

CERCETĂRI TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND POSIBILITĂȚILE DE VALORIFICARE A ENERGIEI SOLARE CA SURSĂ NEPOLUANTĂ

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea "Politehnica" din Timișoara
în domeniul INGINERIA MECANICĂ
de către

Ing. Diana SILAGHI

Conducător științific: prof.univ.dr.ing.habil Ioana IONEL
Referenți științifici: prof.univ.dr.ing. Gheorghiza JINESCU
prof.univ.dr.ing. Coleta DE SABATA
prof.univ.dr.ing.ec. Mariana NAGY

Ziua susținerii tezei: 03.11.2008

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|------------------------|---|
| 1. Automatică | 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații |
| 2. Chimie | 8. Inginerie Industrială |
| 3. Energetică | 9. Inginerie Mecanică |
| 4. Ingineria Chimică | 10. Știința Calculatoarelor |
| 5. Inginerie Civilă | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 6. Inginerie Electrică | |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2008

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221
e-mail: editura@edipol.upt.ro

Cuvânt înainte

Previiziunile specialiștilor arată că, în următorii 30 de ani, populația globului va crește până la 8 miliarde. În aceste condiții, necesarul energetic suplimentar va fi de 60%, ceea ce nu poate fi acoperit de către rezervele de combustibili fosili, petrol și gaze, ale căror surse se vor epuiza în câteva decenii [10]. La acestea, se adaugă creșterea de 10 ori a necesarului energetic datorat industrializării. Mai rămân, cărbunii și combustibilii nucleari. Extinderea tehnicii atomice trebuie redusă din motive de siguranță, iar arderea cărbunilor trebuie redusă din motive de reducere a emisiilor de CO₂, gaz cu efect de seră, responsabil de schimbările climatei.

Teza de doctorat este axată pe cercetarea întreprinsă în cadrul proiectelor europene de cercetare: FP6 GREENENERGY (2005-2007) „Energy optimisation in European greenhouses” și ROBENA-COSMOTE (2007) „Remote, computer assisted command and optimize of the use of a solar instalation for greenhouses and small consumers”, propunându-și să contribuie la dezvoltarea cunoașterii într-un domeniu prioritar pe plan european și anume, cel al valorificării energiilor neconvenționale ca surse nepoluante și în caz particular, prin măsurători, particularizate spre valorificarea energiei solare.

Rezultatele studiului experimental efectuat în locația Arad, pe durata a 20 luni calendaristice, conduc la concluzii, care permit aplicarea unor soluții concrete, pentru optimizarea procesului de valorificare a energiei solare, în zona de vest a țării.

Pentru îndrumarea profesională și de înaltă competență științifică acordată, pentru ajutorul acordat, pentru aprecierile și căldura sufletească, primite pe parcursul stagiului doctoral, aduc mulțumirile mele și respectul cuvenit, conducătoarei științifice, profesor doctor inginer habil Ioana Ionel.

Alese mulțumiri, adresez membrilor comisiei de doctorat, domnului președinte, prof.dr.ing.Dumitru Jucu, prodecanul Facultății de Mecanică din Timișoara, distinselor doamne: prof.dr.ing.Coleta de Sabata, prof.dr.ing.Gheorghiu Jinescu și prof.dr.ing.ec.Mariana Nagy, care au răspuns solicitării de a face parte din comisia de analiză a tezei, pentru recomandările făcute și pentru timpul acordat lucrării.

În mod deosebit, doresc să-i aduc mulțumiri, distinsului prof.dr.ing.Iosif Kaposta, pentru tot sprijinul acordat, fără de care nu aş fi început și finalizat teza.

Aduc călduroase mulțumiri și colegilor mei, de la Universitatea „Aurel Vlaicu” din Arad, care au răspuns întotdeauna pozitiv solicitărilor mele, în domeniul specific de competență: prof.dr.ing.Doina Mortoiu, prof.Ileana Grivu, prof.dr. Octavian Cira, prof.dr.ing.Ioan Radu, prof.dr.ing.Ion Copaci, prof.dr.ing.Virgil Florin Duma și șl.dr.ing.ec Laurențiu Jitaru. De asemenea, doresc să-i mulțumesc domnului ing.Emil Popa pentru ajutorul acordat prin monitorizarea măsurătorilor și achiziția datelor, pe tot parcursul studiului experimental.

Îi mulțumesc, de asemenea soțului meu dipl.ing.Florin Silaghi, pentru atașamentul, susținerea, înțelegerea și ajutorul, acordate neîncetat.

Nu în ultimul rând, mulțumesc celor nenumiți, care în diferite moduri, m-au îndrumat, sprijinit și ajutat pe parcursul elaborării tezei.

Timișoara, octombrie 2008

Ing. Diana SILAGHI

Soțului meu, părinților mei

Silaghi, Diana

Cercetări teoretice și experimentale privind posibilitățile de valorificare a energiei solare ca sursă nepoluantă

Teze de doctorat ale UPT, Seria 9, Nr.44, Editura Politehnica, 2008, 200 pagini, 144 figuri, 46 tabele.

ISSN: 1842-4937

ISBN: 978-973-625-743-8

Cuvinte cheie:

Energie solară, captatoare solare, tuburi vidate, iluminare, schimb de căldură, temperatură, apă caldă.

Rezumat:

Teza prezintă o cercetare experimentală privind verificarea și optimizarea procesului de valorificare a energiei solare, în vederea transformării în energie termică. S-a realizat astfel, o verificare, în condiții experimentale, a unui produs existent pe piața românească. S-au monitorizat: radiația solară, temperatura exterioară, condițiile meteorologice, temperatura agentului termic din partea de captare și temperatura apei calde din rezervor, pe durata a 20 luni de funcționare continuă. Lucrarea cuprinde analiza influenței condițiilor de lucru variabile asupra parametrilor dezvoltăți de stand, precum și o analiză economică și ecologică a sistemului termo-solar de preparare apei calde. Teza are un caracter interdisciplinar, reunind cunoștințe de inginerie mecanică, fizică, geografie, meteorologie, matematică și informatică.

CUPRINS

CUPRINS	7
LISTA FIGURILOR.....	10
LISTA TABELELOR.....	13
INDEX NOTAȚII.....	14
1. INTRODUCERE ÎN TEMATICA LUCRĂRII	16
1.1. PRIORITĂȚILE CERCETĂRII ÎN DOMENIUL ENERGILOR REGENERABILE	16
1.2. ENERGETICA ȘI ENERGIA SOLARĂ	18
1.3. AVANTAJE ȘI DEZAVANTAJE ALE UTILIZĂRII ENERGIEI SOLARE CA SURSĂ NEPOLUANTĂ	19
2. STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII REFERITOARE LA TEORIA RADIAȚIEI SOLARE.....	21
2.1. ABORDĂRI TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND RADIAȚIA SOLARĂ	21
2.1.1. <i>Radiația solară pe suprafața pământului</i>	21
2.1.2. <i>Radiația solară pe o suprafață orizontală</i>	25
2.1.3. <i>Radiația solară pe o suprafață înclinată</i>	28
2.1.4. <i>Modalități de obținere a radiației solare maxime pe o suprafață înclinată sau pe o suprafață care urmărește soarele</i>	30
2.1.5. <i>Radiația solară pentru Europa, România</i>	35
2.2. METODE DE MĂSURARE A RADIAȚIEI SOLARE	36
2.2.1. <i>Principii de măsurare și aparate utilizate pentru măsurarea radiației solare</i>	36
2.2.2. <i>Relația între mărimile fotometrice și mărimile radiometrice</i>	41
2.3. METODE GENERALE DE TRANSFER DE CĂLDURĂ	43
2.3.1. <i>Introducere</i>	43
2.3.2. <i>Mărimi caracteristice transferului de căldură</i>	44
2.3.3. <i>Conducția</i>	45
2.3.4. <i>Convecția</i>	46
2.3.5. <i>Radiația</i>	48
2.3.6. <i>Schimbul global de căldură între două fluide cu temperaturi variabile</i> ..	51
2.3.7. <i>Schimbătoare de căldură</i>	51
3. ASPECTE TEORETICE PRIVIND SISTEMELE TERMICE SOLARE	53
3.1. INTRODUCERE.....	53
3.2. ÎNCĂLZIREA SOLARĂ A APEI.....	55
3.3. SISTEMELE TERMICE SOLARE PENTRU ÎNCĂLZIREA APEI	57
3.3.1. <i>Sistemele termice solare pentru încălzirea bazinelor de înot</i>	57
3.3.2. <i>Sistemele termice solare pentru încălzirea apei menajere</i>	58
3.4. STOCAREA ENERGIEI TERMO-SOLARE	63
3.5. CAPTATOARELE SOLARE	67

3.5.1.	<i>Captatoare solare cu tuburi vidate.....</i>	68
3.5.2.	<i>Captatoare solare compacte.....</i>	73
3.5.3.	<i>Captatoare solare plane.....</i>	75
3.5.4.	<i>Randamentul captatoarelor solare.....</i>	81
4.	PREZENTAREA STANDULUI EXPERIMENTAL ȘI A TEHNICILOR DE MĂSURARE.....	84
4.1.	PREZENTAREA STANDULUI EXPERIMENTAL	84
4.2.	PREZENTAREA ELEMENTELOR PRINCIPALE ALE STANDULUI EXPERIMENTAL ..	87
4.2.1.	<i>Panouri solare.....</i>	87
4.2.2.	<i>Tuburile de sticlă.....</i>	90
4.2.3.	<i>Condensator-colector.....</i>	92
4.2.4.	<i>Rezervor de apă caldă.....</i>	93
4.2.5.	<i>Alte elemente</i>	94
4.3.	PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE AL SISTEMULUI TERMIC SOLAR.....	95
4.4.	APARATURA FOLOSITĂ	96
4.4.1.	<i>Aparate de măsurare. Principii de funcționare. Mărimi măsurate la standul experimental.....</i>	96
4.4.2.	<i>Alte aparate folosite. Prezentare și funcționare</i>	102
4.4.3.	<i>Erori de măsurare</i>	105
5.	REZULTATE TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE.....	107
5.1.	CONDIȚII DE LUCRU. OBIECTIVELE CERCETĂRII.....	107
5.2.	SISTEME DE ACHIZIȚIE DE DATE	108
5.2.1.	<i>Modalități de achiziție a datelor</i>	108
5.2.2.	<i>Transmiterea la distanță a datelor. Comanda la distanță a sistemului termic solar.....</i>	110
5.3.	PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE. REZULTATE OBTINUTE	115
5.3.1.	<i>Calculul randamentului captatoarelor solare.....</i>	115
5.3.2.	<i>Calculul capacității de stocare a rezervorului</i>	116
5.3.3.	<i>Cantitatea de căldură medie furnizată de sistemul termic solar</i>	120
5.3.4.	<i>Analiza economică</i>	120
5.3.5.	<i>Analiza ecologică</i>	122
5.3.6.	<i>Determinarea variației în timp a parametrilor dezvoltați de standul experimental</i>	123
5.3.7.	<i>Determinarea valorilor iluminării pentru locația dată, în condițiile climatice actuale. Comparație cu literatura de specialitate</i>	129
5.3.8.	<i>Analize comparative privind variația iluminării în timp.....</i>	130
5.3.9.	<i>Analiza influenței iluminării asupra parametrilor dezvoltați de standul experimental, pe durata cercetării.....</i>	135
5.3.10.	<i>Analiza variației temperaturilor în timpul serii/noapții</i>	146
5.3.11.	<i>Analiza influenței unghiului de înclinare a panourilor solare față de orizontală asupra temperaturii ape calde.....</i>	148
5.3.12.	<i>Analiza influenței mediului exterior asupra parametrilor T_1 și T_2...</i>	151
6.	CONCLUZII. CONTRIBUȚII	154
6.1.	CONCLUZII GENERALE	154
6.2.	CONTRIBUȚII.....	156

6.2.1. Contribuții teoretice	156
6.2.2. Contribuții experimentale.....	156
6.2.3. Contribuții privind extinderea domeniului de aplicabilitate	157
BIBLIOGRAFIE	158
ANEXE.....	165

LISTA FIGURILOR

- Fig.1.1. Aplicațiile utilizării energiei solare (foto Grecia)
Fig.2.1. Spectrul radiației solare
Fig.2.2. Lumina corespunzătoare spectrului vizibil
Fig.2.3. Unghiul de înălțare solară (γ_s), masa aerului (AM) pentru zile diferite, în Berlin și Cairo.
Fig.2.4. Radiația solară pentru zilele senine de vară (2 iulie) și iarnă (28 dec.) în orașul Karlsruhe din sudul Germaniei.
Fig.2.5. Suprafața Saharei, care ar putea furniza energia necesară globală anuală.
Fig.2.6. Razele solare trecând prin atmosferă
Fig.2.7. Componenta radiației difuze în funcție de factorul k_T și unghiul de înălțare solară γ_s
Fig.2.8. Definiția unghiului solar de incidență pe o suprafață înclinată θ_{inclin}
Fig.2.9. Radiația solară pe o suprafață orizontală A_{oriz} și pe o suprafață înclinată A_s perpendiculară pe direcția razelor solare
Fig.2.10. Sistem de urmărire uniaxial folosit la panourile plane
Fig.2.11. Sistem de urmărire biaxial folosit la panourile plane
Fig.2.12. Sistem de urmărire a traiectoriei soarelui
Fig.2.13. Panou parabolic termo-solar
Fig.2.14. Radiația anuală pe suprafețe înclinate diferit în Berlin
Fig.2.15. Radiația anuală pe suprafețe înclinate diferit în Cairo
Fig.2.16. Potențialul solar în Europa
Fig.2.17. Potențialul solar în România
Fig.2.18. Circuitul electric al aparatului Solaris1
Fig.2.19. Rezultate comparative între Solaris 1 și albedometru
Fig.2.20. Piranometrul CM11
Fig.2.21. Ecranarea piranometrului cu un colier
Fig.2.22. Luxmetrul Mavolux 5032 B/C (Gossen)
Fig.2.23. Reprezentarea celor trei mărimi fotometrice: intensitatea luminoasă $I_v(\text{cd})$, fluxul luminos $\Phi_v(\text{lm})$ și iluminarea $E_v(\text{lx})$
Fig.2.24. Comportarea corpurilor sub acțiunea unui fascicul de radiații calorice
Fig.2.25. Schimbător de căldură tubular
Fig.3.1. Transferul de căldură prin n straturi de suprafață identică (A)
Fig.3.2. Principiul de funcționare al sistemului solar pentru încălzirea bazinelor de înot
Fig.3.3. Captatoare solare cu tuburi vidate
Fig.3.4. Captatoare solare plane
Fig.3.5. Principiul de funcționare al sistemului termic solar cu circuit gravitațional (termosifon)
Fig.3.6. Sistem solar termosifon (foto Grecia)
Fig.3.7. Principiul de funcționare al sistemului termic solar cu circuit dublu și circulație forțată
Fig.3.8. Rezervor de stocare a apei calde, cu capace sferice
Fig.3.9. Variația în timp a temperaturii de stocare θ_s la un rezervor staționar $V=300(\text{l})$
Fig.3.10. Sisteme colectoare cu două rezervoare de stocare
Fig.3.11. Captator solar cu tuburi vidate
Fig.3.12. Principiul constructiv și principiul de funcționare al unui tub vidat
Fig.3.13. Tuburi vidate (stand)
Fig.3.14. Colector solar cu tuburi de evacuare
Fig.3.15. Incidența razelor solare pe panourile plane și pe panourile cu tuburi vidate
Fig.3.16. Captator solar compact
Fig.3.17. Secțiune transversală printr-un captator solar compact
Fig.3.18. Captatoare solare plane montate pe acoperiș (stânga) și la sol (dreapta)
Fig.3.19. Desfășurarea proceselor într-un captator solar plan
Fig.3.20. Principiul transformării energiei solare în energie termică și pierderile termice din captatoarele solare plane
Fig.3.21. Desfășurarea proceselor în carcasa de sticlă a unui captator solar plan
Fig.3.22. Variante constructive de suprafețe absorbante

- Fig.3.23. Fluxul termic prin diferite suprafețe absorbante
Fig.3.24. Spectrul radiațiilor pentru corpul negru și diferite suprafețe absorbante
Fig.3.25. Secțiune printr-un captator solar plan
Fig.3.26. Randamentul panoului solar cu tuburi vidate în funcție de diferența de temperatură ($\theta_c - \theta_A$) și radiația solară E.
- Fig.4.1. Standul experimental. Schema
Fig.4.2. Standul experimental. Partea de captare a energiei solare
Fig.4.3. Standul experimental. Partea de transformare în energie termică și monitorizare
Fig.4.4. Montarea panourilor solare pe suportul pentru acoperiș
Fig.4.5. Sistem de prindere al suportului pe acoperiș
Fig.4.6. Panoul solar cu tuburi vidate și suportul pentru montarea la sol. Dimensiuni.
Fig.4.7. Condensatorul-colector, suportul cadru și panoul reflector, în timpul montajului.
Fig.4.8. Panouri solare montate pe acoperiș (faza intermediară)
Fig.4.9. Panouri solare montate pe acoperiș (faza finală)
Fig.4.10. Tuburile de sticlă
Fig.4.11. Montarea tuburilor de sticlă
Fig.4.12. Montarea tubului vidat în condensator-colector
Fig.4.13. Condensatorul-colector, fără tuburi montate
Fig.4.14. Condensator-colector. Secțiune
Fig.4.15. Condensator-colector cu tuburi vidate montate
Fig.4.16. Tub vidat montat în condensator
Fig.4.17. Schema de montare a rezervorului de apă cu o serpentină
Fig.4.18. Vas de expansiune
Fig.4.19. Luxmetrul Extech 401036 utilizat la standul experimental
Fig.4.20. Luxmetrul Extech 401036. Componente
Fig.4.21. Curba spectrală a luxmetrului
Fig.4.22. Manometrul utilizat la standul experimental
Fig.4.23. Termometrele utilizate la standul experimental
Fig.4.24. Contor de energie termică G20 (Kundo)
Fig.4.25. Microcontrolerul X2 sau calculatorul de proces (stand)
Fig.4.26. Filtru atenuator montat pe senzorul de lumină al luxmetrului (stand)
Fig.4.27. Pompa de recirculare (stand)
Fig.4.28. Graficul funcționării pompei de apă
- Fig.5.1. Transferul de date de la luxmetru la computer. Descărcarea datelor în memoria computerului
Fig.5.2. Înregistrare valori măsurate de senzori (S_1 și S_2). Vizualizare grafică
Fig.5.3. IRIS Starter Kit
Fig.5.4. Stand experimental. Schema constructivă cu stația radio
Fig.5.5. Realizarea conexiunilor pentru modulul IRIS
Fig.5.6. Comanda la distanță și transmiterea la distanță a datelor
Fig.5.7. Realizarea conexiunii între microcontroler și modulul IRIS 1
Fig.5.8. Realizarea conexiunii între modul IRIS 2 și PC
Fig.5.9. Date preluate de receptorul radio
Fig.5.10. Date prelucrate. Graficul de variație a temperaturilor
Fig.5.11. Rezervor de apă caldă. Dimensiuni principale
Fig.5.12.a. Reprezentarea grafică a funcției $\theta_s(t) = \exp(-0,151t) \cdot 75 + 20$
Fig.5.12.b. Reprezentarea grafică a funcției $\theta_s(t) = \exp(-0,151t) \cdot 21,3 + 20$
- Fig.5.13. Citirea fișierelor în MathCAD. Exemplu
Fig.5.14. Funcțiile folosite la prelucrarea datelor experimentale (1)
Fig.5.14. Funcțiile folosite la prelucrarea datelor experimentale (2)
Fig.5.16. Date statistice calculate. Exemplu
Fig.5.17. Reprezentarea grafică a temperaturilor. Exemplu
Fig.5.18. Reprezentarea grafică a iluminării. Exemplu
Fig.5.19. Prelucrarea datelor cu funcții spline de interpolare. Exemplu
Fig.5.20. Variația în timp a diferenței de temperatură $\Delta T = T_2 - T_1$ (°C). Exemplu
Fig.5.21. Variația în timp a mărimilor monitorizate. Forma finală. Exemplu
Fig.5.22. Iluminarea maximă înregistrată, 24.05.2008

- Fig.5.23. Variația iluminării în timp, 8.05.2007 și 8.05.2008
Fig.5.24. Variația iluminării în timp, 9.05.2007 și 9.05.2008
Fig.5.25. Variația iluminării în timp, 10.02.2007 și 10.02.2008
Fig.5.26. Variația iluminării în timp, 20.07.2007 și 20.07.2008
Fig.5.27. Variația iluminării în timp. Valori extreme înregistrate pe parcursul studiului experimental
Fig.5.28. Variația iluminării în timp. Valori înregistrate în condiții atmosferice diferite din aceeași lună
Fig.5.29. Variația iluminării în timp. Valori înregistrate pentru zile cu cer senin iarna/vara (1)
Fig.5.30. Variația iluminării în timp. Valori înregistrate pentru zile cu cer senin iarna/vara (2)
Fig.5.31. Influența iluminării asupra temperaturilor, 9.12.2006
Fig.5.32. Influența iluminării asupra temperaturilor, 21.01.2007
Fig.5.33. Influența iluminării asupra temperaturilor, 18.02.2007
Fig.5.34. Influența iluminării asupra temperaturilor, 5.03.2007
Fig.5.35. Influența iluminării asupra temperaturilor, 16.03.2007
Fig.5.36. Influența iluminării asupra temperaturilor, 4.04.2007
Fig.5.37. Influența iluminării asupra temperaturilor, 9.05.2007
Fig.5.38. Influența iluminării asupra temperaturilor, 20.07.2007
Fig.5.39. Influența iluminării asupra temperaturilor, 28.07.2007
Fig.5.40. Influența iluminării asupra temperaturilor, 2.10.2007
Fig.5.41. Influența iluminării asupra temperaturilor, 13.10.2007
Fig.5.42. Influența iluminării asupra temperaturilor, 28.10.2007
Fig.5.43. Influența iluminării asupra temperaturilor, 24.11.2007
Fig.5.44. Influența iluminării asupra temperaturilor, 12.01.2008
Fig.5.45. Influența iluminării asupra temperaturilor, 10.02.2008
Fig.5.46. Influența iluminării asupra temperaturilor, 24.02.2008
Fig.5.47. Influența iluminării asupra temperaturilor, 1.05.2008
Fig.5.48. Influența iluminării asupra temperaturilor, 3.05.2008
Fig.5.49. Influența iluminării asupra temperaturilor, 8.05.2008
Fig.5.50. Influența iluminării asupra temperaturilor, 19.07.2008
Fig.5.51. Variația temperaturilor, noaptea, 9/10.05.2008
Fig.5.52. Variația temperaturilor, noaptea, 10.05.2008
Fig.5.53. Variația temperaturilor, noaptea, 13.05.2008
Fig.5.54. Unghiul de înclinare a panourilor solare față de orizontală α , poziția 1
Fig.5.55. Fixarea panourilor solare cu unghiul de înclinare $\alpha=45^\circ$, (poz.1)
Fig.5.56. Unghiul de înclinare a panourilor solare față de orizontală α , poziția 2
Fig.5.57. Fixarea panourilor solare cu unghiul de înclinare $\alpha=66^\circ$, (poz.2)
Fig.5.58. Unghiul de înclinare a panourilor solare față de orizontală α , poziția 3
Fig.5.59. Fixarea panourilor solare cu unghiul de înclinare $\alpha=33^\circ$, (poz.3)
Fig.5.60. Variația parametrilor, 14.01.2007
Fig.5.61. Variația parametrilor, 20.01.2007
Fig.5.62. Variația parametrilor, 25.02.2007
Fig.5.63. Variația parametrilor, 17.02.2008

LISTA TABELELOR

- Tabelul 2.1. Factorii de influență ai radiației solare
- Tabelul 2.2. Valorile lunare ale radiației globale medii zilnice (kWh/m²)
- Tabelul 2.3. Valorile lunare ale radiației medii zilnice directe și difuze (kWh/m²), în Berlin și Cairo
- Tabelul 2.4. Valorile anuale ale radiației medii zilnice directe și difuze (kWh/m²), în orașele lumii
- Tabelul 2.5. Influența unor factori asupra densității de putere radiantă E
- Tabelul 3.1. Mărimi termodinamice
- Tabelul 3.2. Caracteristicile materialelor de stocare la temperaturi joase
- Tabelul 3.3. Cererea de apă caldă a clădirilor rezidențiale (Germania)
- Tabelul 3.4. Coeficientul de convecție (α) și coeficientul global de transmitere a căldurii (k) pentru diferite materiale convenționale și pentru materiale izolante transparente
- Tabelul 3.5. Valorile coeficienților de absorbție (A) sau emisie (e), transmisie (D) și reflexie (R) pentru diferite tipuri de materiale absorbante
- Tabelul 3.6. Randamentul optic η_o și coeficienții de convecție a_1 și a_2 ai captatoarelor solare având ca arie de referință aria suprafeței absorbante A_c
- Tabelul 4.1. Valorile naturale ale iluminării
- Tabelul 4.2. Valorile iluminării medii pentru spații cu destinații diferite
- Tabelul 5.1. Prețurile medii ale energiei obținute convențional/neconvențional
- Tabelul 5.2. Factorii de emisie e_{CO_2}
- Tabelul 5.3. Valorile standardizate ale factorului de emisie CO₂ (kg/kJ)
- Tabelul 5.4. Cantitatea de CO₂,E(kg/an), emisă pentru obținerea energiei termice $E_a=1600kWh/an$
- Tabelul 5.5. Valori naturale ale iluminării obținute din măsurători. Comparație cu literatura

INDEX NOTAȚII

A - albedo, coeficient de absorbție
 A_c - aria suprafeței absorbante a unui captator solar cu tuburi vidate
AM - masa aerului
 A_{oriz} - aria suprafeței orizontale
 A_s - aria suprafeței perpendiculare pe direcția luminii solare
 A_t - aria suprafeței absorbante a unui tub vidat:
a - coeficient de convecție
 $a_{1,2}$ - coeficienți de absorbție
a,b - constante de aparat (Solaris1)
 β - porozitatea materialului
c - căldura specifică (masică)
 $C_{1,2,3}$ - constante
dt - interval de timp
D - coeficient de difuzie, transmisie
 $\Delta T, dT$ - diferența de temperatură, $\Delta T = T_2 - T_1$
E - densitatea de putere radiantă, radiația solară, radiația solară globală, energia, iluminarea din fața filtrului, care se aplică asupra panourilor solare
 E_{dir} - radiația directă E_{dir}
 E_{dif} - radiația difuză E_{dif} pe o suprafață orizontală
 $E_{dir, inclin}$ - radiația directă pe o suprafață înclinată
 $E_{dif, inclin}$ - radiația difuză pe o suprafață înclinată
 $E_{dir, s}$ - radiația directă pe o suprafață perpendiculară pe direcția razelor solare
 $E_{dir, oriz}$ - radiația directă pe o suprafață orizontală
 E_e - iluminare energetică, radianță, iradiere
 E_g - radiația globală
 $E_{g, inclin}$ - radiația globală pe o suprafață înclinată
 $E_{g, oriz}$ - radiația globală pe o suprafață orizontală
 E_i - valoarea indicată de luxmetru
 E_n - radiația medie pentru durată medie zilnică corespunzătoare măsurătorilor
 E_0 - energia totală radiantă, puterea totală de emisie a corpului negru
 E_r - reflexia terestră E pe o suprafață înclinată
 $E_{R, D, A}$ - energie reflectată, difuzată prin corp, absorbită
 E_T - iluminarea din spatele filtrului
 E_v - iluminare, iluminarea energetică
e - factor de emisie
 F_1, F_2 - coeficienți ai luminozității solare
 ϕ - putere radiantă, flux energetic solar
 Φ_v - flux luminos
 Φ_e - flux energetic
 γ_s - unghiul de înălțare solară
 H_v - expunere
 H_1 - limita maximă a lui $\Delta T = T_2 - T_1$
I - intensitatea globală a radiației măsurate de Solaris 1
 I_e - intensitate energetică
 I_s - valoarea adevărată a intensității globale
 I_v - intensitatea luminoasă

i - intensitatea semnalului electric
 k, k' - coeficient global de schimb de căldură
 k_T - factor
 λ - lungimea de undă, conductivitatea unui corp, coeficient global de transmitere a căldurii
 $\lambda_{1,2}$ - coeficienți de transfer termic
 L_1 - limita minimă a lui $\Delta T = T_2 - T_1$
 M_v - emitanță luminoasă
 M - masa molară
 m - masa corpului
 n - vectorul normalei la o suprafață dată
 η - eficacitate energetică, randament
 η_0 - randament optic
 n - versorul normalei
 p_a - presiunea atmosferică pa
 P - puterea electrică a sursei
 Q' - flux de căldură, flux termic
 Q - căldura
 Q_v - energie luminoasă
 q - flux termic unitar
 ρ - densitatea
 R - coeficient de reflexie
 S - aria suprafeței corpului
 s - vectorul direcției solare
 S - sensibilitatea aparatului
 S_1, S_2 - senzorii care măsoară temperaturile T_1 și T_2
 T - temperatura termodinamică
 T_2 - temperatura la ieșirea din panourile solare
 T_1 - temperatura la ieșirea din rezervorul cu apă caldă
 T_r - transmitanța filtrului
 T_{rm} - transmitanța medie a filtrului
 T_{ext} - temperatura mediului exterior
 τ - câmpul de temperatură, timpul de stocare
 t - temperatura
 θ - temperatura de stocare
 θ_{hor} - unghiul de incidență solară pe o suprafață orizontală; unghiul zenitului θ_z
 θ_{inclin} - unghiul de incidență solară pe o suprafață înclinată
 $\delta_{Ei\%}$ - eroarea relativă a luxmetrului
 u - umiditatea aerului
 u_{Ei} - incertitudinea de măsurare a luxmetrului
 u_E - incertitudinea rezultatului
 U - tensiunea la ieșirea din piranometru
 V - volumul
 W_e - energie radiantă
 y - vector de poziție

1. INTRODUCERE ÎN TEMATICA LUCRĂRII

1.1. Prioritățile cercetării în domeniul energiilor regenerabile

Sectorul energetic regenerabil prezintă o creștere de zece ori de la 1,5 miliarde euro în 1990 la 15 miliarde euro în 2004 și abia a început să-și demonstreze potențialul imens. Contribuția sa va favoriza creșterea economiei europene și creșterea forței de muncă cu 1 milion de oameni, până în 2010 [*****9]. Expansiunea industriei energetice regeneratoare viitoare se bazează pe companiile tehnice mici și medii cu abilitatea de a asimila și comercializa cunoștințele noi științifice.

Cercetarea energiei regeneratoare – o investiție pentru un viitor energetic de bază

Europenii au acceptat folosirea producției de energie regeneratoare (2002), când au votat pentru cercetarea surselor regenerabile, în defavoarea cercetării combustibililor fosili sau nucleari. Printre motive s-au numărat: *producerea de energie fără emisii de CO₂ și reducerea dependenței de energia importată*. Sectorul energetic regenerabil poate aduce contribuții substanțiale într-un număr mare de politici UE.

Există un început în favoarea sectorului energetic regenerabil, acesta fiind rezultatul unor discuții, unele purtate în decurs de trei ani, între reprezentanții din cercetare și industrie, cu mesajul clar, că este nevoie de progres în toate domeniile, fie că este bioenergie, energie solară termică, energie solară fotovoltaică, hidroenergie, energie eoliană, energie geotermală. În urma discuțiilor s-a stabilit că programele europene de cercetare necesită [*****9] :

- un buget anual de 250 milioane € pentru cercetarea energiilor regeneratoare;
- un buget exclusiv pentru tehnologiile energetice regenerabile;
- mecanisme de preluare a rezultatelor cercetării de către industrie;

Beneficiile energiilor regenerabile în domeniul economico-social și al mediului înconjurător

Energiile regenerabile reprezintă un sector în dezvoltare: utilizarea energiilor regenerabile a crescut de zece ori în 2004 față de 1990: de la 1,5 miliarde € la 15 miliarde € [*****9].

Industria eoliană din Germania a crescut cu 35% în 2003 față de 1990.

Industria fotovoltaică (PV) a avut creșteri și mai mari, de 45 % pe an la capacitatea instalată în Europa din 1999, valoarea ei pe piața europeană fiind în 2004 de aprox. 1 miliard €.

Industria termică solară a crescut între 1999-2004 de la 5.600 la 9.800 MW (cu 14 milioane m² arie de colectare). În această perioadă, unele țări ca Germania au avut rata de creștere de 20%.

Biomasa: Europa deține locul I în dezvoltarea tehnologiilor de generare a electricității din biomasă. UE-15 a avut o creștere de 90% dintre țările OECD la electricitatea produsă în acest fel între 1990-2002, biomasa furnizând 4% din energia UE, în principal pentru încălzire, fiind unica sursă energetică regenerabilă de producere a carburanților lichizi pentru transport.

