

Revista Română de Inginerie Civilă

Volumul 2 (2011), Numărul 1
ISSN 2068-3987

Concepția corectă și modernă a sistemelor de iluminat interior – O necesitate actuală	1-9
<i>Cornel Bianchi, Dan Moroldo</i>	
Sisteme rezidențiale de pompe termice. Eficiență, preț și confort	11-24
<i>Ioan Boian , Alexandru Șerban , Florin Chiriac</i>	
Aspecte privind senzorii satelitari optici folosiți în silvicultură și studiul pădurii	25-35
<i>Iosif Vorovencii</i>	
Schimbătoare de căldură compacte utilizate ca vaporizatoare în instalațiile frigorifice	37-46
<i>Anica Ilie, Liviu Geo Drughean, Dragoș Hera</i>	
Optimizarea procesului și rentabilizarea instalațiilor de obținere a gazului de fermentație în stațiile de epurare ale apelor uzate prin folosirea surselor neconvenționale	47-51
<i>Gheorghe-Constantin Ionescu, George-Lucian Ionescu, Emil Gligor</i>	
Modelare fizico-matematică a încercării la foc a elementelor de construcție	53-67
<i>Nicolae Antonescu, Niculae Antonescu, Dan-Paul Stănescu</i>	
Proiectarea acustică a sălii multifuncționale din Călărași	69-75
<i>Mariana Cristina Stan, Cristian Nicolae</i>	

Revista Română de Inginerie Civilă



COLEGIUL EDITORIAL

- Prof.dr.ing. Ioan BOIAN, *Universitatea Transilvania Braşov*
Prof.dr.ing. Alexandru CĂTĂRIG, *Universitatea Tehnică Cluj Napoca*
Prof.dr.ing. Victor HAGIU, *Universitatea Tehnică Gh. Asachi Iaşi*
Prof.dr.ing. Dragoş HERA, *Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti* –
redactor şef
- Prof.dr.ing. Ovidiu IANCULESCU, *director editorial*
Prof.dr.ing. Gheorghe Constantin IONESCU, *Universitatea Oradea*
Prof.dr.ing. Florin IORDACHE, *Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti*
Prof.dr.ing. Carmen Elena MAFTEI, *Universitatea Ovidius Constanţa*
Prof.dr.ing. Ion MIREL, *Universitatea Politehnica Timişoara*
Prof.dr.ing. Octavia PĂUCESCU, *Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti*
Prof.dr.ing. Mircea PETRINA, *Universitatea Tehnică Cluj Napoca*
Prof.dr.ing. Dorel PLĂTICĂ, *Universitatea Tehnică Gh. Asachi Iaşi*
Prof.dr.ing. Nicolae POSTĂVARU, *Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti* –
redactor şef
- Prof.dr.ing. Daniela PREDA, *Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti*
Prof.dr.ing. Ioan SÎRBU, *Universitatea Politehnica Timişoara*
Prof. dr. mat. Romică TRANDAFIR, *Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti*
Prof.dr.ing. Ioan TUNS, *Universitatea Transilvania Braşov*

ISSN 2068-3987

MATRIX ROM
CP 16-162
062510 – BUCUREŞTI
Tel. 021 4113617 Fax. 021 4114280
e-mail: office@matrixrom.ro
www.matrixrom.ro

Concepția corectă și modernă a sistemelor de iluminat interior – O necesitate actuală

Concept of modern sound and lighting systems inside – an actual necessity

Cornel BIANCHI¹, Dan MOROLDO¹

¹Universitatea Tehnică de Construcții București – Facultatea de Instalații
Bd-ul Pache Protopopescu Nr. 66, Romania

Rezumat: *Articolul prezintă o abordare originală în ceea ce privește folosirea luminii naturale în interiorul clădirilor, obținându-se astfel o mai bună eficientizare a consumului de energie prin folosirea unor mijloace moderne de iluminat a diverselor spații.*

Cuvinte cheie : lumină naturală, sisteme de iluminat, eficiență

Abstract : *The article presents an original approach regarding the use of natural light inside buildings, thereby achieving better energy efficiency by using modern means of lighting the various areas.*

Key words: natural light, lightning systems, efficiency

1. INTRODUCERE

Lucrarea de față analizează aspecte actuale ale domeniului iluminatului interior din România asupra calității, eficienței energetice, confortului vizual, funcționalității și esteticii în realizarea mediului luminos interior de zi, seară/noapte.

De asemenea, sunt abordate și reanalizate concentrat problemele privind renunțarea la utilizarea surselor de lumină depășite în domeniul locuințelor, conform Directivelor Uniunii Europene, precum și utilizarea în interiorul și exteriorul clădirilor a unor surse noi.

2. UTILIZAREA MODERNĂ A LUMINII NATURALE

Un aspect important este, astăzi, utilizarea luminii naturale în interiorul clădirilor prin structuri moderne (de dimensiuni mari/medii sau/și compactizate) în conexiune cu lumina electrică într-un sistem integrat de iluminat (natural-electric) capabil să asigure un mediu luminos confortabil, funcțional și estetic, cu parametrii constanți.

În acest scop, este necesară realizarea reglajului permanent al iluminatului electric printr-un sistem automat inteligent, capabil să compenseze variația permanentă a luminii naturale (variația diurnă, variația vremii, variația de anotimp).

Aceste aspecte au fost tratate detaliat în lucrările prezentate în ultimii doi ani la conferințele și simpozioanele naționale și internaționale de către subsemnatul și echipa de colaboratori (Simpozionul Național de Iluminat SINAIA 2008 și 2009, Conferința a XV-a a Facultății de Instalații 2008, Conferința Internațională LIGHTING 2009 Cluj-Napoca, EUROPA LUX – Istanbul 2009, Revista ELECTRICIANUL).

În figura 1 sunt prezentate schematic aspecte specifice actuale în iluminatul interior din România.

3. UTILIZAREA APARATAJULUI DE CALITATE (SURSE DE LUMINĂ ȘI APARATE DE ILUMINAT) ȘI ASIGURAREA UNEI STRUCTURI DE AMPLASARE CORECTE ÎN SISTEM, CONFORM DESTINAȚIEI

Sistemele de iluminat în general și cele integrate în special vor trebui să fie echipate cu surse de lumină moderne (cu eficacitate ridicată, de culoare aparentă și redare a culorilor corespunzătoare destinației) montate în aparate de iluminat corespunzătoare procesului de muncă (fizică și/sau intelectuală) și caracteristicilor geometrice (dimensiuni, acces lumină naturală ș.a.) ale spațiului considerat.

În figura 2, este expusă schema recomandărilor actuale privind sursele de lumină, aparatele de iluminat și structura sistemelor.

Aparatele de iluminat aferente sistemelor moderne trebuie să fie de calitate ridicată, cu o prelucrare corectă a luminii emise de surse, în funcție de destinația spațiului, cu protecție împotriva orbirii și la spațiile cu diferite degajări – protejate corespunzător !

Trebuie subliniat un aspect esențial pentru un iluminat corespunzător: necesitatea montării corecte a aparatelor de iluminat liniare, în funcție de accesul luminii naturale și de poziția de lucru a personalului.

Din păcate, din investigațiile făcute de CNRI, s-a constatat montarea total necorespunzătoare a aparatelor de iluminat liniare, care, în loc să fie paralele cu accesul luminii naturale și direcția principală de vedere, au fost montate invers (perpendicular) la multe școli, licee și alte clădiri reabilite și cu o culoare aparentă necorespunzătoare. Această montare greșită conduce la oboseală vizuală produsă de solicitarea la reflexiile parazitare și poate conduce, în timp, și la degradarea sistemului vizual.

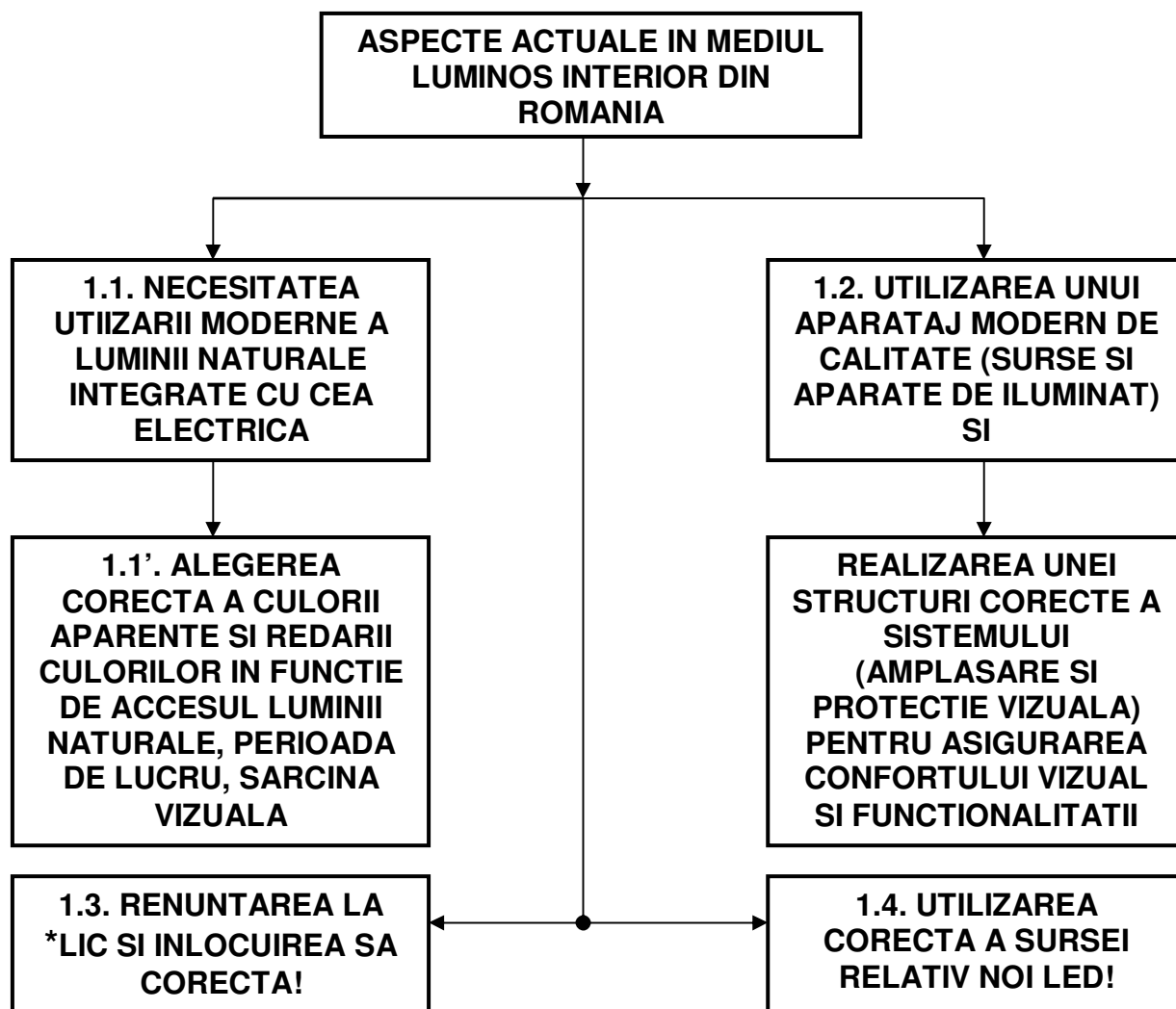


Figura 1. Recomandările actuale în iluminatul interior din România

*/ LIC – Lampă incandescentă clasică

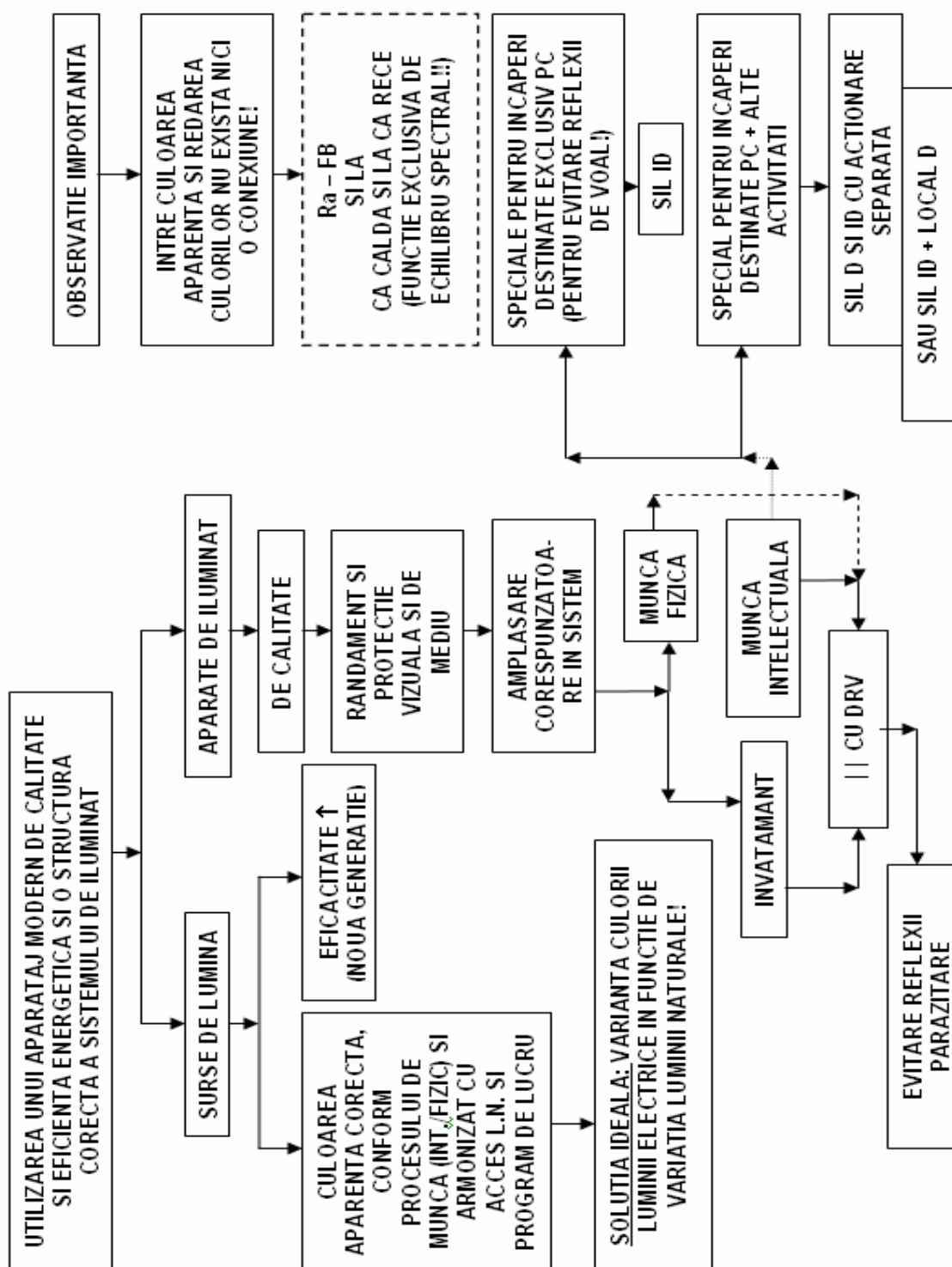


Figura 2. Prezentarea schematică a recomandărilor actuale privind sursele de lumină, aparatele de iluminat și structura sistemelor moderne

Un alt aspect important, neglijat uneori din necunoaștere sau superficialitate, este lipsa unei protecții corespunzătoare a personalului care lucrează total sau parțial la calculatoare, la reflexia de voal produsă pe ecranele acestora, care degradează imaginea ecranului și produce solicitări vizuale parazitare, din cauza fie a unor aparate de iluminat necorespunzătoare, fie a unor amplasări necorespunzătoare, fie ambelor efecte cumulate.

Evident, soluția ideală este utilizarea, în încăperile destinate exclusiv calculatoarelor, a unui iluminat indirect, cu aparate de iluminat de calitate, azi existente, dar în încăperile unde se lucrează parțial la calculatoare – un iluminat direct-indirect, cu posibilitatea de acționare separată a celor două componente.

4. RENUNȚAREA AZI LA LAMPA CU INCANDESCENȚĂ CLASICĂ (LIC) ÎN LOCUINȚE SAU ÎN ALTE CLĂDIRI

Un aspect important actual, nereceptat corect din cauza necunoașterii, este interzicerea din 2009, în Uniunea Europeană și nu numai, a producerii lămpii cu incandescență clasice.

Dacă în 1880-'81, când a fost inventată de EDISON, a reprezentat o „minune“ fiind prima sursă electrică de lumină, față de cea antică a flăcării, azi este depășită din punctul de vedere al eficienței energetice, respectiv randamentului extrem de scăzut (de $\approx 3-4\%$), restul energiei electrice fiind convertit în căldură.

Trebuie, totuși, menționate câteva calități deosebite ale acestei surse depășite energetic:

- redarea excelentă a culorilor (maximă): $R_a=100$;
- culoarea aparentă caldă, plăcută, stimulativă ($T_c=2700K$) corespunzătoare locuințelor, sălilor de spectacole, muzeelor, bisericilor ș.a.;
- conectarea instantanee și lipsa totală a senzației de pâlpare;
- posibilitatea reglajului fin al fluxului luminous emis: de la 0 la 100%.

Însă, din cauza aspectului privind eficiența energetică foarte scăzută și a celorlalte două aspecte negative:

- durata de funcționare foarte redusă (1000h);
- și
- degradarea rapidă, din cauza evaporării filamentului din wolfram și depunerii pe globul de sticlă, această lampă nu mai trebuie utilizată azi și în viitor pentru iluminatul interior !

(a se vedea figura 3).

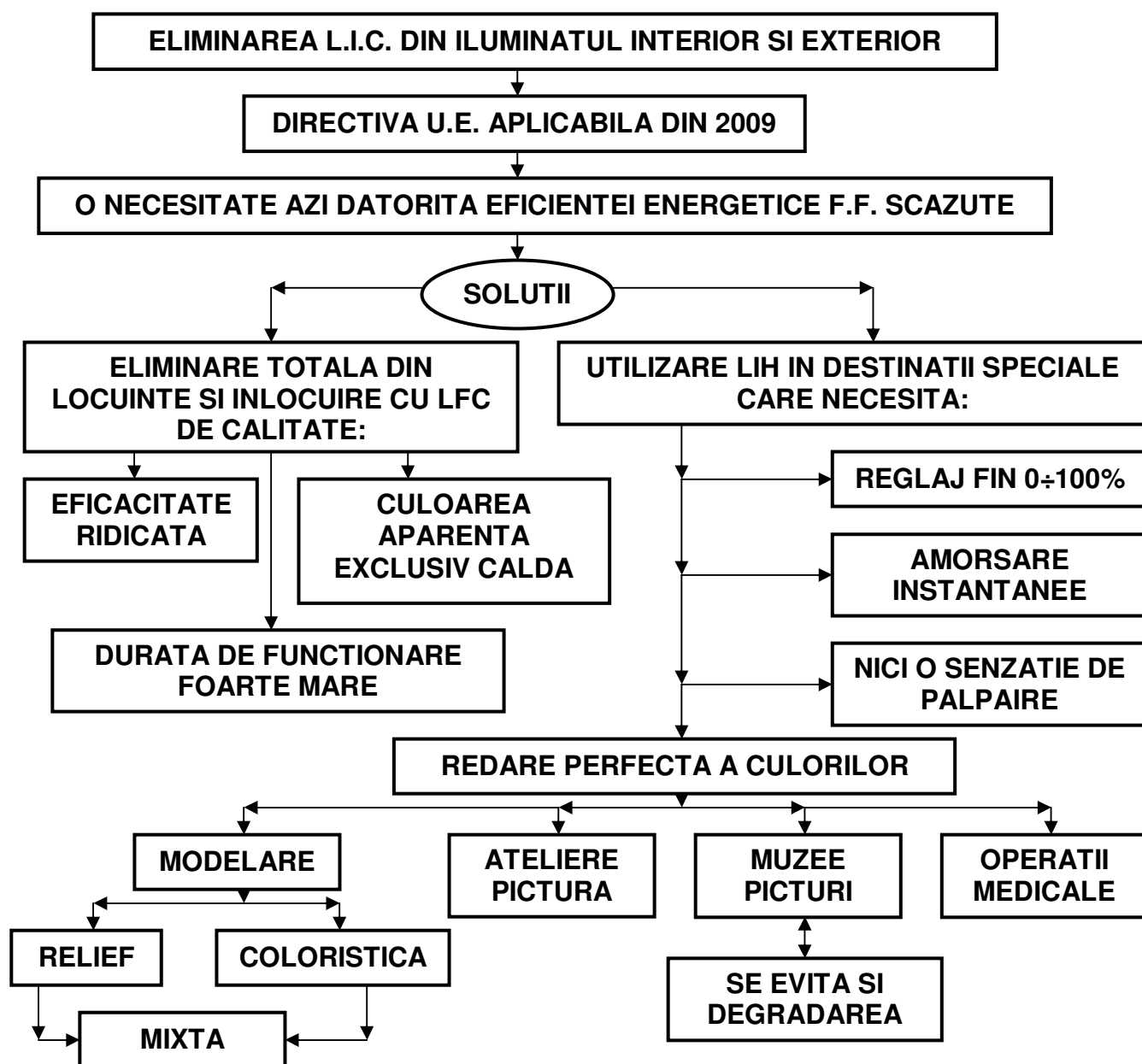


Figura 3. Schema necesității înlocuirii corecte a LIC (lămpi cu incandescență clasice)

Pentru aplicații speciale și particulare unde se cere o redare perfectă enumerate mai departe:

- medicină;
- operații medicale;
- ateliere de pictură;
- muzee;
- analize privind culorile unor obiecte;
- zone în care se cere o modelare (reliefare specială) cu redarea culorilor și reglajul fin al luminii (0÷100%);

- zone unde este necesară conectarea instantanee la „căderea“ rețelei electrice de alimentare și trecerea pe o sursă electrică de rezervă ș.a., se va putea utiliza în continuare, în aceste situații, lampa incandescentă cu ciclu regenerativ cu halogeni (LIH), care prezintă următoarele avantaje față de cea clasică:

- eficacitate: ~dublă;
- durată de funcționare: ~de 2,5 ori mai mare, fără degradare în timp, prin eliminarea depunerilor de pe globul de sticlă prin procesul regenerativ !

De asemenea, pentru iluminatul de siguranță/securitate în anumite zone de mare risc, unde se cere o conectare instantanee, este indicată această sursă în lipsa celeilalte !

Pentru iluminatul locuințelor se vor folosi în exclusivitate lămpile fluorescente compacte din noua generație, care au eficacitate de mai mult de 5 ori mai mare decât LIC și o durată de funcționare de ~6 ori mai mare, fără degradare substanțială în timp.

Condiția de calitate este alegerea corectă din punctul de vedere al producătorului și să fie de aproximativ aceiași culoare aparentă ca sursa cu incandescentă ($T_c \sim 3000K$) și o redare foarte bună a culorilor ($R_a \geq 80$).

Trebuie menționat că firmele de vârf nu trebuie să mai aducă în România decât lămpi fluorescente compacte cu aceste caracteristici și nu cele de culoare aparentă rece, care sunt indicate în zona ecuatorială și cea tropicală.

Din păcate, din cauza necunoașterii efectelor culorii aparente reci, se pare că mulți cumpărători solicită astfel de surse, total necorespunzătoare ambientului cald și primitor al locuințelor !

Menționez că lumina aparentă rece este indicată în România și în Uniunea Europeană numai în spitale psihiatrice, închisori sau alte locații unde se dorește calmarea subiecților.

În zonele tropicale și ecuatoriale, sistemul de referință uman se schimbă total, sursa rece fiind preferată în toate locațiile, datorită efectului psihologic care atenuează aparent senzația căldurii de înalt nivel termic !

5. UTILIZAREA AZI A LED-URILOR ÎN ILUMINATUL INTERIOR – POSIBILĂ SAU NU ?

Dacă diodele care emit lumină au fost inventate de mult timp, azi, datorită măririi performanțelor acestora din punct de vedere eficacitate și durată de funcționare, devine interesantă și utilizarea lor în iluminatul interior și exterior.

Evident, fiind un produs nou, cu anumite calități menționate, producătorii,

pentru a realiza o mare vânzare, fac o propagandă/reclamă de foarte multe ori exagerată/foarte exagerată.

Structura utilizării LED-urilor poate fi urmărită în figura 4.

