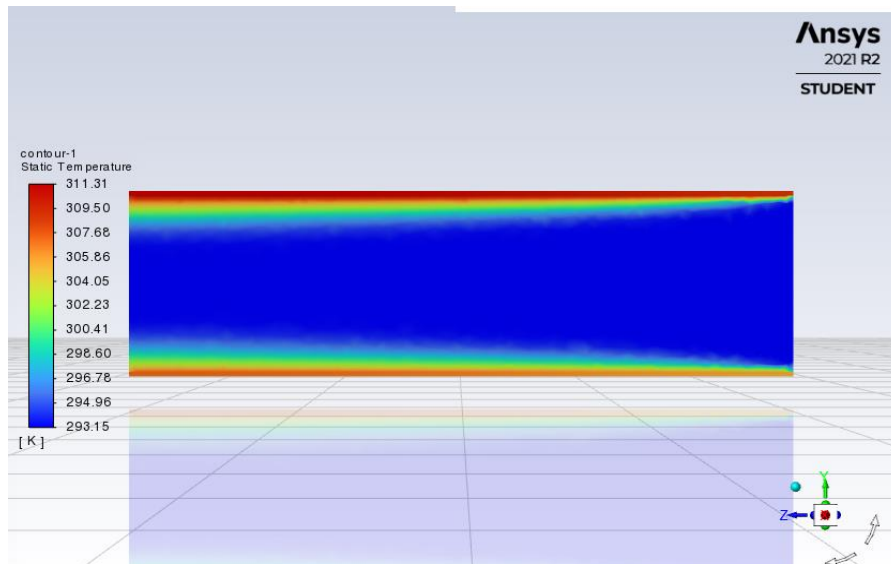


Fig. 4 Distribuția temperaturii aerului la interiorul canalului de răcire de 20 cm grosime

-Viteza de ieșire a aerului din canalul de răcire al panoului PV (Fig.5) : 0,128 m/s

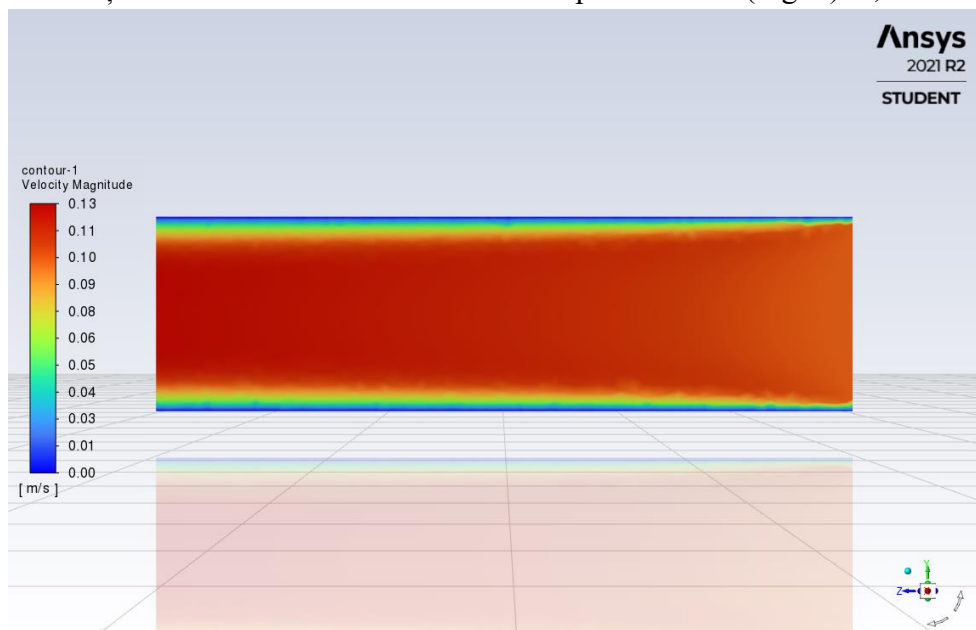


Fig. 5 Viteza aerului la interiorul canalului de răcire de 20 cm grosime

Prin urmare, putem observa că temperatura pe suprafața panoului PV a crescut cu 17,06°C, temperatura aerului la ieșirea din canalul de răcire al panoului a crescut cu 4,45 °C, iar viteza aerului la iesirea din canal a crescut de la 0,1 m/s la 0,128 m/s.

### 3.2 Cazul II

Pentru cazul numărul 2 s-a folosit un panou integrat în canalul de răcire cu secțiunea de 15 cm asupra căruia acționează o radiație solară de 265 W/m<sup>2</sup>.

În urma simulării executate de software, s-au obținut următoarele date:

- Temperatura maximă pe suprafața panoului fotovoltaic (Fig. 6): 39.01 °C;
- Temperatura medie pe suprafața panoului fotovoltaic: 37.89 °C;

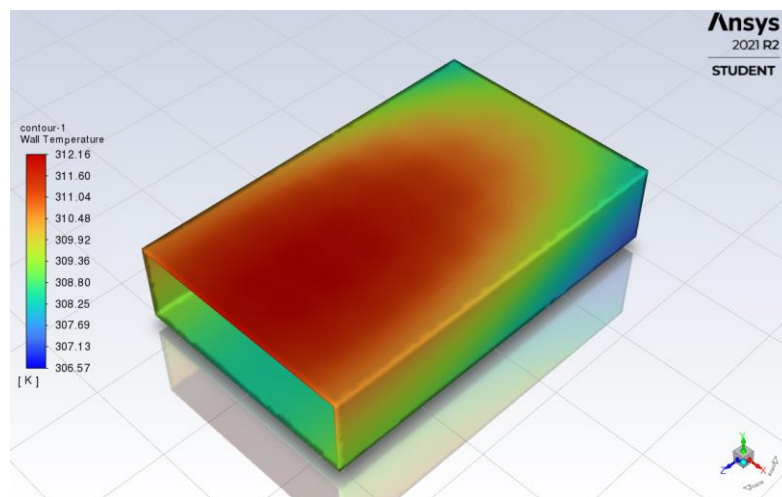


Fig. 6 Temperatura pe suprafața panoului integrat în canalul de răcire de 15 cm  
În Fig. 7 putem observa distribuția temperaturii în interiorul panoului fotovoltaic.

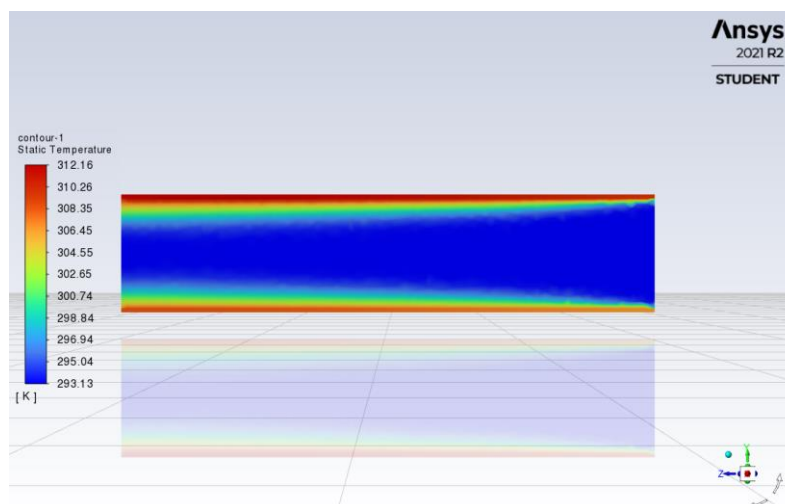


Fig. 7 Distribuția temperaturii aerului la interiorul canalului de răcire de 15 cm  
Viteza de ieșire a aerului din panou (Fig. 8): 0,133 m/s

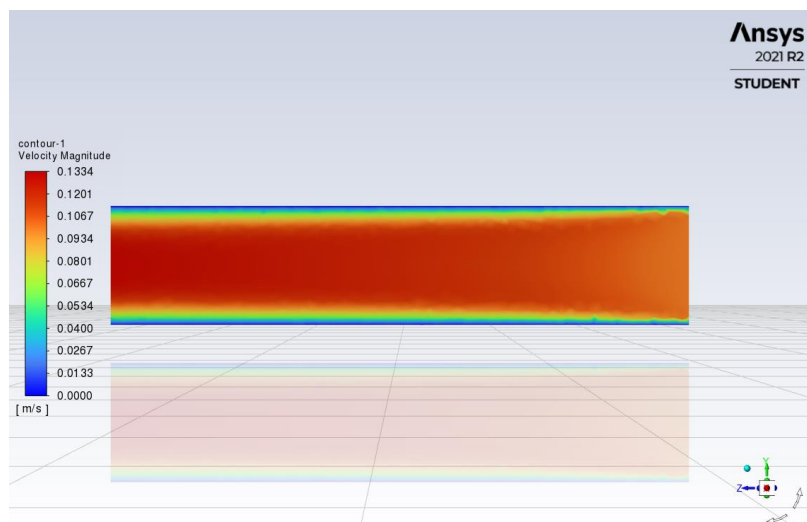


Fig. 8 Viteza aerului la interiorul canalului de răcire de 15 cm

Prin urmare, putem observa că temperatura pe suprafața panoului fotovoltaic a crescut cu 17,89 °C, temperatura aerului la ieșirea din canalul de răcire a crescut cu 5,28 °C, iar viteza aerului la ieșirea din acesta a crescut de la 0,1 m/s la 0,133 m/s.

### 3.3 Cazul III

Pentru cazul numărul 3 s-a folosit un panou integrat în canalul de răcire cu secțiunea de 10 cm asupra căruia acționează o radiație solară de 265 W/m<sup>2</sup>.

În urma simulării executate de software, s-au obținut următoarele date:

- Temperatura maximă pe suprafața panoului fotovoltaic (Fig. 9): 39.91 °C;
- Temperatura medie pe suprafața panoului fotovoltaic 38,77 °C;

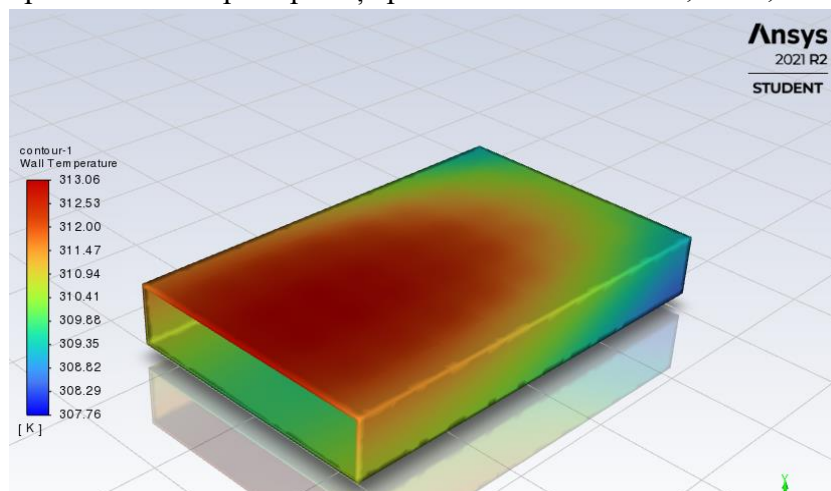


Fig. 9 Temperatura pe suprafața panoului PV integrat în canalul de răcire de 10 cm

În Fig. 10 putem observa distribuția temperaturii în interiorul canalului de răcire al panoului fotovoltaic.

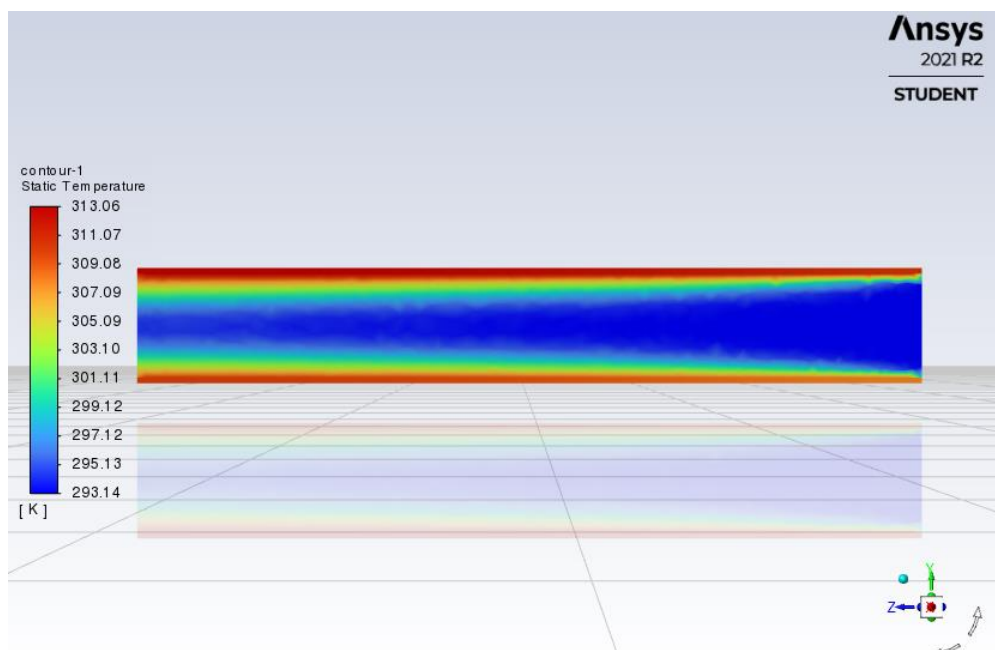


Fig. 10 Distribuția temperaturii aerului la interiorul canalului de răcire de 10 cm

Viteza de ieșire a aerului din canalul de ventilație (Fig. 11): 0,143 m/s;

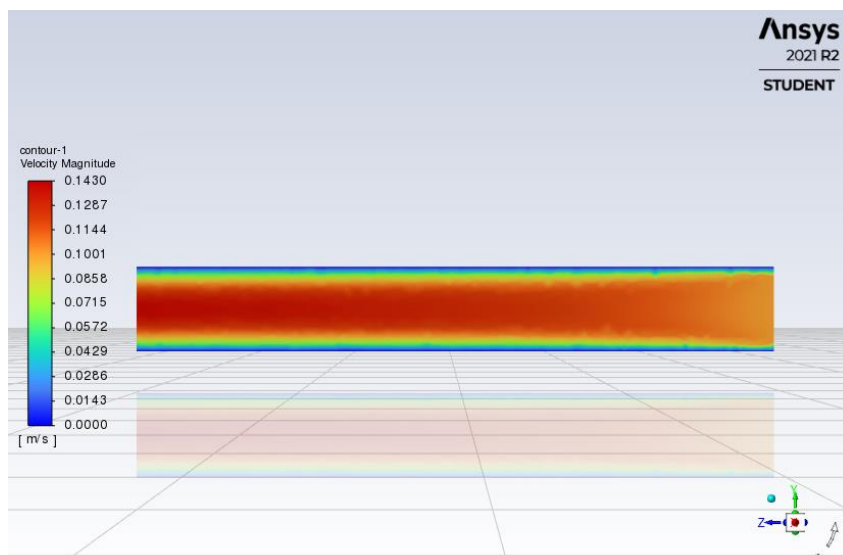


Fig. 11. Viteza aerului la interiorul canalului de răcire de 10 cm

Prin urmare, putem observa că temperatura pe suprafața panoului fotovoltaic a crescut cu 18,77 °C, temperatura aerului la ieșirea din canalul de răcire a crescut cu 7,73 °C, iar viteza aerului la ieșirea din acesta a crescut de la 0,1 m/s la 0,143 m/s.

#### 4. Simularea experimentală a răcirii panoului PV și compararea rezultatelor

##### 4.1 Simularea experimentală (caz IV)

Pentru ultimul caz, a fost realizată o simulare experimentală în laboratorul de Instalații Electrice al Departamentului de Ingineria Instalațiilor [3], privind răcirea unui panou fotovoltaic integrat într-un canal de aer, fig. 12.

Dimensiunile și datele tehnice folosite pentru simularea răcirii acestui panou sunt următoarele:

- Lungime PV / canal de răcire: 68 cm;
- Lățime PV / canal de răcire: 42,6 cm;
- Grosime canal de răcire: 20 cm;
- Intensitatea radiației solare ce acționează asupra panoului fotovoltaic: 265 W/m<sup>2</sup>;
- Viteza de intrare a aerului la interiorul canalului de răcire: 0,1 m/s;
- Temperatura aerului la intrare: 20 °C;

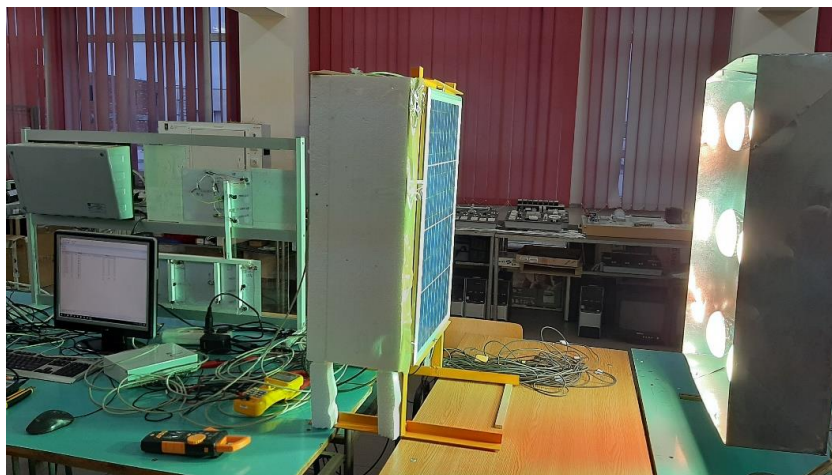


Fig. 12. Viteza aerului la interiorul canalului de răcire de 10 cm

În urma experimentului au rezultat următoarele date:

- Temperatura pe suprafața panoului a variat în diferite puncte, temperatura medie pe suprafața acestuia fiind de 44,6 °C.
- Temperatura aerului la ieșirea din panou: 24,2 °C;
- Viteza aerului la ieșire: 0,14 m/s;
- Spectrul de temperaturi pe suprafața exterioară a panoului fotovoltaic, fig. 13, realizat cu ajutorul unei camere de termoviziune Flir One Pro Lt pentru Android [4].



Fig. 13. Spectrul de temperaturi pe suprafața panoului fotovoltaic

#### 4.2 Compararea rezultatelor numerice și experimentale

Pentru compararea rezultatelor numerice și experimentale în cele patru cazuri de studiu, datele obținute au fost introduse în Tab. 1.

Tab. 1 Datele obținute în urma simulării numerice și experimentale

	<b>Caz I numeric</b>	<b>Caz II numeric</b>	<b>Caz III numeric</b>	<b>Caz IV experimental</b>
Dimensiuni canal de răcire	68cmx42,6cmx <b>20cm</b>	68cmx42,6cmx <b>15cm</b>	68cmx42,6cmx <b>10cm</b>	68cmx42,6cmx <b>20cm</b>
Temperatura aerului la intrare în canalul de răcire	20 °C	20 °C	20 °C	20,2 °C
Temperatura maximă pe panoul PV	38,16 °C	39,01 °C	39,91 °C	47,6 °C
<b>Temperatura medie pe panoul PV</b>	<b>37,06 °C</b>	<b>37,89 °C</b>	<b>38,77 °C</b>	<b>44,6 °C</b>
Creșterea temperaturii pe panoul PV	17,06 °C	17,89 °C	18,77 °C	24,6 °C
<b>Temperatura medie a aerului la ieșirea din canal</b>	<b>24,45 °C</b>	<b>25,28 °C</b>	<b>27,73 °C</b>	<b>24,2 °C</b>

Creșterea temperaturii aerului din canal	4,45 °C	5,28 °C	7,73 °C	4,2 °C
Viteza aerului la intrarea în canal	0,1 m/s	0,1 m/s	0,1 m/s	0,1 m/s
<b>Viteza aerului la ieșire din canal</b>	<b>0,128 m/s</b>	<b>0,133 m/s</b>	<b>0,143 m/s</b>	<b>0,14 m/s</b>

## 5. Concluzii

Făcând analiza comparativă a datelor obținute în urma simulărilor numerice și a simulării experimentale se pot observa următoarele concluzii:

- Temperaturile de pe suprafața panoului fotovoltaic precum și temperatura și viteza aerului la ieșirea din canalul de răcire al acestuia, în cazul simulărilor numerice, cresc cu micșorarea secțiunii de curgere a aerului;

- Compararea rezultatelor numerice și experimentale pentru cazurile I și IV cu aceleași grosimi ale canalului de răcire de 20cm, arată o diferență admisibilă a temperaturii medii pe suprafața panoului de 17%, și o diferență de 8,5% în cazul comparării vitezelor de ieșire a aerului din canalul de răcire, ceea ce confirmă rezultatele obținute numeric.

Astfel, putem afirma că odată cu micșorarea secțiunii de curgere a fluidului ce răcește panoul fotovoltaic, va crește temperatura panoului fotovoltaic și a aerului la ieșirea din canalul de răcire, precum și viteza cu care va parcurge fluidul acea secțiune.

Totodată se poate observa că în cazul simulării experimentale temperaturile și vitezele diferă deoarece în cazul simulării numerice datele de intrare sunt fixe și rămân neschimbate de-a lungul simulării, ceea ce este greu de obținut în cazul unei simulări experimentale.

## STUDY ON COOLING OF PHOTOVOLTAIC PANELS INTEGRATED INTO THE VENTILATED FACADES OF BUILDINGS

### *Abstract*

*This paper proposes to bring to the forefront the research directions of the authors in order to support the dissertation works, in which the variation of temperatures and speeds was studied in numerical and experimental simulations for cooling a photovoltaic panel integrated inside a building ventilated façade with different sections of the cooling channel. In order to achieve the goal, it was used the simulation program Ansys 2021 R2 Student. The numerical results were validated by experimentally obtained results. These show that the temperatures on the surface of the photovoltaic panel as well as the temperature and air velocity at the outlet of its cooling channel increase with the decrease of the air flow section.*

### **Bibliografie**

- [1] Boyle, G., Renewable Energy, Power for a Sustainable Future, Oxford, Oxford University Press, 1996
- [2] Peter Kohnke ,Ansys Inc. – Referinte teoretice/Manual program Ansys, Versiunea 5.6, 1999
- [3] Chaimae El Fouas, Raport de stagiul postdoctoral în cadrul burselor AUF Eugen Ionescu la Departamentul de Ingineria Instalatiilor, sept-dec.2021
- [4] Flir One Pro Lt, <https://www.flir.eu/products/flir-one-pro-lt/>



## **IMPACTUL SCHIMBĂRILOR CLIMATICE ASUPRA SECTORULUI INGINERIEI INFRASTRUCTURII TRANSPORTURILOR DIN REPUBLICA MOLDOVA**

**Sergiu BEJAN, Ludmila VÎRLAN, Alexandra DUMITRAȘCU**

*Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Urbanism și Arhitectură*

### **Rezumat**

*Schimbările climatice afectează deja profund condițiile de disponibilitate a resurselor, agricultură și alte activități economice cheie în Republica Moldova. Evenimentele extreme cauzate de creșterea temperaturii medii și de distribuția neuniformă a precipitațiilor pe parcursul anului, au afectat negativ economia națională, precum și bunăstarea și sănătatea populației. Se estimează că schimbările climatice vor scădea și mai mult debitele de apă de suprafață din țară cu 16-20% până în 2030, prognozele indicând creșterea temperaturii medii anuale cu 2 ° C și scăderea scurgerii anuale cu 13% între 2010 și 2040. Pentru ca Republica Moldova să asigure o dezvoltare economică durabilă în viitor, este indispensabilă dezvoltarea unui sistem de transport rutier eficient și a unei infrastructuri rezistente la climă, care să poată satisface nevoile cetățenilor mobili și care să faciliteze comerțul atât pe piețele interne, cât și pe cele internaționale, atrăgând astfel investiții în diverse ramuri ale economiei naționale.*

### **1. INTRODUCERE**

Sectorul ingineriei infrastructurii transporturilor care include transportul rutier, feroviar, naval și aerian este vulnerabil la creșterea frecvenței și intensității factorilor climaterici nefavorabili (furtuni, vânt, ploaie, zăpadă) care provoacă reziliența infrastructurii respective și ridică costurile construcției, întreținerii și exploatării acesteia. Dat fiind faptul că Republica Moldova este o țară mică, fără acces la mare, drumurile sunt căile de comunicație de bază care joacă un rol esențial în dezvoltarea economiei naționale. Schimbările climatice au deja și se preconizează că vor avea o serie de impacturi asupra dezvoltării tuturor sectoarelor economice cheie, infrastructura transporturilor fiind una dintre cele mai vulnerabile.



Conform statisticilor oficiale actuale, lungimea rețelei de drumuri publice din Republica Moldova a crescut cu 105 km între 2014 și 2020 (de la 9.360 la 9.465 km), în timp ce lungimea căii navigabile generale a scăzut cu 148 km în aceeași perioadă. (de la 558 la 410 km). Cea mai mare porțiune a rețelei de drumuri este acoperită cu pavaj rutier permanent și semipermanent (beton asfaltic, beton de ciment, mixturi bituminoase executate in situ). În prezent, 52% din drumurile naționale sunt în stare bună sau mediocră și 48% - în stare proastă și foarte proastă. Acest lucru are un impact negativ dovedit asupra mediului, deoarece consumul de combustibil pe drumurile proaste crește cu până la 20%, generând emisii suplimentare de substanțe nocive în atmosferă.

Întrucât sectorul de transport al Republicii Moldova este într-o stare nesatisfăcătoare și flota de vehicule este depășită, acesta este foarte vulnerabil la schimbările climatice majore care afectează infrastructura, cresc întârzierile în transport și influențează economia națională prin creșterea costurilor transportului public. Astfel, adaptarea la schimbările climatice este una dintre provocările majore în acest sector. Pe de o parte, standardele și normele aplicate la proiectarea drumurilor publice nu corespund tendințelor de dezvoltare a sectorului și produc infrastructură care nu este adecvată fluxului de trafic rutier, nici noilor condiții climatice. Pe de altă parte, finanțarea dezvoltării drumurilor și întreținerii infrastructurii din țară este cronic insuficientă și nu poate contrabalansa viteza de degradare a drumurilor. În ultimii ani, reabilitarea drumurilor din Republica Moldova a fost subfinanțată cu peste 3 miliarde MDL, ceea ce, potrivit estimărilor experților, crește această sumă la peste 6 miliarde MDL, alături de efectul cumulativ al inacțiunii în întreținerea infrastructurii. Această subfinanțare constantă împiedică în mod activ planificarea pe termen mediu și lung pe acest sector, inclusiv integrarea adaptării la schimbările climatice și a rezilienței în investițiile în infrastructura de transport.

Cele mai recente analize ale tehnologiilor actuale utilizate în sectorul Ingineriei Infrastructurii Transporturilor din Republica Moldova (IITM) au confirmat încă o dată starea depășită și nesatisfăcătoare a infrastructurii de transport a țării care necesită acțiuni urgente și nu doar pentru modernizarea sectorului, ci și pentru creșterea rezistenței acestuia la schimbările climatice. Un pas important în această direcție îl reprezintă punerea în aplicare a Regulamentului tehnic privind cerințele minime de comercializare a produselor pentru construcții, adoptat în anul 2016 (HG 913/25.07.2016), cu o perioadă de tranziție pentru implementare până la 31 decembrie 2020. Astfel, de la 1 decembrie 2020 toate companiile de construcții de drumuri din Republica Moldova sunt obligate să producă și să furnizeze materiale de construcție care îndeplinesc standardele europene EN. În acest scop, la 08.02.2021 a fost aprobată de către Ministerul Infrastructurii și Dezvoltării Regionale o listă de standarde armonizate, care vin să înlocuiască normativele tehnice depășite utilizate în infrastructura rutieră. Prin urmare, toate investițiile în infrastructura transportului sunt necesare pentru a se alinia la aceste standarde.

### **Riscuri și vulnerabilități legate de schimbările climatice în sectorul transporturilor**

Schimbările climatice au și vor continua să aibă un impact asupra sectorului transporturilor în viitor. Investițiile în acest sector tind să fie de lungă durată și, de obicei, depășesc durata de viață funcțională estimată din cauza bugetului public limitat pentru

înlocuire. Acest lucru îi face vulnerabil la schimbări treptate ale condițiilor de mediu, precum și la șocuri neașteptate.

Creșterea temperaturilor și valurile de căldură extinse pot cauza deteriorări (rupturi, fisuri, fâgașe, gropi) la îmbrăcămintea rutieră, flambajul căilor ferate și alte probleme structurale. Acest lucru poate duce la supraîncălzirea echipamentelor, deteriorarea sau chiar perturbarea pavajului de asfalt, a materialelor podurilor și a structurilor feroviare, scurtând astfel durata de viață a infrastructurii rutiere și minimizarea confortului și a siguranței traficului rutier.

O problemă gravă în Republica Moldova este și starea drumurilor după sezonul de iarnă. În regiunile în care temperatura fluctuează semnificativ, astfel de variații sunt un factor distructiv pentru îmbrăcămintea rutieră. Apa acumulată în fisurile suprafeței asfaltului îngheață (se dilată) și se dezgheță (se comprimă) în mod repetat. Repetarea acestui ciclu în timpul sezonului de iarnă (până la 50 cicluri îngheț-dezgheț) reduce proprietățile elastice și deteriorează structura îmbrăcămintei rutiere. Schimbările climatice vor crește costurile de întreținere pentru infrastructura existentă, respectiv vor influența semnificativ costurile pentru calculul riscurilor climatice la etapa de proiectare.

Toată infrastructura transporturilor ar putea fi afectată negativ de schimbările climatice. Hazardele naturale constituie niște manifestări extreme ale unor fenomene naturale cu ar fi cutremurele, furtunile, inundațiile, alunecările de teren, secetele, care au o influență directă atât asupra societății cât și asupra infrastructurii rutiere ca exemplu: creșterea temperaturii poate perturba aterizarea/decolarea avioanelor, căile navale pot deveni impracticabile din cauza nivelului schimbător al apei (secete sau inundații), căile ferate sunt deosebit de vulnerabile la temperaturi extreme care provoacă deformarea (flambajul) liniilor de cale ferată. Prin urmare, este vital ca sectorul infrastructurii transporturilor din Republica Moldova să fie dotat cu mijloacele necesare de adaptare la schimbările climatice. În funcție de efectele schimbărilor climatice (creșterea temperaturii, precipitații, fenomene extreme etc.) sunt identificate următoarele riscuri și vulnerabilități pentru diferite categorii de transport (rutier, aerian, naval, feroviar) care sunt prezentate în Tabelul 1.

Un rezumat al vulnerabilităților asociate cu schimbările climatice pentru sectorul transporturilor din Republica Moldova și impactul socio-economic respectiv este prezentat în Tabelul 2.

***Principalele riscuri și vulnerabilități cauzate de schimbările climatice în sectorul  
Infrastructurii Transporturilor***

Tabelul 1

Hazard Climatic	Riscuri și vulnerabilități
<b>Sub-sector - Calea ferată</b>	
Creșterea temperaturii de vară/iarnă	Flambajul șinei și instabilitatea crescută a terasamentelor; - Supraîncălzirea echipamentelor (de exemplu, ventilație motor, aclimatizare); - Creșterea incendiilor poate deteriora infrastructura; Durată de viață redusă a activelor și costuri de întreținere crescute.
Temperaturi joase de iarnă	gheață pe trenuri și catenare, ceea ce duce la perturbarea operațiunilor; - Perturbarea/suspendarea activității feroviare.
Precipitațiile	Deteriorarea infrastructurii;

extreme	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inundarea infrastructurii feroviare;</li> <li>- Întreruperea operațiunilor.</li> </ul>
Vânturi extreme	Deteriorări ale infrastructurii, cum ar fi semnale, cabluri de alimentare etc. (de exemplu, din cauza căderii copacilor sau a stâlpilor).
Temperatura ridicată de vară	<p>Deteriorarea trotuarului;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Durata de viață redusă a suprafețelor de drum asfaltate;</li> <li>- Infrastructura/echipamentul deteriorat;</li> <li>- Dilatație termică pe rosturile podurilor și suprafețele pavate;</li> <li>- Deteriorarea materialului structurii podului;</li> <li>- Deteriorări și defecțiuni ale vehiculelor vechi;</li> <li>- Creșterea densității accidentelor.</li> </ul>
Precipitații extrema/inundații	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deteriorarea infrastructurii (trotuar, spălare drum; instabilitate terasament);</li> <li>- Deteriorarea rețelelor energetice (care afectează transportul cu cărucioare/tramvai);</li> <li>- Întreruperea operațiunilor;</li> <li>- Inundații subteran;</li> <li>- Sisteme de drenaj suprasolicitate;</li> <li>- Inundarea infrastructurii rutiere și creșterea evenimentelor de scufundare a podurilor;</li> <li>- Degenerarea treptată a infrastructurii de transport;</li> <li>- Dezintegrarea suprafețelor drumurilor, trotuarelor și pistelor de biciclete</li> </ul>
Vânturi extreme	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Daune asupra infrastructurii (de exemplu, copacii/vegetația de pe marginea drumurilor pot bloca drumurile).</li> </ul>
<b>Sub-sector - Aviație</b>	
Căldura de vară	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Degradarea pistelor și a fundațiilor pistelor;</li> <li>- Infrastructură/echipament deteriorat.</li> </ul>
Precipitații abundente, vânt, ninsori și altele	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Daunele provocate de inundații la infrastructura aeroportuară și la piste;</li> <li>- Defecțiunea aeronavelor și a echipamentelor de management al traficului;</li> <li>- Vizibilitate și tracțiune reduse;</li> <li>- Întreruperea operațiunilor;</li> <li>- Pierderea accesului la sol la aeroporturi;</li> <li>- Riscuri de siguranță sporite pentru operațiunile la sol.</li> </ul>
<b>Sub-sector - Naval</b>	
Debit mare al râului (precipitații extreme, topirea zăpezii)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limitări de viteză din cauza instabilității digurilor;</li> <li>- restricții de navigare;</li> <li>- Infrastructura portuară/marfă deteriorată;</li> <li>- Creșterea costurilor de construcție/întreținere a portului;</li> <li>- Întreruperea operațiunilor.</li> </ul>
Debit scăzut al râului (secetă)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Restricții privind capacitatea de încărcare;</li> <li>- Niveluri reduse ale apei care impun restricții pentru navigația interioară și creșterea consumului de combustibil;</li> <li>- Probleme de navigare, reducerea vitezei și a utilizării;</li> <li>- Întreruperea operațiunilor.</li> </ul>

***Impacturile socio-economice potențiale ale schimbărilor climatice asupra sectorului de transport***

Tabelul 2

Potențialul impact asupra infrastructurii de transport	Impacturi social
<b>Temperaturi mari și valuri de căldură</b>	

<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Modificări ale integrității pavajului, de ex. înmuiere, deformare cauzată de trafic, migrarea asfaltului lichid;</li> <li>➤ Extinderea/flambajul podurilor;</li> <li>➤ Deformarea liniilor de cale ferată;</li> <li>➤ Deteriorarea pistei aeroportului;</li> <li>➤ Supraîncălzirea vehiculului și deteriorarea motorului sau supraîncălzirea echipamentului (ventilație motor, aer condiționat);</li> <li>➤ Durată de viață redusă a suprafețelor de drum asfaltate;</li> <li>➤ Degradarea pistelor și a fundațiilor pistelor;</li> <li>➤ Durata de viață redusă a suprafețelor de pavaj și a mijloacelor de transport;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Deteriorarea accelerată a infrastructurii de transport;</li> <li>➤ Transport restrâns de încărcături grele (afectând veniturile companiilor de transport); limită de viteză;</li> <li>➤ Consum crescut de combustibil, respectiv emisii mai mari;</li> <li>➤ Limitări ale perioadelor de activitate de construcție;</li> <li>➤ Costuri crescute atât pentru investițiile de capital, cât și pentru costurile de operare și întreținere în sistemele de transport;</li> <li>➤ Costuri indirecte crescute pentru utilizatorii transportului public și privat, precum și taxe de trecere pentru utilizarea infrastructurii rutiere;</li> </ul>
<b>Precipitații abundente și inundații</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Inundarea infrastructurii terestre/navale/feroviare;</li> <li>➤ Deteriorarea infrastructurii de transport și a mărfurilor;</li> <li>➤ Prăbușirea podurilor;</li> <li>➤ Inundații subterane;</li> <li>➤ Alunecări frecvente de teren;</li> <li>➤ Creșterea întâzierilor legate de vreme;</li> <li>➤ Creșterea perturbărilor în trafic;</li> <li>➤ Întreruperea activităților de construcție;</li> <li>➤ Întreruperea operațiunilor de siguranță și întreținere;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Infrastructura de transport deteriorată și circulație restricționată;</li> <li>➤ Scăderea veniturilor din activități de transport;</li> <li>➤ Întreruperea aprovizionării cu bunuri;</li> <li>➤ Creșterea cheltuielilor pentru întreținerea și operarea transportului;</li> <li>➤ Costuri crescute pentru serviciile de transport;</li> <li>➤ Comunitățile rurale se pot separa de restul țării;</li> </ul>
<b>Scăderea în precipitare</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Umiditate redusă a patului drumului, în special primăvara și toamna</li> <li>➤ Dezvoltarea restrânsă a transportului fluvial,</li> </ul>	<p>Circulația vaselor redusă</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Costuri operaționale crescute</li> <li>• Necesitatea unor lucrări de inginerie suplimentare</li> </ul>
<b>Vânturi extreme crescute și mai frecvente</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Deteriorarea infrastructurii de pe drumuri, căi ferate, conducte, porturi maritime, aeroporturi</li> <li>➤ Deteriorări la poduri de cabluri, indicatoare, cabluri aeriene, semnale feroviare</li> <li>➤ Perturbarea siguranței mijloacelor de transport.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Suspendarea și întreruperea serviciilor de transport</li> <li>➤ Perturbarea activității comerciale a operatorilor de transport, afectarea veniturilor companiilor de transport</li> <li>➤ Costuri crescute de întreținere a infrastructurii</li> </ul>

Pe măsură ce temperaturile medii globale cresc, se așteaptă ca ciclul hidrologic din Republica Moldova să devină mai intens, ducând la fenomene de precipitații mai frecvente și extreme.