Industria energetică regenerabilă forțează guvernele europene să aibă ca țintă: 20% din energia primară consumată în Europa să provină din surse regenerabile până în anul 2020 [*****9].

Perspective: industria globală eoliană este capabilă să reprezinte anual 80 miliarde de €, în timp ce industria PV mondială poate avea o valoare de 60 miliarde de €.

Angajarea de personal în industria energetică regeneratoare în Europa

Sectorul eolian

Numărul de persoane angajate atât direct cât și indirect în fabricarea turbinelor eoliene a ajuns la 72.000 în Europa, până în 2002.

În 2003 aproape 80% din turbinele vândute pe plan mondial au fost produse de companiile europene.

Încălzirea și răcirea termică solară

Europa a instalat 1GW în 2003, dar este mult departe de China, cu 7GW.

Sectorul fotovoltaic

La mijlocul anului 2004, companiile europene au furnizat 26% din piața celulară mondială. Între anii 1996-2006 Japonia a crescut partea sa pe piață la aprox. 59%.

Reducerea emisiilor de bioxid de carbon – un beneficiu important pentru mediu

Capacitatea energetică regeneratoare instalată în Europa economisește anual 130 milioane tone de CO₂ (excluzând electricitatea de la centralele hidroelectrice mari). Reducerea emisiilor de CO₂ datorate exploatării surselor energetice regeneratoare se prevede să atingă 320 milioane de tone până în 2010 (ținta din „Foaia Albă” a Comisiei Europene -1997), adică 12% din consumul primar de energie să devină energie regenerabilă până la data respectivă. Începând cu anul 1990 EU a trebuit să reducă emisiile de CO₂ cu 338 milioane tone.(Protocolul de la Kyoto)

Costuri externe și subsidiare în sectorul energetic

Formele de energie convențională sunt responsabile de poluarea care distruge economia și eco-sistemele. În prețul energiei nu este cuprinsă repararea daunelor. Studiile recente au arătat, că poluarea și costurile acesteia afectează sănătatea umană, distruge clădirile și agricultura, contribuie la încălzirea globală, în timp ce energia regenerabilă are costuri externe foarte puține. Un studiu a arătat, că în SUA, industria nucleară a primit de 30 de ori mai multă subvenție per kWh decât cea eoliană, în primii 15 ani de dezvoltare industrială. În aceeași perioadă, industria eoliană a produs 1,9 TW electricitate, iar industria nucleară 2,9 TW, arătând că energia regeneratoare poate da un răspuns bun investiției publice care i se acordă. [*****9]

Obiectivele strategice ale Comisiei Europene 2005-2009: creșterea securității rezervelor de energie, care să fie furnizată printr-un efort concentrat de a reduce cererea de energie și promovarea energiilor regeneratoare.

Forumul Economic Mondial de la Davos (23-27.01.2008)

S-a aprobat planul de măsuri pentru lupta împotriva încălzirii climatice cu un cost estimat la „3 euro/săptămână/persoană”, până în 2010. Este vorba de o scădere cu 20% a emisiilor de gaze cu efect de seră până în 2020 în raport cu 1990 și de o creștere până la 20% a ponderii energiilor regenerabile. [*****26]

1.2. Energetica și energia solară

Situația energetică actuală este marcată de utilizarea combustibililor fosili și nucleari (uraniu) ale căror surse se vor epuiza pe viitor. Conform [H1], se estimează următoarele durate de viață: cărbunele brun - 550 ani, huila -150 ani, gazele naturale - 65 ani și petrolul - 43 ani. La acestea, se adaugă creșterea de aprox. 10 ori a necesarului energetic datorat industrializării și creșterea populației globului în următorii 30 ani, până la 8 miliarde. Prin urmare, necesarul energetic suplimentar va fi de 60%, ceea ce nu poate fi acoperit de către rezervele de combustibili fosili (petrol și gaze). Mai rămân, cărbunii și combustibilii nucleari. Extinderea tehnicii atomice trebuie redusă din motive de siguranță. Cel mai mare dezavantaj al arderii cărbunelui este că, prin arderea sa, se formează dioxidul de carbon - CO₂ - gaz cu efect de seră, responsabil de schimbările climatei. Consecințele modificării climatei sunt vizibile, în parte (furtuni, inundații).

În anul 2000, *ponderea surselor regenerabile în producția totală de energie primară* pe plan mondial era de 13,8 %. Din analiza ratelor de dezvoltare din ultimele trei decenii, rezultă că energia produsă din surse regenerabile a înregistrat o creștere anuală de 2%. [*****44]

Unele țări și-au propus deja investiții masive în sursele energetice alternative: în SUA și Canada se dau credite cu dobândă zero pentru cei care-și trec consumul casnic pe pompe de căldură, în Franța se fac investiții naționale în generatoare eoliene și instalații solare, astfel ca *până în 2010, 20% din consumul energetic să fie acoperit din surse alternative*. [*****44]

Energia oferită de Soare diferă de la o regiune la alta a globului, valorile fiind cuprinse într-un domeniu larg [H1]: sub 800 kWh/m² pe an, în Groenlanda și la Poli și 2500 kWh/m² pe an în deșert (Sahara, Kalahari, Pen. Arabica, Africa de sud, NV Australiei, Mexic) și în regiunile înalte ale Terrei (Anzi). Aceasta se datorează atenuării diferite a radiației solare, în drumul parcurs spre atmosfera terestră. De regulă, un drum scurt parcurs de radiație (la ecuator, în zonele înalte) și o frecvență redusă a norilor duc la valori mari ale radiației globale anuale.

În cadrul Uniunii Europene, Grecia este pe primul loc cu o suprafață instalată de 3mil.m² panouri solare, pe locul doi este Germania peste 2,5mil.m², după care urmează Austria cca. 2,1 mil.m², Norvegia, Suedia, Spania, Portugalia, Italia etc.

Aplicațiile utilizării energiei solare sunt numeroase: încălzirea apei menajere și a apei piscinelor, încălzirea și climatizarea clădirilor, refrigerarea, uscarea, producerea energiei electrice prin conversie fotoelectrică, distilarea apei, obținerea unor combustibili și produse chimice prin bioconversie, cuptoare solare, pompe solare.



Fig. 1.1. Aplicațiile utilizării energiei solare. (foto Grecia)

1.3. Avantaje și dezavantaje ale utilizării energiei solare ca sursă nepoluantă

În estimarea posibilităților de utilizare a energiei solare se consideră avantajele și dezavantajele ei.

Avantaje:

- energia solară este practic inepuizabilă și regenerabilă;
- este o formă de energie nepoluantă (emisii de CO₂ nule);
- este disponibilă practic pretutindeni în lume;
- "combustibilul" solar este gratuit (nu se comercializează);
- nu produce deșeuri, componentele unui sistem energetic solar sunt reciclabile (comparativ cu combustibilii fosili);
- oferă siguranță în exploatare (comparativ cu combustibilii nucleari).

Dezavantaje:

- radiația solară incidentă pe Pământ este variabilă, ea depinzând de ciclul zi/noapte, de anotimpuri, de condițiile meteorologice locale și de poziția geografică;
- energia solară pe suprafața Pământului este dispersată, atingând la amiază, în cele mai bune condiții cca. 1 kW/m² [D2];
- costul ridicat al investiției inițiale în sistemele solare;
- amortizarea investiției se face în câțiva ani;
- $1\text{kWh}_{\text{nec}} = 4\text{kWh}_{\text{conv}}$.

Primul dintre dezavantaje poate fi minimizat prin utilizarea unor sisteme de orientare după soare, a panourilor solare.

Al doilea dezavantaj se poate minimiza prin montarea panourilor solare pe suprafețe mai puțin adecvate pentru anumite scopuri (de exemplu: acoperișurile clădirilor, deșerturi, suprafețe întinse de apă etc.)

Costul investiției inițiale într-un sistem energetic solar se poate minimiza prin montarea unui singur sistem în scopul deservirii mai multor persoane (grupuri de locuințe, chiar cartiere de locuințe).

Folosirea materialelor plastice pentru colectorii cu performanță termică și optică mare, ar putea reduce semnificativ costurile sistemelor termice solare.

2. STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII REFERITOARE LA TEORIA RADIAȚIEI SOLARE

2.1. Abordări teoretice și experimentale privind radiația solară

2.1.1. Radiația solară pe suprafața pământului

Radiația solară este radiația electromagnetică emisă de soare, având lungimi de undă din întreg spectrul undelor electromagnetice (0,28...2,5 μm), astfel: 3% lumină ultravioletă ($\lambda=0,28 - 0,38\mu\text{m}$), 42% lumină vizibilă ($\lambda=0,38 - 0,78\mu\text{m}$) și 55% lumină infraroșie ($\lambda=0,78 - 2,5 \mu\text{m}$).[Q1]

Trecând prin atmosfera pământului, o parte a radiației solare este absorbită, încălzind aerul, o altă parte este împrăștiată de moleculele aerului, vaporii de apă și pulberile din atmosferă, aceasta constituind *radiația solară difuză*, dar cea mai mare parte ajunge pe suprafața pământului, constituind *radiația solară directă*. Cea mai mare parte (cca. 50%) din energia solară incidentă se situează în spectrul luminii vizibile. Maximul energiei radiante este în spectrul luminii verde – galben.

Valorile radiației solare măsurate pe suprafața pământului sunt de obicei mai mici decât constanta solară ($E=1,353 \text{ kW/m}^2$) datorită diferitelor influențe: reflexiei atmosferei, absorbției în atmosferă (în principal O_3 , H_2O , O_2 și CO_2), disipărilor Rayleigh și Mie.

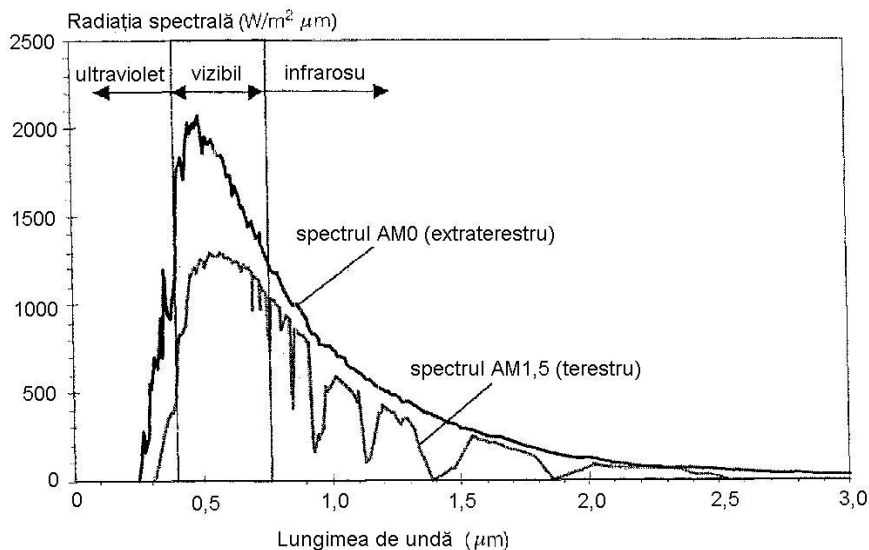


Fig. 2.1. Spectrul radiației solare [Q1].

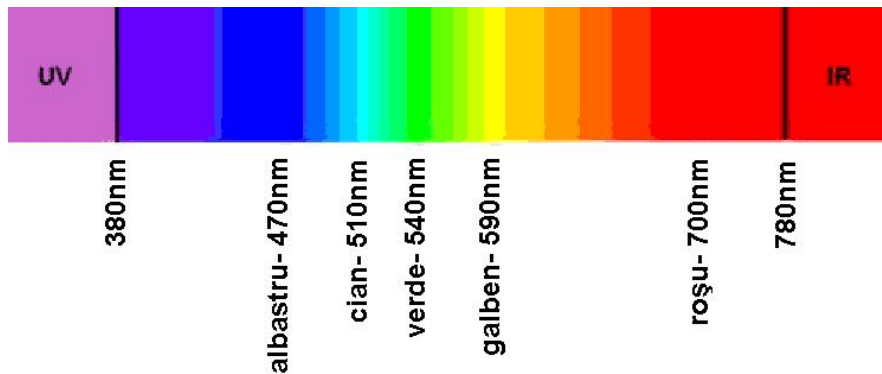


Fig. 2.2. Lumina corespunzătoare spectrului vizibil [*****37].

Absorbția luminii prin diferite gaze din atmosferă, cum ar fi vaporii de apă, ozonul și bioxidul de carbon este extrem de selectivă și influențează doar unele părți din spectru.

Fig.2.1. arată spectrul în afara atmosferei (AM0) și pe suprafața pământului (AM1.5). Spectrul descrie compoziția luminii și contribuția diferitelor lungimi de undă la radiația totală: 7% din spectrul extraterestru (AM0) se află în domeniul undelor ultraviolete, 47% în domeniul radiațiilor vizibile și 46% în domeniul radiațiilor infraroșii. Spectrul terestru (AM1,5) are reduceri semnificative la anumite lungimi de undă cauzate de absorbția de către diferite gaze atmosferice.

Particulele de aer având molecule cu diametre mai mici decât o lungime de undă luminoasă provoacă *disiparea Rayleigh*. Influența disipării Rayleigh crește odată cu scăderea unei luminoase. Particulele de praf și alte noxe din aer cauzează *disiparea Mie*. Diametrul acestor particule este mai mare decât lungimea de undă de lumină. Disiparea Mie depinde semnificativ de locații: în regiunile înalte, muntoase este relativ scăzută, în timp ce în regiunile industriale este de obicei mare.

Tabelul 2.1. arată contribuțiile disipărilor Mie, Rayleigh și ale absorbțiilor în funcție de diferite unghiuri de înălțare solară γ_s . Influențele climatice ca norii, zăpada și ceața pot cauza reduceri adiționale.

Relația dintre unghiul de înălțare solară (γ_s) și masa aerului (AM) [Q1]:

$$AM = \frac{1}{\sin \gamma_s} \quad (2.1)$$

Dacă Soarele este la zenit, AM=1, adică lumina trece prin atmosferă vertical; AM=0 în afara atmosferei.

Tabelul 2.1. Factorii de influență ai radiației solare. [Q1]

Unghiul de înălțare solară (γ_s)	Masa aerului (AM)	Absorbția (%)	Disiparea Rayleigh (%)	Disiparea Mie (%)	Reducerea totală (%)
90°	1,00	8,7	9,4	0 - 25,6	17,3 - 38,5
60°	1,15	9,2	10,5	0,7 - 29,5	19,4 - 42,8
30°	2,00	11,2	16,3	4,1 - 44,9	28,8 - 59,1
10°	5,76	16,2	31,9	15,4 - 74,3	51,8 - 85,4
5°	11,5	19,5	42,5	24,6 - 86,5	65,1 - 93,8

Sursa: Schulze, 1970

Fig.2.3. arată cea mai înaltă poziție a soarelui la prânz și valorile corespunzătoare ale masei aerului (AM) pentru zile diferite ale anului în orașele Berlin și Cairo.

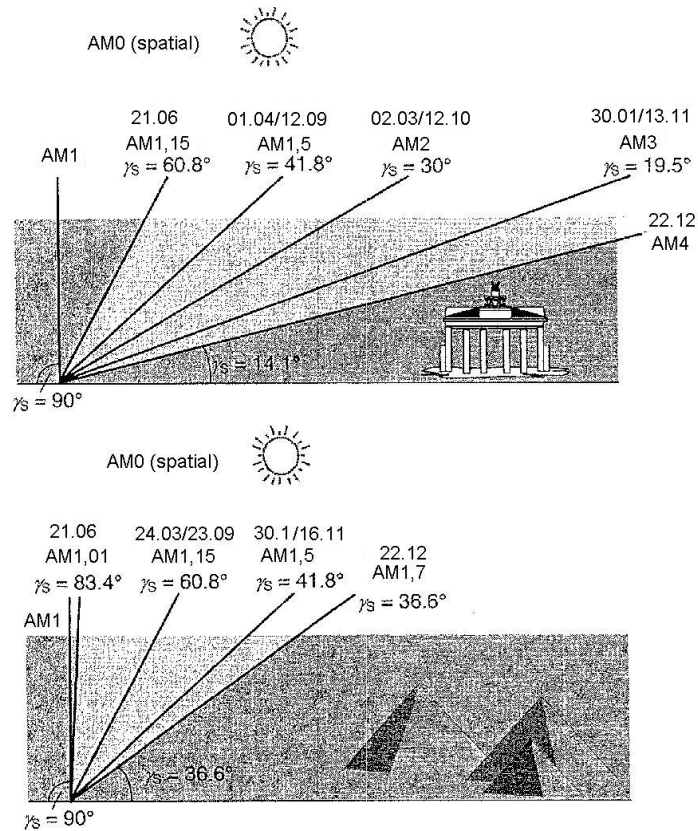


Fig. 2.3. Unghiul de înălțare solară (γ_s), masa aerului (AM) pentru zile diferite, în Berlin (sus) și Cairo (jos) [Q1].

Înălțimea soarelui influențează, de asemenea, radiațiile primite de suprafața pământului, care depind astfel de anotimp. Norii și vremea sunt de asemenea importanți.

Radiația solară în Europa Centrală poate atinge valori de peste 7,5 kWh/m² pe zi vara, în timp ce în unele zile de iarnă poate avea valori mai mici de 0,1 kWh/m² pe zi. Fig. 2.4. arată variațiile radiației solare pentru zilele senine vară (2 iulie) și iarnă (28 decembrie) în orașul Karlsruhe din sudul Germaniei.

Radiația solară anuală variază semnificativ pe glob. De exemplu, în Europa există diferențe mari între nord și sud, între vară și iarnă:

În Bergen (Norvegia, lat.60°N) radiația globală totală pe suprafața orizontală a pământului, în iunie față de decembrie este 40:1, în timp ce la Lisabona (Portugalia, lat.38,72°N) această radiație este doar de 3,3:1.

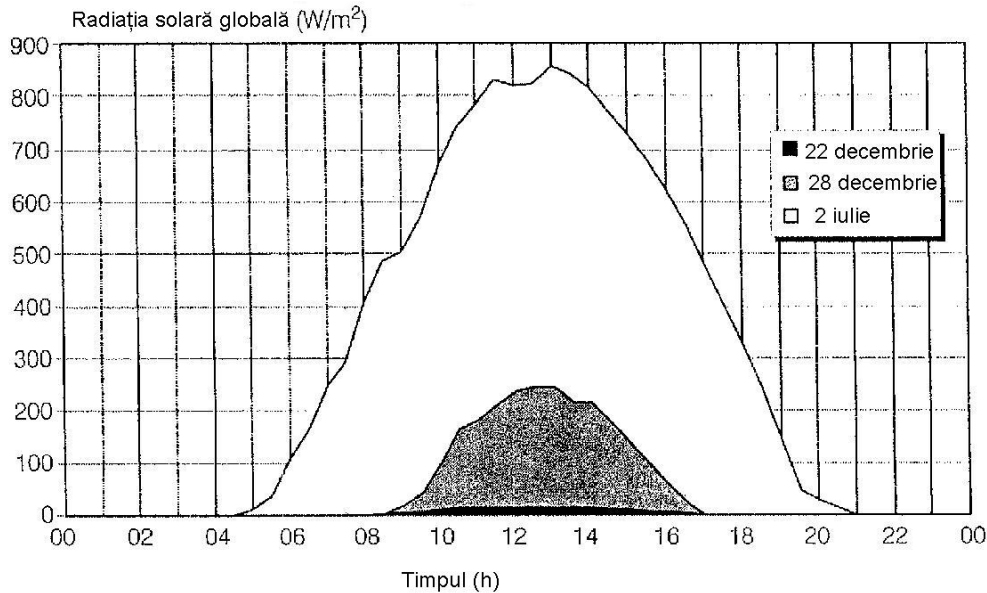


Fig. 2.4. Radiația solară pentru zilele senine de vară/iarnă în orașul Karlsruhe din sudul Germaniei [Q1].

Europa Centrală și cea Nordică au valorile radiațiilor globale anuale cuprinse între 700 kWh/m^2 pe an și 1000 kWh/m^2 pe an.

Tabelul 2.2. Valorile lunare ale radiației globale medii zilnice (kWh/m^2) [Q1]

	Bergen Norveg.	Berlin German	Londra M.B.	Roma Italia	L.A. SUA	Cairo Egipt	Bombay India	Uppington Africa S	Sydney Australia
Lat.	$60,40^\circ$ N	$52,47^\circ$ N	$51,52^\circ$ N	$41,80^\circ$ N	$33,93^\circ$ N	$30,08^\circ$ N	$19,12^\circ$ N	$28,40^\circ$ S	$33,95^\circ$ S
ian	0,20	0,61	0,56	1,70	2,88	3,09	4,74	8,08	6,41
feb	0,72	1,14	1,10	2,54	3,97	4,00	5,56	7,45	5,57
mar	1,71	2,44	2,07	3,78	5,14	5,15	6,29	6,26	4,72
apr	3,27	3,49	3,04	4,99	6,47	6,27	6,72	5,19	3,47
mai	4,13	4,77	4,12	6,03	6,55	7,03	6,77	4,26	2,63
iun	4,85	5,44	4,99	6,59	6,57	7,56	4,99	3,72	2,38
iul	4,15	5,26	4,38	6,86	7,38	7,34	3,84	4,04	2,52
aug	3,49	4,58	3,62	6,16	6,82	6,76	3,86	4,95	3,47
sep	1,86	3,05	2,71	4,69	5,26	5,87	4,65	6,09	4,66
oct	0,94	1,59	1,56	3,29	4,24	4,69	5,11	7,21	5,63
nov	0,30	0,76	0,81	2,02	3,22	3,45	4,73	8,27	6,40
dec	0,12	0,45	0,47	1,51	2,72	2,86	4,46	8,49	6,69
Med	2,15	2,81	2,46	4,19	5,10	5,34	5,14	6,17	4,55

Sursa: Palz și Greif, 1996; NASA, 2003

În Europa Sudică această radiație poate fi mai mare decât 1700 kWh/m^2 pe an și în regiunile deșertice ale Ecuatorului cifra este de 2500 kWh/m^2 pe an.

Latitudinea poate da indicații aproximative a radiațiilor anuale, deoarece efectele locale au un impact major asupra energiei care atinge suprafața pământului. De exemplu, radiația anuală la Stockholm (Suedia) și Berlin (Germania)

este aproape aceeași, deși latitudinea în Stockholm este cu 70 mai mare decât în Berlin. Pe de altă parte, radiația anuală în Londra, care este mai la sud decât Berlinul, este semnificativ mai mică.

Tabelul 2.2. ne dă o privire de ansamblu asupra mediei valorilor radiațiilor globale anuale pentru câteva locații din lume. Acesta demonstrează clar, că există variații semnificative între locații diferite. Radiația exactă la locul respectiv este cerută de proiectarea sistemelor de energie solară. Aceasta poate fi estimată folosind datele de baze existente. Câteva dintre datele de baze gratuite de pe Internet oferă valori lunare ale radiației solare pentru mai multe locații din lume, unele oferind chiar și seturi de date orare ale radiațiilor pentru unele situri (ex satellight.com). Programele de computer, de exemplu Metronom, pot fi folosite pentru interpolarea parametrilor meteorologici a unui sit dat pe baza măsurătorilor luate în locații apropiate de situl propus.

Radiația anuală primită de suprafața Saharei (în jur de 8,7 mil. km²) este de aproape 2350 kWh/m² pe an, fiind mai mare decât necesarul de energie primară globală anuală. Necesarul de energie globală primară ar putea fi furnizat prin colectarea energiei solare de pe 48.500 km² din Sahara, o arie puțin mai mare decât Elveția, sau 1/9 din cea a Californiei (fig.2.5.). *Aceste cifre arată clar că este posibil să furnizăm cererea de energie globală întregă doar din energia solară.*[*****50]

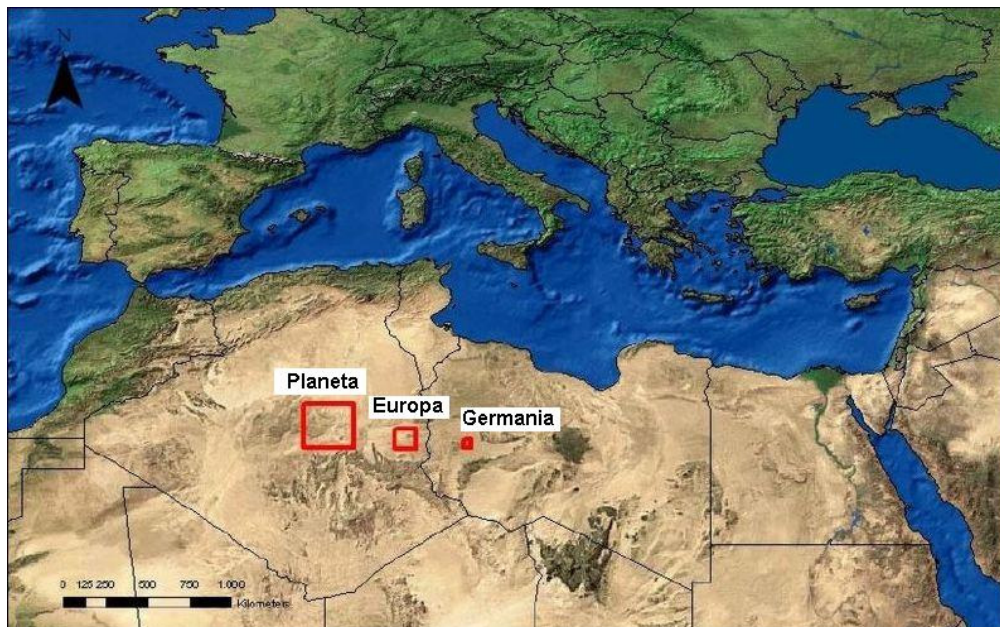


Fig. 2.5. Suprafața Saharei, care ar putea furniza energia necesară globală anuală [*****50].

2.1.2. Radiația solară pe o suprafață orizontală

După cum este descris mai sus, energia solară este împrăștiată și reflectată prin atmosferă. Razele de lumină solară extraterestră sunt virtual paralele. Lumina solară terestră constă din componenta directă și componenta difuză. Radiația solară directă formează umbre deoarece este direcțională, venind direct de la soare, iar

radiația difuză nu are direcție definită. Radiația totală pe suprafața orizontală a Pământului este numită și radiație globală E_g fiind suma dintre radiația directă E_{dir} și radiația difuză E_{dif} pe o suprafață orizontală:

$$E_g = E_{dir} + E_{dif} \quad (2.2)$$

Tabelul 2.3 arată valorile radiațiilor directe și difuze medii zilnice în orașele Berlin și Cairo. În Berlin radiațiile difuze predomină, în timp ce în Cairo cele directe sunt mult mai intense, chiar și iarna.

Radiațiile difuze anuale nu trebuie să varieze mult între locații, chiar dacă există diferențe între radiațiile globale anuale (v.tab.2.4.). Orașele Upington din Africa de Sud și Londra din Marea Britanie au anual aceeași cantitate de radiație difuză, deși radiația anuală globală în Upington este de două ori mai mare decât în Londra. Regiunile cu aer poluat au o contribuție mare asupra radiațiilor difuze. Diferențele dintre radiațiile anuale directe sunt mult mai mari. De exemplu, radiațiile anuale directe în Upington sunt de aproape 5 ori mai mari decât în Londra. [Q1]

Tabelul 2.3 Valorile lunare ale radiației medii zilnice directe și difuze(kWh/m²), în Berlin și Cairo [Q1]

Locație Radiația (kWh/m ²)	ian	feb	mar	apr	mai	iun	iul	aug	sept	oct	nov	dec	media
BERLIN directă difuză	0,17 0,44	0,40 0,74	1,03 1,41	1,42 2,07	2,13 2,64	2,58 2,86	2,29 2,97	2,05 2,53	1,38 1,67	0,54 1,05	0,22 0,54	0,10 0,35	1,20 1,61
CAIRO directă difuză	1,74 1,35	2,37 1,63	3,07 2,08	3,78 2,49	4,56 2,47	5,16 2,40	4,93 2,41	4,57 2,19	3,86 2,01	3,07 1,62	1,96 1,49	1,58 1,28	3,39 1,95

Tabelul 2.4. Valorile anuale ale radiației medii zilnice directe și difuze (kWh/m²), în orașele lumii [Q1]

Locația Radiația	Bergen	Berlin	Londra	Roma	Los Angeles	Cairo	Bombay	Upington	Sydney
directă	0,86	1,20	0,99	2,41	3,03	3,39	2,75	4,70	2,42
difuză	1,29	1,61	1,47	1,78	2,07	1,95	2,39	1,47	2,13

Multe stații meteorologice măsoară doar radiația globală. Majoritatea calculului pentru sistemele de energie solară au nevoie de o separare între radiația directă și difuză. Funcțiile empirice găsite de investigațiile statistice împart radiația globală în: radiație directă și radiație difuză (Reindl și alții, 1989). Valorile orare pentru radiația globală E_g , radiația extraterestră E_o și unghiul de înălțare solară γ_s definesc factorul k_T după cum urmează [Q1] :

$$k_T = \frac{E_g}{E_o \cdot \sin \gamma_s} \quad (2.3)$$

Cu acest factor, radiația difuză E_{dif} pe o suprafață orizontală poate fi calculată doar folosind radiația globală E_g pe o suprafață orizontală și unghiul de înălțare solară γ_s :

$$E_{dif} = E_g(1,020 - 0,254 \cdot k_T + 0,0123 \cdot \sin \gamma_s), \text{ dacă } k_T \geq 0,3 \quad (2.4)$$

$$E_{dif} = E_g(1,400 - 1,749 \cdot k_T + 0,177 \sin \gamma_s), \text{ dacă } 0,3 < k_T < 0,78 \quad (2.5)$$

$$E_{dif} = E_g(0,486 \cdot k_T + 0,182 \cdot \sin \gamma_s), \text{ dacă } k_T \geq 0,78 \quad (2.6)$$

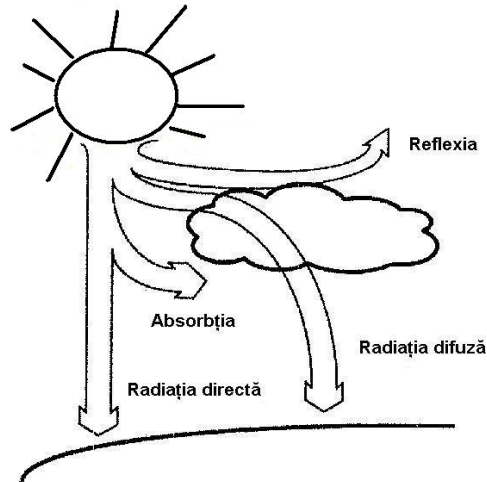


Fig. 2.6. Razele solare trecând prin atmosferă [Q1].

În fig.2.7 se arată corelările grafice. Este evident că radiația difuză este foarte scăzută dacă valorile radiației globale sunt mari, într-o zi senină ($k_T \rightarrow 1$); componenta de radiație difuză este rar sub 20%. Dacă este foarte înnorat, radiația globală este scăzută ($k_T \rightarrow 0$), componenta de radiație difuză atingând 100%.

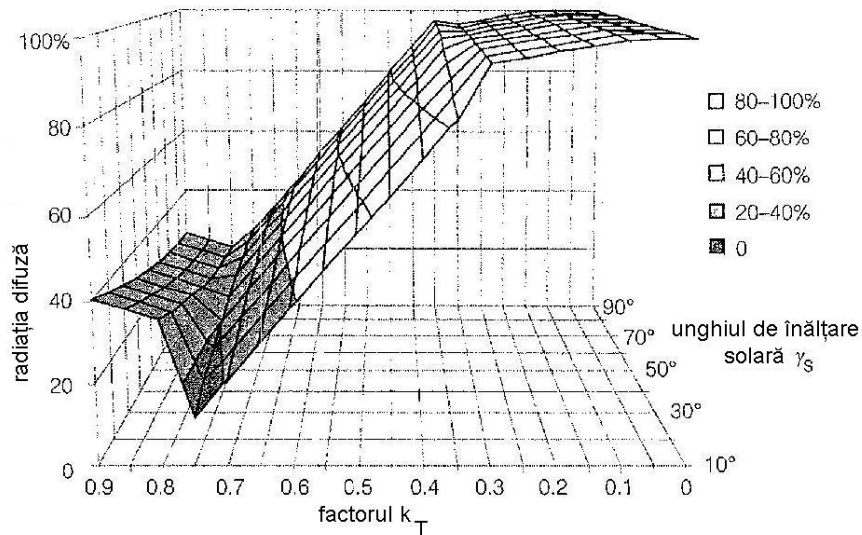


Fig. 2.7. Componenta radiației difuze în funcție de factorul k_T și unghiul de înălțare solară γ_s [Q1].