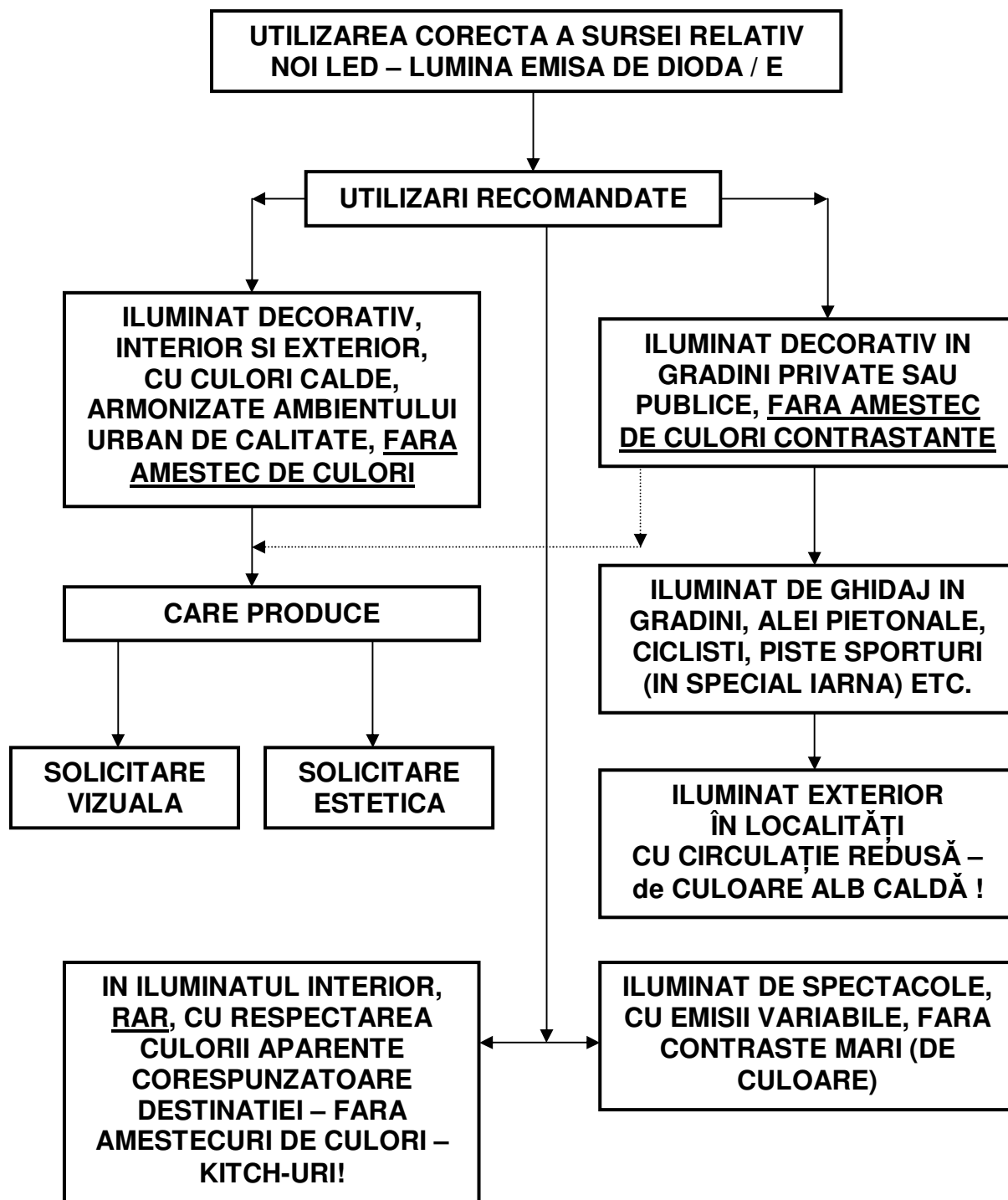


Figura 4. Schema rezumativă a utilizării corecte a LED-urilor

În cazul, rar la ora actuală, de utilizare în iluminatul interior și exterior, recomandările CNRI sunt:

- alegerea corectă a culorii aparente alb - calde atât pentru iluminatul interior în locuințe și alte destinații, cât și pentru cel decorativ interior și exterior fără amestecuri de culori kitch-iste;
- alegerea culorii neutre pentru unele locuri de muncă, cu sarcini vizuale mari, care nu necesită niveluri ridicate de iluminare.

6. CONCLUZII

1. Utilizarea modernă a luminii naturale în clădiri, prin structuri de calitate și eficiență, a devenit azi o necesitate atât pentru reducerea consumului de energie, cât și pentru realizarea unui mediu luminos confortabil, funcțional și estetic.

Asigurarea parametrilor constanți se va putea realiza numai printr-un sistem integrat electric-natural cu o structură automată-inteligentă, capabil să compenseze variația permanentă a luminii naturale.

2. Utilizarea exclusivă a aparatajului modern de calitate (surse și aparate) precum și o structură corespunzătoare a sistemului sunt condiții esențiale în asigurarea confortului și satisfacției vizuale, respectiv asigurarea randamentului uman.

3. Renunțarea azi la lampa cu incandescență clasică este o obligație determinată de situația actuală.

A nu se uita continuarea utilizării LIH, acolo unde procesul de muncă sau alte considerente determinante o cer.

4. Utilizarea rațională a LED-urilor – pentru soluțiile particulare precizate, datorită calităților relativei noi surse (durată de funcționare, eficacitate și dimensiuni reduse) alese corespunzător și armonios mediului luminos interior din punct de vedere al culorii aparente.

Bibliografie

[1] *Cornel Bianchi, Niculae Mira, Dan Moroldo, "Sisteme de iluminat interior și exterior", Ed. MatrixRom, București, 1998*

[2] *Dan Moroldo, "Iluminatul urban, aspecte fundamentale, soluții și calculul sistemelor de iluminat", Ed. MatrixRom, 1999*

Sisteme rezidențiale de pompe termice. Eficiență, preț și confort

Residential Heat Pump Systems. Efficiency, Price and Comfort

Ioan Boian¹, Alexandru Șerban¹, Florin Chiriac²

¹Universitatea Transilvania din Brașov
Str. Turnului Nr.5, 500413 Brașov, Romania

²Universitatea de Construcții București
Blvd. Pache Protopopescu Nr.66, Romania

E-mail: florin_chiriac2001@yahoo.com

Rezumat. *Lucrarea prezintă instalația de încălzire realizată la Catedra de Instalații a Universității din Brașov bazată pe pompa termică împreună cu evaluări energetice și de eficiență estimate în faza de concepție în vederea asigurării confortului termic din laborator precum și unele rezultate experimentale obținute în perioada de testare. Pompa termică cu comprimare mecanică asigură temperatura necesară din laboratorul de la subsolul clădirii, care nu beneficiază de aport solar fiind astfel „izolată” de influențele atmosferei și de cele solare. Din această cauză furnizarea de căldură în laborator este necesară și în sezonul cald, însă cu o pondere mai redusă. Pompa termică este asistată și de un panou solar-termic cu tuburi vidate.*

Cuvinte cheie: sistem bazat pe pompa termică, colector solar, testare in situ

Abstract. *A heat pump system designed and realized in the the Building Facilities Department at Transylvania University of Brașov is presented together with some evaluations concerning the energy efficiency and comfort specific for the design phase. Results from testing carried out in a below the grade laboratory, having low solar gain, with hydronic heating system show the cycling operation of the heat pump. The heat pump operating all around the year is solar assisted by an evacuated solar collector.*

Key words: heat pump system, solar collector, in situ tests

1. Introducere

Sistemul de încălzire bazat pe pompa termică conceput și realizat în laboratorul Catedrei de Instalații al Facultății de Construcții din Brașov servește la studiul parametrilor de confort specifici unei încăperi cu consum redus de energie. Această

Încăperea situată la subsolul clădirii se află în mare parte - peste 75% - sub nivelul solului, ceea ce îi conferă o caracteristică de consum redus de căldură pe timpul sezonului rece, dar necesită o ușoară încălzire și în sezonul cald, ca urmare a aportului solar redus. Prin comparație, restul clădirii se află în contact cu aerul ambiant și are un aport solar însemnat. Prin urmare pompa termică furnizează căldură pe tot parcursul anului, dar cu intensități diferite funcție de sezon, ceea ce conduce la o eficiență sporită a sistemului, atunci când este evaluată pe perioada întregului an. Sistemul considerat în acest caz constă din clădire și din pompa termică alături de sursa de căldură, desemnat în continuare ca CPTSC; el va fi analizat în cele ce urmează în contextul condițiilor climatice, al confortului termic, precum și al prețului energiei electrice.

2. Structura laboratorului de pompe termice

Sistemul *CPTSC* este prezentat în Figura 1 și are ca sursă termică de joasă temperatură aerul exhaustat din clădire de către ventiloconvectorul amplasat în holul clădirii situat la parter. Cu toate că pompa termică este de tipul apă-apă s-a optat pentru aerul exhaustat ca sursă de căldură pentru a valorifica energia sa termică evitându-se în acest fel forajul puțurilor de alimentare și de reinjecție care ar fi ridicat substanțial costurile de instalare, mai ales că nivelul pânzei freatice se află la aproximativ 35 m.

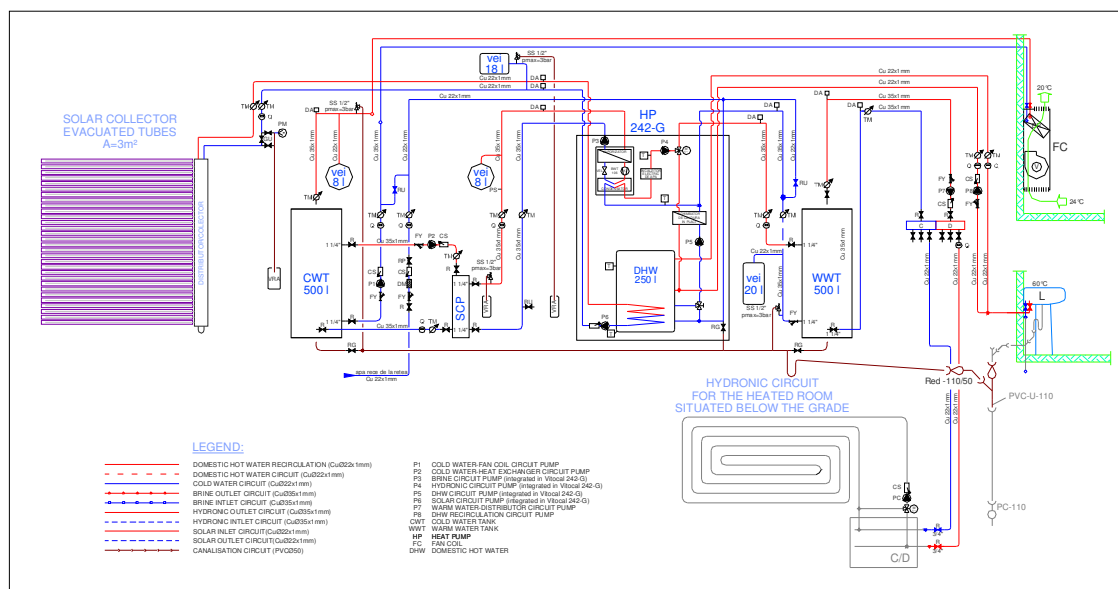


Fig. 1. Schema funcțională a sistemului bazat pe pompa termică *CPTSC*.

Căldura recuperată din aerul exhaustat cu ajutorul ventilonvectorului, prezentat în Figura 2, este, fiind transferată cu ajutorul circuitului de apă către rezervorul de stocare amplasat în imediata vecinătate a pompei termice, înaintea schimbătorului de căldură cu plăci. Din observațiile anterioare instalării se cunoștea faptul că temperatura

aerului din holul aflat la parterul clădirii are o temperatură relativ constantă, de circa 15 ± 1 °C, prin comparație cu apa freatică care la Brașov are temperatura de 8 ± 1 °C; aceasta conduce la sporirea coeficientului de performanță COP al pompei termice.



Fig.2. Ventiloconvectorul care recuperează căldura din aerul exhaustat

Rezervorul de stocare având o capacitate de 500 l, Figura 3, are rolul de a atenua oscilațiile de temperatură, în vreme ce schimbătorul de căldură cu plăci (solicitat de producătorul pompei termice prin instrucțiunile de proiectare) separă circuitul cu antigel care transferă căldura către pompa termică de circuitul de apă provenind de la ventiloconvector.



Fig.3. Pompa termică amplasată între cele două rezervoare de stocare este separată de circuitul de apă rece prin intermediul schimbătorului de căldură în plăci

În acest fel este protejat vaporizatorul pompei termice de pericolul depunerilor precum și de cel al înghețării, conform prescripțiilor firmei producătoare. Apa caldă preparată de către pompa termică la temperatura de 30...40 °C este distribuită în circuitul aflat în pardoseala laboratorului amplasat în subsolul clădirii, la cca 2,5 m sub nivelul solului, conform Figurii 4.



Fig.4. Imaginea termografică a circuitului de distribuție a căldurii amplasat în pardoseala laboratorului de la subsolul clădirii

Pompa termică este dotată din construcție cu un rezervor de stocare a apei calde preparate de către aceasta și care este situat la partea inferioară a ansamblului. În acest rezervor este preluată și căldura colectată de panoul solar cu tuburi vidate amplasat pe peretele exterior sud-vestic al clădirii (azimut 15 °C), prezentat în Figura 5.



Fig.5. Panoul solar amplasat pe peretele sudic al clădirii

În afara sistemului de control automat al pompei termice aflat în dotarea acesteia au fost prevăzute și elemente de măsură (termorezistențe PT100, termocuple K) și precum un sistem de achiziție a datelor (data logger OPUS 208 cu 8 , respectiv 2 canale), arătate în Figura 6.

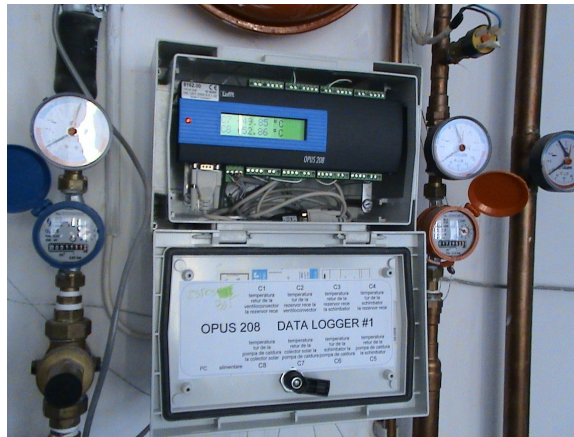


Fig.6. Sistemul de achiziție a datelor, OPUS 208

3. Eficiența sistemului și prețul energiei distribuite

Adaptarea pompei termice la sarcina variabilă de încălzire/răcire a clădirii se realizează prin funcționarea sa ciclică pornit/oprit. Acestă ciclare atrage după sine pierderi datorate reducerii diferenței de presiune între condensatorul și vaporizatorul pompei termice; la opriri mai îndelungate ale electromotorului de antrenare a compresorului această diferență de presiune tinde spre zero prin migrarea agentului termic din condensator către vaporizatorul pompei termice. Drept urmare, în primele minute după repornirea electromotorului pompei termice funcționarea acesteia este caracterizată de o eficiență redusă, până ce se reface valoarea nominală a diferenței de presiune.

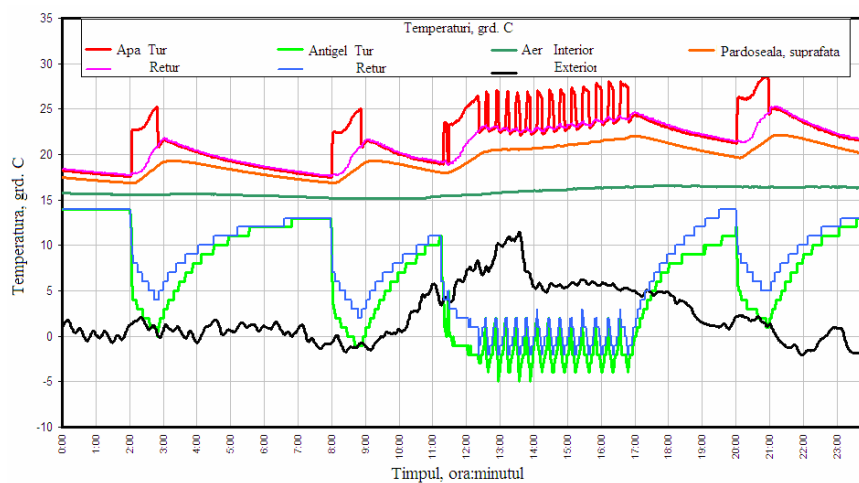


Fig.7. Funcționarea ciclică exagerată a pompei termice

Aceste situații de ciclare exagerată trebuie evitate pentru a putea beneficia de un COP mai ridicat (factorul de ajustare a capacității datorat ciclării se reduce odată cu timpul de funcționare). De aceea adaptarea capacității pompei termice la necesarul de căldură al clădirii este o condiție importantă în faza de concepție și de proiectare a sistemului CPTSC.

Distribuția căldurii către laboratorul aflat la subsolul clădirii atrage după sine un necesar de căldură mai redus pe timpul sezonului rece, similar cu situația izolării anvelopei clădirii. Efectul izolării termice a anvelopei, prin scăderea necesarului de căldură al clădirii, conduce la deplasarea punctului de echilibru spre temperaturi exterioare mai mici, așa cum se arată în Figura 8.

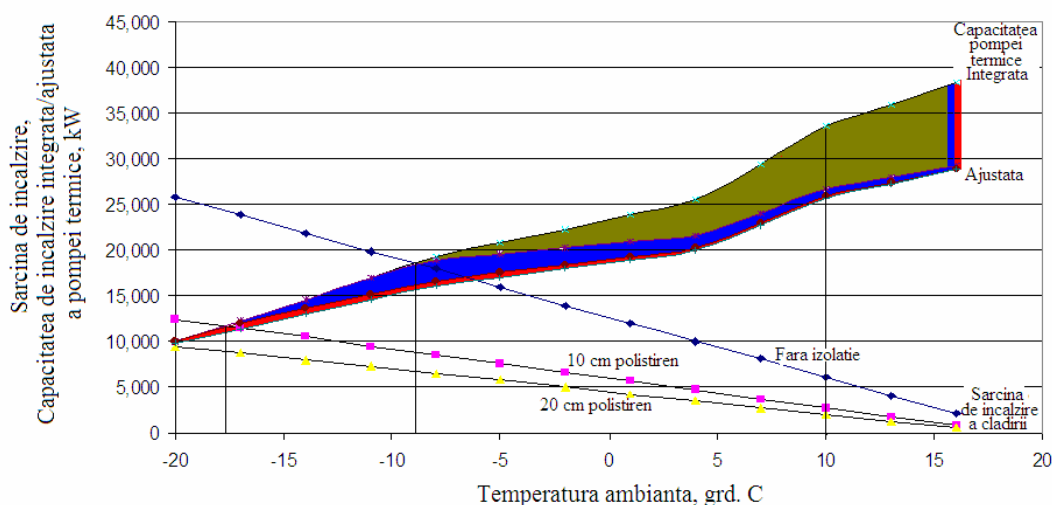


Fig.8. Capacitatea integrală/ajustată a pompei termice și necesarul de căldură al clădirii funcție de temperatura ambiantă pentru trei situații a anvelopei: înainte de izolare, 10 cm, respectiv 20cm polistiren

Analiza efectuată înaintea alegerii capacității pompei termice a vizat tocmai acest efect legat de corelarea dintre necesarul de căldură al clădirii și capacitatea pompei termice: ciclarea mai pronunțată și pierderile asociate acestora survin de la temperaturi mai scăzute, contribuind la o eficiență de funcționare mai redusă (capacitatea ajustată a pompei termice este inferioară capacității integrale determinată pe standul de încercări în condiții staționare de funcționare și furnizată de producător în fișa tehnică a produsului) [1]. Distribuția căldurii furnizate de pompa termică către o incintă amplasă în subsolul clădirii a avut ca scop tocmai reducerea sarcinii de încălzire pe timpul sezonului rece, situație similară cu izolarea suplimentară a anvelopei. Simularea condițiilor reale s-a făcut prin luarea în considerare a unei incinte asupra căreia s-a efectuat o izolare cu polistiren expandat cu grosimea de 10 cm, respectiv de 20 cm [2]. Din Figura 8 se poate observa că, prin izolarea anvelopei cu 10 cm de polistiren expandat, punctul de echilibru se deplasează de la temperatura exterioară de +8,5 °C la cea de -18 °C. Păstrând aceeași pompă termică ciclarea începe de la această temperatură mai coborâtă și pierderile asociate acestei funcționări sunt mai mari decât în situația dinainte de izolare termică. În cazul izolării cu polistiren expandat gros de 20 cm efectul este și mai pronunțat, ciclarea survenind încă de la

temperatura exterioară de -21°C , iar pierderile fiind proporționale cu suprafața poșată. De aceea este indicat să se execute lucrările de îmbunătățire termică a anvelopei înainte de alegerea capacității pompei termice și după un calcul de optimizare [2].

Tendința de a alege o pompă termică de capacitate sporită în vederea reducerii, sau eliminării aportului de căldură furnizat de sursa auxiliară de energie (de regulă un cazan pe combustibil fosil) conduce la pierderi datorate ciclării care sunt cu atât mai mari cu cât capacitatea pompei termice este mai mare, așa cum se arată în Figura 9.

Se poate observa ca pompa termică de 5,5 kW va începe să cicleze de la o temperatură exterioară de aproximativ $+5^{\circ}\text{C}$, în vreme ce pompa termică având capacitatea de 34 kW va cicla începând de la temperatura de -18°C , ceea ce va implica pierderi corespunzător mai mari. Însă trebuie arătat că pompa termică de 5,5 kW va necesita o asistență substanțial mai mare din partea sursei auxiliare de căldură (suprafața poșată din stânga punctului de echilibru) comparativ cu cea de 34 kW (suprafața neagră). Reducerea capacității pompei termice de la valoarea obținută la testarea pe stand în condiții de funcționare neîntreruptă la valoarea ajustată datorată funcționării ciclice exagerate este cu atât mai pronunțată cu cât punctul de echilibru se află la o temperatură mai coborâtă.

Pentru condițiile din laboratorul nostru calculele de estimare a capacității nominale au condus la o valoare de 6,5 kW pompa termică aleasa asigurând 6,4 kW. La aceasta se adauga și aportul solar al colectorului cu tuburi vidate având o suprafață utilă de 3m^2 .

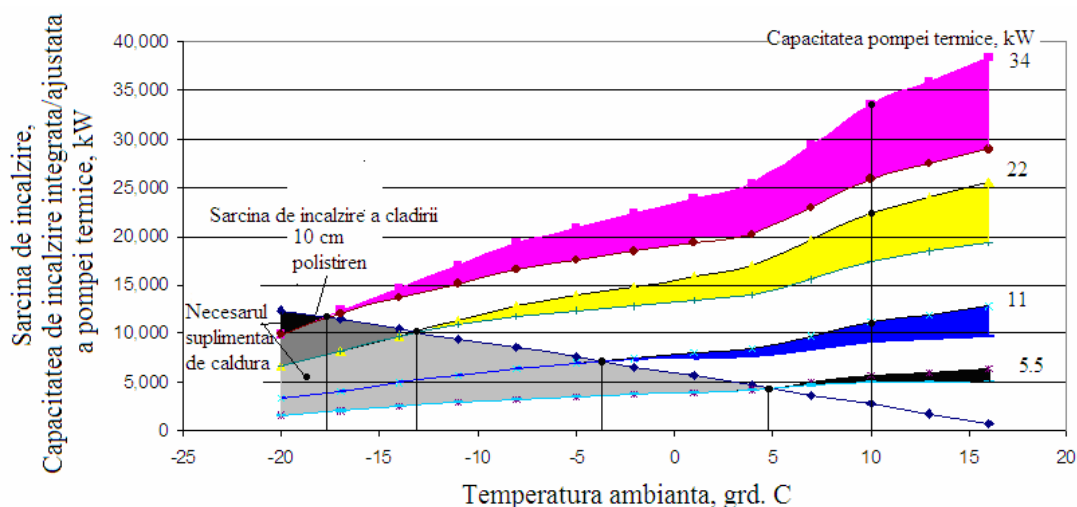


Fig.9. Pierderile aferente ciclării pentru pompa termică având diferite capacități și pentru o anvelopă izolată cu 10 cm de polistiren expandat

De regulă, se impune o anumită temperatură pentru apa furnizată de pompa termică, ceea ce conduce la un ecart pe care trebuie să-l realizeze aceasta în raport cu temperatura sursei de căldură. De aceea, prețul energiei furnizate de pompa termică depinde de doi parametri primari și anume de temperatura apei furnizate, ca agent primar, precum și de prețul energiei electrice cu care este alimentat electromotorul pompei termice.

Pentru a beneficia de avantajul unei temperaturi mai ridicate a apei la intrarea în pompa termică s-a renunțat la utilizarea apei din pânza freatică, ca agent primar, (+7...+9) în favoarea aerului, mai cald, evacuat din clădire (holul de la primul nivel) (+14...+16 °C). Ca urmare coeficientul de performanță COP sporește cu 10...20%, ceea ce se reflectă direct în costul energiei electrice consumate pentru funcționarea pompei termice.

Dată fiind tendința din ultimii ani din țara noastră, de creștere a prețului energiei electrice s-a analizat efectul pe care îl are acesta asupra costului energiei termice furnizate de pompa termică.

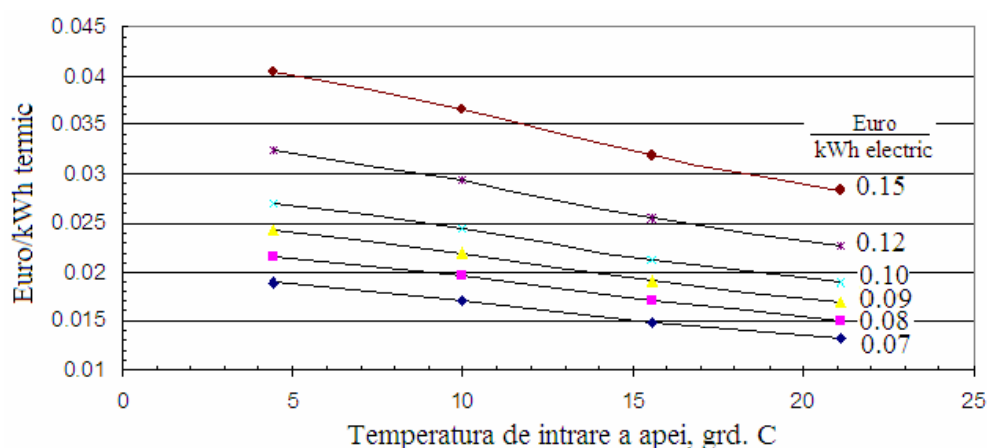


Fig.10. Prețul energiei termice furnizate de pompa termică funcție de temperatura de intrare a apei și de prețul energiei electrice distribuite

Din Figura 10 se observă că o reducere cu câțiva eurocenți a prețului energiei electrice are un efect mai pronunțat decât o creștere substanțială a temperaturii apei cu care este alimentată pompa termică: prețul energiei termice furnizate de pompa termică scade cu circa 33% prin reducerea costului specific al energiei termice cu 0,05 € (de ex. de la 0,15 € la 0,10 €), însă numai cu 15...20% prin creșterea cu 10 °C a temperaturii de intrare a apei în pompa termică.

4. Eficiența de producere a energiei electrice și confortul termic

De regulă, evaluarea performanței pompei termice se face prin raportarea energiei termice (căldura) furnizată de aceasta la energia electrică folosită în acest scop, așa-numitul coeficient de performanță COP. Având în vedere eficiența de producere a energiei electrice, cuprinsă în mod uzual între 30 și 40% capătă sens evaluarea căldurii furnizate de pompa termică în raport cu energia primară folosită la producerea energiei electrice. Din Figura 11 se observă că odată cu creșterea ecartului de temperatură realizat de pompa termică scade căldura furnizată de aceasta pentru unitatea de energie primară folosită la producerea energiei electrice (utilizată de către pompa termică); totodată se remarcă și influența semnificativ mai mică pe care o are temperatura sursei reci: o creștere de 25 °C (de la -10 °C la +15 °C) are același efect ca și o scădere cu 3...5 °C a ecartului de temperatură realizat de pompa termică.