În timpul evenimentelor meteorologice extreme, rețelele cheie de transport pot deveni inaccesibile sau nesigure pentru călătoriile private și comerciale, iar serviciile de transport public pot fi întrerupte sau suspendate. Degenerarea treptată a infrastructurii de transport

asociată cu precipitații extreme și inundații ulterioare poate avea un impact grav asupra mai multor sub-sectoare (tabelul nr. 1 și 2).

Prin urmare, multe drumuri pot fi expuse riscului de deteriorare structurală din cauza evenimentelor meteorologice extreme provocate sau intensificate de schimbările climatice așteptate.

Rezultă că, infrastructura de transport trebuie să fie proiectată astfel încât să fie rezistentă la diverse solicitări, inclusiv condiții meteorologice extreme, în timp ce serviciile de transport trebuie gestionate pentru a reduce posibilele perturbări și pentru a crește siguranța în perioadele condițiilor meteorologice nefavorabile.

### **Acțiunile Adaptării la Schimbările Climatice (ASC) recomandate de întreprins în sectorul transporturilor**

În decembrie 2014, prin Decizia nr. 1009 Guvernul Moldovei a aprobat Strategia de Adaptare la Schimbările Climatice a Republicii Moldova până în anul 2020 și a Planului de acțiuni pentru implementarea acestuia. (NAP-1).

Adaptarea la efectele schimbărilor climatice este capacitatea sistemelor naturale și antropogenice de a reacționa la efectele schimbărilor climatice, actuale sau așteptate, inclusiv variabilitatea climei și evenimentele meteorologice extreme, cu scopul de a reduce pagubele potențiale, de a beneficia de oportunități și de a reacționa adecvat la consecințele schimbărilor climatice, având în vedere faptul că societatea și ecosistemele resimt efectul individual și cumulativ al tuturor acestor componente.

Există mai multe tipuri de adaptare: anticipativă și reactivă, privată și publică, autonomă și programată. Adaptarea la efectele schimbărilor climatice este un proces complex, datorită faptului că gravitatea efectelor variază de la o regiune la alta, în funcție de expunere, vulnerabilitatea fizică, gradul de dezvoltare socio-economică, capacitatea naturală și umană de adaptare, serviciile de sănătate și mecanismele de monitorizare a dezastrelor. Provocarea pentru adaptare constă în creșterea rezistenței sistemelor economice și ecologice și reducerea vulnerabilității lor la efectele schimbărilor climatice. Adaptarea necesită acțiuni la toate nivelurile – local, regional, național și internațional – și în toate sectoarele.

La nivel european, politica în domeniul adaptării la efectele schimbărilor climatice a demarat în iunie 2007 prin inițiativă elaborată de Comisia Europeană prin Cartea Verde - Adaptarea la schimbările climatice în Europa - posibilitățile de acțiune ale Uniunii Europene, urmată în 2009 de Cartea Albă - Adaptarea la schimbările climatice: Către un cadru de acțiune la nivel european.

**Obiectivul** componentei ASC este de a crește capacitatea țării de a se adapta la efectele reale sau potențiale ale schimbărilor climatice, prin stabilirea direcțiilor strategice la nivel național care pot ghida dezvoltarea politicii la nivel sectorial, întreprinderea unor acțiuni și dezvoltarea capacităților necesare pentru actualizarea periodică a acestora. Acțiunile susținute de această componentă sunt următoarele:

- monitorizarea activă a impactului schimbărilor climatice, precum și a vulnerabilității sociale și economice asociate;

- integrarea măsurilor de adaptare la efectele schimbărilor climatice în strategiile de dezvoltare și politicile la nivel sectorial, precum și armonizarea acestor măsuri între ele;
- identificarea măsurilor urgente de adaptare la efectele schimbărilor climatice în sectoarele socio-economice critice.

### **Obiectiv general la nivelul UE:**

La nivelul anului 2030 se preconizează o reducere de 20% a emisiilor de GES comparativ cu nivelul din 2008 și cu 60% în anul 2050 comparativ cu nivelul de emisii din anul 1990, conf. Carta Albă a Transporturilor 2050 - Foaie de parcurs pentru un spațiu european unic al transporturilor – Către un sistem de transport competitiv și eficient din punct de vedere al resurselor, elaborată de Comisia Europeană.

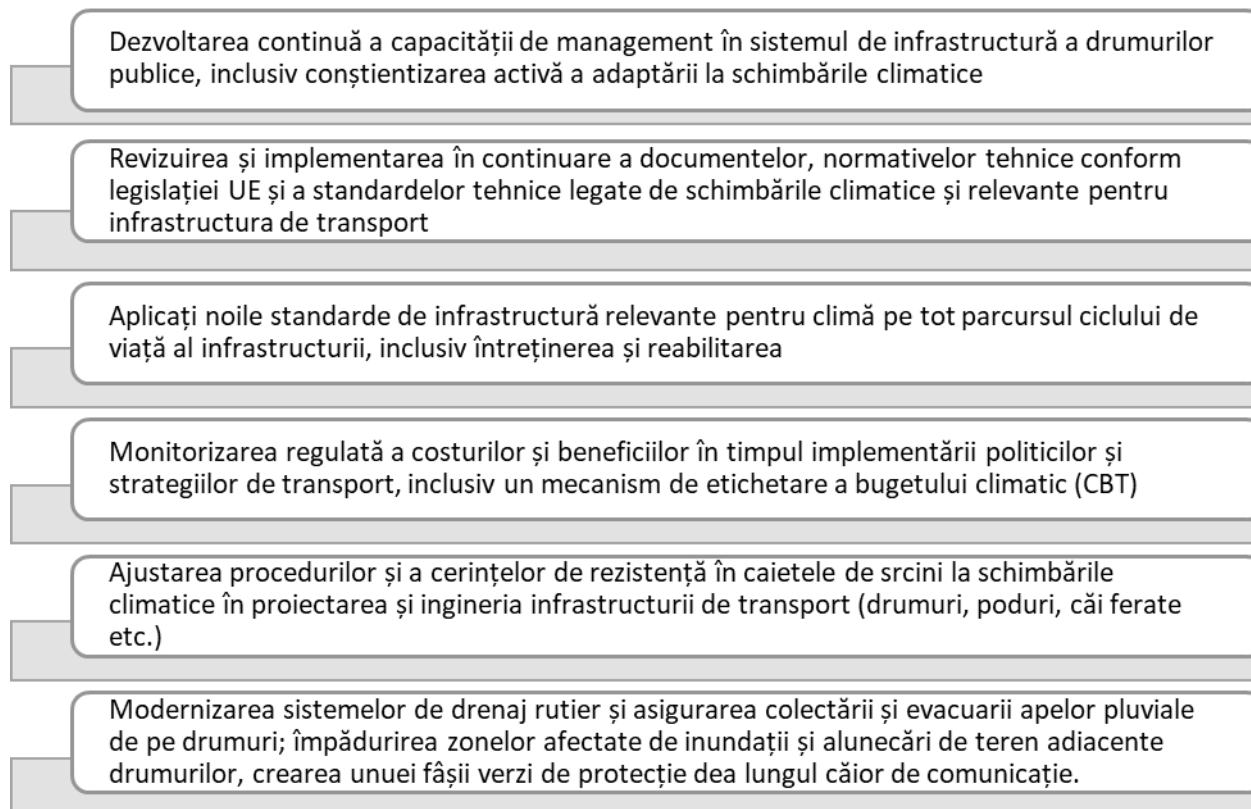
Înainte de implementarea primei Strategii CCA până în 2020, standardele tehnice și de construcție în Republica Moldova nu prevedeau utilizarea obligatorie a materialelor care să asigure rigiditatea suprafeței drumului în timpul valurilor de căldură și a altor pericole legate de climă. Căldura extremă, inundațiile și ploile fulgerătoare creează o distrugere și o deteriorare continuă a infrastructurii rutiere, care este întreținută doar prin reparații minore. În acest context, adoptarea unor standarde de construcție mai înalte, relevante pentru climă și utilizarea lor obligatorie în reabilitarea infrastructurii de transport existente și în construirea de noi infrastructuri de transport a fost evaluată ca o măsură extrem de relevantă și eficientă în NCCAS 2020, vizând consolidarea rezilienței sectorului transporturilor. După cum sa menționat anterior, a dus la adoptarea Regulamentului tehnic privind cerințele minime pentru comercializarea produselor pentru construcții (HG 913/25.07.2016), în vigoare de la 01 ianuarie 2021.

Trecerea la standarde de construcție mai înalte, relevante pentru climă este de așteptat să fie benefică pe termen mediu și lung pentru infrastructura de transport din Republica Moldova. Cu toate acestea, aceste standarde trebuie aplicate pe tot parcursul ciclului de viață al infrastructurii – de la proiectare la construcție și întreținere ulterioară. Prin urmare, o mai bună integrare a considerațiilor legate de schimbările climatice în planificarea sectorială și în special în bugetarea măsurilor prioritare este vizată în planificarea națională de adaptare după 2020. În acest scop, consolidarea capacităților pentru investiții rezistente la schimbările climatice în sector este necesară ca prioritate (de exemplu, în MEI, administrația Fondului Rutier, dar și în structurile relevante ale Ministerului Finanțelor).

Figura de mai jos prezintă acțiunile specifice de adaptare recomandate pentru sectorul transporturilor din Republica Moldova după 2020, în scopul creșterii rezistenței acestuia și atenuării riscurilor generate de pericolele climatice proiectate.

Aceste date se bazează pe recomandările respective din NDC actualizat al țării și din Evaluarea NCCAS 2020 care estimează investiții prioritare de până la 159,5 milioane USD în sector – pentru a aborda dezvoltarea legală și a capacităților, precum și pentru creșterea rezistenței la climă a infrastructurii (drumuri, poduri, viaducte, căi ferate, șine.) și să asigure accesul adecvat al populației rurale la un sistem de drumuri rezistent la climă.

**Figura 1. Măsuri de adaptare la schimbările climatice recomandate pentru sectorul Transporturilor**



## **IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE TRANSPORT INFRASTRUCTURE ENGINEERING SECTOR IN THE REPUBLIC OF MOLDOVA**

### ***Abstract***

*Climate change is already profoundly affecting the availability of resources, agriculture and other key economic activities in the Republic of Moldova. Extreme events caused by rising average temperatures and uneven distribution of rainfall on food of the year, have negatively affected the national economy, as well as the well-being and health of the population. It is estimated that climate change will further reduce the country's surface water flows by 16-20% by 2030, with forecasts indicating an increase in average annual temperature by 2 ° C and a decrease in annual runoff by 13% between 2010 and 2040. In order for the Republic of Moldova to ensure sustainable economic development in the future, it is essential to develop an efficient road transport system and a climate-resistant infrastructure that can meet the needs of mobile citizens and facilitate trade in both domestic and foreign markets. international ones, thus attracting investments in various branches of the national economy.*

### **Bibliografie**

- 1 UNDP, Moldova, Promovarea procesului național de planificare a adaptării Republicii Moldova la schimbările climatice (Etapa 2), în lucru. Chișinău 2022

- 2 Programul privind schimbările climatice „Strategia națională privind schimbările climatice și creșterea economică bazată pe emisii reduse de carbon”, România, noiembrie 2015.
- 3 UNDP Moldova, *Climate Change in Moldova Socio-Economic Impact and Policy Options for aptation, National Human Development Report*, UNDP, Chisinau, 2009.
- 4 Hotărârea Guvernului Republicii Moldova nr. 102 din 05.02.2013 cu privire la Strategia energetică a Republicii Moldova până în anul 2030.
- 5 [https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/adaptation/what/docs/eu\\_strategy\\_2021.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/adaptation/what/docs/eu_strategy_2021.pdf)





## **SISTEME VITRATE DINAMICE PENTRU CLĂDIRILE nZEB**

### **Partea a I-a. Argumente pentru utilizarea elementelor vitrate în reducerea consumului de energie**

**Victoria COTOROBAI<sup>1</sup>, Iulia NEGARĂ<sup>2</sup>, Ioan-Cristian COTOROBAI<sup>3</sup>, I.C. BRANCA,  
Sebastian Valeriu HUDIȘTEANU<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi

<sup>2</sup>Universitatea Tehnică a Moldovei

<sup>3</sup>S.C. DAS Instalații, Iași

#### **Rezumat**

*Schimbările majore produse recent în domeniul clădirilor, referitoare la conceptul acestora (promovarea clădirilor nZEB) respectiv la nivelul de performanță energetică impus clădirilor și a tipurilor de resurse energetice primare (regenerabile, recuperabile) folosite pentru generarea energiei necesare pentru deservirea clădirilor nZEB au impus căutarea unor mijloace de creștere a performanțelor energetice ale clădirilor, de folosire eficientă a resurselor energetice regenerabile locale, etc. și toate acestea de așa natură încât să se asigure și condițiile de confort higro-termic și vizual în spațiile deservite. Selectarea măsurilor adecvate se realizează pe baza criteriul energetic, economic (costul "optim") și altele. Printre aceste măsuri se numără în primul rând măsurile de conservare a energiei la nivelul clădirii, respectiv de creștere a performanțelor energetice ale anvelopei (hiperizolare elemente opace, hiperetanșare, creșterea performanțelor energetice ale elementelor vitrate). Măsurile sunt diferențiate în raport cu vechimea clădirilor (noi, existente).*

#### **1. INTRODUCERE**

În ultima perioada s-au înregistrat modificări substanțiale ale ponderii suprafețelor vitrate în bilanțul general al clădirilor [2]. Influența sistemului vitrat și în special a geamului asupra consumului de energie a fost examinată de mai mulți autori [1,6,8].

S-a căutat posibilitatea reducerii consumurilor de energie prin alegerea adecvată a configurației ferestrelor, materialelor utilizate, orientării, dimensiunilor, gazelor incluse în carcasa dintre geamuri și dinamicii acestora, sistemelor de umbrire [7], [8], sistemelor de control, respectiv creșterii potențialului de adaptare a caracteristicilor acestora la dinamica parametrilor mediului exterior, exigențele mediului interior și cererea consumatorului. Ferestrele sunt elementele cheie ale unei clădiri deoarece pot afecta toți parametrii de confort interior: vizual, termic, acustic și calitatea aerului.

Atenția crescândă la problemele de confort vizual și eficiență energetică care caracterizează clădirile secolului XXI a dus la dezvoltarea unor sisteme inovatoare de înaltă performanță cu geamuri dinamice, care au ca scop reducerea pierderilor de căldură și controlul radiațiilor solare primite, pentru a maximiza câștigul solar în timpul iernii și a-l minimiza vara, precum și pentru a asigura cele mai bune condiții de iluminare naturală, fără strălucire. Astfel de sisteme, numite ferestre inteligente, permit variația cantității de căldură (SHGC) și lumină (VLT) care pătrund prin suprafețele de sticlă după cum este necesar, menținând în același timp viziunea către exterior. Ferestrele dinamice, se dovedesc a fi mai eficiente decât sistemele statice tradiționale (geamuri selective low-e și dispozitive automate de umbrire) la reducerea consumului de energie pentru iluminat și aer condiționat și oferirea unui confort mai mare utilizatorilor. Proprietățile (SHGC) și (VLT) sunt definite la Partea a II-a.

Particularitățile specifice ale coeficientului de conductibilitate termică și de transmisie a luminii prin sticlă influențează semnificativ consumul de energie în clădiri.

Sistemele vitrate pot influența substanțial consumul de energie electrică al sistemelor de iluminat artificial, ventilare, încălzire și condiționare. Utilizarea ferestrelor moderne cu rezistență la transferul de căldură crescută poate reduce semnificativ pierderea de căldură a unei clădiri [9-12]. Astfel de ferestre folosesc sticlă cu acoperiri cu emisii reduse, care pot avea o valoare redusă a transmisiei luminii [11] și pentru a menține nivelul de iluminare naturală. Este necesară creșterea suprafețelor ferestrelor, care pot avea drept consecință o anumită creștere a pierderilor de căldură ale clădirii.

Suntem într-un moment de dezvoltare fără precedent al sistemelor vitrate iar selecția celor mai potrivite astfel de sisteme pentru clădirile nZEB este o acțiune complexă, cu impact major asupra performanțelor energetice, vizuale, ..., ale unei clădiri.

Deși s-au realizat diferite analize asupra performanțelor diferitelor sisteme vitrate, pe baza anumitor criterii, este absolut necesară analiza performanțelor energetice și luminoase ale diferitelor sisteme vitrate pe baza a mai multor criterii și în diferite locații (condiții climatice), pentru o alegere potrivită a sistemelor vitrate pentru o clădire nZEB.

Articolul oferă o analiză a diferitelor tipuri de geamuri dinamice de pe piață, cu control pasiv și activ, ilustrând utilizările potențiale ale acestora și beneficiile obținute în ceea ce privește eficiența energetică, confortul mediului și calitatea arhitecturală atât în construcțiile noi, cât și în cele existente recalificarea clădirilor.

## 2. Sisteme vitrate. Noțiuni generale

### 2.1. Componentele unui sistem vitrat

Sistemele vitrate sunt alcătuite dintr-un ansamblu de componente, interconectate între ele, cu rolul de a asigura transferul de lumină și căldură în și din interior, o bună integrare în elementele opace, o bună dinamică în activitățile de deschidere/închidere, izolare fonică, generare de energie, controlul fluxurilor de aer/gaze și funcțiilor specifice ale acestora. Principalele componente sunt: geamurile (unul sau mai multe); ramele; sistemele de umbrire exterioare/între cavități/interioare sau integrate în geamuri; sistemele de etanșare; cavitățile dintre geamuri vidate/umplute cu aer sau gaze (kripton/argon/xeon); sistemele de control al fluxurilor de gaze sau al luminii transmise.

În cele ce urmează se va pune accentul pe sistemele și componentele care permit economia de energie la nivelul clădirii.

### 2.2. Procesul de transfer energetic prin elemente vitrate

Fluxul termic poate traversa un element de construcție vitrat (fereastră, fațadă vitrată) prin mai multe procese de transfer termic:

- *Conducție*: procesul de transfer de căldură printr-un mediu solid, lichid sau gazos, datorită degajărilor termice rezultate în urma ciocnirilor dintre moleculele mediilor respective;
- *Convecție*: transferul de căldură realizat prin mișcarea gazelor sau lichidelor pe lângă suprafețe solide datorită prezenței unui ecart de densitate/temperatură;
- *Radiație*: transferul termic prin radiații electromagnetice din spectrul infraroșu, în vid sau în medii optice transparente, la radiația infraroșie.

Există două tipuri distincte de radiații prin:

– cu lungime de undă mare, respectiv transferul de căldură radiant între obiecte la temperaturi ambientale sau exterioare. Obiectele aflate la aceste temperaturi emit radiații cu  $\lambda = 3 - 50 \mu\text{m}$ .

– cu lungime de undă scurtă. Este cazul radiațiilor emise de Soare (la temperatură  $T_s =$  cca. 6000 K) și are loc în intervalul  $\lambda = 0,3 - 2,5 \mu\text{m}$  (radiațiile ultraviolete, vizibile și infraroșii solare).

- Transmitanță idealizată a unui geam cu un strat low - e scăzut proiectată, pentru un aport mare de căldură solară. Se transmite lumina vizibilă și radiațiile solare infraroșii cu lungimi de undă mici. Radiațiile infraroșii cu lungime de undă mare se reflectă în interior. Soluția este recomandată pentru un climat rece unde se dorește valorificarea eficientă a aperturilor solare.

- Procesul fizic este același dar nu există o suprapunere între aceste două intervale de lungime de undă. acoperirile care controlează trecerea undelor lungi sau a radiațiilor solare în aceste intervale, prin transmitere și / sau reflecție, pot contribui semnificativ la economiile de energie. tipurile de vitraj variază în transparența lor în diferite părți ale spectrului vizibil (Fig. 1.) Sticla cu nuanțe de verde transmite mai multă lumină solară din porțiunea verde a spectrului vizibil și absoarbe sau reflectă mai multe din celelalte culori atunci când se privește spre exterior. Sticla cu nuanțe de bronz absoarbe sau reflectă

albastru și verde și transmite culorile mai calde. Nuanțele neutre de gri absorb sau reflecta majoritatea culorilor în mod egal.

- Principiul este același și în afara spectrului vizibil. Majoritatea sticlelor sunt parțial transparente la unele radiații ultraviolete. Materialele plastice sunt relativ opace față de ultraviolete. Sticla este opacă radiațiilor infraroșii cu unde lungi și în general transparentă radiațiilor solare cu lungimi de unde scurte (infraroșii). Prin exploatarea strategică a acestor variații în tehnologia sistemelor vitrate s-au dezvoltat produse vitrate performante..

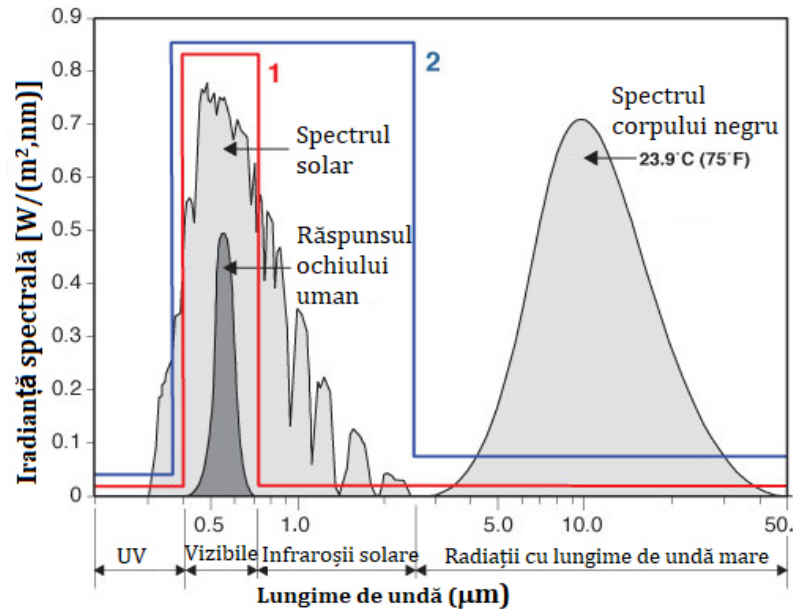


Fig. 1. Transmitanța spectrală ideală pentru geamuri și climate diferite (După: McCluney, 1996)

Proprietățile geamurilor determină transferul de energie radiantă. Patru dintre acestea au un impact major. acestea sunt: transmitanță, reflectanță, absorbanță și emisie (Fig. 2).

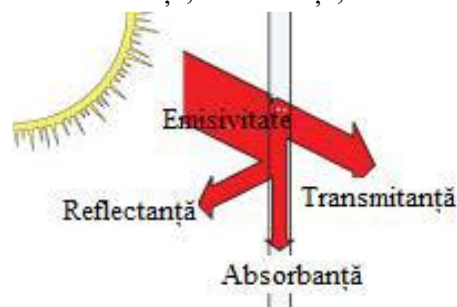


Fig. 2. Proprietățile de bază ale sistemelor vitrate care influențează transferul de energie radiantă

**Transmitanța:** se referă la procentul de radiații care poate trece prin geamuri; poate fi definită pentru diferite tipuri de lumină sau energie (transmitanță vizibilă, transmisie UV, transmitanță totală a energiei solare): Transmiterea luminii vizibile determină eficiența unui tip de sticlă în furnizarea luminii de zi și o vedere clară prin fereastră. Sticla vopsită are o transmisie vizibilă mai mică decât cea transparentă. Ochiul uman este sensibil la lumină la lungimi de undă  $\lambda_e$  (0,4; 0,7)  $\mu\text{m}$  având sensibilitatea de vârf la 0,55  $\mu\text{m}$ , iar la capetele roșii și albastre ale spectrului sensibilitate este mai mică. Aceasta este denumită sensibilitatea fotică a ochiului. Radiația solară conține cca. 45 % radiații în spectrul vizibil și în consecință, peste jumătate din energia soarelui este invizibilă pentru ochi (cca. 50 % sunt

radiații cu lungimi de undă în "aproape infraroșu" și cca 5% în spectrul ultraviolete (UV). Transmitanța totală a energiei solare descrie modul în care vitrajul răspunde la întregul spectrul solar și este mai util în caracterizarea cantității de energie solară totală transmisă de vitraj.

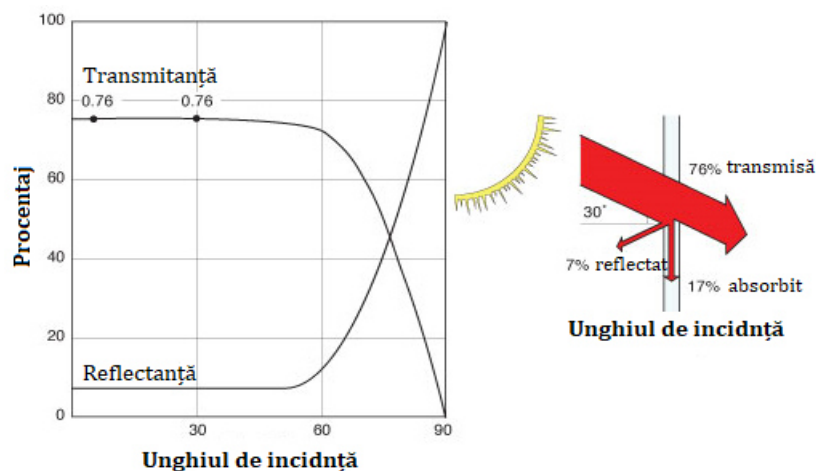


Fig. 3. Radiția solară transmisă și reflectată de un geam clar cu grosimea de 1/4-inch este o funcție de unghiul de incidentă solară

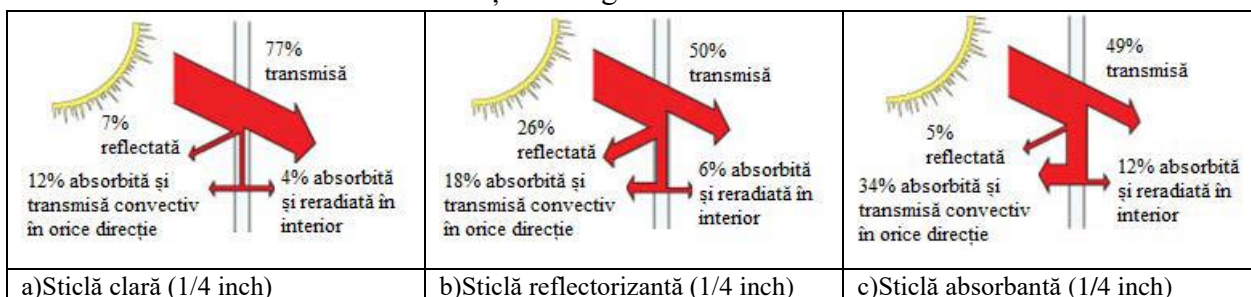


Fig. 4. Transmiterea energiei solare prin trei tipuri de sticlă în condițiile conform standard ASHRAE

Tehnologiile vitrajului recente permit un bun control al modului în care se comportă materialele vitrate la impactul cu radiații solare cu lungimi de undă din-afara spectrului vizibil. În aceste tehnologii se modifică proprietățile de bază ale materialului de substrat (sticlă, plastic) și acoperirile care se pot fi adăugate pe suprafețele substraturilor. O fereastră optimizată pentru iluminarea zilei și pentru reducerea câștigurilor de căldură solare generale ar trebui să transmită o cantitate adecvată de lumină în porțiunea vizibilă a spectrului, excluzând în același timp câștigul de căldură inutil din partea spectrului solar cu radiații infraroșii apropiate.

**Reflexia.** Interacțiunea unei radiații solare cu o suprafață se desfășoară diferit în raport cu caracteristicile mediului din care vine și cele ale mediului cu care interacționează conform principiului lui Snell (Fig. 5.a, Fig. 5b), având drept rezultat un fenomen de reflexie și altul de refracție. În raport cu caracteristicile suprafeței (netedă, sau nu) reflexia poate fi speculară sau difuză (Fig. 5.c).

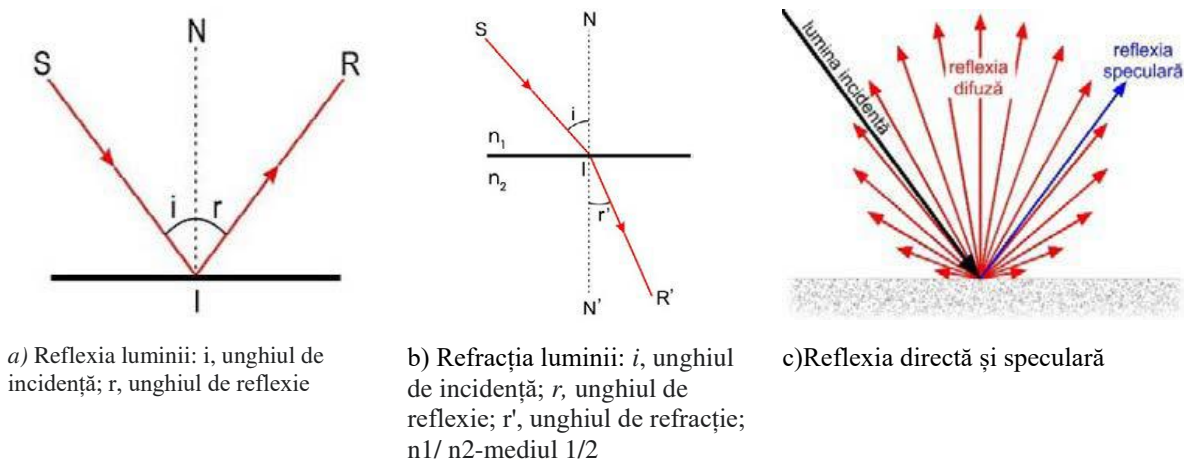


Fig. 5. Reflexia și refracția luminii la interacțiunea undă - suprafață sticlă/alt mediu

Reflectivitatea naturală a sticlei depinde de tipul materialului de geam, de calitatea suprafeței de sticlă, de prezența acoperirilor și de unghiul de incidență a luminii. Cu cât este mai mare unghiul de incidență, cu atât mai mult se reflectă lumina decât se transmite sau se absoarbe (vezi figura din dreapta). sticla clară reflectă 50% sau mai mult din lumina soarelui lovind-o în unghiuri mai mari de aproximativ  $80^\circ$ .

Reflectivitatea diferitelor tipuri de sticlă este evidentă în condiții de lumină scăzută. Suprafața de pe partea mai strălucitoare acționează ca o oglindă (cantitatea de lumină care trece prin fereastră din partea mai întunecată este mai mică decât cantitatea de lumină reflectată din partea mai deschisă). Efectul poate fi observat din exterior în timpul zilei și din interior în timpul nopții. Pentru aplicații speciale, când reflectările suprafeței sunt nedorite (adică, vizualizarea mărfurilor printr-o vitrină într-o zi strălucitoare), acoperirile speciale pot elimina practic acest efect reflectorizant. Majoritatea acoperirilor se reflectă în toate regiunile spectrului. În ultimii douăzeci de ani, cercetătorii au aflat foarte multe despre proiectarea acoperirilor care pot fi aplicate pe sticlă și plastic pentru a reflecta în mod preferențial doar lungimile de undă selectate ale energiei radiante. Baza pentru acoperiri de înaltă performanță Low-e a constituit variația reflectării energiei din infraroșu îndepărtat și apropiat.

**Absorbantă.** Este proprietatea sticlei de a absorbi/ reține o parte din energia incidentă. Energia absorbită de sticlă este transformată în căldură, ridicând temperatura sticlei.

Absorbția sticlei este crescută de aditivii din sticlă care absorb energia solară (Dacă absoarbe lumina vizibilă, sticla pare întunecată. Dacă absoarbe radiații ultraviolete sau aproape infraroșu, nu va exista o schimbare mică sau deloc de aspect vizual). Sticla transparentă absoarbe foarte puțină lumină vizibilă, în timp ce sticla cu nuanțe întunecate absoarbe o cantitate considerabilă. Când o sticlă „absorbantă de căldură” este expusă la soare, se simte mult mai fierbinte la atingere decât sticla limpede. Sticlele absorbante au nuanțe de gri, bronz sau albastru-verde. Sticla absorbantă se utilizează în general pentru scăderea coeficientului de creștere a căldurii solare și pentru controlul strălucirii contribuind la reducerea sarcinii de răcire a clădirii și costurilor echipamentelor de climatizare. Trebuie precizat că o altă metodă de reducere a sarcinii de răcire constă în vehicularea unui flux de aer rece printre foile de geam. Deci, absorbția nu este cea mai eficientă modalitate de a reduce sarcinile de răcire.

**Notă:** Toate sticlele și majoritatea materialelor plastice sunt, în general, bune absorbante ale energiei infraroșii

de mare lungime de undă. Este motivul pentru care sticla clară se utilizează la sere: permit transmiterea energiei solare intense, dar blochează retransmisia energiei termice cu temperaturi scăzute generate în seră și radiată înapoi la sticlă.

**Emisivitatea.** Energia solară absorbită de sticlă este preluată și transportată la distanță prin mișcarea aerului, sau reradiată de suprafața sticlei. Emisivitatea este practic capacitatea unui material de a radia energie. Geamul ferestrei, împreună cu alte componente ale ferestrei (ramă, draperii, ...) emit / radiază căldură sub formă de energie infraroșie cu unde lungi. Este știut faptul că lungimea de undă a energiei variază în raport cu temperatura suprafeței. Emisia de căldură radiantă este una dintre componentele transferului de căldură pentru o fereastră. Reducerea emisiilor de căldură ale ferestrei poate îmbunătăți mult proprietățile sale izolatoare. (Sticla transparentă standard emite 84% din energia posibilă pentru un obiect la temperatura camerei iar pentru radiațiile cu unde lungi care lovesc suprafața sticlei, 84% sunt absorbite și doar 16% sunt reflectate. Sticlele cu acoperiri low-E au o emisivitate de 0,04. Acest geam ar emite doar 4% din energia posibilă la temperatura sa și astfel ar reflecta 96% din radiațiile infraroșii cu undă lungă incidentă.)

### 2.3. Elemente pentru cuantificarea performanței energetice ale ferestrelor

Performanțele energetice (termică și luminoasă) ale geamurilor sunt determinate de: transmitanța termică a sistemului de geamuri  $\square$  Ug; transmitanței solare  $\square$  Tsolg; transmitanței vizibile /luminoasă  $\square$  VTg/ TL; coeficientului de aporturi solare (câștig al căldurii solare)/ factorul de transmisie totală a energiei solare  $\square$  SHGCg; rezistenței la condensare  $\square$  CR și distribuției temperaturii în partea centrală a sistemului de geamuri; (conform ISO 15099 și ISO / EN 10077).

Precizăm faptul că în urma calculelor de evaluare a performanțelor luminoase și energetice se determină mult mai mulți indici de performanță, cum ar fi: reflectanțele solare; reflectanțele vizibile; absorbțiile stratului; transmitanța UV; factorul secundar de transfer de căldură spre interior; coeficientul de transmitanță termică – U; coeficienții de umbrire – SC; factorii energetici de transmisie, absorbție și refracție: TE, RE, AE și alte caracteristici [31,43].

Pentru înțelegerea ușoară a celor ce urmează vom defini succint principalele caracteristici energetice (termică și luminoasă):

- **Coeficientul de transmitanță solară /factorul U/:** Când există o diferență de temperatură între interior și exterior, căldura se pierde sau se câștigă prin rama ferestrei și vitraj prin efectele combinate ale conducției, convecției și radiațiilor cu unde lungi. Factorul U al unui ansamblu de ferestre reprezintă rata totală/globală de transfer a căldurii sau valoarea de izolare.

- **Coeficient de creștere a căldurii solare /(SHGC)/:** La trecerea radiației solare directe sau indirecte prin fereastră se poate obține căldură, indiferent de temperatura exterioară. Capacitatea de a controla acest aport de căldură prin ferestre este caracterizată prin prisma coeficientului de "câștig de căldură solar (SHGC)" sau "coeficient de umbrire (SC)" al ferestrei..

- **Transmitanța vizibilă /(VT)/** denumită și transmitanța luminii vizibile /(VLT)/, este o proprietate optică care indică cantitatea de lumină vizibilă transmisă prin geam. Afectează

energia oferind lumină de zi care creează oportunitatea de a reduce iluminatul electric și încărcările sale de răcire asociate.