Determinarea unghiului de incidență solară

Unghiul de incidență solară θ_{hor} pe o suprafață orizontală este o funcție directă a înălțimii soarelui γ_s . Acest unghi este numit și *unghiul zenitului* θ_z [Q1] :

$$\theta_{hor} = \theta_z = 90^\circ - \gamma_s \quad (2.7)$$

Determinarea unghiului de incidență θ_{inclin} pe o suprafață înclinată este mai complicată. Unghiul azimut de suprafață α_t descrie devierea spre sud. Dacă suprafața este spre vest, α_t este pozitiv. Unghiul de înclinație α descrie înclinarea suprafeței sau panta acesteia. Dacă suprafața este orizontală, atunci $\alpha = 0$. Fig. 2.8 vizualizează aceste unghiuri.

Unghiul de incidență θ_{inclin} este unghiul dintre vectorul s în direcția soarelui și vectorul normal n perpendicular pe suprafață. Poziția soarelui a fost definită în coordonate sferice și de aceea trebuie să fie transformată în coordonate carteziane cu vectorii de bază la nord, vest și zenit pentru calcule ulterioare.

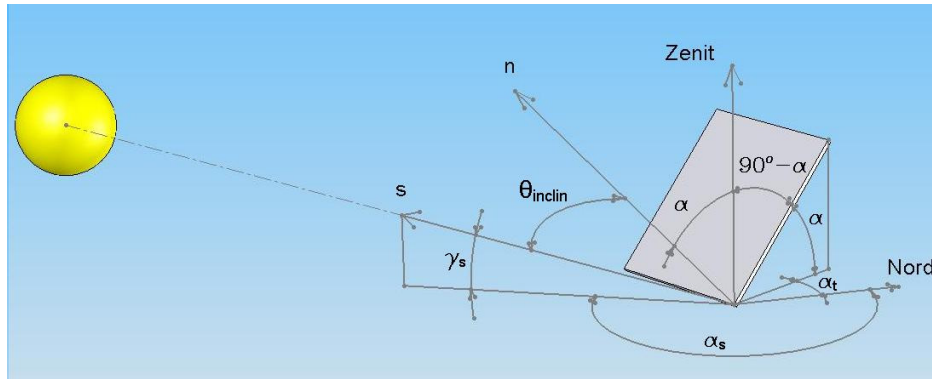


Fig. 2.8. Definierea unghiului de incidență solară pe o suprafață înclinată θ_{inclin} [Q1].

Vectorii s și n devin [Q1] :

$$s = (\cos \alpha_s \cdot \cos \gamma_s' - \sin \alpha_s \cdot \cos \gamma_s' \cdot \sin \gamma_s')^T \quad (2.8)$$

$$n = (-\cos \alpha_t \cdot \sin \alpha' \cdot \sin \alpha_t \cdot \sin \alpha' \cos \alpha)^T \quad (2.9)$$

Ambii vectori sunt normalizați și astfel unghiul solar de incidență θ_{inclin} pe o suprafață înclinată este obținut prin calcularea multiplicărilor scalare ale acestor doi vectori:

$$\begin{aligned} \theta_{inclin} &= \arccos(s \cdot n) = \arccos(-\cos \alpha_s \cdot \cos \gamma_s \cdot \cos \alpha_t \cdot \sin \alpha - \\ &\sin \alpha_s \cdot \cos \gamma_s \cdot \sin \alpha_t \cdot \sin \alpha + \sin \gamma_s \cdot \cos \alpha) = \\ &= \arccos(-\cos \gamma_s \cdot \sin \alpha \cdot \cos(\alpha_s - \alpha_t) + \sin \gamma_s \cdot \cos \alpha) \end{aligned} \quad (2.10)$$

2.1.3. Radiația solară pe o suprafață înclinată

Radiația globală pe o suprafață înclinată $E_{g,inclin}$ este compusă din radiația directă $E_{dir,inclin}$, radiația difuză $E_{dif,inclin}$ și reflexia terestră E_r care nu există pentru suprafețele orizontale.

$$E_{g,inclin} = E_{dir,inclin} + E_{dif,inclin} + E_r \quad (2.11)$$

Radiația directă pe suprafețele înclinate $E_{dir,s}$

Suprafața orizontală din fig.2.9. cu aria A_{oriz} primește aceeași putere radiantă Φ , la fel ca o suprafață mai mică A_s care este perpendiculară pe direcția luminii solare. Cu relația [Q1]:

$$\Phi_{dir,oriz} = E_{dir,oriz} \cdot A_{oriz} = \Phi_{dir,s} = E_{dir,s} \cdot A_s \quad (2.12)$$

$$A_s = A_{oriz} \cdot \cos \theta_{oriz} = A_{oriz} \cdot \sin \gamma_s \quad (2.13)$$

$$\text{Avem, } E_{dir,s} = \frac{E_{g,oriz}}{\sin \gamma_s} \geq E_{dir,oriz} \quad (2.14)$$

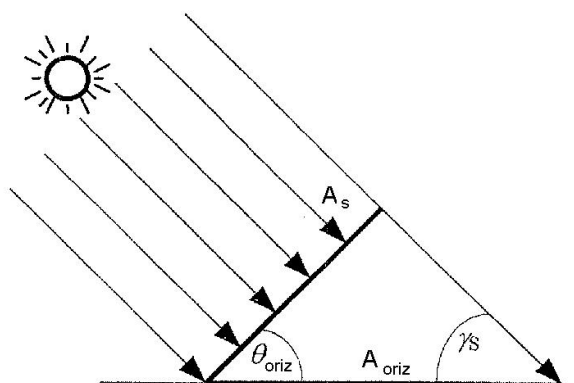


Fig. 2.9. Radiația solară pe o suprafață orizontală A_{oriz} și pe o suprafață înclinată A_s perpendiculară pe direcția razelor solare [Q1].

Devine evident că, radiația directă pe o suprafață perpendiculară pe direcția razelor solare ($E_{dir,s}$) este mai mare decât radiația directă pe o suprafață orizontală ($E_{dir,oriz}$). Faptul este luat în considerare atunci când se proiectează sistemele de energie solară. Înclinarea suprafeței sistemului mărește cantitatea de energie solară primită, în special la latitudini cu unghiuri de înălțare solară joasă.

Radiația directă pe o suprafață înclinată ($E_{dir,s}$) poate fi calculată direct din radiația directă pe suprafața orizontală ($E_{dir,oriz}$):

$$E_{dir,s} = \frac{E_{dir,inclin}}{\cos \theta_{inclin}} \quad (2.15)$$

unde θ_{inclin} este unghiul de incidență al soarelui pe suprafața înclinată, deci:

$$E_{dir,s} = E_{dir,oriz} \cdot \frac{\cos \theta_{inclin}}{\sin \gamma_s} \quad (2.16)$$

La altitudinile solare joase (γ_s), variațiile mici ale radiației orizontale pot cauza radiații mari ireale pe suprafețele înclinate. De aceea, ar trebui să se verifice întotdeauna ca pe un plan înclinat radiațiile directe calculate să fie sub pragul maxim.

Radiația difuză pe suprafețele înclinate $E_{dif,inclin}$

Există două modalități de a estima radiația difuză pe o suprafață înclinată $E_{dif,inclin}$: metoda izotopică și metoda neizotopică.

Metoda izotopică presupune că radiația difuză este constantă. O concluzie importantă din această aproximare este aceea, că radiația izotopică difuză pe o suprafață înclinată este întotdeauna mai scăzută decât cea de pe o suprafață orizontală, deoarece receiverul nu vede radiația difuză din spatele suprafeței

încălate. Radiația difuză pe o suprafață înclinată cu unghiul γ_t poate fi estimată direct din radiația difuză pe o suprafață orizontală ($E_{dif,oriz}$), conform modelului Perez (Perez și Stewart, 1986):

$$E_{dif,inclin} = E_{dif,oriz} \left[\frac{1}{2} \cdot (1 + \cos \gamma_t) \cdot (1 - F_1) + \frac{a}{b} \cdot F_1 + F_2 \cdot \sin \gamma_t \right] \quad (2.17)$$

unde F_1 și F_2 sunt coeficienți ai luminozității solare și orizontale și pot fi estimați din tabele, iar a și b se determină, astfel:

$$a = \max(0; \cos \theta_{gen}) \quad (2.18)$$

$$b = \max(0,087; \sin \gamma_s) \quad (2.19)$$

Reflexia terestră E_r

Pentru calcularea reflexiei terestre E_r este suficientă aproximarea izotopică. Cea neizotopică a prezentat doar îmbunătățiri ne semnificative. Folosind radiația globală pe o suprafață orizontală $E_{g,oriz}$ și albedoul A , radiația terestră reflectată $E_{r,inclin}$ pe o suprafață înclinată cu unghiul γ_t devine [Q1]:

$$E_{r,inclin} = E_{g,oriz} \cdot A \cdot \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos \gamma_t) \quad (2.20)$$

A =Albedo, înseamnă „alb” în latină și reprezintă o măsură a reflectivității unei suprafețe. Este o mărime fotometrică egală cu raportul dintre intensitatea radiației difuze (reflectate) de un corp și intensitatea radiației incidente pe acel corp. Valoarea albedoului (A) diferă în funcție de materialul suprafeței și se ia din tabele; pentru suprafețele necunosute $A=0,2$; pentru un corp care reflectă perfect $A=1$; pentru un corp care absoarbe toată lumina $A=0$.

2.1.4. Modalități de obținere a radiației solare maxime pe o suprafață înclinată sau pe o suprafață care urmărește soarele

Dacă un sistem solar urmărește traiectoria soarelui astfel încât unghiul de incidență să fie virtual zero, atunci cantitatea de energie primită crește semnificativ. Cu cât este mai mare radiația directă pe o suprafață perpendiculară razelor solare, cu atât se captează mai multă energie. În timpul zilelor cu radiație directă crescută, urmărirea traiectoriei soarelui poate câștiga energie cu peste 50% față de o orientare orizontală vara și până la 300% iarna, în funcție de latitudine și de locație [P3]. Oricum, urmărirea traiectoriei soarelui poate cauza o reducere de energie acumulată în condiții de acoperire, deoarece se pierde contribuția radiației difuze din spatele suprafeței. Urmărirea obține vara câștigul principal de energie. Pe de-o parte, energia absolută câștigată vara este mai mare decât iarna, pe de altă parte numărul de zile cu cer acoperit este de obicei mai redus vara.

În practică sunt două opțiuni de principiu pentru sistemele de urmărire a traiectoriei soarelui – uniaxiale (urmărire pe o axă, fig.2.10) sau biaxiale (pe două axe, fig.2.11). Sistemele de urmărire pe două axe modifică poziția suprafeței de incidență întotdeauna într-o poziție ideală, dar sunt relativ complicate, de aceea se preferă sistemele uniaxiale în anumite situații. Sistemele de urmărire pe o axă pot urmări traiectoria Soarelui zilnic sau anual. Urmărirea soarelui pe timp de un an este relativ simplă – suprafața unghiului de înclinare trebuie schimbată o dată pe săptămână sau chiar o dată pe lună.

Un sistem biaxial de urmărire a traiectoriei solare instalat la latitudinile din Europa Centrală poate obține un câștig de energie de 30% comparativ cu sistemele înclinate fără urmărire a soarelui. Câștigul de energie la sistemele uniaxiale de

urmărire este ușor mai scăzut, aproape 20% [Q1]. Regiunile cu radiație anuală mai ridicată au și un câștig de energie globală mai mare, deoarece contribuția directă a razelor este mult mai mare. Oricum sistemele de urmărire sunt mai complicate, mai scumpe și cu cheltuieli mai mari de întreținere. Sistemele de urmărire trebuie să reziste vânturilor puternice.

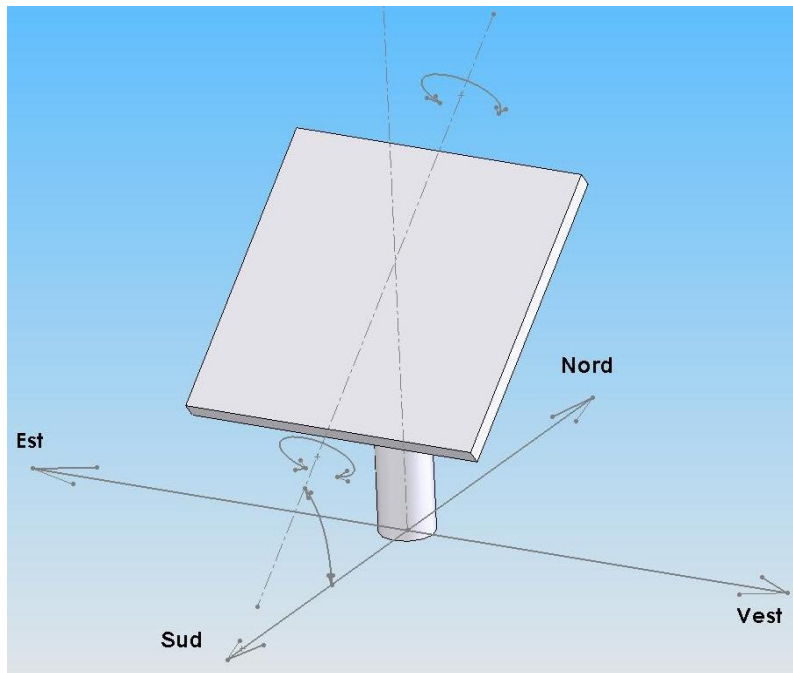


Fig. 2.10. Sistem de urmărire uniaxial folosit la panourile plane

Există două metode pentru obținerea mișcării de urmărire a soarelui prin folosirea motoarelor electrice și prin folosirea sistemelor termohidraulice. Motorul electric, care conduce unitatea de urmărire, necesită energie electrică și astfel reduce câștigul energetic al sistemului. Câștigul de energie al sistemelor de urmărire a traiectoriei solare nu compensează de obicei dezavantajele. De aceea, pentru moment există doar câteva sisteme de urmărire operaționale. Doar sistemele aflate în regiuni cu radiație anuală foarte mare pot obține avantaje economice din utilizarea mișcării de urmărire. (Quaschnig și Ortmanns, 2003).

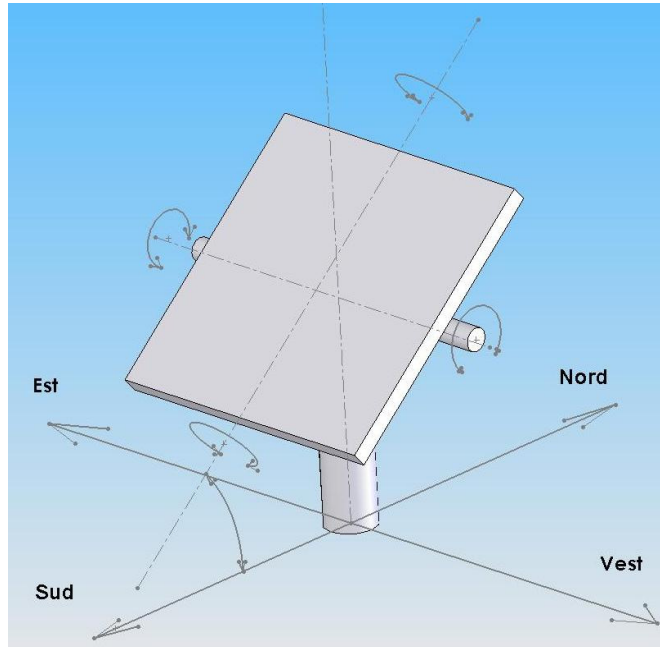


Fig. 2.11. Sistem de urmărire biaxial folosit la panourile plane

În fig.2.12 se prezintă un sistem de urmărire a soarelui, pe o axă sau pe două axe, denumit Solar Tracker. El are numai componente electronice și optice fixe, de mare precizie. Acest sistem se poate utiliza în toate aplicațiile care necesită urmărirea traiectoriei soarelui: panouri solare fotovoltaice, panouri termice solare, concentratoare solare, sisteme de iluminare cu energie solară. Precizia de urmărire a soarelui este de 0,01 grade.[*****41]



Fig. 2.12. Sistem de urmărire a traiectoriei soarelui [*****41].

În fig.2.13. se prezintă panoul parabolic solar propus de firma SC. Folex SRL, al cărui dispozitiv de orientare este alcătuit din doi senzori pentru urmărirea

soarelui atât la azimut cât și pe elevație, care prin intermediul unei automatizări, comandă un motoreductor și un actuator liniar. Panoul parabolic solar este compus din: stativ metalic (pe care se montează partea rotativă antrenată de un motoreductor de curent continuu), oglindă, focar și dispozitiv de orientare.[K2]

Situația este total diferită pentru sistemele de energie solară concentrată în care sistemele optice concentrează energia la o scară mult mai mică. Aceste sisteme sunt operaționale pentru bazinele termice solare, uzinele cu turnuri de energie solară și sistemele fotovoltaice concentrate. Aceste sisteme au unghiuri foarte înguste de captare a radiațiilor solare și astfel nu operează satisfăcător fără urmărire. Cele mai multe sisteme concentrate pot folosi doar energia solară directă.

Folosindu-se concentrarea optimă a radiației solare în cazul sistemelor energetice solare fără urmărire se poate mări semnificativ câștigul de energie. Orientarea este optimă pentru sistemele de energie care operează pe parcursul unui an, la latitudini mai mari de 300 spre sud în emisfera nordică și 300 spre nord în emisfera sudică. Unghiurile optime de înclinare a suprafețelor captatoare pentru sistemele care operează doar vara sunt mai drepte, dar sunt mult mai ascuțite pentru acelea care funcționează doar iarna. La Ecuator, un plan aproape orizontal primește radiația anuală cea mai mare.

Situația este total diferită pentru *sistemele de energie solară concentrată* în care sistemele optice concentrează energia la o scară mult mai mică. Aceste sisteme sunt operaționale pentru bazinele termice solare, uzinele cu turnuri de energie solară și sistemele fotovoltaice concentrate. Aceste sisteme au unghiuri foarte înguste de captare a radiațiilor solare și astfel nu operează satisfăcător fără urmărire. Cele mai multe sisteme concentrate pot folosi doar energia solară directă.



Fig. 2.13. Panou parabolic termo-solar [K2].

Folosindu-se concentrarea optimă a radiației solare în cazul *sistemelor energetice solare fără urmărire* se poate mări semnificativ câștigul de energie. Orientarea este optimă pentru sistemele de energie care operează pe parcursul unui an, la latitudini mai mari de 300 spre sud în emisfera nordică și 300 spre nord în

emisfera sudică. Unghiurile optime de înclinare a suprafețelor captatoare pentru sistemele care operează doar vara sunt mai drepte, dar sunt mult mai ascuțite pentru acelea care funcționează doar iarna. La Ecuator, un plan aproape orizontal primește radiația anuală cea mai mare.

Sistemele energetice solare sunt adesea instalate pe acoperișuri înclinate sub unghiuri ascuțite, care nu sunt optime.

Un acoperiș orientat necorespunzător poate reduce semnificativ producția de energie. Orientările acoperișurilor au o toleranță mare, după cum arată fig. 2.14 și fig. 2.15 pentru Berlin și Cairo.

În emisfera sudică, unghiurile de înclinare optimă sunt similare, cu suprafața de azimut optimă cu fața spre Ecuator, ca și în nord. Aproape de Ecuator, unghiurile drepte de înclinare sunt ideale deoarece soarele este la zenit pentru perioade lungi de timp, de aceea, pierderile de radiație pentru suprafețele verticale sunt mai mari decât la latitudini joase.

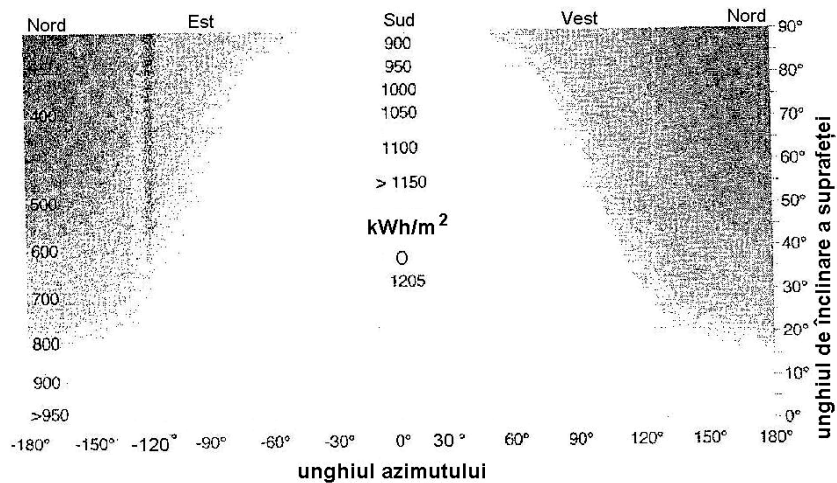


Fig. 2.14. Radiatia anuală pe suprafețe înclinate diferit în Berlin [Q1].

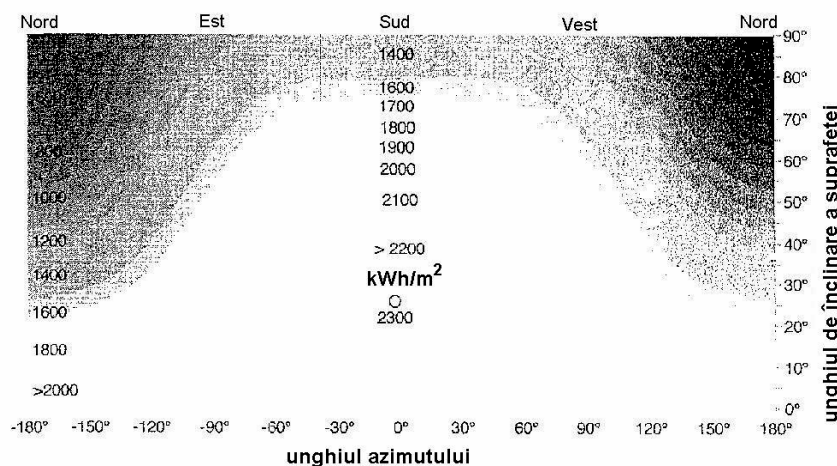


Fig. 2.15. Radiatia anuală pe suprafețe înclinate diferit în Cairo [Q1].

2.1.5. Radiația solară pentru Europa, România

Din fluxul integral de energie radiantă, care vine neîncetat de la soare spre pământ și care are valoarea constantei solare $E_0=1,353 \text{ kW/m}^2 \pm 3\%$, în afara atmosferei terestre, pe pământ, ajunge o cantitate de energie ce are o valoare mai mică, în medie circa $0,8\text{-}0,9 \text{ kW/m}^2$. Această mărime nu mai este constantă, ci depinde de factorii geofizici și meteorologici: latitudine, altitudine, sezon, zi, oră, cantitatea de praf și de vapori de apă din atmosferă. Influența unor factori asupra densității de putere radiantă $E \text{ (kW/m}^2\text{)}$ este prezentată în tabelul 2.5. [D2].

Din analiza tab.2.5 se constată o puternică influență a umidității atmosferice asupra densității de putere radiantă. De asemenea și ora are o influență prin unghiul sub care cad razele soarelui pe pământ. La unghiuri mai mici de 90 grade (față de orizontala locului) razele solare traversează o cantitate mai mare de aer atmosferic, astfel că absorbția și dispersia radiațiilor prin atmosferă este mai pronunțată decât la ora 12, când grosimea stratului de aer străbătut e minimă.

Tabelul 2.5. Influența unor factori asupra densității de putere radiantă E , [D2]

Nr. crt.	Poziția geografică	Densitatea de putere radiantă $E \text{ (kW/m}^2\text{)}$
1	In afara atmosferei	1,353
2	La nivelul mării, Soarele la zenit	1,06
3	Nivelul mării, Soarele la 200 deasupra orizontului	0,75
4	Nivelul mării, Soarele la 200 deasupra orizontului, aer umed	0,6
5	Nivelul mării, cer noros	0,1

Pentru a avea o imagine de ansamblu a influenței factorului meteorologic, a latitudinii, altitudinii și reliefului asupra valorii densității de putere radiantă solară E , se întocmesc hărți anotimpuale și anuale, pe care se trasează curbe de aceeași densitate a radiației solare.(v. fig.2.16, fig.2.17)

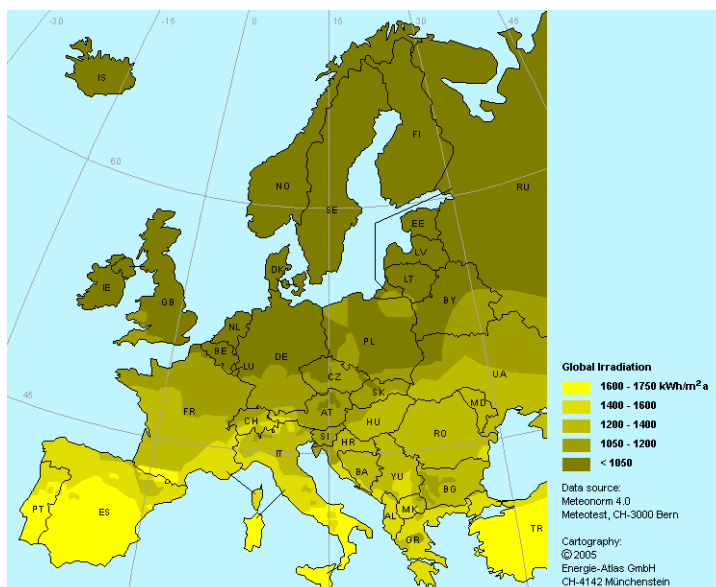


Fig. 2.16. Potențialul solar în Europa [****27].

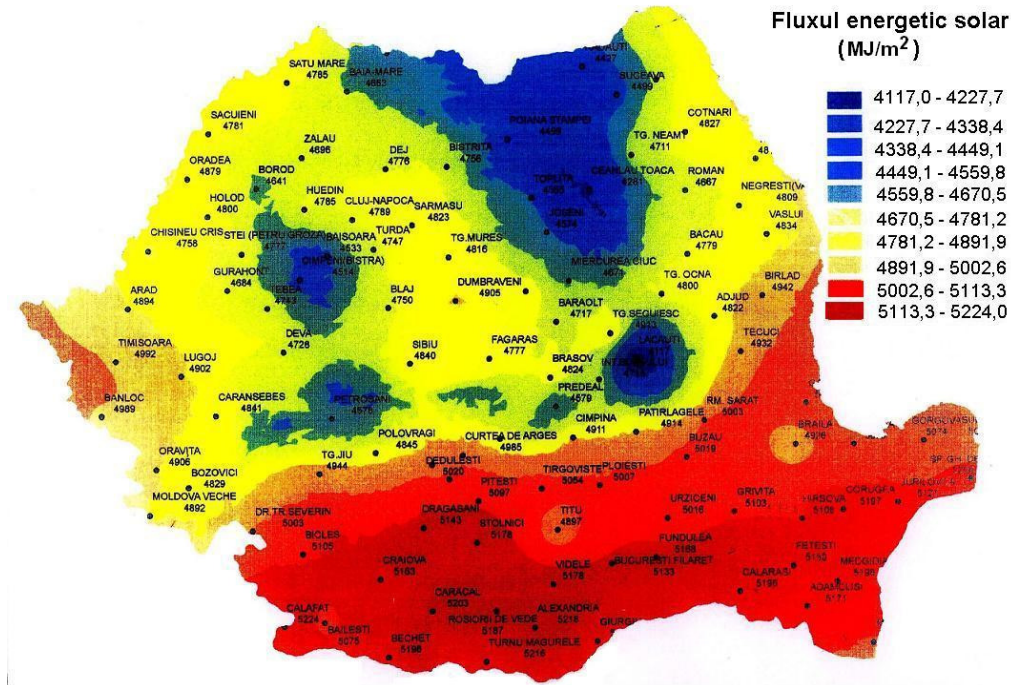


Fig. 2.17. Potențialul solar în România [****27].

România dispune de un potențial important de energie solară, datorită amplasamentului său geografic în Europa și datorită condițiilor climatice favorabile (fig.2.16. și fig.2.17.)

Zonele cu *flux energetic solar important* 5002,6...5224MJ/m² (1389,7..1451kWh/m²) sunt: Dobrogea, Delta Dunării, Câmpia Română și Litoralul Mării Negre [****27],[****44].

Zonele ce dispun de *fluxuri energetice solare medii anuale* 4891,9...5002,6MJ/m² (1358,9...1389,7kWh/m²) sunt: Câmpia de Vest, Banat și o parte din Podișurile Transilvaniei și Moldovei [****27],[****44].

2.2. Metode de măsurare a radiației solare

2.2.1. Principii de măsurare și aparate utilizate pentru măsurarea radiației solare

Pentru descrierea cantitativă a proceselor implicate în conversia energiei solare în alte forme de energie este necesară măsurarea mărimilor fizice caracteristice fenomenelor, care se produc în diferite faze.

La catedra de Fizică a Universității "Politehnica" din Timișoara s-au construit aparate de măsură pentru determinările experimentale asupra fenomenelor fizice implicate în termoconversie. Aceste aparate sunt prezentate în continuare. [L7]

1. Watmetrul solar Solaris 1 (UPT)

Aparatul Solaris 1 este un bolometru diferențial autocompensat, care măsoară *intensitatea radiației solare globale, pe plane cu orientare diferită*. El se utilizează în instalațiile solare, care culeg radiația solară de pe suprafețe cu unghiuri azimutale de $\pm 30^\circ$ și cu unghiuri de înclinare cuprinse între 0 și 60° .

Aparatul conține două unități: senzorul de radiații, care se poate roti în planul orizontal și în planul meridianului locului și unitatea electronică, ce convertește semnalul de intrare în semnal electric și afișează rezultatele.

Senzorul conține două plăci de cupru înnegrite, identice (dimensiuni $40 \times 50 \times 0,1$ mm). O placă este expusă radiației, iar cealaltă este acoperită cu o oglindă de argint. Fiecare placă metalică este sudură a unui termocuplu. Unitatea electronică asigură încălzirea plăcii umbrite, astfel ca tensiunea între sudurile termocuplului să fie nulă. Puterea electrică necesară pentru încălzirea plăcii umbrite este egală cu puterea radiației pe placa expusă. Circuitul electric este prezentat în fig.2.18, iar în figura 2.19 sunt prezentate rezultatele măsurărilor comparative efectuate la Stația Meteorologică cu aparatul Solaris 1 și albedometrul staționar aflat în dotarea stației.

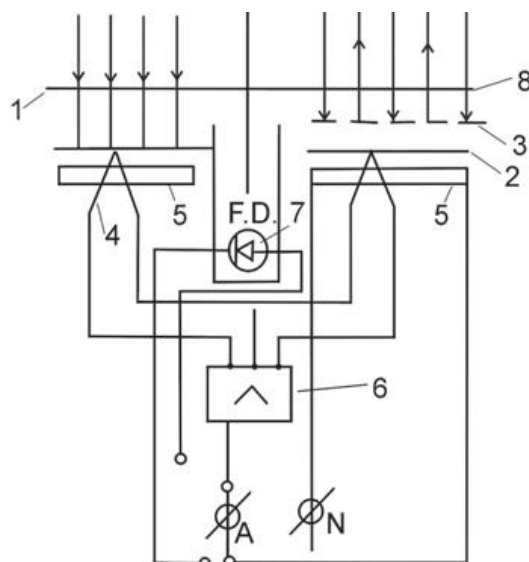


Fig. 2.18. Circuitul electric al aparatului Solaris1; 1=placa activă, 2=placa pasivă, 3=oglină, 4=termocuple, 5=rezistor de încălzire, R 10Ω , 6=amplificator diferențial, 7=fotodiodă, 8=placă de geam [L7].

Prelucrările experimentale au condus la funcția standard pentru Solaris 1:

$$I = a \cdot I_s + b \quad (2.21)$$

unde: I = intensitate globală a radiației măsurate de Solaris 1; I_s =valoarea adevărată a intensității globale; a , b = constante de aparat, care se termină pentru fiecare loc de calibrare.

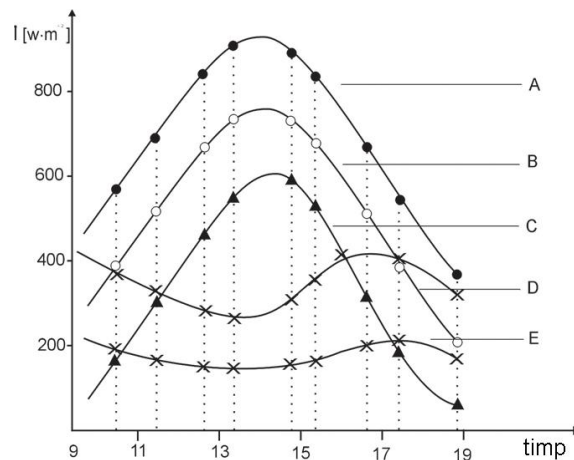


Fig. 2.19. Rezultate comparative între Solaris 1 și albedometru; A=radiația globală măsurată cu albedometru, B=radiația globală măsurată cu Solaris 1, C=radiația directă, D=radiația difuză măsurată cu albedometru, E=radiația difuză măsurată cu Solaris1 [L7].