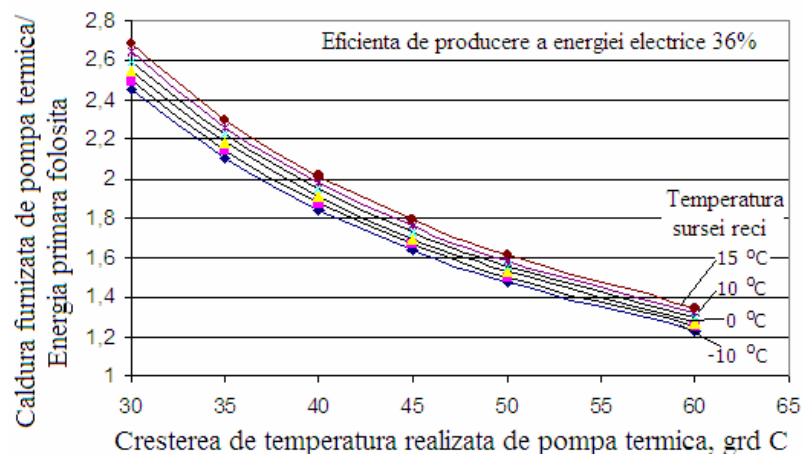


Fig. 11. Influența creșterii de temperatură realizată de pompa termică asupra căldurii furnizate de aceasta pentru unitatea de energie primară folosită și având temperatura sursei drept parametru. Evaluarea s-a făcut pentru o eficiență de producere a energiei electrice de 36%.

Din aceste considerente rezultă că este favorabilă o creștere de temperatură care să nu depășească 40 °C mai ales pentru temperaturile uzuale ale sursei reci cuprinse în intervalul 0...10 °C.

Producătorii de pompe termice fac eforturi constante de îmbunătățire a performanței acestora prin adoptarea unor soluții constructiv-funcționale mai eficiente; aceste eforturi conduc la sporirea coeficientului de performanță COP, tinzând spre valoarea sa maximă corespunzătoare unui ciclu ideal –Carnot- desfășurat între aceleași limite de temperatură. Raportând COP al pompei termice la valoarea sa maxim realizabilă în aceleași condiții de temperatură se poate evalua și efectul perfecționărilor aduse acesteia asupra performanței de producere a căldurii [3].

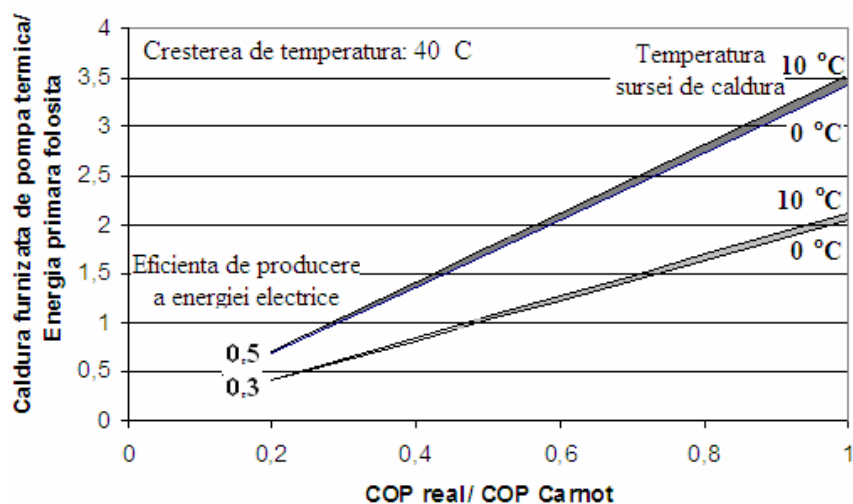


Fig. 12. Căldura furnizată de pompa termică pentru unitatea de energie primară folosită de aceasta în funcție de gradul de perfecționare al echipamentului și având ca parametri eficiența de producere a energiei electrice precum și temperatura sursei de căldură. Evaluarea s-a făcut pentru o creștere de temperatură realizată de pompa termică de 40 °C

În Figura 12 se arată că în condițiile actuale de eficiență a producerii energiei electrice, o pompă termică (ideală) poate furniza o cantitate de căldură de cel mult 2,5 ori mai mare decât energia primară utilizată în scopul producerii de energie electrică.

Situația se poate îmbunătăți prin creșterea eficienței de producere a energiei electrice: la o valoare a eficienței de 0,5 pompa termică (ideală) ar putea furniza de cel mult 3,5 ori mai multă căldură față de energia primară utilizată la producerea energiei electrice.

Temperatura sursei de căldură are o influență minoră în raport cu ceilalți parametri, așa cum reiese din Figura 12.

Eficiența de producere a energiei electrice se reflectă atât în prețul acesteia cât și în performanța pompei termice prin căldura furnizată de aceasta în raport cu energia electrică utilizată.

Din Figura 13 rezultă că la valori scăzute ale eficienței de producere a energiei electrice (0,3) căldura furnizată de o pompă termică este inferioară energiei primare chiar și la un grad de perfecționare ridicat al pompei termice raportat la ciclul ideal (Carnot); această observație este valabilă indiferent de ecartul de temperatură realizat de pompa termică.

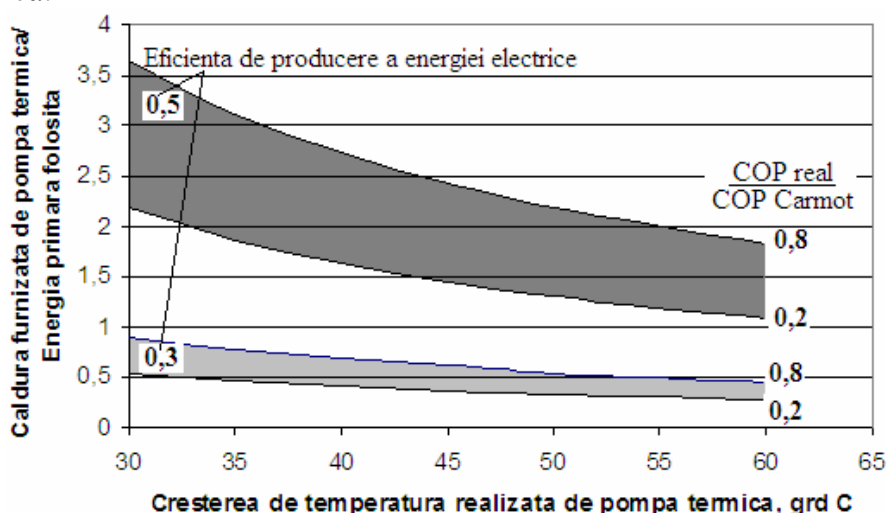


Fig.13. Căldura furnizată de pompa termică raportată la energia primară furnizată corelată cu creșterea de temperatură realizată și cu eficiența de producere a energiei electrice pentru diverse valori ale performanței acesteia.

Creșterea cantității de căldură furnizate de pompa termică la valori supraunitare în raport cu energia primară folosită survine doar la majorări ale eficienței de producere a energiei electrice; în acest caz se remarcă și efectul mai accentuat al îmbunătățirii performanței ciclului de funcționare, precum și reducerea ecartului de temperatură realizat de pompa termică. Sporirea eficienței de producere a energiei electrice cu 66% (de la 30% la 50%) induce o creștere de 3...4 ori a căldurii furnizate pentru aceeași cantitate de energie primară furnizată. Prin urmare o sporire a eficienței de producere a energiei electrice permite utilizarea unor surse de căldură cu temperatură mai scăzută. O îmbunătățire a coeficientului de performanță al pompei termice cu 33% induce o creștere a energiei termice furnizate de aceasta în raport cu

energia primară folosită în acest scop de 14% pentru o eficiență de producere a energiei electrice de 30%; aceeași îmbunătățire a COP (33%) atrage o creștere a energiei termice furnizate de aceasta în raport cu energia primară folosită în acest scop de 28% pentru o eficiență de producere a energiei electrice de 50%.

Scăderea pronunțată a COP al pompei termice este de regulă rezultatul unei ridicări exagerate a nivelului de temperatură la 55 °C și chiar peste 60 °C necesar pentru evitarea pericolului apariției legioneloziei.

Eficiența sistemului *CPTSC* depinde și de consumul de energie electrică asociat pompelor care asigură circulația agentului termic [4] și care pot contribui la sporirea semnificativă a cheltuielilor printr-o funcționare neîntreruptă și inutilă, sau printr-o corelare inadecvată a debitelor vehiculate cu necesarul de energie, atât de la sursa de căldură, cât și către suprafața radiantă de distribuție a căldurii.

În privința pompei care asigură circulația fluidului de la sursa de căldură, chiar dacă puterea acesteia reprezintă mai puțin de 5% din capacitatea pompei termice, totuși energia totală consumată de aceasta poate reprezenta o fracțiune importantă din consumul sistemului în ansamblul său, respective 15...48% atunci când funcționarea sa este neîntreruptă. În multe cazuri s-a asigurat un debit de 0,036...0,054 l/(s.kW), însă valorile din gama 0,018...0,031 l/(s.kW) se dovedesc a fi suficiente. Creșterea debitului peste aceste valori nu mai atrage după sine o majorare a COP al *CPTSC*.

Corelarea debitului cu necesarul de căldură conduce la valori optime ale acestuia determinate de atingerea unui maxim pentru COP. De regulă valorile uzuale pentru distribuția căldurii în pardoseala radiantă variază între 0,045 și 0,054 l/(s.kW). Setarea intervalului de reglaj al termostatlui care asigură confortul termic din laborator se poate face și din considerentul păstrării COP al sistemului *CPTSC* între anumite limite prestabilite.

Confortul termic din incinta laboratorului încălzit cu ajutorul pompei termice este afectat de condițiile climatice: fiind situat predominant sub nivelul solului aportul solar este semnificativ redus, iar temperatura pereților se menține în limite mai restrânse și la valori mai ridicate în sezonul rece, prin comparație cu restul clădirii.

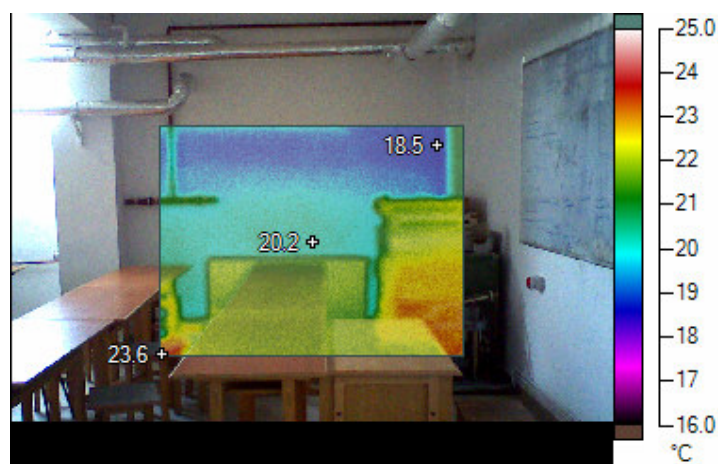


Fig.14. Imaginea termografică a pereților laboratorului amplasat la subsolul clădirii

Drept urmare suprafața interioară a pereților aferenți se menține la temperaturi mai ridicate în zonele unde se află sub nivelul zero, așa cum se vede în Figura 14.

Temperatura medie radiantă se menține la valoarea de $20,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ în partea aflată în contact cu solul față de $18,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ caracteristică porțiunii amplasate deasupra acestuia (temperatura aerului exterior în momentul măsurării a fost de $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$). Temperaturile mai ridicate pe suprafața interioară sunt caracteristice pereților izolați termic fiind însoțite și de oscilații cu amplitudine mai mică. Rezultatul se manifestă în pierderi de căldură mai mici pe perioada sezonului rece afectând pozitiv necesarul de căldură, iar în timpul verii menținându-se o ambianță răcoroasă.

Pe de altă parte, în cazul menținerii temperaturii pereților la valori mai ridicate este adecvată o reducere corespunzătoare a temperaturii aerului interior [5] în concordanță cu nivelul de activitate precum și cu izolarea corpului uman prin îmbrăcăminte.

În această situație, pompa termică care acoperă pierderile de căldură în vederea menținerii condițiilor de confort, a funcționat neîntrerupt timp de o oră și zece minute urmată de un repaos de o oră și treizeci și cinci de minute, conform Figurii 15, prezentând un COP de 4,3.

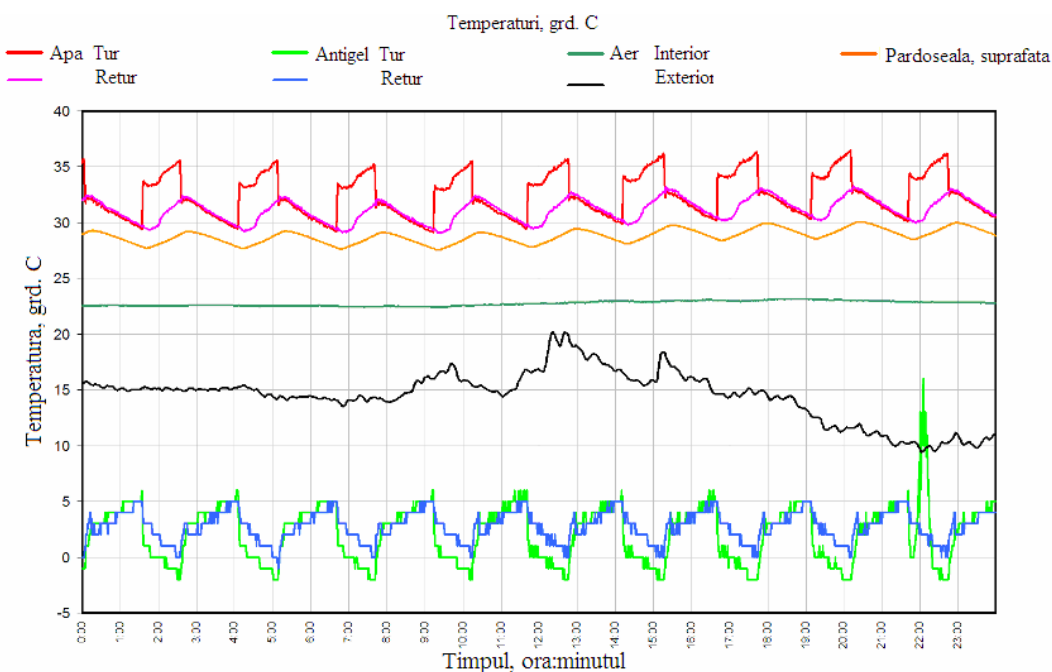


Fig.15. Înregistrarea ciclului de funcționare al pompei termice

Aceeași ciclicitate se manifestă și în ceea ce privește temperaturile pe turul/returul pompei termice. Temperatura aerului interior din laborator a fost menținută constantă la $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ în vreme ce temperatura pe pardoseala radiantă a variat în jurul valorii de $28\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ cu aceeași periodicitate de 2 ore și 45 minute.

Temperatura apei (antigel) la intrarea în pompa termică s-a menținut în limitele $0\ldots+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, iar la ieșire a fost între $+5\ldots-2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pe perioada de oprire a compresorului

aceste două temperaturi tind să se egalizeze, iar în timpul funcționării există o diferență de circa 2 °C.

Apa încălzită de pompa termică s-a menținut în limitele 33 ± 3 °C la ieșire, respectiv 31 ± 3 °C la revenirea în echipament.

Temperatura aerului exterior a variat între 10 și 20 °C.

5. Concluzii

Pompele termice sunt considerate drept echipamente foarte eficiente pentru condiționarea aerului. Însă cheltuielile ce se adaugă odată cu escavarea, sau cu forajul puțurilor precum și cele rezultate în timpul unei exploatare neeconomice nu fac din acestea o alternativă imediată și atractivă pe scară largă. Cu toate că țările nordice și regiunile sărace în resurse au pus un accent deosebit pe dezvoltarea acestei tehnologii începând încă din anii șaptezeci ai secolului trecut continuând să le promoveze, totuși o răspândire pronunțată nu este încă predictibilă. Diverse soluții avantajoase au rezultat din experiența practică acumulată, însă acestea trebuie analizate într-un context mai larg asociat întregului sistem.

Studiile de fezabilitate trebuie precedate de o izolare termică a anvelopei având ca scop reducerea sarcinii de încălzire/răcire a clădirii. În cazul laboratorului de pompe termice realizat la Catedra de instalații a Universității Transilvania din Brașov a fost aleasă o incintă amplasată în subsolul clădirii pentru a beneficia de pierderi de căldură mai reduse asemănător situațiilor de izolare termică a anvelopei.

Capacitatea necesară a pompei termice depinde într-o mare măsură de nivelul de izolare termică a clădirii. O capacitate redusă a pompei termice conduce la cheltuieli mai mici cu achiziția, dar și a celor de exploatare. Dimensionarea corectă a pompei termice, adecvată cu sarcina termică a clădirii va conduce la pierderi mai mici, corespunzător cu funcționarea ciclică. Costul încălzirii cu ajutorul sursei suplimentare, pe perioada temperaturilor inferioare celei a punctului de echilibru trebuie menținute la valori reduse în vederea obținerii unei eficiențe corespunzătoare pentru întregul sistem. Deasemenea, energia electrică asociată pompelor de circulație trebuie menținută la un nivel rezonabil din punctul de vedere al eficienței economice.

Economiile de energie dintr-o clădire cu încălzire prin pardoseala se situează între 20 și 40% comparativ cu sistemele bazate pe aer cald insuflat cu condiția corelării debitelor (către sursa de căldură, respectiv către sistemul de distribuție prin clădire) cu regimul de funcționare. Convertoarele de frecvență (care permit variația turației electromotoarelor de curent alternativ) au devenit uzuale, chiar la puteri reduse, iar costul lor este mic în comparație cu cel al întregului sistem.

Intervalul de creștere a temperaturii realizat de către pompa termică, este esențial pentru sistemul *CPTSC*, el fiind cel care va determina valoarea necesară a temperaturii sursei de căldură pentru o anumită temperatură solicitată a apei calde furnizate (acc, sau încălzirea prin pardoseală).

Evoluțiile constructiv-tehnologice ale pompelor termice vor conduce implicit la creșterea performanțelor atât a echipamentului în sine cât și a sistemului în ansamblul său, respectiv la o creștere a eficienței acestei soluții.

Funcționarea ciclică exagerată trebuie evitată printr-o dimensionare precisă a necesarului de căldură-frig precum și prin setarea adecvată a termostatlui.

În concluzie, dezvoltarea sistemelor de pompe termice depinde de mai mulți factori, nu numai de cei aferenți pompei termice în sine.

Referințe

- [1] ASHRAE Fundamentals. Chapter 32. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers, Inc. 2005
- [2] *I.Boian, G.Dragomir*, “Reabilitarea termică a anvelopei clădirilor de locuit. Măsurători și rezultate.” Instalatorul **XVIII**, 6, pp. 14-17, 2010.
- [3] *P. Lundquist*, “System thinking for efficient use of heat pumps. Part 2-Experiences and perspectives from Sweden.” The REHVA European HVAC Journal, **47**, 4, pp.48-53, July 2010
- [4] *K.D. Rafferty*, “Commercial Open Loop Heat Pump Systems.” ASHRAE Journal, **51**, 3, pp.52-62 2009
- [5] *V.E. Dombi, M. Moldovan, I.Boian, I.Visa*, “Thermal Comfort in an Office Room.” Proceedings of 10th REHVA World Congress Clima 2010.Abstract Book R7-TS55-OP06, P307, 2010.

Aspecte privind senzorii satelitari optici folosiți în silvicultură și studiul pădurii

Aspects of optical sensors satellitare used in forestry and forest research

Iosif Vorovencii

Universitatea Transilvania din Brașov
Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere
Strada Beethoven nr. 1, Brașov, Romania
E-mail: iosif.vorovencii@unitbv.ro

Rezumat: Teledetecția satelitară este o tehnică relativ nouă ce permite, prin mijloacele sale, achiziționarea de imagini satelitare pe suprafețe mari de teren. Realizările acesteia sunt evidente atât în planul senzorilor amplasați pe platformele satelitare cât și în ceea ce privește metodele folosite la prelucrarea înregistrărilor în vederea obținerii produselor finale. Printre sectoarele în care datele de teledetecție au aplicabilitate imediată se numără și cel forestier. Faptul că imaginile satelitare preluate au diferite caracteristici tehnice, printre care cea mai importantă fiind rezoluția spațială, determină ca realizările teledetecției satelitare în acest sector să fie diferențiate la nivel de studiu și analiză generală a pădurii, dar și la nivel de arboret. În acest articol sunt prezentate aspecte privind principalii senzori satelitari curenți aflați pe orbite care achiziționează imagini satelitare ce pot fi utilizate și în sectorul forestier.

Cuvinte cheie: teledetecție satelitară, silvicultură

Abstract: Satellite remote sensing is a relatively new technique that allows, by own means, the acquisition of satellite images on large areas. Accomplishments are evident both in terms of sensors placed on satellite platforms and the processing methods used to obtain the final products. Among the sectors which have immediate application of remote sensing data is included and the forestry. The fact that satellite images acquired with different technical characteristics, among which the most important being the spatial resolution, satellite remote sensing makes the achievements in this sector to be differentiated from the general study and analysis of the forest to the stand level. This article presents the main aspects of current satellite sensors which acquire satellite images that can be used in forestry.

Key words: remote sensing satellite, forestry

1. Introducere

Teledetecția satelitară constituie unica tehnică de evaluare și monitorizare pe suprafețe întinse a fondului forestier și a multor activități ce se desfășoară în acest sector. Tehnologiile de teledetecție permit preluarea de imagini digitale multiscări și multirezoluții, pixelul având diferite mărimi în funcție de tipul senzorului,

dimensiunile acestuia fiind de ordinul kilometrilor și până la cel al zecilor de centimetri. Faptul că datele de teledetecție sunt achiziționate în mod repetat (zilnic, la câteva zile, lunar) ajută la monitorizarea resurselor forestiere în mod regulat. Aceste înregistrări pot fi folosite chiar în timp real fiind foarte utile pentru monitorizarea diferitelor aspecte și evenimente din fondul forestier cum ar fi incendiile de pădure. Nu trebuie scăpat din vedere că datele satelitare au o acoperire sinoptică iar informația poate fi achiziționată din zone cu accesibilitate scăzută sau inaccesibile omului. De asemenea, teledetecția folosește lungimi de undă care nu pot fi înregistrate de ochiul omenesc. Fără a înlocui ridicările terestre, clasice, datele de teledetecție aduc informație suplimentară care ajută în mare măsură la gospodărirea durabilă a pădurilor.

Realizările teledetecției satelitare sunt reliefate prin studiile efectuate la diferite niveluri (globale, zonale, locale) pentru evaluarea resurselor pădurii, analizele bazându-se pe semnaturile spectrale sau pe simplii indici calculați folosind reflectanța spectrală. În general, dat fiind specificul tehnologiilor de teledetecție, realizările acestea în domeniul silviculturii pot fi privite din punctul de vedere al *descrierii și analizei pădurii și arboretelor*, cel al *determinării parametrilor biofizici* ai pădurii și cel al *întocmirii de produse cartografice* altele decât cele tematice.

Din prima categorie fac parte aplicațiile calitative care au ca produs final obținerea de hărți tematice și cele cantitative privind determinările asupra arboretelor. Astfel, aplicațiile calitative constau în carografierea tipurilor de păduri, identificarea individuală a speciilor, detectarea incendiilor de pădure, cartografierea riscului la incendiile de pădure, stabilirea stării de sănătate a pădurilor (vigoarea, stresul hidric, atacurile de insecte, poluarea aerului, apei și solului pădurii), evaluarea pagubelor produse de doborâturile de vânt și de alți factori climatici extremi, monitorizarea activităților de exploatare, reîmpădurire și despădurire, managementul ariilor protejate, proiectarea drumurilor forestiere, evaluarea eroziunii solului, evaluarea și conducerea pădurilor de recreere, evaluarea și conducerea habitatului sălbatic etc. Aplicațiile cantitative sunt cele care privesc determinarea suprafeței fondului forestier, estimarea procentului de acoperire a solului de coronamentul arboretului, estimarea înălțimii arboretelor, a diametrului de bază, a vârstei, a suprafeței de bază și a volumului.

Din cea de-a doua categorie fac parte determinarea indicelui suprafeței foliare LAI (Leaf Area Index), productivitatea netă primară NPP (net primary productivity) și biomasa. În ceea ce privește întocmirea de produse cartografice, realizările teledetecției satelitare sunt materializate în obținerea de hărți la diferite scări, în funcție de tipul imaginilor satelitare folosite, și obținerea modelului digital al terenului pe baza imaginilor satelitare stereoscopice.

2. Cartografierea covorului vegetal folosind imagini satelitare

Teledetecția oferă mijloacele practice și economice pentru studierea covorului vegetal și a schimbărilor care au loc, în special pe suprafețe întinse (Langley et al., 2001, Nordberg și Everston, 2003). Datorită potențialului ridicat pentru realizarea de observații sistematice la diferite scări, tehnologiile de teledetecție asigură posibilitatea creării arhivelor de date din momentul lansării sateliților și până în prezent. Din acest

motiv cercetătorii și specialiștii practicieni au făcut eforturi considerabile pentru a contura covorul vegetal la niveluri diferite (local, zonal, global) prin intermediul imaginilor de teledetecție.