• **Scurgeri de aer.** Pierderea și câștigul de căldură se datorează și infiltrațiile / exfiltrațiile de aer, prin fisuri din jurul ferestrelor și ramelor ansamblului ferestrei. Efectul este cuantificat în general în raport cu cantitatea de aer (metri cubi sau metri cubi pe minut) care trece printr-o zonă unitară a ferestrei (metru pătrat) în condiții de presiune date.

Parametrii principali utilizați în caracterizarea energetică a geamurilor din sistemele vitrate sunt  $\tau_v$  și  $g$  (Rel. 1; Fig. 6). Ceilalți parametri sunt opționali pentru a furniza informații suplimentare. Transmitanța totală a energiei solare  $g$  (SHGC) se calculează ca suma transmitanței solare directe  $\tau_e$  și factorul secundar de transfer de căldură  $q_i$  al geamului către interiorul acestuia din urmă rezultat din transferul de căldură prin convecție și radiația IR de undă lungă a acelei părți a radiației solare incidente absorbită de geamuri.

$$g = \tau_e + q_i \text{ (Rel. 1)}$$

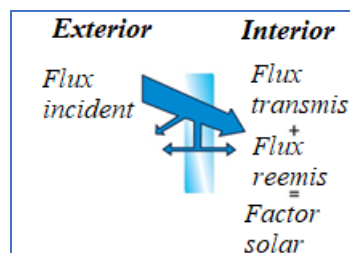


Fig. 6. Proprietățile de bază ale sistemelor vitrate care influențează factorul solar

Fluxul radiant solar incident  $\phi_e$  este împărțit în următoarele trei părți:

- partea transmisă,  $\tau_e \phi_e$ , unde  $\tau_e$  - este transmitanța solară directă;
- partea reflectată,  $\rho_e \phi_e$ , unde  $\rho_e$  - este reflectanța solară directă;
- partea absorbită,  $\alpha_e \phi_e$ , unde  $\alpha_e$  - este absorbția solară directă.

Relația dintre cele trei caracteristici este:

$$\tau_e + \rho_e + \alpha_e = 1, \text{ [Rel. 2]}$$

**Factorii de transmisie, de reflexie și de absorbție energetică** - sunt raporturile dintre fluxurile energetice transmise, reflectate sau absorbite și fluxul energetic incident.

Transmitanța solară directă  $\tau_e$  a geamului se calculează utilizând următoarea formulă:

$$\tau_e = \frac{\sum_{\lambda=300nm}^{250nm} S_{\lambda} \tau(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300nm}^{250nm} S_{\lambda} \Delta\lambda}, \text{ [ Rel. 3]}$$

unde:  $S_{\lambda}$  - este distribuția spectrală relativă a radiației solare;

$\tau(\lambda)$  - este transmitanța spectrală a geamului;

$\Delta\lambda$  - este intervalul de lungime de undă.

Reflectanța directă solară a geamului  $\rho_e$  se calculează utilizând următoarea formulă:

$$\rho_e = \frac{\sum_{\lambda=300nm}^{250nm} S_{\lambda} \rho(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300nm}^{250nm} S_{\lambda} \Delta\lambda}, \text{ [ Rel. 4]}$$

unde:  $S_{\lambda}$  - este distribuția spectrală relativă a radiației solare;

$\rho(\lambda)$  - este reflectanța spectrală a geamului;

$\Delta\lambda$  - este intervalul de lungime de undă.



**Factorii de transmisie și de reflexie luminoasă** - sunt raporturile dintre fluxurile luminoase transmise și reflectate și fluxul luminos incident.

Transmitanța luminii  $\tau_v$  a geamului se calculează utilizând următoarea formulă:

$$\tau_v = \frac{\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} D_{\lambda} \tau(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} D_{\lambda} V(\lambda) \Delta\lambda}, \text{ [ Rel. 5]}$$

unde:

$D_{\lambda}$  - este distribuția spectrală relativă a iluminantului D65 [7];

$\tau(\lambda)$  - este transmitanța spectrală a geamului;

$V(\lambda)$  - este eficiența luminoasă spectrală pentru vederea fotică care definește observatorul standard pentru fotometrie [7];

$\Delta\lambda$  - este intervalul de lungime de undă.

**Reflectanța luminoasă**  $\rho_v$  a geamului se calculează utilizând următoarea formulă:

$$\rho_v = \frac{\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} D_{\lambda} \rho(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} D_{\lambda} V(\lambda) \Delta\lambda}, \text{ [ Rel. 6]}$$

Compararea exactă a ferestrelor se realizează pe baza acestor patru concepte la care se mai adaugă **raportul Lumina/Câștig** solar și raport dintre **VT / SHGC**. Acestea au fost standardizate.

### 3. Metodologia de lucru

Pentru a identifica cele mai potrivite sisteme vitrate pentru clădirile tip nZEB s-au analizat diferite sisteme vitrate dezvoltate recent.

Analizele realizate au vizat de fapt aspectele energetice (termice și luminoase). Specialiști de marcă în domeniul studiilor comportamentului clădirilor pe baza modelelor virtuale au dezvoltat și validat modele de comportament al sistemelor vitrate per ansamblu și inclusiv pe fiecare componentă în regim dinamic (de climă exterioară, de condiții ale climatului interior, ...).

În cadrul acestei lucrări s-au utilizat software dedicate („WINDOW”, dezvoltat de Berkeley Lab WINDOW) sau software integratoare de algoritmi pentru modele de analiză a comportamentului dinamic și performanțelor termice și solar-optice ale sistemelor de vitrare (EnergyPlus, Trnsys, WinCalc, ...). WINDOW este un software de simulare utilizat pentru a determina proprietățile termice și optice ale tipurilor de sticlă și ferestre, care utilizează bazele de date cu caracteristicile sticlelor, ramelor, gazelor, ...

În algoritmi pentru performanțele termice și solar-optice ale sistemelor de geamuri se consideră sistemul de geamuri ca o serie de straturi și goluri, în care unele straturi pot fi în contact direct între ele (adică laminate). Algoritmi iau în considerare și dispozitivele de umbrire care sunt tratate ca straturi plane cu caracteristici suplimentare (fluxul de aer în jurul sau prin ele). Golurile dintre geamuri pot fi umplute cu gaze pure sau amestecuri de gaze. Există de asemenea posibilitatea ca gazele dintre acestea să poată fi evacuate într-o măsură mai mare sau mai mică (respectiv să prezinte diferite niveluri de vid). Algoritmi permit calcularea devierii golurilor de geam, precum și efectele deformării asupra performanței termice.

Proprietățile optice sunt evaluate atât pentru straturile de geamuri speculare, cât și pentru împrăștierea straturilor de geamuri și umbrire. Proprietățile optice de bandă largă, cum

ar fi  $T_{sol}$ ,  $T_{vis}$  etc. sunt calculate utilizând datele spectrale-optice ale materialului de bază asupra cărora se aplică sursa de energie, sub forma spectrală a acesteia, respectiv prin intermediul fișierul standard. Calculele optice mulți-strat sunt efectuate spectral și rezultatele benzii largi sunt calculate prin integrarea post-spectrală.

Calcularea performanțelor termice și solare-optice ale întregului sistem vitrat/ferestre (U, VT, SHGC) se realizează cu ajutorul unor algoritmi special realizați. Fereastra este un sistem tridimensional, motiv pentru care indicii săi de performanță sunt calculați ca medii ponderate pe suprafață ale unui centru dimensional al numerelor de performanță ale geamurilor și ale cadrului și marginii bidimensionale ale numerelor de performanță ale geamurilor cu ajutorul software LBNL THERM.

Analiza efectelor combinate optice și energetice ale transferului de căldură și masă (deplasare aer prin interiorul/exteriorul sistemului vitrat și deplasare gaze în cavitățile sistemului), prin sistemul vitrat se poate realiza, cu o bună precizie, în programul de analiză multifizic COMSOL, cu ajutorul metodei elementelor finite prin rezolvarea ecuațiilor cuplate de căldură și flux de fluid în două dimensiuni. Conducerea, convecția și radiația sunt simulate numeric.

Notă: ”Îmbinarea implicită COMSOL este utilizată pentru a construi domeniile de calcul. Analiza de sensibilitate a rezultatelor la dimensiunea ochiurilor se efectuează și se determină a fi mai mică de 1%. Disiparea vâscoasă nu este abordată și se presupune că toate proprietățile termofizice sunt constante, cu excepția termenului de flotabilitate al ecuației impulsului  $y$  în care se utilizează aproximarea Boussinesq. Se utilizează soluția paralelă iterativă directă (PARDISO). □□

Există multe alte instrumente software pentru înțelegerea și analiza impactului alegerilor de ferestre asupra clădirilor (rezidențiale, de birouri, comerciale). Acestea sunt: instrumente de analiză specifice ferestrelor; instrumente de îndrumare; software-ul pentru întreaga clădire.

Fiecare vitraj absoarbe, transmite și reflectă o parte a radiației solare primite, în funcție de materialul geamului (respectiv conductivitatea, emisivitatea geamurilor, absorbanta, reflectanța), de unghiul de incidență al radiației solare, de stratul de gaz dintre geamuri (tip gaz și dimensiuni lamă), de configurație (2/3/4 geamuri). Datele optice și energetice ale ferestrei diferă de la caz la caz.

În lucrarea dată s-au analizat performanțele luminoase și termice a mai multor structuri de geamuri, (vezi tabelul 1, Partea a III-a), pentru climatul din Iași cu aceeași formă geometrică și cu aceeași tip de ramă din PVC. În lucrare, caracteristicile energetice și optice ale vitrajelor s-au determinat cu ajutorul softului specializat WINDOW. Acest soft conține: bazele de date pentru caracteristicile optice și energetice ale tuturor geamurilor omologate în lume (inclusiv cele active/inteligente); bazele de date ale tâmplăriei; bazele de date ale sistemelor de umbrire; bazele de date ale straturilor de gaze dintre geamuri, ...

## DYNAMIC GLASS SYSTEMS FOR nZEB BUILDINGS

### Part I. Arguments for the use of glazed systems in the effort to reduce energy consumption

#### *Abstract*

*Recent major changes in the field of buildings, regarding their concept (promotion of nZEB buildings) and the level of energy performance required of buildings and the types of primary energy resources (renewable, recoverable) used to generate energy needed to serve nZEB buildings have required the search for means to increase the energy performance of buildings, efficient use of local renewable energy resources, etc. and all this in such a way as to ensure the conditions of hygro-thermal and visual comfort in the spaces served. The selection of appropriate measures is made on the basis of energy, economic criteria ("optimal" cost) and others. These measures include first of all the measures of energy conservation at the level of the building, respectively of increasing the energy performance of the tire (hyper-insulation of opaque elements, hyper-sealing, increase of the energy performance of the glazed elements). The measures are differentiated in relation to the age of the buildings (new, existing).*

#### **Bibliografie**

- 1 Alessandro, Ubaldo A. , F. Fiorito, and F. Martellotta, *Smart Electrochromic Windows to Enhance Building Energy Efficiency and Visual Comfort*, Energy, mars, 2020
- 2 ALDAWOU, A. *Conventional fixed shading devices in comparison to an electrochromic glazing. Energy and Buildings*, 59, pp. 104-110.
- 3 ATANASIU B., *Implementarea clădirilor cu consum de energie aproape zero (nZEB) în România – Definiție și foaie de parcurs; Institutul European pentru Performanța Energetică a Clădirilor (BPIE)*, 2012
- 4 Cannavale, A., Ayra, U., & Martellotta, F. (2018). *Innovative electrochromic devices: Energy savings and visual comfort effects*, Energy Procedia, 148, pp. 900-907.
- 5 Casini, M., *Active dynamic windows for buildings: A review. Renewable Energy*, 2018, 119, pp. 923-934.
- 6 Costanzo, V., Evola, G., & Marletta, L., *Thermal and visual performance of real and theoretical thermochromic glazing solutions for office buildings. Solar Energy Materials & Solar Cells*, pp. 110-120.
- 7 COTOROBAI Victoria și colaboratorii ”*Sisteme de valorificare a resurselor energetice regenerabile și recuperabile*”, Vol I și II, Editura MATRIX-ROM, București, 2019
- 8 Favoino, F., Loonen, R., Doya, M., Goia, F., Bedon, C., & Babich, F., *Building Performance Simulation and Characterization of Adaptive Facades - Adaptive Facade Network*, 2018, Delft: TU Delft
- 9 Feng, W., Zou, L., Gao, G., Wu, G., Shen, J., & Li, W., *Gasochromic smart window: optical and thermal properties, energy simulation and feasibility analysis. Solar Energy Materials and Solar Cells*, 144, 2016,
- 10 Fries, K., Fink-Straube, C., Menning, M., & Schmidt, H. (2011). *Photochromic coatings. In Sol-Gel Technologies for Glass Producers and Users* (pp. 251-259). Springer, Boston, MA.
- 11 G.Z. Brown, *Sun, Wind, and Light: Architectural Design Strategies*, Available from LBNL
- 12 Gardiner, D., Morris, S., & Coles, H., *High efficiency multistable switchable glazing using smectic A liquid crystals. Solar Energy Materials & Solar Cells*, 93, 2009, pp. 301-306.
- 13 Gehbauer, Christoph, David Blum, Taoning Wang, and Eleanor S Lee. "An assessment of the load modifying potential of model predictive controlled dynamic facades within the California context." Energy and Buildings 210 (2020) 109762.
- 14 Lee, Eleanor S, L. L. Fernandes, T. Wang, S., E. Selkowitz, S. Mesh, Y. Frank, și R.. Demonstration of Energy Efficient Retrofits for Lighting and Daylighting in New York City

- Office Buildings*, 2017.
- 15 J. Carmody, S. Selkowitz, E. Lee, D. Arasteh, and T. Willmert, *Window Systems for High-performance Buildings*, aprilie, 2004
  - 16 Oltean, M., *Switchable Glass: A possible medium for Evolvable Hardware*. (pp. 1-8). Cluj-Napoca: Babe-Bolyai University, 2006
  - 17 S., Iavarone, R., Mastantuano, S., Mantova, M., & D'Ausilio, L. (2018). *Adaptive and dynamic façade: a new challenge for the built environment*.
  - 18 Seung-Won, O., Sang-Hyeok, K., Jong-Min, B., & Tae-Hoon, Y. (2018). *Optical and Thermal Switching of Liquid Crystals for Self-Shading Windows*. *Advanced Sustainable Systems*, pp. 1-6.
  - 19 Sibilio, S., Iavarone, R., Mastantuano, S., Mantova, M., & D'Ausilio, L., *Adaptive and dynamic façade: a new challenge for the built environment*. World Heritage and Knowledge. XVI International forum Vie dei Mercanti, (pp. 1-13). Capri, 2018
  - 20 Tällberg, R., Petter Jelle, B., Loonen, R., Gao, T., & Hamdy, M., *Comparison of the energy saving potential of adaptive and controllable smart windows: A state-of-art review and simulation studies of thermochromic, photochromic and electrochromic technologies*. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, (200), 2019
  - 21 Wittwer, V., Datz, M., Ell, J., Georg, A., Graf, W., & Walze, G. (2004). Gasochromic windows. *Solar Energy Materials & Solar Cells* (84), pp. 305-314.
  - 22 Worldwide Energy Efficiency Technology Roadmap project
  - 23 **STANDARDE**  
ASHRAE standard 140-2017 - standard method of test for evaluation of building energy analysis programs; EN 410; EN 673; EN 12898; ISO / EN 10077; ISO 15099
  - 29 **SOFTWARE**  
Software: METEONORM; TRNSYS; WINDOW; COMSOL; OPTICS; IGDB- International Glazing Database; CGDB - "Complex glazing systems" Database; RADIANCE; DOE
  - 36 **Site-uri WEB**  
37 <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/geoopt/refr.html#c1>  
38 <https://suntuitiveglass.com/about-pleotint/>; [www.sageglase.com](http://www.sageglase.com)  
39 <https://windows.lbl.gov/electrochromic-and-thermochromic>



## **SISTEME VITRATE DINAMICE PENTRU CLĂDIRILE nZEB**

### **Partea a II-a. Caracterizare sisteme vitrate dinamice**

**Victoria COTOROBAI<sup>1</sup>, Iulia NEGARĂ<sup>2</sup>, I.C. BRANCA, Ioan-Cristian COTOROBAI<sup>3</sup>,  
Vasilică CIOCAN<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi

<sup>2</sup>Universitatea Tehnică a Moldovei

<sup>3</sup>S.C. DAS Instalații, Iași

#### **Rezumat**

*Fereastra viitorului, emergentă în tehnologiile sistemelor vitrate actuale, are la bază un nou concept. Aceasta nu mai este doar o simplă bucată de sticlă acoperită, integrată în perete, ci devine „**aparatus multifuncțional integrat în perete**”. Aceste sisteme vitrate, dinamice, includ ferestre comutabile și/sau sisteme de umbrire mobile, cum ar fi învelișuri electrocromice sau gazocromice comutabile și sisteme de fațade duble ventilate/FDV/, cu proprietăți optice și termice variabile, în raport cu clima, preferințele ocupanților, sistemul de construcție, cerințele impuse clădirilor. Specialiștii în domeniu □John Carmody and colab., □ au demonstrat că, prin gestionarea activă a iluminatului și al răcirii, ferestrele inteligente ar putea contribui la: reducerea necesarului de energie electrică în orele de vârf cu 20-40% în multe dintre clădirile rezidențiale, de birouri și chiar comerciale; pot asigura iluminatul natural pentru mai mult timp; pot îmbunătăți confortul și pot spori productivitatea în case și birouri. Aceste tehnologii pot oferi o flexibilitate maximă în gestionarea cererii variabile și a consumului de energie, în clădiri dar și în mediul de utilități emergent conform actualelor reglementări. Aceste sisteme oferă comunității de construcții, mijloace de răspuns la exigențele ecologice actuale (impact minim asupra mediului: resurse minime utilizate; efecte minime asupra mediului.*

#### **1. INTRODUCERE**

O fereastră ideală ar trebui să aibă proprietăți optice adaptabile facil la schimbarea condițiilor climatice sau a preferințelor ocupanților, oferind un răspuns care să permită reducerea consumului de energie. Cercetătorii au lucrat deja la noile tehnologii de geamuri pentru următoarea generație de ferestre inteligente. După mulți ani de dezvoltare, diverse tehnologii de ferestre comutabile au trecut fazele de testare a prototipului și unele au început să fie disponibile comercial.

Există două tipuri (de bază) de ferestre comutabile - dispozitive pasive care răspund direct la o singură variabilă de mediu, cum ar fi nivelul de lumină sau temperatură, și dispozitive active care pot fi controlate direct ca răspuns la orice variabilă, cum ar fi preferințele ocupanților sau cerințele sistemului de încălzire și răcire. Dispozitivele pasive includ sticlele fotocromice și termocromice; iar dispozitivele active includ sticlele cu cristale lichide, particule suspendate și electrocromice.

## 2. Descriere sisteme dinamice

### 2.1.Fereastra termocromică

Această tehnologie este cea mai avansată și cea mai simplă de realizat tehnologie dinamică. Este disponibilă în prezent pe piață. Ferestrele termocromice sunt instalate în multe clădiri rezidențiale și comerciale din întreaga lume. Sticla termocromă folosește pur și simplu căldura din lumina directă a soarelui pentru nuanțarea ferestrelor atunci când este necesar. Ferestrele termocromice (TCW) își pot schimba culoarea de la o stare clară la întunecată în funcție de temperatură. De fapt, aceste tipuri de ferestre au capacitatea de a modula lumina și căldura solară transmisă prin fereastră în funcție de temperatura și radiația solară directă (Tällberg, și colab., 2019). Cu cât lumina soarelui este mai directă și mai intensă pe sticlă, cu atât sticla va deveni mai întunecată. Acest lucru permite ferestrelor să reducă substanțial aportul de căldură care intră vara în clădire și deoarece transmisia prin sticlă se adaptează continuu pe o gamă de temperaturi, se realizează un echilibru natural și o utilizare maximă a luminii naturale. Printr-un design adecvat, ferestrele termocromice contribuie la reducerea orbirii, decolorării și zgomotului și sporesc siguranța. În alcătuirea unei astfel de ferestre intră un strat de material termocrom plasat între două geamuri de sticlă. Peste un anumit prag de temperatură, apare o nuanță metalică și materialul termocrom reflectă radiațiile infraroșii. Consecința este că aporturile solare sunt controlate în perioada de vară și permit reducerea necesarului de răcire. Prin utilizarea acestui tip de tehnologie, performanțele ferestrei depind în totalitate de condițiile climatice exterioare. Astfel, oxizii de metal sunt folosiți mai ales pentru construirea fațadelor. Pentru aplicațiile din construcții se utilizează de regulă VO2 dopat cu ioni de tungsten sau cu fluor pentru a regla tranziția de temperatură a acestui oxid de metal. De obicei, în apropierea geamului interior se amplasează un strat de emisivitate scăzută (Costanzo, Evola și Marletta, 2016).

*Notă: Ferestrele termocromice au de fapt în alcătuirea lor un strat intermediar de siguranță obișnuit, realizat din extrudarea materialelor termocromice speciale în polivinil butiral (PVB), laminate între două bucăți de sticlă termoizolată sau temperată și plasate într-o unitate de sticlă izolată (IGU) cu o acoperire cu emisivitate scăzută. De asemenea, se recomandă un distanțier pentru marginile calde. Datorită designului laminat, un laminat din sticlă termocromă poate fi utilizat ca element de construcție pentru a îndeplini majoritatea codurilor de construcție și a cerințelor de proiectare. Stratul intermediar poate fi laminat la aproape orice nuanță sau grosime a sticlei și poate fi utilizat cu straturi de înaltă performanță Low-e și sticlă specială. Ferestrele, ușile și luminatoarele operabile sau fixe pot fi realizate cu ajutorul sticlei termocromice.*

În Figura 7 este prezentat modul de funcționare al geamului termochrom conform (Costanzo, 2016). Diagrama unei unități tipice de sticlă izolată, amplasată în poziție verticală pentru o fereastră termocromă "Suntuitive®" este prezentată în Figura 8. Ferestrele termocromice pot ajuta la gestionarea nevoilor clădirii de aporturi pasive de căldură solară și lumină naturală, nevoi extrem de schimbătoare. Deci se pot reduce costurile asociate cu încălzirea, aerul condiționat și iluminatul artificial. Ferestrele termocromice nu necesită fire,

surse de alimentare sau echipamente de control și pot fi instalate de către antreprenorii de geamuri, la fel ca ferestrele convenționale. Aceste caracteristici, împreună cu un cost mai mic, fac ferestrele termocromice extrem de atractive în comparație cu abordările electrocromice sau alte tipuri de ferestre cu nuanțe variabile..

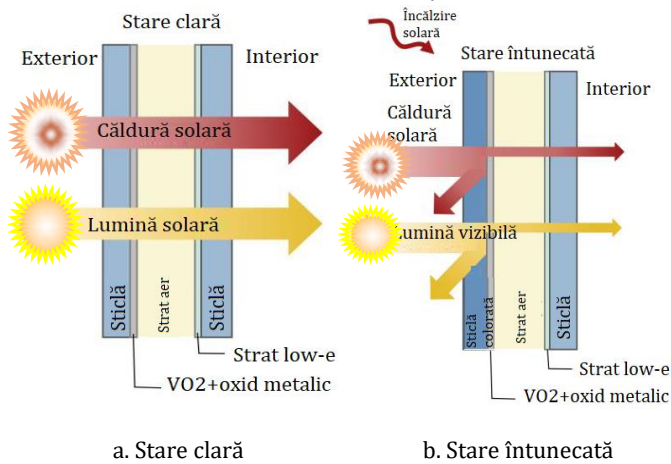


Fig.7 Mecanismul de operare a sticlei termocrome (după Costanzo, Evola, & Marletta, 2016)

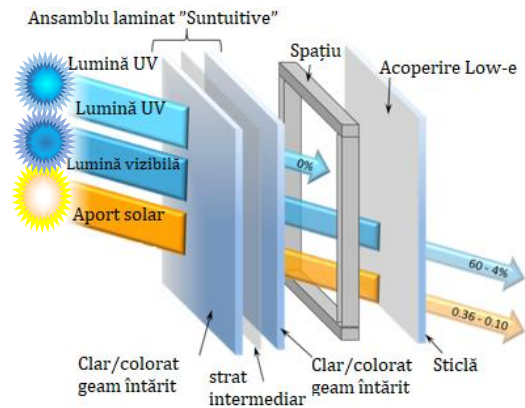


Fig. 8 Diagrama unei unități de sticlă termocromă verticală (după Pleotint, LLC)

**Exemplu:** O unitate de sticlă izolată transparentă care încorporează un laminat termocrom și acoperire Low-e poate avea o transmisie de lumină vizibilă între 54% și 8%, un coeficient de câștig de căldură solară de la 0,36 și 0,16 și o valoare U de 0,24. Performanța poate fi aleasă prin selectarea diferitelor nuanțe de sticlă, acoperiri Low-e și spații de aer. Ferestrele nuanțează pur și simplu, la un nivel dorit, pe baza expunerii la soare în fiecare zi a anului, în orice moment al zilei și pentru orice orientare a clădirii.

Ferestrele termocromice sau Suntuitive® Glass, sunt disponibile comercial din 2010 de la Pleotint, LLC. Începând cu mijlocul anului 2015, unitățile cu dimensiunile de 1.6 m x 3.6 m au fost produse cu strat intermediar termocrom și instalate în întreaga lume. Datele pentru stratul intermediar Suntuitive sunt disponibile în baza de date internațională de geamuri (IGDB), iar evaluările sunt disponibile prin National Fenestration Rating Council (NFRC) din S.U.A.

### Observații.

1.Există ferestre care se schimbă între împrăștierea clară și lumina în raport cu schimbarea temperaturii. Procesul de schimbare este determinat de materiale cu schimbare de fază la temperatura critică a soluției mai scăzute (LCST). Acestea au fost denumite în trecut în mod impropriu termocromice dar ele sunt de fapt termotrope, deoarece există o schimbare de fază sau o modificare a stării materialelor și nu există nicio schimbare cromatică în aceste sisteme.

2.De asemenea există sisteme bazate pe cristale lichide între polarizatoare numite uneori termocromice, dar aceste sisteme cu cristale lichide sunt, de asemenea, mai bine descrise ca fiind termotrope.

## 2.2. Ferestre electronice

Cea mai promițătoare tehnologie de comutare a ferestrelor este ferestra electrocromică/ electrochromic window (EC/ ECW). Ferestrele electrocromice sunt capabile să-și schimbe culoarea de la o stare limpede la una întunecată prin reacții de reducere sau oxidare ca răspuns la stimulii electrici externi. Acest lucru va ajuta la reducerea luminii și a căldurii solare transmise prin geam. Vitrajul electrocromic este format din cinci straturi Figura 10.

Acestea sunt compuse din (Casini, 2018): Stratul exterior realizat din oxid conductiv transparent; Strat de acumulare de electroni care acționează ca un contraelectrod ( $\text{Li}_x\text{V}_2\text{O}_5$ ); Strat de conductor ionic sau electrolit (de obicei  $\text{LiAlF}_4$ ); Stratul de electrod (de obicei  $\text{WO}_3$  sau  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ); Stratul exterior realizat din oxid conductiv transparent; Filmul subțire electrocromic se depune pe un substrat de sticlă și are de obicei o grosime de aproximativ un micron. Stiva este formată din acoperiri de oxid metalic ceramic cu trei straturi electrocomice intercalate între doi conductori electrice transparente. Prin aplicarea unei tensiuni, ionii  $\text{Li}^+$  sunt transferați din stratul de acumulare la electrod și comută culoarea într-o stare întunecată (Iuliano, și colab., 2016). Acest lucru se realizează în stratul de acumulare (colorare anodică din cauza pierderii ionilor) sau în stratul de electrod (colorare catodică datorită câștigului ionilor) în funcție de materialele electrocromice utilizate. Prin aplicarea din nou a unei tensiuni, ionii se întorc de la electrod la stratul de acumulare și dispozitivul este din nou transparent (Sibilio, și colab., 2018). Figura 7 de mai jos reprezintă schema de funcționare a geamurilor electrocromice.

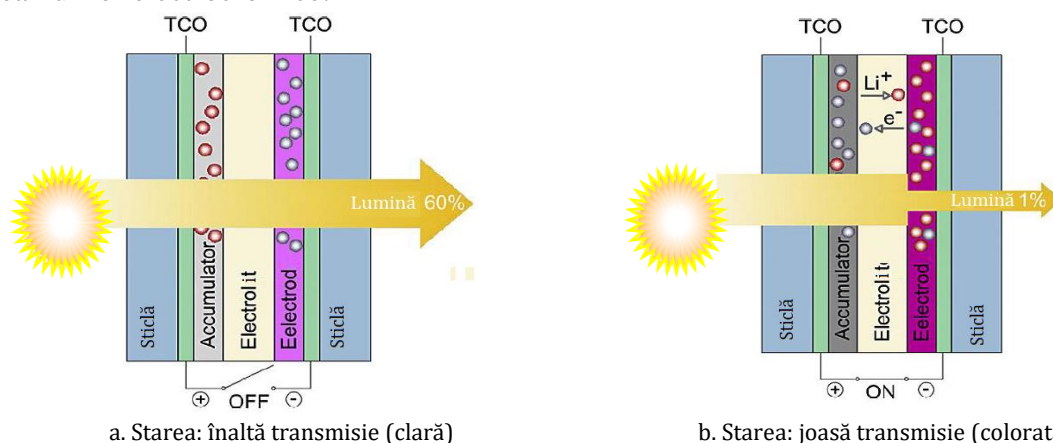


Fig. 10. Diagrama schematică de operare a unei sticle electrocrome (Casini, 2018)

O particularitate a unei sticle electrocrome este că aceasta poate trece de la o stare clară, la una întunecată prin diferite stări intermediare. Astăzi, dispozitivele electrocromice sunt cele mai potrivite pentru construirea anvelopelor și a ferestrelor comutabile. Tehnologia a apărut pe piață foarte recent, la începutul anilor 2000 și, de atunci, a fost în mod continuu îmbunătățită. În plus, sticla electrocromă: prezintă o foarte bună durabilitate; poate fi auto-alimentată de o baterie fotovoltaică situată la marginea ferestrei (Casini, 2018); în cele mai multe cazuri necesită putere de joasă tensiune (0-10 volți cc); rămân transparente în întreaga gamă de comutare; pot fi modulate la stări intermediare între clar și complet colorat. Pentru a identifica și/sau îmbunătăți performanțele sticlelor electrocrome s-au realizat o mulțime de studii care au arătat că tehnologia electrocromică influențează semnificativ performanța energetică, confort termic și confortul vizual (Aldawoud, 2013; Cannavale, Ayra și Martellotta, 2018; Dussault & Gosselin, 2017; Frattolillo, Loddo, Mastino și Baccoli, 2019; Mäkitalo, 2013; Tällberg, la al., 2019).

În prezent se lucrează la unele dispozitive reflectorizante comutabile. Pentru a reduce transferul de căldură din stratul de geam electrocromic absorbant către interior se utilizează acoperirile cu emisii reduse (o proprietate inerentă a unor geamuri EC) și o configurație de unitate de sticlă izolatoare. Ferestrele EC tipice au un interval de transmisie vizibil superior la 0,50-0,70 și un interval inferior la 0,02-0,25. SHGC variază între 0,10-0,50. Pentru



confidențialitate în timpul zilei, pentru controlul radiației solare directe și al orbirii și respectiv pentru reducerea nevoii de umbrire interioară este de dorit o transmisie redusă. Pentru a permite trecerea luminei zilei în timpul zilelor înnorate și pentru încălzirea solară pasivă în timpul iernii este necesară o transmisie ridicată. La o radiație transmisă mare, fereastra electrocromă poate să satisfacă o gamă largă de cerințe de mediu. Pentru unele tipuri EC (laminat polimeric), dispozitivul este comutat la starea dorită și nu este necesară nicio putere pentru a menține această stare.

Acest tip de dispozitiv are o memorie de lungă durată după comutație (Dispozitive au fost cicluate (de la clar la colorat și apoi din nou) de mai multe ori în condiții realiste, astfel încât să ne putem aștepta la performanțe susținute pe termen lung pe durata de viață tipică a instalației de 20-30 de ani). Un alt tip EC (integral solid) necesită o putere minimă de joasă tensiune pentru a schimba și menține o stare dată (0.0929 W/m<sup>2</sup>). Când este oprită, EC "se stinge" încet. EC în stare solidă este mai durabilă decât cea polimerică și extrem de robustă în condiții de căldură și frig și sub soare intens (a fost demonstrat).

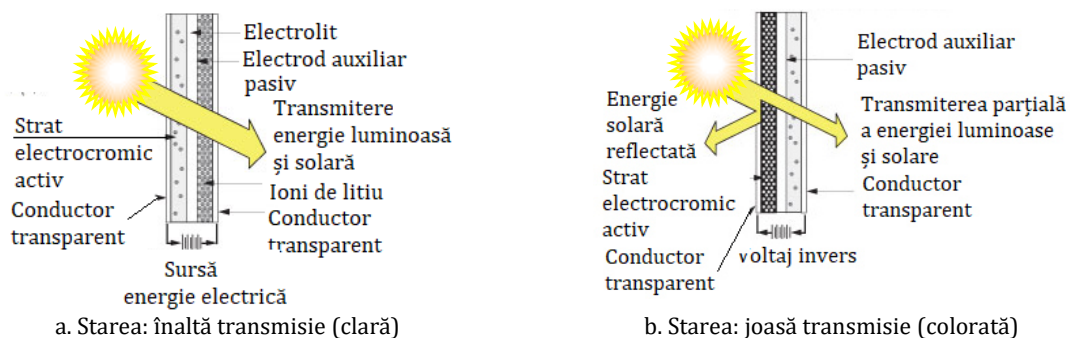


Fig. 11. Diagrama schematică a unei sticle electrocrome cu cinci straturi (conf. Worldwide Energy Efficiency Technology Roadmap project)

Viteza de comutare este legată de dimensiunea și temperatura ferestrei. Colorarea durează de obicei puțin mai mult decât decolorarea. Pe vreme rece, geamurile EC vor fi acționate pentru a controla strălucirea. Impactul expunerii directe la lumina soarelui asupra geamurilor va face ca timpul de comutare să fie mai rapid, deoarece absorbția soarelui va face ca învelișurile să se încălzească. Și, desigur, pe vreme rece fără soare direct, este mai puțin probabil ca ocupanții să dorească să nuanțeze sticla. În aplicațiile reale de construcție, o schimbare treptată a transmisiei este avantajoasă, deoarece permite ochilor ocupantului să se adapteze la schimbarea nivelurilor de lumină fără a provoca disconfort. Geamurile electrocromice sunt fabricate ca unități de sticlă izolată folosind geamuri standard sau laminate. Cablurile care se extind de la o margine sunt legate într-un sistem de control de joasă tensiune alimentat de instalația electrică a clădirii sau cu ajutorul celulelor fotovoltaice. Fereastra poate fi acționată de un întrerupător manual, o telecomandă, un sistem automat simplu de sine stătător, un sistem centralizat de gestionare a energiei.

Controlul și modularea luminii primite și a aporturilor de căldură solară cresc confortul ocupanților și reduc facturile de energie. Prețul inițial mai ridicat al geamurilor electrocromice poate fi compensat parțial de acești factori și aceste sisteme devin competitive din punct de vedere al costurilor sau pot avea un cost inițial mai mic decât soluția alternativă

completă de sticlă „statică” plus echipamente HVAC suplimentare, plus jaluzele interioare ale ferestrelor și sisteme de umbrire exterioare mobile. Ferestrele electrocromice oferă utilizatorilor: capacitatea de modulare a aporturilor de căldură prin fereastră; protecția la decolorare a obiectelor interioare; o funcționare economică a HVAC (capacități instalate mai mici, timp de funcționare redus, consum de energie redus). Prin economia realizată la instalațiile HVAC se pot compensa costurile geamurilor, ceva mai ridicate decât în tehnologia clasică. În plus, vitrarea electrocromă oferă funcționalitate pe care alte tipuri de umbrire nu o oferă: în stări mai întunecate se reduce nivelul de transmisibilitate vizuală și nu se blochează complet vederea. Tehnologia electrocromică este cunoscută de peste treizeci de ani și a fost cercetată activ în întreaga lume. Rezultatele de laborator au fost promițătoare și au condus la dezvoltarea ferestrelor prototip și comercializarea ulterioară a produselor în aplicațiile rezidențiale și comerciale. Exemple de prototipuri de ferestre electrocromice au fost demonstrate în clădiri din Statele Unite, Japonia, Europa. Au fost efectuate teste pe teren, la scară naturală, de către Berkeley California și la sediul DOE din Washington, DC de către Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL). Testele au demonstrat posibilitatea de reducere cu 20-30% a sarcinii de răcire, cu peste 60% a necesarului de energie pentru iluminat și cu 19-26% a sarcinii de vârf.

### 2.3.Ferestre gasocromice/GC/

Aceste ferestrele fac parte din grupa ferestrelor dinamice și produc un efect similar cu ferestrelor electrocromice și specialiștii în domeniu le-au clasificat pe poziția a doua în această grupă.