2. Pyranometrul Solaris 2 (UPT)

Pyranometrul Solaris 2 măsoară *intensitatea radiației solare globale în planul orizontal*. Senzorul de radiații cuprinde 8 sectoare circulare din cupru cu grosimea de 0,1 mm, vopsite alternativ în alb și negru. Plăcile vopsite în alb și negru sunt suduri reci, respectiv calde, ale termocuplelor lipite pe fața inferioară a acestora și înseriate. Senzorul este acoperit cu un dom de sticlă silico-calco-sodică cu indicele de refracție $n=1,6$ în domeniul spectral 0,4...1,1 μm și transmitanța de 94%.

Unitatea electronică are rolul de a termostata aparatul la variația temperaturii mediului ambiant, de a amplifica semnalul primit de la termocuple și de a afișa valoarea mărimii de ieșire, sub forma unui semnal electric a cărui intensitate este i:

$$i = I \cdot \left(\frac{\alpha_1}{\lambda_1} - \frac{\alpha_2}{\lambda_2} \right) \text{ [mA]} \quad (2.22)$$

unde: $\alpha_{1,2}$ =coeficienți de absorbție; $\lambda_{1,2}$ =coeficienți de transfer termic; I=intensitatea globală a radiației solare.

Curba de etalonare a fost trasată utilizând măsurători comparative ale radiației solare cu Solaris 2 și cu aparatele de referință (*albedometrul staționar pentru radiația globală și actinometrul Michelson-Marten pentru radiația directă*) de la Institutul de Meteorologie și Hidrologie București, cu frecvența de 1min. Datele arată corectitudinea și fidelitatea aparatului. Măsurătorile în lumina laser arată că senzorul nu prezintă sensibilitate spectrală în domeniul lungimilor de undă ale luminii $\lambda = 450 \dots 700 \text{ nm}$.

3. Piranometrul

Piranometrul (v.fig.2.20, model CM11) este un aparat modern, produs de firma Kipp & Zonen din Olanda [*****10], pentru *măsurarea puterii radiației solare (fluxul radiant solar) în W/m^2 pe suprafețe plane și înclinate*. De asemenea, el poate măsura și radiația solară reflectată. El lucrează pe baza unui principiu termo-electric și nu are părți componente mobile. Există o varietate de modele.

Piranometrele se folosesc în stațiile meteo și la instalațiile solare, în scopul orientării optime a colectoarelor solari, pentru obținerea unui randament bun al instalației.

Piranometrul CM7B se bazează pe doi senzori CM6B și se folosește pentru a măsura radiația solară globală netă și/sau radiația reflectată pe diferite suprafețe. Pentru măsurarea radiației difuze, se ecranează radiația directă, în mod semiautomat, cu ajutorul unui colier CM 121 așezat paralel cu traiectoria soarelui (fig.2.21.) sau în mod automat cu ajutorul unui sistem de umbrire.



Fig. 2.20. Piranometrul CM11[*****35].



Fig. 2.21.Ecranarea piranometrului cu un colier [*****35].

Principiul de funcționare

Sub cele două calote de sticlă (fig.2.20.), care izolează aparatul de influențele mediului extern (temperatură, ploaie, vânt, etc.) se află un senzor (suprafață de măsurare, termorezistență) de circa 2 cm grosime. El constă dintr-un strat ceramic (Al_2O_3) de culoare neagră, sub care se află coloana termică. Coloana termică este formată din mai multe straturi de termoelemente (100 bucăți), care absorb energia solară și nu selectează teoretic separarea spectrală a radiației. Prin urmare, senzorul este sensibil la radiația infraroșie ($\lambda > 3\mu\text{m}$) din jur. Atunci când senzorul se încălzește datorită radiației solare, în coloana termică se formează o tensiune electrică de valori mici, datorită diferenței de temperatură dintre senzor și termocoloană. Tensiunea electrică are valori în funcție de valorile radiației solare; ea

trebuie amplificată pentru a fi măsurată și pentru a fi transformată în unități de energie și apoi stocată în computer.

Radiația globală solară rezultă conform formulei:

$$E = \frac{U}{S} [W / m^2] \quad (2.23)$$

unde: E=radiația solară globală (W/m^2); U=tensiunea la ieșirea din piranometru (μV); S=senzitivitatea ($\mu V/W/m^2$)

De regulă, valorile sunt cuprinse într-un domeniu, cu ajutorul căruia se știe, de exemplu, câtă energie s-a absorbit într-o oră sau într-o zi. Apoi se întocmesc sumele orare sau pe zile ale radiației globale (directă și difuză).

Calotele de sticlă permit transmiterea uniformă a radiației solare directe, indiferent de starea soarelui. Domeniul spectral al piranometrului este influențat de factorul de transmisie al sticlei. În corpul piranometrului există și componente electronice pentru a realiza compensarea temperaturii, de exemplu, patronul uscat, care reduce formarea umidității în interiorul calotelor de sticlă, care se răcesc noaptea când e senin și când nu e vânt. Sub piranometru se află suportii și o nivelă, care ajută la fixarea pe orizontală a aparatului. În timpul măsurării, orizontul piranometrului trebuie să fie liber, astfel încât soarele să nu fie acoperit de clădiri sau de copaci. Radiația reflectată de pe suprafețele albe (pereti, clădiri) nu trebuie să ajungă pe aparat.

Date tehnice:

Eroarea de măsurare a piranometrului CM11 este 2-3%.

Domeniul spectral de funcționare : 0,3 – 2,8 μm

Senzitivitatea : 9 – 15 $\mu V/Wm^{-2}$

Temperatura : -40 ...+ 800C

Radiația solară : 0 – 2000 W/m^2

4. Luxmetrul

Este un aparat cu ajutorul căruia se poate măsura simplu și repede *iluminarea EV* (lx). Domeniile de utilizare ale luxmetrului sunt variate: instalații electrice, tehnica instalațiilor, tehnica luminii, tehnica fotografiei, laboratoare școală, birouri, săli de operații, locuri de muncă, hobbyuri.

1lx (lux) = unitate de măsură a iluminării, egală cu iluminarea unei suprafețe, care primește un flux luminos de 1 lumen repartizat uniform pe 1 m^2 ; 1 lx=1 lm/ m^2

1cd (candelă) = intensitatea luminoasă într-o direcție dată a unei surse care emite o radiație monocromatică cu frecvența de 540×10^{12} (Hz) și a cărei intensitate energetică în direcția respectivă este de 1/683 (W/sr); 1cd/($sr m^2$)=1lm/ m^2

În figura 2.22. este prezentat luxmetrul Mavolux 5032 B/C de la firma Gossen.



Fig. 2.22. Luxmetrul Mavolux 5032 B/C (Gossen) [*****40].

Lumetrul Mavolux este un aparat digital de măsurare a iluminării E_v (lx), a intensității luminoase I_v (cd) și a luminanței L_v (cd/m^2).

Luxmetrul Mavolux 5032 B (clasa B) poate măsura cea mai slabă lumină (de exemplu: luminile de semnalizare de la autoturisme), domeniul său de măsurare fiind cuprins între 0,01 și 19.900 (lx).

Luxmetrul Mavolux 5032 C (clasa C) poate măsura cea mai puternică lumină (de exemplu: lumina solară), domeniul său de măsurare fiind cuprins între 0,1 și 199.900 (lx).

Filtrele de corecție se află în sonda de măsurare. Ele pot măsura toate tipurile de lumină, cu o precizie mare, fără a fi necesari factori de corecție. Pentru ca lumina să fie evaluată corect, din punct de vedere al fizicii, aparatul conține o corectură – cosinus.[*****40]

Modul de deservire este simplu și constă în apăsarea pe tastele display-ului, respectiv "on/off" și "lx/ftc", ultima indicând unitatea de măsură dorită (lux; candela). Fotosenzorul se leagă de aparatul propriu-zis, cu ajutorul unui cablu spiral, pentru o mai bună flexibilitate a măsurării. Măsurarea se face simplu și exact. Fotosenzorul se ține în direcția de incidență a razelor luminii, iar valoarea iluminării se poate citi pe display, chiar dacă lumina este puternică. Luxmetrul poate funcționa cu alimentare de la baterie sau de la rețeaua electrică.

2.2.2. Relația între mărimile fotometrice și mărimile radiometrice

În literatura de specialitate sunt definite următoarele mărimi :

a. Mărimi fotometrice/luminoase [*****24]:

Intensitatea luminoasă $I_v = \frac{\partial \Phi}{\partial \Omega} [\text{cd}]$

Flux luminos $\Phi_v = K_m \cdot \int_{380\text{nm}}^{780\text{nm}} \frac{\partial \Phi_e(\lambda)}{\partial \lambda} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda [\text{lm}]$

Energie luminoasă, cantitatea de lumină $Q_v [\text{lm} \cdot \text{s}]$

Luminanță sau strălucire luminoasă $L = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \Omega \cdot \partial A_1 \cdot \cos \varepsilon_1} [cd / m^2]$

Emitanță luminoasă $M_V [lm / m^2]$

Iluminare sau iluminare luminoasă $E_V = \frac{\partial \Phi}{\partial A} [lx]$

Expunere sau cantitate de iluminare $H_V [lx \cdot s]$

b. Mărimi energetice/radiometrice [D4]:

Energie radiantă $W_e [J]$

Flux energetic $\Phi_e = \frac{dW_e}{dt} [W]$

Eficacitate energetică $\eta = \frac{\Phi_e \cdot 100}{P} [\%]$, unde $P [W]$ = puterea electrică a sursei de lumină

Intensitate energetică (a unei surse de radiație, într-o direcție) $\eta = \frac{\Phi_e \cdot 100}{P} [\%]$

Iluminare energetică (într-un punct al unei suprafețe) sau radianță sau iradiere $E_e = \frac{d\Phi_e}{dS} [W / m^2]$

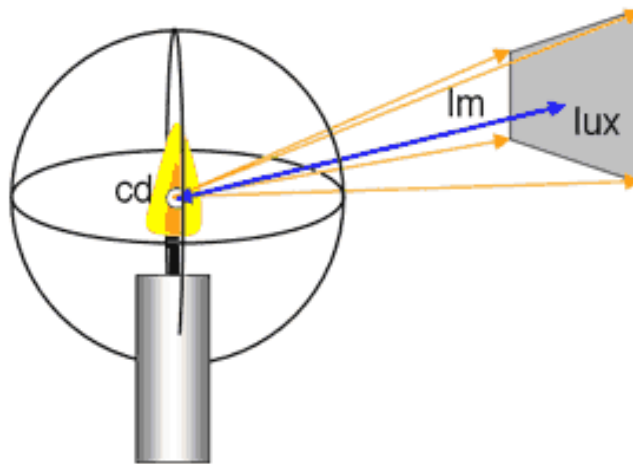


Fig. 2.23. Reprezentarea celor trei mărimi fotometrice: intensitatea luminoasă $I_v(cd)$, fluxul luminos $\Phi_v(lm)$ și iluminarea $E_v(lx)$ [*****37].

Ca toate unitățile fotometrice, *lux*-ul are un corespondent printre unitățile "radiometrice". Diferența între orice unitate fotometrică și unitatea radiometrică corespunzătoare este aceea că, unitățile radiometrice sunt bazate pe putere, fiind ponderate în mod egal cu toate lungimile de undă, în timp ce unitățile fotometrice țin cont de faptul că ochiul este mai sensibil la unele lungimi de undă decât la altele, și în consecință fiecare lungime de undă este dată o altă greutate. Factorul de ponderare este cunoscut sub denumirea de funcție luminozitate. [*****24]

$$1lx = 1lm / m^2 \quad (2.24)$$

Un lux este egal cu un lm/m^2 , și unitatea corespunzătoare radiometric, care măsoară iradierea, este W/m^2 . Nu există niciun factor de conversie între lux și

W/m^2 ; există un alt factor de conversie pentru fiecare lungime de undă și nu este posibil să se facă o conversie cu excepția cazului în care se cunoaște componența spectrală a luminii.

Valoarea de vârf a funcției luminozitate este la 555 (nm), care corespunde luminii verzi; ochiul fiind mai sensibil la lumina cu această lungime de undă decât la oricare alta.

Pentru lumina monocromatică și lungimea de undă $\lambda=555$ (nm), iradierea necesară este: $E_e = 1,464(mW/m^2)$ pentru a obține un lux.

Aceasta înseamnă că, se obțin 683,006(lx) pentru o iradiere $E_e = 1(W/m^2)$ sau (lm/m^2) , la această lungime de undă.

Alte lungimi de undă de lumină vizibilă produc mai puțini lm/m^2 . Funcția luminozitate scade la zero pentru lungimile de undă aflate în afara spectrului vizibil.

Flux luminos într-o sursă de lumină este [****24]:

$$F = 683.002 lm / W \cdot \int_0^{\infty} \bar{v}(\lambda) J(\lambda) d(\lambda) \quad (2.25)$$

unde: F =flux luminos (lm); $J(\lambda)$ =densitatea spectrală de putere de radiație, în Watt pe fiecare unitate de lungime de undă ; $\bar{v}(\lambda)$ =(de asemenea, cunoscută ca $V(\lambda)$) este funcția standard luminozitate, adimensională.

Valoarea constantă în partea din față a integralei este, de obicei, rotunjită la 683 (lm/W). Zecimalele provin de la o ușoară nepotrivire între definiția lumenului și vârful funcției luminozitate.

Lumenul este definit ca o unitate de energie radiantă de 1/683W la o frecvență de 540×10^{12} Hz, care corespunde unei lungimi de undă de 555 nm, care este un vârf al curbei de luminositate.

Luxul este o unitate de măsură a iluminării.

$$\text{Relația: } \mathbf{683(lx) = 1(W/m^2)} \quad (2.26)$$

este adevărată numai **la $\lambda=555nm$** și se va modifica la alte lungimi de undă.[****24]

Fluxul luminos reprezintă energia luminoasă pe unitatea de timp. Acesta este măsurat în lumeni (lm).

Iluminarea este fluxul luminos incident pe unitatea de suprafață. În SI unitatea de măsură a iluminării este de lux, sau lumen pe metru pătrat.

Iluminarea nu este doar de importanță practică considerabilă, dar definițiile și metodele sale sunt aplicabile în cazul transferului de orice fel de energie radiantă.

Cuvântul latin lumen, luminis (N.) are sensul « lumină ». Lux, lucis înseamnă « ajută ». Lumen a fost gândit pentru că lumina vine de la ochi, sau de la o lampă, în timp ce *lux* a fost pus ca lumină în ochi, sau de la soare sau de lună. Ambele dintre aceste cuvinte sunt utilizate în fotometrie.

2.3. Metode generale de transfer de căldură

2.3.1. Introducere

Transferul de căldură se ocupă cu studierea modului în care se propagă căldura printr-un corp, între partea caldă și rece a lui, sau între două corpuri cu temperaturi diferite. Această trecere a căldurii are loc de la sine, ca urmare a diferenței de potențial termometric. Deci, trecerea căldurii printr-un corp, ca urmare

a temperaturii diferite a lui în două zone, sau între două corpuri cu temperaturi diferite, este un proces natural ce nu poate fi oprit. [D1]

În tehnică, procesul de transfer de căldură stă la baza realizării tuturor mașinilor și instalațiilor termice.

Transferul de căldură între două corpuri are loc prin trei moduri elementare și anume: prin conducție, convecție și radiație.

Prin *transfer de căldură conductiv sau prin conducție* se înțelege trecerea căldurii prin contactul direct al particulelor unui corp. Ea are loc ca urmare a transferului de energie cinetică de la o moleculă la alta vecină ei. Conducția presupune o imobilitate a corpului, în interiorul căruia există un gradient de temperatură și este caracteristică corpurilor solide. [D1]

Prin *transfer de căldură convectiv sau prin convecție*, se înțelege transferul căldurii dintr-un punct în altul, prin amestecul unei cantități de fluid din masa lui, cu altul de temperatură diferită din altă parte. Convecția presupune obligatoriu o mișcare a corpului prin care trece căldura și deci este specifică corpurilor în stare fluidă. Convecția este întotdeauna însoțită și de conductivitate, deoarece deplasarea particulelor din corp nu elimină contactul direct dintre ele. Transferul de căldură conductiv ce însoțește pe cel convectiv este denumit *termodifuzie*, pentru a-l particulariza de cel conductiv prin corpuri imobile.

Prin *transfer de căldură radiant sau radiație termică* se înțelege transportul de căldură de la un corp la altul prin unde electromagnetice, cu condiția ca mediul ce le separă să fie transparent pentru radiațiile termice. Mecanismul transferului de căldură radiant constă în transformarea unei părți a energiei interne a corpului în energie radiantă, care se propagă sub formă de unde electromagnetice în spațiu și care întâlnind celălalt corp, se retransformă în energie termică la zona de contact cu el.

2.3.2. Mărimi caracteristice transferului de căldură

Transferul de căldură utilizează o serie de noțiuni, dar cele mai utilizate sunt următoarele [D1]:

1. *Câmpul de temperatură*, reprezintă totalitatea valorilor temperaturilor la un moment oarecare τ ; el este o funcție de poziția punctului considerat și timp:

$$t = f(\bar{y}, \tau) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (2.27)$$

în care: \bar{y} = vectorul de poziție al punctului a cărui temperatură este t ; τ = momentul la care punctul are temperatura t .

2. *Suprafața izotermă*

Se definește ca fiind locul geometric al tuturor punctelor de temperatură t din corpul considerat.

3. *Regimul permanent sau tranzitoriu de transfer de căldură*

Suprafețele izoterme dintr-un corp au o poziție fixă în timp, dacă regimul de transfer de căldură e permanent și una variabilă, dacă el este tranzitoriu.

4. *Gradient de temperatură*

Este modulul unui vector cu direcția perpendiculară pe două izoterme infinit vecine și are expresia:

$$\text{grad} \cdot t = \bar{n}_o \frac{\partial t}{\partial n} \quad (2.28)$$

în care: \bar{n}_o = versorul normalei; $\partial t / \partial n$ = gradientul de temperatură în direcția creșterii temperaturii.

5. *Flux unitar și flux de căldură*

Prin *flux de cădură* Q se înțelege cădură ce trece printr-un corp, sau care se schimbă între două corpuri, în unitatea de timp, în W .

Fluxul termic unitar q este fluxul de cădură raportat la unitatea de suprafață, în W/m^2 :

$$Q = q \cdot S [W] \quad (2.29)$$

în care: S = aria suprafeței corpului, în m^2 .

Analitic, fluxul unitar de cădură q este o mărime vectorială aplicată în centrul unei suprafețe unitare, în direcția și în sensul versorului \vec{n}_0 .

2.3.3. Conducția

Fenomenul fizic al transferului de cădură conductiv

Transferul de cădură conductiv sau prin conducție are loc printr-un corp solid sau printr-un strat fluid imobil, prin contactul direct al părților calde ale lui cu cele mai reci. În cazul corpurilor solide metalice, transferul de cădură prin conducție, este condiționat de electronii liberi care transportă cădură de la partea mai caldă la cea mai rece, deci are loc pe bază electronică. Corpurile metalice sunt bune conducătoare de cădură, deoarece (statistica Fermi) numărul electronilor e mare, deci și energia transferată este mare.

Conductivitatea λ unui corp metalic se exprimă cu relația [D1]:

$$\lambda = \frac{1}{3} \cdot l \cdot \bar{v} \cdot c_e \cdot n \quad [W / (m \cdot K)] \quad (2.30)$$

în care: λ =conductivitatea corpului, care exprimă cădură conductivă ce trece în unitatea de timp, între două particule ale corpului, a căror temperatură diferă cu 1K și care se găsesc așezate la distanța de 1m una de cealaltă; l =drumul liber mijlociu al electronilor liberi, între două ciocniri; \bar{v} = viteza medie de deplasare a electronilor; c_e = cădură specifică a unității de masă a electronului; n =numărul de electroni ce se găsesc în unitatea de volum a corpului.

Pentru celelalte corpuri solide, transferul de cădură prin ele, mai are loc și prin mișcările de oscilație ale particulelor componente (gazul fononic) și prin emisia și absorbția reciprocă a radiației între particulele elementare vecine. Deci, transportul cădurii are loc electronic, fononic și radiant.

Legea lui Fourier pentru fluxul termic conductiv

Fluxul termic conductiv ce trece printr-un corp imobil, între cele două fețe laterale ale lui, în direcția n , în timpul dt și prin suprafața dS , este exprimat de *legea Fourier*, care spune că el este invers proporțional cu gradientul de temperatură și este dat de relația [D1] :

$$dQ = -\vec{n}_0 \cdot \lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial n} \cdot dS \cdot dt [W] \quad (2.31)$$

Iar fluxul termic unitar conductiv :

$$q = \frac{dQ}{dS \cdot dt} = -\vec{n}_0 \cdot \lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial n} [W / m^2] \quad (2.32)$$

Exprimând-o scalar, Legea lui Fourier este :

$$Q = - \int_s \lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial n} [W] \quad (2.33)$$

$$q = -\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial n} [W / m^2] \quad (2.34)$$

Considerând o distribuție spațială a fluxului termic unitar ce trece printr-un corp, se obțin fluxurile unitare pe cele trei direcții ortogonale :

$$q_x = -\lambda_x \frac{\partial t}{\partial x} \quad (2.35)$$

$$q_y = -\lambda_y \frac{\partial t}{\partial y} \quad (2.36)$$

$$q_z = -\lambda_z \frac{\partial t}{\partial z} \quad (2.37)$$

Iar fluxul unitar tridirecțional :

$$q = i \cdot q_x + j \cdot q_y + k \cdot q_z [W / m^2] \quad (2.38)$$

în care λ_i =conductivitatea ; $\lambda_{x,y,z}$ =conductivitatea în direcția x,y,z.

Conductivitatea termică a corpurilor

Conductivitatea termică λ este o caracteristică termofizică a fiecărui corp, depinzând de structura lui și este influențată de temperatură și umiditate. Valorile conductivității termice, corespunzătoare diferitelor materiale, sunt date în tabele.

Conductivitatea metalelor scade cu temperatura, relația de calcul fiind [D1]:

$$\lambda_t = \lambda_o \cdot (1 - b \cdot t) [W / (mK)] \quad (2.39)$$

Conductivitatea materialelor izolante crește cu temperatura și depinde de structura acestora [D1]:

$$\lambda_{iz} = \lambda_M \frac{1 - (1 - \frac{3 \cdot \lambda_{aer}}{2 \cdot \lambda_M + \lambda_{aer}}) \cdot \beta}{1 + (\frac{3 \cdot \lambda_M}{2 \cdot \lambda_M + \lambda_{aer}} - 1) \cdot \beta} [W / (mK)] \quad (2.40)$$

în care λ_M =conductivitatea materialului solid; λ_{aer} =conductivitatea aerului; λ_{iz} =conductivitatea materialului izolat; β = porozitatea materialului.

$$\beta = \frac{V_{aer}}{V_{aer} + V_M} \quad (2.41)$$

V_{aer} , V_M =volumul aerului și al materialului solid.

Pentru lichide, conductivitatea se calculează cu relația [D1]:

$$\lambda_{lichid} = \frac{2 \cdot R \cdot a}{\delta^2} [W / (mK)] \quad (2.42)$$

în care R=constanta generală a vaporilor saturați ai lichidului; a=viteza sunetului în lichid; ρ =densitatea lichidului; M=masa molară a lichidului.

$$\delta = (M / \rho)^{1/3} \quad (2.43)$$

Pentru gaze perfecte și vapori puternic supraîncălziți se folosește relația [D1] :

$$\lambda_{gaze} = B \cdot \eta \cdot c_v [W / (m \cdot K)] \quad (2.44)$$

în care B=2,52 (gaze monoatomice), B=1,90 (gaze biatomice), B=1,75 (gaze pluriatomice); η =vâscozitatea dinamică, c_v =căldura specifică a vaporilor (J/kgK).

2.3.4. Convecția

Prin convecție se înțelege transferul căldurii dintr-un punct în altul, prin amestecul unei cantități de fluid din masa lui, cu altul de temperatură diferită din altă parte.

Transferul de căldură convectiv are loc în zona de contact fluid-perete și este influențat de fenomenele ce au loc în stratul limită dinamic.

1. Transferul de căldură convectiv între un perete și un fluid fără schimbarea fazei fluidului

Fluxul termic convectiv schimbat între un fluid și un perete, este exprimat cantitativ prin ecuația lui Newton [D1]:

$$Q = a \cdot S \cdot (t_p - t_f) [W] \quad (2.45)$$

Unde α =coeficientul de convecție, în $W/(m^2K)$, exprimă proporționalitatea dintre diferența de temperatură (t_p-t_f) și fluxul unitar convectiv q , depinzând de toți factorii care caracterizează fenomenul de convecție; S =aria suprafeței peretelui, în m^2 ; t_p =temperatura peretelui; t_f =temperatura fluidului, exprimate în K .

Ecuația lui Newton pentru fluxul termic unitar convectiv este:

$$q = a \cdot (t_f - t_p) [W / m^2] \quad (2.46)$$

2. Transferul de cădură convectiv între un perete și un fluid cu schimbarea fazei fluidului

Pentru ca între vaporii saturați puri și un perete (mai rece) să poată avea loc un transfer de cădură convectiv, trebuie să existe o diferență de temperatură. Deoarece vaporii se condensează, ca urmare a transferului de cădură, pe perete formează o peliculă de lichid (condens) care teoretic are aceeași temperatură cu vaporii. Pentru ca să continue schimbul de cădură între vaporii și perete, temperatura condensului aderent la perete trebuie să fie mai scăzută decât a vaporilor. Din punct de vedere fizic, condensarea are loc sub formă de picături (faza inițială) sau sub formă peliculară, când picăturile devin numeroase și se unesc între ele.

Se notează: t_s =temperatura de saturație; t_c =temperatura peliculei de condens, aderentă la peretele rece; t_p =temperatura peretelui;

$$\delta t = t_s - t_c ; \Delta t = t_s - t_p \quad (2.47)$$

Deoarece $\Delta t \gg \delta t$, intensitatea fluxului termic convectiv la condensarea prin picături este mult mai mare decât la condensarea peliculară.

Ca ordin de mărime, pentru vaporii puri:

$$a_{picat} = 10 \cdot a_{pelic} \quad (2.48)$$

La condensarea peliculară, caz general întâlnit în tehnică, există egalitatea între fluxul conductiv ce trece prin pelicula de lichid și cel convectiv global dintre vaporii și perete [D1]:

$$q = a_{pelic}(t_s - t_p) = \frac{\lambda_{condens}}{\delta_{pelic}}(t_s - t_p) [W / m^2] \quad (2.49)$$

Deci $a = \lambda / \delta$, unde δ = grosimea medie a peliculei de condens, care se determină.

Fluxul termic convectiv între un lichid în fierbere sau condensare și un perete

Fluxul termic convectiv schimbat între un lichid în fierbere sau condensare și o suprafață caldă sau rece, se face cu Legea lui Newton:

$$Q = a \cdot S \cdot (t_p - t_l) [W] \quad (2.50)$$

Pentru suprafețele plane, cilindrice și sferice, relațiile de calcul ale fluxului termic unitar conductiv sunt aceleași ca în cazul convecției fără schimbare de fază și anume [D1]:

$$\text{- Pentru perete plan } q = \frac{t_p - t_l}{\frac{1}{a}} [W / m^2] \quad (2.51)$$

$$\text{- Pentru perete cilindric } q = \frac{t_p - t_l}{\frac{1}{n \cdot d \cdot a}} [W / m] \quad (2.52)$$

$$- \text{ Pentru perete sferic } q = \frac{t_p - t_l}{\frac{1}{n \cdot d^2 \cdot a}} [W / \text{sfera}] \quad (2.53)$$

2.3.5. Radiația

Transferul de căldură prin radiație are loc ca urmare a transformării energiei interne a unui corp, la suprafața lui, în unde electromagnetice ce se propagă în spațiu și care întâlnind suprafața unui alt corp, se retransformă în energie internă.

Mecanismul transformării energiei interne a unui corp în unde electromagnetice și invers este interpretat de Planck, prin noțiunea de cuantă de energie. Deci, orice corp cu temperatura $T > 0K$ emite radiații electromagnetice, iar intensitatea de emisie este proporțională cu temperatura.[D1]

Particularitățile transferului de căldura radiant

Radiația și absorbția termică sunt rezultatul transformării energiei interne a unui corp în unde electromagnetice (emisia) și invers (absorbția).

Transferul de căldură radiant între două corpuri are loc fără să fie necesar contactul între ele.

Fluxul de căldură radiant între două corpuri are loc în ambele sensuri, deoarece orice corp emite unde electromagnetice dacă temperatura lui $T > 0K$, dar intensitatea mai mare este a celui cu temperatura mai ridicată. Deci corpul mai rece primește și reține diferența dintre cea primită și cea emisă de el.

Transferul de căldură prin radiație are un aspect corpuscular și ondulatoriu. Fiecărei particule îi este asociată o oscilație electromagnetică. La lungimi de undă mici, predomină caracterul corpuscular, iar la cele mari, cel ondulatoriu.

Se notează cu E energia totală radiată de unitatea de suprafață a unui corp, în unitatea de timp, exprimată în W/m^2 , care mai este denumită și *puterea totală de emisie*. Ea reprezintă energia totală radiată de suprafața unui corp de o anumită temperatură, pe toate lungimile de undă.

Intensitatea radiației notată cu I , reprezintă energia radiată de suprafața unui corp, pe o anumită lungime de undă, exprimată în W/m^2 , denumită și *intensitatea de radiație monocromatică*. Pentru intervalul de lungimi de undă λ și $\lambda + d\lambda$, ea este:

$$I_\lambda = \lim_{\Delta\lambda \rightarrow 0} \frac{\Delta E}{\Delta\lambda} = \frac{dE}{d\lambda} [W / m^3] \quad (2.54)$$

Intensitatea I_λ pentru o lungime de undă oarecare și o temperatură a corpului T , are valoarea maximă pentru corpul negru absolut.

Energia radiată totală E , primită de suprafața unui corp oarecare, satisface condiția generală (fig.2.24):

$$E = E_R + E_D + E_A [W / m^2] \quad (2.55)$$

în care: E_R =energia reflectată; E_D =energia difuzată (prin corp); E_A =energia absorbită (transformată în căldură ce rămâne în corp), sau:

$$\frac{E_R}{E} + \frac{E_D}{E} + \frac{E_A}{E} = 1 \quad (2.56)$$

$$\text{sau } R + D + A = 1 \quad (2.57)$$

în care: A =coeficientul de absorbție al suprafeței corpului respectiv; R =coeficientul de reflexie; D = coeficientul de difuzie.

Pentru corpul negru absolut: $A=1$; $R=D=0$. El absoarbe toate radiațiile incidente, pe toate lungimile de undă.

Pentru corpul alb absolut (oglină termică): $R=1$, $A=D=0$. El reflectă toate radiațiile incidente, pe toate lungimile de undă.

Pentru corpul cenușiu: $A+R=1$, $D=0$. El absoarbe și reflectă radiațiile incidente, în anumite rapoarte, pe toate lungimile de undă.

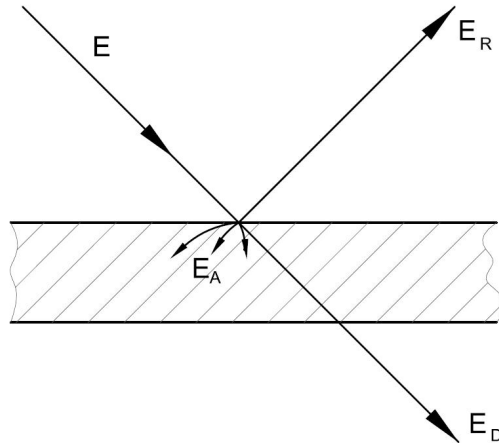


Fig. 2.24. Comportarea corpurilor sub acțiunea unui fascicul de radiații calorice.
 E =energia totală primită de suprafața unui corp; E_R =energia reflectată;
 E_A =energia absorbită; E_D =energia difuzată (prin corp).

Pentru corpul colorat: $A_\lambda + R_\lambda = 1$; $D = 0$. El absoarbe și reflectă radiațiile numai pe o anumită lungime de undă.