Pe plan internațional, programul Geosfera-Biosfera (Geosphere-Biosphere Program) inițiat la nivel mondial în anul 1992, a fost primul în cartografierea globală a covorului vegetal (Global Land Cover Characterization - GLCC Database) care s-a bazat pe date NOAA - AVHRR cu rezoluția spațială de 1 km. În anul 1999, Institutul Comun de Cercetări (Joint Research Institute) din Italia în colaborare cu peste 30 de echipe de cercetători din întreaga lume au implementat un proiect similar numit Acoperirea Globală a Terenului GLC2000 (Global Land Cover 2000) în vederea cartografierii globale a acoperirii terenului și realizarea unei baze de date VEGA2000 folosind date preluate de senzorul Spot 4-Vegetation cu rezoluția spațială de 1 km. Doi ani mai târziu, NASA a realizat o bază de date privind acoperirea terenului folosind imagini MODIS preluate în fiecare lună cu satelitul Terra MODIS, în intervalul ianuarie – decembrie 2001, date cu nivelurile de prelucrare 2 și 3. În anul 1996 s-a realizat proiectul pan-european de monitorizare a acoperirii terenului (Pan-European Land Cover Monitoring) care a avut ca obiectiv realizarea unei baze de date folosind imagini cu rezoluția spațială de 1 km NOAA-AVHRR, bază care a acoperit întregul continent european și a datelor vechi (Rounsevell et al., 2006). Pe lângă aceste baze de date realizate la scară globală și continentală s-au depus eforturi pentru extinderea acestora și la nivel regional sau național. Un exemplu îl constituie programul de cartografiere a vegetației USGS-NPS Vegetation Mapping realizat de U.S. Geological Survey și National Park Service început în anul 1994. Acesta a avut ca scop obținerea hărților detaliate ale vegetației realizate în format digital pentru 250 de parcuri naționale din Statele Unite ale Americii.

Monitorizarea stării de sănătate a pădurilor la nivel european a fost realizată prin programul UN-ECE/ICP-Forests începând din anul 1986 cu evaluarea anuală a sănătății pentru 320000 de arbori (Anon, 2002a).

Programul CLC (Corine Land Cover) al comunității europene, a avut ca obiectiv furnizarea de informații uniforme și comparabile referitoare la covorul vegetal din cadrul suprafețelor din țările membre pentru aplicații referitoare la mediul înconjurător. Achiziția datelor s-a făcut la scara 1 : 100000 bazată pe evaluarea imaginilor satelitare Landsat 5 TM, diferențiind 44 de clase ale covorului vegetal. Unitatea minimă de cartare a fost 25 ha iar pentru detaliile liniare lățimea minimă luată în considerare a fost 100 m.

În primul inventar CLC desfășurat între anii 1985-1995 în cadrul țărilor din Uniunea Europeană și a celor ce beneficiază de programul Phare, interpretarea vizuală a fost făcută pe baza imaginilor satelitare. Începând cu anul 2000 seturile de date Corine sunt aduse la zi. Operația se realizează direct, prin digitizarea pe ecran a imaginilor, ceea ce sporește substanțial acuratețea și reduce costurile. Diferențele între cele două clasificări sunt evidente în ceea ce privește durata înregistrărilor, rezoluția spațială a imaginilor, precizia geometrică, costul etc. Sursa principală pentru introducerea datelor în vederea actualizării bazei de date o constituie mozaicul realizat la nivel european din imagini satelitare ortorectificate (Landsat 7 ETM+) date 2000 (IMAGE 2000) cu o abatere maximă permisă de 1 an (1999 – 2001). Operațiunea, denumită „Snapshot of Europe for

year 2000” a permis ca pe baza acestor date să se întocmească o nouă hartă a covorului vegetal (CLC 2000) finalizată la sfârșitul anului 2003.

În țara noastră realizările pe acest plan sunt destul de modeste, preocuparea mai mare având-o Institutul de Cercetări și Amenajări Silvice din București care a întocmit o hartă a ecosistemelor forestiere din România folosind imagini satelitare de rezoluție spațială medie.

3. Senzorii optici folosiți în silvicultură și studiul pădurii

Senzorii satelitari folosiți la realizarea de înregistrări au avut o evoluție spectaculoasă, în special, în ultimul deceniu când au fost lansați sateliții dotați cu senzori care achiziționează imagini cu rezoluții spațiale metrice și submetrice (fig. 1). Realizările teledetecției satelitare sunt strâns legate de cele ale senzorilor satelitari care au rolul principal în preluarea înregistrărilor. Așadar, realizările teledetecției satelitare, prin senzorii satelitari lansați, sunt benefice pentru toate sectoarele economiei naționale care gestionează resurse naturale printre care și sectorul forestier. Acestea sunt cu atât mai valoroase cu cât unele tehnici de teledetecție permit preluarea de înregistrări în modul stereoscopic. În acest sens, analizele pot fi realizate atât pe imagini satelitare singulare cât și pe imagini stereoscopice în cazul senzorilor satelitari care au această capacitate (ASTER, Spot, Ikonos-2).

Imaginile preluate cu sateliți optici pot fi înregistrate în modul pancromatic (bandă spectrală largă cu rezoluție spațială ridicată) și în modul multispectral (câteva benzi spectrale cu lățime mică și cu rezoluție spațială scăzută). Deoarece, din motive tehnice este dificil să se realizeze senzori foarte sensibili cu benzi spectrale înguste, senzorii cu rezoluție spațială fină (sub un metru) operează în domeniul vizibil, în modul pancromatic lărgit (aproximativ 400 nm). Aceste imagini permit evidențierea limitelor dintre tipurile de pădure, a celor dintre arborete, a tăierilor rase, a drumurilor de exploatare, textura coronamentului etc. Modul multispectral este mult mai adaptat pentru caracterizarea vegetației și permite determinarea densității coronamentului, urmărirea activității fotosintezei, a stresului hidric, a incendiilor de pădure etc. Lățimea benzilor senzorilor satelitari este în general în jurul a 100 nm dar o parte din senzorii cu rezoluție spațială mică cum ar fi MODIS (500 și 1000 m) prezintă benzi înguste (10 la 30 nm) mult mai adaptate pentru evidențierea unor trăsături biofizice. Așadar, benzile spectrale din vizibil, infraroșu apropiat și infraroșu scurt sunt folosite pentru monitorizarea vegetației. Domeniul infraroșului termal este folosit pentru studierea fluxurilor apei dintre vegetație și atmosferă, estimarea evaporației coronamentului vegetației, detectarea stresului hidric.

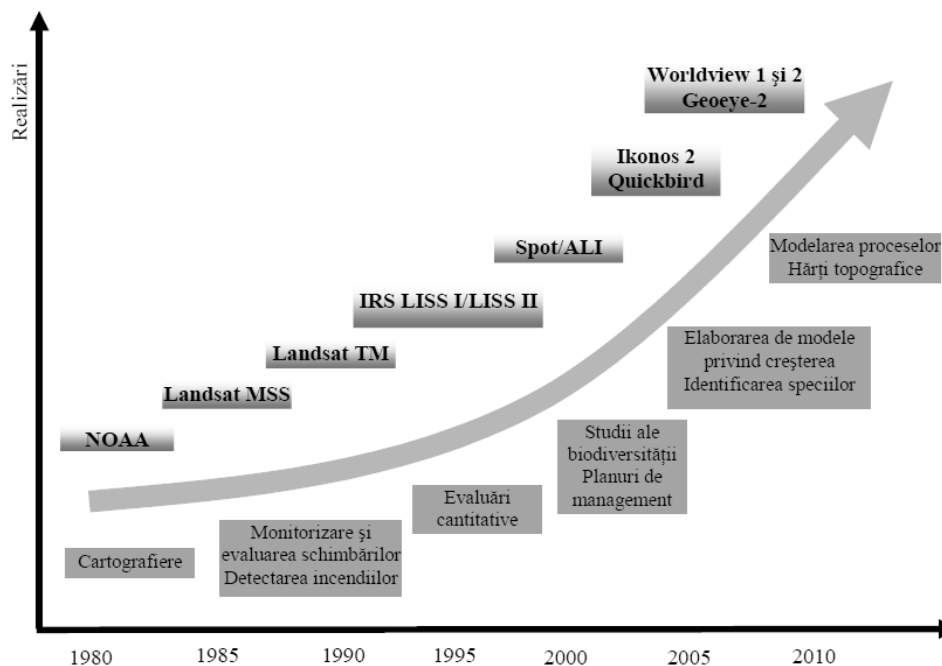


Fig. 1. Reprezentarea schematică a evoluției senzorilor satelitari și a realizărilor în silvicultură și studiul pădurii

Pentru luarea unor decizii corecte în sectorul forestier pe baza datelor de teledetecție satelitară este necesară cunoașterea senzorilor satelitari și a capacităților acestora. Paleta senzorilor este largă iar, pe măsura trecerii timpului, aceasta se diversifică, astfel că cei mai reprezentativi senzori satelitari care preiau înregistrări utilizate și în sectorul forestier, în ordinea creșterii rezoluției spațiale, sunt: AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), ASTER /Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer), MODIS, ALI (Advanced Land Imager), Landsat 5 TM (Thematic Mapper), Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), Spot 4 și 5, Ikonos-2, Quickbird-2, Worldview-2 și Geoeeye-2. Fiecare sensor prezintă atât avantaje cât și dezavantaje în ceea ce privește rezoluția spațială, spectrală, radiometrică și temporală, costul și timpul achiziționării. Datele preluate de senzori sunt disponibile atât ca date brute cât și prelucrate, fiind corectate de efectele atmosferei și alte efecte care produc distorsiuni pe imagini.

Senzorii AVHRR-NOAA au fost lansați începând cu 11 iunie 1978 (NOAA-1) și permit preluarea de date pe suprafețe foarte întinse. Înregistrările au o rezoluție temporală de o zi, rezoluția spectrală de 4-5 benzi iar rezoluția spațială de 1,1 km (Local Area Coverage), respectiv de 4 km (Global Area Coverage). Senzorii preiau imagini care sunt folosite la evidențierea limitelor dintre uscat și apă, pentru investigarea norilor, măsurarea grosimii zăpezii și a gheții, înregistrarea începutului topirii gheții sau zăpezii, distribuția nocturnă și diurnă a norilor, distribuția temperaturii de suprafață a detaliilor terestre și a apelor. Alte aplicații includ evaluarea terenurilor agricole, realizarea de hărți tematice ale vegetației pe suprafețe mari,

cartografierea incendiilor și a suprafețelor arse. Imaginile preluate cu senzorii AVHRR includ și banda termală din infraroșu dar nu dispune de date privind temperatura care pot fi folosite la estimarea evapotranspirației pe baza balansului energetic. Datorită arhivei cu înregistrări care are o lungă istorie, imaginile sunt foarte utile la studierea pe termen lung a schimbărilor vegetației. Datele sunt furnizate în seturi limitate și au un cost de 190\$/scenă georeferențiată. Dezavantajul utilizării acestor date în sectorul forestier îl constituie rezoluția spațială slabă.

Senzorii MODIS sunt amplasați pe satelitul Terra care poartă, de asemenea, senzorul ASTER și pe satelitul Aqua. Sateliții Terra MODIS și ASTER au fost lansați de NASA în anul 1999. Deși senzorii Terra ASTER și MODIS sunt pe același satelit, rezoluția temporală a imaginilor MODIS este mult mai bună decât a imaginilor ASTER (o zi versus 16 zile) deoarece câmpul de vedere al senzorului MODIS este mai mare decât cel al senzorului ASTER (2300 km² versus 60 km²). Imaginile MODIS au o rezoluție spațială slabă (250 m), o rezoluție spectrală în 36 de benzi și sunt gratuite. Deoarece primele șapte benzi ale senzorului MODIS au fost destinate pentru simularea înregistrărilor Landsat, exceptând rezoluția spațială, utilizatorii pot vizualiza imaginile MODIS în același mod ca și imaginile Landsat.

Înregistrările MODIS sunt folosite la clasificarea vegetației la scară globală, estimarea biomasei, evaluarea degradării solului, în monitorizarea incendiilor de pădure și cartografierea suprafețelor după incendii. MODIS furnizează, de asemenea, produse privind temperatura suprafețelor și reflectanța acestora ceea ce permite modelarea energiei pe baza balansului energetic. Dezavantajul acestor înregistrări îl constituie rezoluția spațială slabă chiar și pentru analizele privind incendiile.

Senzorii Landsat au fost lansați la bordul platformelor satelitare începând cu anul 1972 apoi în 1975, 1978, 1982, fiecare făcând parte dintr-o anumită generație (Landsat 1 – 4). Landsat 4 TM are aceleași benzi ca și Landsat 5 TM iar datele sunt astăzi gratuite prin centrul USGS EROS (Earth Resources Observation and Science). Senzorii Landsat 5 TM și 7 ETM+ au o rezoluție spațială ridicată în benzile vizibil, infraroșu apropiat și scurt iar Landsat 7 ETM+ are benzile termale cu cea mai mare rezoluție dintre toți senzorii satelitari curenți. Deoarece senzorul Landsat 7 ETM+ are problemele cu scannerul începând din 2003, în mod curent numai cei 20 de km din mijlocul imaginii pot fi folosiți. Landsat nu permite obținerea de produse de înalt nivel cum ar fi cele care înregistrează temperatura suprafeței și reflectanța vegetației care sunt variabile importante pentru modelarea stresului hidric pe baza bilanțului energetic.

Produsele Landsat sunt folosite în cartografierea vegetației, în principal, la nivel regional. Faptul că Landsat are o lungă istorie a datelor, aceasta constituie un avantaj pentru întocmirea hărților tematice privind vegetația pe timp îndelungat și studierea schimbărilor spațio-temporale ale vegetației. Rezoluția temporală de 16 zile ridică probleme în utilizarea acestora pentru situațiile de urgență cum ar fi incendiile de pădure.

Senzorul ASTER a fost lansat în anul 1999 ca și Landsat 7 ETM+ având un pachet de instrumente la bord schimbat pentru a permite realizarea de înregistrări în mai multe lungimi de undă. Acesta include și un telescop folosit pentru a prelua imagini privind înapoi, în infraroșu apropiat (banda 3B), permițând astfel vederea

stereoscopică. După imaginile Landsat 7 ETM+, datele ASTER au banda termală cu cea mai mare rezoluție dintre toți senzorii satelitari curenți iar rezoluția în benzile vizibil și infraroșu apropiat este mare. Deoarece datele ASTER au aceleași benzi și rezoluții ca și senzorul Landsat, acestea pot fi folosite în aplicații similare. Înainte de martie 2006 toate datele ASTER au fost gratuite iar acum fiecare scenă, indiferent de nivelul de prelucrare, costă aproximativ 80\$.

Produsele ASTER cu un nivel ridicat de prelucrare furnizează date privind temperatura și reflectanța vegetației care sunt folosite ca intrări în modelele bazate pe balansul energiei pentru estimarea evapotranspirației. Ca și în cazul senzorilor Landsat, rezoluția temporală este de 16 zile ceea ce ridică probleme în aplicațiile privind starea de sănătate a pădurilor. Datele ASTER sunt folosite la obținerea hărților tematice ale categoriilor de folosibă a terenului, a reflectanței și întocmire modelului digital al terenului.

Senzorul Spot 4 a fost lansat în anul 1998 iar **Spot 5** în 2002, sateliții fiind deținuți de compania privată Space Imaging din Franța. Pachetul instrumental de la bord al celor doi sateliți este diferit de ASTER și Landsat. Rezoluția spectrală și lățimea benzilor spectrale ale celor doi senzori sunt limitate comparativ cu Landsat și ASTER, dar rezoluția spațială este mult mai mare. Astfel, senzorul Spot 4 preia înregistrări cu o rezoluție spațială de 10 m în pancromatic și de 20 m în multispectral iar Spot 5 achiziționează imagini cu 5 m rezoluție spațială în pancromatic și 10 m în multispectral. Sateliții Spot 4 și 5 au la bord și senzorul Spot Vegetation care achiziționează imagini cu o rezoluție spațială de 1 km. Senzorii Spot nu au benzi termale în infraroșu și nu pot furniza produse privind temperatura suprafeței dar au capacitatea de a prelua imagini stereoscopice.

Dezavantajul principal în folosirea imaginilor Spot este prețul ridicat al datelor livrate. Astfel, o scenă Spot 4 costă între 1200\$ - 1900\$ la care se adaugă taxe suplimentare pentru livrarea rapidă în situații de urgență (incendii de pădure). O scenă Spot 5 costă 3300\$ la care se adaugă, la fel ca și în cazul imaginilor Spot 4, taxe suplimentare pentru livrarea urgentă. Pentru asigurarea livrării prompte a imaginilor pentru situații de urgență, cercetătorii pot comanda imagini Spot fără nicio corecție referitoare la teren.

Datele Spot sunt folosite pentru întocmirea hărților tematice ale vegetației, monitorizarea incendiilor de pădure, cartografierea severității incendiilor, detectarea vegetației invazive etc. iar imaginile stereoscopice permit obținerea modelului digital al terenului. În literatura de specialitate (Huang and Siegert, 2006) arată că imaginile Spot VGT sunt foarte utile pentru detectarea la scară largă a dinamicii schimbărilor din mediul înconjurător datorită benzii late pe care o acoperă și sensibilității înregistrărilor la creșterea vegetației. Mai mult, imaginile Spot pot fi utilizate chiar pentru modelarea proceselor biochimice.

Senzorul ALI a fost lansat de NASA în noiembrie 2000 pentru a prelua imagini în completarea datelor achiziționate de senzorul Landsat. Deoarece senzorul ALI urmează traiectul aceleiași orbite ca și Landsat 7 ETM+, imaginile achiziționate de acest satelit, comparativ cu Landsat 7, au o rezoluție temporală mai bună. Senzorul ALI este unul experimental, preia imagini în benzile pancromatic și multispectral și, ca

atare, aplicațiile în care pot fi folosite sunt similare senzorilor Landsat. Benzile au fost proiectate pentru a simula înregistrările Landsat MSS având în plus trei benzi care acoperă lungimile de undă din intervalele 0,433-0,453 μm , 0,845-0,890 μm și 1,20-1,30 μm . Teoretic, acest senzor poate fi considerat înlocuitorul senzorului Landsat 7 ETM+, fără a avea însă benzi termale. Imaginile ALI arhivate și corectate radiometric costă 250\$/scenă iar cele corectate radiometric și geometric sunt 500\$/scenă. Înregistrările ALI sunt mult mai înguste decât scenele Landsat tipice, având lățimea de 37 km și lungimea de 185 km.

Senzorul Ikonos-2 a fost lansat în anul 1999 de către Space Imaging și preia înregistrări a căror rezoluție spațială este de 1 m în pancromatic și 4 m în multispectral. Costul înregistrărilor se ridică la 7\$/km² pentru datele arhivate, comanda minimă fiind de 49km² iar pentru datele curente, în funcție de nivelul de prelucrare, de la 15\$ la 22,5\$/km². Senzorul nu achiziționează date în infraroșu termal astfel că acestea nu pot fi folosite pentru estimarea temperaturii suprafeței terenului și a detaliilor, inclusiv a vegetației.

Imaginile sunt folosite pentru clasificarea vegetației și a peisajelor, estimarea volumului arboretelor, identificarea atacurilor de insecte, cartografierea și monitorizarea acestora, cartografierea suprafețelor incendiate etc. De asemenea, observațiile realizate pe imaginile Ikonos-2 pot servi ca sursă “virtuală” a măsurătorilor terestre pentru imaginile cu rezoluție spațială scăzută și pentru observațiile globale (Goward et al., 2003). Aceste imagini pot fi utilizate și pentru validarea clasificării covorului vegetal realizată pe baza altor imagini satelitare (Goward et al., 2003).

Senzorul Quickbird-2 a fost lansat de DigitalGlobe Corporate din Statele Unite ale Americii în anul 2001 și preia imagini de teledetecție în scop lucrativ. Rezoluția spațială a înregistrărilor Quickbird-2 este de 0,61 m în pancromatic și 2,65 m în multispectral iar rezoluția temporală este ridicată. Datele arhivate costă 22,5\$/km² iar comanda minimă este de 25 km².

Imaginile sunt folosite la clasificarea vegetației, detectarea, cartografierea și monitorizarea atacurilor de insecte, clasificarea peisajelor, cartografierea incendiilor de pădure, detectarea speciilor invazive, modelarea ecologică. Înregistrările Quickbird-2 sunt folosite, de obicei, la diferite studii realizate pe suprafețe mici sau la scară locală nefiind indicate pentru aplicații pe suprafețe mari datorită costului ridicat și a parametrilor tehnici rigizi. Deoarece acest senzor nu are benzi termale înregistrările nu pot fi utilizate la estimarea temperaturii suprafeței. La fel ca și în cazul imaginilor Ikonos, înregistrările Quickbird-2 pot fi utilizate la validarea clasificărilor covorului vegetal realizată pe baza altor imagini satelitare. Dat fiind costul mare al înregistrărilor, acesta limitează folosirea lor în monitorizarea stării de sănătate a pădurilor.

Senzorii Worldview-1 și 2 fac parte din noua generație de senzori lansați de DigitalGlobe Corporate care achiziționează imagini de foarte înaltă rezoluție spațială. Senzorul Worldview-1 a fost lansat în anul 2007, preia înregistrări numai în pancromatic cu o rezoluție spațială de 0,5 m și are o rezoluție temporală de 1,7 zile. Senzorul Worldview-2 a fost lansat în anul 2009 și permite preluarea de imagini cu o

rezoluție spațială de 0,46 m în pancromatic și 1,84 m în multispectral. Lucrează în 8 benzi, are o rezoluție temporală de 1,1 zile și este capabil de a achiziționa imagini de peste 975000 km² într-o zi.

Senzorul Geoeye-1 este cel mai performant senzor din sectorul civil fiind capabil să preia imagini cu rezoluția spațială de 0,41 m în pancromatic și 1,65 m în multispectral. Înregistrările se fac în 4 benzi spectrale (vizibil și infraroșu apropiat) și sunt ideale în problemele gospodăriei silvice care privesc cartografierea și monitorizarea pădurilor și realizarea de măsurători asupra arborilor și arboretelor. Satelitul are capacitatea de a înregistra imagini într-o zi care acoperă o suprafață de 700000 km².

Alături de acești senzori optici, din multitudinea de senzori, mai pot fi menționați și următorii care preiau înregistrări ce pot fi utilizate în studiul pădurii și în sectorul forestier: IRS (India), CBERS (China și Brazilia), Orbview-2 (SUA), ADEOS-II GLI (Japonia), Formosat-2 (Taiwan), ALOS Avnir-2 (Japonia), Kompsat-2 (Coreea), Cartosat 1 și 2 (India) etc.

Senzorii satelitari hiperspectrali, comparativ cu cei amplasați pe avioane, sunt mai puțini ca număr și preiau înregistrări pe un număr foarte mare de benzi spectrale înguste ceea ce îi și caracterizează.

Senzorul EO-1 Hyperion a fost lansat de Statele Unite ale Americii în anul 2000 și folosește pentru achiziționarea de date 220 de benzi spectrale în zonele vizibil și infraroșu. Rezoluția spațială a datelor este de 30 m iar rezoluția temporală de 16 zile. Este un senzor experimental iar înregistrările sunt gratuite.

Senzorul Proba CHRIS este pe orbită din anul 2001 și culege date în 63 de benzi spectrale (vizibil și infraroșu apropiat). La fel ca și EO-1 Hyperion, acesta este un senzor experimental ale cărui imagini au o rezoluție spațială de 34 m și sunt gratuite pentru cercetări.

Pe lângă cei doi senzori amintiți, în anul 2008 China a lansat senzorul hiperspectral HJ-1A/1B care lucrează în 110 benzi dar ale cărui date nu sunt disponibile pentru sectorul public. De asemenea, India a lansat tot în 2008 senzorul hiperspectral experimental IMS-1 HySI care operează numai deasupra acestei țări.

Imaginile hiperspectrale sunt adecvate analizelor detaliate astfel că pot fi separate materialele care au un comportament spectral apropiat sau similar și pot fi obținute informații la nivel de subpixel. Aplicațiile în care pot fi utilizate imaginile hiperspectrale sunt multiple datorită capacității acestora de separare a datelor înregistrate. În acest sens înregistrările hiperspectrale pot fi folosite cu succes în sectorul forestier și studiul pădurii la detectarea stresului vegetației, cartografierea extinderii diferitelor specii de arbori și arbuști, determinarea concentrației chimice din frunze etc. Comparativ cu imaginile multispectrale, care pot fi folosite la cartografierea suprafețelor acoperite cu pădure, imaginile hiperspectrale pot fi folosite la cartografierea speciilor din cadrul arboretelor.

4. Concluzii

Dat fiind caracterul înregistrărilor satelitare printre care altitudine mare de preluare, diferite rezoluții spațiale, spectrale și radiometrice, suprafața acoperită etc., fac ca aceste surse de date, cu caracteristici diferite, să poată fi utilizate și în sectorul forestier.

Realizările teledetecției satelitare în studiul și analiza pădurilor din țara noastră sunt condiționate de disponibilitatea acestor înregistrări și de existența programelor de prelucrare a imaginilor satelitare. La noi în țară folosirea înregistrărilor satelitare digitale pe o scară mai mare a avut loc odată cu crearea parcurilor naturale și a celor naționale, aceasta deschizând drumul achiziționării de date satelitare. Trebuie remarcat faptul că datorită condițiilor economice sectorul forestier (de stat și particular) nu a fost interesat în achiziționarea de înregistrări satelitare, în special a celor de rezoluție foarte înaltă, dat fiind și costul foarte ridicat al acestora.

Bibliografie

1. Adam, E., Mutanga, O., Rugege, D., 2009 - Multispectral and hyperspectral remote sensing for identification and mapping of wetland vegetation: a review (available at http://uqu.edu.sa/files2/tiny_mce/plugins/filemanager/files/4280125/Multispectral%20and%20hyperspectral%20remote%20sensing.pdf).
2. CEOS (Committee on Earth Observation Satellites), 2009 - Committee on Earth Observation Satellites. <http://www.ceos.org/> (accesat 28 Octombrie 2010).
3. Fagan, M., De Fries, R., 2009 – Measurement and Monitoring of the World's Forests. A Review and Summary of Remote Sensing Technical Capability, 2009-2010.
4. Flores F.J., Allen, H.L., Cheshire, H.M., Davis, J.M., Fuentes, M., Kelting, D., 2006 - Using multispectral satellite imagery to estimate leaf area and response to silvicultural treatments in loblolly pine stands, Canadian Journal of Forest Research, 36 (6), 1587–1596.
5. Gibbs, H.K., Brown, S., Niles, J.O., Foley, J.A., 2007 - Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: Making REDD a reality. *Environmental Research Letters* 2(4): 045023.
6. Goward, S.N., Davis, P.E., Fleming, D., Miller, L., Townshend, J.R.G., 2003 - Empirical comparison of Landsat 7 and IKONOS multispectral measurements for selected Earth Observation System (EOS) validation sites. *Remote Sensing of Environment* 88:196–209.
7. Huang, S., Siegert, F., 2006 - Land cover classification optimized to detect areas at risk of desertification in North China based on SPOT VEGETATION imagery. *J Arid Environ* 67:308–27.
8. Kellndorfer, J., Walker, W., Nepstad, D., Stickler, C., Brando, P., Lefebvre, P., Rosenqvist, A., Shimada, M., 2008 - Implementing REDD: The potential of ALOS/PALSAR for forest mapping and monitoring. Paper presented at the Second GEOSS Asia-Pacific Symposium. April 2008, Tokyo, Japan.
9. Lu, D.S., 2006 - The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation. *International Journal of Remote Sensing* 27(7): 1297–1328.
10. Mohd, H. I., Kamaruzaman J., 2008 - Satellite Data Classification Accuracy Assessment Based from Reference Dataset. *International Journal of Computer and Information Engineering* 2:6 2008.
11. Olander, L.P., Gibbs, H.K., Steininger, M., Swenson, J.J., Murray, B.C., 2008 - Reference scenarios for deforestation and forest degradation in support of REDD: A review of data and methods. *Environmental Research Letters* 3(2): 025011.