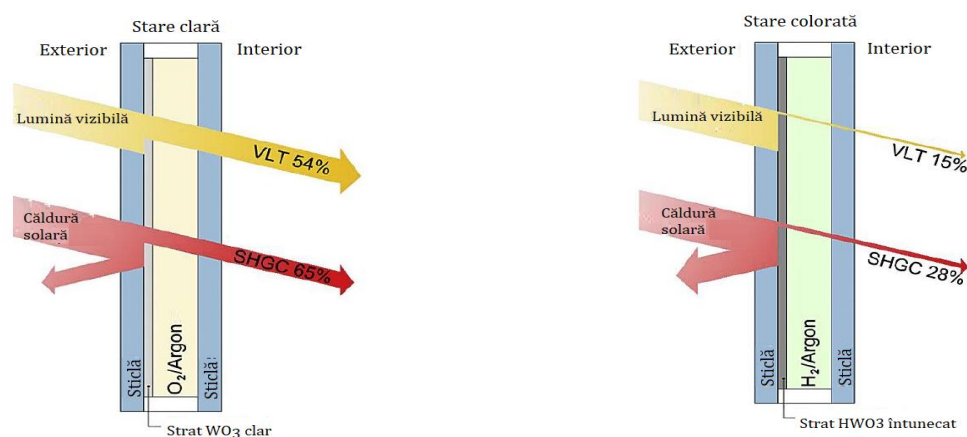


Figura 12 —Sistem vitrat gazocromic

Tehnologia de realizare a lor este mai ieftină decât cea de obținere a sistemelor electrocromice/ECW, deoarece are nevoie de un singur strat subțire de WO<sub>3</sub> acoperit de un catalizator de platină sau paladiu (Casini, 2018). Un sistem vitrat gazocromic poate fi aplicat pe orice substrat transparent (suportul poate diferi de sticlă). Principiul de funcționare este următorul: materialul chimocromic trece într-o stare întunecată prin expunerea unui strat gazos la un amestec de Ar și H<sub>2</sub>. Dimpotrivă, prin introducerea O<sub>2</sub>, starea clară este redusă la H<sub>2</sub>O (Feng, și colab., 2016). Pentru a colora fereastra, se introduce în cavitatea unei unități de sticlă izolată hidrogenul diluat (sub limita de ardere de 3%). Dacă sistemul gazocromic este

expus la oxigen fereastra revine la starea sa originală (transparentă). Transport rapid al moleculelor de H<sub>2</sub> se poate asigura prin prezența apei structurale în stratul de film de tungsten. Creșterea concentrației de H<sub>2</sub> are ca efect întunecarea ferestrei (Sibilio, și colab., 2018). Pentru a menține o anumită stare, este necesară izolarea cavității de alte modificări ale conținutului de gaze. Componenta optic activă este o peliculă poroasă, sub formă de coloană, din oxid de tungsten, cu grosimea  $g < 1 \mu\text{m}$ . Se elimină astfel necesitatea electrozilor transparenți sau a unui strat conducător de ioni. Profunzimea și rata de colorare poate fi influențată de variațiile în grosimea filmului și de concentrația de hidrogen. Transmitanța vizibilă a ferestrelor gazocromice poate varia în intervalul (0,10; 0,59) (Pentru a asigura confidențialitate sau control orbirii se pot utiliza și geamuri gazocromice cu niveluri de transmitere mai mici de 0,01) și cu SHGC în intervalul (0,12; 0,46). Se poate îmbunătăți valoarea U a geamurilor gazocrome se poate utiliza un sistem triplu, cu law-E (în care un spațiu este utilizat pentru activarea gazocromului). Vitezele de comutare ( $v_c=20$  s pentru colorare și  $v_c < 1$  min, pentru înălbire). Gazul se poate genera la peretele ferestrei. Se integrează în fațadă un electrolizator și un sistem de distribuție. Ferestrele gazocromice sunt supuse acum testelor de durabilitate accelerată și testelor pe teren la scară largă. În Figura 12 este reprezentată diagrama schematică a unui sistem gazocrom.

## 2.4. Dispozitiv cu cristale lichide Windows

Dispozitivele vitrate comutabile cu cristale lichide extrinseci au nevoie de o tensiune continuă pentru a menține starea clară. Există mai multe tipuri de cristale lichide dispersate cu polimeri, dar cele mai cunoscute și utilizate se bazează pe faza Smectică A<sub>2</sub> (Gardiner, Morris și Coles, 2009). Geamurile dinamice cu cristale lichide sunt particule polarizate incluse în cavitatea unei sticle capabile să controleze transparența ferestrei (Seung-Won, Sang-Hyeok, Jong-Min și Tae-Hoon, 2018). Funcționarea acestora se bazează pe picături mici de cristal lichid, suspendate într-o matrice de polimer, situată între două substraturi de sticlă. Starea opacă și întunecată se obține în starea „oprit” a acestor particule care se află într-o poziție aleatorie în faza nematică. Prin aplicarea unei tensiuni pentru un dispozitiv LC extrinsec sau prin răcirea acestuia pentru un dispozitiv LC intrinsec, cristalele lichide tind să se alinieze și să reducă indicele de refracție dintre cristalele lichide și polimer.

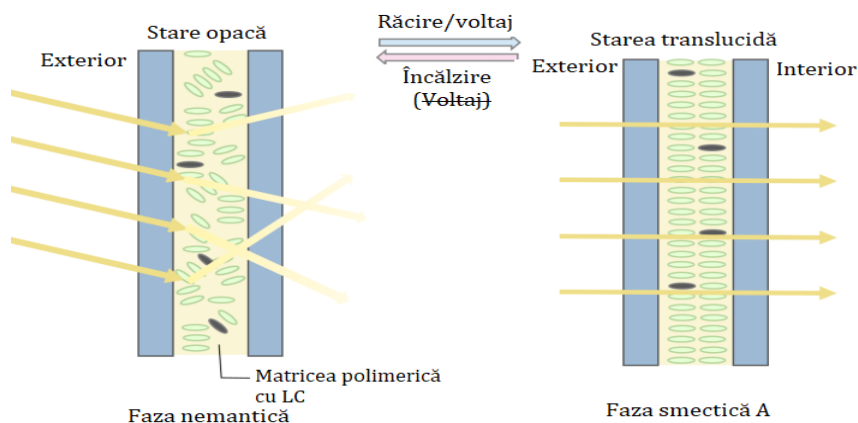


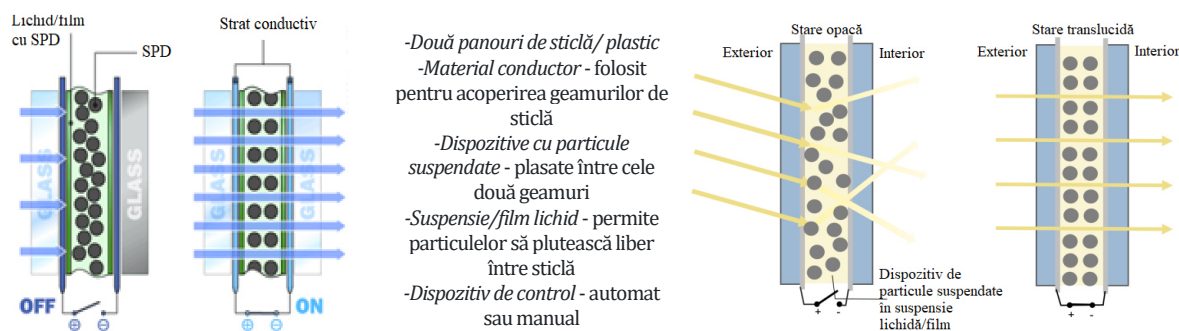
Figura 13. Mecanismul de operare al ferestrelor cu cristale lichide (După: Seung-Won, 2018)

Aceasta este faza smectică prezentată în Figura 13. Se ajunge astfel la starea clară și translucidă.

Sunt alcătuite dintr-un strat foarte subțire de cristale lichide intercalat între doi conductori electrici transparenți pe pelicule subțiri de plastic și întreaga emulsie sau ambalaj (denumită dispozitiv PDLC/polimer dispersat cu cristale lichide) este laminată între două straturi de sticlă. Când alimentarea este oprită, cristalele lichide sunt într-o stare aleatorie și nealiniată. Răspândesc lumina și sticla apare ca un strat translucid, care ascunde vizualizarea directă și oferă intimitate. Materialul transmite cea mai mare parte a soarelui incident într-un mod difuz, astfel coeficientul său de câștig de căldură solară rămâne ridicat. Când se aplică energie, câmpul electric din dispozitiv aliniază cristalele lichide și geamul devine transparent într-o fracțiune de secundă, permițând vizualizarea în ambele direcții. Majoritatea acestor dispozitive au doar două stări, clare și difuze, iar puterea (aproximativ 17 W/m<sup>2</sup>, care funcționează între 24 și 100 volți curent alternativ) trebuie aplicată continuu pentru ca geamul să rămână în stare clară. Intervalul de transmisie vizibil este de obicei de 50-80%, iar SHGC este de 0,55-0,69, deși se pot adăuga coloranți pentru a întuneca dispozitivul în starea oprită. Unii producători oferă produse într-o varietate de culori și pentru sticlă curbată și plată. Formulările stabile cu ultraviolete (UV) permit acum aplicații exterioare, dar stabilitatea și costul UV sunt probleme nerezolvate. Procesul de producție este simplu și necesită doar injectarea amestecului LC în cavitatea ferestrei. De asemenea, dispozitivele cu cristale lichide pot fi îmbunătățite prin adăugarea altor componente în matricea polimerică, Dispozitivele cu cristale lichide au fost experimentate de mai bine de 10 ani și și-au validat proprietățile (Seung-Won și colab., 2018). Totuși, tehnologia nu este recomandată în domeniul construcțiilor datorită faptului că sistemul de control necesită alimentarea cu energie electrică în mod continuu (Casini, 2018).

## 2.5. Dispozitiv cu particule suspendate (SPD)/ supape de lumină pentru ferestre

Aceste dispozitive funcționează similar cu dispozitivele cu cristale lichide, dar cu picături în suspensie lichidă (Favoino și colab., 2018). Pentru polarizarea particulele aflate în suspensie trebuie aplicată o tensiune, care determină alinierea acestora cu câmpul electric.



a. Alcătuire SPD (După: KEVIN BONSOR, Research Frontiers )

b. Figura Funcționarea SPD – (După: Oltean, 2006)

Figura 14-Dispozitive cu particule suspendate/SPD

Dispozitivul conține practic un film controlat electric compus din: un strat subțire în care sunt suspendate numeroase particule microscopice.

În starea sa neputernică, particulele sunt orientate aleatoriu și blochează parțial transmisia și vederea soarelui. Conductorii electrici transparenți permit aplicarea unui câmp electric pe pelicula de particule dispersate, alinierea particulelor și creșterea transmitanței. Intervalele tipice de transmisie vizibilă (VT) și coeficientul de câștig de căldură solară (SHGC) numai pentru film sunt  $VT = 0,22-0,005$  sau  $0,57-0,12$  și  $SHGC = 0,56-0,41$  sau respectiv  $0,70-0,50$ , cu timpi de comutare aproape instantanee (mai puțin de o secundă). Gama de comutare SHGC este mai limitată decât ferestrele electrocromice (vezi mai jos). Dispozitivul necesită aproximativ 100 Vca pentru a funcționa de la starea oprită (colorată) la starea pornită (aproape transparentă) și poate fi modulat la orice stare intermediară. Cerințele de alimentare sunt de  $0,5 \text{ W / sf}$  ( $0.04645152 \text{ W/m}^2$ ) pentru comutare și  $0,05 \text{ W / sf}$  ( $0.0046 \text{ W/m}^2$ ) pentru a menține o stare de transmisie constantă dacă nu oprită (cea mai colorată stare de albastru cobalt). SPD conținute într-un strat conductiv ajung în contact cu electricitatea care determină alinierea lor și permit luminii să treacă prin fereastră. Fără electricitate, particulele suspendate sunt poziționate și orientate aleatoriu (Oltean, 2006). Mecanismul este reprezentat în Figura 14.

Odată cu cercetările în domeniu, tensiunile de funcționare ar putea scădea la aproximativ 35 volți AC. De asemenea, sunt în curs de dezvoltare noi suspensii pentru a obține mai multe culori diferite (verde, roșu și violet) și pentru a afecta până la o schimbare de până la 50% a transmitanței solare. Producătorii afirmă că aceste geamuri laminate pot fi fabricate în foi de până la 4 pe 8 picioare și pot fi oferite atât în forme curbate, cât și plate. Durabilitatea pe termen lung și proprietățile solare-optice nu au fost verificate independent. Produsele intră acum pe piață, dar costurile rămân o problemă. stare albastru cobalt.

## 2.6. Ferestre fotocromice

Ferestrele fotocromice (PCW) funcționează similar geamurilor termocromice cu observația că mărimea în raport cu care se modulează transmisia luminii și căldurii solare este radiația solară (Tällberg și colab., 2019).

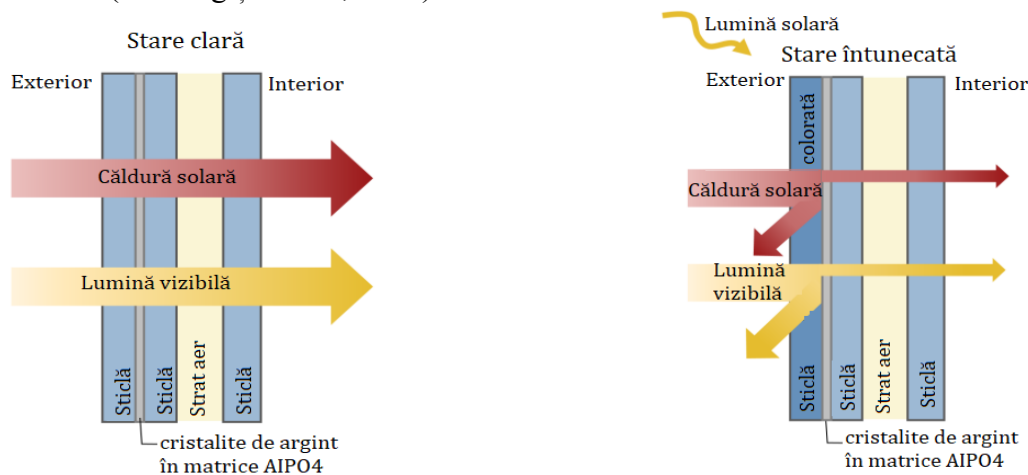


Figura 15. Modul de operare a sticlei fotocromice (După Fries, Fink-Straube, Menning, & Schmidt, 2011)

Fotocromatica poate fi utilă împreună în prezența luminii zilei, permițând doar suficientă lumină să treacă în scopuri de iluminare, în timp ce se evită excesul de lumină solară care creează orbire și suprasolicită sistemul de răcire. În general, stratul fotocromic este realizat din cristalite de argint încorporate într-o matrice AlPO<sub>4</sub> sau borosilicat. Culoarea sticlei nuanțate depinde de mărimea cristalitelor de argint. Ochelarii fotocromici există de mai bine de 50 de ani, dar au fost puțin cercetați pentru o utilizare în sectorul construcțiilor. Trebuie precizat că totuși, pentru piața de construcții nu sunt disponibile vitrajele mari și durabile (Fries, Fink-Straube, Menning și Schmidt, 2011. În Figura 15 se ilustrează funcționarea sticlei fotocromice și se bazează pe studiul lui Fries. Ferestrele fotocromice, precum și ferestrele termocromice nu sunt utilizate obișnuit în sectorul construcțiilor din cauza aspectului lor incontrollabil și al faptului că nu sunt disponibile la discreție pe piață (Tällberg și colab., 2019).

## 2.7. Nanocrystal electrochromic în sticlă (NC)

Este o tehnologie electrocromică emergentă promițătoare care vine să îmbunătățească performanța generală a geamurilor electrocromice. Dispozitivul NC este compus din nanocrystal de oxid de indiu încorporat într-o matrice de sticlă realizată din oxid de niobiu (Sibilio, și colab., 2018). Se deosebește de geamurile electrocromice prezentate mai sus prin faptul că nanocrystalul din sticlă funcționează atât prin absorbția ionilor Li<sup>+</sup>, cât și prin pierderea electronilor dintr-un strat donator. O primă tensiune de reducere mărește purtătorii de ioni din nanocrystalul cu oxid subțire și dă starea Rece reprezentată în Figura 16. Căldura solară este blocată, dar lumina este încă transmisă prin sticlă. Apoi, reducerea oxidului de niobiu al matricei de sticlă este generată prin scăderea tensiunii și se ajunge la starea întunecată. Această stare blochează aporturile de căldură solară, precum și transmisia luminii (Casini, 2018).

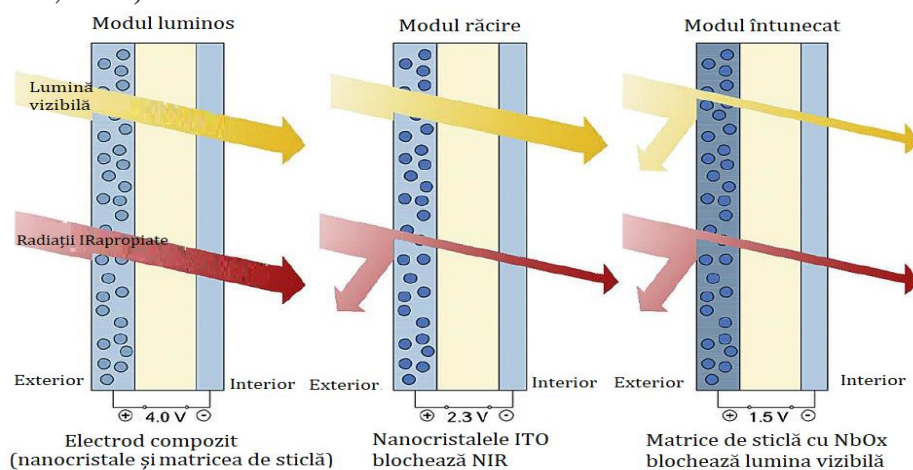


Fig. 16. Compozit de nanocrystal în matrice de sticlă (După Casini, 2018)

## 2.8. Fereastră cu pixeli electrocromici

Au capacitatea de a modula nuanța și temperatura care provin din lumina vizibilă. În figura 17 se prezintă compoziția unei astfel de ferestre. Pentru a controla dispersia

electroforetică a culorilor complementare (de exemplu albastru / galben) sunt folosiți doi electrozi planari.

Aceștia se caracterizează prin încărcări electrice opuse. În funcție de semnul negativ sau pozitiv al încărcării furnizate, particulele de culoare se deplasează către electrodul inferior, superior sau perimetral. Un al treilea electrod, plasat în cavitatea interstrat, creează o plasă. Electrodul inferior poate replica polimerul "micro-gropi" devenind capabil să prindă particulele de culoare și să le inhibe răspândirea. În starea întunecată, când electrozii nu sunt încărcăți particulele de culoare sunt dispersate uniform. În starea clară, particulele de culoare sunt condensate spre perimetrul și electrozii inferiori. Tehnologia poate controla culoarea (mai cald dacă particulele galbene sunt dispersate și particulele albastre compactate în jurul electrodului perimetral sau mai rece dacă apare operația opusă) (Sibilio, și colab., 2018).

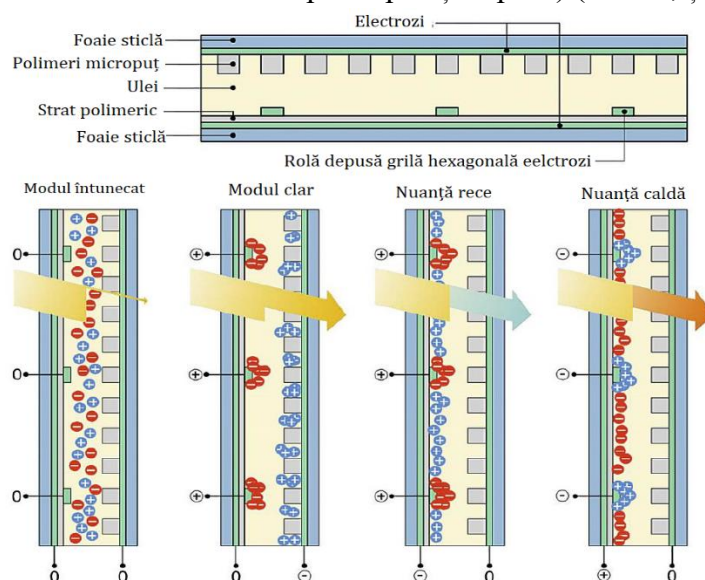


Fig. 17. Compoziția ferestrei cu pixeli electrocinetici (După Casini, 2018)

### 3. Concluzii

Având în vedere faptul că actuala dinamică în domeniul sticlelor dinamice în cadrul acestei părți s-au caracterizat toate tipurile de sticle active.

## DYNAMIC GLASS SYSTEMS FOR nZEB BUILDINGS

### Part II. Characterization of dynamic glazing systems

#### Abstract

*Recent major changes in the field of buildings, regarding their concept (promotion of nZEB buildings) and the level of energy performance required of buildings and the types of primary energy resources (renewable, recoverable) used to generate energy needed to serve nZEB buildings have required the search for means to increase the energy performance of buildings, efficient use of local renewable energy resources, etc. and all this in such a way as to ensure the conditions of hygro-thermal and visual comfort in the spaces served. The selection of appropriate measures is made on the basis of energy, economic criteria ("optimal"*

*cost) and others. These measures include first of all the measures of energy conservation at the level of the building, respectively of increasing the energy performance of the tire (hyper-insulation of opaque elements, hyper-sealing, increase of the energy performance of the glazed elements). The measures are differentiated in relation to the age of the buildings (new, existing).*

### **Bibliografie – IDEM Partea 1**





## **SISTEME VITRATE DINAMICE PENTRU CLĂDIRILE NZEB**

### **Analiză comparativă al celor mai uzuale tipuri de ferestre în raport cu ferestrele dinamice, integrate în clădiri din România.**

**Victoria COTOROBAI<sup>1</sup>, Iulia NEGARĂ<sup>2</sup>, I.C. BRANCA, I.-C. COTOROBAI<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi

<sup>2</sup>Universitatea Tehnică a Moldovei

<sup>3</sup>S.C. DAS Instalații, Iași

#### **Rezumat**

*Pentru a reliefa potențialul de reducere al consumurilor de energie, pe seama utilizării geamurilor dinamice, autorii au efectuat un studiu referitor la comportamentul dinamic al diferitelor sisteme vitrate (statice și dinamice). Studiul a fost realizat cu ajutorul software, METEONORM (pentru datele climatice, respectiv radiația solară spectrală), Window 7 (pentru utilizarea celor mai recente și complete modele de comportament), TRNSYS, pentru studiul comportamentului dinamic al impactului sistemelor dinamice, asupra mediului interior.*

#### **1. INTRODUCERE**

Fiecărui sistem vitrat i s-au asociat funcțiile de comportament al sistemului vitrat respectiv la impactul cu radiația incidentă (respectiv s-au determinat transmitanță, absorbanță, reflectanță), pe întreg spectrul radiației solare (Fig. 21), obținute din Baza de date realizată de LBLN, exploatată cu ajutorul software WINDOW 7, Optics și THERM.

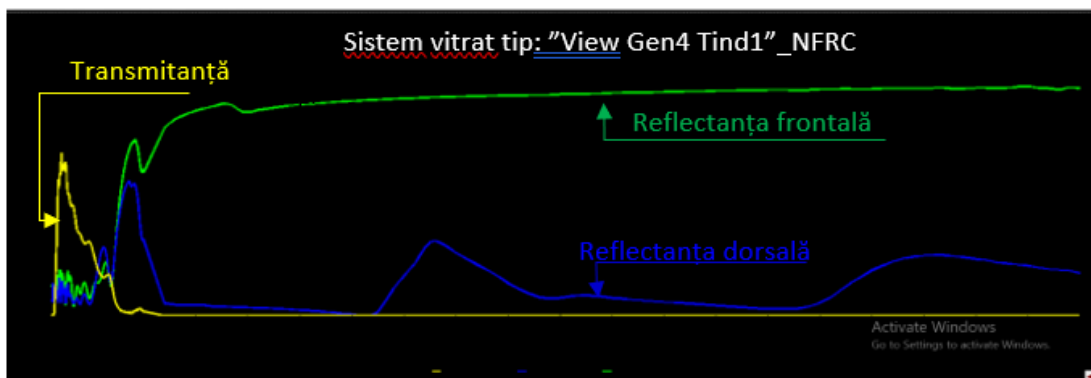
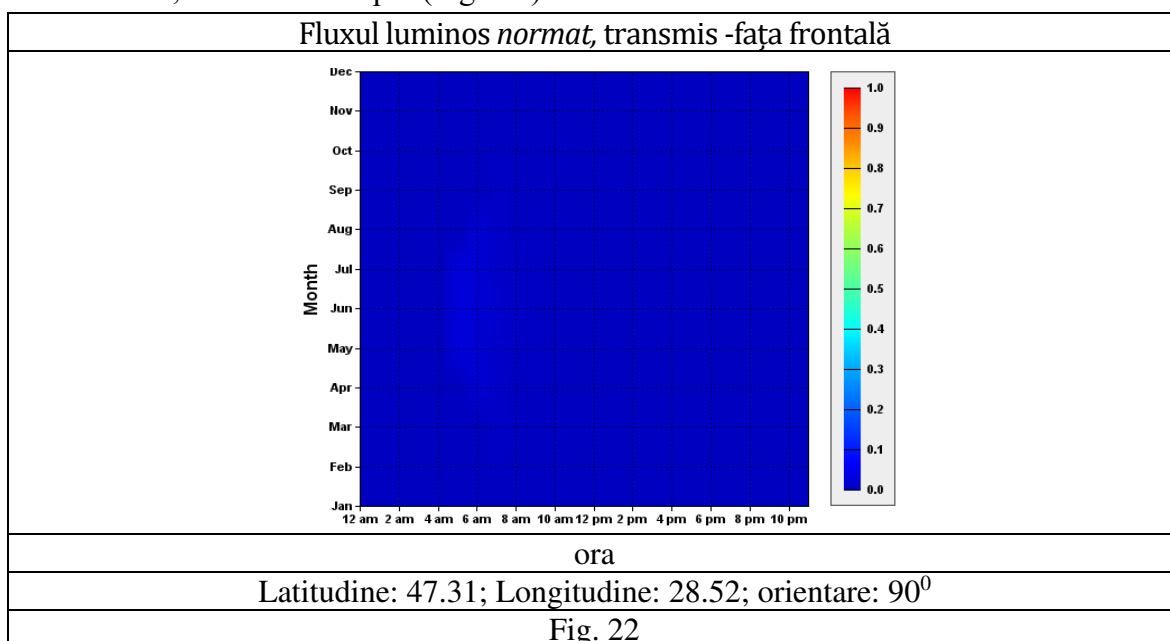


Fig. 21. Comportamentul sistemului electrocromic "View Gen4 Tind1 \_NFRC ID:4603", pe întreg domeniul spectral al radiației solare (transmitanță - galben; reflectanță verde; refractanță: albastru).

S-au studiat mai multe variante de structurare/configurare a sistemelor vitrate, dintre care pentru prezenta lucrare am reținut variante clasice statice de sisteme vitrate și sisteme dinamice pasive/active (Tabelul 1). Analiza s-a realizat în următoarele ipoteze: localitate: Iași; Orientare Sud; simularea comportamentului s-a realizat pentru un sistem vitrat de aceleași dimensiuni. Grafurile sunt reprezentate în sistemul de coordonate: a. ordonată: variația anuală (cu pas de timp luna) a fluxului luminos/solar normat, transmis/reflectat, prin fața frontală/dorsală; b. abscisă: timpul (Fig. 22.).



Pentru fiecare sistem vitrat se obțin opt grafuri: 1. Flux luminos normat transmis prin fața frontală; 2. Flux luminos normat reflectat de fața frontală; 3. Flux solar normat transmis prin fața frontală; 4. Flux solar normat reflectat de fața frontală; 5. Flux luminos normat transmis prin fața dorsală; 6. Flux luminos normat reflectat de fața dorsală; 7. Flux solar normat transmis prin fața dorsală; 8. Flux solar normat reflectat de fața dorsală. Fluxurile transmise/reflectate variază pe parcursul zilei, și a anului. Reprezentarea din figură este pentru sistemul vitrat "Geam triplu cu lame de aer în cavități, cu un strat termocromic 2-24 la exterior, un geam clar la mijloc și un geam low-e spre interiorul clădirii".

Rezultatele simulărilor comportamentului sistemului vitrat la impactul cu radiația solară sunt prezentate în Tab. 2. Grafurile reprezentate permit, o analiză calitativă, similară cu cea realizată anterior (Fig. 22).

**Tabelul 1. Variante de sisteme vitrate (statice & dinamice)**

Var.	Denumirea	Structura (descrișă în Window 7.7)				U <sub>g</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	SC	SHGC (g)	RH G	T <sub>viz</sub>
		Strat	Nr. ID în BD*	Denumire	Gros.[ mm]					
V1 <sub>s</sub>	Geam dublu clar cu lamă de aer	Geam 1	102	Geam_clar_3	3.0	2,73	0,877	0,763	576	0,814
		Cavitate 1	1	Aer_1	12.7					
		Geam 2	102	Geam_clar_3	3.0					
V2 <sub>s</sub>	Geam dublu clar cu lamă de gaz (5% aer + 95%	Geam 1	102	Geam_clar_3	3.0	2,735	0,878	0,764	575	0,814
		Cavitate 1	6	Aer_(5%)+Ar(95)%	12.7					
		Geam 2	102	Geam_clar_3	3.0					
V3 <sub>s</sub>	Geam triplu clar cu lame de aer	Geam 1	102	Geam_clar_3	3.0	1,969	0,787	0,685	512	0,742
		Cavitate 1	1	Aer_1	12.7					
		Geam 2	102	Geam_clar_3	3.0					
		Cavitate 2	1	Aer_1	12.7					
		Geam 3	102	Geam_clar_3	3.0					
V4 <sub>s</sub>	Geam triplu cu strat low-e exterior, 2 geamuri clare și lame de aer	Geam 1	2011	LoE272-3.CIG	3.0	1,264	0,439	0,382	287	0,650
		Cavitate 1	1	Aer_1	12.7					
		Geam 2	102	Geam_clar_3	3.0					
		Cavitate 2	1	Aer_1	12.7					
		Geam 3	102	Geam_clar_3	3.0					
V5 <sub>s</sub> V5 <sub>s</sub>	Geam triplu cu 2 geamuri clare lame de aer și cu strat low-e interior	Geam 1	102	Geam_clar_3	3.0	1,272	0,541	0,471	351	0,651
		Cavitate 1	1	Aer_1	12.7					
		Geam 2	102	Geam_clar_3	3.0					
		Cavitate 2	1	Aer_1	12.7					
		Geam 3	2011	LoE272-3.CIG	3.0					
V6 <sub>D</sub>	Geam triplu cu un strat thermocromic exterior, 1-24, două geamuri clare și 2 lame de aer	Geam 1	30010	Thermocromic-24.Lbl	7.0	1,0509	0,196	0,171	136	0,016
		Cavitate 1	9	Aer_(10%)+Ar(90)%	12.7					
		Geam 2	102	Geam_clar_3	3.0					
		Cavitate 2	9	Aer_(10%)+Ar(90)%	12.7					
		Geam 3	102	Geam_clar_3	3.0					
V7 <sub>D</sub>	Geam triplu cu 1 geam electrocrom, 2 geamuri clare și lame de aer strat	Geam 1	102	Geam_clar_3	3.0	1,889	0,640	0,557	419	0,632
		Cavitate 1	1	Aer_1	12.7					
		Geam 2	4603	Geam "View Tintl_G.vdg"	5.8					
		Cavitate 2	1	Aer_1	12.7					
		Geam 3	102	Geam_clar_3	3.0					

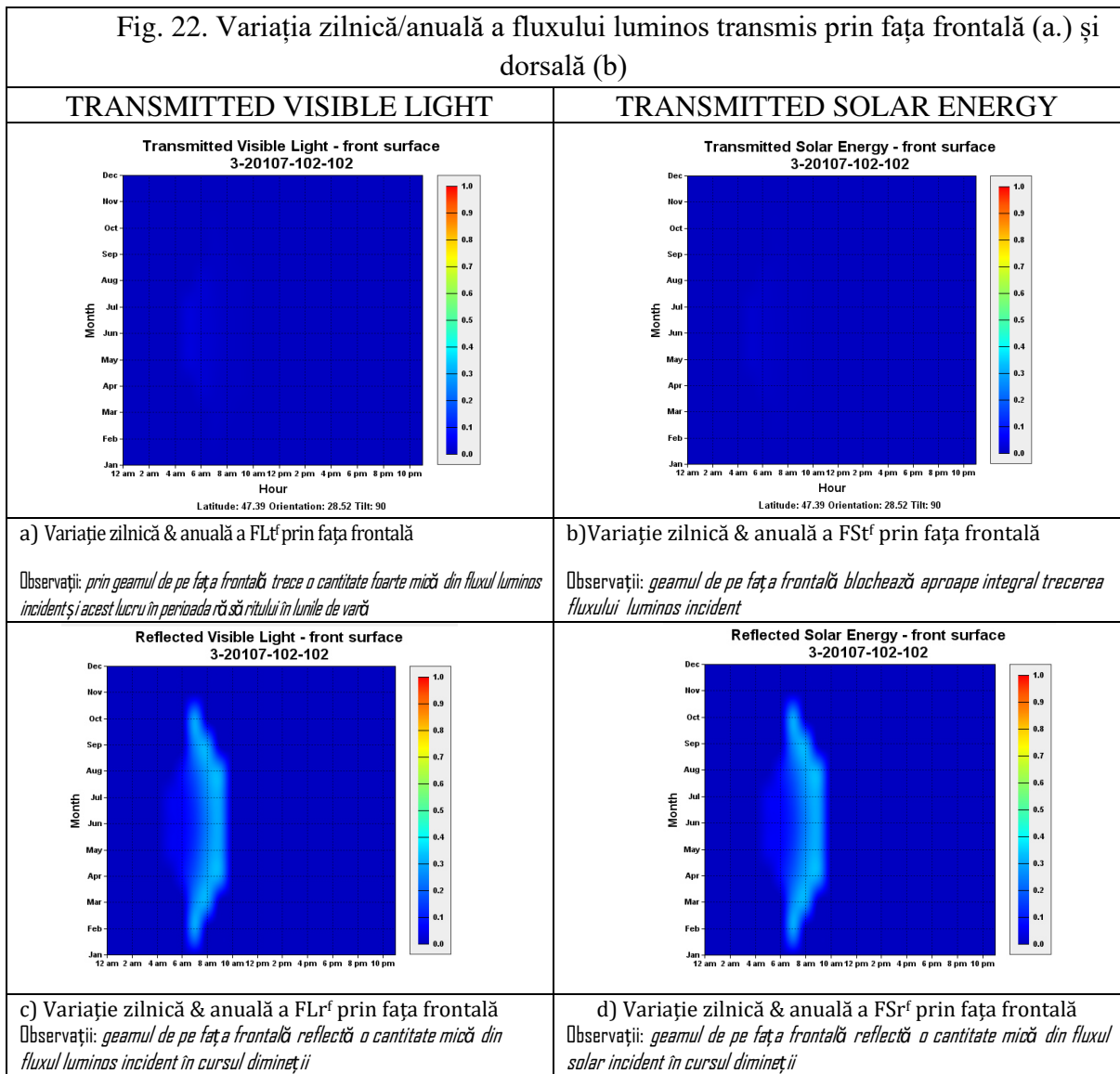
Se pot observa următoarele:

- Introducerea unor amestecuri de gaze (aer plus gaze — argon, cripton, xenon) în cavitatea dintre geamuri determină o creștere a radiației reflectate în spectrul vizibil (V1<sub>s</sub>, V2<sub>s</sub>) și o reducere a Fluxului energetic solar transmis în spectrul vizibil și Fluxul energetic solar reflectat în spectrul vizibil pe fața frontală;
- Comportamentul diferit al sistemului vitrat cu un geam low-e amplasat la interior sau la exterior de-a lungul anului (V4, V5): sistemul vitrat cu geam low-e exterior devine o capcană solară pe perioada estivală; fluxul luminos reflectat în spectrul vizibil este redus prin fața frontală (V4) și cel energetic transmis/reflectat este mai mare (V5);
- Un comportament relativ favorabil se constată în cazul utilizării sistemului cu geam termocrom;
- La sistemul vitrat cu geam termocromic se observă reducerea fluxului luminos și energetic transmis în perioada prânzului (orele 10-14) și perioadei estivale (mai- iulie) când radiația incidentă este maximă;
- Sistemele dinamice (electrocromice, termocromice), cu caracteristici variabile în raport cu parametrii climatici ai mediului înconjurător (radiația solară directă/difuză, unghiul de incidență solară, temperatura mediului exterior/interior) nu alterează climatul vizual interior de-a lungul anului,

comparativ cu sistemele clasice, statice;

- Un studiu al autorilor, nereprodus în lucrare a evidențiat un comportament optim al sistemelor vitrate care includ un geam heliotrope (gem care îmbină performanțele geamurilor electrocrome cu cele ale geamurilor termocrome) la exterior. Acest sistem va fi probabil unul din sistemele viitorului.

Pentru analiza calitativă se poate utiliza software THERM sau TRNSYS care oferă valorile numerice pentru grafurile prezentate în Tab. 2 și pot oferi și bilanțurile energetice pe încăperea deservită. În TRNSYS se obțin și indicatorii de confort (termic și vizual) care pot reliefa performanțele în regim dinamic.