Valorile coeficienților A , R și D depind de natura suprafeței corpului, temperatura lui și lungimea de undă a razei incidente. Între culoarea corpului și caracteristica lui din punctul de vedere al comportării la radiațiile termice, nu există legătură.[D1]

Legile radiației

1. *Legea lui Planck* exprimă legătura dintre intensitatea de radiație a corpului negru absolut, lungimea de undă a radiațiilor λ [m] și temperatura corpului T [K] [D1]:

$$I_\lambda = \frac{C_1}{\lambda^5} (e^{\frac{C_2}{\lambda \cdot T}} - 1)^{-1} [W / m^3] \quad (2.58)$$

$$\text{În care: } C_1 = 0,374 \cdot 10^{-15} [W / m^2] \quad (2.59)$$

$$C_2 = 1,4388 \cdot 10^{-2} [m \cdot K] \quad (2.60)$$

2. Legea lui Reyleigh-Jeans

În cazul radiațiilor termice cu lungimi de undă foarte mari, expresia legii lui Planck devine [D1]:

$$I_\lambda = \frac{C_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\frac{C_2}{\lambda \cdot T} - 1} = \frac{C_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{(1 + \frac{C_2}{\lambda \cdot T}) - 1} = \frac{C_1 \cdot T}{\lambda^4 \cdot C_2} \quad (2.61)$$

care este expresia legii lui Reyleigh-Jeans.

3. Legea lui Wien

Pentru lungimi de undă foarte mici, expresia legii lui Planck devine [D1]:

$$I_{\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{C_2}{\lambda \cdot T}} - 1} \quad (2.62)$$

care este expresia legii lui Wien, din care se poate obține lungimea de undă λ_{\max} , pentru care intensitatea de radiație este maximă $I_{\lambda_{\max}}$. Intensitatea maximă se obține cu lungimea de undă maximă, care este soluția derivatei legii lui Wien egalată cu zero [D1]:

$$\frac{dI_{\lambda}}{d\lambda} = e^{-\frac{C_2}{\lambda_{\max} \cdot T}} + \frac{C_2}{5 \cdot \lambda_{\max} \cdot T} - 1 = 0 \quad (2.63)$$

$$I_{\max} = \frac{C_1}{\lambda_{\max}^5} \cdot e^{-\frac{C_2}{\lambda_{\max} \cdot T}} = \frac{C_1}{\left(\frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{T}\right)} = e^{-\frac{C_2}{2,898 \cdot 10^{-3}}} = C_3 \cdot T^5 [W / m^3] \quad (2.64)$$

în care: $C_3 = 1,307 [W/m^3K]$ și

$$\lambda_{\max} \cdot T = \frac{C_2}{4,965} = 2,898 \cdot 10^{-3} [m \cdot K] \quad (2.65)$$

4. Legea lui Stefan-Boltzman

Ea exprimă puterea totală de emisie E_0 (sau energia totală radiantă) în unitatea de timp, pe unitatea de suprafață a unui corp negru absolut [D1]:

$$E_0 = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} I_{\lambda} \cdot d\lambda [W / m^2] \quad (2.66)$$

în care I_{λ} este exprimat prin legea lui Planck. Deci:

$$E_0 = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} \frac{C_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{C_2}{\lambda \cdot T}} - 1} \cdot d\lambda = \sigma \cdot T^4 = C_0 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4 [W / m^2] \quad (2.67)$$

în care: $C_0 = 5,76 [W/m^2K]$ este puterea de emisie a corpului negru absolut.

5. Legea lui Kirchoff

Legea I a lui Kirchoff se referă la raportul dintre energia radiantă și cea absorbită de un corp. Ea are doua formulări : « *puterea totală de emisie a unui corp aflat într-o incintă adiabată la temperatura T, nu depinde de natura lui, ci numai de proprietățile incintei* » sau « *orice corp absoarbe energia radiantă pe aceleași lungimi de undă pe care și emite* ».

Legea a II-a a lui Kirchoff stabilește legătura dintre puterea totală de emisie E a unui corp cenușiu și puterea totală de emisie a corpului negru absolut E_0 , astfel [D1]:

$$e = \frac{E}{E_0} = \frac{C \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4}{C_0 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4} = \frac{C}{C_0} \quad (2.68)$$

$$E = e \cdot E_0 = e \cdot C_0 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4 \quad (2.69)$$

$$\text{și } C = e \cdot C_0 \quad (2.70)$$

în care e = factorul de emisie (sau coeficientul de negreală) al corpului respectiv. Dacă se aplică *Legea I a lui Kirchoff* pentru n corpuri aflate la aceeași temperatură T se obține:

$$\frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2} = \dots = \frac{E_n}{A_n} = \frac{E_0}{A_0} \quad (2.71)$$

$$\text{Deoarece } E_1 = C_1 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4 = e_1 \cdot C_0 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4 \quad (2.72),$$

se obține:

$$\frac{C_1}{A_1} = \frac{C_2}{A_2} = \dots = \frac{C_n}{A_n} = \frac{C_0}{A_0} \quad (2.73)$$

$$\frac{e_1 \cdot C_1}{A_1} = \frac{e_2 \cdot C_2}{A_2} = \dots = \frac{C_0}{A_0} \quad (2.74)$$

Pentru corpul negru absolut $A_0=1$ și ca urmare, din fiecare raport rezultă [D1]:

$$C_1 = A_1 \cdot C_0 \rightarrow A_1 = \frac{C_1}{C_0} = \frac{e_1 \cdot C_0}{C_0} = e_1 \quad (2.75)$$

$$C_n = A_n \cdot C_0 \rightarrow A_n = \frac{C_n}{C_0} = \frac{e_n \cdot C_0}{C_0} = e_n \quad (2.76)$$

Deci, factorul de absorbție A al unui corp este egal cu factorul de emisie e al lui. Valorile factorului de emisie e sunt date în tabele. [D1] (v. anexa 1)

6. Legea lui Lambert

Se referă la emisia radiată de un corp numai într-o direcție oarecare ψ notată cu E_ψ . Ea spune că E_ψ este proporțională cu cosinusul unghiului făcut de direcția normală la suprafața ce emite, cu direcția ψ .

Puterea totală de emisie pentru o emisferă, în care $\omega = 2 \cdot \pi$ va fi [D1]:

$$E = B \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^{\pi/2} \sin \psi \cdot \cos \psi d\psi = B \cdot \pi \quad (2.77)$$

Și prin analogie, intensitatea radiației:

$$I_\lambda = B_\lambda \cdot \pi \quad (2.78)$$

2.3.6. Schimbul global de cădură între două fluide cu temperaturi variabile

Ca urmare a transferului de cădură între două fluide, unul se răcește, iar celălalt se încălzește. Diferența de temperatură dintre ele este variabilă în lungul suprafeței despărțitoare ce formează suprafața de schimb de cădură.

Fluxul termic schimbat între fluide este [D1]:

$$Q = k \cdot S \cdot \Delta t_m [W] \quad (2.79)$$

în care k =coeficientul global de schimb de cădură, în $W/(m^2K)$; S =aria suprafeței de schimb de cădură, în m^2 ; Δt_m =diferența medie de temperatură între cele două fluide pentru întreaga suprafață, dată de relația [D1]:

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}} [grad] \quad (2.80)$$

Δt_{max} , Δt_{min} =diferența de temperatură maximă, respectiv minimă, între temperatura fluidelor la intrarea și ieșirea lor de pe suprafața de schimb de cădură.

2.3.7. Schimbătoare de cădură

Schimbătoarele de cădură (fig.2.25) sunt aparate termice în care un fluid se încălzește sau se vaporizează, pe baza cădurii primite de la un alt fluid, care se răcește sau se condensează, printr-un perete despărțitor. Există și schimbătoare de cădură fără perete despărțitor între fluide, ca de exemplu, turnurile de răcire, unde apa se răcește prin contact direct cu aerul ce circulă prin turn.

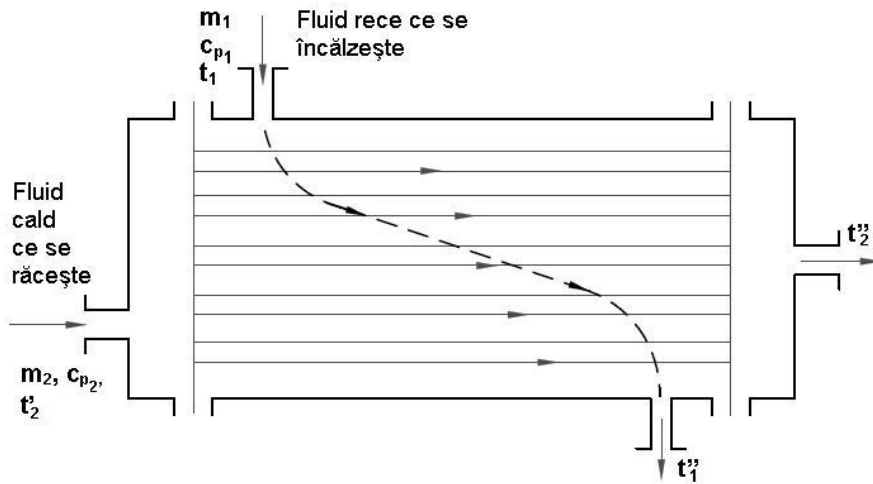


Fig. 2.25. Schimbător de căldură tubular.

Căldura schimbată între fluide în schimbătorul de căldură, prin suprafața de schimb de căldură este dată de bilanțul termic (neglijând pierderile de căldură spre exterior) [D1]:

$$Q = \frac{\dot{m}_1 \cdot c_{p1} \cdot (t_1'' - t_1)}{3600} = \frac{\dot{m}_2 \cdot c_{p2} \cdot (t_2 - t_2'')}{3600} [W] \quad (2.81)$$

în care: $\dot{m}_{1,2}$ = debitele fluidelor (cald și rece), în kg/h; $c_{p1,2}$ = căldura specifică a fluidelor, în J/kg.

Deoarece căldura trebuie să treacă prin suprafața despărțitoare de arie S , există egalitatea [D1]:

$$Q = k \cdot S \cdot \Delta t_m = \frac{\dot{m}_1 \cdot c_{p1} \cdot (t_1'' - t_1)}{3600} = \frac{\dot{m}_2 \cdot c_{p2} \cdot (t_2 - t_2'')}{3600} [W] \quad (2.82)$$

3. ASPECTE TEORETICE PRIVIND SISTEMELE TERMICE SOLARE

3.1. Introducere

*Contribuția încălzirii termice solare la rezerva de energie a lumii a fost subestimată în trecut. Conform publicației "Solar Heating Worldwide"(2004,) au fost instalați colectori termici solari cu o capacitate totală de 70 GW în întreaga lume în anul 2001. Capacitatea instalată în EU-15 corespunde aproximativ la 10 GW [*****6].*

Deși a fost instalată o capacitate considerabilă în ultimii ani, majoritatea sistemelor termice solare sunt folosite pentru bazinele de înot, producerea de apă caldă menajeră și într-o oarecare măsură pentru încălzirea spațiului. Folosirea energiei termice solare în clădiri rezidențiale mari, pentru răcirea spațiului și pentru aplicații industriale sau uscare este în mod curent nesemnificativă.

Ținta aplicațiilor industriale stabilită în „White Paper” despre energiile regeneratoare, publicată de Comisia Europeană în 1997, de instalare a 100 milioane m² arie de colectori solari până în 2010 nu va fi atinsă, deși energia solară are potențialul de a acoperi complet cererea de încălzire și răcire în sectorul rezidențial și să contribuie semnificativ la rezerva de energie a sectorului comercial.

Pentru a atinge scopul menționat mai sus și a menține pe poziția întâi Europa în domeniul tehnologiei termice solare, este necesar un program ambițios. Obiectivul principal al programului de cercetare este dezvoltarea competitivă a sistemelor solare de încălzire și răcire, ca să acopere 5-10% din încălzirea totală a UE, pe termen mediu (2020). Direcțiile principale [*****6]:

1. Performanță și materiale de cost eficiente pentru sistemele solare îmbunătățite.

Cercetare fundamentală și aplicată trebuie să dezvolte:

- cost efectiv, acoperire optică pe suprafețele care interacționează cu radiația solară pentru a reflecta, transmite sau absorbi lumina în mod eficient.
- costuri scăzute, materiale antireflectante (sintetice noi, cu microstructuri potrivite pentru suprafața panourilor și a tuburilor).

Cercetarea materialelor este necesară pentru partea termică a conversiei energiei solare:

- Materiale și componente pentru scăderea temperaturii de stagnare din colectorul solar, fără scăderea eficienței la nivelul de temperatură necesară.
- Materiale plastice pentru colectorii cu performanță termică și optică mare, care ar putea reduce semnificativ costurile sistemelor termice solare.
- Pentru dezvoltarea acumulării de energie termică solară sunt necesare materiale izolatoare avansate și materiale de stocare a energiei, cu o densitate energetică mai crescută decât apa. Tehnologii promițătoare sunt bazate pe materialele de schimbare a fazei sau pe procese de stocare termo-chimică (de ex.sorbția).

2. Componente termice solare avansate: colectori și tancuri solare

- Colectori plani avansați proiectați special pentru acoperișuri și cu integrare pe fațadă.

- Colectori noi pentru aplicații la temperaturi medii, până la aprox. 250°C sunt necesari în aplicații noi cum ar fi răcirea solară și încălzirea în procesele industriale.
- Colectori fotovoltaici termici (PVT).
- Tancurile solare.

Potențialul aplicațiilor termice solare, în sectorul locuințelor și în cel industrial va crește odată cu existența soluțiilor tehnice adecvate pentru acumularea căldurii pe termen mediu și lung. Astfel de sisteme de stocare ar putea folosi procese chimice sau fizice pentru reducerea volumului total de stocare și a costurilor aferente. Scopul general ar trebui să fie dezvoltarea materialelor, componentelor și sistemelor care permit o reducere a volumului stocării printr-un factor cel puțin 3, comparativ cu apa.

3. Aplicații

Utilizarea pe scară largă a sistemelor solare combinate

Sistemele de încălzire solară pentru prepararea combinată - apă caldă menajeră și încălzirea spațiului, numite *combi-sisteme*, își măresc cota de piață în multe țări europene, dar proiectarea actuală este focalizată pe case familiale.

Obiective: dezvoltarea de combi-sisteme de câteva sute de kW pentru case multifamiliale; aplicarea pe scară largă a sistemelor de încălzire solară de mai mulți MW; optimizarea și dirijarea în ceea ce privește integrarea încălzirii solare termice; optimizarea conceptelor de stocare (găuri subterane, perforații, materiale noi, etc.); contribuția sistemelor solare la sistemele de încălzire centrală pe biomasa și integrarea acestora în rețeaua de încălzire convențională.

Eficiențizarea costurilor cu sistemele de încălzire solară, pentru a acoperi 100% cererea de încălzire a apei și a spațiului din clădirile rezidențiale și comerciale.

Toate combi-sistemele de încălzire combinată a apei și a spațiului de pe piața modernă au nevoie de un rezervor de susținere, de aceea costurile adiționale pot fi compensate doar prin economie de combustibil. Pentru a reduce costurile totale ale sistemelor, este necesară dezvoltarea sistemelor de încălzire bazate doar pe energia solară. Izolarea corespunzătoare a caselor și utilizarea rezervoarelor de stocare de densitate energetică mare, vor contribui semnificativ pentru ca un sistem termic solar să furnizeze 100% din cererea de încălzire a spațiului unei clădiri.

Sistemele termice solare pentru aplicații industriale și desalinizarea apei mării

Sectorul industrial din țările UE are un consum mare de energie (aprox. 30%), urmat îndeaproape de sectoarele transport și locuințe. Proiectarea de sistem energetic corespunzător este necesară pentru a întâmpina cererile industriale. Instrumentele de proiectare, colectori de temperatură medie și rezervoarele de stocare de înaltă performanță sunt necesare pentru integrarea eficientă a energiei solare în procesele industriale.

Aplicații pentru răcire

În ultimii ani, cererea de confort sporit în birouri și locuințe duce la creșterea pieței produselor pentru răcire.

Sisteme pentru încălzirea și răcirea combinată a spațiului de locuit

Combinarea încălzirii solare a spațiului, producerea de apă caldă și răcirea nu s-au realizat până acum. Astfel de sisteme au un potențial de piață foarte mare, dacă se extinde pe tot parcursul anului perioada operațională a colectoarelor solari.

Integrarea sistemelor solare în arhitectura construcțiilor

Pentru introducerea într-o piață extinsă a sistemelor termice solare, trebuie luate în considerare aspectele arhitecturale ale clădirilor. Colectorii termici solari trebuie să devină o parte integrantă a clădirii, devenind elemente de construcție standard.

Standarde, reguli și proceduri de testare

Dezvoltarea pe mai departe și introducerea pe piață a energiei solare termice necesită asigurarea de condiții potrivite de delimitare. Acestea sunt: metode de testare și afirmare a performanței termice; durabilitatea și valabilitatea sistemelor și a componentelor; pachetele educaționale pentru arhitecți. De asemenea, este necesară dezvoltarea metodelor de afirmare a beneficiilor asupra mediului și includerea solar-termic-ului în standardele de construcție și în legislația europeană.

3.2. Încălzirea solară a apei

Sistemele termice solare reprezintă o aplicație importantă de întrebuințare a energiei solare. Folosirea aplicațiilor termice solare are o istorie lungă: se spune că Arhimede ar fi fiert apă folosind o oglindă concavă în anul 214 î.H.; sistemele termice de azi încă mai reprezintă cele mai practice (ca și cost) întrebuințări ale energiei solare.

Sistemele termice solare sunt acele sisteme, care prin folosirea energiei solare încălzesc apa sau un agent termic. De aceea, există diferite aplicații tehnice. Pe lângă încălzirea spațiului și a apei, sistemele termice solare pot fi folosite și în procesele industriale în scop de răcire sau generare a electricității. *Domeniile operaționale principale sunt: încălzirea solară a bazinelor de înot, încălzirea solară a apei menajere, încălzirea solară a spațiului din clădiri, răcirea solară, uscarea (în procesele industriale), generarea de energie electrică.* Deoarece aceste domenii operaționale sunt numeroase, în continuare se prezintă doar principalele aspecte ale încălzirii solare a apei menajere și apei bazinelor de înot.

În tab.3.1. se face un sumar al celor mai importanți parametri termodinamici, simbolurile acestora și unitățile lor de măsură.

Tabelul 3.1. Mărimi termodinamice [Q1].

Nr. crt.	Denumire	Simbol	Unitate de măsură
1.	Căldura, energia	Q, E	J; kWh
2.	Fluxul termic	\dot{Q}, Φ	W
3.	Flux termic unitar	q	W/m ²
4.	Temperatura	t, θ	°C
5.	Temperatura termodinamică	T	K K = -273,15°C
6.	Căldura specifică (masică)	c	J/kg K
7.	Coeficient de conductibilitate termică	λ	W/mK
8.	Coeficient global de transmitere a căldurii	k	W/m ² K
9.	Coeficient de convecție termică	α	W/m ² K

Energia sub formă de căldură Q este legată de fluxul termic (Φ) \dot{Q} :

$$Q = \int \dot{Q} \cdot dT \quad (3.1)$$

Fiecare variație de temperatură $\Delta\theta$ poate cauza variația cantității de căldură ΔQ . Modificarea cantității de căldură poate fi calculată cu ajutorul mărimilor:

căldura specifică (masică) c (J/kgK), ce depinde de natura materialului și masa corpului m (kg):

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \quad (3.2)$$

Pot apărea niște confuzii datorate folosirii diferitelor scări de temperatură. Scara Fahrenheit nu este în general folosită științific. Coexistența temperaturii θ dată în grade Celsius și a temperaturii absolute T dată în grade Kelvin este problematică. Conversia este dată de:

$$T = \theta \cdot \frac{K}{^\circ C} + 273,15K \quad (3.3)$$

Valoarea numerică a $\Delta\theta$ în grade Celsius ($^\circ C$) este aceeași ca diferență de temperatură ΔT în grade Kelvin (K). Deoarece scara Celsius este mai comună este folosită în continuare.

Fluxul termic \dot{Q} care cauzează variația cantității de căldură pentru o căldura specifică constantă c , este:

$$\dot{Q} = \frac{dQ}{dt} = c \cdot \frac{dm}{dt} \cdot \Delta\theta + c \cdot m \cdot \frac{d\Delta\theta}{dt} \quad (3.4)$$

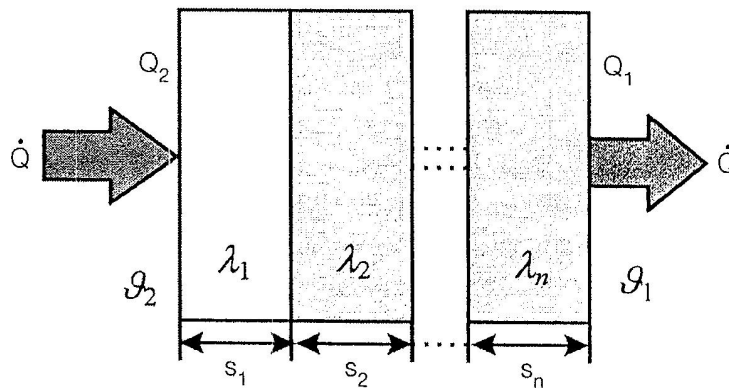


Fig. 3.1. Transferul de căldură prin n straturi de suprafață identică (A) [Q1].

Fig.3.1. arată modalitatea de transmitere a căldurii printr-un perete format din n straturi cu o suprafață de arie A . Pe o parte a peretelui există o temperatură θ_1 , pe cealaltă θ_2 . Această diferență de temperatură generează un flux termic printre straturile date:

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot (\theta_2 - \theta_1) \quad (3.5)$$

Acest flux termic \dot{Q} (W) cauzează o creștere a cantității de căldură, în partea cu temperatură mai joasă și o scădere de temperatură în partea cealaltă, până când ambele părți ajung la aceeași temperatură. Dacă diferența de temperatură dintre cele două părți este mult mai mare, modificarea de temperatură cu conținut mare de căldură poate fi neglijată. De exemplu, conținutul de căldură al mediului exterior unei clădiri este mult mai mare decât al mediului din interiorul acesteia. Fluxul termic prin pereții clădirii nu schimbă temperatura ambientală externă, chiar dacă temperatura ambientală este mai mare sau mai mică decât cea a clădirii.

Coefficientul global de transmitere a căldurii k (W/m^2K) este [Q1]:

$$k = \left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{\lambda_i} \right)^{-1} \quad (3.6)$$

și poate fi calculat cunoscând coeficienții de convecție termică ai ambelor părți a_1 și a_2 (W/m^2K), conductivitatea termică λ_i (W/mK) și grosimile straturilor S_i (m).

3.3. Sistemele termice solare pentru încălzirea apei

3.3.1. Sistemele termice solare pentru încălzirea bazinelor de înot

Energia solară se folosește la încălzirea bazinelor înot, pentru că ele au întotdeauna o cerință mare în ceea ce privește apa caldă. Cererea de temperatură joasă pentru apa bazinului permite folosirea sistemelor de energie solară simple și economice, care s-au dezvoltat pretutindeni în acest sector.

Bazinele de înot din zonele cu climat temperat necesită sisteme de încălzire a apei, altfel sunt utilizabile doar câteva săptămâni pe an. De exemplu, aproximativ 500.000 de bazine au fost construite în Germania. Deoarece temperaturile ambientale medii sunt sub 20°C chiar și vara, există un potențial imens pentru încălzirea solară a bazinelor. În multe cazuri sisteme simple de încălzire solară au devenit deja competitive cu sistemele convenționale de încălzire.

Cererea de apă caldă pentru bazinele de înot situate în aer liber corespunde radiației solare. Iarna, când radiația solară este scăzută, bazinele de înot exterioare nu sunt folosite, în timpul sezonului estival și în perioada de tranziție, încălzirea solară este o opțiune bună. Astăzi, se consumă cantități mari de combustibil fosil pentru încălzirea bazinelor exterioare, deși încălzirea solară a acestora, după cum arată și fig. 3.2. ar putea înlocui majoritatea sistemelor convenționale.

În zonele cu climat central european, temperatura apei din bazine este cuprinsă între 16°C și 19°C în timpul sezonului de vară. O creștere de temperatură cu câteva grade ar fi normală și suficientă pentru confort. Pentru o asemenea cerere mică de căldură pot fi folosiți *colectorii solari simpli*. Acești colectori convertesc radiația solară în căldură, disponibilă pentru bazinul de înot. Circuitul apei de la colectorul solar la bazin și invers se realizează cu ajutorul unei pompe. În acest caz, nu este necesar un rezervor de stocare a apei calde, deoarece bazinul însuși servește drept rezervor.

Dacă în timpul verii se expune la soare un furtun închis la culoare, apa din interiorul acestuia devine fierbinte într-un timp relativ scurt. Un colector solar pentru bazinul de înot nu este mult mai complicat, el poate fi făcut din țevi negre instalate pe o suprafață întinsă, cum ar fi un acoperiș.

Tubulatura colectorului solar este din plastic, care trebuie să fie rezistent degradării cauzate de razele ultraviolete și de apa clorinată a bazinului. Câteva materiale potrivite sunt polietilena (PE), polipropilenă (PP) și etilenpropilendienmonomer (EPDM). EPDM are o durată de viață mai lungă dar și costă mai mult. Nu trebuie folosit PVC-ul din motive ecologice – poate să emită dioxine extrem de toxice, dacă este ars.

Pompa sistemului ar trebui să opereze doar dacă colectorul poate obține o creștere a temperaturii apei din bazin. Dacă pompa operează în condiții de cer noros sau în timpul nopții, apa din bazin se răcește datorită colectorului, care acum acționează ca un radiator. Aceasta problema se poate preveni dacă se montează senzori, care detectează diferența de temperatură între bazin și colector și un sistem

de comandă pentru oprirea pompei. Pentru a asigura întotdeauna temperatura dorită în bazin se poate integra un sistem convențional auxiliar. Dacă bazinul este încălzit doar solar, temperatura apei va fluctua odată cu vremea. În perioadele cu vreme rea, temperatura din bazin este sensibil mai scăzută; oricum aceasta este adesea acceptabilă deoarece bazinul nu este des folosit în aceste condiții.

Funcționarea pompei necesită energie electrică, care ar putea fi obținută cu ajutorul unui sistem solar fotovoltaic. În acest caz, nu mai este necesar sistemul de comandă cu senzori, deoarece generatorul fotovoltaic pornește pompa doar când strălucește soarele.

Cantitatea de energie necesară asigurării temperaturii bazinelor exterioare în climatul temperat este între 150 kWh și 450 kWh pe m² suprafață de bazin. Un sistem solar de încălzire bine proiectat poate menține temperatura de bază la 23°C și astfel nu mai este necesar un sistem de încălzire cu combustibili fosili. Pentru un bazin cu o suprafață de 2000 m², un sistem solar poate economisi arderea a 75.000 litri de combustibil și producerea de 150.000 kg CO₂ (pentru un boiler cu $\eta = 80\%$) în fiecare sezon [Q1]. Acoperirea bazinului în timpul nopții poate diminua pierderile de căldură și poate economisi energia adițională.

De regulă, mărimea suprafeței colectorului solar ar trebui să fie de 50...80% din suprafața bazinului, în funcție de climat. Experiența câștigată cu instalațiile solare și simularea computerizată pot furniza mai multe valori exacte pentru proiectarea sistemului. Costurile colectorului sunt cam de 100 €/m² [Q1]. De obicei, costurile sistemului solar de încălzire sunt mai mici decât costurile sistemelor cu combustibil fosil. Numai dacă bazinul de înot exterior este operabil pe tot parcursul anului sau dacă temperatura din bazin trebuie să fie destul de mare, atunci se justifică folosirea unui sistem auxiliar de încălzire cu combustibil fosil, care va reduce costurile.

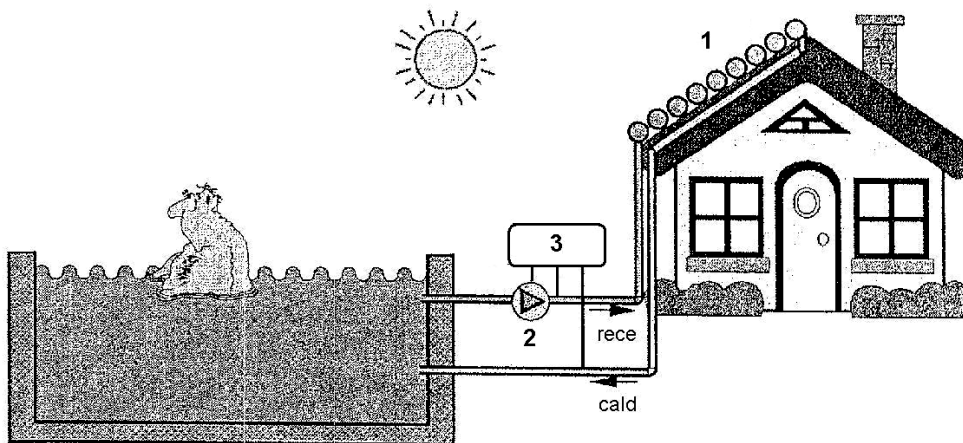


Fig. 3.2. Principiul de funcționare al sistemului solar pentru încălzirea bazinelor de înot [Q1]:

1=captatoare solare, 2 =pompa, 3=unitate de control.

3.3.2. Sistemele termice solare pentru încălzirea apei menajere

Încălzirea apei menajere implică obținerea unor temperaturi mult mai înalte decât în cazul bazinelor de înot. Colectorii solari simpli, folosiți pentru încălzirea apei din bazinele de înot, sunt necorespunzători pentru încălzirea apei menajere, deoarece

colectorul solar pierde căldură datorită convecției, ploii, zăpezii, etc. Sistemele de încălzire ale apei menajere folosesc colectori solari care au pierderi mult mai mici la temperaturi mari ale apei.

Colectorii solari sunt : plani și cu tuburi vidate.



Fig. 3.3. Captatoare solare cu tuburi vidate [*****18].

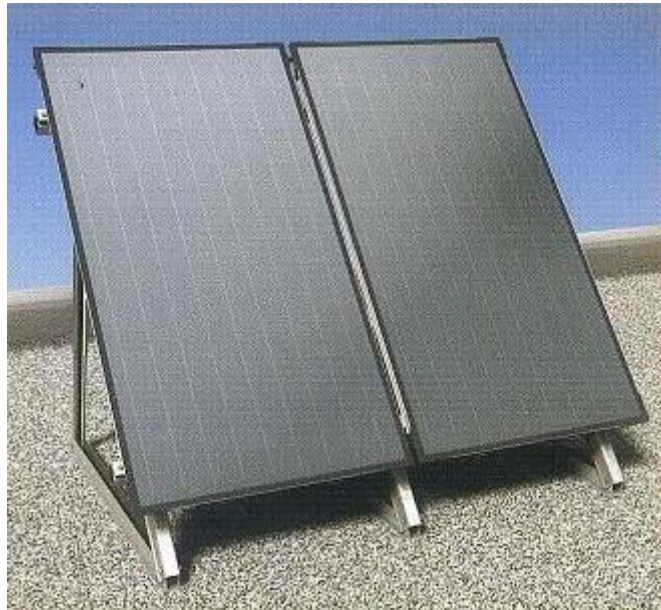


Fig. 3.4. Captatoare solare plane [*****34].

Un sistem complet pentru încălzirea apei menajere constă din: panouri solare, tanc solar, pompă, vas de expansiune, unitate de control computerizat, țevi, robineti, supape.

Un sistem foarte simplu pentru încălzirea solară a apei poate fi obținut dintr-un rezervor negru umplut cu apă, care este expus soarelui, în timpul verii. Dacă

robinetul de golire este instalat în partea inferioară a rezervorului, apa caldă obținută poate fi folosită, fără a fi necesare alte părți componente. Un exemplu pentru o astfel de aplicație este "dușul solar" care se vinde ca și echipament de camping. În principal, acesta este un rezervor negru atârnat de o creangă înaltă a unui copac. Dacă rezervorul este expus câteva ore la radiațiile solare, se poate face un duș cu apă încălzită solar. După golirea rezervorului, acesta trebuie umplut manual din nou. Pentru a evita acest disconfort, rezervorul poate fi umplut automat prin conectarea unui furtun, care înlocuiește cantitatea de apă consumată. O altă îmbunătățire, cu o mare eficiență pe parcursul întregului an, este înlocuirea rezervorului cu un colector solar. De asemenea, este necesară existența unui rezervor de acumulare a apei calde. În secțiunile următoare sunt descrise două sisteme care au rezervoare de acumulare a apei calde.