12. Popescu, S.C., Wynne, R.H., Scrivani, J.A. 2004 - Fusion of small-footprint lidar and multispectral data to estimate plot-level volume and biomass in deciduous and pine forests in Virginia, USA. *Forest Science* 50(4): 551–565.
13. Tuttle, E.M., Jensen, R.R., Formica, V.A., et al., 2006 - Using remote sensing image texture to study habitat use patterns: a case study using the polymorphic white-throated sparrow (*Zonotrichia albicollis*). *Glob Ecol Biogeogr* 15:349–57.
14. Vorovencii, I., 2005 – Cercetări privind posibilitățile de utilizare a imaginilor satelitare în lucrările de amenajarea pădurilor. Teză de doctorat. Universitatea Transilvania din Brașov.
15. Xie, Y., Sha, Z., Yu, M., 2008 – Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. *Journal of Plant Ecology*, **vol. 1**, no. 1, p. 9-23 (available on line at www.jpe.oxfordjournals.org)
16. Wang, J., Sammis, W. T., Gutschick, P.V, Gebremichael, M., Dennis, O.S., Harrison, E.R., 2010 - Review of Satellite Remote Sensing Use in Forest Health Studies, *The Open Geography Journal*, 3, 28-42.

Schimbătoare de căldură compacte utilizate ca vaporizatoare în instalațiile frigorifice

Plate heat exchangers used as evaporators in refrigeration plants

Anica Ilie¹, Liviu Geo Drughean¹, Dragoș Hera¹

¹ Universitatea Tehnică de Construcții București,
Bd. Pache Protopopescu, nr. 66, sector 2, Romania
E-mail: anica_59@yahoo.com, heradragos@yahoo.com, ldrughean@gmail.com

Rezumat: *Lucrarea prezintă rezultatele experimentale privind performanțele termice ale unui vaporizator cu plăci dintr-o instalație frigorifică cu amoniac. Instalația experimentală funcționează în toate variantele de alimentare a vaporizatorului: funcționare uscată (alimentare prin ventil de reglaj termostatic), funcționare înecată (cu alimentare gravimetrică din separatorul de lichid), funcționare cu circulație forțată (alimentare cu pompă).*

Cercetările experimentale au urmărit determinarea: puterii termice pe partea amoniacului, puterii termice pe partea soluției glicolate, puterii electrice consumate de compresor și a coeficientului global de transfer de căldură.

Cercetările au avut drept scop o analiză comparativă a performanțelor termice ale instalației experimentale, în funcție de sistemul de alimentare cu agent lichid a vaporizatorului: cu pompă de circulație, gravimetric și cu ventil termostatic.

Cuvinte cheie: vaporizator, instalație frigorifică, amoniac

Abstract: *This paper reports experimental results on a plate heat exchanger used as evaporator in a single stage compression system working with ammonia. The experiments have been carried out in the Laboratory for Thermodynamics of the Technical University for Civil Engineering in Bucharest.*

The experimental research was meant to determine: the heat flow rate on the ammonia side, the heat flow rate on the glycol solution side, the electrical power input for screw compressor, the overall heat transfer coefficient, for different operating conditions and for a given geometric configuration.

This paper reports comparative experimental results on the thermal performances of the same evaporator feed in different mode with liquid agent: forced circulation, thermosiphon and thermostatic valve.

The present interest of this paper comes also from its focus on ammonia – a natural and ecological refrigerant – having no ozone depleting potential and low global warming effect.

Key words: evaporator, refrigerator, ammonia

1. INTRODUCERE

Vaporizatoarele reprezintă o clasă fundamentală a schimbătoarelor de căldură utilizate în instalațiile frigorifice. Este cunoscut faptul că alimentarea cu agent frigorific lichid a vaporizatoarelor poate fi realizată în trei moduri, cu pompa de circulație, gravimetric și cu ventil termostatic. Modul de alimentare adoptat de către constructor fiind în concordanță cu mediul răcit, cu puterea frigorifică a instalației și cu tipul de agent frigorific utilizat.

Imperativul reducerii consumurilor de energie la funcționarea instalațiilor frigorifice, antrenează preocupări privind utilizarea de schimbătoare cu coeficienți de transfer de căldură ridicați, care atrag consumuri energetice scăzute pentru realizarea aceluiași efect util. În acest context, autorii prezentei lucrări determină experimental performanțele termice ale unui vaporizator cu plăci dintr-o instalație frigorifică cu comprimare mecanică de vapori de amoniac.

Cercetările experimentale au avut drept scop o analiză comparativă a performanțelor termice ale instalației experimentale, în funcție de sistemul de alimentare cu agent lichid al vaporizatorului: cu pompă de circulație, gravimetric și cu ventil termostatic.

Lucrarea urmărește validarea experimentală a predicțiilor teoretice privind coeficientul global de transfer de căldură al vaporizatorului în anumite condiții de funcționare, dată fiind configurația geometrică. Actualitatea lucrării constă și în aceea că agentul frigorific utilizat în instalație este amoniacul, care este un agent natural și ecologic, care nu epuizează stratul de ozon și nu are efect de seră.

Cercetările experimentale s-au efectuat pe un stand experimental realizat în Laboratorul de Termotehnică a Universității Tehnice de Construcții București, Facultatea de Inginerie a Instalațiilor.

2. STUDIU TEORETIC PRIVIND PERFORMANȚELE TERMICE ALE VAPORIZATORULUI

Studiul teoretic efectuat a urmărit dimensionarea și implicit calculul coeficientului global de transfer de căldură, k , al unui vaporizator cu plăci, care răcește soluție etilen-glicol 30% între 0°C și -5°C.

Calculul de dimensionare a vaporizatorului cu plăci s-a efectuat având ca date de intrare următoarele:

- puterea frigorifică a compresorului cu șurub achiziționat pentru instalația experimentală, de $\Phi_0 = 56.80$ kW;
- agentul frigorific: R717;
- temperatura de vaporizare: $t_0 = -9^\circ\text{C}$;
- tipul plăcilor: plăci din inox, sudate în V, CP40, confecționate de VICARB;

- caracteristicile geometrice ale plăcii: lungimea $L = 0.591$ m; lățimea: $l = 0.190$ m; grosimea: $\delta_p = 0.0008$ m; distanța dintre plăci: $\delta = 0.004$ m; suprafața unei plăci: $S_{0l} = 0.099$ m²; suprafața de transfer de căldură pentru o trecere: $S_{cl} = 0.198$ m²;

Pentru calculul coeficientului convectiv de transfer de căldură pe partea soluției răcite s-a utilizat relația (1), propusă de Dittus Boelter [1] :

$$\alpha_s = \frac{\lambda_s}{d_h} \cdot 0,023 \cdot (\text{Re}_s)^{0.8} \cdot (\text{Pr}_s)^{0.4} \quad (1)$$

unde:

- α_s - coeficientul convectiv de transfer de căldură pentru soluția răcită, [W/(m²K)];

- d_h - diametrul hidraulic de curgere printre două plăci, calculat cu relația $d_h = 2 \cdot b$ [m];

- b - distanța dintre două plăci, [m];

- Pr_s , Re_s – numerele Prandtl și Reynolds, pentru soluția etilen glycol [-];

Pentru calculul coeficientului convectiv de transfer de căldură pe partea amoniacului (α_0) s-a utilizat relația (2) propusă de Krujilin, valabilă pentru temperaturi de vaporizare cuprinse între -40°C...0°C [2]:

$$\alpha_0 = 4.2 \cdot (1 + 0.007 \cdot \theta_0) \cdot q^{0.7} \quad (2)$$

unde: θ_0 - temperatura de vaporizare; $\dot{q}$ - densitatea de flux termic, calculată cu

relația: $\dot{q} = \frac{\Phi_0}{S}$, [W/m²];

Pentru calculul coeficientului global de transfer de căldură, k , s-a utilizat relația (3) [3]:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_s} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_0}} \quad (3)$$

Numărul de treceri N_t , corespunzătoare agentului frigorific și numărul total de plăci N_p ale vaporizatorului s-au determinat [4] cu relațiile:

$$N_t = \frac{S_{op}}{2 \cdot S_{0l}} \quad (4)$$

$$N_p = 2 \cdot N_t + 1 \quad (5)$$

unde S_{op} , reprezintă suprafața totală de transfer de căldură a vaporizatorului cu plăci, rezultată pentru o valoare prezisă a coeficientului global de transfer de căldură, k .

Valoarea coeficientului global de transfer de căldură rezultă în urma unui calcul iterativ, considerată acceptată atunci când abaterea dintre valoarea prezisă și cea de calcul este mai mică de 4%.

Valoarea coeficientului global de transfer de căldură, k , care a rezultat este egală cu $1260 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, pentru o diferență medie logaritmică de temperatură, $\Delta\theta_m = 6.16 \text{ K}$ și o putere frigorifică de 60 kW.

Pe baza rezultatelor obținute în urma calculelor utilizând relațiile (1), (2) și (3) s-a ales pentru studiul experimental un vaporizator cu plăci, cu o suprafață totală de 6 m^2 , cu următoarele caracteristici geometrice: lungimea plăcii $L = 0.591 \text{ m}$; lățimea plăcii: $l = 0.190 \text{ m}$; grosimea plăcii: $\delta_p = 0.0008 \text{ m}$; distanța dintre plăci: $\delta = 0.004 \text{ m}$; suprafața plăcii: $S_p = 0.099 \text{ m}^2$; suprafața de transfer de căldură pentru o trecere: $S_{c1} = 0.1983 \text{ m}^2$; numărul de treceri: 15; numărul de plăci: 30.

3. STUDIUL EXPERIMENTAL

3.1. Stand experimental

Standul experimental este reprezentat de o instalație frigorifică cu comprimare mecanică de vapori într-o treaptă, cu compresor cu șurub. Puterea frigorifică a instalației este de 60 kW, la temperatura de vaporizare de -10°C și temperatura de condensare de $+25^\circ \text{C}$. Instalația experimentală poate funcționa în toate variantele de alimentare a vaporizatorului: funcționare uscată (alimentare prin ventil de reglaj termostatic), funcționare înecată (cu alimentare gravimetrică din separatorul de lichid), funcționare cu circulație forțată (alimentare cu pompă). Instalația experimentală este prezentată în figura 1 și foto 1.

Vaporii refulați din vaporizator intră în separatorul de lichid (SA), iar vaporii uscați de amoniac sunt aspirați de compresorul cu șurub (K). Vaporii sunt compriși și refulați apoi în separatorul de ulei (SU). Uleiul din separatorul de ulei este vehiculat prin răcitorul de ulei (RU) și retrimis compresorului. Rolul uleiului la compresorul cu șurub este complex servind la răcirea vaporilor, la separarea spațiului de aspirație de cel de refulare, la ungerea părților în mișcare și la atenuarea zgomotului făcut de compresor. Vaporii din separatorul de ulei intră în condensator. Amoniacul lichid rezultat în condensator se colectează în rezervorul de lichid (RAL), iar de aici în subrăcitorul de lichid. Subrăcirea lichidului se realizează prin injecția de amoniac lichid în subrăcitor și prin destinderea acestora de la presiunea de condensare la presiunea scăzută, în același timp se reduce și temperatura amoniacului injectat, care vaporizează pe seama căldurii preluate de la amoniacul din subrăcitor. Între subrăcitor și rezervorul de lichid există o coloană de egalizare, lichidul subrăcit intră în rezervorul de lichid și de aici prin ventilele de laminare se alimentează vaporizatorul.

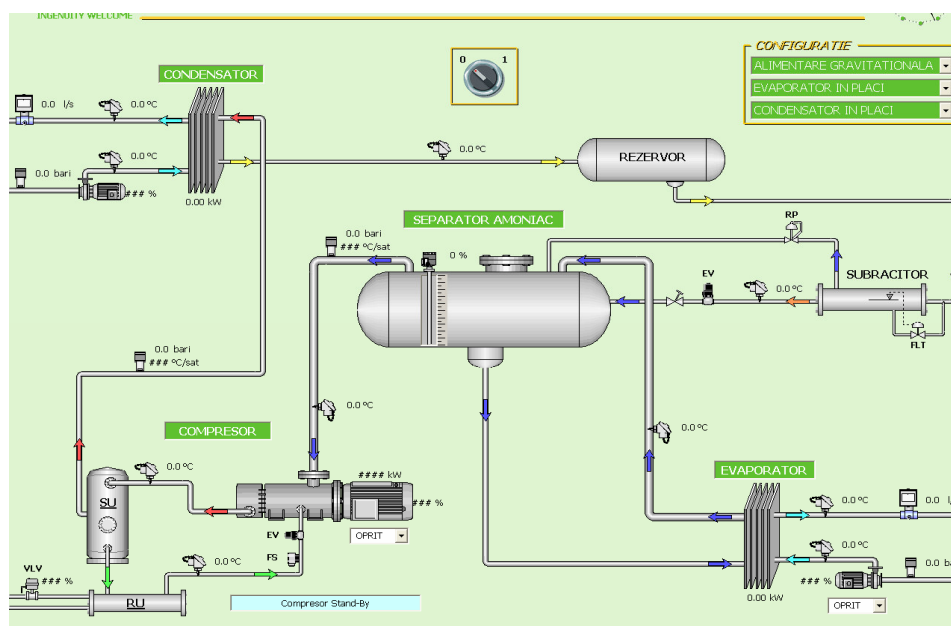


Fig. 1. Stand experimental: Instalația frigorifică cu comprimare mecanică.

Instalația experimentală este complet automatizată și dispune de reglaj de capacitate frigorifică, în funcție de necesarul de frig de la consumator. În plus, standul experimental dispune de sistem centralizat de achiziție de date, de control și reglare de la distanță și în timp real, a parametrilor de funcționare.

Instalația are în componentă următoarele echipamente principale: compresor cu șurub, cu puterea frigorifică nominală de 60 KW; separator de ulei; condensator cu plăci; subrăcitor de amoniac lichid; rezervor de lichid cu diametrul $D = 300$ mm și lungimea de $L = 1500$ mm; pompă de amoniac; vaporizator cu plăci, cu suprafața de transfer termic de 6.0 m^2 ; separator de lichid cu diametrul $D = 300$ mm și lungimea $L = 2000$ mm; pompe centrifugale, cu reglare continuă de debit; sistem complex de măsură și control, format din PLC Siemens, senzori de presiune pentru amoniac, senzori de temperatură, indicator de nivel, ventile electromagnetice, manometre pentru amoniac.

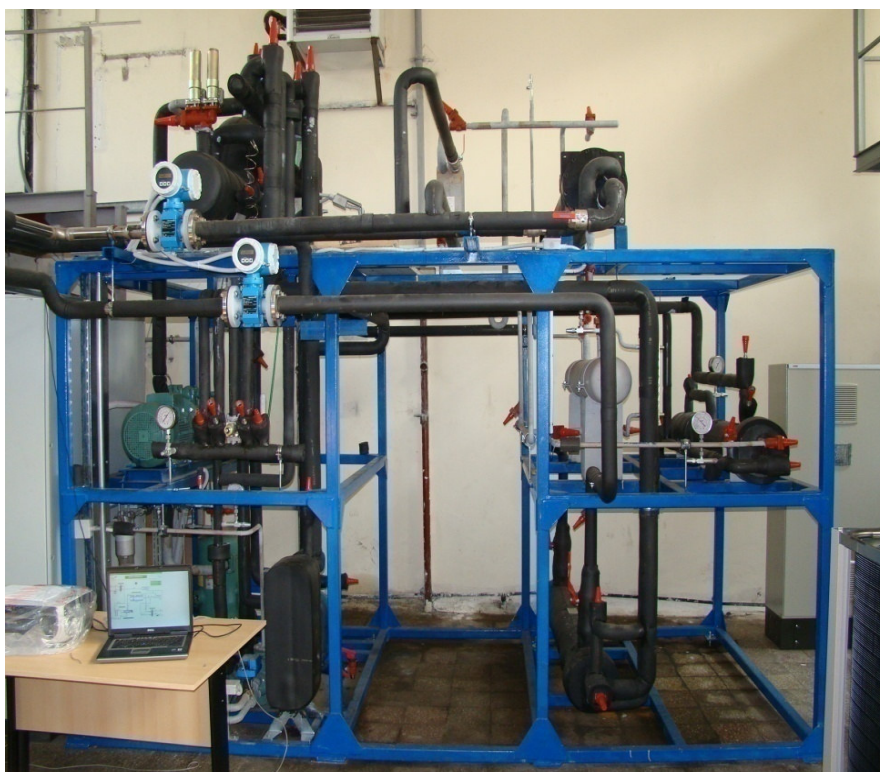


Foto 1. Instalația frigorifică cu comprimare mecanică

3.2. Metodologia de testare

Cercetările au urmărit analiza comparativă teoretic versus experimental, a performanțelor termice ale vaporizatorului cu plăci, cu configurația stabilită la punctul 2. Vaporizatorul cu plăci a fost testat în cele trei variante de alimentare cu amoniac, pentru același debit de soluție răcită, aceeași cădere de temperatură pe partea soluției răcite și aceleași temperaturi de condensare [5].

Calcululele s-au efectuat pe baza datelor măsurate, corespunzătoare unui regim cvasistaționar de funcționare a instalației. S-a considerat regim cvasistaționar atunci când parametrii mășurați variază cu maximum $\pm 5\%$ pe parcursul a 10 măsurători consecutive, efectuate la un interval de 10 minute. Datele folosite în calcul reprezintă valorile medii ale parametrilor mășurați. În figura 1 sunt reprezentați parametrii și punctele de mășurare a acestora. Parametrii mășurați au fost:

- pe partea soluției răcite: debitul și temperatura la intrarea, respectiv ieșirea din vaporizator;
- pe partea amoniacului: presiunea și temperatura de vaporizare și condensare, temperatura de aspirație și refulare la compresor, debitul de amoniac lichid și puterea consumată de compresor;
- pe partea apei de răcire a condensatorului: debitul și temperatura la intrarea, respectiv ieșirea din condensator.

Aparatura de măsură utilizată: pentru temperaturi s-au folosit termocuple tip K, cu precizia de măsurare de $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$; pentru debitele de soluție răcită și apă de răcire debitmetre electronice Danfoss, cu precizia de măsurare de 3%.

Criteriile folosite pentru compararea performanțelor vaporizatorului, în cele trei variante de alimentare au fost coeficientul global de transfer de căldură; puterea termică pe partea soluției glicolate; puterea electrică de antrenare a compresorului.

Valoarea experimentală a coeficientului global de transfer de căldură a rezultat în funcție de valoarea medie a puterii de răcire, calculată ca media aritmetică între puterea de răcire pe partea soluției răcite și pe partea amoniacului.

3.3. Rezultate experimentale

Rezultatele experimentale obținute în urma măsurărilor sunt prezentate grafic în figurile 2, 3 și 4.

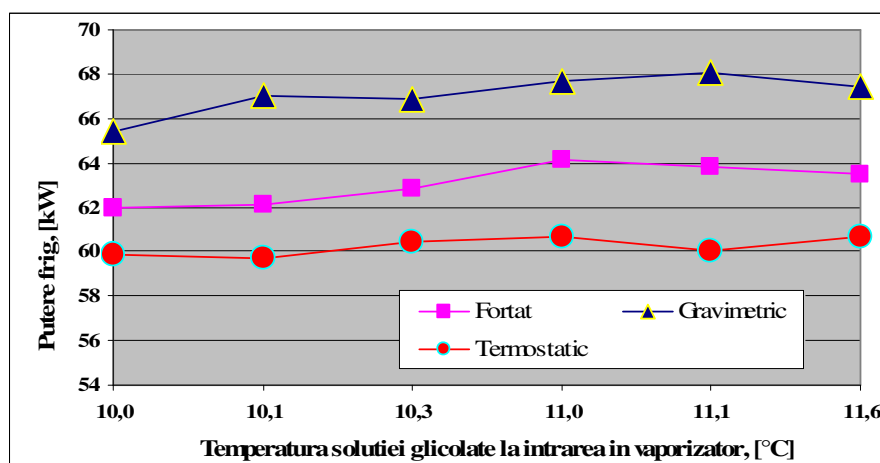


Fig. 2. Variația puterii frigorifice în funcție de temperatura soluției glicolate la intrarea în vaporizator, în variantele de alimentare gravimetric, termostatic, uscat

Pe parcursul experimentărilor debitul de soluție glicolată a fost cuprins în intervalul 2,977... 3.01 kg/s, în toate cele trei variante de alimentare a vaporizatorului, iar variația temperaturii acesteia în vaporizator a fost de cca 6°C . Temperatura de condensare a fost menținută cvasiconstantă, în jurul valorii de 25°C , în timp ce temperatura de vaporizare a fost în medie de $-5,9^{\circ}\text{C}$, pentru vaporizatorul alimentat termostatic, de -4°C , pentru vaporizatorul alimentat gravimetric și de $-5,4^{\circ}\text{C}$, pentru vaporizatorul alimentat forțat. Debitul de amoniac a fost de cca 0,095 kg/s pentru alimentarea prin ventil termostatic, de cca 0,0914 kg/s pentru alimentarea gravimetrică și de cca. 0,061 kg/s pentru alimentarea cu pompe.

Din figura 2 se observă că pe toată perioada măsurărilor puterea frigorifică a vaporizatorului înregistrează cele mai mari valori în cazul alimentării gravimetrice și valorile cele mai scăzute în cazul alimentării prin ventil de reglaj termostatic. Abaterea medie dintre

acestea fiind de cca 10%. În cazul alimentării forțate, valoarea puterii frigorifice se situează între cele două, cu o abatere de cca 6%., față de alimentarea gravimetrică.

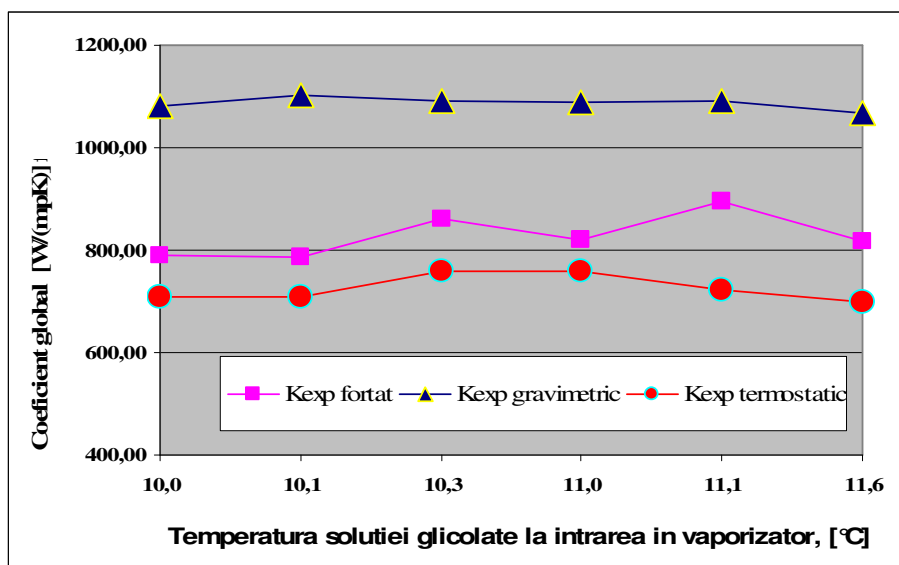


Fig. 3. Variația coeficientului global de transfer de căldură în funcție de temperatura soluției glicolate la intrarea în vaporizator, în variantele de alimentare gravimetric, termostatic, uscat

Din figura 3 se observă că, valorile coeficientului global de transfer de căldură păstrează ierarhia evidențiată și în figura 2, în sensul că valorile coeficientului global în cazul alimentării gravimetrice sunt cu cca. 33% mai mari decât cele din cazul alimentării uscate, și cu cca. 24% decât cele din cazul alimentării forțate.

Figura 4 ilustrează variația coeficientului de performanță a instalației, în funcție de valorile temperaturii la intrarea în vaporizator a soluției glicolate.

Din figura 4 se observă că, valorile COP – ului nu mai păstrează ierarhia evidențiată în figurile 2 și 3, în sensul că în cazul alimentării forțate, coeficientul global de transfer de căldură este mai mare cu cca 20%, decât în cazul alimentării cu ventil termostatic și cu cca 9% decât în cazul alimentării gravimetrice.

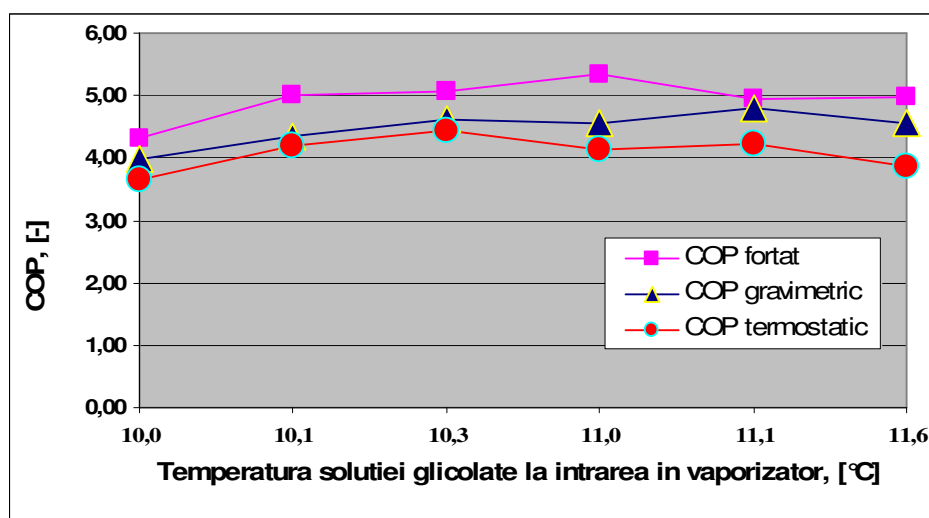


Fig. 4. COP-ul instalației, în variantele de alimentare gravimetric, termostatic, uscat.