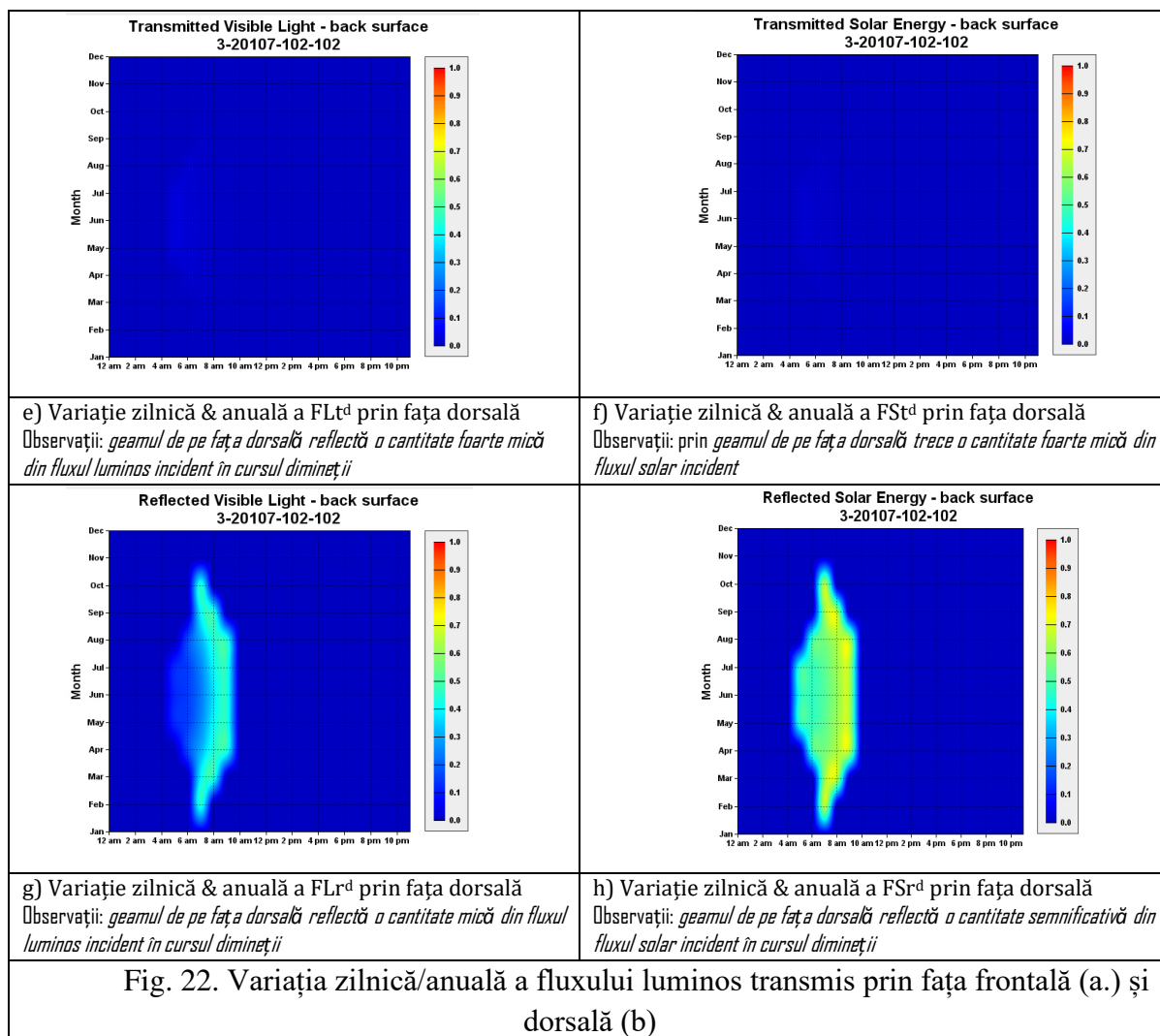
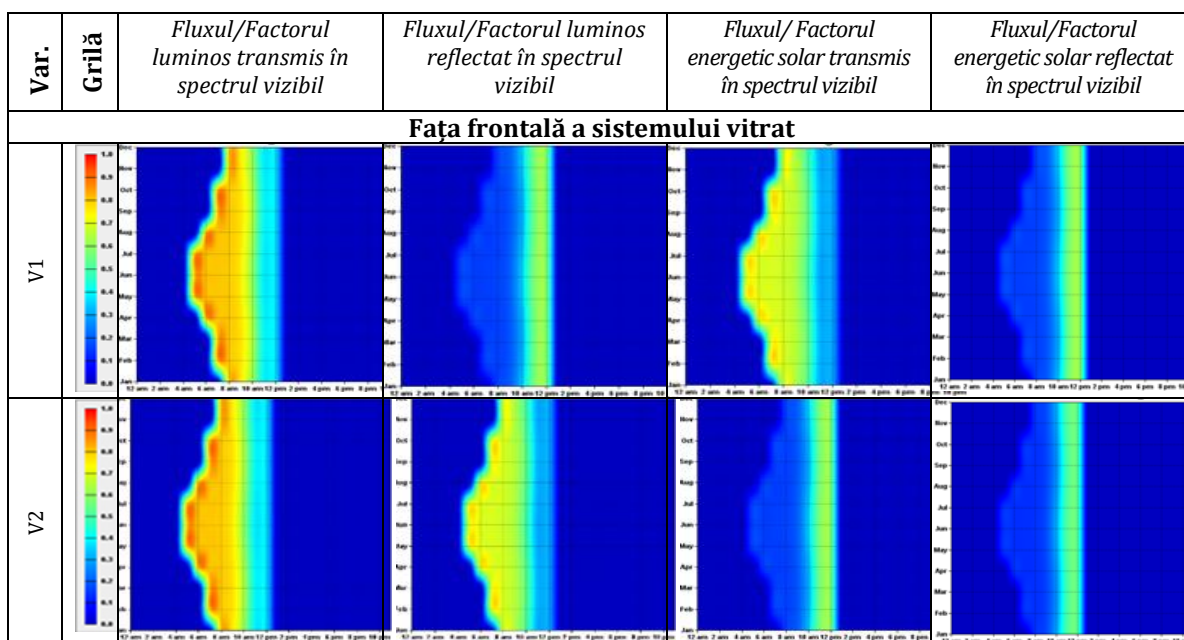
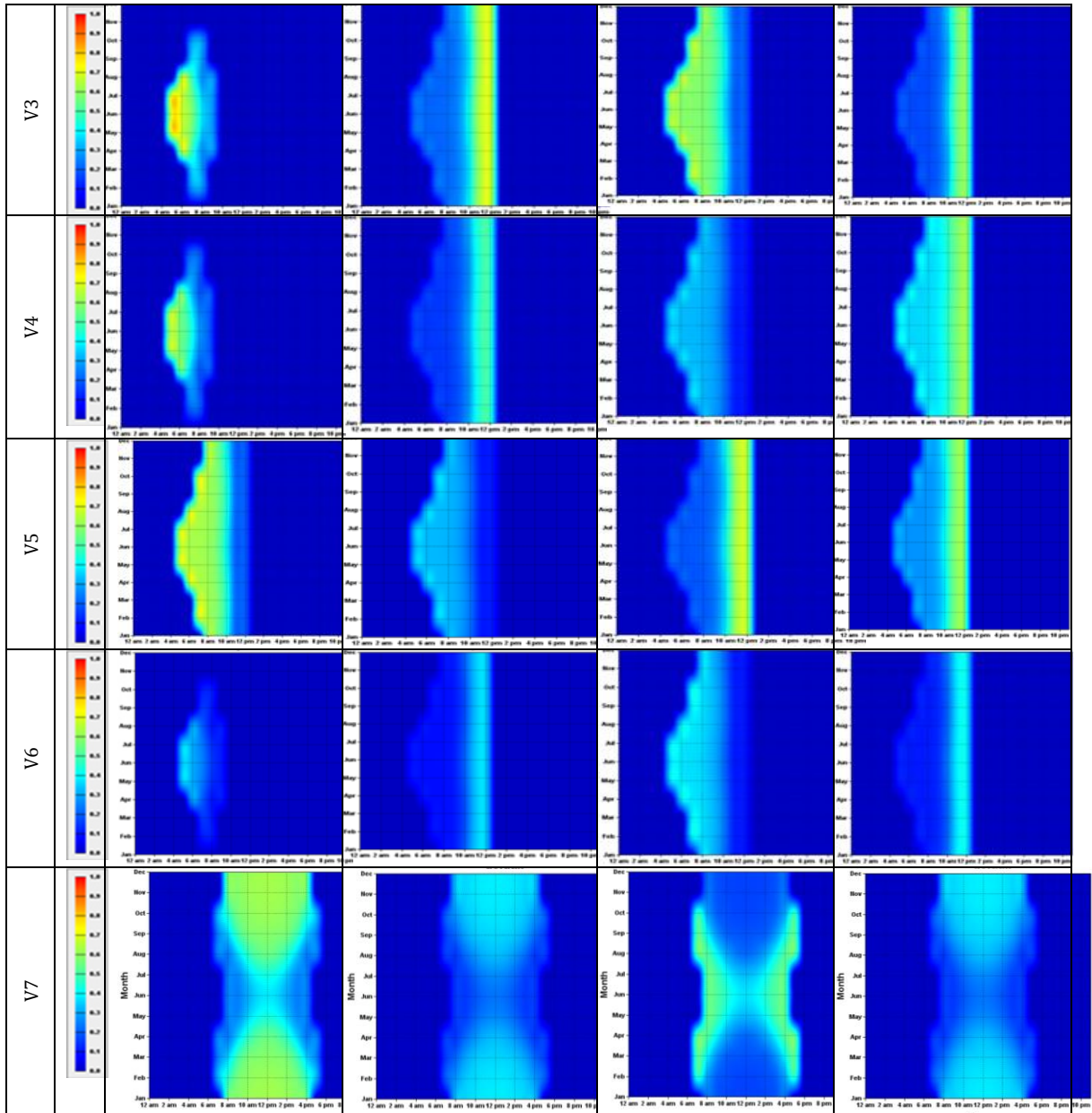
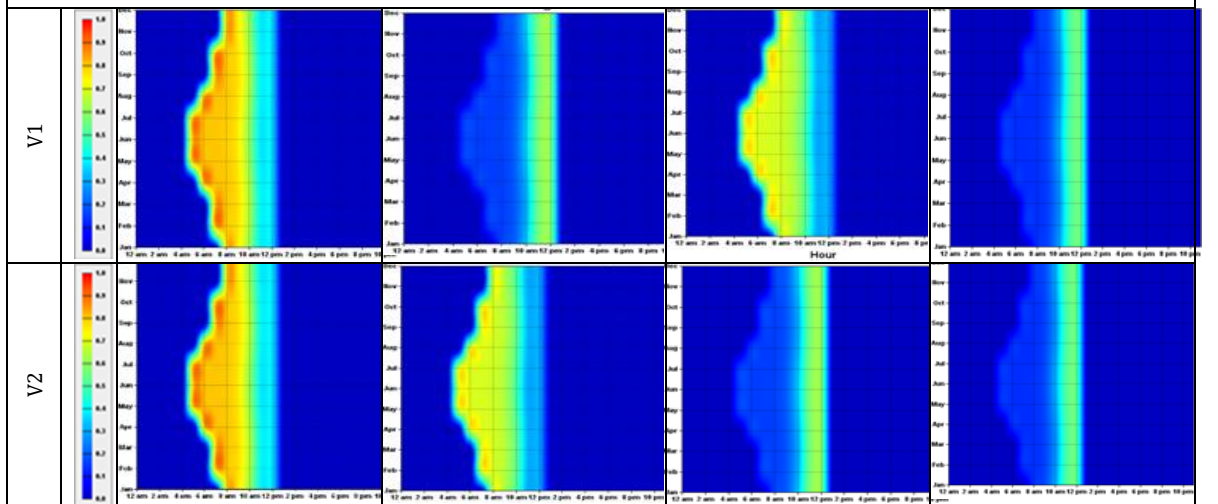


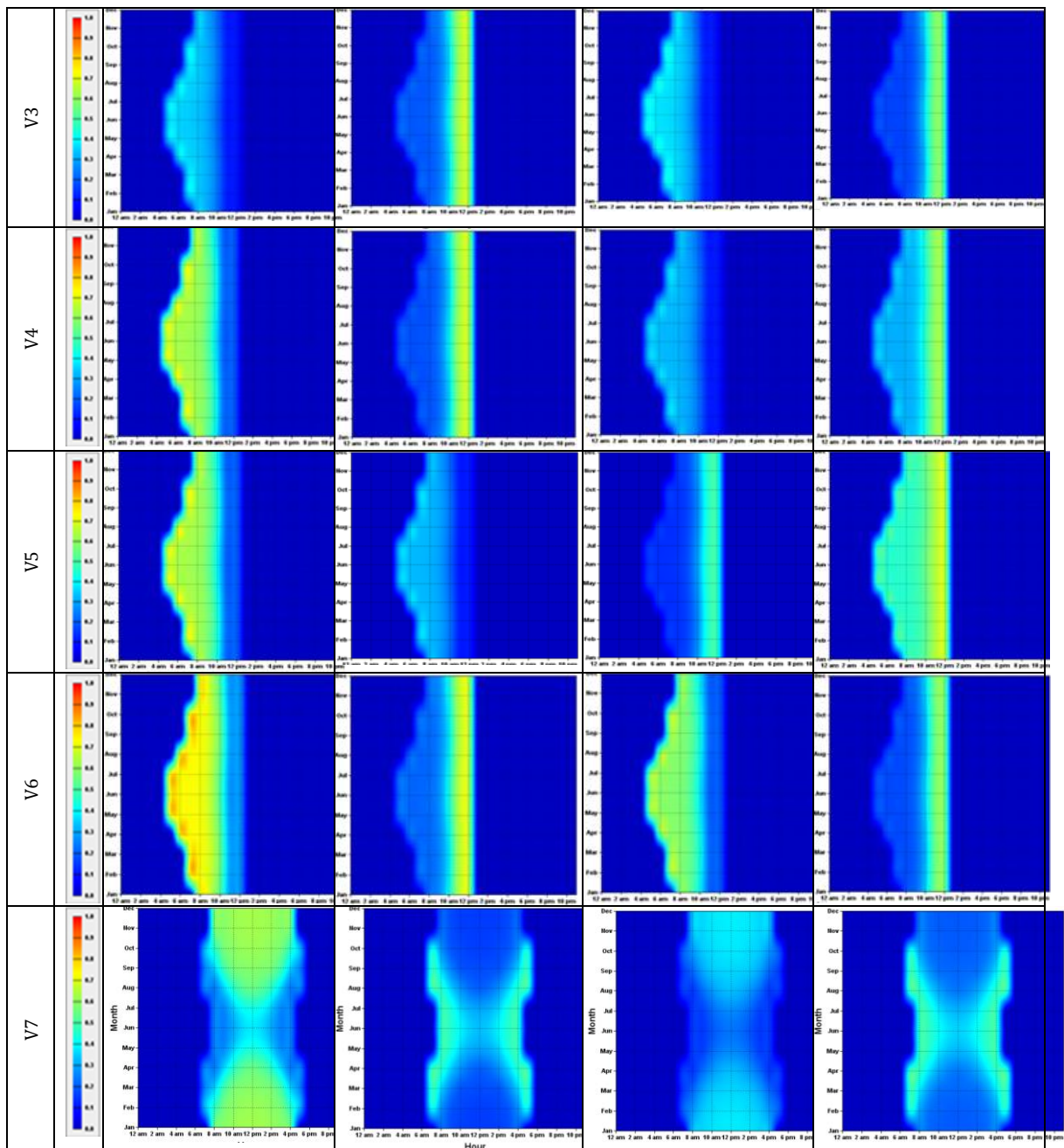
Table 2. Reprezentarea grafică a factorilor de transmisie și reflecție luminoasă și energetică în spectrul vizibil.





**Fața dorsală a sistemului vitrat**





### 3. CONCLUZII

Sistemele dinamice permit:

- A) menținerea confortului vizual în interiorul clădirii;
- B) reducerea consumurilor de energie ale clădirilor echipate cu astfel de sisteme amplasate pe fațadele sud cu peste 40% în raport cu sistemele statice;
- C) alegerea convenabilă a mărimii, structurii și orientării sistemelor vitrate poate conduce la reducerea consumului de energie anual al clădirii cu un procent de cca. 20-50% din consumul clădirii nZEB;
- D) Intrarea în regim de fabricație de serie a sistemelor vitrate heliotrope crește procentul de reducere al consumurilor cu până la 60%, la costuri inferioare sistemelor vitrate clasice și mențin și confortul vizual;

E) În lucrare s-a analizat numai impactul radiației solare asupra sistemului vitrat urmând ca într-o lucrare viitoare să se prezinte și impactul sistemelor de umbrire asociate/integrate și impactul tâmplăriei asupra performanțelor energetice globale ale clădiri. Pentru ultima problemă s-a utilizat software TRNSYS.

## **DYNAMIC GLASS SYSTEMS FOR nZEB BUILDINGS**

### **Comparative analysis of the most common types of windows in relation to dynamic windows, integrated in buildings in Romania**

#### ***Abstract***

*Pentru a reliefa potențialul de reducere al consumurilor de energie, pe seama utilizării geamurilor dinamice, autorii au efectuat un studiu referitor la comportamentul dinamic al diferitelor sisteme vitrate (statice și dinamice). Studiul a fost realizat cu ajutorul software, METEONORM (pentru datele climatice, respectiv radiația solară spectrală), Window 7 (pentru utilizarea celor mai recente și complete modele de comportament), TRNSYS, pentru studiul comportamentului dinamic al impactului sistemelor dinamice, asupra mediului interior.*

#### **Bibliografie – IDEM Partea I**

P.S. Lucrarea se va citi împreună cu lucrările Sisteme vitrate dinamice (partea I și Partea a II-A)





## **DEZVOLTAREA UNUI SISTEM CU PANOURI FOTOVOLTAICE PENTRU UN IMOBIL P+1**

**Grația TÂRLEA, Dragoș GIURGEA**

*Universitatea Tehnică de Construcții București*

### **Rezumat**

*În lucrarea de față se prezintă o instalație de producere a energiei electrice, cu ajutorul panourilor fotovoltaice. Aceasta este compusă din panouri solare, invertor și un contor inteligent ce permite înregistrarea consumului de energie electrică, niveluri de tensiune, intensitatea curentului precum și factorul de putere. În articol este exemplificată și o monitorizare a consumului de energie electrică pentru un imobil P+1.*

### **1. INTRODUCERE**

Conform strategiei mondiale de reducere a emisiilor de gaze cu efect de sera [1], [2] întărite prin Protocolul de la Kyoto și a țintei curajoase a decarbonizării până în anul 2050 trebuie asigurată utilizarea pe scară largă a resurselor regenerabile, cum ar fi energia solară [3] precum și a unei independente energetice.

Sistemul fotovoltaic prezentat în articol [4] este de tip on-grid, ce se conectează la rețeaua de distribuție a energiei electrice. S-a folosit o schema clasică de conectare a imobilului la sistemul fotovoltaic descrisă în continuare. Instalația electrică se ramifică în două coloane. Astfel una se conectează la rețeaua națională, iar cealaltă la locuință. Pe coloana ce duce spre rețeaua națională se instalează un instrument (contor electric dublu sens) de măsurare a consumului transferat.

Pentru un sistem on-grid, costurile de achiziție și de instalare sunt mai mici. Avantajele unui astfel de sistem sunt reducerea cheltuielilor cu energia electrică și instalarea ușoară. Surplusul de energie electrică generat de panourile fotovoltaice va fi preluat în rețeaua națională și va putea fi consumat ulterior, fără a fi taxat, atunci când locuința va avea nevoie.

Astfel nu este necesară achiziționarea și instalarea unei baterii pentru stocarea energiei electrice generate de panourile solare.

Panourile fotovoltaice (Fig.1) transforma energia solara in energie electrica. Atunci când lumina zilei este absorbita în panoul solar fotovoltaic, un curent electric continuu (de tip DC) este generat. Acest curent DC ajunge apoi la un invertor (Fig.2), care transforma electricitatea obținută din DC în curent alternativ (AC) . Toate locuințele din România folosesc curent AC pentru a asigura funcționarea consumatorilor electrici casnici.



Fig. 1 Panoul solar fotovoltaic monocristalin

## 2. STUDIU DE CAZ

Se exemplifica un studiu de caz pentru o instalație electrica aferenta unui imobil P+1 utilizând ca sursa regenerabila energia solara (Fig 1,2,3).

### 2.1 Descrierea componentelor care alcătuiesc sistemul

Panoul solar fotovoltaic monocristalin, 320 W, 60 celule – [5].

- a. Putere nominală ( $P_{mpp}$ ): 280W
- b. Tensiune maximă ( $V_{mpp}$ ): 31.61 V
- c. Curent maxim ( $I_{mpp}$ ): 8.85 A
- d. Tensiune mers în gol ( $V_{oc}$ ): 38.4 V
- e. Curent de scurt circuit ( $I_{sc}$ ): 9.45 A
- f. Randament: 18.66%
- g. Toleranță putere ieșire: +/- 3%
- h. Celule solare: 60 celule c-Si, 156x156 mm (6+)
- i. Conectare: 5 diode by-pass / compatibile MC4 / IP67

- j. Cadru: Aluminiu anodizat, cu găuri drenaj, colțuri rigidizate
- k. Sticla: 3.2 mm, cu acoperire anti-reflecție, tip low-iron
- l. Temperatura de funcționare: de la -40 la +85 °C
- m. Încărcare nominală zapadă / vânt: 5400 Pa / 2400 Pa
- n. Rezistență la impact: grindină 25 mm, 83 Km/h
- o. Dimensiuni: 1640 x 990 x 40 mm
- p. Greutate: 17.2 Kg



Fig. 2 Invertor hibrid trifazat 4 kW

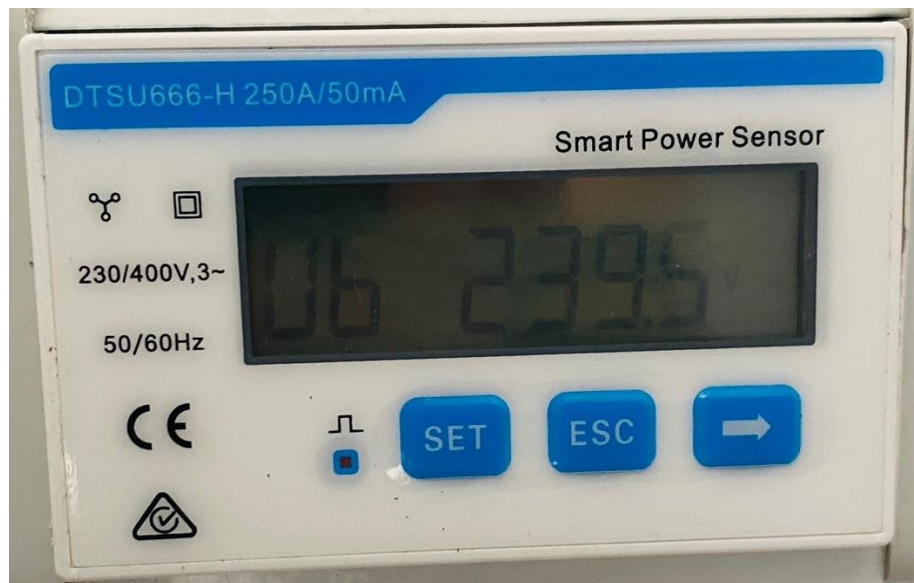


Fig. 3 Contor inteligent

Întreaga instalație respectă standardele europene: SGS TUV SAAR Certificate, ISO 9001: 2015; ISO 14001: 2015, OHSAS 18001: 2007, IEC 61215:2005, IDT; EN 61215:2005, IDT, IEC 61730-2:2004, IDT; EN IEC 61730-2:2018, IDT.

## 2.2 Beneficiile instalației solare fotovoltaice montate

1. Curentul electric generat de panourile solare fotovoltaice este garantat pentru 30 de ani de la momentul instalării;
2. Investiție înțeleaptă– instalarea unui astfel de sistem generează economii imediat iar în plus va crește valoarea locuinței ;
3. S-au folosit doar panouri solare cu eficiența ridicată. Panourile solare sunt cu capacitate de până la 310 W, montate pe acoperiș și îndreptate spre sud pentru un randament maxim;
4. Beneficii pe termen lung– Realizarea unor economii substanțiale al energiei electrice consumate din rețeaua națională de distribuție.

## 2.3 Exemplificare

În diagrama mai jos prezentată (Fig. 4), se observă consumul înregistrat într-o zi normală, cu un consum instant de maxim 2,4 kW, având în utilizare consumatorii vitali unei locuințe rezidențiale P+1 (TV, frigider, A/C, mașină de spălat rufe, iluminat etc).

În zona geografică a Buzăului, în care este instalat sistemul fotovoltaic, acesta va genera anual energie totală de aproximativ 4000 kWh, ceea ce înseamnă o producție medie de 333 kWh/lună. Însă, producția de energie variază și în funcție de anotimp: vara, sistemul poate produce până la 480 kWh/lună, pe când iarna nu va produce mai mult de 150 kWh/lună.



Fig. 4 Diagrama de producere a energiei electrice

Se exemplifica faptul că sistemul fotovoltaic, a generat 1.64kWh aproximativ 55.3% din consumul total de energie electrică, din ziua respectivă.

### 3. CONCLUZII

În prezentul articol a fost prezentată o instalație de producere a energiei electrice, cu ajutorul panourilor fotovoltaice, compusă din panouri solare, inverter și un contor inteligent. În lucrare este exemplificată și o monitorizare a consumului de energie electrică pentru un imobil P+1 (Fig. 1,2,3) din zonă geografică a Buzăului.

Se remarcă performanța prin care sistemul fotovoltaic, a generat 1.64kWh, reprezentând 55.3% din consumul total de energie electrică, din ziua respectivă (Fig.4).

### THE DEVELOP OF A PHOTOVOLTAIC PANEL SYSTEM FOR A P+1 BUILDING

#### *Abstract*

*This paper presents an installation for electricity production, with the help of photovoltaic panels. It consists of solar panels, inverter and a smart meter that allows recording electricity consumption, voltage levels, current intensity and power factor. The article also exemplifies a monitoring of electricity consumption for a GF + 1 building.*

#### **Bibliografie**

- [1]. ASHRAE – Thermophysical Properties of Refrigerants, -Chapter 20, 2019
- [2]. Codul bunelor practici – Domeniul frigului si aerului conditionat, Editura AGIR, Bucuresti, 2010
- [3]. Regulation (EC) No. 517/2014 of the European Parliament and of the council on certain fluorinated greenhouse gases.
- [4]. Standard European EN 378-1:2008
- [5]. [www.huawei.com](http://www.huawei.com)



## **STUDIUL PRIVIND SIMULAREA NUMERICĂ A PROPAGĂRII UNUI INCENDIU ÎN CAZUL UNUI IMOBIL**

**Iulian ENARU, Nelu-Cristian CHERECHES, Sebastian Valeriu HUDISTEANU,  
Emilian Florin TURCANU, Diana Ancas, Marina VERDEȘ, Cătălin-George  
POPOVICI, Vasilică CIOCAN**

*Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi din Iași, Facultatea de Construcții și Instalații*

### **Rezumat**

*Modelul 3d a unui imobil a fost construit pentru a fi analizată scena unui incendiu cu referire la p situație reală. Procesul de evoluție a unui incendiu a fost simulat cu FDS. S-a analizat timpul de evoluție al incendiului, gradul de pericol, temperatura precum și vizibilitatea. S-au analizat totodată și soluții arhitecturale care ar putea fi luate în calcul pentru prevenirea și evoluția incendiilor în situațiile prezentate. Rezultatele simulărilor din scenariile propuse au arătat că pot fi găsite soluții care să prevină propagarea incendiilor. Rezultatele studiului oferă o bază reală pentru îmbunătățirea condițiilor de evacuare și limitare a pagubelor provocate de incendii în imobile de tip unifamilial.*

*Cuvinte cheie: incendiu, analiza FDS, simulare numerică*

### **1. INTRODUCERE**

Focul este un fenomen natural, care de la începuturile existenței umane și până în prezent a constituit o amenințare serioasă a omului.

Incendiu: ardere autoîntreținută, care se desfășoară fără control în timp și spațiu, care produce pierderi de vieți omenești și/sau pagube materiale și care necesită o intervenție organizată în scopul întreruperii procesului de ardere.

Comburent: substanță a cărei natură chimică și prezență, permite unui corp să ardă.

Combustibil: substanță solidă, lichidă sau gazoasă capabilă să inițieze și să întrețină o ardere.

Fenomene de: transfer, transport, transmisie:

Conducția: fenomen de transfer de căldură între două puncte cu temperaturi diferite în masa aceluiași material sau între corpuri diferite prin contact direct unul cu altul, fără transfer de substanță.

Convecție: fenomen de transport a căldurii prin intermediul mișcării ascendente a unui fluid.

Radiație: fenomenul de transmisie a căldurii prin intermediul undelor electromagnetice emise în toate direcțiile de un corp încălzit.



Figura 1 - Locuința propusă spre studiu (P+E+M)

Triunghiul arderii:

- energia de declanșare;
- combustibilul;
- comburantul;

Aceste trei elemente sunt necesare simultan în timp și spațiu pentru inițierea și menținerea arderii. Eliminarea (consumare) unui element constitutiv al triunghiului arderii duce la întreruperea procesului arderii.



Figura 2 – Triunghiul arderii

Clasele de incendiu:

- Clasa A - incendii de solide (lemn, bumbac, hârtie, rulouri de țesături, cărbuni);
- Clasa B - incendii de lichide (lichide sau solide lichefiate: hidrocarburile, vopselurile, alcoolul, smoala, lacul);
- Clasa C - incendii de gaze (sunt reprezentate de incendii de produse combustibile care sunt în stare gazoasă la o temperatură ambiantă de peste 15 °C);
- Clasa D - incendii de metale (aluminiiu, zinc, magneziu, potasiu, fosfor alb);
- Clasa E - incendii de natură electrică;

- Clasa F - incendii de uleiuri vegetale și animale (grăsimi vegetale sau animale, ulei vegetal și animal);

## 2. Considerente teoretice

Criterii de performanță - (locuința studiată) privind securitatea la incendiu: fundația este din beton, structura de rezistență este alcătuită din pereți structurali din zidărie de cărămidă, cu planșeu din beton armat cu grosimea de 12 cm și șarpantă din lemn.

- Caracteristicile clădirii:
- Clasa de importanță a clădirii III;
- Categoria de importanță a clădirii „C”;
- Nivelul de stabilitate la foc III;
- Natura activităților ce se desfășoară în spațiile construite: “Clădire de locuit”

Bucătăria se încadrează la risc mijlociu de incendiu, conform destinației. Prin urmare toate ușile de acces ce delimitează zona bucătăriei vor avea rezistență la foc EI minim 15 minute, pereții sunt din zidărie de cărămidă cu grosimea de 25 cm având REI minim 180 minute.

Sarcina termică - cantitatea de căldură ce o poate degaja prin combustie completă totalitatea materialelor combustibile, fixe și mobile, existente în spațiul afectat de incendiu.

$$S_Q = \sum_{i=1}^n Q_i * M_i \text{ în } [MJ]$$

$M_i$  - masa materialelor combustibile de același fel, aflat în spațiul luat în considerare [kg];

$Q_i$  - este puterea calorică inferioară a unui material, în MJ/kg sau MJ/m<sup>3</sup>N;

Denumire încăpere	Material	$Q_i$ - Puterea calorică (MJ/kg)	$M_i$ - Cantitate (kg)	$S_Q$ - sarcina termică (MJ)
Bucătărie	lemn (mobilier)	19,25	250	5390
	mase plastice	42,6	180	7668
	hârtie, cărți	16,3	25	407

Densitatea sarcinii termice - constituie cel mai important parametru al pericolului (riscului) de Incendiu.

$$q_s = \frac{S_Q}{A_s} \text{ în } [MJ/m^2]$$

$S_Q$  - sarcina termică [MJ]

$A_s$  - suma ariilor pardoselilor încăperilor ce alcătuiesc spațiul luat în considerare [m<sup>2</sup>];

$$q_s = \frac{13465}{16} = 840,20 \text{ } [MJ/m^2]$$



Riscul de incendiu	Densitatea de sarcină termică (MJ/mp)	
mic	$q < 420 \text{ MJ/mp}$	840,20 [Mj/m <sup>2</sup> ]
mijlociu	$q = 420-840 \text{ MJ/mp}$	
mare	$q > 840 \text{ MJ/mp}$	

Figura 3 - Bucătărie (risc de incendiu mijlociu)

Parametri introduși în programul de simulare - densitatea de sarcină termică:

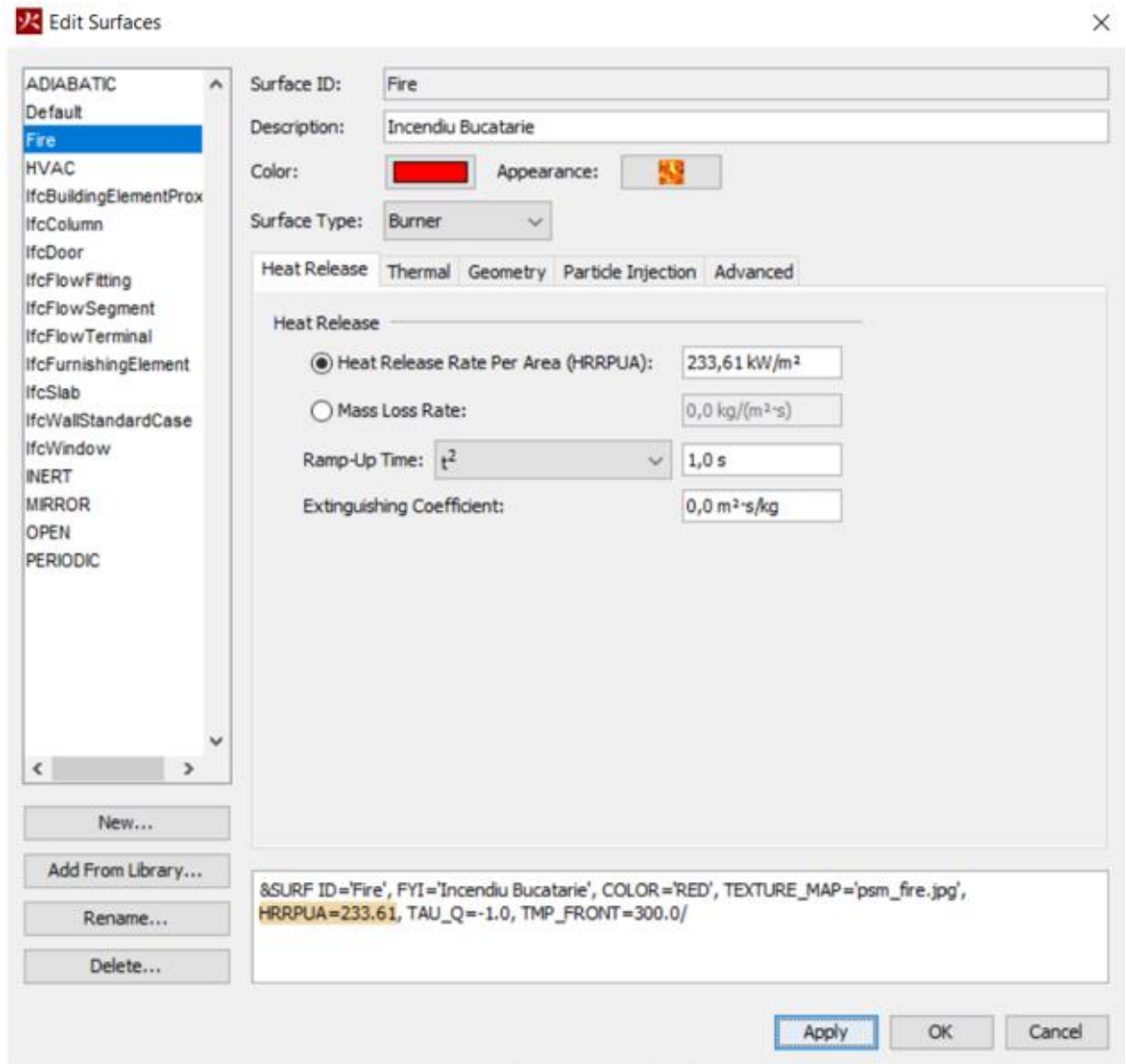


Figura 4 - Incendiu - densitatea sarcinii termice- soft Pyrosim

Parametrii incendiului au fost introduși în programul de simulare după realizarea calculului (sarcina termică, densitatea de sarcină termică).

### 3. Material și metodă

a) Situația reală expusă (spațiu deschis plan parter: sufragerie, hol și casa scării) prin fazele dezvoltării incendiului:



Figura 5 - Situația reală (compartimentare existent-plan parter)

### Noțiuni despre incendiul propus spre studiu

Fazele dezvoltării unui incendiu:

- inițierea;
- dezvoltarea;
- arderea generalizată;
- regresia;

Inițierea incendiului - reprezintă procesul de inflamare a produselor combustibile, această fază inițială a combustiei este direct legată de cantitatea de combustibil supusă arderii. În acest stadiu căldura degajată este în cantități moderate, iar fumul mai puțin abundent.