Sisteme termosifon

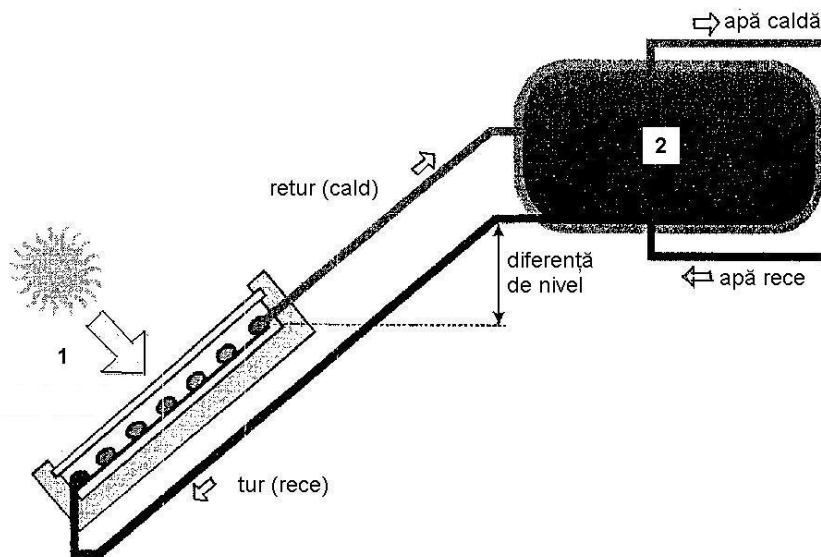


Fig. 3.5. Principiul de funcționare al sistemului termic solar cu circuit gravitațional (termosifon);
1=captatoare solare, 2=rezervor de apă [Q1].

Un sistem termosifon, după cum arată fig.3.5. și fig.3.6. folosește forța gravitațională. Apa rece are o densitate specifică mai mare decât cea caldă. Din această cauză este mai grea și se acumulează jos. Colectorul solar (1) este montat întotdeauna sub rezervorul de înmagazinare a apei (2). Apa rece, aflată în partea inferioară a rezervorului de înmagazinare, curge către colectorul solar printr-un furtun descendent (tur). Când colectorul solar încălzește apa, aceasta se ridică din nou și curge înapoi în rezervor, printr-un furtun ascendent (retur) montat la capătul superior al colectorului. Ciclul descris încălzește apa până se atinge o temperatură de echilibru. Consumatorul poate extrage apă caldă din partea superioară a rezervorului. Apa folosită este înlocuită printr-o rezervă de apă proaspătă, care intră printr-un orificiu aflat în partea inferioară a rezervorului. Această apă rece se alătură ciclului și este încălzită în colector în același mod ca și înainte. Circuitul apei se

adaptează puterii radiației solare disponibile (la radiații solare mai mari, aceeași cantitate de apă caldă se acumulează mai repede decât la radiații mai mici).

Este foarte important ca rezervorul de stocarea apei, într-un sistem termosifon, să fie așezat deasupra colectorului solar, în caz contrar, ciclul poate să funcționeze în sens invers, în timpul nopții și să răcească apa din rezervor. În regiunile cu radiație solară mare (Grecia, Italia, Spania) rezervoarele de stocare sunt montate pe acoperișurile clădirilor. Panourile solare sunt așezate pe acoperișuri sau pe pereții însoriți ai acestora. La acoperișurile cu cornișe, rezervorul trebuie montat cât mai sus posibil pe acoperiș, dacă colectorul solar este instalat pe acesta.



Fig. 3.6. Sistem solar termosifon (foto Grecia)

Dezavantaje: masa rezervorului plin cu apă poate cauza câteodată probleme structurale; sistemul se poate folosi numai în timpul verii, deoarece iarna există pericol de îngheț al apei din circuit.

Un sistem în care apa curge direct printr-un colector este numit *sistem cu un singur circuit*. Astfel de sisteme sunt adecvate doar unor regiuni lipsite de îngheț. În regiunile cu posibilitate de îngheț, este necesar *un sistem cu circuit dublu*, în care apa se află în rezervorul de stocare, iar prin circuit curge un agent termic format dintr-un amestec de apă și antigel. Agentul termic primește căldura de la captatorul solar și o transferă apei din rezervor. Glicolii sunt adesea folosiți ca agenți antigel; oricum agenții antigel trebuie să fie nontoxici deoarece pot contamina rezerva de apă, în cazul avarierii sistemului. De aceea, etilen-glicolul, care este folosit pentru multe aplicații tehnice, nu este folosit la sistemele solare de energie. Pentru a evita coroziunea, antigelul trebuie să fie compatibil cu materialul folosit la tubulatura sistemului.

Dezavantaje: sistemul este inert și nu poate reacționa la schimbări rapide ale radiației solare. Sistemul termosifon nu este adecvat pentru o suprafață de colectare mai mare de 10 m²; rezervorul trebuie să fie întotdeauna instalat deasupra

colectorului, ceea ce nu se realizează ușor întotdeauna; eficiența colectorului solar poate să scadă datorită temperaturilor ridicate aflate în circuit.

Avantaje: sistemele termosifon se folosesc la încălzirea apei menajere și sunt foarte economice; principiul de funcționare este simplu și nu necesită pompă și sistem de comandă; energia necesară funcționării pompei și a sistemului de control este economisită.

Sisteme termice solare cu circulație forțată

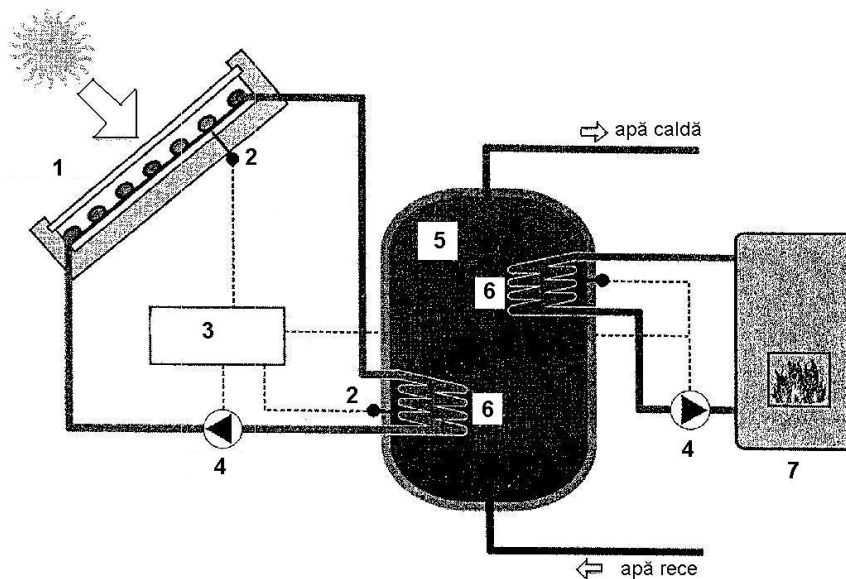


Fig. 3.7. Principiul de funcționare al sistemului termic solar cu circuit dublu și circulație forțată [Q1]:

1=captatoare solare, 2=senzor de temperatură, 3=sistem de comandă și control, 4=pompă, 5=rezervor de apă, 6=schimbător de căldură, 7=boiler convențional.

Avantaje: În contrast cu sistemele termosifon, sistemele cu circulație forțată folosesc o pompă electrică (4) pentru a asigura circulația apei. Colectorul solar (1) și rezervorul de stocare (5) pot fi instalate independent și nu mai este necesară o diferență de nivel între acestea. Lungimea țevelor trebuie să fie cât mai scurtă posibil, deoarece ele cauzează pierderi de căldură. În fig.3.7. se prezintă principiul de funcționare al unui sistem termic solar cu circulație forțată.

Doi senzori de temperatură (2) monitorizează temperatura în colectorul solar (1) și în rezervor (5). Dacă temperatura agentului termic din colectorul solar este mai mare decât temperatura apei din rezervor, cu o anumită diferență $\Delta T = 5...10^{\circ}\text{C}$ (stabilită), atunci sistemul de comandă pornește pompa. Pompa asigură circulația agentului termic, care intră în rezervor, într-un schimbător de căldură (6), unde cedează căldura sa apei reci. Dacă diferența de temperatură este minimă, atunci sistemul de comandă oprește pompa. Alegerea celor două praguri de temperatură (min, max) trebuie să asigure funcționarea corespunzătoare a pompei, în condiții de radiații joase.

Pompele cu circulație convențională, concepute pentru instalațiile de încălzire, pot fi folosite și în sistemele solare. Aceste pompe sunt economice. Majoritatea pompelor au diverse trepte de funcționare, pentru a adapta debitul fluidului de lucru, la radiația solară. Pompele sunt proiectate, de obicei, pentru un debit de fluid cuprins între 30-50 l/h pe m² suprafață de colector solar. Debitul mai mare sunt alese pentru colectori solari folosiți la bazinele de înot, deoarece se cere o temperatură mai scăzută și apa are nevoie de mai puțină încălzire. Dacă debitul de fluid este prea scăzut, temperatura în colector crește și eficiența sistemului scade. Pe de altă parte, dacă debitul este prea crescut, energia necesară funcționării pompei este mai mare.

Pompele funcționează la curentul alternativ al rețelei sau la motoare DC. Un sistem mic fotovoltaic poate asigura toată energia electrică necesară. În acest caz, toată energia pentru sistem vine de la soare.

3.4. Stocarea energiei termo-solare

În cazul sistemelor termice solare sunt folosite diferite sisteme de stocare, în funcție de domeniul de aplicație. Obiectivul sistemelor de stocare a căldurii este acela de a furniza căldura dorită chiar și în locațiile cu radiații solare fluctuante. Ele pot fi împărțite în două grupe:

- sisteme de stocare pe termen scurt (ciclu zilnic) și
- sisteme de stocare pe termen lung (stocare sezonieră).

Sistemele de stocare pe termen lung ar trebui să compenseze fluctuațiile sezoniere, în timp ce, în general, cele pe termen scurt se cer să înmagazineze căldura pentru câteva ore sau zile. De aceea, sistemele de stocare pe termen lung necesită un volum mai mare al rezervorului. Sistemele de stocare cu volume mari pot fi [Q1]:

- bazine artificiale de stocare,
- caverne stâncoase (cavități în stâncă),
- stocare subterană (apă subterană),
- stocare în sol sau în stâncă.

Sistemele de stocare mai pot fi împărțite în funcție de variațiile de temperatură în:

- sisteme de stocare la temperatură joasă (sub 100°C),
- sisteme de stocare la temperaturi medii (între 100°C și 500°C),
- sisteme de stocare la temperaturi înalte (peste 500°C).

Mai sunt și următoarele tipuri de stocare:

- stocarea căldurii (care poate fi simțită),
- stocarea căldurii latente (datorată modificărilor de stare fizică),
- stocarea energiei termo-chimice.

În cele ce urmează sunt descrise doar *sistemele de stocare a căldurii la temperaturi joase*. Tab.3.2. arată caracteristicile unor materiale de stocare la temperaturi joase.

Tabelul 3.2. Caracteristicile materialelor de stocare la temperaturi joase [Q1].

Nr.crt.	Materia	Densitatea ρ (kg/m ³)	Conductivitatea termică λ (W/mK)	Căldura specifică c (kJ/kgK)
1.	Apă (0°C)	999,8	0,5620	4,217
2.	Apă (20°C)	998,3	0,5996	4,182
3.	Apă (50°C)	988,1	0,6405	4,181
4.	Apă (100°C)	958,1	0,6803	4,215
5.	Granit	2750	2,9	0,890
6.	Argilă	1450	1,28	0,880

Sursa:Khartchenko,1998

Rezervoare de stocare a apei calde

Doar simulările anuale pot estima dimensiunile exacte ale rezervoarelor de stocare ale apei calde. Dimensiunile rezervoarelor depind de: cererea de apă, fracția solară, performanța captatorului, orientarea acestuia, țevi și nu în cele din urmă, de radiația solară anuală. Pentru climatele central europene poate fi făcută o estimare aproximativă. În acest caz, *volumul de stocare* ar trebui să fie 1,5 până la 2 ori cererea zilnică. Pe lângă volumul de stocare necesar cererii zilnice trebuie luate în considerare și un volum standby de 50% și un volum de preîncălzire de 20 de (l/m^2) de suprafață colectoare.

Rezervoarele de apă caldă presurizată comercială sunt disponibile cu volume între 100 (l) și 1000 (l). Mărimea recomandată a rezervorului de stocare pentru o casă familială cu 4 -6 persoane este cuprinsă între 300 (l) și 500 (l).

Majoritatea rezervoarelor de stocare solare au două schimbătoare de căldură. Schimbătorul de căldură al sistemului solar se află în partea inferioară a rezervorului, iar schimbătorul de căldură pentru încălzitorul auxiliar este în partea superioară. Rezervorul are o deschidere aproape de mijlocul schimbătorului de căldură pentru integrarea senzorilor de temperatură ai sistemului de control. Orificiul de intrare al apei reci este la baza rezervorului de stocare și cel de ieșire al apei calde este la vârful acestuia, pentru obținerea unei bune stratificări a căldurii.

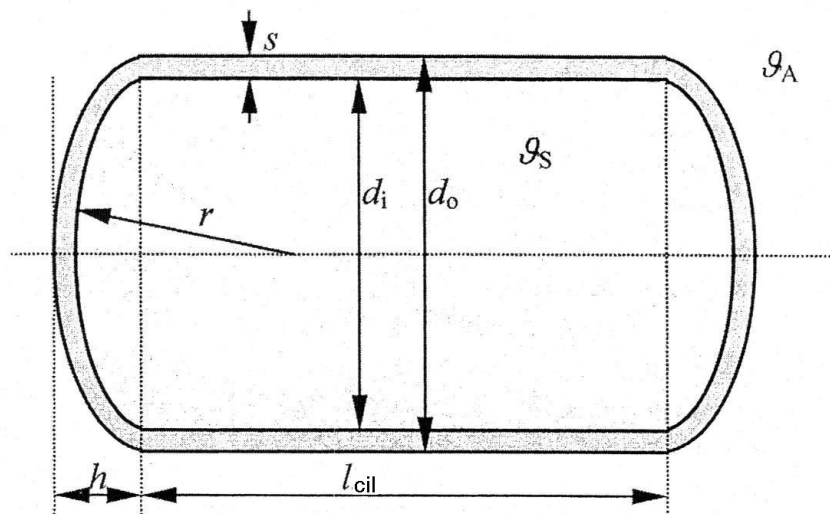


Fig. 3.8. Rezervor de stocare a apei calde, cu capace sferice [Q1].

Fig.3.8. arată un rezervor de stocare cilindric orizontal cu capace sferice. Pierderile de căldură stocată sunt calculate, de exemplu, pentru acest rezervor. Rezervoarele de înmagazinare a căldurii prezintă întotdeauna *pierderi de căldură* datorate fenomenului de transmitere a căldurii prin izolație. Pentru a obține o izolare mai bună, stratul ar trebui să aibă grosimea de cel puțin 100 (mm) la o conductivitate termică $\lambda=0,04(W/mK)$. Câteva materiale noi au conductivitate termică foarte mică, de exemplu stratul de izolație din fibră de sticlă în vid poate atinge o conductivitate termică $\lambda=0,005 (W/mK)$ la presiuni $p=3...10 (mbar)$.

Capacitatea de stocare a rezervorului de apă caldă este [Q1]:

$$Q = m \cdot c \cdot (\theta_S - \theta_A) \quad [\text{Wh}] \quad (3.7)$$

Această căldură (Q) depinde de diferența dintre temperatura medie de stocare (θ_S) și temperatura mediului ambiant (θ_A), de căldura specifică masică (c) și masa (m) apei calde stocate.

Căldura specifică masică a apei este $c_{\text{H}_2\text{O}}=4,181(\text{kJ/kgK}) = 1,161(\text{Wh/kgK})$, la temperatura de 50°C și densitatea $\rho_{\text{H}_2\text{O}}=0,9881 (\text{kg/l})$. De aceea, capacitatea de stocare a căldurii într-un rezervor de 300(l) pentru apă caldă, având o diferență de temperatură $d\theta= 70(^\circ\text{C})$ este de 24 (kWh).

Fluxul termic \dot{Q}_S pierdut prin pereții rezervorului cilindrico-sferic reprezintă suma dintre fluxul termic transmis prin partea cilindrică \dot{Q}_{scil} și fluxul de termic transmis prin capacele sferice \dot{Q}_{ss} :

$$\dot{Q}_S = \dot{Q}_{scil} + \dot{Q}_{ss} \quad [\text{W}] \quad (3.8)$$

Fluxul termic transmis prin partea cilindrică este \dot{Q}_{scil} :

$$\dot{Q}_{scil} = k' \cdot l_{cil} \cdot (\theta_S - \theta_A) \quad [\text{W}] \quad (3.9)$$

și poate fi calculat ca la țevi având coeficientul de schimb de căldură k' și lungimea l_{cil} .

Conductivitatea termică a izolației (λ), coeficientul de transmitere a căldurii (α) dintre stratul de izolație și aer, diametrul exterior al izolației (d_0) și diametrul interior (d_i) definesc coeficientul global de schimb de căldură k' :

$$k' = \frac{\pi}{\frac{1}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln \frac{d_0}{d_i} + \frac{1}{\alpha \cdot d_0}} \quad [\text{W/mK}] \quad (3.10)$$

Valorile interpolate liniar între 10 ($\text{W/m}^2\text{K}$) pentru $k \leq 0,2 (\text{W/mK})$ și 15,5 ($\text{W/m}^2\text{K}$) pentru $k \leq 0,5 (\text{W/mK})$ sunt folosite pentru a estima coeficientul de transmitere a căldurii (α).

Ținând cont de diferența de temperatură între mediul de stocare și aerul înconjurător, coeficientul de schimb de căldură (k) și suprafața capacelor sferice (A_s), fluxul termic transmis prin capacele sferice devine (\dot{Q}_{ss}):

$$\dot{Q}_{ss} = k \cdot A_s \cdot (\theta_S - \theta_A) \quad (3.11)$$

Având coeficientul de transmitere a căldurii (α_1) prin suprafața dintre peretele rezervorului și izolație și coeficientul de transmitere a căldurii (α_2) de la izolație către aerul înconjurător, grosimea izolației (s), conductivitatea termică a izolației (λ) și presupunând că temperatura peretelui rezervorului este egală cu temperatura de înmagazinare θ_s , coeficientul de schimb de căldură $k(\text{W/m}^2\text{K})$ devine:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{s}{\lambda}} \quad (3.12)$$

Coeficientul de transmitere a căldurii (α_1) prin suprafața dintre peretele rezervorului și izolație poate fi estimat la $\alpha_1=300(\text{W/m}^2\text{K})$.

Coeficientul de transmitere a căldurii (α_2) prin suprafața dintre izolație și aerul înconjurător depinde de orientarea peretelui (VDI, 1982):

- perete orizontal cu transfer de căldură în sus:

$$\alpha_2 = 2,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot \sqrt[4]{(\theta_S - \theta_A)/^\circ\text{C}} \quad (3.13)$$

- perete orizontal cu transfer de căldură în jos:

$$\alpha_2 = 1,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot \sqrt[4]{(\theta_S - \theta_A)/^\circ\text{C}} \quad (3.14)$$

- perete vertical (capac sferic) cu transfer de căldură prin lateral:

$$a_2 = 2,2 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot \sqrt[4]{(\theta_s - \theta_A) / ^\circ C} \quad (3.15)$$

Având raza (r) și înălțimea (h) a capacelor sferice, aria sferei (A_s) este:

$$A_s = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h \quad (3.16)$$

Temperatura de stocare (θ_s) scade în timp (t):

$$\theta_s(t) = \exp\left(-\frac{k' \cdot l_{cil} + 2 \cdot k \cdot A_s}{c \cdot m} \cdot t\right) \cdot (\theta_s - \theta_A) + \theta_A \quad (3.17)$$

Timpul de stocare constant τ (h) este :

$$\tau = \frac{c \cdot m}{k' \cdot l_{cil} + 2 \cdot k \cdot A_s} \quad (3.18)$$

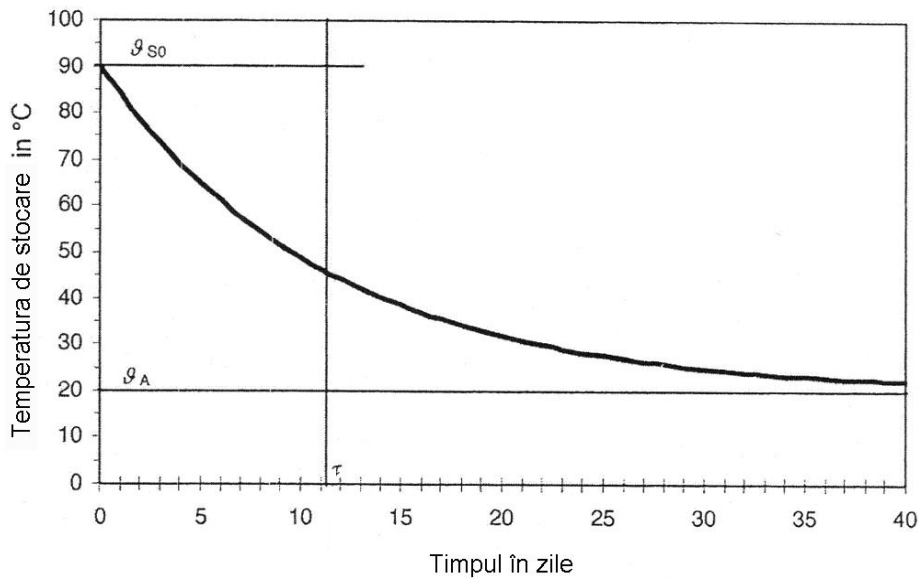


Fig. 3.9. Variația în timp a temperaturii de stocare θ_s la un rezervor staționar $V=300l$ [Q1].

Fig.3.9. arată variația în timp a temperaturii de acumulare a unui rezervor staționar (nu se descarcă și nu se încarcă). Este evident, că o mare parte a căldurii înmagazinate este transmisă din nou în mediul înconjurător. După mai mult de o săptămână, temperatura de acumulare este doar la jumătate din valoarea inițială. De aceea, un astfel de rezervor poate să mențină temperatura doar pentru câteva zile. Rația de volum pe aria de suprafață crește pentru rezervoare mai mari, astfel că pierderile relative de căldură scad. Sistemele de stocare de 1000 m^3 sau mai mari pot atinge valori de temperaturi constante de aprox. 6 luni. Astfel de sisteme pot fi folosite pentru stocări sezoniere, cum ar fi stocarea căldurii de la vară la iarnă. De asemenea, este foarte importantă și calitatea izolației pentru sistemele de înmagazinare sezonieră, în vederea reducerii pierderilor de căldură.

Sistemele termice solare compacte nu sunt operaționale de obicei în condiții staționare. Colectorul solar alimentează continuu rezervorul de înmagazinare și consumatorii folosesc apa caldă. Doar programele detaliate de computer pot estima variațiile de temperatură de stocare.

Temperaturile de înmagazinare calculate mai sus sunt toate temperaturi medii; oricum, majoritatea rezervoarelor au *stratificările de temperatură* dorite.

Temperatura în partea superioară a rezervorului de stocare, adică lângă orificiul de ieșire, este mai mare decât în partea inferioară (jos) lângă orificiul de intrare al apei reci. Această stratificare poate fi luată în considerare dacă înmagazinarea este subdivizată în mai multe straturi. În acest caz, fluxul de căldură dintre toate straturile trebuie calculat separat.

Sistemele de dimensiuni mari au cereri mai mari, cum ar fi cele pentru casele familiale. Acestea folosesc *două rezervoare de stocare conectate în serie*. Pentru un sistem cu preîncălzire solară, primul rezervor de înmagazinare are schimbătorul de căldură solară și cel de-al doilea conține schimbătorul de căldură al încălzitorului auxiliar. Frația solară a acestor sisteme este relativ joasă și randamentul acestui sistem, comparativ cu unul cu combustibili convenționali ieftini, este relativ mare.

Un alt concept, *cu două rezervoare de stocare, conține în ambele rezervoare câte un schimbător de căldură*. Captatorul solar poate încălzi ambele rezervoare separat. Aceasta crește semnificativ fracția solară. Dacă primul rezervor este plin, sistemul de control pornește cel de-al doilea rezervor. Un încălzitor auxiliar poate încălzi cel de-al doilea rezervor de stocare în ambele sisteme. Fig.3.10. arată cele două concepte descrise cu două rezervoare de înmagazinare.

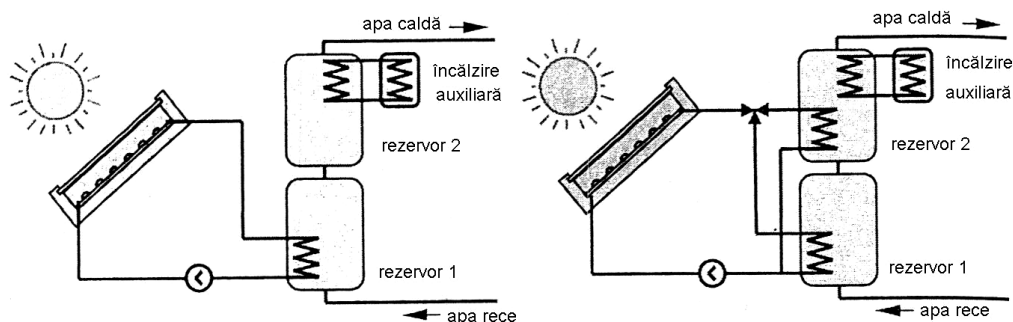


Fig. 3.10. Sisteme colectoare cu două rezervoare de stocare [Q1].

Căldura necesară sistemelor de apă menajeră

Cantitatea de căldură Q_D necesară pentru sistemele de apă menajeră poate fi calculată pornind de la cantitatea de apă folosită. Având căldura specifică masică a apei $c_{H_2O}=4,181(kJ/kgK)=1,161(Wh/kgK)$, masa apei (m), temperatura apei reci θ_{AR} și temperatura apei calde θ_{AC} cantitatea de căldură necesară devine:

$$Q_D = m \cdot c \cdot (\theta_{AC} - \theta_{AR}) [Wh] \quad (3.19)$$

Tab.3.3. arată necesarul de apă caldă pentru clădirile rezidențiale din Germania..

Tabelul 3.3. Cererea de apă caldă a clădirilor rezidențiale (Germania) [Q1].

	Necesarul de apă caldă (l/zi și pers.) $\theta_{AC}=60^\circ C / \theta_{AC}=45^\circ C$.	Cantitatea de căldură necesară (Wh/zi și pers.)
Consum scăzut	10-20 / 15-30	600-1200
Consum mediu	20-40 / 30-60	1200-2400
Consum ridicat	40-80 / 60-120	2400-4800

Dacă nu este dată o valoare pentru apa rece, poate fi folosită valoarea $\theta_{AR}=10^\circ C$. În țările cu o temperatură ambientală anuală mai mare, trebuie aleasă o temperatură

mai mare a apei reci. Dacă sunt folosite mașinile de spălat rufe și mașinile de spălat vase, care au orificiu de intrare pentru apă caldă, cererea de apă caldă crește. Cererea de apă caldă a restaurantelor poate fi estimată ca 230-460 Wh/set meniu și de 2500-5000 Wh /utilizator la saune [Q1]

3.5. Captatoarele solare

Captatoarele solare sunt cunoscute și sub denumirile de colectoare solare, respectiv panouri solare. În scopul obținerii energiei termice necesare încălzirii apei menajere, sunt disponibile următoarele tipuri de captatoare solare:

- captatoare solare cu tuburi vidate,
- captatoare solare compacte,
- captatoare solare plane sau plate.

Sistemele termice solare cu panouri plane și cele cu tuburi vidate necesită întotdeauna un rezervor de stocare. Dacă volumul rezervorului de stocare este mic, atunci temperatura apei din el poate atinge valori mai mari de 100°C, dacă apa nu este consumată. De asemenea, eficiența panourilor scade semnificativ la temperaturi mari de operare. De aceea, toate sistemele solare utilizate pentru încălzirea apei menajere au nevoie de un rezervor de stocare pentru înmagazinarea cantității de căldură absorbită și pentru asigurarea rezervei de apă în timpul perioadelor cu vreme rea sau pe timp de noapte. În contrast, în cazul sistemelor solare destinate încălzirii bazinelor de înot, apa din bazin reprezintă rezerva însăși.

3.5.1. Captatoare solare cu tuburi vidate

Captatoarele solare cu tuburi vidate sunt prezentate în fig.3.11. Fiecare tub vidat este alcătuit din două tuburi de sticlă. Tubul exterior este din sticlă transparentă borosilicată, ce poate rezista la grindină de până la 30 mm diametru. Tubul interior este de asemenea din sticlă borosilicată, dar cu o acoperire (de exemplu: Al-N/Al sau TiNOX), ce absoarbe foarte bine căldura solară și are coeficient de reflexie foarte mic. Aerul dintre cele două tuburi este evacuat, între tuburi existând vid. Existența vidului duce la scăderea pierderilor datorate conducției și convecției termice.

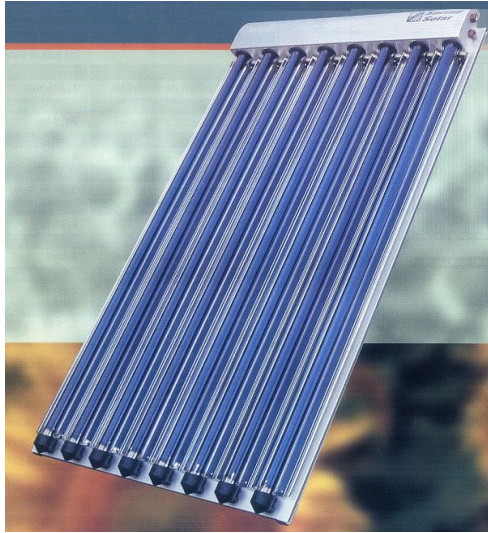


Fig. 3.11. Captator solar cu tuburi vidate [*****44].

Vidul din interiorul *tuburilor de sticlă* închise este mai ușor de păstrat pe termen lung decât acela din panourile solare plane. Tuburile de sticlă pot rezista la presiunea atmosferică datorită formei lor, nefiind necesară existența unor suporturi între partea din față și cea din spate.

Principiul de funcționare: în tubul interior de sticlă (absorbant) se află o țevă din Cu numită *țevă de încălzire* (heat pipe), prin care circulă un agent termic, de exemplu *metanolul*. Sub acțiunea radiației solare, agentul termic (fluidul de lucru) din țevă de încălzire se vaporizează. Vaporii se ridică spre condensator (schimbător de căldură) unde are loc schimbul de căldură. Prin condensare, se cedează căldura unui alt agent termic aflat în condensator, care circulă în sistemul solar. Fluidul condensat curge gravitațional, înapoi, în țevă de încălzire, unde soarele începe să-l încălzească din nou. Pentru desfășurarea corespunzătoare a procesului de vaporizare-condensare, tuburile trebuie să aibă un unghi minim de înclinare pentru a permite vaporilor să se ridice și fluidului condensat să curgă înapoi. În fig.3.12. se arată principiul de funcționare într-o secțiune printr-un tub vidat. Fotografia din fig.3.13. arată un detaliu al tubului vidat.

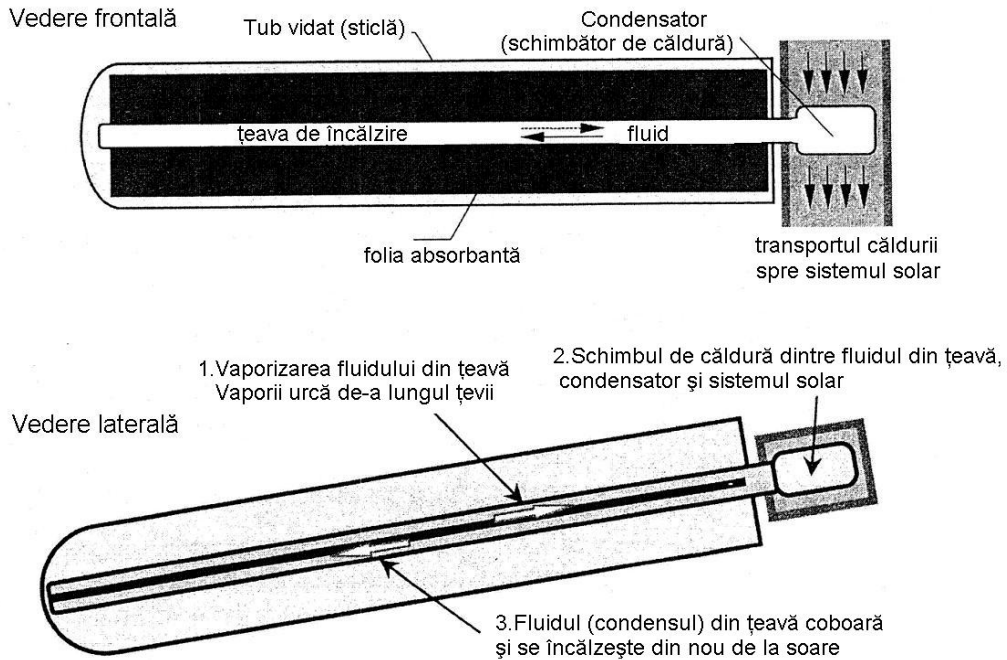


Fig. 3.12. Principiul constructiv și principiul de funcționare al unui tub vidat [Q1].