În cazul alimentării forțate a vaporizatorului, valoarea ridicată a coeficientului de performanță a instalației este determinată de consumul de energie la compresor mai scăzut, consum justificat de debitul masic de vapori mai mic.

Bilanțul energetic al instalației frigorifice, pentru fiecare variantă de alimentare a vaporizatorului (tabelul 1) confirmă cele arătate în figura 4.

TABELUL 1

Bilanțul energetic al sistemului experimental

Mod alimentare vaporizator	Putere electrică consumată la compresor, [kW]	Putere frigorifică, [kW]	Putere termică condensator, [kW]	Putere termică vaporizator și compresor, [kW]	abatere relativă, [%]	COP, [-]
Forțat	12,5	62,3	68,0	74,8	0,09	5,0
Ventil termostatic	14,9	60,2	72,2	75,1	0,04	4,0
Gravimetric	14,6	67,1	74,4	81,6	0,09	4,6

CONCLUZII

Rezultatele experimentale obținute pot fi considerate de încredere, deoarece sunt confirmate și de abaterile rezultate în urma efectuării bilanțului energetic la nivelul instalației. Abaterea relativă dintre puterea termică a condensatorului și suma dintre puterea frigorifică și puterea electrică consumată la compresor se înscrie în valori uzuale de până la 10%.

Rezultatele experimentale evidențiază faptul că valoarea coeficientului global de transfer de căldură este mai mic decât valoarea obținută prin calcul teoretic (punctul 2). Pentru condițiile experimentale prezentate, valoarea teoretică este mai mare cu cca 14% față de alimentarea gravimetrică, cu cca 34% față de alimentarea forțată și cu cca. 42% față de alimentarea prin ventil termostatic.

BIBLIOGRAFIE

- [1] ASHRAE Handbook Fundamentals, 2009.
- [2] *Hera Dragos*, „Instalații frigorifice Vol.III, Echipamente frigorifice”, Editura Matrix Rom, Bucuresti, 2009.
- [3] ASHRAE Handbook Refrigeration, 2006.
- [4] *Iosifescu C.*, 2003. ”Calculul și construcția instalațiilor frigorifice”, Editura Bren, București.
- [5] *Ilie A*, 2007. Exploratory Research Projects program PN-II-ID_PCE-2008-2, Contract nr. 14/2007.

Optimizarea procesului și rentabilizarea instalațiilor de obținere a gazului de fermentație în stațiile de epurare ale apelor uzate prin folosirea surselor neconvenționale

Optimization and profitability of fermentation gas production facilities in wastewater treatment plants, using unconventional sources

Gheorghe-Constantin Ionescu¹, George-Lucian Ionescu², Emil Gligor³

¹Universitatea din Oradea
Str. Universității nr. 1 – Oradea, Romania
E-mail: gheionescu@gmail.com

²Universitatea din Oradea
Str. Universității nr. 1 – Oradea, Romania
E-mail: lucian.ionescu1985@yahoo.com

³Universitatea din Oradea
Str. Universității nr. 1 – Oradea, Romania
E-mail: gligoremil13@yahoo.com

Rezumat. Această lucrare tratează posibilitatea de a utiliza și valorifica energia solară și energia geotermală, privite ca resurse energetice alternative la energia electrică pentru optimizarea procesului și rentabilizarea instalațiilor de obținere a gazului de fermentație, în stațiile de epurare a apelor uzate. Aceste instalații furnizează gaz combustibil, dar sunt mari consumatoare de energie. Prin folosirea surselor neconvenționale este posibilă rentabilizarea lor.

Cuvinte cheie: energie solară, energie geotermală, stație de epurare, nămol fermentat

Abstract. This paper deals with the possibility of using and exploiting solar and geothermal energy resources, considered as alternatives to electricity for process optimization and profitability of gas production facilities in fermentation wastewater treatment plants. These facilities provide fuel gas, but they are large energy consumers. By using non-conventional energy sources we can increase their profitability.

Key words: solar energy, geothermal energy, wastewater treatment, sludge fermentation.

1. Introducere

Scopul tratării nămolurilor este mineralizarea materiilor organice din acestea, pentru a obține astfel, atât reducerea volumului, respectiv posibilitatea de tratare mai ușoară a acestora, precum și cantități importante de gaz metan, folosit în principal la

nevoile stației de epurare. Nămolurile fermentate sunt aproape lipsite de miros și pot fi folosite ca atare sau în diferite scopuri, după ce sunt tratate [5], [6].

Cantitatea și compoziția nămolului variază în funcție de caracterul apelor uzate din care provine și de procesul de epurare a apelor uzate din care provine.

Produsele finale ale fermentării nămolului sunt materiile solide totale, apă de nămol (inclusiv materiile solide coloidale), gaze.

Procesul de fermentare a nămolului se consideră terminat atunci când s-a obținut 90% din producția de gaz teoretică și nămolul și-a pierdut o bună parte din apă, este stabil și are un miros aproape imperceptibil.

Optimizarea procesului de producție a gazului de fermentație constă în principal, din reducerea necesarului de căldură precum și din fermentarea completă a substanței organice uscate volatile. Micșorarea consumului de căldură se obține prin reducerea debitului de apă din nămol. Aceasta se poate realiza printr-o dimensionare corectă a îngroșătoarelor de nămol și utilizarea lor la capacitate și performanță maximă.

Reducerea necesarului de căldură se realizează printr-o bună izolare termică a rezervorului de fermentare. Din acest punct de vedere se recomandă îngroparea metantancului, în special în țările cu climă temperată, sau căptușirea lor la exterior cu o foarte bună izolare termică. Izolarea termică corectă a metantancului conduce la importante economii de energie atât calorică prin reducerea pierderilor având în vedere că suprafața exterioară a bazinului anaerob expusă este destul de mare, cât și electrică, necesară acoperirii recirculării exterioare se estimează că se poate reduce necesarul de recirculare cu până la 0,3 volume pe zi.

Condiții minime pentru fermentarea, îngroșarea și deshidratarea nămolurilor necesare producerii de biogaz:

- Substanța uscată (SU) în bazinul de omogenizare nu va scădea sub 6,5%. Procesul trebuie oprit când SU este între 6-8%. De preferat ca SU să se mențină 6,5%.
- SU din metantancul 1 trebuie să fie între 3-4%, nu are voie să scadă sub 3%, iar dacă se depășește SU peste 4% nu este nici o problemă, cu atât mai mult crește producția de biogaz.
- SU în metantancul 2 trebuie să fie între 3-4%, nivelul în metantancul 2 să fie 6-7 m situație în care se utilizează și instalația de aerare.
- Nu se va alimenta bazinul de omogenizare cu nămol din decantorul primar cu SU având valori mai mici de 6%.
- Trebuie respectate cu strictețe orele și punctele de prelevare a probelor de nămol:
 - ❖ În timpul funcționării centrifugii de îngroșare și după fiecare alimentare a bazinului de omogenizare să se recolteze probe din 3 în 3 ore.
 - ❖ Din îngroșătoare la începutul procesului de îngroșare și aleatoriu în timpul îngroșării. Timpul de staționare în îngroșător nu va depăși 20 de ore.

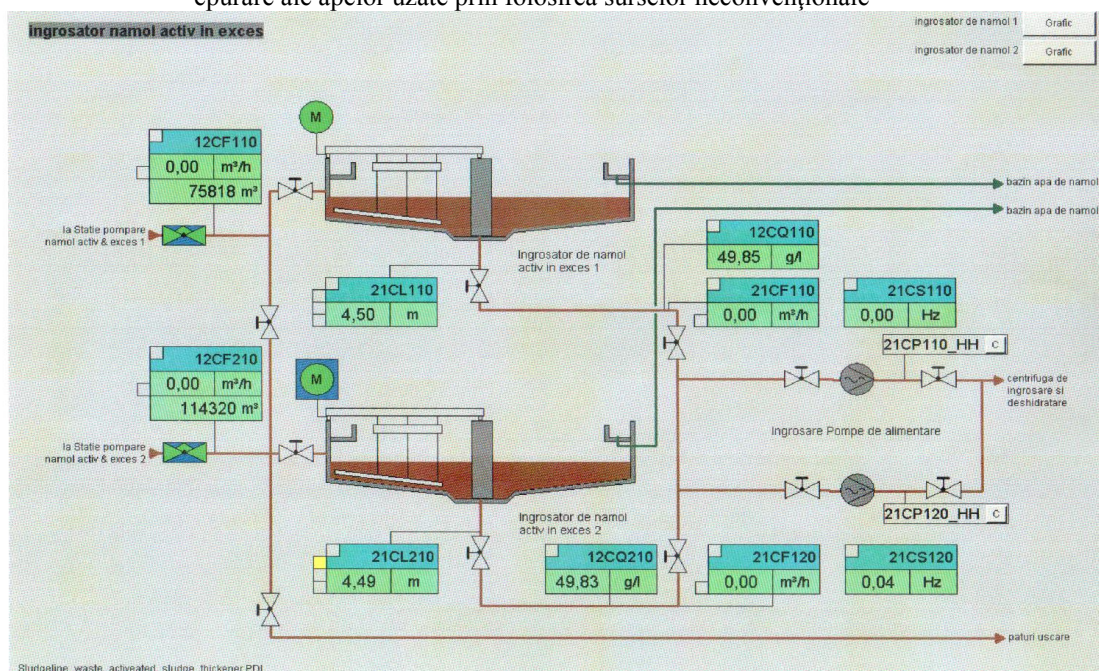


Fig. 1. Exemplificare SCADA a procesului de îngroșare.

- ❖ Se va recolta dimineța, la ultima pompă din bazinul de omogenizare către metantancul 1, o probă de SU, iar peste zi se va mai recolta o probă, la ultima pompă din bazinul de omogenizare. Recoltările se vor face din preaplinul metantancului 1 [5], [7], [8].
- ❖ Se vor recolta probe de nămol pentru SU din decantorul primar în fiecare zi, dimineța, înainte de alimentarea bazinului de omogenizare.
- ❖ Pentru buna funcționare a procesului de deshidratare se va recolta proba de nămol din metantancul 2 în fiecare dimineță, pentru determinarea SU. Se va porni în regim manual pompa de alimentare a centrifugii de deshidratare și se va recolta proba din furtunul de golire a metantancului 2 și se va urmări buna funcționare a instalației de insuflare cu aer în metantancul 2.
- ❖ În bazinul de omogenizare din stația de deshidratare, nivelul nămolului nu va depăși 1,5 m. Pentru o bună omogenizare și o alimentare constantă, mixerele trebuie să funcționeze continuu.
- ❖ Instalațiile de preparare polimeri trebuie curățate la fiecare pornire și să funcționeze în regim automat. Atunci când instalațiile de îngroșare staționează mai mult de 24 de ore, instalația de dozare a polimerilor se va opri și se va reporni cu 4 ore înaintea începerii procesului de centrifugare. În timpul procesului de deshidratare, pentru evitarea producerii spumei în chesonul de supernatant, se va adăuga antispumant și se va repeta operațiunea după fiecare golire a chesonului.

Dacă aceste proceduri vor decurge normal producția de biogaz va fi în parametri prestabiliți, iar biogazul pompat în gazometre va atinge nivelul de umplere de 90% iar unitatea de co-generare va porni corect și va crește puterea generată în mod continuu până la atingerea pragului maxim setat. În același timp, se va deschide valva către sistemul de încălzire, iar unitățile de co-generare vor furniza energie termică printr-un schimbător de căldură. Dacă există suficient gaz în fiecare gazometru (mai mult de 90%), a doua unitate de co-generare va porni automat și va funcționa până când nivelul dintr-un gazometru va scădea cu 60%. În cazul în care ambele unități de co-generare funcționează, puterea curentului generat va fi automat echilibrată pe cele două unități de co-generare de către sistemul SCADA.

Ridicarea eficienței procesului de fermentare se poate face prin reducerea consumului de energie electrică pentru necesitățile termice proprii. Asigurarea necesarului de căldură se poate face, atunci când vremea permite, cu ajutorul energiei solare captată prin panouri solare iar atunci când din punct de vedere meteorologic acest lucru nu este posibil cu încălzirea nămolului va fi preluată de energia geotermală.

2. Instalații pentru încălzirea nămolului

Încălzirea nămolului se poate face fie prin metode directe de contact cu sursa caldă introdusă în metantanc, fie indirect prin schimbătoare de căldură cu circulație exterioară forțată a nămolului.

Încălzirea indirectă a nămolului, în circuit exterior dotat cu schimbător de căldură, este metoda cea mai răspândită [2], [3]. Schimbătorul de căldură se construiește sub forma unui recipient de nămol în interiorul căruia se amplasează, în plan vertical, o conductă spirală prin care circulă apa caldă. Temperatura acesteia este limitată la 68 grade pentru a evita formarea crustelor arse lipite, care pot bloca circulația nămolului. Schimbătorul de căldură exterior, cu circulația de apă și nămol, are coeficient ridicat de transfer al căldurii în raport cu celelalte metode.

3. Concluzii

Rezervele limitate de resurse energetice clasice la nivel mondial (petrol, cărbune gaz natural, etc.) impun o reorientare într-un ritm accelerat către resursele energetice regenerabile.

Temperaturile relativ scăzute până la 60⁰ C, necesare în scopul obținerii gazului de fermentație permit hibridizarea acestor sisteme pentru producerea de energie termică utilizând atât energia geotermală sau geotermică cât și energia solară.

Din punct de vedere climatic pe teritoriul României se poate aplica în orice zonă sistemele de obținere a energiei termice la parametrii impuși de aceste procese din energie solară.

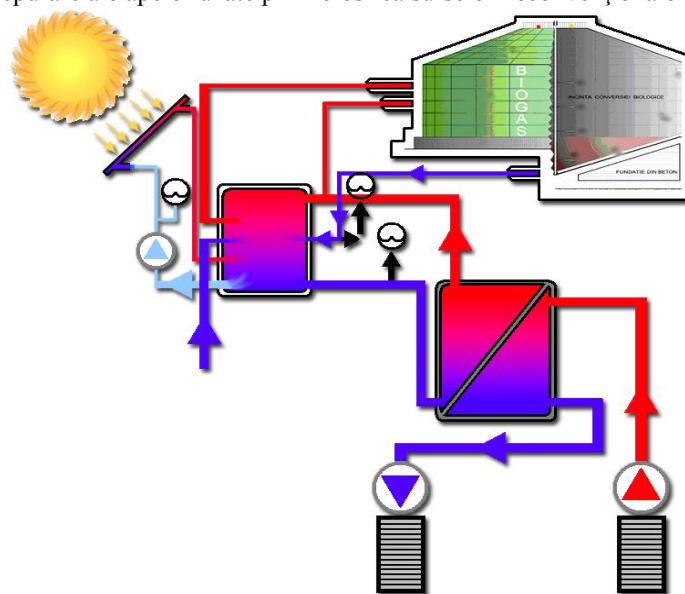


Fig. 2. Instalație hibridă solară – geotermală de încălzire a nămolului

Continuitatea în alimentarea cu energie termică a în scopul încălzirii nămolului din metantancuri recomandă o hibridizare a sistemelor de încălzire astfel încât pentru perioadele de insolație redusă sau pe parcursul nopții să poată fi acoperit necesarul de energie termică.

Hibridizarea se realizează utilizând energie geotermală acolo unde este posibil adică unde avem zăcăminte geotermale sau cu energie geotermică integrând în sistemul de încălzire pompele de căldură cu scopul de a obține temperatura optimă a nămolului pentru procesul de fermentare.

Aceste sisteme energetice au un impact de mediu pozitiv datorită reducerii gazelor cu efect de seră și obținerii de energie verde.

Din punct de vedere economic atât prețul scăzut pe unitatea de energie obținută cât și certificatele verzi obținute fac atractive astfel de investiții.

Referințe

- [1] *** Centrul de documentare pentru îmbunătățiri funciare și gospodărirea apelor, București 1970
- [2] Robescu Diana, Lanyi S, Verestoy A, Dan Robescu, „Modelarea și simularea proceselor de epurare”, Editura Tehnică București, 2004.
- [3] Robescu Diana, Lanyi S, Verestoy A, Dan Robescu, „Controlul automat al proceselor de epurare a apelor uzate”, Editura Tehnică București, 2008.
- [4] Ionescu G. C., „Instalații de canalizare”, Editura didactică și pedagogică, R.A. București, 1997
- [5] Ionescu G. C., „Sisteme de epurare a apelor uzate”, Editura MatrixRom București 2010
- [6] Ionescu G. C., „Optimizarea fiabilității instalațiilor hidraulice din cadrul sistemelor de alimentare cu apă”. Editura MatrixRom, București, 2004.
- [7] Ianculescu O., ș.a., „Epurarea apelor uzate”, Editura MatrixRom București 2001
- [8] Manualul cu instrucțiuni de lucru al stației de epurarea apei Oradea, 2008
- [9] Olsson G., et all, Instrumentation, Control and Automation in Wastewater Systems Scientific and Technical Report No. 15

Modelare fizico-matematică a încercării la foc a elementelor de construcție

Physical and mathematical modeling for the fire testing of construction elements.

Nicolae Antonescu¹, Niculae Antonescu¹, Dan-Paul Stănescu¹

¹UTC București – Facultatea de Inginerie a Instalațiilor
București, sector2, blv. Pache Protopopescu 66, Romania

Rezumat. *Testele de rezistență la foc ale elementelor de construcție sunt prin natura lor distructive și deci nerepetabile. Este util ca în anumite cazuri să se realizeze o modelare prealabilă predictivă cu scopul de a oferi o imagine asupra probabilității de reușită a testului și eventual pentru a preciza momentele cheie, fie pentru concentrarea observațiilor, fie pentru luarea unor măsuri de siguranță. Modelul prezentat reprezintă îmbinarea dintre experiența de modelare fizică și matematică a autorilor și experiența practică de testare la foc și proiectare de standuri de încercare a acestora. Este prezentat un instrument de modelare care stă la baza unui program de calcul specializat și condițiile de rulare ale acestuia.*

Cuvinte cheie: încercări la foc, modelare fizică, modelare numerică, transfer de căldură.

Abstract. *Tests of fire resistance for the construction elements are destructive by nature and therefore not repeatable. It is useful in certain cases to achieve a predictive modeling in order to offer an image of the chances of success for the test and possibly to clarify key moments, either for concentrating observations or for taking some special safety measures. The model represents the sum between author's physical and mathematical modeling experience in the field of heat and mass transfer and their practical experience in the field of fire testing installations design and operation. The paper presents a modeling instrument which generated a specialized computer programme and describes it's running conditions.*

Key words: fire testing, physical modeling, numerical modeling, heat transfer.

1. Cadru general

Recent a fost dat în folosință « *Cuptorul de Încercat la Foc a Elementelor de Construcție* », în cadrul Laboratorului de Termotehnică al Facultății de Inginerie a Instalațiilor - București, singura instalație de încercare la foc din țara noastră certificată RENAR, pe care se pot efectua probe de rezistență la foc a elementelor de construcție, conform normelor SR-EN.

Una din problemele pivot ale unei asemenea instalații este conceperea unui model termic, cu transferul caracteristic în regim nestaționar “cu alură impusă” astfel încât să se poată efectua un calcul de predicție a evoluției probei. Nu trebuie pierdut din vedere că încercările la foc sunt distructive și deci nerepetabile, ceea ce impune ca înaintea probei de foc să existe o simulare fizico-matematică a desfășurării probei.

Deoarece este un număr mare de structuri și dimensiuni ale elementelor supuse la foc, pentru exemplificarea modelării se prezintă o schiță de modelare a încercării la foc a unui element cu complexitate mai ridicată, o ușă antifoc. Pe o astfel de ușă au fost efectuate probele oficiale ale instalației și astfel dispunem de date experimentale pentru validarea modelului fizico-matematic elaborat în prezenta lucrare.

Elementul de construcție încercat la foc este denumit în continuare „probă”. În cuptorul standardizat pentru încercări la foc se execută supunerea la fluxul termic de radiație al incintei cuptorului a elementului respectiv de construcție, până la distrugerea lui sau pierderea funcționalității.

Trei particularități caracterizează sistemul cuptor-probă:

1. Există o radiație uniform izotermă a pereților incintei cuptorului, deoarece este o incintă de dimensiuni mari, cu pereți de structură identică, la care existența unei flăcări de combustibil gazos, neluminoasă și cu debit mic de combustibil, nu aduce perturbări izotermicității cuptorului. În sprijinul acestei ipoteze este faptul că un debit mediu de combustibil gazos al arzătoarelor este de $B = 400 \text{ m}^3/\text{h}$, ceea ce la o putere calorică de $H_i = 35500 \text{ kJ/Nmc}$ reprezintă, la un volum de cuptor de $V = 27 \text{ m}^3$, o încărcare termică volumetrică $Q_v = B \cdot H_i / 3600 / V = 14,81 \text{ kW/m}^3$, ceea ce este o încărcare termică scăzută față de încărcarea uzuală de 300 kW/m^3 a unui cuptor de încălzire. Concluzia este că un astfel de proces redus de ardere nu va crea neuniformități termice sesizabile în interiorul cuptorului, ceea ce s-a constatat și experimental.

2. Sursa de încălzire a cuptorului este radiația gazelor de ardere din volumul cuptorului, debitul de combustibil fiind variat automat pentru respectarea curbei standard de ridicare a temperaturii în cuptor.

3. Suprafața receptoare de căldură utilă a cuptorului este peretele din față al cuptorului (peretele de probă) compus dintr-un perete cadru de construcție în care este încastrat elementul de construcție încercat (proba). Atât cadrul de construcție cât și proba au constante termice diferite de ale pereților cuptorului: coeficient de emisie, conductibilitate termică, căldură specifică, deci aceste suprafețe se constituie în suprafețe diferite termic de incinta de pereți ai cuptorului.

4. Întregul sistem funcționează în regim nestaționar, ***existând o curbă temperatură-timp care trebuie respectată în timpul probei***. Cuptorul pornește de la rece și se încălzește apoi într-un timp dat până la temperatura maximă de încercare a probei.

În fig.1 se prezintă schema cuptorului de încercare la foc.

Scopul încercării la foc a elementelor de construcție este determinarea timpului de încălzire a materialului până când acesta se degradează fizic, în condițiile unei incinte de probă în care temperatura este progresiv ridicată conform *curbei standard*.

În mod analog, modelarea trebuie să determine timpul, respectiv temperatura, la care se ating condițiile convenite de declarare a distrugerii.

Rezultă că modelarea are ca scop final *determinarea temperaturii suprafeței interioare și exterioare a probei, funcție de timp.*

În această lucrare termenul “interior” se referă la suprafața expusă spre interiorul cuptorului.

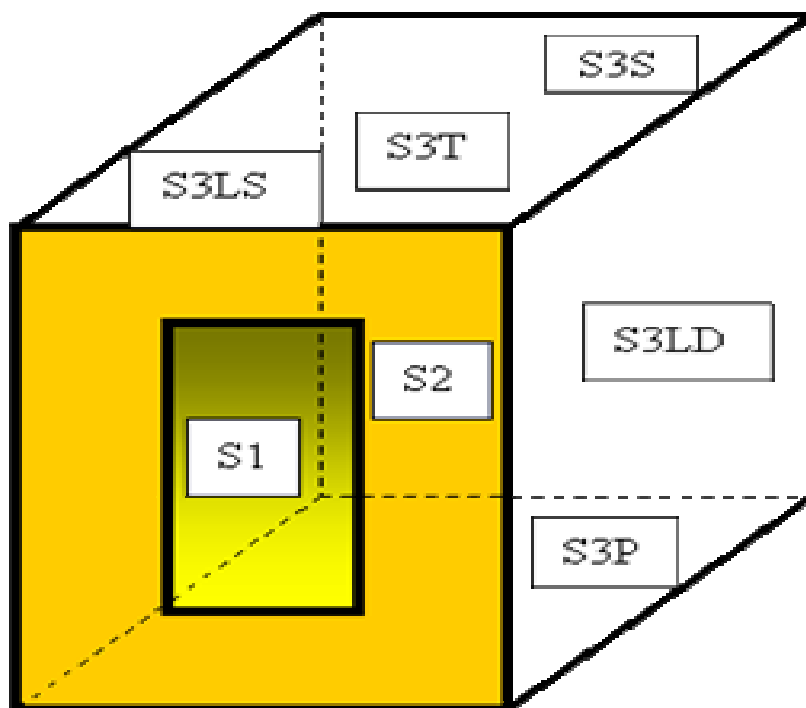


Fig.1. Schema cuptorului de încercare la foc

Deoarece există un transfer complex de căldură între toate elementele constructive ale cuptorului și probă, temperaturile de suprafețe nu se pot determina izolat pentru probă ci numai în contextul de ansamblu al întregului sistem, deci al tuturor suprafețelor, pe fețele interioare și exterioare.

Modelarea prezintă utilizează concluzia teoriei lui *Poleak* : *factorul de radiație reciprocă într-o incintă închisă depinde numai de mărimea suprafeței și nu depinde de poziția sau forma ei.*

Deci, orice suprafață poate fi deplasată sau schimbată ca formă geometrică fără a afecta rezultatele de modelare sau de calcul.