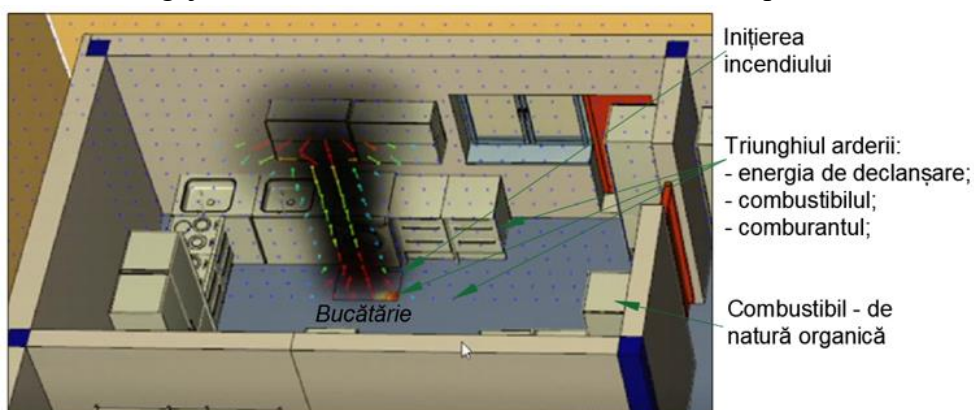


Figura 6 - Inițierea incendiului (simulare program Pyrosim)

Numai combustibilul influențează dezvoltarea incendiului. Se poate spune că incendiul este limitat de combustibilul existent în spațiul incendiat.

În această etapă, volumul încăperii în care se dezvoltă fenomenul nu are influență asupra dezvoltării incendiului.

Dezvoltarea incendiului - în această etapă focarul crește în importanță, cantitatea de căldură degajată crește considerabil, fapt ce duce la mărirea progresivă a temperaturii în încăpere.

În același timp, volumul de fum produs în urma arderii este din ce în ce mai însemnat și se acumulează prin convecție în partea de sus a spațiului incendiat.

Această fază, a cărei durată în timp variază, poate fi accelerată de următorii factori ce influențează viteza de ardere:

- gradul de afânare, divizare sau granulozitate al materiei;
- dispunerea geometrică a materialelor în încăpere;
- temperatura;
- alți factori;

Factorii enumerați mai sus direct au o importanță deosebită în această fază, (dezvoltarea incendiului).

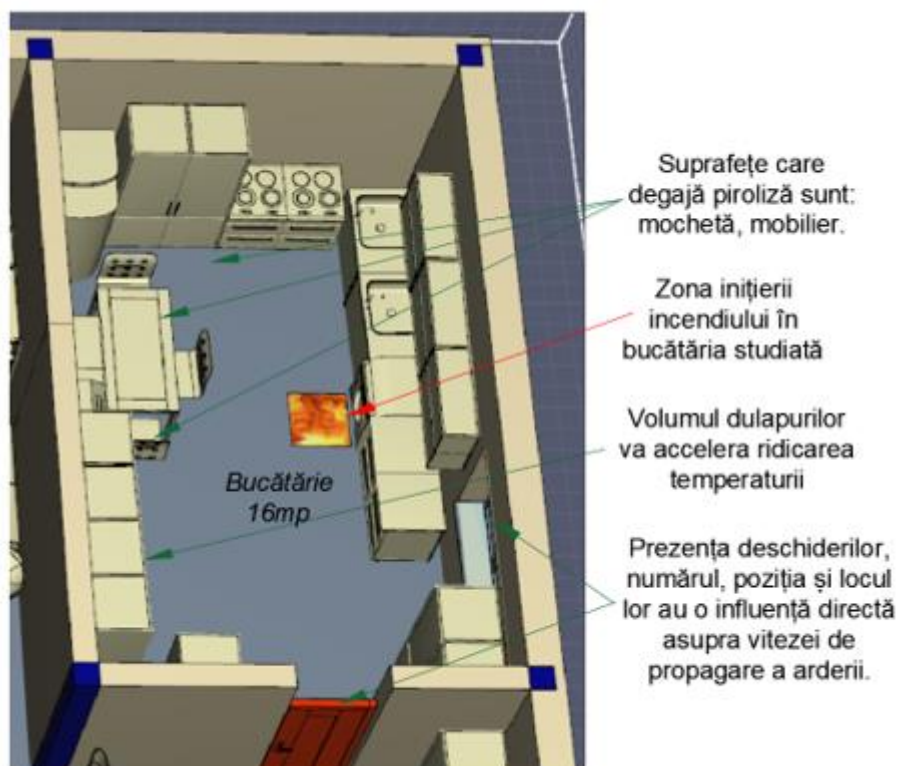


Figura 7 - Factori ce influențează viteza de ardere în dezvoltarea incendiului (soft Pyrosim)

Temperatura influențează viteza reacțiilor chimice, care este primordială în stabilirea vitezei de propagare a incendiului.

Viteza de propagare a arderii unui material depinde de forma geometrică a acestuia și de dispunerea lui în spațiu și față de celelalte elemente din încăpere.

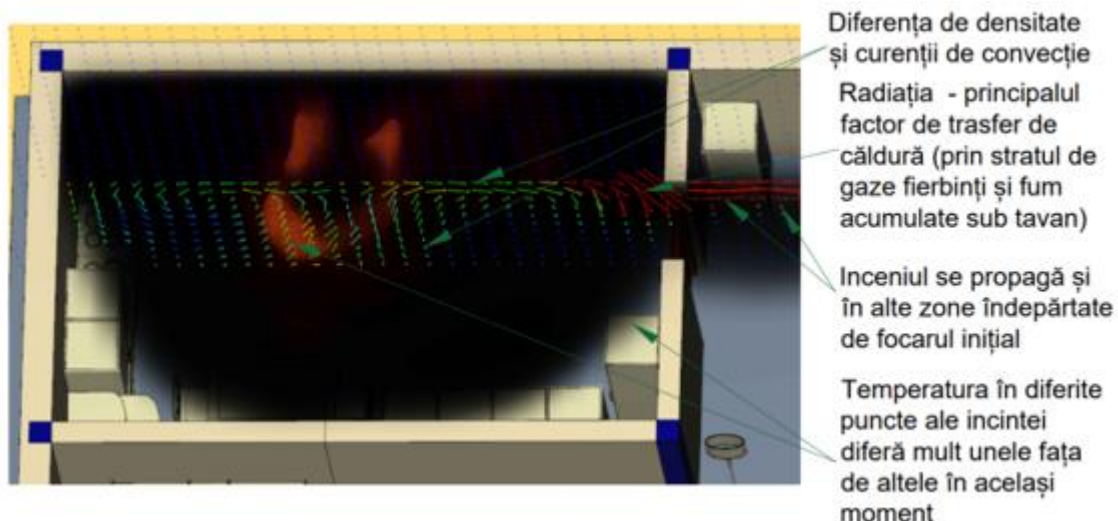


Figura 8 - Dezvoltarea incendiului (simulare program Pyrosim)

Fumul, prin componenții săi, constituie o nouă sursă de combustibil în ecuația dezvoltării incendiului. Obiectele care vin în contact cu căldura degajată de incendiu prin radiație și conducție se încălzesc și se aprind. Etapa de dezvoltare a incendiului constituie momentul cel mai instabil al evoluției unei arderi.

Arderea generalizată - faza denumită ardere generalizată este cea mai importantă etapă a incendiului, astfel că intensitatea și riscul de propagare ale acestuia sunt maxime.



Figura 9 - Fenomenul de flash-over

După producerea fenomenului de flash-over (sau, mult mai rar - backdraft) arderea se generalizează în întreaga incintă.

Temperaturile se uniformizează spre valori maxime, transferul de căldură prin radiație devenind net preponderent. În cursul acestei faze, structurile de rezistență sunt cele mai afectate de incendiu: se fisurează și se dislocă pereții, se largesc deschiderile, având ca urmare propagarea incendiului în incintele alăturate și apoi în întreaga clădire.

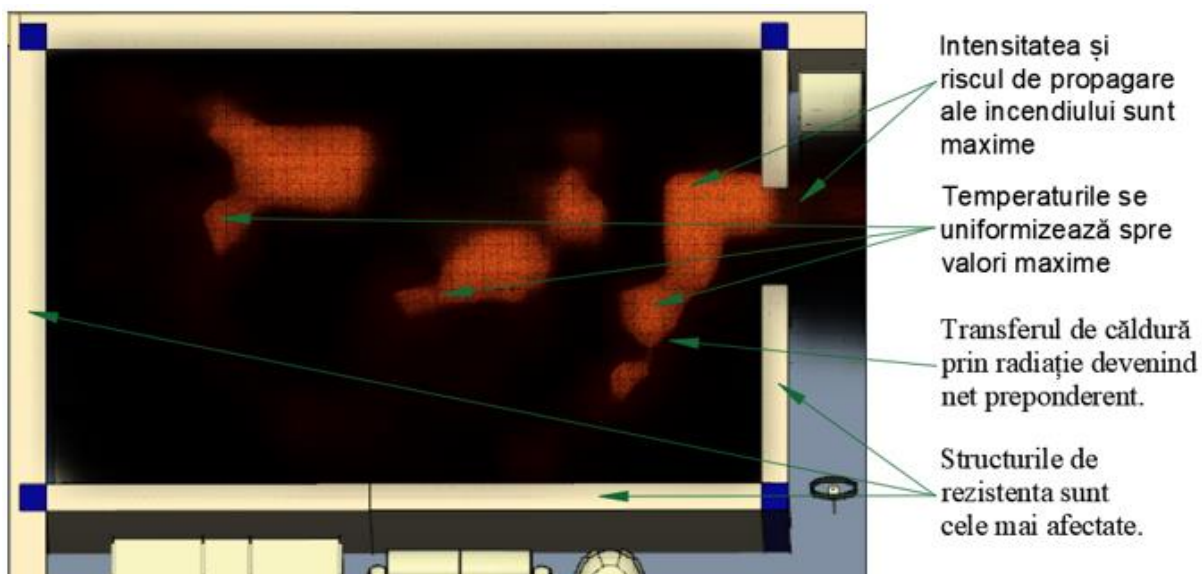


Figura 10 - Arderea generalizată (simulare program Pyrosim)

Regimul de ardere se stabilizează și este condiționat fie de suprafața materialelor combustibile, fie de dimensiunile deschiderilor, deci de regimul admisiei aerului.

a) În primul caz, viteza de ardere este limitată de mărimea suprafeței combustibilului, când aerul circulă în exces, în raport cu suprafața de contact dintre combustibil și aer (incendii ventilate- care sunt intense și de mică durată).

b) În al doilea caz, când cantitatea de aer din incintă este mai mică decât valoarea critică necesară combustiei (incendii neventilate) viteza de ardere depinde de dimensiunile deschiderilor (ferestrelor) din incintă.

Regresia arderii - în cursul acestei faze, temperatura încetează să mai crească, apoi începe să scadă, datorită epuizării combustibilului, dar scăderea nu este bruscă, acționând în continuare distructiv asupra structurilor. Regresia incendiului este legată de lipsa de combustibil și/sau decomburent.

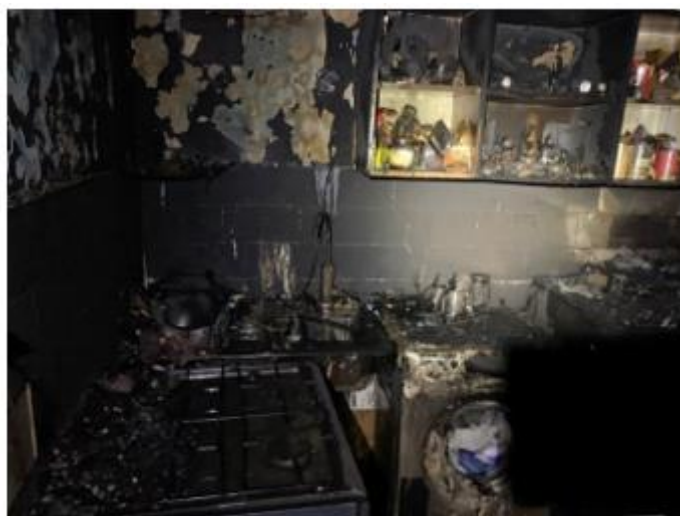


Figura 11 - Regresia Arderii (imagine din incendiul studiat)

Evoluția incendiului în spațiu închis este reprezentată în diagrama următoare:

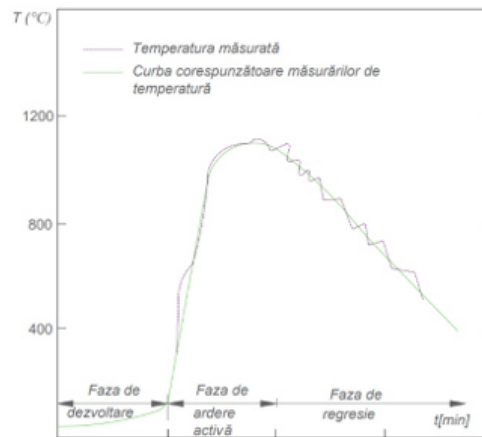


Figura 12 - Variația estimativă a temperaturii în timpul unui incendiu

Curba din figură indică corelația dintre temperatură, gazele calde și durata incendiului convențional izbucnit într-un spațiu închis. În faza de dezvoltare a incendiului are loc, în principal, propagarea arderii, pierderea de greutate a materialelor combustibile echivalând cu 5-7%.

Pe timpul arderii se majorează suprafața incendiată, se generalizează suprafața de ardere, se depășește temperatura de 900°C; pierderea de greutate a materialelor combustibile ajunge la 80-85%.

Durata fazei de regresie este determinată de intensitatea de manifestare a fazei de ardere activă.

#### b. Situația propusă:

Situația propusă se regăsește prin compartimentarea sufrageriei față de hol și casa scării, printr-un perete de zidărie și o ușă normală de interior din pvc.

Compartimentarea la foc - reprezintă construcția sau o parte a unei construcții conținând una sau mai multe încăperi sau spații, delimitate prin elemente de construcții destinate să izoleze focarul, în scopul limitării propagării incendiului, pe o durată determinată.



Figura 13 - Situația propusă (compartimentarea spațiului - plan parter)

### 3. Rezultate obținute

a) Situația reală - incendiu (fumul, temperatura, compuși ai arderii) se propagă din zona inițială (bucătărie) către zona de sufragerie, apoi în zona holului și casa scării (spații superioare).

În situația expusă timpul de evacuare a persoanelor surprinse la etaj și mansardă scade datorită propagării fumului către casa scării de la parter și ulterior spre etaj și mansardă.

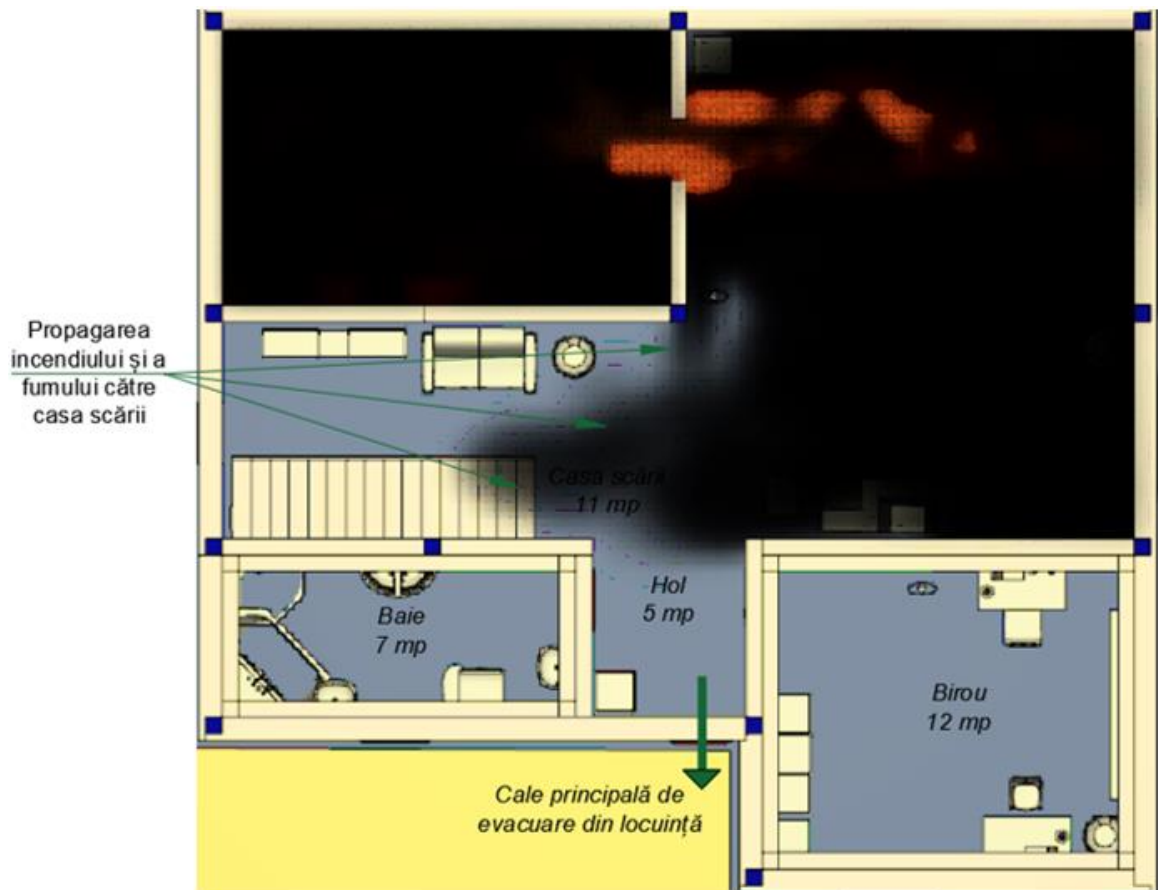


Figura 14 - Manifestarea și propagarea incendiului (situația reală)

Se observă expansiunea compușilor de ardere (particule componente ale fumului) spre calea principală de evacuare din locuință, îngreunând posibilitatea persoanelor de a se autoevacua în condiții de siguranță.

b) Situația propusă - incendiu (fumul, temperatura, compuși ai arderii) se propagă din zona inițială (bucătărie) către zona de sufragerie, apoi este limitat temporar de către peretele de compartimentare din holului și casa scării.

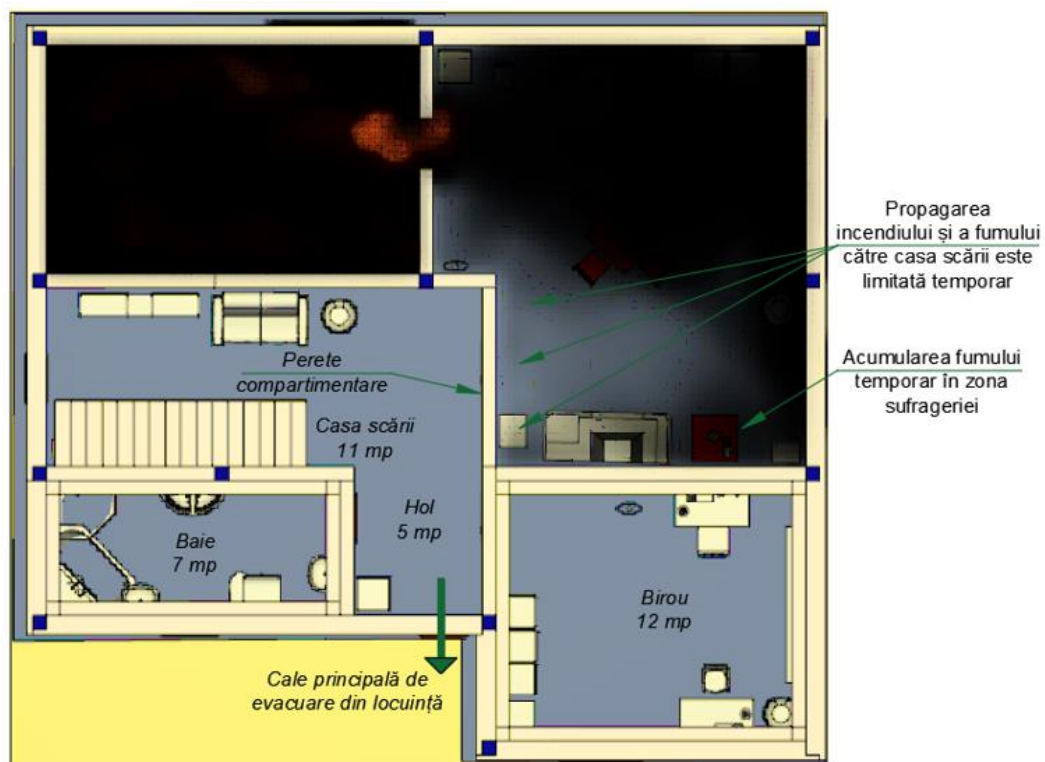


Figura 15 - Manifestarea și propagarea incendiului (situația propusă)

Se observă limitarea temporară a propagării incendiului spre zona holului și casa scării, prin această limitare persoanele surprinse în interiorul locuinței la etaj și mansardă se pot autoevacua în condiții de siguranță

b.1) Evoluția temperaturii în timpul incendiului - (situația propusă)

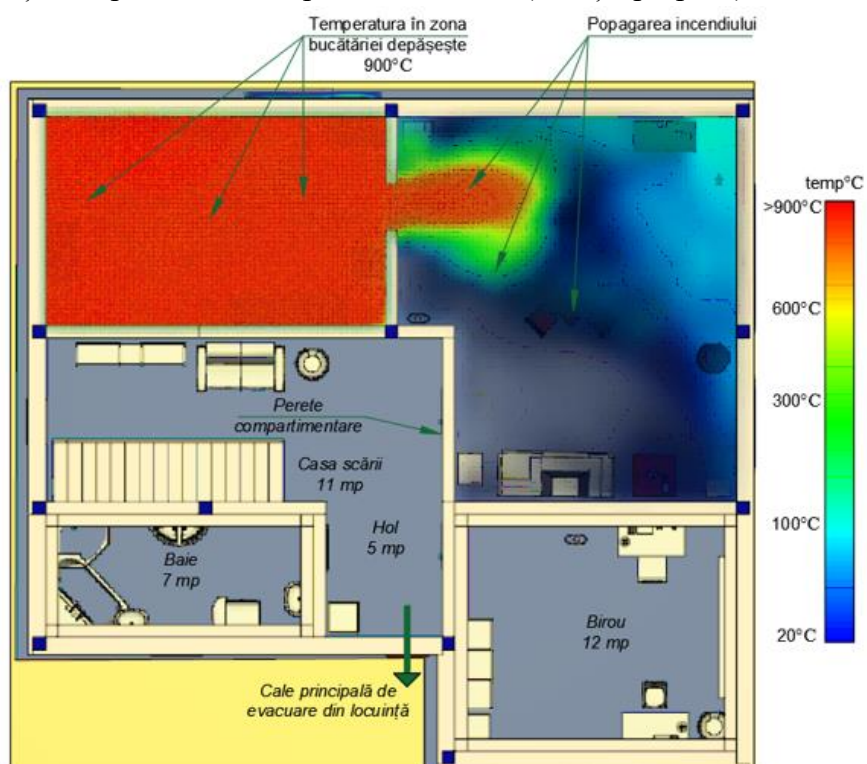


Figura 16 - Propagarea temperaturii în timpul dezvoltării incendiului (situația propusă)



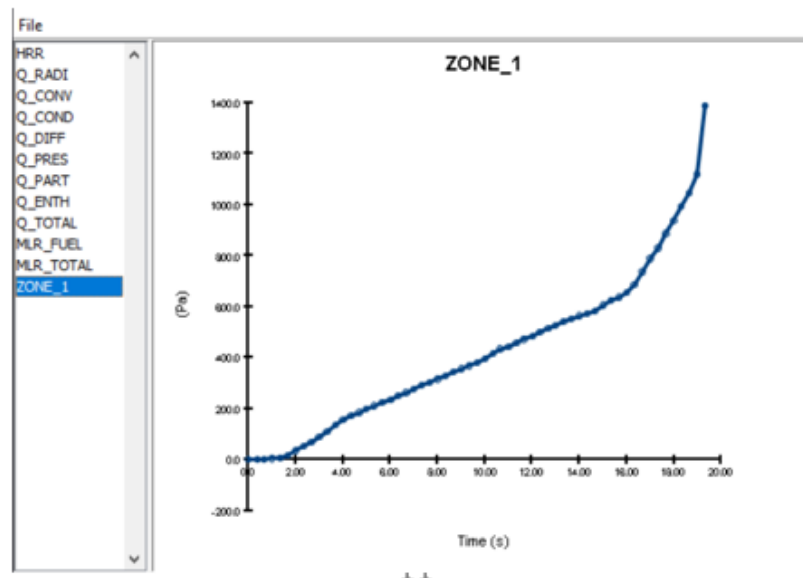


Figura 17 - variația presiunii în timpul incendiului

#### 4. Concluzii

Elemente privind stabilirea cauzei probabile de producere a evenimentului:

- a) locul focarului - bucătărie;
- b) sursa probabilă de aprindere (la incendiu) - efect termic al curentului electric;
- c) mijlocul care poate produce aprinderea - cablu electric, conductor electric;
- d) primul material care s-a aprins - mase plastice;
- e) împrejurarea determinată - conductor, cablu electric defect, neizolat corespunzător sau cu izolație deteriorată în urma unei acțiuni mecanice sau fizice;
- f) condiții care au favorizat dezvoltarea și propagarea incendiului: cantitatea de materiale combustibile și dispunerea acestora în încăpere;

Prin simularea de tip FDS a unui incendiu, precum și după adăugarea unei alte soluții arhitecturale, se poate vedea imediat rezultatul, crescându-se nivelul de siguranță, putându-se îndeplini cerința de evacuare în siguranță precum și limitarea efectelor cauzate de un incendiu.

## **STUDY ON THE NUMERICAL SIMULATION OF THE PROPAGATION OF A FIRE IN A BUILDING**

### ***Abstract***

*The 3d model of a building was built to analyze the scene of a fire with reference to the real situation. The process of evolution of a fire was simulated with FDS. The evolution time of the fire, the degree of danger, the temperature as well as the visibility were analyzed. Architectural solutions that could be taken into account for the prevention and evolution of fires in the presented situations were also analyzed. The results of the simulations in the proposed scenarios showed that solutions could be found to prevent the spread of fires. The results of the study provide a real basis for improving the evacuation conditions and limiting the damage caused by fires in single-family buildings.*

### **Bibliografie**

1. Ghid privind tehnica și tactica stingerii incendiilor - ISU 01
2. Ghid privind tehnica și tactica stingerii incendiilor ISU 04
3. LEGE nr.307 din 12 iulie 2006 privind apărarea împotriva incendiilor
4. Normativ de siguranța la foc a construcțiilor - P118



## **CONSIDERAȚII PRIVIND REZILIENȚA ȘI SUSTENABILITATEA APELOR METEORICE ÎN CONTEXTUL ECONOMIEI CIRCULARE ȘI A SCHIMBĂRILOR CLIMATICE**

**Dan MUREȘAN, Anagabriela DEAC, Andrei BOLBOACĂ, Cristina IACOB, Teodor  
CHIRA**

*Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca – Facultatea de Inginerie a Instalațiilor*

### **Rezumat**

*Apa reprezintă una dintre cele mai valoroase resurse. Schimbările climatice afectează în mod esențial resursele de apă. Cea mai scumpă resursă a omenirii se transforma constant într-o marfă și este pe cale să formeze ce mai mare piață din lume, fiind deja listată la bursă. Apa meteorică o primim gratis, dar cheltuim resurse importante ca să o reintroducem în circuitul apei din natură.*

### **1. INTRODUCERE**

Din punct de vedere al “dreptului la apă”, definit ca fiind „apă într-o cantitate care este suficientă, sigură, acceptabilă și accesibilă fizic și economic pentru folosință personală și casnică” de către Comitetul pentru Drepturile Economice, Sociale și Culturale al Consiliului Economic și Social al Națiunilor Unite în conformitate cu Comentariul General Nr. 15, “apa”, concept al sustenabilității reprezintă una dintre cele 17 obiective ale dezvoltării durabile publicate de ONU și anume – “Apă curată și sanitație– Asigurarea disponibilității și managementului durabil al apei și sanitație pentru toți.” Un management durabil poate fi definit ca totalitatea activităților care asigură reducerea consumului de apă potabilă, reciclarea și reutilizarea, astfel încât apele uzate și apele meteorice să fie transformate într-un bun cu valoare. Studiile evidențiază faptul că s-ar putea reutiliza până la 6.6 miliarde de metric cubi de apă pe an. În momentul de față reutilizăm doar 1.1 miliarde. Datorită multiplelor posibilități de reutilizare, apele meteorice reprezintă cea mai esențială și eficientă modalitate de a asigura o dezvoltare sustenabilă clădirilor

## 2. Norme legislative și metodologie de dimensionare

În vederea determinării debitului de ape meteorice vehiculat prin conductele de canalizare, în continuare, se va prezenta metoda de calcul a acestuia conform legislației și normelor în vigoare la data redactării acestui articol. Din punct de vedere al apelor meteorice care cad pe o proprietate se pot identifica două debite: unul care va fi colectat de pe suprafața clădirii (acoperiș, terase, pereți, curți de lumină, curți engleze) denumit în continuare debit interior și unul ce va fi colectat de pe suprafața curții incintei (alei, trotuare, spații verzi, parcuri) denumit debit exterior de ape meteorice. [1]

Debitul de calcul al apelor meteorice interioare se va determina conform relației:

$$Q_{ci} = 0,0001 \cdot i \cdot \Sigma \Phi \cdot S_c \quad [l/s] \quad (1)$$

în care  $i$  este intensitatea ploii de calcul, în  $[l/s \cdot ha]$ ;

$\Phi$  - coeficientul de scurgere a apei meteorice de pe suprafața de calcul;

$S_c$  – suprafața de calcul, în  $[m^2]$ , corespunzătoare coeficientul de scurgere  $\Phi$ .

Intensitatea ploii de calcul,  $i$ , se va determina în funcție de frecvența normată a ploii și de durata ploii conform STAS 1795. Frecvența normată a ploii de calcul se va stabili conform STAS 1846-2/2007, în funcție de amplasamentul imobilului. Durata ploii,  $t$  [min], se va determina prin apreciere și se va verifica după stabilirea diametrelor conductelor cu relația:  $t = t_{cs} + l/v$ , în care  $t_{cs}$  este timpul de adunare a apei de ploaie de pe suprafața receptoare și timpul de scurgere prin coloanele instalației interioare de canalizare pluvială;  $l$  este distanța cea mai mare pe care o parcurge particula de ploaie în conductele orizontale până în secțiunea de control (valoarea recomandată în normele legislative fiind de 2 min), în m, iar  $v$  este viteza de curgere a apei în conductele orizontale de canalizare corespunzătoare debitului maxim de scurgere cu nivel liber (  $60 \div 120$  [m/min] în funcție de materialul conductelor), în m/min. Coeficientul de scurgere a apei meteorice,  $\Phi$ , se va stabili în funcție de felul învelitorii și de tipul de acoperiș adoptat. Suprafața de calcul,  $S_c$ , se consideră proiecția pe orizontală a suprafeței receptoare  $S$ , în  $m^2$ , în funcție de unghiul dintre suprafața receptoare și proiecția ei pe orizontală se va stabili relația de calcul dintre  $S$  și  $S_c$  conform normelor legislative. [1]

Debitul meteoric exterior, cel colectat de pe suprafața solului, se va determina cu o relație de formă similară debitului interior, însă totuși sunt câteva aspecte diferite.

$$Q_{ce} = m \cdot S \cdot \Phi \cdot i \quad [l/s] \quad (2)$$

în care  $m$  este coeficientul de reducere a debitului în funcție de timpul de ploaie;

S – suprafața de colectare a secțiunii de calcul, în ha;

$\Phi$  – coeficientul de scurgere a apei meteorice de pe suprafață;

i – intensitatea medie ploii de calcul, în [l/s·ha];

Pentru un timp de ploaie mai mic de 40 de minute, valoarea coeficientului de reducere,  $m$ , va avea valoarea 0,8, iar pentru un timp de ploaie mai mare de 40 de minute  $m$  va avea valoarea 0,9. Suprafața de colectare a secțiunii de calcul,  $S$ , va cuprinde suprafața secțiunii de calcul și suprafețele din amonte de secțiunea de calcul dacă acestea există. Coeficientul de scurgere,  $\Phi$ , se determină ca raportul dintre volumul de apă ajuns în canalizare și volumul ploii căzute în bazin. Aceste valori pot fi adoptate din SR 1846-2 din 2007, în funcție de tipul suprafeței. Intensitatea medie a ploii de calcul,  $i$ , se va determina pe baza curbelor IDF din STAS 9470-73 sau pe baza unor studii de specialitate în funcție de frecvența normată a ploii,  $f$ , și de timpul de ploaie,  $t_p$ . Valoarea frecvenței normate de ploaie,  $f$ , în cazul debitelor meteorice exterioare, se va adopta în funcție de suprafața bazinului colector și de numărul de locuitori ai localității sau pe baza studiilor actualizate. Durata ploii de calcul,  $t_p$ , reprezintă timpul de curgere a apei de la punctul cel mai îndepărtat al bazinului de canalizare până în secțiunea de calcul pentru care se face dimensionarea, și se calculează astfel:

$$t_p = t_{cs} + L/v_{ap}, \quad [\text{min}] \quad (3)$$

în care  $t_{cs}$  este timpul de concentrare superficială ce poate avea valori de la 5 minute până la minute în funcție de panta medie a suprafeței colectoare,  $L$  este lungimea tronsonului de la prima gură de scurgere la secțiunea de calcul, în metri, iar  $v_{ap}$  este viteza apreciată pe tronsonul de calcul, în m/s, care se va estima pe baza pantei terenului, însă viteza efectivă rezultată nu trebuie să difere cu mai mult de  $\pm 20\%$  de valoarea apreciată. [2]

După cum se observă din relațiile de mai sus, în cazul ambelor debite trebuie să cunoaștem intensitatea ploii de calcul. Dacă considerăm suprafața de calcul și coeficientul suprafeței ca fiind valori constante, putem evidenția că, intensitatea ploii de calcul are influență directă asupra valorii debitelor de ape meteorice. Astfel, intensitatea ploii de calcul, prin frecvența ploii și durata ei sunt dintre elementele principale ce stau la baza dimensionării instalațiilor de canalizare a apelor meteorice. De-a lungul ultimilor ani s-au încercat mai multe metode de determinare a frecvenței ploii de calcul. În cazul debitelor meteorice interioare s-a ținut cont de clasa de importanță a clădirii și de numărul de locuitori ai localității în care este

clădirea. Pentru debitele exterioare s-au stabilit statistic valori recomandate pentru frecvența ploii ( 1 până la "n" ani nu trebuie să se producă punerea sub presiune a rețelei) și pentru frecvența prevăzută pentru inundare (1 la "n" ani) în funcție de amplasamentul suprafeței de calcul. Însă, schimbările climatice din ultimii ani ne-au arătat că sunt unele situații în care instalațiile de canalizare a apelor meteorice nu reușesc să preia tot ceea ce cade pe suprafețele colectoare. Invariabilitatea intensității ploii de calcul este foarte greu de previzionat într-o formulă matematică capriciile naturii. Pentru a stabili o valoare cât mai reală a precipitațiilor s-a instalat în localitatea Cluj Napoca un sistem de echipamente (v.fig.2) alcătuit dintr-un pluviometru la care s-a conectat un data logger marca Rainlog 2.0 astfel s-au înregistrat cantitatea de precipitații care prin intermediul unui software și a memoriei permit exploatarea informațiilor stocate.



Figura 1 Echipamentele utilizate în monitorizarea precipitațiilor

### 3. Studiu de caz

În urma analizei datelor furnizate se sistemul de monitorizare a precipitațiilor s-a ales aprilie 2022 ca lună de referință pentru calculul debitelor de ape meteorice căzute pe proprietatea unde avem montate echipamentele. După cum se vede și pe harta cu cantitățile de precipitații, de la Administrația Națională de Meteorologie, căzute în luna de referință s-au înregistrat valori lunare cuprinse între 31 și 40 mm de precipitații. (v.fig.2) Studiul de caz se face pe o locuință situată în municipiul Cluj-Napoca cu o suprafață construită de 249,80 metri pătrați iar spațiul verde și suprafețele pavate însumează 751,20 m<sup>2</sup>. Aplicând relațiile de calcul de mai sus v-om obține un debit maxim de ape pluviale de 13,07 l/s, ce va fi vehiculat prin rețeaua exterioară de canalizare.