Fig. 3.13. Tuburi vidate.(stand)

Există colectoare cu tuburi vidate cu țeavă de încălzire, care trece prin capătul tubului de sticlă. Acestea se numesc *colectoare cu tuburi de evacuare* (fig.3.14). Agentul termic care transferă căldura sistemului solar poate curge direct prin țevile de încălzire ale colectoarelor. Atunci, nu mai este necesar un schimbător de căldură (condensator) și colectorul nu mai trebuie să aibă un minim de înclinare.

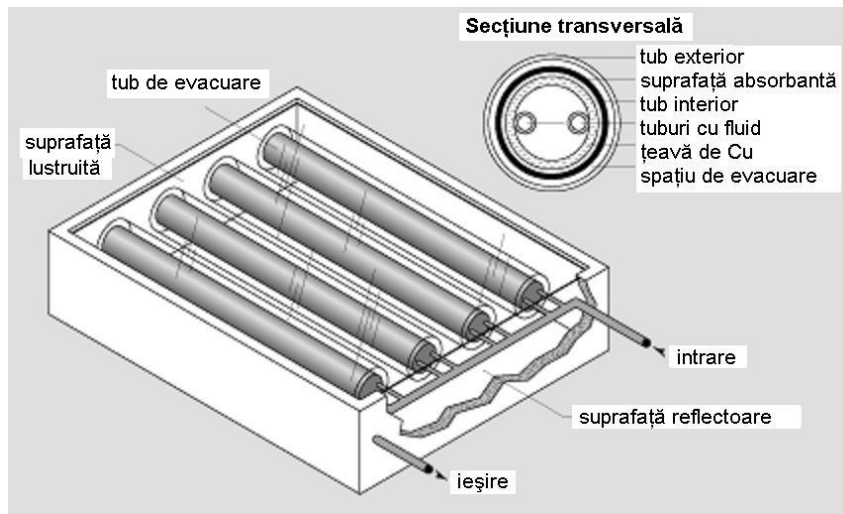


Fig. 3.14. Colector solar cu tuburi de evacuare [*****27].

Intrarea hidrogenului atmosferic în vid nu poate fi evitată chiar dacă sticla este aproape ermetică, deoarece atomii de hidrogen sunt extrem de mici. Aceștia distrug vidul în timpul unei perioade îndelungate de funcționare. De aceea, în interiorul tubului de sticlă sunt instalați așa numiții „colector”, care pot absorbi hidrogenul într-o perioadă de timp.

Eficiența panourilor solare cu tuburi vidate

Spre deosebire de panourile plane, panourile solare cu tuburi vidate sunt cilindrice și astfel pot urmări soarele, în mod pasiv, pe durata zilei. *Razele soarelui cad perpendicular pe tuburile cilindrice, aproape toată ziua* (v.fig.3.15.). Panourile plane nu pot urmări direcția soarelui, iar randamentul lor este maxim doar atunci când razele soarelui cad perpendicular pe acestea. În restul zilei, razele vor cădea sub un anumit unghi, mai mic de 90° , în acest caz, radiația solară absorbită fiind mai mică decât cea maximă.

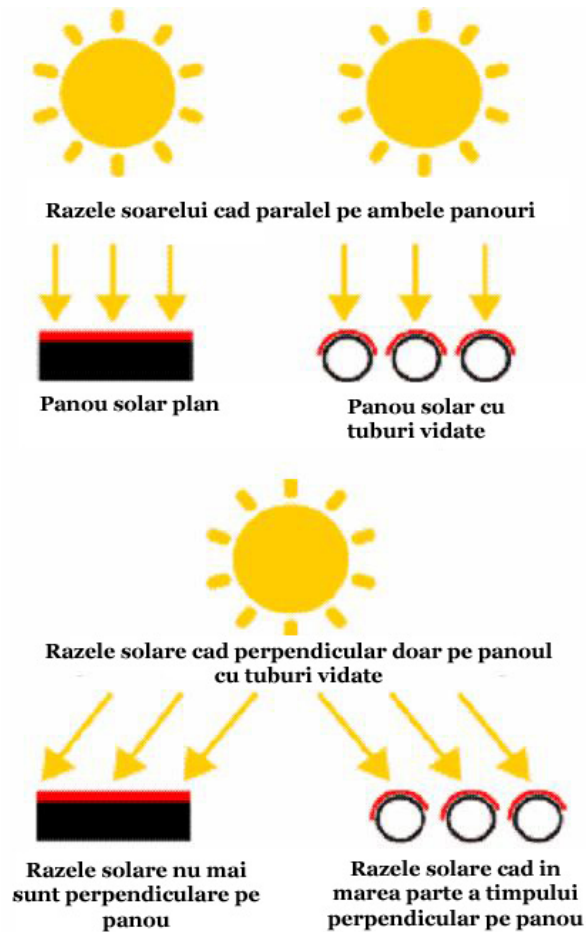


Fig. 3.15. Incidența razelor solare pe panourile plane și pe panourile cu tuburi vidate [*****27].

Radiația solară incidentă pe tuburile vidate este relativ constantă, pe timpul zilei, fapt ce duce la maximizarea cantității de energie absorbită. Deoarece soarele cade perpendicular pe tuburi, pe durata zilei, scad pierderile datorate reflexiei.

Utilizarea panourilor cu tuburi vidate este viabilă și în caz de temperaturi scăzute, spre deosebire de panourile plane. Panourile solare cu tuburi vidate pot obține un randament energetic semnificativ în lunile reci ale anului. Astfel, panourile solare cu tuburi vidate au nevoie de o arie de colectare mai mică comparativ cu panourile solare plane. Prețurile panourilor solare cu tuburi vidate sunt însă mai mari decât cele ale panourilor plane.

La temperaturi ridicate, diferențele dintre cele două tipuri de panouri se diminuează, însă panourile solare cu tuburi vidate rămân superioare, datorită faptului că, agentul termic de încălzește mai mult.

În condițiile în care unul sau mai multe tuburi suferă daune sau se sparg, panoul solar poate funcționa în continuare, fiecare dintre tuburi funcționând independent, dar scade randamentul.

3.5.2. Captatoare solare compacte

Captatoarele solare compacte au rezervorul de stocare al apei calde integrat în corpul lor. În acest caz, nu este ușor de construit un sistem tehnic robust. Dacă sistemul este folosit într-o regiune cu pericol de îngheț, pierderile de căldură duc la răcirea atât a colectorului cât și a rezervorului de stocare, acestea fiind în pericol de distrugere. Un sistem cu dublu circuit cu protecție anti-îngheț nu se poate realiza ca parte integrantă a unui sistem colector de stocare. Trebuie găsită o modalitate pentru obținerea unei reduceri semnificative a pierderilor de căldură. O izolare mai bună în partea din spate nu este o problemă, problema este pierderea de căldură de la carcasă. Carcasa trebuie să fie transparentă și aceasta duce la pierderi mari de căldură. Existența unui vid poate reduce pierderile de căldură, dar nu așa de mult încât să necesite proiectarea unui întreg sistem de stocare a colectării.



Fig. 3.16. Captator solar compact [****27].

Materialele noi așa numite materiale izolante transparente au adus o soluție acestor probleme (Liem et al. 1997, Mantz et al, 1997). Aceste materiale prezintă un coeficient global de transmitere a căldurii mai mic comparativ cu sticla metalizată. În tabelul 3.4. se compară diferite suprafețe de acoperire convenționale cu materialele izolante transparente.

În figura 3.17. rezervorul de apă caldă (3) este din oțel inoxidabil și are partea din spate perfect izolată. Suprafața reflectantă (1) aflată în interior, reflectă lumina solară spre rezervor, a cărei suprafață reprezintă de fapt suprafața absorbantă a sistemului. Materialul de izolație transparent (3) se află sub o carcasă frontală de sticlă (6). O carcasă cu suprafața de 2m^2 are un volum de stocare de aprox. 160 litri.

Avantaje: Captatoarele solare compacte nu necesită existența unui rezervor de stocare exterior, așa cum este necesar pentru alte sisteme colectoare. Sistemul întreg este mai simplu: anumite componente găsite în alte sisteme colectoare nu

sunt necesare și acest fapt reduce costurile. Dacă temperatura apei în rezervorul de stocare este prea joasă, ea poate fi ridicată cu ajutorul un termostat.

Tabelul 3.4. Coeficientul de convecție (α) și coeficientul global de transmitere a căldurii (k) pentru diferite materiale convenționale și pentru materiale izolante transparente [Q1].

Material	Materiale de acoperire din sticlă α (W/m ² K)	Materiale de acoperire din sticlă K (W/m ² K)	Material	Materiale izolante transparente α (W/m ² K)	Materiale izolante transparente K (W/m ² K)
1 strat de sticlă izolatoare (4 mm)	5,9	0,86	Silicat granulat aero-gel (20 mm)	0,85	0,4
2 straturi de sticlă izolatoare (20 mm)	3,0	0,77	Policarbonat cu structură tip fagure (100 mm)	0,7	0,66
3 straturi de sticlă vopsită pentru reflexia razelor infraroșii, (36 mm)	1,0 -1,2	0,53 -0,62	Policarbonat cu structură capilară, (100 mm)	0,7	0,64

Sistemele solare compacte includ un număr variabil de tuburi solare, un rezervor încorporat, un cadru de fixare și o rezistență electrică suplimentară, controlată de panoul de comandă. Ele se montează pe acoperișul clădirii și funcționează pe principiul termosifonului: colectează căldura solară și o transferă încălzind apa. Ele acoperă 60% până la 100% din necesarul zilnic de apă caldă menajeră, în cea mai mare parte a anului (primăvara-toamna târziu) [*****27].

Dezavantajele captatoarelor solare compacte sunt: greutatea mare și dimensiunile mari. Acestea fac instalarea mai dificilă în multe cazuri. Mai mult, eficiența sistemului este de obicei mai mică decât cea a unui sistem operațional cu circulație forțată. Acestea sunt câteva dintre motivele pentru care sistemul solar compact nu a pătruns pe piață până acum.

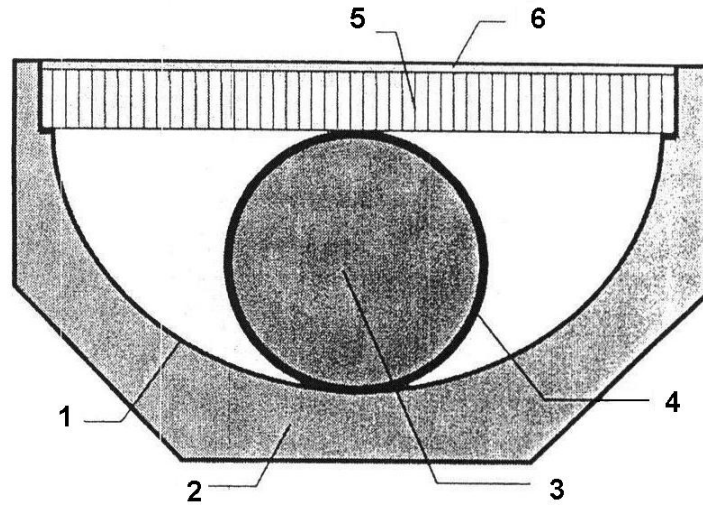


Fig. 3.17. Secțiune transversală printr-un captator solar compact: 1=suprafață reflectantă, 2=izolație termică, 3=rezervor de apă caldă, 4= suprafață de încălzire selectivă, 5=strat transparent, 6= sticlă metalizată [Q1].

3.5.3. Captatoare solare plane

Cele mai comune captatoare solare utilizate pentru încălzirea apei menajere sunt astăzi, în multe țări, panourile plate/plane. Acestea constau, în principal, din trei componente: suprafața transparentă, carcasa panoului și suprafața absorbantă. În interiorul panoului plan se află o suprafață absorbantă denumită și element absorbant. Această suprafață absorbantă convertește radiația solară în căldură, pe care o transferă apei sau unui agent termic aflat în tubulatură, care trece prin



Fig. 3.18. Captatoare solare plane montate pe acoperiș (stânga) și la sol (dreapta) [*****34].

sistem. Carcasa panoului este foarte bine izolată în partea din spate și pe părțile laterale pentru reducerea la minim a pierderilor de căldură; oricum, mai există niște pierderi de căldură ale panoului care depind în principal de diferențele de temperatură dintre absorbant și aerul ambiant. Aceste pierderi sunt subdivizate în pierderi prin convecție și prin radiație. Mișcarea aerului cauzează pierderile prin convecție.

Suprafața transparentă (sticlă) acoperă panoul și elimină majoritatea pierderilor termice prin convecție. Mai mult, reduce radiațiile termice de la suprafața absorbantă (2, fig.3.19) la mediu în același fel ca și o seră.

Figura 3.19 arată desfășurarea proceselor într-un captator solar plan, iar figura 3.20 arată principiul transformării energiei solare în energie termică și pierderile termice din captatoarele solare plane.

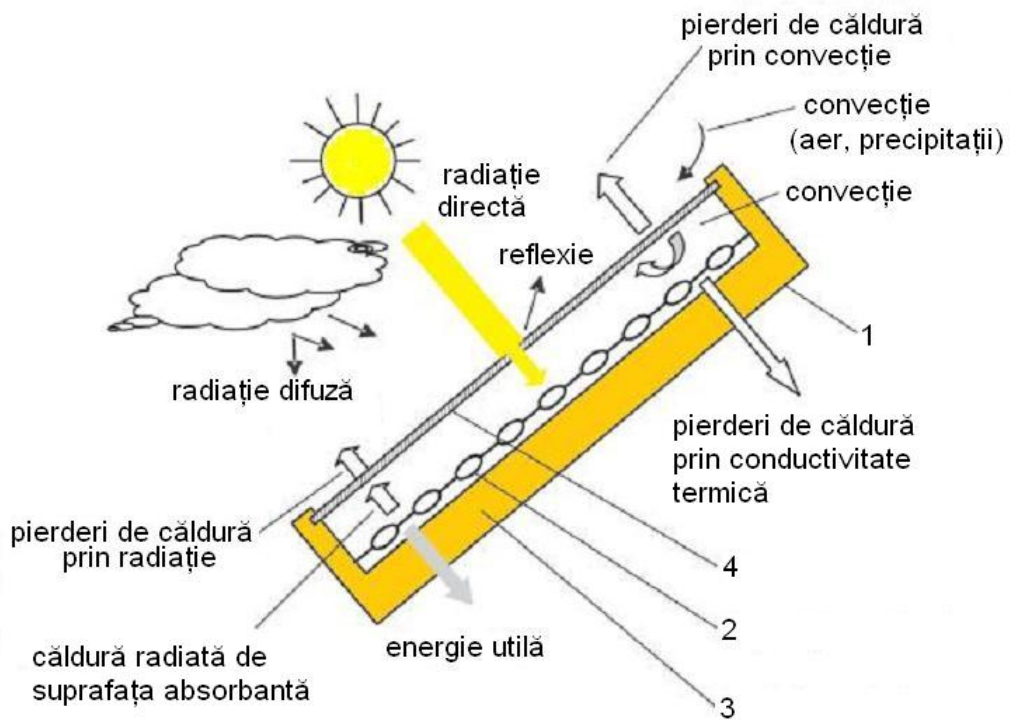


Fig. 3.19. Desfășurarea proceselor într-un captator solar plan: 1=carcasa, 2=suprafața absorbantă, 3=izolația termică, 4=suprafața transparentă [****44].

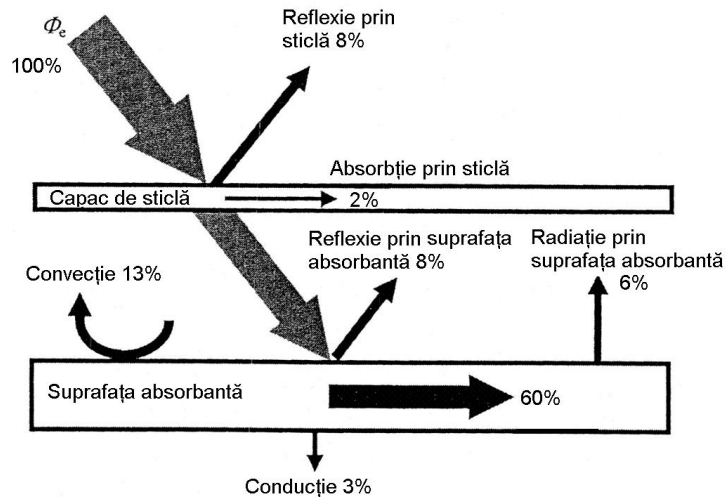


Fig. 3.20. Principiul transformării energiei solare în energie termică și pierderile termice din captatoarele solare plane; Φ_e =fluxul termic [Q1].

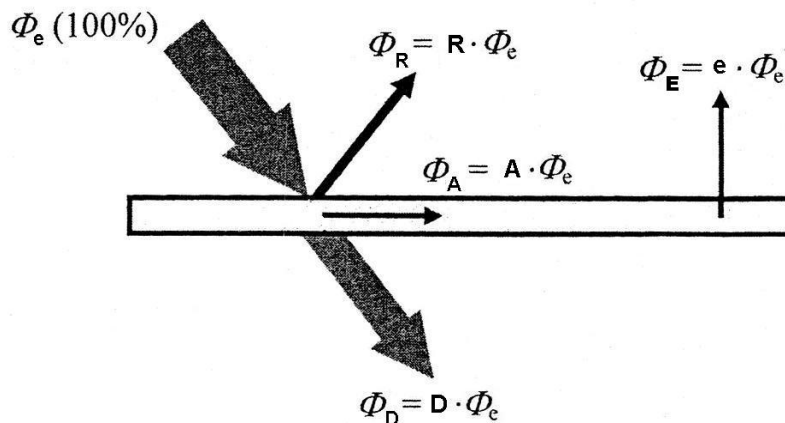


Fig. 3.21. Desfășurarea proceselor în carcasa de sticlă a unui captator solar plan; Φ_e =fluxul termic; R, A, e= factorii de reflexie, absorbție, emisie; D=coeficientul de transmisie (difuzie prin material) [Q1].

Suprafața transparentă (4, fig.3.19.) reflectă și absoarbe o mică parte din fluxul termic Φ_e (W), după cum se vede în figura 3.21, majoritatea radiațiilor solare trecând prin sticlă. Coeficienții de reflexie (R), absorbție (A) și transmisie (D) descriu aceste procese. Suma acestor trei valori trebuie să fie egală cu 1 [Q1]:

$$R + A + D = 1 \quad (3.20)$$

Fluxul termic corespunzător este [Q1]:

$$\Phi_e = \Phi_R + \Phi_A + \Phi_D = R \cdot \Phi_e + A \cdot \Phi_e + D \cdot \Phi_e \quad (3.21)$$

Absorbția energiei provenite de la radiația solară duce la încălzirea panoului de sticlă. Dacă sticla este în echilibru termic, ea trebuie să emită radiația absorbită. Atunci, fluxul termic emis Φ_E este egal cu fluxul termic absorbit Φ_A , altfel sticla s-ar încălzi indefinit. De aceea coeficientul de emisie (e) este egal cu cel de absorbție (A):

$$e = A \quad (3.22)$$

Pe de o parte, suprafața transparentă (sticlă) a panoului solar trebuie să permită trecerea majorității radiațiilor solare. Pe de altă parte, ar trebui să rețină radiația termică a suprafeței absorbante și să reducă pierderile de căldură prin convecție în mediu. Cele mai multe panouri plane folosesc un singur strat de sticlă metalizată tratată termic. Această sticlă are un coeficient de transmisie (difuzie) mare ($D \rightarrow 1$) și o rezistență bună la influențele mediului înconjurător. Suprafețele transparente din sticlă se folosesc mai des decât cele din plastic, pentru că durata de viață a celor de plastic este limitată datorită unei rezistențe mai mici la radiațiile ultraviolete și la condițiile atmosferice.

Stratificarea dublă a suprafeței din sticlă poate reduce pierderile de căldură, dar reduce și fluxul de radiație solară transmisă și crește costurile instalației.

Folosirea unor materiale speciale pentru suprafața transparentă poate duce la creșterea eficienței captatorului. Aceste materiale lasă radiația solară să pătrundă prin ele și reflectă înapoi, înspre interior, radiația infraroșie care vine de la placa absorbantă. *Sticla reflectorizantă din In_2O_3 sau ZnO_2* cu factor de transmisie mare pentru lumina vizibilă, dar cu factor de reflexie mare pentru razele infraroșii, are aceste cerințe. Oricum, costurile mai mari și difuzia mai slabă a luminii vizibile comparativ cu sticla standard au împiedicat folosirea pe scară largă a acestor materiale.

Carcasa de protecție a panoului (1, fig.3.19) poate fi din plastic, metal sau lemn și trebuie să sigileze suprafața frontală de sticlă, astfel încât să nu piardă căldură și umiditate, să nu intre impurități sau insecte în panou. Multe panouri solare plane au o ventilație controlată pentru a evita ca umiditatea din interior să se condenseze pe suprafața interioară din sticlă.

Materialul folosit pentru izolația termică a panoului solar (3, fig.3.19) trebuie să fie rezistent la temperatură și foarte bine izolat. Materialele potrivite sunt spuma poliuretanică sau fibra minerală. Materialul de izolație și toate celelalte materiale folosite nu trebuie să conțină substanțe de legătură care se pot evapora la temperaturi mai mari, deoarece acestea se pot condensa pe suprafața frontală de sticlă și pot să reducă radiațiile solare care pătrund.

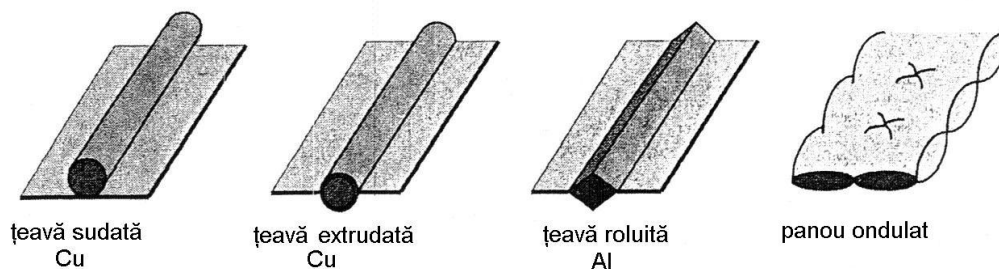


Fig. 3.22. Variante constructive de suprafețe absorbante [Q1].

Panoul solar plan poate atinge temperatura de stagnare de aproximativ 200°C. De aceea, suprafața absorbantă este de obicei din metal (cupru, oțel sau aluminiu). În figura 3.22 sunt prezentate diferite variante constructive de suprafețe absorbante. Suprafețele absorbante cu țevă de cupru sudată sau extrudată sunt cele mai des folosite. Aluminiul se folosește astăzi puțin ca material absorbant, deoarece nu este rezistent la coroziune, iar producția sa are nevoie de mai multă energie decât producția altor materiale.

Corpurile negre absorb lumina solară foarte bine și se încălzesc ajungând la o temperatură mai mare. Materialele metalice nu au în mod natural suprafețe negre, de aceea trebuie vopsite (de exemplu cu vopsea neagră). Lacurile rezistente la temperatură servesc acestui scop, dar există materiale mai avansate disponibile pentru *învelișul suprafeței absorbante*. Dacă suprafața se încălzește, ea re-emite o parte din căldura absorbită drept căldură radiantă. Aceasta se poate observa la plitele de gătit fierbinți. Căldura radiantă poate fi simțită pe piele fără a atinge placa fierbinte. Dacă suprafața absorbantă a panoului este lăcuită cu negru, atunci are același efect. Ea transferă apei (ca agent termic) doar o parte din căldura absorbită, restul este emis în mediu, în mod nedorit, ca și căldură radiantă.

Suprafețele absorbante selective (învelișurile selective) absorb radiația solară aproape la fel de bine ca și suprafețele lăcuite cu negru, dar re-emit o cantitate mică de căldură radiantă. *Materialele avansate folosite pentru aceste învelișuri de acoperire sunt: crom negru, nichel negru sau TiNOX.* Ele necesită procese de acoperire mai complicate decât lacul negru și astfel apar costuri mai mari.

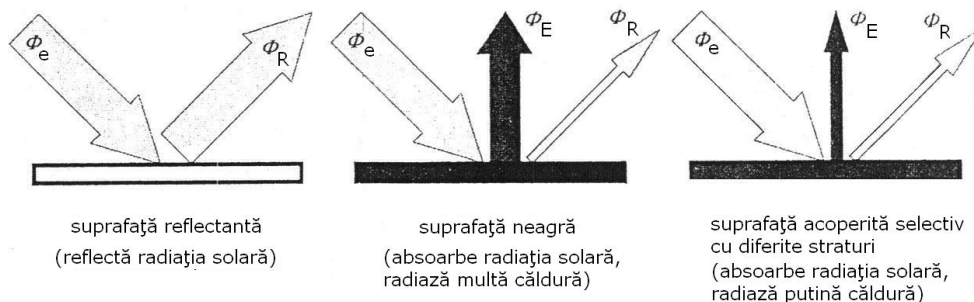


Fig. 3.23. Fluxul termic prin diferite suprafețe absorbante.
 Φ_e =fluxul termic, Φ_R =fluxul termic reflectat, Φ_E =fluxul termic emis [Q1].

Figura 3.23 arată comportamentul diferitelor materiale de acoperire a suprafețelor absorbante.

Spectrul radiațiilor de căldură este necesar pentru a descrie principiul selectivității suprafețelor absorbante acoperite diferit. Densitatea de radiație depinde de temperatura absolută și de lungimea de undă și este dată conform Legii lui Planck a radiației. Soarele poate fi considerat, în mod ideal, ca un corp negru cu o temperatură de 5777 K. Majoritatea radiațiilor spectrului solar sunt cu lungimea de undă sub 2 μm . Suprafața absorbantă ar trebui să aibă un coeficient de absorbție mare în această gamă. Soarele încălzește suprafața absorbantă la aproximativ 350K. Maximul corespunzător pentru emitanța spectrului este mai mare de 2 μm . Deoarece coeficientul de absorbție (A) este identic cu cel de emisie (e) conform legii lui Kirchhoff (1860) a emisiei de radiații, acesta (A) ar trebui să fie într-o gamă sub

2 μm , astfel încât suprafața absorbantă încălzită să emită doar o mică parte din radiația de căldură spre mediu.

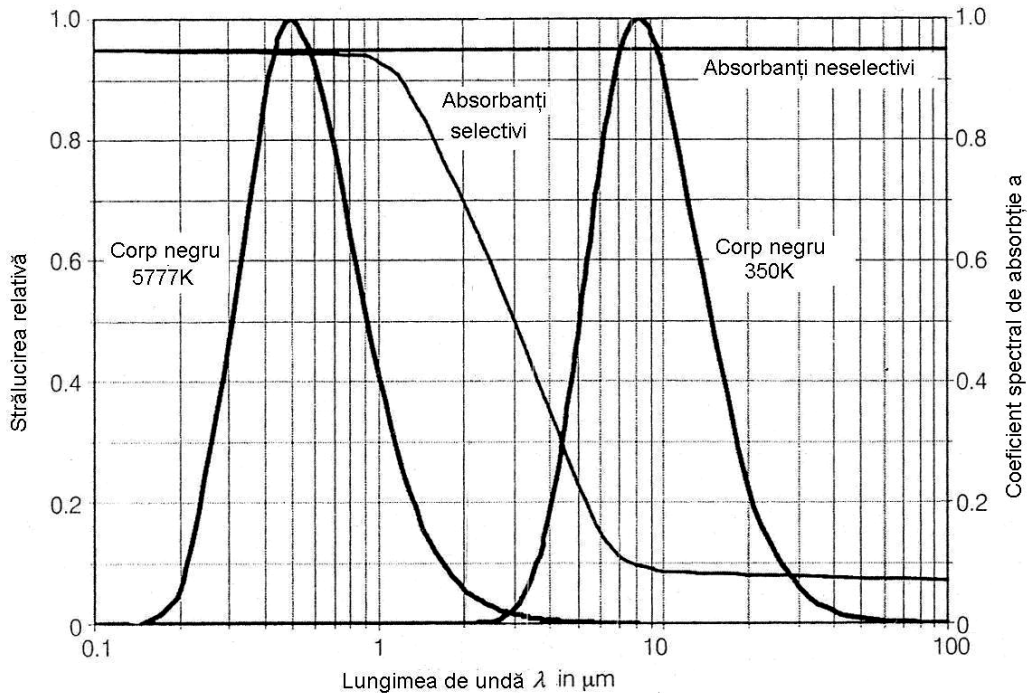


Fig. 3.24. Spectrul radiațiilor pentru corpul negru și diferite suprafețe absorbante [Q1].

Figura 3.24. arată radiația relativă cu referire la maximumul spectrului corespunzător la 350K și 5777K precum și coeficientul de absorbție al absorbantților selectivi și neselectivi.

Tabelul 3.5. face un sumar al parametrilor materialelor absorbante selective și neselective. *Multe panouri solare comercializate azi folosesc acoperirea selectivă cu TiNOX (TiNOX 2004).*

Tabelul 3.5. Valorile coeficienților de absorbție (A) sau emisie (e), transmisie (D) și reflexie (R) pentru diferite tipuri de materiale absorbante [Q1].

Nr. crt.	Materialul suprafeței absorbante	Radiația vizibilă A=e	Radiația vizibilă D	Radiația vizibilă R	Radiația infraroșie A=e	Radiația infraroșie D	Radiația infraroșie R
1.	Absorbantți neselectivi	0,97	0	0,03	0,97	0	0,03
2.	Crom negru	0,87	0	0,13	0,09	0	0,91
3.	Nichel negru	0,88	0	0,12	0,07	0	0,93
4.	TiNOX (TiN+TiO+TiO ₂)	0,95	0	0,05	0,05	0	0,95

Vidul existent între suprafața frontală din sticlă și suprafața absorbantă poate reduce semnificativ fluxul de căldură transmis prin convecție, datorat mișcării

aerului din interiorul colectorului. *Colectorul plan de evacuare* folosește acest principiu. Deoarece presiunea aerului înconjurător poate apăsa suprafața frontală peste suprafața absorbantă, trebuie să existe suporturi mici între spatele colectorului și capac. Oricum, este dificil de menținut vidul o lungă perioadă de timp. Aerul din jur găsește întotdeauna o cale de pătrundere între suprafața din sticlă și carcasa panoului. De aceea, un panou solar plan trebuie golit la anumite perioade de timp, cu o ajutorul unei pompe de vid, care este conectată printr-o valvă la panou. Panoul solar cu tuburi vidate elimină acest dezavantaj.

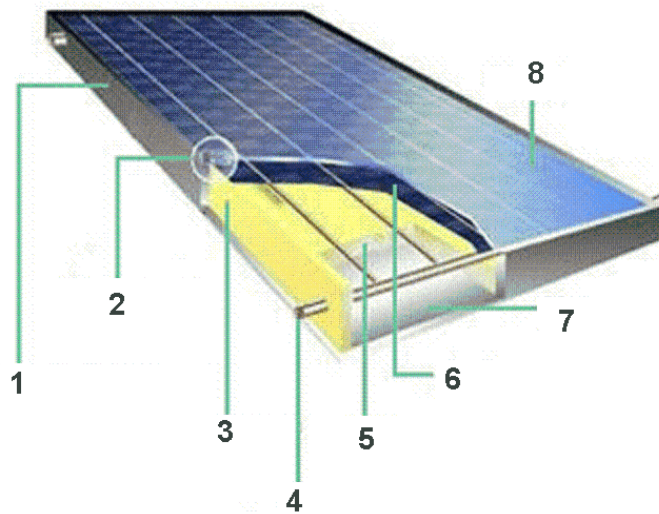


Fig. 3.25. Secțiune printr-un captator solar plan [*****27]: 1=bandă din aliaj de Al, 2=bandă lucioasă, 3=cadru izolator, 4=racord, 5=suprafață absorbantă inferioară, 6=suprafață absorbantă selectivă, 7=cadru din Al, 8=suprafață lucioasă (sticlă).

3.5.4. Randamentul captatoarelor solare

Calculul randamentului în cazul captatoarelor solare este necesar pentru estimarea impactului întregului sistem.