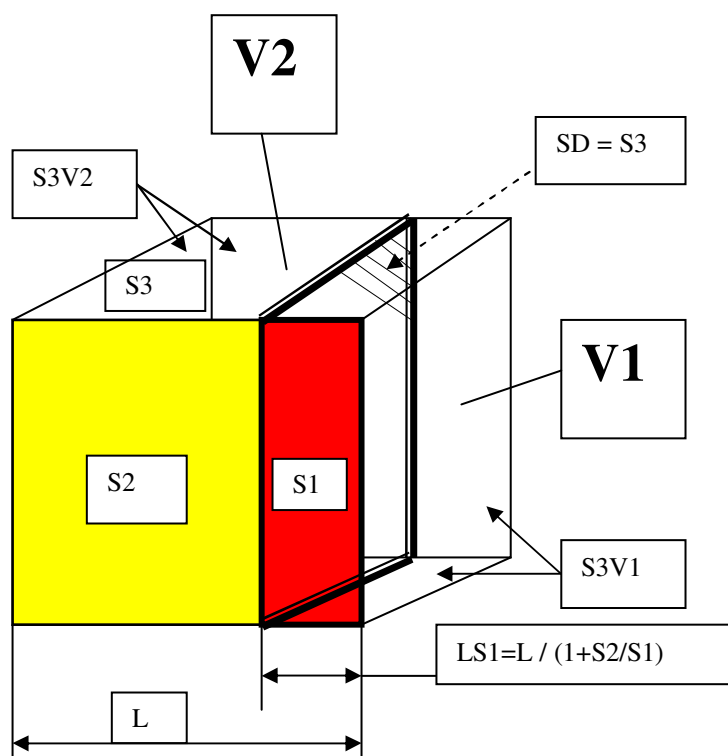
2. Modelul fizic de calcul al cuptorului de testare la foc

Pentru efectuarea modelării este necesar, ca prim pas, trecerea de la forma fizică reală la o *formă echivalent funcțională*, pe care se poate studia transferul de căldură.

Cuptorul de încercare la foc are ca particularitate că este o incintă închisă, de formă cubică, cu 3 suprafețe radiante:

- Suprafața probei $S1$;
- Suprafața panoului frontal de suport al probei $S2$;
- Totalitatea suprafețelor interne de izolație (izoterme) a pereților cuptorului $S3$: lateral dreapta LD , lateral stânga LS , spate S , tavan T , pardoseală P .

Pentru model, pentru a putea calcula fluxurile de căldură, incinta va fi adusă la forma a două incinte adiacente despărțite de un perete D fictiv. Peretele fictiv D are schimb de căldură cu volumul 1 și cu volumul 2 și este în echilibru termic, deci nu constituie o sursă sau un receptor de căldură. Din punct de vedere termic, peretele D nu există. Schema sistemului radiant al modelului de calcul este dată în fig. 2.



$S1$ - suprafața probei; $S2$ - suprafața suportului; $S3$ - suprafața pereților; SD - suprafața peretelui fictiv despărțitor; $S3V1$ - totalitatea pereților limitatori ai cuptorului (tip $S3$) care delimitează volumul $V1$; $S3V2$ - totalitatea pereților limitatori ai cuptorului (tip $S3$) care delimitează volumul $V2$

Fig.2 Schema sistemului radiant

În fig.2 sunt marcate cele două volume realizate prin separarea volumului cuptorului de către peretele fictiv D . După deplasarea suprafețelor se obțin următoarele:

- suprafața probei $S1$ capătă înălțimea L și lungimea LS ;

- suprafața probei $S1$ se scoate din cadrul suprafeței $S2$ și se amplasează alipit la marginea suprafeței $S2$;
- pereții $S3$ se grupează pe fiecare incintă primind notațiile :
 $S3V1$ pentru toți pereții de tip $S3$ din incinta $V1$;
 $S3V2$ pentru toți pereții de tip $S3$ din incinta $V2$.

Se pot acum calcula fluxurile de căldură din cele două incinte cu ajutorul relațiilor analitice de calcul pentru factorul de formă $\emptyset$ care există pentru două cazuri care rezolvă problema:

1. două suprafețe dreptunghiulare egale paralele ;
2. două suprafețe dreptunghiulare adiacente perpendiculare .

În prezentare, cele patru suprafețe vor fi notate cu $1, 2, 3$ și D , conform figurii 2. Se face ipoteza că temperatura peretelui D este mai joasă decât temperatura pereților $S3$.

Pentru incinta $V1$ se constată că fluxul de radiație primit de peretele 1 (proba) constă din 4 pereți adiacenți perpendiculari și un perete paralel.

Pentru incinta $V2$ se constată de asemenea că fluxul de radiație primit de peretele 2 (peretele de suport al probei) constă din 4 pereți adiacenți perpendiculari și un perete paralel. Toate dimensiunile sunt cunoscute.

Pentru incinta $V1$ ușa și peretele paralel opus au dimensiunea probei: $LS1 \times L$, doi pereți adiacenți perpendiculari pe ușă au dimensiunea probei: $LS1 \times L$ și alți doi pereți adiacenți au dimensiunea peretelui 3 : $L \times L$

Pentru incinta $V2$ peretele de suport al probei și peretele paralel opus au dimensiunea: $(L-LS1) \times L$, doi pereți adiacenți perpendiculari pe peretele suport au dimensiunea peretelui suport : $(L-LS1) \times L$ și alți doi pereți adiacenți au dimensiunea peretelui 3 : $L \times L$.

Coeficienții de formă $\emptyset$ se calculează după formulele date în literatură. Deoarece calculele se fac cu ajutorul unui program de calcul, formulele se prezintă sub forma în care se introduc în program. În continuare în figurile 3 și 4 sunt reproduse relațiile din literatura de specialitate.

O problemă mai deosebită o ridică fluxul de căldură acumulat în materialele pereților și probei. Acest flux de căldură trebuie cuprins în bilanțul momentan al cuptorului ca fiind fluxul de căldură de încălzire a materialului i integrat pe intervalul de timp în care s-a discretizat calculul:

$$Q_{ac} = \frac{V_i \cdot \rho_i \cdot c_{p_i} \cdot \int_{\tau_1}^{\tau_2} \left(\frac{dT}{d\tau} \right) d\tau}{\Delta \tau}$$

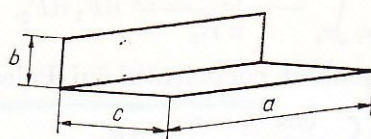
$d\tau$ fiind intervale infinitezimal mici, Q_{ac} se poate aproxima cu relația:

$$Q_{ac} = V_i \cdot \rho_i \cdot c_{pi} \cdot (T_2 - T_1)$$

unde T_2 și T_1 reprezintă limitele intervalului de temperatură între două bilanțuri consecutive.

Aceste fluxuri de căldură acumulate în material pe perioada încălzirii se adaugă la bilanțul termic al fiecărui element, cu excepția peretelui fictiv care nu are masă și căldură specifică.

e) Radiația între două suprafețe dreptunghiulare, perpendiculare, cu o latură comună.



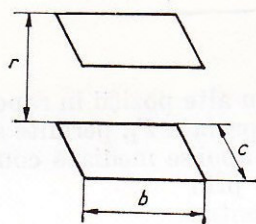
$$B = \frac{b}{a}$$

$$C = \frac{c}{a}$$

$$\Phi_{12} = \frac{1}{\pi B} \left\{ B \arctg \frac{1}{B} + C \arctg \frac{1}{C} \sqrt{B^2 + C^2} \arctg \frac{1}{\sqrt{B^2 + C^2}} + \right. \\ \left. + \frac{1}{4} \left[B^2 \ln \frac{(1 + B^2 + C^2) B^2}{(B^2 + C^2)(1 + B^2)} + C^2 \ln \frac{(1 + B^2 + C^2) C^2}{(B^2 + C^2)(1 + C^2)} - \right. \right. \\ \left. \left. - \ln \frac{1 + B^2 + C^2}{(1 + B^2)(1 + C^2)} \right] \right\}. \quad (8.78)$$

Figura 3 : Relația de calcul pentru factorul de formă la radiație reciprocă pentru doi pereți perpendiculari

e) Radiația între două suprafețe dreptunghiulare egale



$$B = \frac{b}{r}$$

$$C = \frac{c}{r}$$

$$\Phi_{12} = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{BC} \ln \frac{(1 + B^2)(1 + C^2)}{1 + B^2 + C^2} - \frac{2}{B} \arctg C - \frac{2}{C} \arctg B + \right. \\ \left. + \frac{2}{C} \sqrt{1 + C^2} \arctg \frac{B}{\sqrt{1 + C^2}} + \frac{2}{B} \sqrt{1 + B^2} \arctg \frac{C}{\sqrt{1 + B^2}} \right]. \quad (8.76)$$

Figura 4 : Relația de calcul pentru factorul de formă la radiație reciprocă pentru doi pereți egali paraleli

SCHEMELE ELEMENTELOR CUPTORULUI DE FOC

Partea interioară suprafeței, notată cu indice i se referă la interiorul cuptorului și, analog, e se referă la o față expusă spre exteriorul cuptorului. Cele trei suprafețe vor fi notate cu 1, 2 și 3, respectiv 3V1 și 3V2, iar peretele fictiv D .

Din fig.2 se poate vedea că $S3V1 = S3+3*S1$ și $S3V2 = S3+3*S2$

Pentru a introduce în calcule parametrii peretelui fictiv despărțitor se va alege o repartiție a temperaturilor astfel: $T1 < T2 < TD < T3$.

SCHEMA ELEMENTULUI 1

Schema elementului 1, “proba”, a fost aleasă după o schemă clasică de ușă rezistentă la foc.

Partea de rezistență a ușii este constituită din două plăci de oțel cu grosime δ_{ol} și conductibilitate λ_{ol} . Între cele două plăci de oțel este un strat izolator cu caracteristicile grosime δ_{iz} și conductibilitate λ_{iz} . Ușa este placată pe ambele fețe cu un material celulozic, denumit placaj, cu rol estetic; poate fi de exemplu folie de parchet laminat cu caracteristicile grosime δ_{pl} și conductibilitate λ_{pl} .

În fig. 5 se prezintă schematic elementul 1, “proba”.

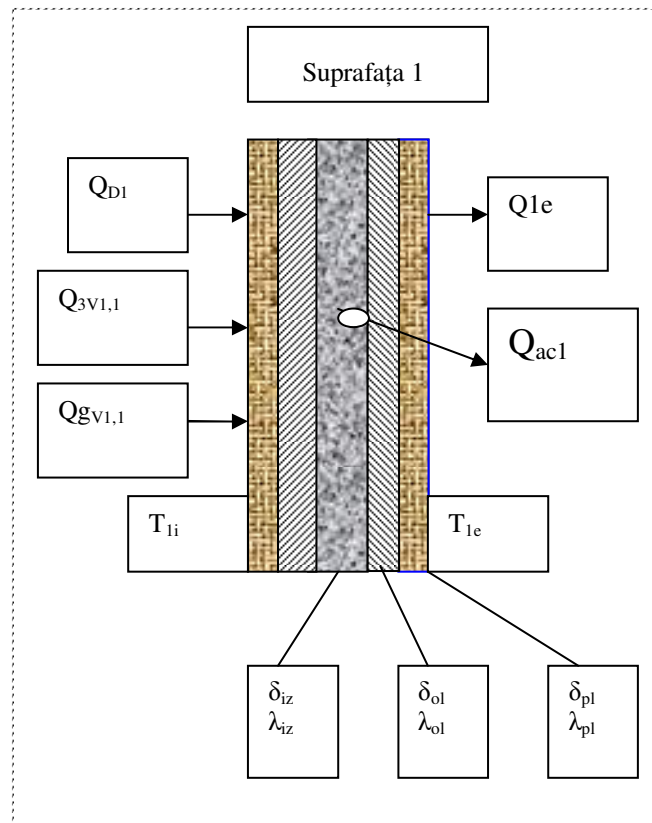


Fig. 5 Schema elementului 1, “proba”

Folia de placaj are o temperatură de aprindere de 600°C și o compoziție de lemn uscat. Pentru proba respectivă se consideră pentru această aplicație că distrugerea prin foc se înregistrează la timpul după care folia de placaj exterioară ia foc. Diagrama standard timp - temperatură a cuptorului de încercare la foc este prezentată în figura 6 și reprezintă încărcarea termică impusă a cuptorului.

Temperatura
gazelor de
ardere [$^{\circ}\text{C}$]

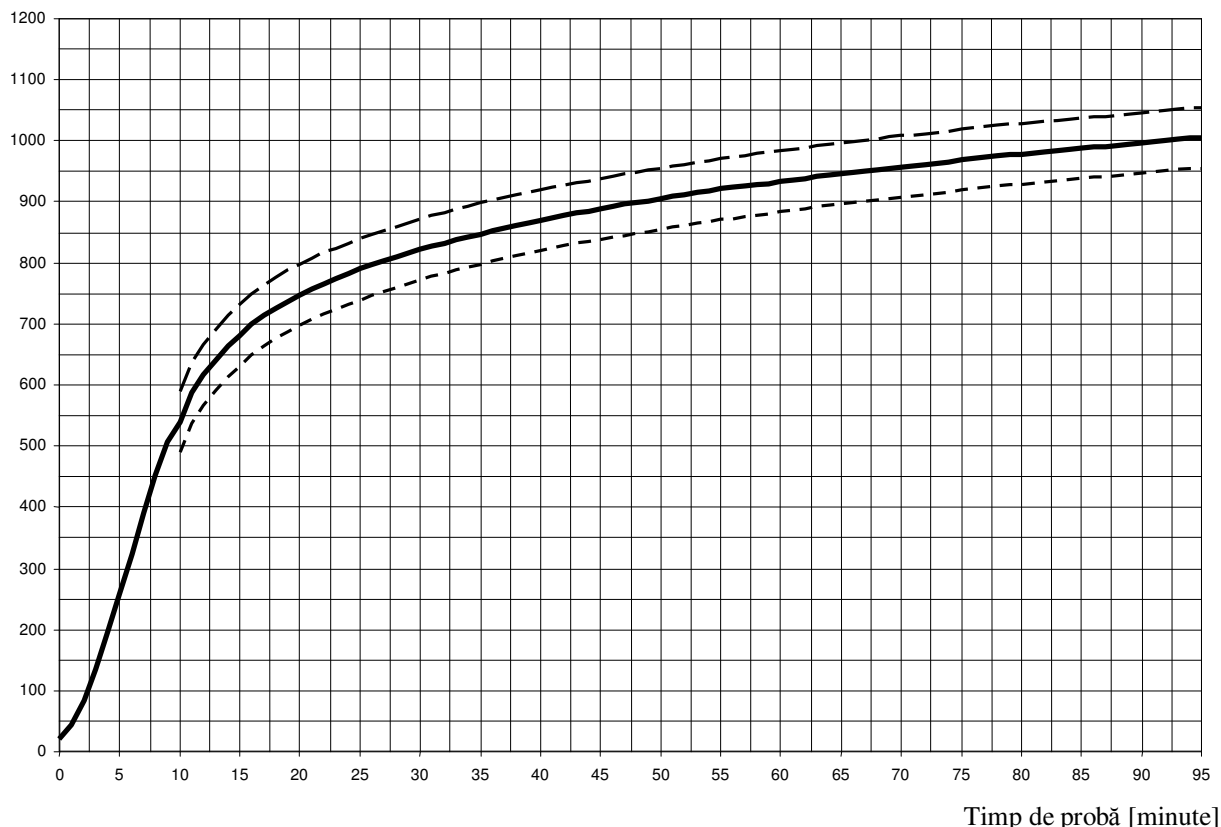


Figura 6 – Curba temperatură-timp a gazelor de ardere din cuptor

Elementul de suprafață 1 , așa cum se arată în fig.3, este supus următoarelor fluxuri de căldură:

- $Q_{3VI,1}$ - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața 1 , emis de suprafețele interioare S_{3VI} ale pereților de construcție ai cuptorului.
- Q_{D1} - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața 1 , emis de suprafața fictivă D .
- $Q_{gVI,1}$ - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața 1 , de către gazele de ardere din incinta cuptorului.
- Q_{1e} - flux de căldură transferat prin convecție liberă de către exteriorul suprafeței 1 , emis către mediul ambiant.

• Q_{ac1} - echivalent flux de căldură pierdut prin cantitatea de căldură acumulată în intervalul de calcul.

Bilanțul termic este valabil în orice moment al stării de funcționare.

SCHEMA ELEMENTULUI 2

Schema elementului 2, “suprafața de încastrare a probei în pereții cuptorului”, este un perete dintr-un material de construcție ușor, de obicei BCA, care are numai rolul de închidere a feței cuptorului și de suport mecanic al “probei”.

În fig. 7 se prezintă schematic elementul 2, “suprafața de încastrare a probei în pereții cuptorului”.

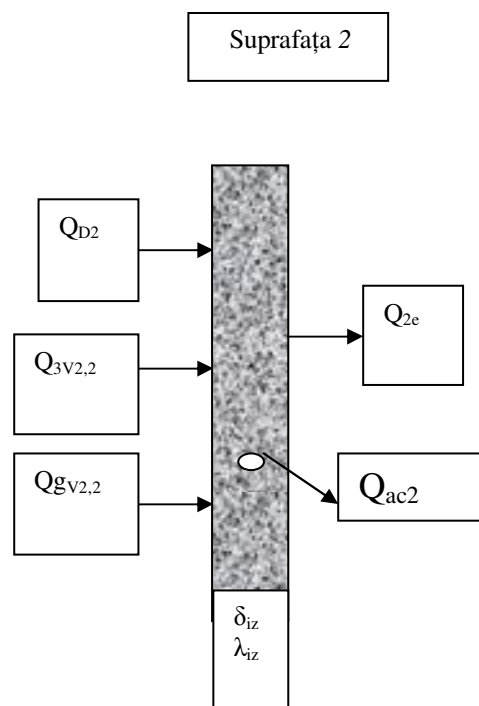


Fig. 7 Schema elementului 2, “suprafața de încastrare a probei în pereții cuptorului”

Peretele este un strat omogen izolator cu caracteristicile grosime δ_{iz} și conductibilitate λ_{iz} .

Elementul de suprafață 2, așa cum se arată în fig.7, este supus următoarelor fluxuri de căldură:

- $Q_{3V2,2}$ - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața 2, emis de suprafețele interioare ale pereților de construcție S3V1.
- Q_{D2} - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața 2, emis de suprafața fictivă D.
- $Q_{gV2,2}$ - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața 2, de către gazele de ardere din incinta cuptorului.

- Q_{2e} - flux de căldură transferat prin convecție liberă de către exteriorul suprafeței 2, emis către mediul ambiant.

- Q_{ac2} -echivalent flux de căldură pierdut prin cantitatea de căldură acumulată în intervalul de calcul.

Bilanțul termic este valabil în orice moment al stării de funcționare.

SCHEMA ELEMENTULUI 3

Elementul 3, “suprafața de construcție a corpului cuptorului” este totalitatea suprafețelor interne de izolație (izoterme) ale pereților incintei cuptorului : lateral dreapta LD , lateral stânga LS , spate S , tavan T , pardoseală P .

Din punctul de vedere al transferului de căldură, așa cum s-a arătat, făcând parte dintr-o incintă închisă, forma de configurare a suprafeței 3 nu are nici-o importanță, ea putând fi asimilată cu un perete continuu cu suprafața totală S_3 .

Peretele fictiv D , fiind luată în considerare întreaga incintă, schimbă căldură cu cele două volume, dar este în echilibru termic.

În fig. 8 se prezintă schematic elementul 3 cu cele două componente 3V1 și 3V2.

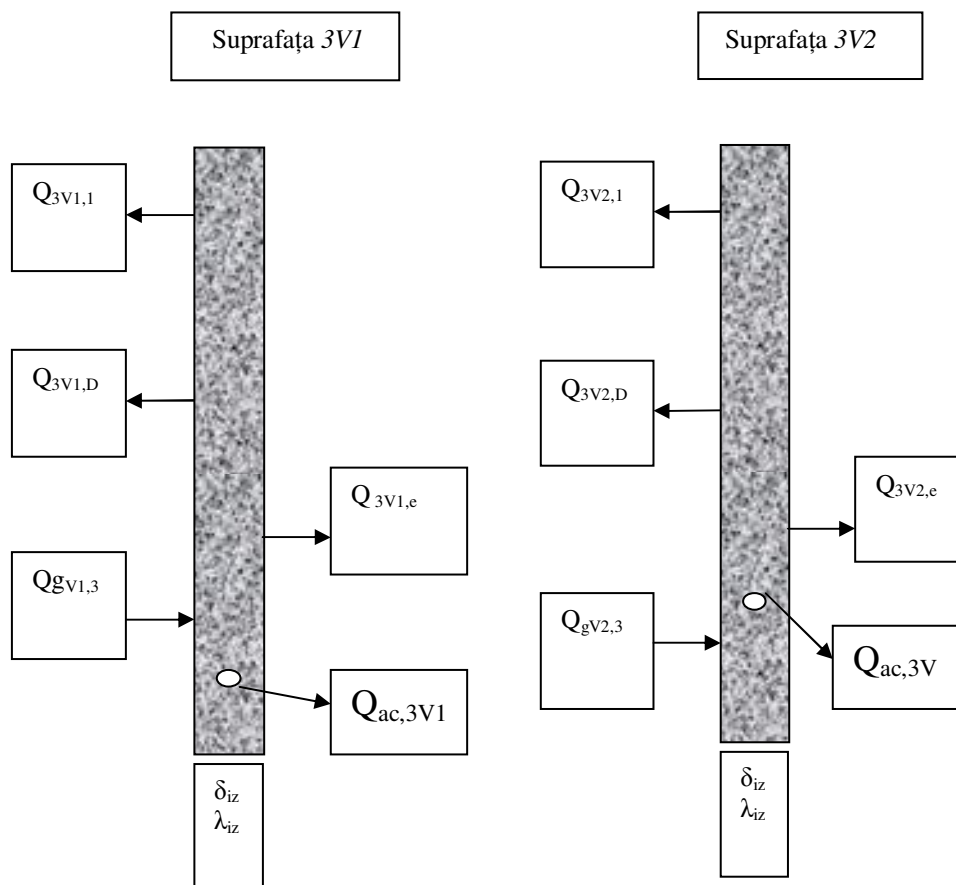


Fig. 8 Schema elementului 3 “suprafața de construcție a corpului cuptorului”

Peretele este un strat omogen izolator cu caracteristicile grosime δ_{iz} și conductibilitate λ_{iz} .

Elementul de suprafață 3VI, așa cum se arată în fig.8, este supus următoarelor fluxuri de căldură:

- $Q_{3VI,1}$ - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața 1, emis de suprafețele interioare ale pereților de construcție ale cuptorului S3VI.
- $Q_{3VI,D}$ - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața D.
- Q_{g3} - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața 3, de către gazele de ardere din incinta VI a cuptorului.
- $Q_{3VI,e}$ - flux de căldură transferat prin convecție liberă de către exteriorul suprafeței 3VI, către mediul ambiant.
- $Q_{ac,3VI}$ -echivalent flux de căldură pierdut prin cantitatea de căldură acumulată în intervalul de calcul.

Elementul de suprafață 3V2, așa cum se arată în fig.8, este supus următoarelor fluxuri de căldură:

- $Q_{3V2,2}$ - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața 2.
- $Q_{3V2,D}$ - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața D.
- $Q_{gV2,3}$ - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața 3, de către gazele de ardere din incinta V2 a cuptorului.
- $Q_{3V2,e}$ - flux de căldură transferat prin convecție liberă de către exteriorul suprafeței 3V2, către mediul ambiant.
- Q_{ac3V2} -echivalent flux de căldură pierdut prin cantitatea de căldură acumulată în intervalul de calcul.

SCHEMA ELEMENTULUI D

Elementul D, “suprafața fictivă dintre volumele VI și V2 ale cuptorului”, este un perete fictiv, fără acumulare de căldură, cu conductibilitate termică ∞ , cu emisivitate $\varepsilon = 1$ dintr-un material de grosime 0, care are numai rolul de închidere între cele două volume VI și V2,

În fig. 9 se prezintă schematic elementul D, “suprafața fictivă dintre volumele VI și V2 ale cuptorului”.

Elementul de suprafață D, așa cum se arată în fig.9, este supus următoarelor fluxuri de căldură:

- $Q_{3V2,D}$ - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața D, emis de suprafețele interioare ale pereților de construcție ai cuptorului S3V2.
- $Q_{3VI,D}$ - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața D, emis de suprafețele interioare ale pereților de construcție ale cuptorului S3VI.
- Q_{D2} - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața 2, emis de suprafața fictivă D.
- Q_{D1} - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața 1, emis de suprafața fictivă D.

- $Q_{gV2,D}$ - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața D de către gazele de ardere din incinta $V2$ a cuptorului.
- $Q_{gV1,D}$ - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața D de către gazele de ardere din incinta $V1$ a cuptorului.

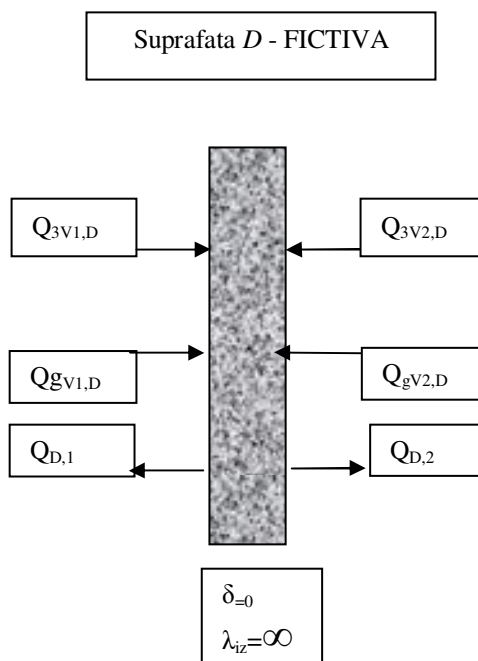


Fig. 9 Schema elementului D , “suprafața fictivă dintre volumeme $V1$ și $V2$ ale cuptorului ”

3. Metodica de calcul a modelului

Scopul final al calculului modelului este **determinarea timpului în care suprafața exterioară a probei ajunge la valoarea declarată ca final al probei de foc.**

Timpul acesta, notat τ_f , corespunde valorii temperaturii $T_{le} = 600^\circ\text{C}$ (în cazul prezentului exemplu modelat) sau oricărei alte temperaturi aleasă ca referință pentru determinarea duratei de rezistență la foc.

Deoarece nu există o cale directă de determinare a acestei temperaturi, respectiv a timpului aferent, calculul trebuie să parcurgă de la timpul 0 la timpul final, pe intervale succesive de timp de ordinul secundelor, calculul complet al stării termice a întregului cuptor.

Concret, se pornește calculul de la timpul $\tau_f = 0$ și corespunzător toate valorile de temperaturi sunt $t = 20^\circ\text{C}$ cu excepția temperaturii gazelor de ardere t_g pentru care se ia valoarea de la timpul imediat următor, conform diagramei temperatură-timp standard a cuptorului. Acest decalaj de temperatură reprezintă “motorul de pornire” al calculului și reprezintă chiar realitatea, deoarece pornirea procesului în cuptor se face prin ridicarea temperaturii gazelor de ardere.