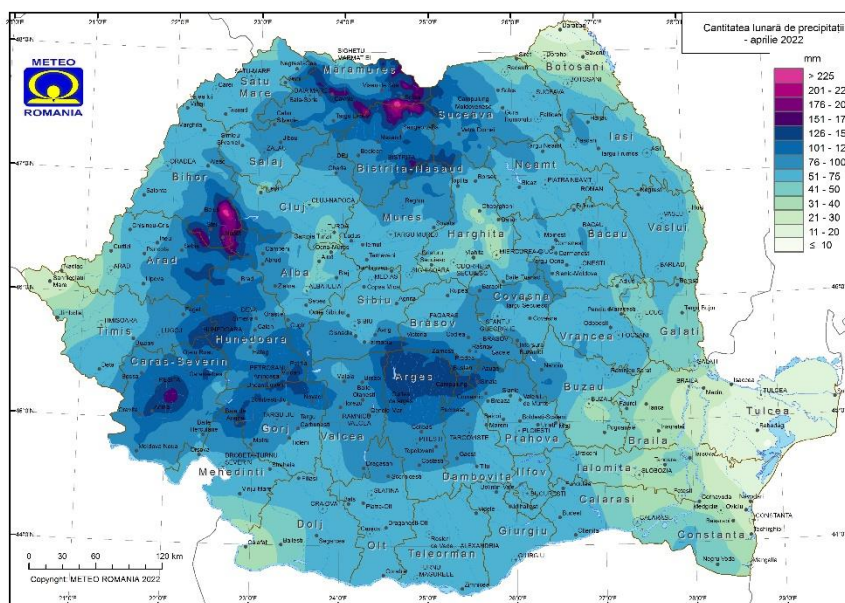


Figura 3 Cantitatea lunară de precipitații din luna de referință [3]

Acest debit de ape meteorice poate reprezenta o sursă alternativă pentru apa necesară pentru irigarea spațiilor verzi și pentru întreținerea curții proprietății. De asemenea, apele pluviale colectate de pe clădiri pot fi utilizate ca ape gri pentru unele obiecte sanitare. Pentru astfel de folosințe este necesară stocarea acestora în rezervoare de retenție a apelor pluviale. Odată prevăzute bazinele de retenție au și un rol important în a prelua vârfurile de debit atunci când este depășită intensitatea ploii de calul prevăzută în dimensionarea instalație, evitând astfel punerea sub presiune a rețelei de canalizare dar și refularea rețelei de canalizare. În funcție de specificul zonei în care se va amplasa bazinul de retenție și de tipul de ape colectate acesta se v-a dimensiona conform prevederilor SR 1846/2 din 2007.

#### 4. CONCLUZII

Analizând ultimii ani se poate observa o accentuare a severității fenomenelor meteorologice, acestea ducând la ploi de scurtă durată dar cu o intensitate ridicată. În acest context al schimbărilor climatice utilizarea bazinelor de retenție devine o necesitate. Astfel apare posibilitatea reutilizării apelor pluviale în contextul economiei circulare a apei și a sustenabilității clădirilor. Însă, trebuie să ne răspundem următoarelor întrebări: Cât pot utiliza din ceea ce primesc din ”cer”?; Cât pot stoca? și Ce fac cu diferența?. De aceea, în vederea determinării mai exacte debitelor de ape meteorice este necesară amplificarea studiilor și cercetărilor în această ramură. O altă provocare o poate reprezenta potabilizarea apelor meteorice la locul captării lor. Și nu în ultimul rând, determinarea unui concept rezilient al apei meteorice în cadrul economiei circulare, astfel încât apa meteorică să reprezinte sistemul prioritar de asigurare a nevoilor unei clădiri, iar apa potabilă să devină sistemul secundar sau varianta de rezervă. Odată cu conturarea răspunsurilor la aceste concluzii v-a fi necesară și

actualizarea normelor legislative atât în privința datelor meteorologice cât și a celor ce stau la baza proiectării instalațiilor apelor meteorice.

## **CONSIDERATIONS ON RESILIENCE AND SUSTAINABILITY OF WEATHER WATERS IN THE CONTEXT OF THE CIRCULAR ECONOMY AND CLIMATE CHANGE**

### ***Abstract***

*Water is one of the most valuable resources. Climate change essentially affects water resources. The most expensive resource of mankind is constantly turning into a commodity and is about to form the largest market in the world and is already listed on the stock exchange. We receive the meteoric water for free and we spend important resources to reintroduce it into the natural water circuit.*

### **Bibliografie**

- [1] \*\*\* I9 – 2015 – Normativ privind proiectarea, execuția și exploatarea instalațiilor sanitare aferente clădirilor, 2015;
- [2] \*\*\* NP 133/2-2013 - Normativ privind proiectarea, execuția și exploatarea sistemelor de alimentare cu apă și canalizare a localităților, 2013;
- [3] \*\*\* <https://www.meteoromania.ro/despre-noi/meteorologie-operationala/baze-de-date/>
- [4] Gheorghe Badea, Instalații Sanitare, Editura Risoprint, 2008, Cluj – Napoca;
- [5] \*\*\* Enciclopedia Tehnică de Instalații – Manualul de Instalații Sanitare, Editia a II-a, Editura Artecno București, 2010.





## **CONSIDERAȚII PRIVIND ACCESUL GAZELOR DIN SURSE REGENERABILE LA REȚEAUA DE DISTRIBUȚIA GAZELOR NATURALE EXISTENTĂ**

**Diana Laura MERTAN**

*Universitatea Politehnica Timișoara - Facultatea de Construcții, Departamentul Inginerie Civilă și Instalații*

### **Rezumat**

*Consumul mondial în continuă creștere de gaze naturale și rapiditatea epuizării rezervelor de combustibili fosili au tras un semnal de alarmă specialiștilor preocupați de căutarea unor soluții energetice care să răspundă nevoilor actuale, pentru o creștere economică sustenabilă. Lucrarea de față prezintă accesul biometanului în sistemele existente de distribuție a gazelor naturale, cu scopul diminuării consumului de combustibili fosili. Acest articol investighează indicatori specifici pieței de gaze naturale din România, având drept țintă identificarea unei soluții eficiente privind suplimentarea de combustibili mai puțini nocivi decât combustibilii fosili, biometanul fiind o alternativă regenerabilă la combustibilii fosili. În acest caz, gazul „verde” - biometanul ajunge la utilizatorii finali prin intermediul conductelor de distribuție existente.*

### **1. INTRODUCERE**

În contextual actual, energia provenită din surse regenerabile a înregistrat o creștere timidă, reprezentând în prezent aproximativ 2% din totalul energiei produse la nivel național, în fruntea clasamentului fiind încă sursele convenționale de energie neregenerabile (cărbunele, petrolul și gazele naturale), cât și surseleneconvenționale de energie neregenerabile (energia nucleară). Cu toate acestea, pe fondul aderării României la Pactul Verde European (the Green Deal), ponderea producerii de energie provenită din surse regenerabile va trebui să crească până în anul 2030, contribuind astfel la crearea unei strategii energetice bazate pe reducerea dependenței de importuri, atât la nivel național, cât și al Uniunii Europene.

În contextual actual, energia provenită din surse regenerabile a înregistrat o creștere timidă, reprezentând în prezent aproximativ 2% din totalul energiei produse la nivel național, în fruntea clasamentului fiind încă sursele convenționale de energie neregenerabile (cărbunele, petrolul și gazele naturale), cât și surseleneconvenționale de energie neregenerabile (energia nucleară). Cu toate acestea, pe fondul aderării României la Pactul Verde European (the Green Deal), ponderea producerii de energie provenită din surse regenerabile va trebui să crească până în anul 2030, contribuind astfel la crearea unei strategii energetice bazate reducerea dependenței de importuri, atât la nivel național, cât și al Uniunii Europene.

O dezvoltare a sectorului energetic nu se poate implementa decât ținând cont de obiectivele sustenabilității. Pentru a facilita tranziția către o energie „verde”, Agenția Internațională a Energiei afirmă că emisiile de metan, care au ca sursă de proveniență combustibilii fosili, trebuie reduse cu 45% până în 2030. În situația îndeplinirii acestui obiectiv, încălzirea globală va putea fi diminuată cu 0,3 °C până în 2040 [2].

## 2. Stadiul actual privind combustibilii fosili

Pentru a facilita punerea în aplicare a strategiilor privind sustenabilitatea din sectorul energetic, atenția se va îndrepta cu precădere în procesul de formare a mixului energetic cu scopul diminuării utilizării combustibililor fosili. Modalitatea prin care putem contribui este procedura de injecție a gazelor regenerabile în rețelele de distribuție.

Cu privire la identificarea modului prin care putem implementa obiectivele sustenabilității pentru reducerea consumului de combustibili fosili, în primul rând se va prezenta alcătuirea gazelor naturale, apoi procedeul de determinare a cantității de energie consumată.

Deoarece gazele naturale fac parte din categoria combustibililor fosili, dezvoltarea sectorului energetic se face prin protejarea mediului înconjurător, utilizând alte tipuri de surse, printre care sursele regenerabile sunt avute în vedere[3].

Examinând alcătuirea gazelor naturale (Tabelul 1), se identifică drept component principal metanul (CH<sub>4</sub>), la care se adaugă amestecul de hidrocarburi grele (butan, etan, propan, dioxid de carbon, azot, hexan plus și pentan). Alături de acestea, în compoziția chimică a gazelor naturale se înregistrează componenți minori: monoxidul de carbon (CO), azot (N<sub>2</sub>), hidrogenul (H<sub>2</sub>), oxigenul (O<sub>2</sub>), heliu (He) cât și urme de constituenți proveniți din sulf [4].

Tabelul 1. Cerințe de calitate minime necesare vehiculării gazelor naturale și biometanului prin conducte raportate la concentrația molară, notată cu C<sub>i</sub>; Constituenții principali pentru gazele naturale, biogazul brut și biogazul îmbunătățit (biometan).

Componenți minori și majori procentuali					
Gaze naturale	C <sub>i</sub>	Biogaz brut	C <sub>i</sub>	Biogaz îmbunătățit (biometan)	C <sub>i</sub>
metan (CH <sub>4</sub> )	min. 85	metan (CH <sub>4</sub> )	45-75	metan (CH <sub>4</sub> )	min. 90
dioxid de carbon (CO <sub>2</sub> )	max. 8	dioxid de carbon (CO <sub>2</sub> )	30-40		
etan (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	max.	oxigen (O <sub>2</sub> )	max. 1		

	10		
butan (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	max. 1,5	hidrogen sulfurat (H <sub>2</sub> S)	0,0025-0,0030 (25-30 ppm)
propan (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	max. 3,5	amoniac (NH <sub>3</sub> )	max. 0,01 (max. 25-30 ppm)
azot (N)	max. 10	azot (N)	1-2
pentan (C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> )	max. 0,5	siloxan (R <sub>2</sub> SiO)	urme
hexan (C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> )	max. 0,1	apă (H <sub>2</sub> O)	urme

Metanul este unul din elementele componente din amestecul de gaze ce ajută la formarea procesului de ardere. Alături de acesta, în structura gazelor naturale se identifică alcani și gaze inerte vehiculate în rețeaua de distribuție, în concentrație mai mică.

În urma procesului de ardere, prin oxidare rapidă a substanțelor combustibile se degajă căldura. Pentru ca procesul de ardere să poată interveni se folosesc produși de reacție, iar în urma arderii combustibililor se obțin gazele de ardere.

Prin procedeul de determinare a cantității de energie consumată de către utilizatorul final se poate stabili aportul fiecărui participant la consumul de gaze naturale.

Formula de calcul pentru determinarea cantității de energie consumată de către utilizatorii finali, în cazul folosirii aparatelor consumatoare de combustibili gazoși este următorul[5]:

$$E = V_b \times PCS \quad (1)$$

În care: E - energia gazelor naturale (kWh), efect al conversiei cantității de gaze naturale în unități de energie; V<sub>b</sub> - volumul corectat, determinat în condiții de referință (m<sup>3</sup>); PCS-puterea calorifică superioară a gazelor naturale (kWh/mc), determinată la temperatura de combustie de 150C, utilizându-se cromatografele.

Pentru a determina cantitatea de energie consumată, trebuie să se cunoască puterea calorifică superioară (Tabelul 2). Puterea calorifică superioară, atribuindu-i-se și denumirea de căldură de ardere, este stabilită de către operatorii economici[6] și este un parametru de tip calitativ, înregistrând inflexiuni în funcție de locul de origine (producție internă, import).

Tabelul 2. Puterea calorifică superioară pentru diferite tipuri de gaze

Valori energetice - gazul natural, metan, biogaz și biometan				
Nr. Crt.	Denumire	Tipul de combustibil gazos	Unitate de măsură	Valoare
1	Puterea calorifică superioară (PCS)	gazul natural	kWh/mc	10,46
2	Puterea calorifică superioară (PCS)	metan	kWh/mc	11,06
3	Puterea calorifică superioară (PCS)	biogaz	kWh/mc	4,44- 7,78
4	Puterea calorifică superioară (PCS)	biometan	kWh/mc	6,75- 9,41

Din punct de vedere teoretic, puterea calorifică ( $\text{kJ}/\text{m}^3\text{N}$ ) pentru combustibilii gazoși se exprimă astfel [13]:

$$PC = \sum_{i=0}^n \frac{P_i \cdot c_i}{100} \quad (2)$$

unde:

$P_i$ - puterea calorifică specifică elementului  $i$  ( $\text{kJ}/\text{m}^3\text{N}$ );  $C_i$ - concentrația compoziției  $i$  (exprimată în procente)

Astfel, pe baza unei analize cromatografice, se poate determina puterea calorifică superioară calculată prin arderea completă a unui  $\text{m}^3$  de combustibil.

Pornind de la ultimele rapoarte naționale de monitorizare pentru piața internă de gaze naturale[7] și calculând pentru anul 2021 consumul anual al utilizatorului final casnic din România, a rezultat valoarea de 20,34 kWh/utilizator an 2021. Calculat pentru Europa, consumul de energie provenită din combustibili fosili este de 35,11 kWh/utilizator an 2021[8]. Se remarcă faptul că România se află sub pragul mediu al consumului de energie provenită din combustibili fosili.

### 3. Gaze combustibile-compatibilități

O modalitate prin care putem participa la acțiunea comună a UE privind valorificarea gazelor regenerabile este injecția acestora în conductele existente. Astfel, este necesară stabilirea condițiilor de compatibilitate dintre aceste tipuri de gaze și cele neregenerabile. Trebuie subliniat că există în lucru un Standard European ce încearcă să constituie o normă comună privitoare la condițiile tehnice ce trebuie respectate pentru contribuția la mixul energetic a biometanului[9]. Dintre condițiile tehnice care vor fi agreate de statele semnatare (17 în prezent) se numără, printre altele: determinarea indicelui Wobbe și puterii calorifice, condiții ce diferă în funcție de fiecare țară.

Atât România, cât și restul statelor membre ale UE au identificat o modalitate de combatere a crizei energetice actuale, acestea trebuind să stabilească anumite criterii comune de calitate ce definesc gazele.

Cercetând sectorul energetic național, am constatat faptul că există potențial de a suplimenta o cantitate determinată de biometan, provenit din biogaz, în conductele de distribuție gaze naturale.

Biogazul se obține prin intermediul unor operații biotehnologice, implicând procesul de fermentație anaerobă realizat din degradarea materiei organice. Prin procesul tehnologic de tratare al biogazului se obține biometanul, ce face parte din categoria gazelor regenerabile.

O caracteristică ce necesită a fi pusă în evidență este diferența dintre biogaz și gazul natural din punct de vedere al compozițiilor chimice (Tabelul 1). Se remarcă principalul element component din amestecul de gaze - metanul, care contribuie în mod accelerat la creșterea emisiilor de gaze cu efect de seră, cu deosebire față de biometan ce poate fi obținut prin metode sustenabile. Alături de acesta, din rândul compușilor chimici mai enumerăm: dioxidul de carbon ( $\text{CO}_2$ ), hidrogen ( $\text{H}_2$ ), dar pot include totodată și anumite impurități[10]. Prin intermediul tehnicilor inovative folosite la eliminarea constituenților nocivi ce fac parte din componența biogazului ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$ , siloxani) se enumeră: procedeul de absorbție, ce

include absorbția de tip chimic sau fizic; procedeul de adsorbție(adsorbția prin variație de presiune și de temperatură), tehnica vidului, metoda de separare prin membrană, metoda de separare criogenică, metoda privind captarea și stocarea carbonului și folosirea de tehnologii hibride [11].

Din punct de vedere al condițiilor de compatibilitate pentru rețeaua existentă de gaze naturale, biogazul este un element cheie pentru a reduce dependența de importuri. Totuși, în acest caz, prin procesul de purificare al biogazului, se urmărește eliminarea conținutului de CO<sub>2</sub> existent în proporție de 30-40% și îndepărtarea altor contaminanți cum sunt: vapori de apă, hidrogen sulfurat (H<sub>2</sub>S), oxigen (O<sub>2</sub>), azot (N), amoniac (NH<sub>3</sub>), siloxan (R<sub>2</sub>SiO)și particule de praf, cu scopulobținerii biometanului, ce are calități asemănătoare gazelor naturale. Biogazul conține între 45-75% metan (CH<sub>4</sub>), iar pentru îmbunătățirea eficienței energetice se va realiza creșterea conținutului de metan prin atingerea pragului minim de calitate (Tabelul 1) [11].

În contextul armonizării legislației naționale cu reglementările emise la nivelul UE este necesar să fie stabilit indicele Wobbe, determinarea pragului de referință pentru puterea calorică superioară, stabilirea temperaturii prin raportare la condiții standard de referință. Toate acestea sunt necesare pentru realizarea compatibilității dintre cele două tipuri de gaze combustibile utilizate[10].

Indicele Wobbe (exprimat în MJ/m<sup>3</sup>) se definește astfel[13]:

$$I_w = \frac{PCS}{\sqrt{G_s}} \quad (3)$$

unde:

PCS –puterea calorică superioară, exprimată în MJ/m<sup>3</sup>; G<sub>s</sub> – este greutatea specifică, exprimată în N/m<sup>3</sup>

Indicele Wobbe reprezintă unul din indicatorii tehnici caracteristici gazelor combustibile, fiind definit ca un indicator pentru interschimbabilitatea acestora. ÎnFigura1 sunt inserate valorile energetice recomandate pentru indicele Wobbe specifice gazului natural și metanului, în comparație cu biometanul.Astfel, s-au ținut cont de recomandările de armonizare a legislației privind standardizarea unitară, cu implicațiile statelor membre semnatare, privind biometanul pentru injecția în conductele de distribuție a gazelor natural [14].

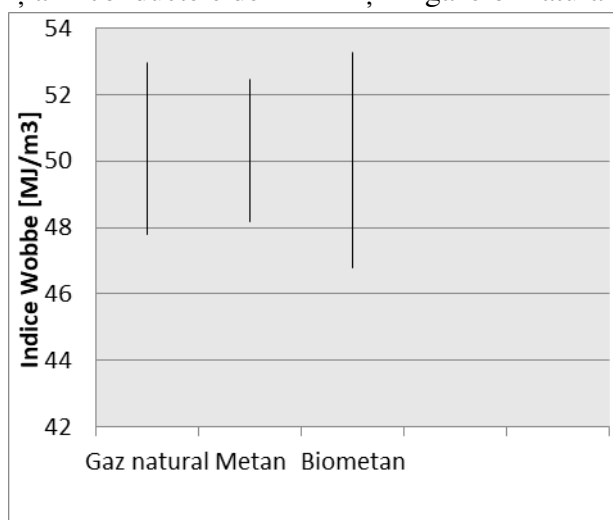


Figura1. Indicele Wobbe reprezentativ pentru gazul natural, biometan și metan

Datorită concentrației mari de CO<sub>2</sub> existente în biogazul aflat în stare brută, se influențează implicit și puterea calorifică. Prin procedeul de tratare al biogazului se urmărește captarea și stocarea conținutului de CO<sub>2</sub> (cât și al altor contaminanți) pentru a obține biometan ce va dobândi caracteristici superioare.

Gazele combustibile obținute prin procese biologice au o putere calorifică scăzută, aproximativ 4,44-7,78 kWh/mc, dar în urma eliminării concentrației CO<sub>2</sub>, cât și îndepărtarea altor contaminanți specificați enumerați, se va înregistra o creștere a conținutului de metan peste 90%. Se știe că PCS pentru biogaz este cuprinsă între 4,44-7,78 kWh/mc, respectiv 45-75% metan. Se calculează PCS pentru biometan, considerând că biogazul îmbunătățit conține 98% metan, atunci PCS a biometanului va fi cuprinsă între 6,75-9,41 kWh/mc, PCS fiind influențată de materia primă folosită.

#### 4. CONCLUZII

În lucrarea de față am creat o imagine de ansamblu asupra posibilității introducerii biometanului în rețelele de gaze naturale existente. E nevoie de a asigura o sursă de energie combustibilă regenerabilă, care să vină în completarea gazelor naturale din sistemul de distribuție, anume biometanul.

Economia României ar putea avea probleme dacă s-ar consuma doar combustibili fosili. Consumul se poate acoperi prin suplimentarea cu biometan în rețelele de distribuție existente gaze naturale, ținând cont de indicele Wobbe ce trebuie respectat, apreciind că din valorificarea deșeurilor organice s-ar putea obține biometanul necesar.

În mod firesc, necesarul de gaze naturale va crește, va crește și concurența pe piața de gaze. Rețelele existente vor fi extinse și interconectate cu cele ale statelor membre ale UE, având o influență pozitivă asupra îmbunătățirii siguranței energetice. România trebuie să țină seama spre o dezvoltare tehnologică ce vizează utilizarea gazelor „verzi”, în scopul diminuării consumului de combustibili fosili.

Persistă astăzi unele abordări diferite ale reglementărilor UE de realizare a unui sistem inteligent de distribuție a gazelor naturale ce includ gazele „verzi”, neregăsindu-se aplicabile și în legislația din România. Din verificarea literaturii de specialitate rezultă necesitatea stabilirii indicelui cheie influent pentru determinarea compatibilității celor două tipuri de gaze combustibile drept bază pentru dezvoltarea viitoarei metode prin injecția biometanului în sistemele existente, diminuând astfel consumul de gaze naturale. Concluzia generală este că indicatorul influent ales pentru interschimbabilitatea gazelor evidențiat în această lucrare ajută la cercetarea și dezvoltarea sistemelor mixte de gaze, la determinarea metodelor de analiză ale consumului și reducerea combustibililor fosili utilizați. Acest răspuns la nevoile actuale asigură o creștere economică sustenabilă pentru toți consumatorii de gaze naturale.

## CONSIDERATIONS REGARDING ACCESS OF GASES FROM RENEWABLE SOURCES TO THE EXISTING NATURAL GAS DISTRIBUTION NETWORK

### *Abstract*

*The ever-increasing global consumption of natural gas and the rapid depletion of fossil fuel reserves have sounded the alarm to those concerned with finding energy solutions that meet current needs for sustainable economic growth. This paper presents the access of biomethane in existing natural gas distribution systems, in order to reduce the consumption of fossil fuels. This article investigates specific indicators of the Romanian natural gas market, aiming to identify an efficient solution for supplementing less harmful fuels than fossil fuels, biomethane being a renewable alternative to fossil fuels. In this case, the „green” gas - the biomethane reaches the end users through the existing distribution pipes.*

### **Bibliografie**

- [1] Council of the European Union – Overview of progress of the “Fit for 55” package of legislative proposals, Brussels, 2021.
- [2] Rezoluția Parlamentului European - Strategia Uniunii Europene de reducere a emisiilor de metan **2021/2006(INI), Comisia Europeană, 2021.**
- [3] Khaled O. , Mohammad A. A., Tabbi W., Khaled E., Enas T. S., Hussein M. M., Olabi A.G. -Biogas role in achievement of the sustainable development goals: Evaluation, Challenges, and Guidelines, Elsevier, 2021, pag. 1-16.
- [4] Faramawy S., Zaki T., Sakr A.A.-E. - Journal of Natural Gas Science and Engineering - Natural gas origin, composition, and processing: A review, 2016, pag. 35-48.
- [5] Regulamentul de măsurare a cantităților de gaze naturale tranzacționate în România, aprobat prin Ordinul președintelui ANRE nr. 62/2008, anul 2008.
- [6] <https://delgaz.ro/putere-calorifica-superioara>, accesat în iunie 2022.
- [7] Rapoartele lunare de monitorizare pentru piața internă de gaze naturale A.N.R.E., anul 2021
- [8] Report Energy on European Gas Markets with focus on the European barriers in retail gas markets Q1-Q3, Market Observatory for Energy, 2021.
- [9] Dr Wellinger A. - European biomethane standards for grid injection and vehicle fuel, Conference, Brussels, 2017, coroborat cu M/475 Mandate to CEN for standards for biomethane for use in transport and injection in natural gas pipelines, Brussels, 2010.
- [10] Yaqian Z., Ange N., Doan P., Nathalie L. - A Review of Biogas Utilisation, Purification and Upgrading Technologies - review, Springer Science, 2016, pag. 1-4.
- [11] Babak A., Sara B., Somchai W., Mostafa S. S. - A review of recent progress in biogas upgrading: With emphasis on carbon capture, Elsevier-Biomass and Bioenergy, 2022, pag. 1-21.
- [12] Filipe M. Quintino, Nuno Nascimento, Edgar C. Fernandes-Aspects of Hydrogen and Biomethane Introduction in Natural Gas Infrastructure and Equipment, MDPI-Hydrogen, 2021, pag. 1-18.
- [13] The Wobbe Index in the H-gas standard and renewable gases in gas quality standardization - Presentation by CEN, Sector Forum Gas WG Pre-normative studies on H-gas quality parameter (SFGas GQS), Madrid Forum, 2021.



## **PARTICULARITĂȚI ALE STRUCTURII ELECTROMECHANICE MINIATURALE A MICROMOTOARELOR**

**Vasile BHRIN**

*Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași*

### **Rezumat**

*În această lucrare se evidențiază particularități de construcție și de funcționare ale micromotoarelor; se stabilesc expresii analitice pentru forțele lagrangeene specifice unor structuri electromecanice miniaturale, cu câmp magnetic respectiv cu câmp electric.*

### **1. INTRODUCERE**

Mașinile electrice speciale sunt mașini electrice capabile de performanțe deosebite; micromașinile sunt mașini electrice speciale cu performanțe proprii, dar și cu caracteristici care nu pot fi evidențiate decât prin prisma performanțelor sistemului automat (în care sunt înglobate) în ansamblu.

Micromașinile sunt sisteme electromecanice destinate conversiei energiei electrice în energie mecanică (regim de motor), sau energiei mecanice în energie electrică (regim de generator electric); micromașinile pot trece dintr-un regim de funcționare în altul, fără modificări constructive (sunt reversibile).

Mașinile electrice clasice funcționează pe baza conversiei electromecanice a energiei, iar în funcționarea mașinilor electrice speciale intervin și alte fenomene: histerezisul magnetic, inducția unipolară, anizotropia de formă; combinarea acestor fenomene a facilitat obținerea unor mașini speciale care, cu o construcție similară cu mașinile clasice, pot avea caracteristici de funcționare adecvate aplicației: mașini cu comutație statică, mașini amplificatoare, motoare cicloidale (cu rotor rulant), traductoare de poziție. Realizarea acestor mașini speciale se datorează apariției de noi tehnologii, dar și a unor noi materiale: progrese ale electronicii, magneți permanenți cu performanțe superioare (magneți pe bază de pământuri rare).



Utilizarea magneților permanenți pentru excitarea micromașinilor a determinat dispariția unor restricții de ordin termic și mecanic. Lipsa înfășurărilor de excitație, a bornelor de acces și a surselor de alimentare a acestor înfășurări a condus la eliminarea pierderilor de excitație, rezultând o încălzire diminuată; funcționarea magneților nu este afectată de apariția unei supraîncălziri provocată de o suprasarcină.

Spre deosebire de motoarele electrice clasice, micromotoarele prezintă unele caracteristici specifice:

- motoarele electrice sunt în general tipizate, standardizate, utilizatorul alegând tipodimensiunea cea mai convenabilă aplicației, iar micromotoarele se proiectează în funcție de cerințele aplicației;

- motoarele electrice funcționează, preponderent, în regim permanent (regimurile dinamice sunt prezente, în general, doar la pornire), pe când micromotoarele funcționează, de regulă, în regim dinamic, cu variație aproape permanentă a turației, cu control de poziție, de turație sau chiar de accelerație;

- din punctul de vedere al aplicației, în regim nominal, motoarele electrice sunt caracterizate de putere, cuplu, turație, tensiune, curent, randament și factor de putere (la cele de c.a.), pe când micromotoarele sunt caracterizate de curbele de variație ale mărimilor enumerate, în diferite regimuri de funcționare, dar și prin funcțiile de transfer (pentru a face posibilă analiza sistemelor automate în care sunt înglobate).

În funcție de componența structurală electromecanică, micromotoarele pot fi: cu câmp magnetic și cu câmp electric; această clasificare este asociată celor două tipuri fundamentale de medii concentratoare de energie care intervin în procesul conversiei electromecanice.

Structura electromecanică a unui micromotor cu câmp magnetic este constituită dintr-o parte fixă (stator) și o parte mobilă (rotor, cu mișcare de rotație sau de translație), din bobinaj parcurs de curent electric, magneți permanenți, circuit feromagnetic; statorul este prevăzut cu excitație prin bobinaj, iar rotorul poate fi:

- cu excitație prin magneți permanenți (micromotoare magnetoelectrice): micromotoare sincrone cu magneți permanenți, cu comutație electronică autocondusă, pas cu pas active;

- feromagnetic și prevăzut cu dinți, fără excitație (micromotoare cu reluctanță variabilă): micromotoare sincrone reactive, cu reluctanță variabilă comutată, pas cu pas reactive;

- cu excitație prin magneți permanenți înglobați într-o armătură feromagnetică dințată (micromotoare cu magneți permanenți și reluctanță variabilă): micromotoare sincrone cu rotație continuă, micromotoare pas cu pas.

- feromagnetic masiv, confecționat din material cu ciclu lat de histerezis: micromotoare sincrone cu histerezis;

- cu un circuit electric închis, cu structură de tip colivie, plasat pe un miez feromagnetic: micromotoare asincrone.

Micromotoarele cu câmp electric pot fi piezoelectrice și electrostatice (cu capacitate variabilă).

După natura mișcării părții mobile a structurii electromecanice, micromotoarele (cu câmp magnetic sau electric) pot fi cu mișcare:

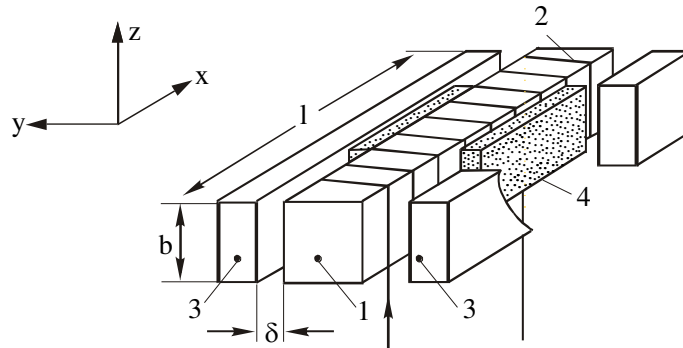
- continuă de rotație: micromotoare cilindrice și micromotoare discoidale;
- continuă de translație: micromotoare liniare;

- incrementală (discontinuu) de rotație sau de translație: micromotoare pas cu pas.

## 2. EXPRESII ANALITICE PENTRU FORȚE DE TIP MAGNETIC ȘI ELECTRIC

Forțele de tip magnetic și electric sunt influențate de reducerea dimensiunilor, în procesul de miniaturizare a structurii electromecanice.

1. Se consideră o structură electromecanică miniaturală ( $\mu$ SEM) de tip magneți cu mișcare de translație (Fig. 1).



**Fig. 1.** Structură electromecanică miniaturală de tip magneți cu mișcare de translație:

1-bară interioară; 2-înfășurare; 3-jug magnetic exterior; 4-magneți permanenți.

Statorul este constituit din circuitul feromagnetic format dintr-o bară interioară 1, de secțiune dreptunghiulară, în lungul căreia este bobinată o înfășurare 2 (având  $w$  spire), și care determină lungimea activă  $l$  a structurii; dimensiunea barei și a întregii  $\mu$ SEM pe direcția Oz este  $b$ ; jugul magnetic exterior, 3, are formă de etrier.

Partea mobilă constă din doi magneți permanenți, 4 (atașați dispozitivului antrenat), de dimensiuni  $l_M$ ,  $h_M$ ,  $b$ , al căror flux se închide prin circuitul feromagnetic statoric; distanța totală,  $\delta$ , între miezurile magnetice, interior și exterior, este determinată de grosimea  $h_M$  a fiecărui magnet permanent MP, de grosimea bobinajului central și de mărimea întrefierului mecanic impus de mișcarea liniară, fără frecare, a părții mobile.

Se admit următoarele ipoteze simplificatoare:

- $\mu$ SEM este simetrică și se poate determina analitic forța lagrangeeană considerând o semisecțiune axială (în planul xOy) conform figurii 2;

-bobinajul statoric are cele  $w$  spire uniform distribuite astfel încât, curentul electric de conducție, de intensitate  $i$ , determină o densitate liniară de curent constantă,  $w i / l$  pe toată lungimea activă  $l$  a structurii;

-câmpul magnetic în întrefierul  $\delta$ , în planul xOy, este direcționat după axa Oy și variază numai în funcție de coordonata  $x$ ;

-caracteristica de demagnetizare a magneților permanenți se presupune că este o dreaptă de ecuație:

$$B_M = \mu_M H_M + B_{rem}, \quad (1)$$

unde  $B_M (> 0)$  și  $H_M (< 0)$  sunt inducția magnetică respectiv intensitatea câmpului magnetic,  $\mu_M$  este permeabilitatea magneților permanenți, iar  $B_{rem}$  reprezintă inducția magnetică remanentă a acestora (valoarea ordonatei la origine a dreptei lor de demagnetizare);

-căderea de tensiune magnetică în circuitul feromagnetic, fluxurile magnetice de dispersie și efectele de capăt se neglijează.

Aplicând legea circuitului magnetic conturului dreptunghiular  $\Gamma$  în lungul unei linii de câmp care nu traversează magnetul permanent (Fig. 2), pentru câmpul magnetic din întrefier,  $H_\delta(x)$ , creat de solenația bobinajului statoric și pentru inducția magnetică aferentă,  $B_\delta(x)$ , rezultă expresiile:

$$H_\delta(x) = \frac{wi}{\delta l} \left( x - \frac{l}{2} \right), \quad x \in [0, l], \quad (2)$$

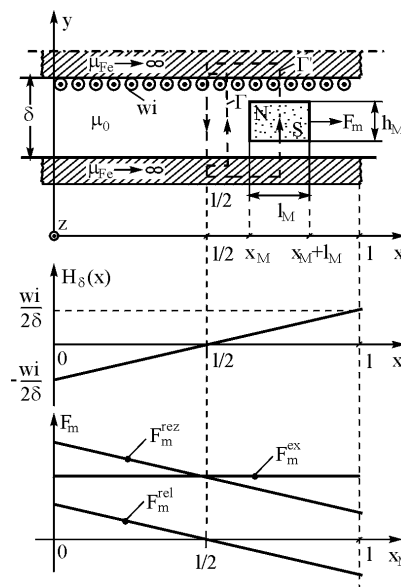
respectiv

$$B_\delta(x) = \mu_0 H_\delta(x). \quad (3)$$

Aplicând legea circuitului magnetic și pe conturul dreptunghiular  $\Gamma'$ , care traversează magnetul permanent în lungul unei linii de câmp (Fig. 2), se obține:

$$H_M(x)h_M + \frac{B_M(x)}{\mu_0}(\delta - h_M) = \frac{wi}{l} \left( x - \frac{l}{2} \right); \quad x \in [x_M, x_M + l_M], \quad (4)$$

unde  $H_M$  este intensitatea câmpului magnetic în interiorul MP, iar  $B_M$  reprezintă inducția magnetică în întrefier, în spațiul de acțiune a MP.



**Fig. 2.** Forța de excitație,  $F_m^{ex}$ , și forța de reluctanță,  $F_m^{rel}$ .

Considerând relația de legătură dată de legea de material (1), și pentru inducția magnetică  $B_M$  stabilită în întrefier sub acțiunea comună a celor două surse de câmp (solenajia bobinajului statoric și MP mobil) ale  $\mu$ SEM considerate, se obține expresia:

$$B_M(x) = k \left[ \frac{wi}{l} \left( x - \frac{l}{2} \right) + \frac{B_{rem} h_M}{\mu_M} \right], \quad (5)$$

unde s-a notat:

$$k = \frac{\mu_0 \mu_M}{h_M (\mu_0 - \mu_M) + \delta \mu_M}. \quad (6)$$

Cu aceste precizări, câmpul magnetic creat în întreg spațiul activ al întrefierului  $\mu$ SEM este cunoscut.

Forța lagrangeană de tip magnetic (forța electromagnetică) exercitată asupra părții mobile, cu magneți permanenți, a structurii rezultă de forma:

$$\begin{aligned} F_m &= \left( \frac{\partial W'_m(x_M, i)}{\partial x_M} \right)_{i=ct.} = 2 \left[ \left( \frac{\partial W'_{m,\delta}(x_M, i)}{\partial x_M} \right)_{i=ct.} + \left( \frac{\partial W'_{m,M}(x_M, i)}{\partial x_M} \right)_{i=ct.} \right] = \\ &= 2 \left[ \frac{\partial}{\partial x_M} \left( \int_0^{x_M} \frac{B_\delta^2(x)}{2\mu_0} \delta b dx + \int_{x_M}^{x_M+l_M} \frac{B_M^2(x)}{2\mu_0} (\delta - h_M) b dx + \int_{x_M+l_M}^l \frac{B_\delta^2(x)}{2\mu_0} b \delta dx \right) \right]_{i=ct.} \end{aligned} \quad (7)$$

În această forță s-a considerat expresia coenergiei magnetice aferente spațiului activ al întrefierului unei semisecțiuni, delimitat pe lungimea  $l$ , de armăturile feromagnetice fixe 1, 3 și din care se exclude volumul magnetului permanent; termenii  $W'_{m,\delta}$  și  $W'_{m,M}$  corespund regiunilor active de întrefier în afara MP, respectiv în dreptul MP. În explicitarea acestor coenergii magnetice coordonata generalizată variabilă este  $x_M$  (gradul de libertate determinat de posibilitatea ca MP să se deplaseze liniar), iar curentul  $i$  se consideră constant; s-a ținut seama că, în interiorul MP, coenergia nu depinde de  $x_M$ .

Introducând relațiile (3), (5) în expresia (7) și efectuând calculele se obține:

$$\begin{aligned} F_m &= F_m^{ex} + F_m^{rel} = 2 \frac{k^2}{\mu_0 \mu_M} b h_M l_M (\delta - h_M) \frac{wi}{l} B_{rem} + \\ &+ 2b \frac{l_M}{\delta} \left( x_M - \frac{l-l_M}{2} \right) \left[ \frac{k^2 \delta (\delta - h_M)}{\mu_0} - \mu_0 \right] \left( \frac{wi}{l} \right)^2. \end{aligned} \quad (8)$$

Expresia (8) evidențiază faptul că forța lagrangeană de natură magnetică (forța electromagnetică) a  $\mu$ SEM considerate prezintă doi termeni:

- forța de excitație,  $F_m^{ex}$ , proprie  $\mu$ SEM dublu excitate, determinată de interacțiunea curent electric-magnet permanent (interacțiune mutuală a celor două câmpuri magnetice create de curent, respectiv de magnet) care depinde liniar de valoarea intensității curentului electric și a inducției remanente a magnetului și este independentă de poziția magnetului (Fig. 2);

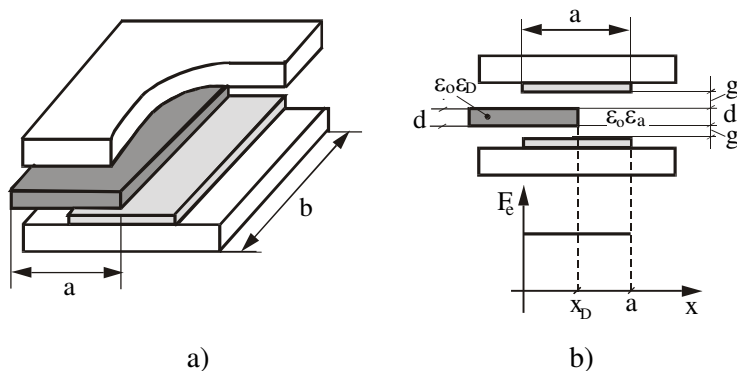
- forța de reluctanță,  $F_m^{rel}$ , proprie  $\mu$ SEM simplu excitate, determinată de interacțiunea curent electric-circuit feromagnetic, care depinde de valoarea la pătrat a intensității curentului electric și de poziția magnetului mobil (Fig. 2).

Forța de excitație  $F_m^{ex}$  este constantă în raport cu coordonata  $x_M$  și, pentru polaritatea MP precizată, are sensul forței  $F_m$  din figura 2. Forța de reluctanță,  $F_m^{rel}$ , devine maximă pozitivă pentru  $x_M = 0$ , respectiv maximă negativă pentru  $x_M = l - l_M$ , ceea ce înseamnă că forța totală scade la deplasarea părții mobile a  $\mu$ SEM în sensul crescător al coordonatei  $x_M$ . Forța  $F_m^{rel}$  tinde să aducă MP în poziția de simetrie a structurii, la coordonata  $x_M = \frac{l - l_M}{2}$ , pentru care  $F_m^{rel} = 0$  și pentru care se realizează simetrie și minimă distorsiune a liniilor de câmp magnetic.

Dacă, prin construcție, se realizează condiția  $h_M / \delta^2 \cong 0$ , atunci forța de reluctanță devine neglijabilă,  $F_m^{rel} \cong 0$ , iar forța de excitație capătă expresia:

$$F_m^{ex} = 2 \frac{bl_M h_M}{\delta} \frac{wi}{l} B_{rem}. \quad (9)$$

2. Se consideră modelul simplificat al unei  $\mu$ SEM de tip electric cu mișcare de translație (Fig.3). Modelul constă dintr-un condensator electric, partea fixă a structurii fiind armăturile separate de un mediu de permeabilitate  $\epsilon_0 \epsilon_a$ ; partea mobilă este constituită de o plachetă dielectrică, de permitivitate  $\epsilon_0 \epsilon_D$  (cu  $\epsilon_D > \epsilon_a$ ), de formă paralelipipedică și dimensiuni  $a, b, d$ .



**Fig. 3.** Modelul simplificat al unei  $\mu$ SEM de tip electric cu mișcare de translație.

Capacitatea electrică a condensatorului plan echivalent, în funcție de poziția  $x_D$  a plachetei dielectrice mobile este:

$$C(x_D) = \varepsilon_0 \varepsilon_a \frac{(a-x_D)b}{d+2g} + \frac{bx_D}{\frac{2g}{\varepsilon_0 \varepsilon_a} + \frac{d}{\varepsilon_0 \varepsilon_b}} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_a b}{d+2g} \left[ a + \frac{(\varepsilon_D - \varepsilon_a)d}{d\varepsilon_a + 2g\varepsilon_D} x_D \right]. \quad (10)$$

Forța lagrangeană de tip electric (forța electrostatică),  $F_e$ , acționează asupra plachetei dielectrice, parțial introduse pe distanța  $x_D$  (Fig. 3b) între armăturile condensatorului plan; coenergia electrostatică stocată în câmpul electric dintre cele două armături se poate scrie:

$$W_e'(x_D, u) = C(x_D) \frac{u^2}{2}, \quad (11)$$

iar forța electrică de interacțiune între plăcile condensatorului (aflate la potențiale electrice date de tensiunea  $u$ ) și placheta dielectrică mobilă (având polarizație indusă și fiind introdusă până la coordonata  $x_D$ ) rezultă:

$$F_e = \left( \frac{\partial W_e'(x_D, u)}{\partial x_D} \right)_{u=ct.} = \frac{u^2}{2} \frac{\partial C(x_D)}{\partial x_D} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_a (\varepsilon_D - \varepsilon_a) b d}{2(d\varepsilon_a + 2g\varepsilon_D)(d+2g)} u^2. \quad (12)$$

Această forță lagrangeană, de tip electric, pentru  $\varepsilon_D > \varepsilon_a$  este o forță de atracție și nu depinde de semnul tensiunii aplicate  $\mu$ SEM cu câmp electric.

Micromotoarele electrostatice, rotative sau liniare, folosesc forța electrică de aliniere a armăturilor conductoare plane; pentru o estimare a acesteia se efectuează, în relația (11), două treceri la limită succesive,  $\varepsilon_D \rightarrow \infty$  respectiv  $d \rightarrow 0$  (cu  $2g \rightarrow g$ ), și se obține forța electrică pe o direcție paralelă la armăturile condensatorului plan, în cazul când o armătură este mobilă și dezaliniată pe această direcție față de cealaltă armătură:

$$F_e = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_a b}{2g} u^2. \quad (13)$$

### 3. CONCLUZII

Miniaturizarea micromotoarelor determină modificarea proprietăților materialelor utilizate și accentuarea uzurii și frecărilor datorită creșterii raportului suprafață/volum; pe de altă parte, regimul termic al micromotoarelor nu impune restricții deosebite (prin reducerea dimensiunilor, volumele generatoare de căldură devin relativ mici în raport cu suprafețele exotermice).

Forțele de tip magnetic și electric sunt influențate de reducerea dimensiunilor, în procesul de miniaturizare a structurii electromecanice.

În analiza micromotoarelor cu capacitate variabilă, liniare sau rotative, expresia (13) a forței de natură electrostatică se folosește frecvent.

## **PARTICULARS OF THE MINIATURAL ELECTROMECHANICAL STRUCTURE OF MICROMOTORS**

### ***Abstract***

*This paper highlights the construction and operation features of micromotors; analytical expressions are established for the Lagrangian forces specific to some miniature electromechanical structures, with magnetic field respectively with electric field.*

### **Bibliografie**

- [1]. Dobrea V., Cociu R. Mașini electrice. Editura Pontos, Chișinău, R. Moldova, 2014.
- [2]. Cojocaru-Filipiuc Carmen. Mașini electrice speciale-Elemente de teorie și aplicații. Vol. I, Editura SETIS, Iași, 2010.
- [3]. Boldea I. Transformatoare și mașini electrice. Editura Politehnica, București, 2009.
- [4]. Bahrin Vasile. Servomotoare excitate cu magneți permanenți. Vol. I, Editura Performantica, Iași, 2006.
- [5]. Ghiță C. Mașini electrice. Editura Matrix Rom, București, 2005.
- [6]. Câmpeanu A., Vlad I. Mașini electrice I. Reprografia Universității din Craiova, 2002.



## **MODELAREA ȘI SIMULAREA ÎN MEDIUL SOFTWARE ATP-EMTP A INVERTOARELOR**

**Vasile BHRIN**

*Universitatea Tehnică “Gheorghe Asachi” din Iași*

### **Rezumat**

*Sunt abordate elemente legate de simularea în mediul software ATP-EMTP (Alternative Transients Program) a invertoarelor.*

*Se evidențiază particularitățile ale invertoarelor cu formă de undă dreptunghiulară și cu formă de undă sinusoidală modificată.*

### **1. INTRODUCERE**

Invertorul este un dispozitiv care realizează conversia curentului continuu în curent alternativ, asigurând calitatea frecvenței de 50 Hz; invertoarele pot converti tensiunea continuă de 12, 24 sau 48 V în tensiune alternativă de 230 V.

Invertoarele se folosesc din ce în ce mai des în aplicații de tipul sistemelor generatoare de energie electrică, precum și în alimentarea de rezervă a utilităților, locuințelor sau a diferitelor echipamente independente.

Invertorul este elementul cel mai important al unui sistem de energie regenerabilă, care face conectarea dintre partea de producție (turbină eoliană, panou fotovoltaic), partea de stocare (bateriile de acumulatori) și partea de utilizare a energiei electrice (consumatorii de curent alternativ); când rețeaua de distribuție (din sistemul de energie regenerabilă sau din sistemul hibrid) prezintă o serie de probleme, invertorul trebuie să le detecteze și să nu contribuie la amplificarea lor.

Pentru un invertor este foarte importantă forma de undă a tensiunii alternative la ieșire. Pentru alimentarea unor sarcini rezistive (iluminat cu becuri cu incandescență, încălzire rezistivă), forma de undă poate fi și sinusoidală modificată; pentru alimentarea aparaturii care înglobează sisteme electronice (televizor, computer) este necesară o formă de undă a tensiunii cât mai apropiată de forma de sinusoidală pură.



## 2. MODELAREA ȘI SIMULAREA ÎN MEDIUL SOFTWARE ATP - EMTP

Programul ATP-EMTP (Alternative Transients Program) este utilizat pentru simularea numerică a fenomenelor tranzitorii de natură electromagnetică și electromecanică din sistemele electroenergetice și înglobează modele pentru mașini rotative, transformatoare, rețele și cabluri electrice. Acest program poate simula rețele complexe cu structură arbitrară, sau perturbații simetrice și nesimetrice (defecte, lovituri de trăsnet, comutația diodelor și a tiristoarelor); programul facilitează analiza sistemelor de control, a componentelor electronice de putere, cât și a echipamentelor cu caracteristici neliniare.

ATP include următoarele componente:

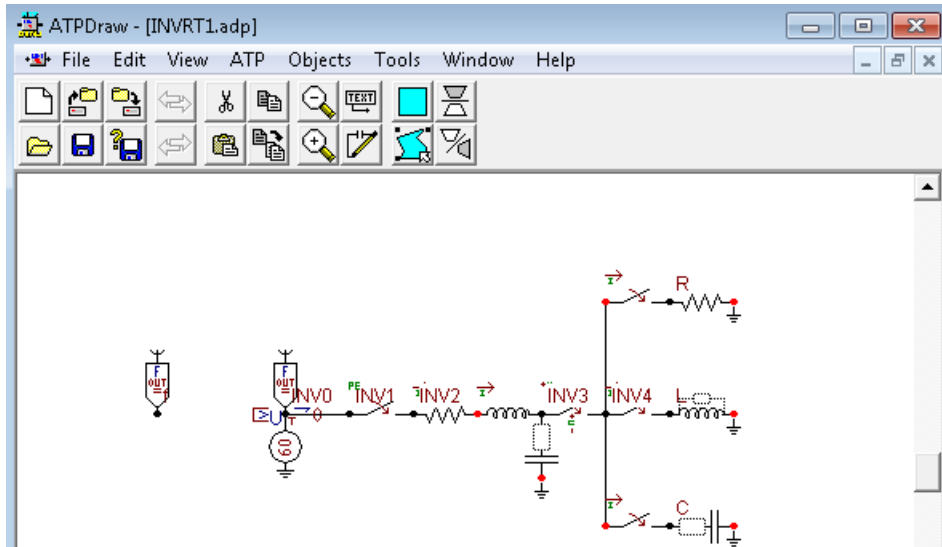
- elemente bloc, cuplate sau necuplate liniar;
- rețele și cabluri electrice cu parametri distribuiți sau dependenți de frecvență;
- elemente cu neliniarități: transformatoare la care se consideră saturația și histerezisul magnetic, descărcătoare, arc electric;
- comutații, fie dependente de timp sau de tensiune, statistica comutațiilor;
- diode și tiristoare;
- mașini sincrone trifazate, mașini universale;
- MODELS și TACS (Transient Analysis of Control Systems).

EMTP (Electromagnetic Transient Program) a fost conceput pentru analiza sistemelor energetice, dar poate fi utilizat și la circuitele electronice; acest software poate analiza orice rețea care conține interconectări între rezistențe, inductanțe, capacități, scheme în  $\pi$  mono sau multifazate, rețele cu parametri distribuiți și alte elemente.

Interfața ATPDraw este o interfață grafică al ATP-ului, în mediul MS-Window; acest program realizează editarea interactivă a rețelei electrice care va fi simulată: utilizatorul concepe schema circuitului electric prin selectarea componentelor din meniuri, iar programul numerează automat nodurile nespecificate și crează fișierul ATP în formatul corect.

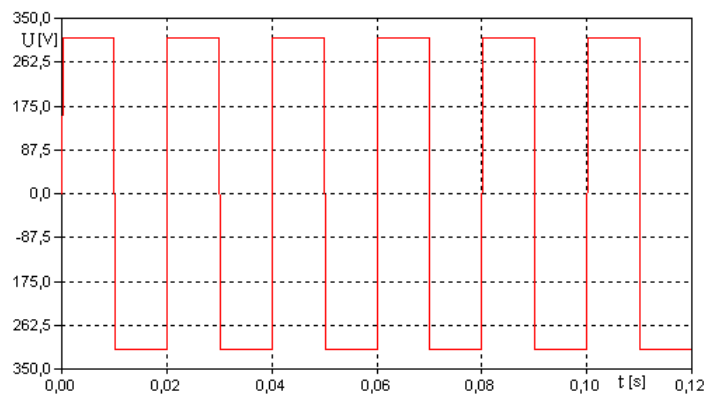
### 3. SIMULAREA REGIMULUI DE FUNCȚIONARE AL INVERTORULUI MONOFAZAT CU FORMA DE UNDĂ DREPTUNGHILARĂ

Modelarea în EMTP pentru invertorul monofazat cu forma de undă dreptunghiulară este prezentată în Fig. 1.

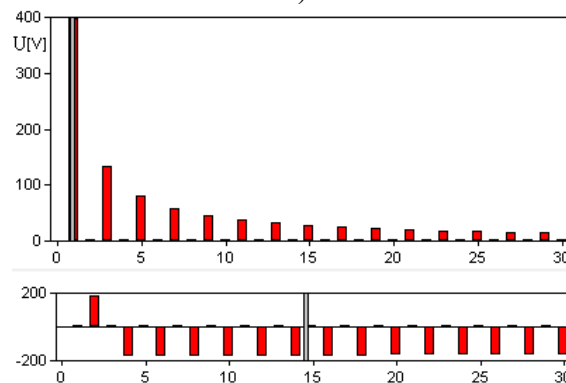


**Fig. 1.** Regimul de funcționare al invertorului cu forma de undă dreptunghiulară: schema ATPDraw.

Tensiunea de ieșire (simulată) pentru acest invertor este prezentată în Fig. 2a, iar diagrama spectrală aferentă acestei tensiuni este prezentată în Fig. 2b.



a)

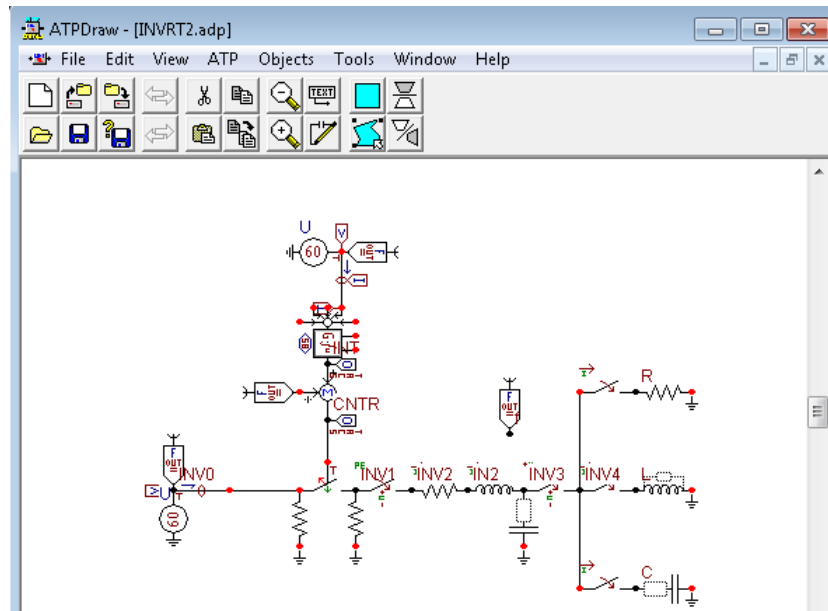


b)

**Fig. 2.** Forma de undă simulată: a) undă dreptunghiulară; b) diagrama spectrală a formei de undă dreptunghiulară.

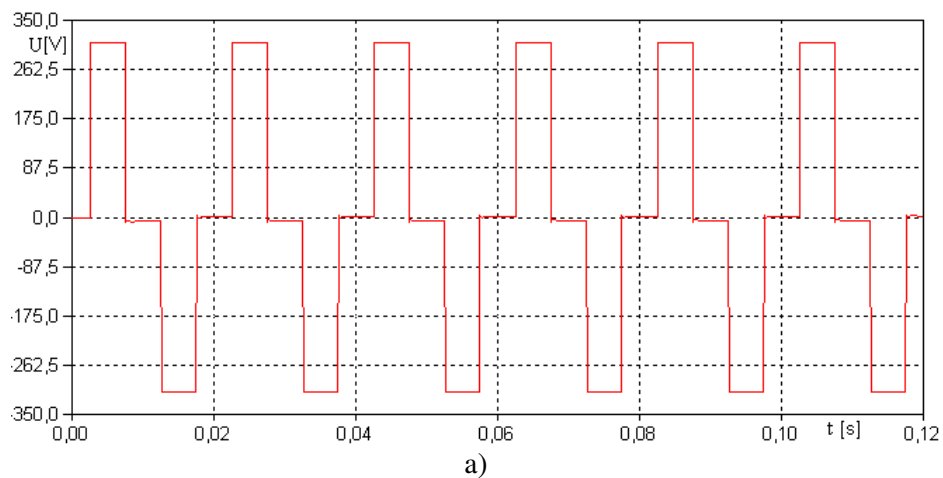
#### 4. SIMULAREA REGIMULUI DE FUNCȚIONARE AL INVERTORULUI MONOFAZAT CU FORMA DE UNDĂ SINUSOIDĂ MODIFICATĂ

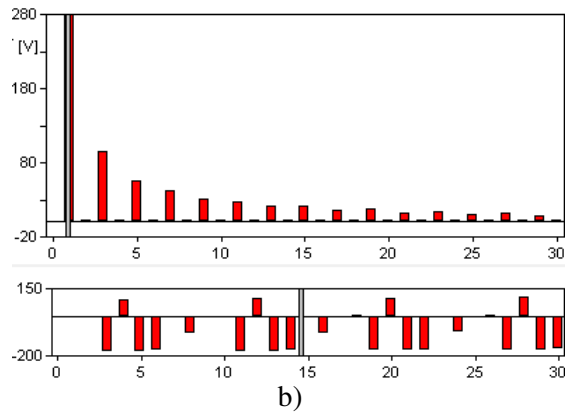
Modelarea în EMTP a acestui tip de invertor este prezentată în Fig. 3.



**Fig. 3.** Regimul de funcționare al invertorului cu forma de undă sinusoidă modificată: schema ATPDraw.

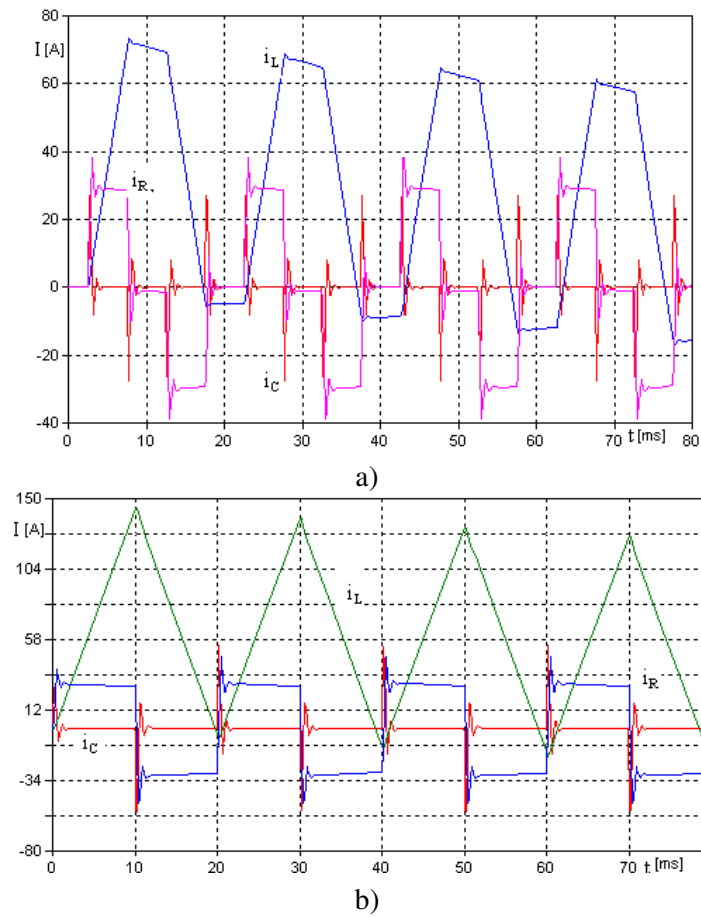
Tensiunea de ieșire (simulată) pentru acest invertor este prezentată în Fig. 4a, iar diagrama spectrală a acestei tensiuni este prezentată în Fig. 4b. În cazul semnalului din Fig. 4a, durata impulsului poate fi modificată din program (prin acest reglaj se va modifica componenta fundamentală a spectrului armonic).





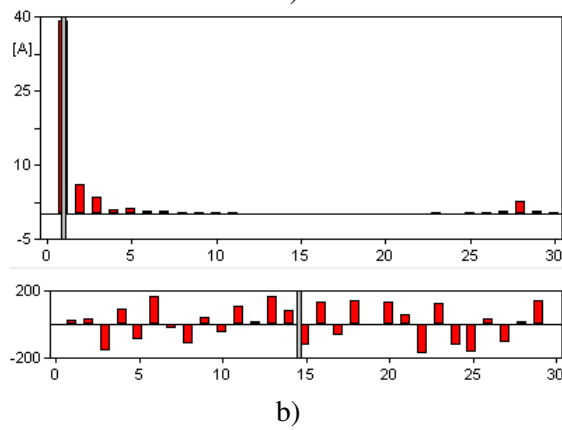
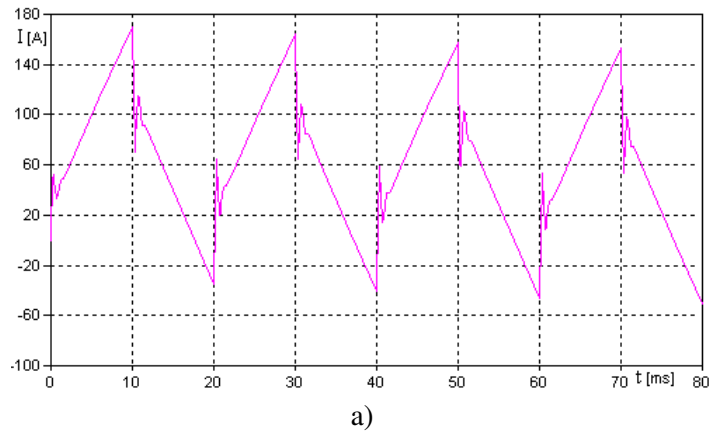
**Fig. 4.** Forma de undă simulată: a) undă sinusoidă modificată;  
 b) diagrama spectrală a formei de undă sinusoidă modificată

Curenții prin circuitele de sarcină de tip  $R-L-C$  au formele de undă prezentate în Fig. 5.

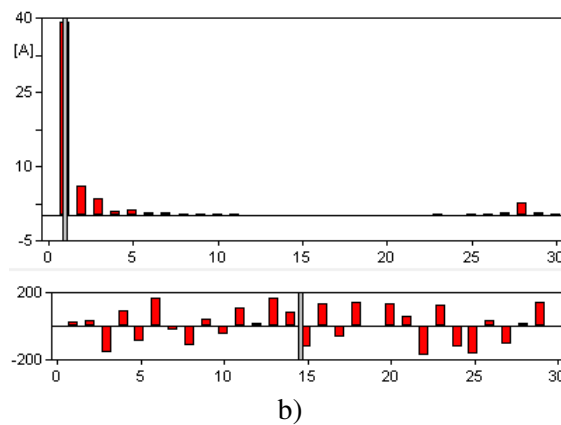
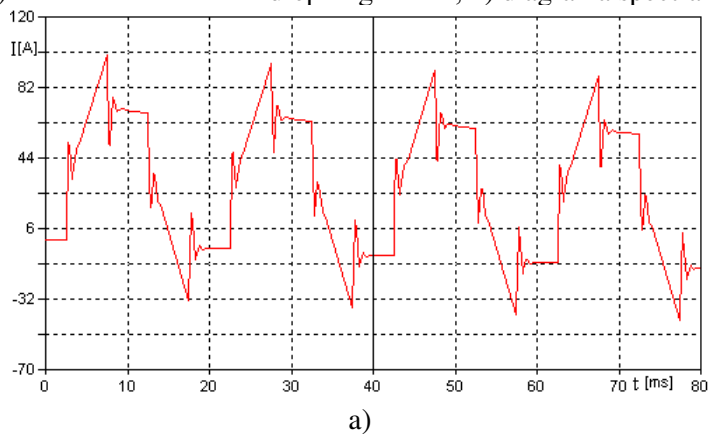


**Fig. 5.** Curenții  $i_R$ ,  $i_L$ ,  $i_C$  pentru cazul formei: a) de undă dreptunghiulară; b) sinusoidă modificată.

Curenții rezultanți corespunzători celor două tipuri de invertoare sunt prezentați în Fig. 6, respectiv în Fig. 7.



**Fig. 6.** Curentul rezultat prin circuitul de sarcină:  
a) cazul forme de undă dreptunghiulară; b) diagrama spectrală aferentă.



**Fig. 7.** Curentul rezultat prin circuitul de sarcină:  
a) cazul forme de undă sinusoidă modificată; b) diagrama spectrală aferentă.

Diagramele evidențiază faptul că, la întreruperea curenților de sarcină, nu se manifestă supratensiuni de comutație periculoase.

#### 4. CONCLUZII

Calitatea energiei electrice furnizate (fiind vizată în special forma de undă a tensiunii) constituie un criteriu foarte important. Din acest motiv, învertorul trebuie să asigure o formă de undă a tensiunii de ieșire cât mai apropiată de forma de undă din rețeaua de distribuție, fără a introduce armonici în circuitele electrice. Forma de undă la ieșirea din inverter, chiar și în cazul invertoarelor cu undă sinusoidală pură, este de fapt o cvasisinusoidală; forma sinusoidală a tensiunii de ieșire este generată prin modelarea semnalului dreptunghiular al tensiunii.

Invertoarele cu formă de undă dreptunghiulară sunt mai rar utilizate (pot produce, datorită armonicilor, defecte majore ale echipamentelor electronice).

Cu toate că unda sinusoidală modificată reprezintă un bruiaj, un zgomot, inverterul cu această formă de undă (numit și inverter cvasi-sinusoidal) este cel mai frecvent utilizat; funcționarea unor sisteme (TV sau stereo) este perturbată atunci când sunt alimentate cu acest tip de inverter, dar sunt și echipamente (au în componență mici motoare) a căror funcționare este satisfăcătoare (mașini de găurit, ventilatoare, pompe, cuptoare cu microunde).

#### E MODELING AND SIMULATION OF INVERTERS WITH ATP-EMTP SOFTWARE

##### **Abstract**

*Elements related to the simulation in the ATP-EMTP (Alternative Transients Program) software environment of the inverters are approached. Particular features of rectangular waveform and modified sine wave inverters are highlighted.*

##### **Bibliografie**

[1]. Bahrin V. Considerații asupra funcționării invertoarelor din sistemele de energie regenerabilă. Conferința Știința modernă și energia, ed. 37, Cluj-Napoca, Mai 2018, pg.50-57.

[2]. Irimia F.D.: The experimental study of different operating regimes from DC/AC inverter. Conference EPE 2010, 28-30 octombrie 2010, Iași.

[3]. Baraboi A., Adam M., Popa S., Pancu C. Compatibilitatea electromagnetică. Surse de perturbații electromagnetice. Editura PIM, Iași, 2007.

[4]. Bostan I. ș.a.: Sisteme de conversie a energiilor regenerabile. Ed. "TEHNICA-Info", Chișinău, 2007.

[5]. Adam M., Baraboi A., Ciobanu R. Monitorizarea și diagnosticarea întrerupătoarelor de putere. Editura "Gh. Asachi", Iași, 2002.

## CUPRINS

1.	<b>PROCEDURA SIMPLIFICATA DE EVALUARE A PERFORMANTELOR ENERGETICE ALE POMPELOR DE CALDURA PENTRU PREPARAREA APEI CALDE DE CONSUM. ANALIZA ENERGETICA SI ECONOMICA</b>	<b>3</b>
	<i>MUGUREL TALPIGA, FLORIN IORDACHE</i>	
2.	<b>ANALIZA EFICIENȚEI UNUI RECUPERATOR DE CĂLDURĂ CU TUBURI TERMICE DE TIP APĂ-AER PRIN SIMULARE NUMERICĂ</b>	<b>18</b>
	<i>ȘTEFĂNICA-ELIZA VIZITIU, ROBERT-ȘTEFAN VIZITIU, ANDREI BURLACU, MARIUS BRĂNOAEA, MARINA VERDEȘ, VASILICĂ CIOCAN, MARIUS-COSTEL BALAN</i>	
3.	<b>EFICIENȚA EXERGETICĂ ȘI TESTAREA POMPELOR DE CĂLDURĂ</b>	<b>28</b>
	<i>IOAN BOIAN, NICOLAE IORDAN</i>	
4.	<b>EVALUAREA CALITAȚII AERULUI INTERIOR INTR-O ȘCOALA PRIMARA ȘI SOLUȚII DE IMBUNATAȚIRE PRIN UTILIZAREA DE PURIFICATOARE DE AER</b>	<b>39</b>
	<i>TIBERIU CATALINA, ANDREI DAMIAN, ANDREEA VARTIRES, MARIUS NITA, VICENTIU RACOVITEANU, CATALIN NEGRUTIU</i>	
5.	<b>SISTEME FOTOVOLTAIC-TERMICE HIBRIDE CU EFICIENȚĂ ENERGETICĂ RIDICATĂ</b>	<b>50</b>
	<i>MARIUS BRĂNOAEA, ANDREI BURLACU, MARINA VERDEȘ, VASILICĂ CIOCAN, MARIUS-COSTEL BALAN, ROBERT-ȘTEFAN VIZITIU, ȘTEFĂNICA-ELIZA VIZITIU</i>	
6.	<b>SOLUȚII DE ASIGURARE CU AGENT TERMIC A CASELOR DE LOCUIT ÎN CONDIȚIILE REPUBLICII MOLDOVA</b>	<b>60</b>
	<i>ION ALBU, SVETLANA ALBU</i>	
7.	<b>STUDIU PRIVIND RĂCIREA PANOURILOR FOTOVOLTAICE INTEGRATE ÎN FAȚADELE VENTILATE ALE CLĂDIRILOR</b>	<b>71</b>
	<i>CERNEI ALEXANDRU, CHAIMAE EL FOUAS, CRISTIAN CHERECHES, SEBASTIAN HUDISTEANU, EMILIAN TURCANU, DIANA ANCAS, CATALIN POPOVICI, MARINA VERDES</i>	
8.	<b>IMPACTUL SCHIMBĂRILOR CLIMATICE ASUPRA SECTORULUI INGINERIEI INFRASTRUCTURII TRANSPORTURILOR DIN REPUBLICA MOLDOVA</b>	<b>80</b>
	<i>SERGIU BEJAN, LUDMILA VÎRLAN, ALEXANDRA DUMITRAȘCU</i>	
9.	<b>SISTEME VITRATE DINAMICE PENTRU CLĂDIRILE NZEB</b>	<b>89</b>
	<b>PARTEA A I-A. ARGUMENTE PENTRU UTILIZAREA ELEMENTELOR VITRATE ÎN REDUCEREA CONSUMULUI DE ENERGIE</b>	
	<i>VICTORIA COTOROBAL, IULIA NEGARĂ, IOAN-CRISTIAN COTOROBAL, I.C. BRANCA, SEBASTIAN VALERIU HUDIȘTEANU</i>	
10.	<b>SISTEME VITRATE DINAMICE PENTRU CLĂDIRILE NZEB</b>	<b>101</b>
	<b>PARTEA A II-A. CARACTERIZARE SISTEME VITRATE DINAMICE</b>	
	<i>VICTORIA COTOROBAL, IULIA NEGARĂ, I.C. BRANCA, IOAN-CRISTIAN COTOROBAL, VASILICĂ CIOCAN</i>	
11.	<b>SISTEME VITRATE DINAMICE PENTRU CLĂDIRILE NZEB</b>	<b>113</b>
	<b>PARTEA A III-A. ANALIZĂ COMPARATIVĂ AL CELOR MAI UZUALE TIPURI DE FERESTRE ÎN RAPORT CU FERESTRELE DINAMICE, INTEGRATE ÎN CLĂDIRI DIN ROMÂNIA</b>	

*VICTORIA COTOROBAI, IULIA NEGARĂ, I.C. BRANCA, IOAN-CRISTIAN COTOROBAI*

12. **DEZVOLTAREA UNUI SISTEM CU PANOURI FOTOVOLTAICE PENTRU UN IMOBIL P+1** 121  
*GRAȚIELA ȚÂRLEA, DRAGOȘ GIURGEA*
13. **STUDIUL PRIVIND SIMULAREA NUMERICĂ A PROPAGĂRII UNUI INCENDIU ÎN CAZUL UNUI IMOBIL** 126  
*IULIAN ENARU, NELU-CRISTIAN CHERECHES, SEBASTIAN VALERIU HUDISTEANU, EMILIAN FLORIN TURCANU, DIANA ANCAS, MARINA VERDEȘ, CĂTĂLIN-GEORGE POPOVICI, VASILICĂ CIOCAN*
14. **CONSIDERAȚII PRIVIND REZILIENȚA ȘI SUSTENABILITATEA APELOR METEORICE ÎN CONTEXTUL ECONOMIEI CIRCULARE ȘI A SCHIMBĂRILOR CLIMATICE** 139  
*DAN MUREȘAN, ANAGABRIELA DEAC, ANDREI BOLBOACĂ, CRISTINA IACOB, TEODOR CHIRA*
15. **CONSIDERAȚII PRIVIND ACCESUL GAZELOR DIN SURSE REGENERABILE LA REȚEAUA DE DISTRIBUȚIA GAZELOR NATURALE EXISTENTĂ** 145  
*DIANA LAURA MERȚAN*
16. **MODELAREA ȘI SIMULAREA ÎN MEDIUL SOFTWARE ATP-EMTP A INVERTOARELOR** 152  
*VASILE BAHRIN*
17. **PARTICULARITĂȚI ALE STRUCTURII ELECTROMECHANICE MINIATURALE A MICROMOTOARELOR** 160  
*VASILE BAHRIN*
18. **CUPRINS** 167
19. **SPONSORII EDIȚIEI** 169