Prin această procedură nu este afectată corectitudinea fiecărui bilanț deoarece intervalele de timp cu care se lucrează sunt foarte mici, de ordinul secundelor.

În tabelul 1 se prezintă bilanțurile termice ale suprafețelor, ecuațiile de transfer de căldură și necunoscutele determinate.

Regula semnelor este: căldura primită este (+) , căldura cedată este (-) .

Tabel 1

**Bilanțurile termice ale suprafețelor,
ecuațiile de transfer de căldură și necunoscutele determinate**

Suprafața	Bilanțul termic	Rezultatul de calcul
1	$Q_{3V1,1} + Q_{D1} + Q_{gV1,1} - Q_{1e} - Q_{ac,1} = 0$ $1/k_1 = 1/(\alpha_{g1} + \alpha_{31} + \alpha_{D1}) + [1/\alpha_{ac,1} + \sum_1 (\delta/\lambda)] + 1/\alpha_{e1}$ $k_1 \cdot (T_g - T_e) = (\alpha_{g1} + \alpha_{31} + \alpha_{D1}) \cdot (T_g - T_{1i})$ $k_1 \cdot (T_g - T_e) = \alpha_{1e} \cdot (T_{1e} - T_e)$	T_{1i} T_{1e}
2	$Q_{3V2,2} + Q_{D2} + Q_{gV2,2} - Q_{2e} - Q_{ac,2} = 0$ $1/k_2 = 1/(\alpha_{g2} + \alpha_{32} + \alpha_{D2}) + [1/\alpha_{ac,2} + \sum_2 (\delta/\lambda)] + 1/\alpha_{e2}$ $k_2 \cdot (T_g - T_e) = (\alpha_{g2} + \alpha_{32} + \alpha_{D2}) \cdot (T_g - T_{2i})$ $k_2 \cdot (T_g - T_e) = \alpha_{2e} \cdot (T_{2e} - T_e)$	T_{2i} T_{2e}
3V1	$-Q_{3V1,1} - Q_{3V1,D} + Q_{g,3V1} - Q_{3V1,e} - Q_{ac,3V1} = 0$ $1/k_{31} = 1/(\alpha_{g3V1} - \alpha_{3V1D} - \alpha_{31}) + [1/\alpha_{ac,3V1} + \sum_3 (\delta/\lambda)] + 1/\alpha_{e3V1}$ $k_{31} \cdot (T_g - T_e) = (\alpha_{g3V1} - \alpha_{3V1D} - \alpha_{31}) \cdot (T_g - T_{i3V1})$ $k_{31} \cdot (T_g - T_e) = \alpha_{e3V1} \cdot (T_{e3V1} - T_e)$	T_{i3V1} T_{e3V1}
3V2	$-Q_{3V2,2} - Q_{3V2,D} + Q_{g,3V2} - Q_{3V2,e} - Q_{ac,3V2} = 0$ $1/k_{32} = 1/(\alpha_{g3V2} - \alpha_{3V2D} - \alpha_{32}) + [1/\alpha_{ac,3V2} + \sum_3 (\delta/\lambda)] + 1/\alpha_{e3V2}$ $k_{32} \cdot (T_g - T_e) = (\alpha_{g3V2} - \alpha_{3V2D} - \alpha_{32}) \cdot (T_g - T_{i3V2})$ $k_{32} \cdot (T_g - T_e) = \alpha_{e3V2} \cdot (T_{e3V2} - T_e)$	T_{i3V2} T_{e3V2}
D	$+Q_{3V1,D} + Q_{3V2,D} - Q_{D1} - Q_{D2} + Q_{gV1,D} + Q_{gV2,D} = 0$	verificare

Calculul se oprește automat când temperatura exterioară a probei T_{1e} a ajuns la valoarea declarată ca final al probei de foc.

O atenție deosebită în conceperea programului trebuie să se acorde modificărilor de structură a probei la diferite temperaturi de încălzire. În exemplul

tratat, folia de placaj are o temperatură de aprindere de 600°C și o compoziție de lemn uscat. Pentru proba respectivă *se consideră distrugerea prin foc timpul după care folia de placaj exterioară ia foc*. Folia interioară de placaj se distruge după un timp mult mai scurt, după care dispare din structură. Variația structurii este exemplificată în fig. 10.

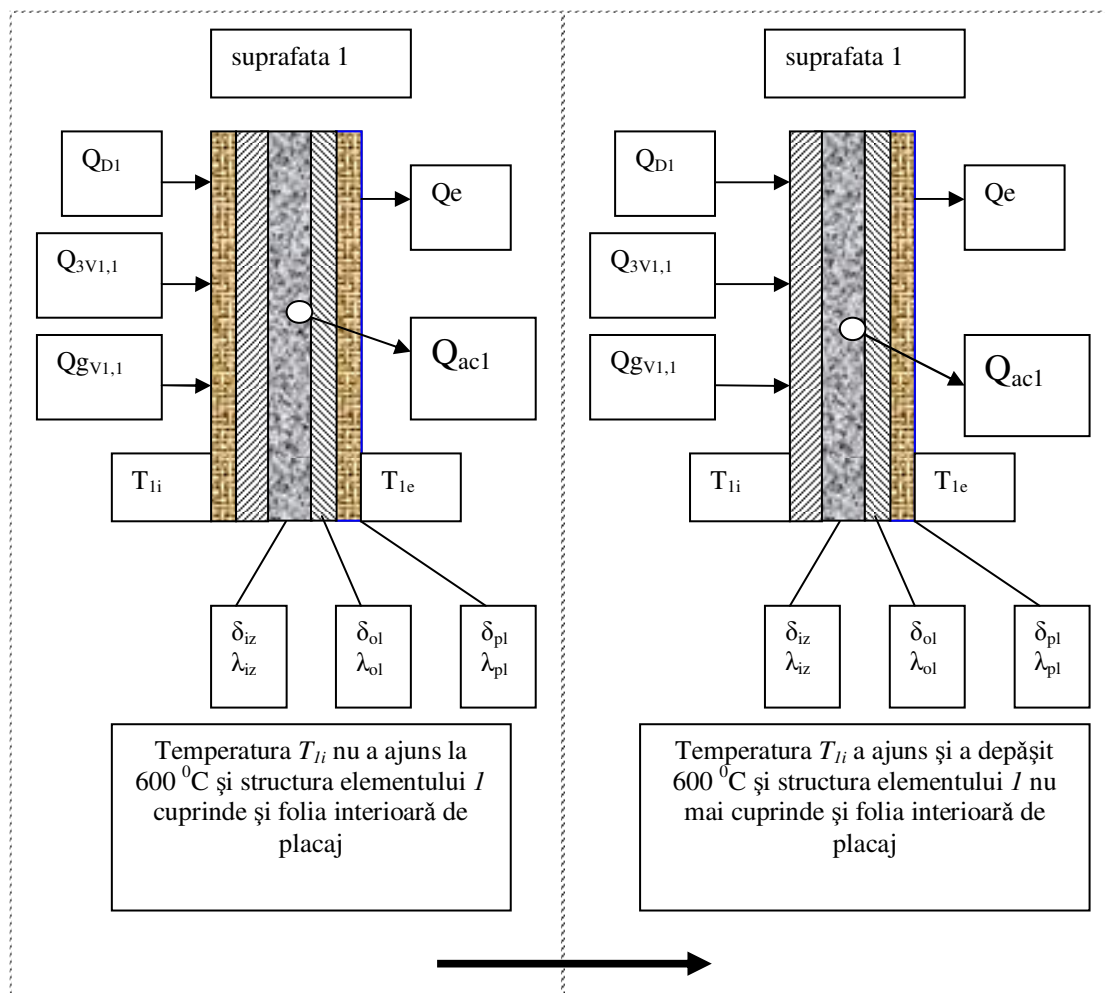


Fig. 10 Variația structurii prin distrugere după un timp a foliei interioare de placaj

O mare atenție în scrierea subrutinelor programului trebuie acordată și introducerii variațiilor caracteristicilor fizice ale materialelor. Aproape toate caracteristicile fizice ale materialelor: λ, ϵ , au valori foarte diferite la diferite temperaturi.

4. Concluzii

Lucrarea a prezentat un aspect global al modelării *Cuptorului de Încercare la Foc* a elementelor de construcții. Amploarea ecuațiilor necesită un calcul automat. În cadrul cercetărilor prezentate s-a elaborat un astfel de program de calcul care permite, prin datele de input, să modeleze încercarea la foc a oricărui element de construcție.

Modelarea utilizează concluzia teoriei lui *Polea* : *factorul de radiație reciprocă într-o incintă închisă depinde numai de mărimea suprafeței și nu depinde de poziția sau forma ei*. Deci, orice suprafață poate fi deplasată sau schimbată ca formă geometrică fără a afecta rezultatele de modelare sau de calcul.

Incinta a fost adusă la forma a două incinte adiacente despărțite de un perete fictiv. Pentru elementele fiecărei incinte se pot scrie ecuațiile de bilanț termic ce țin cont de transferurile de căldură radiative solid-solid și gaze de ardere – solid, de acumulările de căldură în elementele constructive și de fluxurile conductive specifice, precum și de fluxurile prin suprafețele exterioare calde.

Elementul fictiv de separație între incinte reprezintă “cheia” de verificare și închidere a bilanțurilor termice.

Modelul poate fi dezvoltat prin introducerea unor parametri suplimentari cum ar fi aporturile de căldură de tip izvoare interioare ce apar la aprinderea unor elemente din proba supusă la foc sau dispariția unor straturi prin ardere.

Scopul modelării este acela de a oferi o imagine asupra probabilității de reușită a testului de rezistență la foc pentru elementul încercat și eventual precizarea momentelor cheie, fie pentru concentrarea observațiilor, fie pentru luarea unor măsuri de siguranță.

Bibliografie

- *N.Benmehdi, J.M.Fransses, M.Guenfoud* - Verification de la resistance au feu des poteaux de beton arme - The international Conference on sustainable built environment infrastructures. - Oran, Algerie - Oct 2009 -pg 127-129
- *B.Barthelemy, J.Kruppa* - Resistance au feu des structures de beton,acier, bois - Ed.Fyrolles -Paris, 1978 - 277 pg.
- *D.Marquis et au.* - Modélisation du comportement au feu d'un composite par calculs de pyrolyse ; approche combinee experience-simulation a l'échelle- Journal Mecanique et Industrie 10 (2009) pg. 245-253
- *B.Kirby* - Recent developments and applications in structural fire engineering design - Fire Safety Journal [11] 1986 pg 141-179
- *B.Bresler* - Analytical prediction of structural response to fire - Fire Safety Journal [9] 1985 pg 103-117
- *T.Ait-Taleba* - Numerical simulation of coupled heat transfer by conduction, natural convection and radiation in hollowstructures heated from below or above - International Journal of Thermal Sciences [47] 2008 pg.378-387.
- *SR EN 1363 - 1 : 1999*: Încercări de rezistență la foc – Partea 1: Cerințe generale.
- *SR EN 1363 - 2 : 1999*: Încercări de rezistență la foc – Partea 2: Proceduri alternative și suplimentare.
- *SR EN 1363 - 3 : 1999*: Încercări de rezistență la foc – Partea 3: Verificarea performanței cuptorului.
- *SR EN 13943 : 2000*, Siguranța la foc. Vocabular (ISO 13943 : 2000).
- *SR EN 1935:2003*, Accesorii pentru construcții. Balama cu ax simplu. Cerințe și metode de încercare
- *SR EN 12519:2004*, Ferestre și uși pentru pietoni. Terminologie.
- *SR EN 13501-1:2007*, Clasificare în funcție de comportarea la foc a produselor și elementelor de construcție. Partea 1: Clasificare folosind rezultatele încercărilor de reacție la foc
- *SR EN 14600:2006*, Seturi de uși și ferestre mobile, rezistente la foc și/sau etanșe la fum. Cerințe și clasificare.
- *SR EN / CEI 17025* – Cerințe Generale Pentru Competența Laboratoarelor de Încercare și Etalonare.

Proiectarea acustică a sălii multifuncționale din Călărași

Multipurpose room acoustic design from Calarasi

Mariana Cristina STAN¹, Cristian NICOLAE²

¹ Universitatea Spiru Haret

Bd. Ion Ghica nr. 13, sector 3, Bucuresti, Romania

E-mail: sonobel_ms3@yahoo.co.uk

² S. C. ARHITECTSTUDIO CN S.R.L.

Str. Cezar Bolliac nr 8 , sector 3, Bucuresti, Romania

E-mail: office@arhitectstudio.ro

Rezumat. Proiectarea acustică a sălii multifuncționale din Călărași a fost făcută odată cu proiectarea arhitecturală, urmărindu-se o distribuție cât mai uniformă a sunetului pe toată suprafața ocupată de auditori și un nivel cât mai redus al zgomotului perturbator, provenit atât din exteriorul sălii cât și din instalația de climatizare a acesteia.

Pentru tratamentele acustice au fost propuse atât materiale care au aspectul lemnului (TOPAKUSTIK, plăci MDF furniruit) cât și plăci gips-carton cu grosime de 12,5 mm, având la intrados plăci din vată minerală.

Valorile calculate pentru duratele de reverberație se încadrează în limitele admisibile precizate în legislația tehnică în vigoare.

Cuvinte cheie: acustică, zgomot perturbator, construcție

Abstract : Multipurpose room acoustic design in Calarasi was made with the architectural design, as aiming at a more uniform sound distribution throughout the area occupied by the auditors and as low a level of disturbing noise, both from outside the room and its air conditioning plant.

For acoustic treatments have been proposed wood materials (TOPAKUSTIK, MDF veneered boards) and gypsum 12.5 mm thick boards; having the soffit panels with mineral wool.

The calculated values for reverberation times is within the allowable limits specified in the present technique legislation.

Key words: acoustic, disturbing noise, construction

1. DATE GENERALE

Problema acusticii sălilor este complet opusă celei referitoare la izolarea fonică a acestora.

În cea din urmă, sunetele sunt un rău ce trebuie, pe cât posibil, eliminat.

În studiul acustic al sălilor, dimpotrivă, sunetul este unul dintre cele două elemente ce trebuie puse în valoare (cel de-al doilea fiind imaginea).

Principiul fundamental, în acest caz, este:

„Nu se poate obține o audiție bună făcând, la început, un proiect bazat numai pe aspect și gândind acustica după aceea.

PROIECTAREA DE ARHITECTURĂ ȘI CEA DE ACUSTICĂ TREBUIE FĂCUTE ÎMPREUNĂ.”

Principalele probleme ce trebuie rezolvate în acustica sălilor sunt:

- distribuția cât mai uniformă a sunetului pe toată suprafața ocupată de auditori;
- inteligibilitatea în sală;
- nivelul cât mai redus al zgomotului perturbator.

2. REGLEMENTARI TEHNICE DE REFERINȚĂ

- C 125 – 2005 „Normativ privind proiectarea și executarea măsurilor de izolare fonică și a tratamentelor acustice în clădiri”;
- P 123 – 89 „Instrucțiuni tehnice privind proiectarea și execuția sălilor de audiție publică din punct de vedere acustic”;
- STAS 9783/0 – 84 „Acustica în construcții. Parametrii pentru proiectarea și verificarea acustică a sălilor de audiție publică. Clasificare și limite admisibile”.

3. DESCRIEREA SĂLII ANALIZATE

3.1. Sala din Călărași are forma derivată dintr-un paralelipiped de bază cu dimensiuni în plan de cca. 21,00 x 23,00 m și o înălțime medie de cca. 9,00 m în sală și cca. 12,00 m în scenă.

3.2. Volumul sălii este de aproximativ 4400 mc iar al scenei de cca.3300 mc.

4. STABILIREA LIMITELOR ADMISIBILE

4.1. Pentru o sală de concerte cu o capacitate de cca 600 locuri, în STAS 9783 / 0 – 84 « Acustica în construcții. Parametrii pentru proiectarea și verificarea acustică a sălilor de audiție publică. Clasificare și limite admisibile » este prevăzut un volum specific de **5,00 - 8,00 m³**. Pentru sala analizată, volumul specific rezultă de 4400: 580 = **7,58 m³**, deci **încadrează în limitele admisibile**.

4.2. Durata de reverberație optimă pentru sălile cu volum total (sală + scenă) de cca. 7700 m³, ce sunt utilizate ca săli multifuncționale, precizată în STAS 9783 / 0 – 84 « Acustica în construcții. Parametrii pentru proiectarea și verificarea acustică a sălilor de audiție publică. Clasificare și limite admisibile » este : **T_{opt} = 1,5...1.6 s**. Ținând seama de faptul că în sală va fi utilizată și electroacustica, durata optimă se scade la **T_{opt} = 1,4 s**.

4.3. Valorile maxime și minime ale duratei de reverberație acceptate, conform standardului menționat mai sus, sunt prezentate în tabelul 1:

Tabel 1

T (s)	Frecvența (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
T max	1,96	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68
Tmin	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12

5. VERIFICAREA PRIN CALCUL A DURATEI DE REVERBERAȚIE

a) Calculul duratei de reverberație în benzile de o octavă din domeniul 125 ... 4000 Hz se face cu relația lui Sabine:

$$T(f) = 0,163 \quad V / A(f) \quad [s] \quad (1)$$

în care:

V – volumul sălii $[m^3]$;

$A(f)$ – aria de absorbție acustică echivalentă la frecvența « f » $[m^2UA]$.

b) Aria de absorbție acustică echivalentă $A(f)$ se calculează cu relația:

$$A(f) = \sum \alpha_i(f) S(i) \quad [m^2UA] \quad (2)$$

în care:

$\alpha_i(f)$ – coeficient de absorbție acustică al materialului « i », la frecvența « f » ;

$S(i)$ – aria geometrică pe care este dispus materialul « i » $[m^2]$.

Coeficienții de absorbție acustică ai materialelor și structurilor utilizate la calculul acustic al sălii sunt prezentați în tabelul A1.

Pentru **tratamentele acustice** au fost propuse materiale care au aspectul lemnului și care, din punct de vedere acustic, se împart în următoarele categorii :

- **fonoabsorbant :**

- TOPAKUSTIK 14/2, la 5 cm de stratul suport (având în interspațiul dintre plăci și elementul suport, plăci din vată minerală cu densitatea $\rho \geq 50 \text{ kg/m}^3$ și grosimea de 5 cm);

- TOPAKUSTIK 28/4 , la 5 cm de stratul suport (având în interspațiul dintre plăci și elementul suport, plăci din vată minerală cu densitatea $\rho \geq 50 \text{ kg/m}^3$ și grosimea de 5 cm);

- **“membrana”**: plăci MDF furniruit, cu grosimea de 5 mm, la 5 cm de stratul suport (având în interspațiul dintre plăci și elementul suport, plăci din vată minerală cu densitatea $\rho \geq 50 \text{ kg/m}^3$ și grosimea de 5 cm) .

- **reflectant** : plăci gips-carton cu grosime de 12,5 mm, având la intrados plăci din vată minerală cu densitatea $\rho \geq 50 \text{ kg/m}^3$ și grosimea de 5 cm.

Durata de reverberație obținută este prezentată în tabelul 2, în comparație cu valorile admisibile .

Tabel 2

Spațiul considerat	T(s) la frecvența (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
T max	1,96	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68
<i>T sala</i>	1.51	1.35	1.32	1.40	1.45	1.40
Tmin	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12

Se constată că valorile calculate se încadrează în limitele admisibile .

6. DESCRIEREA SOLUȚIILOR PROPUSE

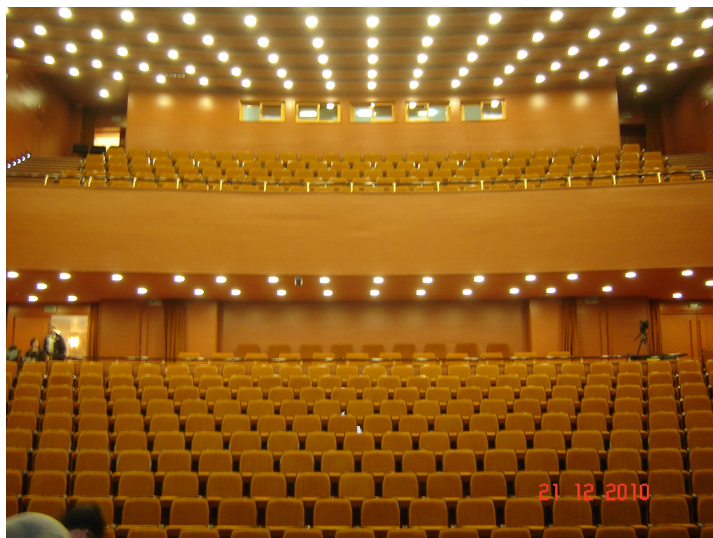
6.1. La proiectarea acustică a unei săli de audiții trebuie respectate următoarele principii de bază, în ceea ce privește alcătuirea și distribuția tratamentelor acustice:

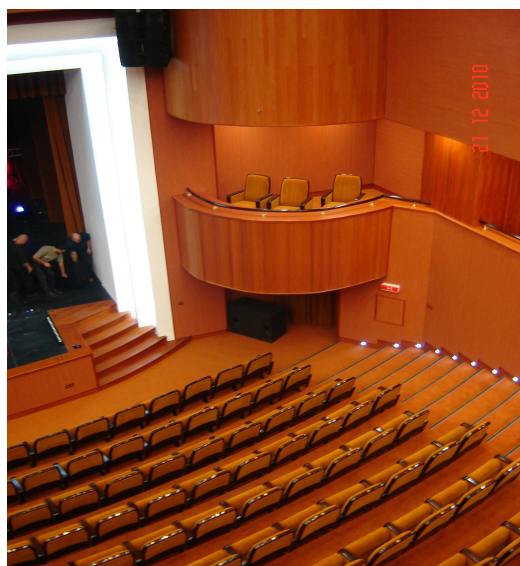
- alegerea unor materiale variate, astfel încât coeficienții de absorbție ai acestora să permită realizarea unor durate de reverberație cât mai uniforme, în gama de frecvențe 1254000 Hz;

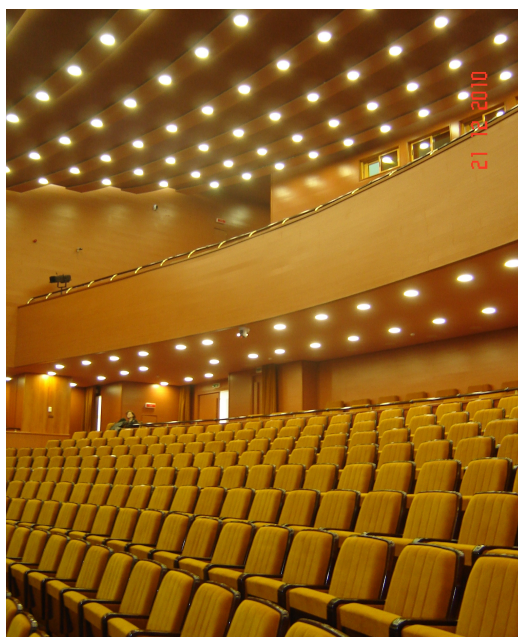
- tratarea pereților sălii (într-o proporție ce rezultă din calculul acustic) cu materiale fonoabsorbante având coeficienții medii de absorbție acustică mai mari sau cel puțin egali cu 0,3.

- tratarea suprafețelor orizontale ale pardoselii și plafonului în corelație cu nivelul general de absorbție al materialelor ce alcătuiesc finisajul interior.

6.2. Ținând seama de forma și de volumul sălii, pentru asigurarea scopului propus (încadrarea duratelor de reverberație în valorile admisibile, precizate de legislația tehnică în vigoare), tratamentele acustice descrise anterior s-au amplasat de către arhitect, în urma consultărilor cu acusticianul .







6.3. Ușile de acces – evacuare sunt prevăzute cu garnituri permanente elastice pe tot conturul tocului pentru eliminarea pătrunderii accidentale a zgomotelor aeriene.

6.4. În vederea realizării unei bune izolări fonice față de spațiile adiacente au fost propuse uși de acces – evacuare cu **Rw min. = 40 dB(A)**

5. BIBLIOGRAFIE

1. *LOIC HAMAYON* – Réussir l'acoustique d'un bâtiment, Ed. Le Moniteur, Paris, 1996
2. *THIERRY MALET* – Acoustique des salles – Le guide de référence du praticien, Publ. Georges Ventillard, Neuilly sur Marne, 2005
3. *GUILLAUME PELLERIN* – Acoustique architecturale: Theories et pratiques, version électronique, 2006
4. Renovation de salle Pleyel – Paris (www.artec-usa.com)
5. *Stan, Mariana Cristina* – Acustica pentru arhitecți, Ed. Fundației România de Măine, București 2007

ANEXA 1

Sala CALARASI									
Material absorbant	Tip	1	2	3	4	5	6	7	8
	Nume/Cod	Mocheta	Fotolii	Rigips	Usi	Dusumea	TOP 14/2	TOP28/4	MDF
Coef.abs. pentru frecv (Hz)	125	0.14	0.2	0.02	0.3	0.04	0.36	0.5	0.25
	250	0.16	0.3	0.02	0.2	0.04	0.5	0.45	0.2
	500	0.18	0.32	0.03	0.15	0.06	0.7	0.3	0.15
	1000	0.33	0.35	0.03	0.1	0.08	0.6	0.25	0.08
	2000	0.5	0.4	0.04	0.07	0.08	0.6	0.12	0.05
Volum [m³]	4000	0.5	0.5	0.05	0.04	0.1	0.5	0.1	0.05
	7700								
Materiale absorbante utilizate									
	Tip	1	2	3	4	5	6	7	8
	Nume/Cod	Mocheta	Fotolii	Rigips	Usi	Dusumea	TOP 14/2	TOP 28/4	MDF
A pentru frecv (Hz)	Arne [m²]	210	640	580	15	360	580	800	120
	125	29.4	128	11.6	4.5	14.4	208.8	400	30
	250	33.6	192	11.6	3	14.4	290	360	24
	500	37.8	204.8	17.4	2.25	21.6	406	240	18
	1000	69.3	224	17.4	1.5	28.8	348	200	9.6
	2000	105	256	23.2	1.05	28.8	348	96	6
	4000	105	320	60	0.6	36	290	80	6
								A	T
								826.7	1518205
								928.6	1351605
								947.85	1324155
								898.6	1396728
								864.05	1452578
								897.6	1398284