Captatorul solar convertește radiația solară în căldură. Radiația solară E este transmisă prin suprafața frontală de sticlă având coeficientul de transmisie (difuzie) D spre suprafața absorbantă A_c . Fluxul termic obținut la ieșirea din captatorul solar \dot{Q}_i este diminuată din cauza pierderilor datorate reflexiei \dot{Q}_{ref} , convecției \dot{Q}_{conv} și radiației \dot{Q}_{rad} [Q1]:

$$\dot{Q}_i = D \cdot E \cdot A_c - \dot{Q}_{ref} - \dot{Q}_{conv} - \dot{Q}_{rad} \quad (3.23)$$

Fluxul termic convectiv \dot{Q}_{conv} și fluxul termic radiant \dot{Q}_{rad} formează fluxul termic \dot{Q}_{RC} . Fluxul termic radiant \dot{Q}_{rad} al absorbantilor selectivi este mai mic decât al absorbantilor neselectivi. *Existența unui vid între suprafața frontală și suprafața absorbantă poate reduce fluxul termic convectiv \dot{Q}_{conv} după cum s-a prezentat la panourile solare plane.* Fluxul de căldură reflectat \dot{Q}_{ref} poate fi estimat folosind coeficientul de reflexie R de la radiația care trece prin suprafața frontală din sticlă.

$$\text{Cu } \dot{Q}_{RC} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad} \quad (3.24)$$

$$\text{și } \dot{Q}_{ref} = D \cdot R \cdot E \cdot A_C \quad (3.25)$$

Fluxul termic obținut la ieșirea din panoul solar este :

$$\dot{Q}_i = D \cdot E \cdot A_C \cdot (1 - R) - \dot{Q}_{RC} \quad (3.26)$$

Folosind *coeficientul de absorbție* A al suprafeței absorbante, ecuația se reduce la:

$$\dot{Q}_i = D \cdot A \cdot E \cdot A_C - \dot{Q}_{RC} = \eta_0 \cdot E \cdot A_C - \dot{Q}_{RC} \quad (3.27)$$

$$\text{unde } A = 1 - R \quad (3.28)$$

$$\text{și } \eta_0 = A \cdot D \quad (3.29)$$

η_0 este numit *randament optic*. Acesta descrie eficiența captatorului fără nici o pierdere datorată convecției sau radiației de căldură. Acesta este cazul doar când temperatura suprafeței absorbante este egală cu cea a mediului ambiant.

Fluxul termic \dot{Q}_{RC} depinde de temperatura captatorului θ_c , temperatura mediului ambiant θ_A și coeficienții de convecție a , a_1 și a_2 . [Q1]

$$\dot{Q}_{RC} = a_1 \cdot A_C \cdot (\theta_c - \theta_A) + a_2 \cdot A_C \cdot (\theta_c - \theta_A)^2 \approx a \cdot A_C \cdot (\theta_c - \theta_A) \quad (3.30)$$

În tabelul 3.6. se arată valorile randamentului optic η_0 și ale coeficienților de convecție a_1 și a_2 pentru diferite tipuri de captatoare. *Coeficienții de convecție ai panourilor solare cu tuburi vidate sunt mult mai scăzuți decât cei ai panourilor plane, deci eficiența lor la temperaturi ambientale joase sau radiații solare scăzute este mai mare.*

Coeficienții de convecție sunt în mod obișnuit estimați prin testările captatorului. Unele calcule folosesc doar un singur coeficient de convecție a în loc de doi: a_1 și a_2 . Oricum, în acest caz nu este posibil să se elimine a_2 deoarece aceasta poate cauza erori mari. Coeficientul a trebuie să fie estimat separat, din măsurători. Este posibil să se determine parametrii de eficiență ai captatorului prin referire la aria suprafeței absorbante, aria de deschidere sau aria totală a captatorului. Aria suprafeței absorbante este folosită ca referință pentru calculele următoare.

Tabelul 3.6. Randamentul optic η_0 și coeficienții de convecție a_1 și a_2 ai captatoarelor solare având ca arie de referință aria suprafeței absorbante A_c [Q1].

Nr. crt.	Denumirea comercială	tipul	Randamentul Optic η_0	Coeficientul a_1 (W/m ² K)	Coeficientul a_2 (W/m ² K ²)	Aria supraf. absorbante A_c (m ²)
1.	Paradigma solar 500	plan	0,805	3,79	0,009	4,7
2.	Solahart M	plan	0,746	4,16	0,0084	1,815
3.	Solahart Oyster Ko	plan	0,803	2,49	0,0230	1,703
4.	Sonnenkraft SK 500	plan	0,800	3,02	0,0013	2,215
5.	Wagner Euro C18	plan	8,789	3,69	0,007	2,305
6.	Microtherm Sydney SK500	Cu tuburi	0,735	0,65	0,0021	0,984
7.	Thermolux 2000 6R	Cu tuburi	0,801	1,13	0,008	1,05
8.	Ritter CPC 12 OEM	Cu tuburi	0,617	1,04	0,0013	2,01
9.	Sunda SEIDO 5-16	Cu tuburi	0,736	1,78	0,0130	2,592

[Sursa:SPF Institut für Solartechnik, 2002]

Randamentul captatorului η_c poate fi calculat folosind fluxul termic obținut la ieșirea din panoul solar \dot{Q}_i și radiația solară E , care atinge suprafața absorbantă A_c .

$$\text{Cu } \eta_c = \frac{\dot{Q}_i}{E \cdot A_c} = \eta_0 - \frac{\dot{Q}_{RC}}{E \cdot A_c} \quad (3.31)$$

randamentul captatorului devine [Q1] :

$$\eta_c = \eta_0 - \frac{a_1 \cdot (\theta_c - \theta_A) + a_2 \cdot (\theta_c - \theta_A)^2}{E} \approx \eta_0 - \frac{a \cdot (\theta_c - \theta_A)}{E} \quad (3.32)$$

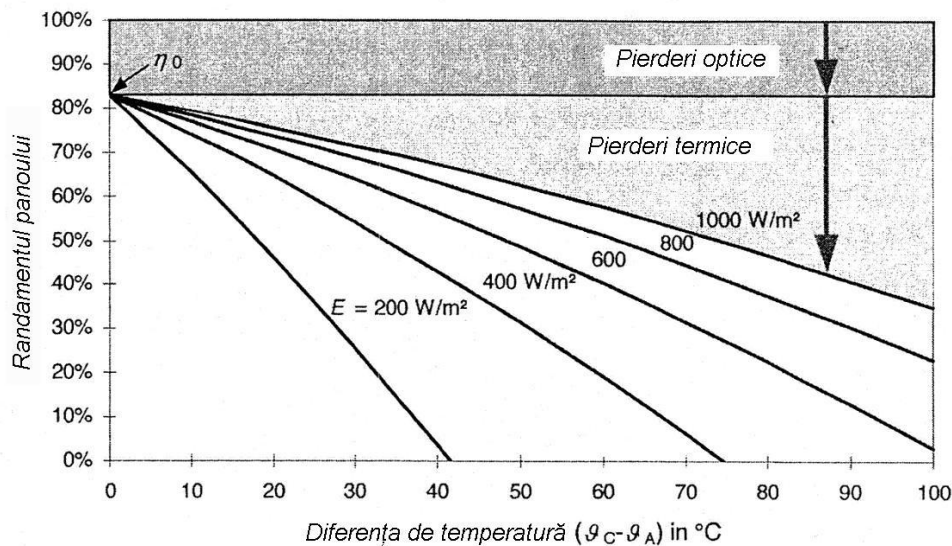


Fig. 3.26. Randamentul panoului solar cu tuburi vădate în funcție de diferența de temperatură $(\theta_c - \theta_A)$ și radiația solară E [Q1].

Pierderile termice cresc odată cu diferența de temperatură dintre colector și aerul înconjurător. La radiații solare joase, randamentul descrește mai repede.

De exemplu, la o radiație solară de numai 200 W/m^2 randamentul la ieșirea dintr-un astfel de colector devine zero la o diferență de temperatură de aprox. 40°C .

Temperatura de stagnare a colectorului poate fi găsită în figura 3.25. Temperatura de stagnare este temperatura la care randamentul captatorului η_c și puterea acestuia sunt egale cu zero ($\eta_c=0$). La o radiație de 400 W/m^2 , temperatura de stagnare a colectorului este aprox. 75°C peste temperatura ambientală. Temperatura de stagnare se poate trece peste 200°C la o radiație solară de 1000 W/m^2 . De aceea, materialele din care sunt fabricate captatoarele solare trebuie alese astfel încât să reziste la temperaturi relative înalte pentru o perioadă lungă de timp.

Calculul randamentului captatorului prezentat mai sus este valabil doar dacă nu este vânt; pierderile termice convective vor crește odată cu viteza vântului. Modificările factorilor de convecție vor lua în considerare aceasta. Randamentul optic η_0 depinde și de unghiul de incidență al spectrului solar. Pentru un calcul exact, se iau în considerare și aceste efecte.

4. PREZENTAREA STANDULUI EXPERIMENTAL ȘI A TEHNICILOR DE MĂSURARE

4.1. Prezentarea standului experimental

Cercetarea de față a fost finanțată prin două granturi internaționale: Proiectul European FP6 GREENENERGY (2005-2007): "Energy optimisation in European greenhouses / Optimizarea energiei în serele europene" și proiectul ROBENA-COSMOTE (2007): "Remote, computer assisted command and optimize of the use of a solar instalation for greenhouses and small consumers / Comanda la distanță asistată de calculator și optimizarea unei instalații solare pentru sere".

Scopul cercetării de față constă verificarea și optimizarea procesului de valorificare a energiei solare, în vederea transformării în energie termică. Pentru realizarea lui, s-a constituit standul experimental având următoarea componență: sistemul termic solar cu circulație forțată cu circuit închis, care conține un calculator de proces (microcontroler), aparatul de măsurare a iluminării (luxmetrul), care are un filtru atenuator, contorul de energie termică, stația de emisie-recepție (Iris Starter Kit) și computerul.

Sistemul termic solar utilizat se poate folosi pe toată perioada anului, în paralel cu centrala termică (cu combustibil fosil), substituind-o cu 15-30 % iarna și cu până la 100% vara, pentru apa caldă menajeră [*****18]; el a fost achiziționat de la firma SC Alfa Bit SRL din București.

În fig.4.1 este prezentată schema standului experimental cu următoarele elemente componente: 2 captatoare solare cu tuburi vidate, tip Beta 47/1500-12 (diametru tub/ lungime tub/ număr tuburi ale panoului) legate în serie (1); pompă de recirculare (5); 2 supape de aerisire (7,14); 2 supape unisens (8); supapă de siguranță (2); vas de expansiune (4); microcontroler X2 sau calculator de proces (16); rezervor de apă, cu o serpentină, 120 l (15); manometru (12); termometre (9); robinete (3,6); contor de energie termică (10); 2 senzori de temperatură S_1 și S_2 (13); țevi de cupru; luxmetru (19); computer (18).

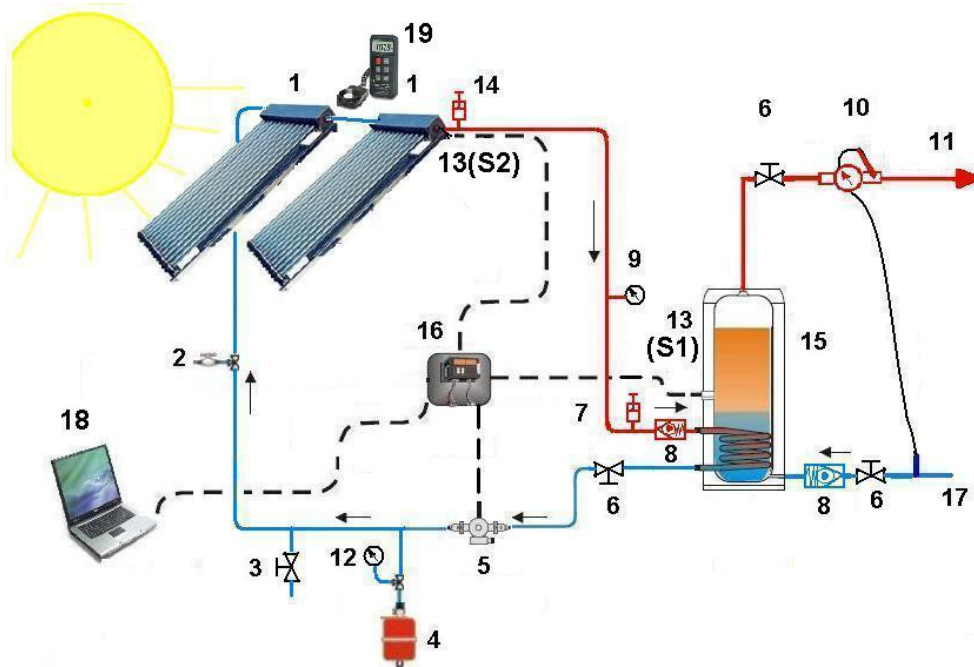


Fig. 4.1. Standul experimental. Schema: 1=panouri solare tip Beta, 2=supapă de siguranță, 3=robinet, 4=vas de expansiune, 5=pompă de recirculare, 6=robinet, 7=supapă de aerisire, 8=supapă unisens, 9=termometru, 10=contor de energie termică, 11=apă caldă, 12=manometru, 13=senzori de temperatură, 14=supapă de aerisire, 15=rezervor de apă caldă cu o serpentină, 16=calculator de proces (microcontroler), 17=apă rece, 18=computer, 19=luxmetru.



Fig. 4.2. Standul experimental. Partea de captare a energiei solare.
13=senzor de temperatură, 14=supapă de aerisire.

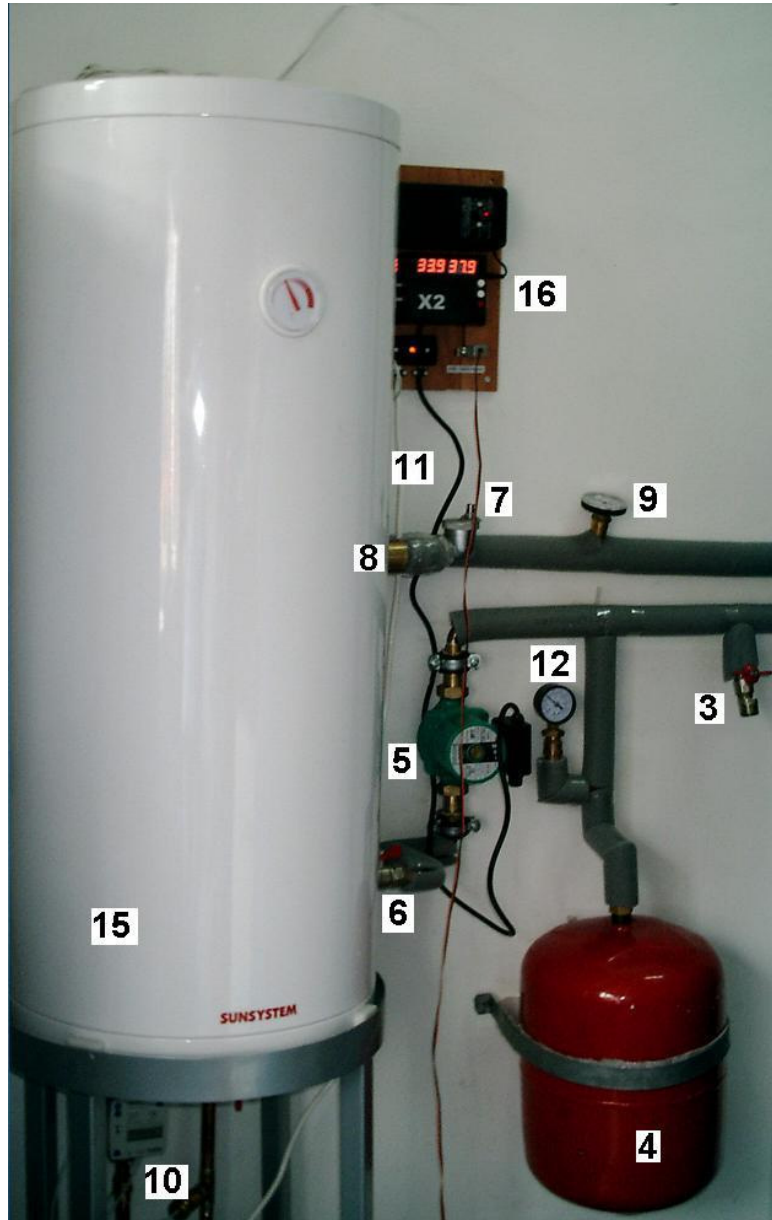


Fig. 4.3. Standul experimental. Partea de transformare în energie termică și monitorizare. 3=robinet, 4=vas de expansiune, 5=pompă de recirculare, 6=robinet, 7=supapă de aerisire, 8=supapă unisens, 9=termometru, 10=contor de energie termică, 11=senzor apă caldă, 12=manometru, 15=rezervor de apă caldă cu o serpentină, 16=calculator de proces (microcontroler).

4.2. Prezentarea elementelor principale ale standului experimental

4.2.1. Panouri solare

Panourile solare utilizate pentru cercetare sunt prezentate în figurile 4.2, 4.4, 4.7, 4.8 și 4.9. Dimensiunile lor și ale suportului de montaj la nivelul solului sunt date în fig.4.6. Realizarea montării panourilor solare pe acoperiș s-a efectuat cu ajutorul suporturilor (v.fig.4.4 și 4.5).



Fig. 4.4. Montarea panourilor solare pe suportul pentru acoperiș.



Fig. 4.5. Sistem de prindere al suportului pe acoperiș.

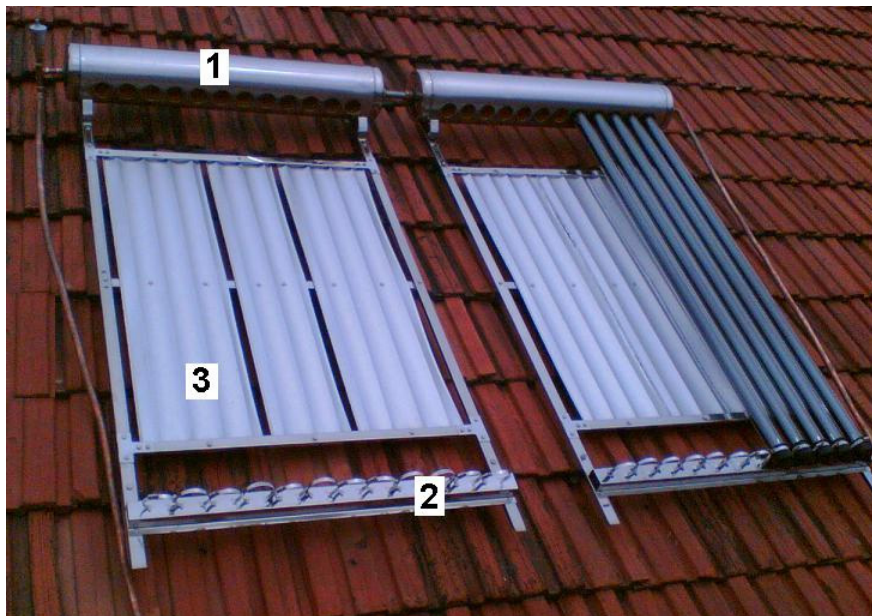
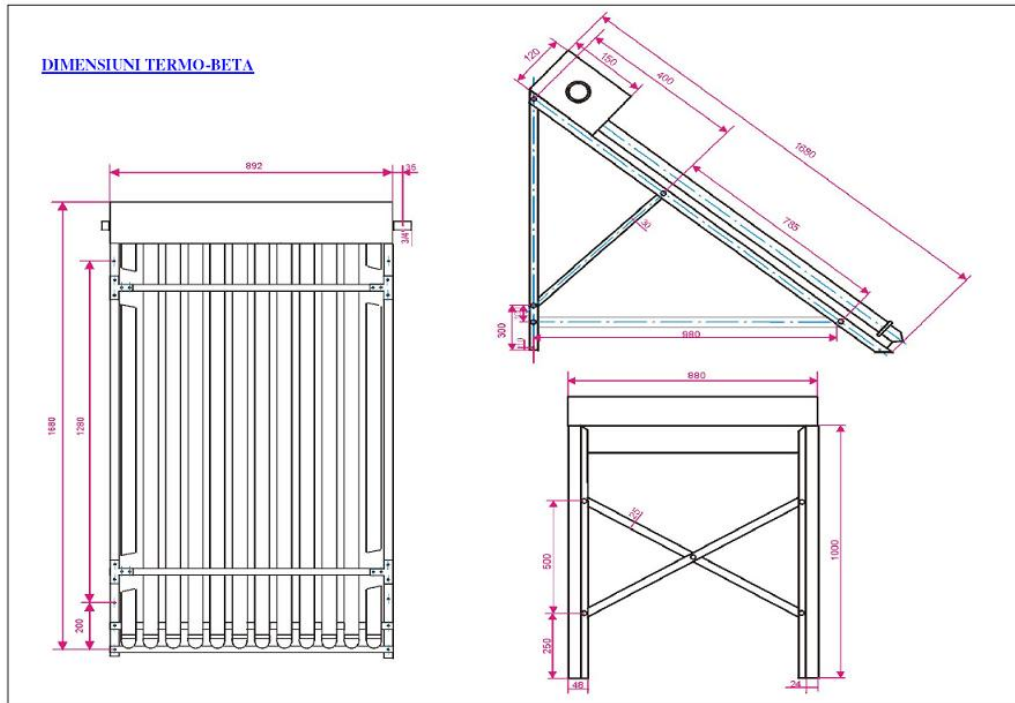


Fig. 4.7. Condensatorul (1), suportul cadru (2) și panoul reflector (3), în timpul montajului.

Panourile solare (tip Beta) utilizate la standul experimental, folosesc sistemul de colectare cu tuburi vidate.

Tuburile vidate funcționează pe principiul tuburilor termice (vaporizare-condensare) și au capacitatea de a capta nu numai radiația solară directă ci și radiația solară difuză, în zilele cu nori, chiar și pe timp de iarnă, datorită vidului din tuburile de sticlă, ce asigură o termoizolare eficientă, și datorită formei cilindrice, ce captează radiația maximă pe durata zilei.

*Fiecare panou solar se compune din 12 tuburi vidate, individuale și are o masă $m=28\text{ kg}$ [*****18].*

Datorită condițiilor existente, pentru panourile solare, s-a folosit montajul pe acoperiș, spre direcția sud, având unghiul de înclinare față de orizontală variabil, după cum urmează: $\alpha=45^\circ$; $\alpha=66^\circ$; $\alpha=33^\circ$.



Fig. 4.8. Panouri solare, montate pe acoperiș (faza intermediară).



Fig. 4.9. Panouri solare montate pe acoperiș (faza finală)

4.2.2. Tuburile de sticlă

Tuburile sunt din sticlă de tip Jena (fig.4.10.) au diametrul exterior $d_e = 47\text{mm}$ și lungimea $l = 1500\text{ mm}$. Ele au pereți dubli, cu vid între ei și o suprafață absorbantă acoperită cu TiNOX. Stratul absorbant constă dintr-o legătură a titaniului cu oxigenul și azotul. Această legătură "titanoxinitrid" a fost denumită de firma producătoare "TiNOX". Stratul absoarbe 95% din radiația solară, este transparent în infraroșu, este tare și are stabilitate la temperaturi ridicate. Deasupra stratului de TiNOX se află un strat antireflex și de protecție din sticlă de cuarț. Cuarțul este stabil, se topește la temperaturi de 1550°C , este tare și oferă protecție optimă împotriva zgârieturilor.[*****46]

Acest tip de strat absorbant (acoperit selectiv) obține minimizarea reflexiei suprafeței și optimizarea absorbției radiației solare.



Fig. 4.10. Tuburile de sticlă [*****18].

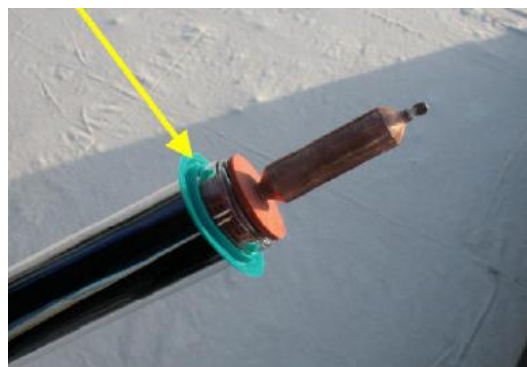
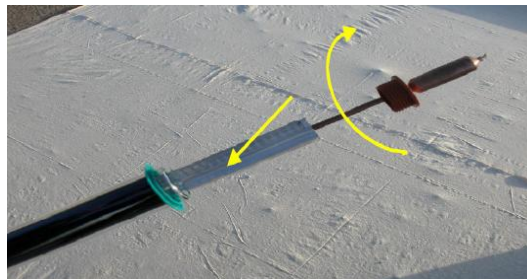


Fig. 4.11. Montarea tuburilor de sticlă [*****18].

În partea inferioară, tuburile au un strat argintiu de bariu, care menține vidul între pereții tubului. În interiorul fiecărui tub de sticlă este plasată o țevă de cupru (fig.4.11.) în care se află agentul de vaporizare care vaporizează datorită radiației solare, în prezența vidului. Circulația în interiorul conductei de cupru se realizează prin termosifonare. Conducta de cupru a fiecărui tub, este racordată la un condensator-colector (fig.4.12.) prin intermediul unei legături flexibile.

Sistemul de construcție cu tuburi individuale conferă captatorului o stabilitate ridicată. Vidul din tuburile de sticlă asigură o termoizolare eficientă, pierderile termice (prin convecție și conducție) fiind minime.

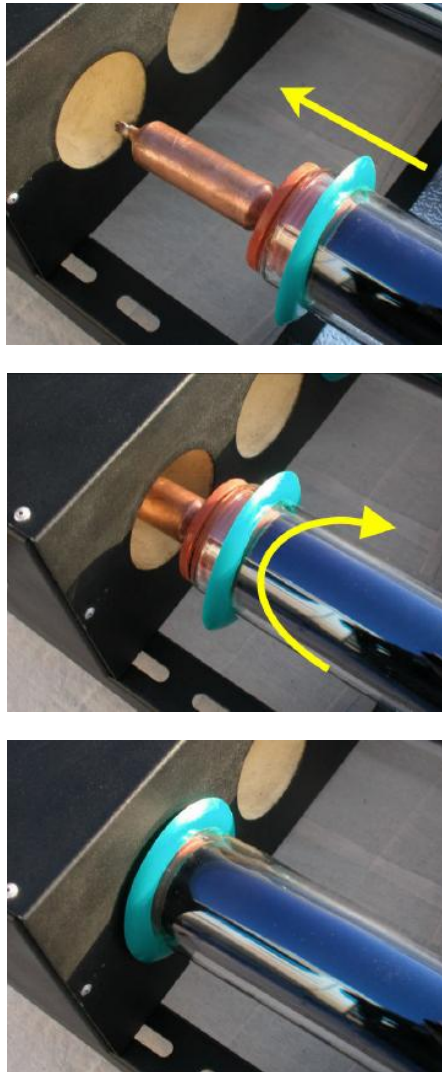


Fig. 4.12. Montarea tubului vidat în condensator-colector [****18].

4.2.3. Condensator-colector

Condensatorul-colector (v.fig. 4.12) este un recipient în care sunt introduse toate tuburile vidate și în care se realizează schimbul de căldură cu conducta de cupru (v.fig.11.), prin care circulă agentul termic utilizat la încălzire (antigel). În acest caz, avem un contact termic indirect, ceea ce permite rotirea sau înlocuirea tuburilor, chiar dacă în instalație există lichid sub presiune. Temperatura în condensator poate atinge valoarea de 130°C.[*****18]

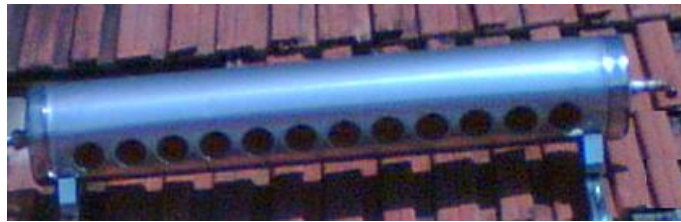


Fig. 4.13. Condensatorul-colector, fără tuburi montate.

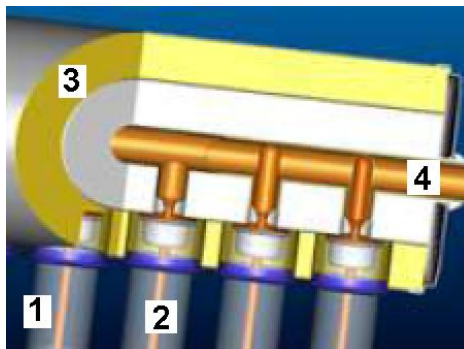


Fig. 4.14. Condensator-colector. Secțiune [*****18].
1=tub vidat, 2=țeavă de Cu cu agentul termic de vaporizare-condensare,
3=condensator, 4= conducta cu agent termic (antigel)



Fig. 4.15. Condensator-colector cu tuburi vidate montate.

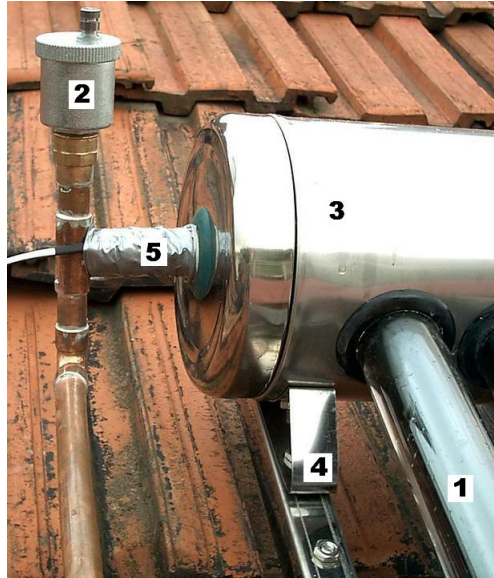


Fig. 4.16. Tub vidat montat în condensator: 1=tub vidat tip Beta, 2=ventil de aerisire, 3=condensator-colector, 4=suport, 5=senzor de temperatură (S_2).

4.2.4. Rezervor de apă caldă

Rezervorul de apă caldă (15, fig.4.3.) utilizat la standul experimental este de tip vertical, cu o serpentină. Pierderea de temperatură, în condițiile stocării este de $2,5^{\circ}\text{C}$ în 48 ore. Rezervorul este prelucrat conform cerințelor de siguranță și înaltă calitate ale Directivei Europene pentru vase sub presiune nr.97/23/EU.[*****18]

Construcție : vertical sau orizontal

Caracteristici tehnice:

Volum nominal: 120dm^3

Tensiune nominală: 220-230V

Presiune maximă la încercarea cu apă: $1,5\text{MPa}$

Presiune maximă de lucru a vasului de apă: $0,6\text{MPa}$

Presiune maximă de lucru în serpentină: $0,6\text{MPa}$

Presiune maximă în serpentine la încercarea cu apă: $2,5\text{MPa}$

Temperatura maximă a apei: 95°C

Grad de protecție: IPX 1

Dimensiuni: $H=900\text{mm}$, $D=520\text{mm}$ (vezi fig.4.17.)

Suprafață schimbător de căldură: $S=0,8\text{m}^2$

Suprafață maximă colectoare pt.S1: $S=2,15\text{m}^2$
($1\text{MPa}=10\text{bar}$)

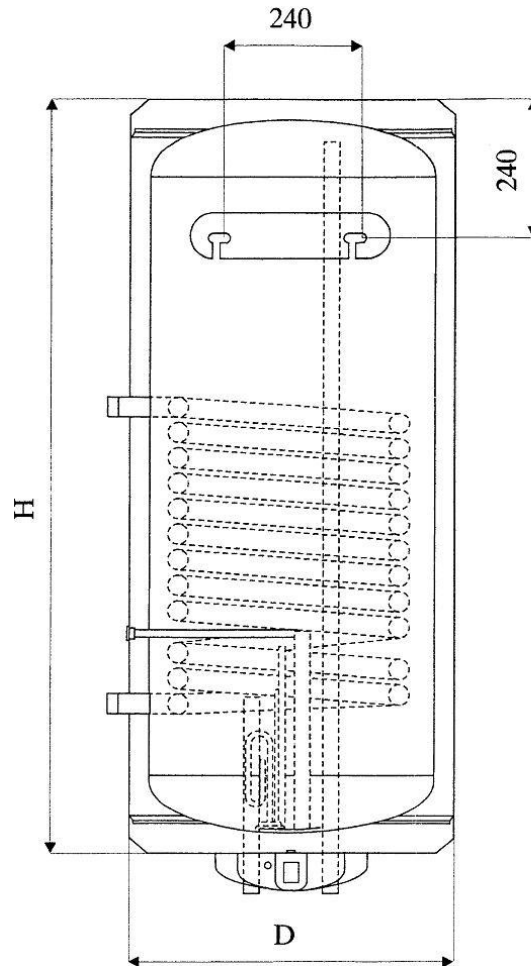


Fig. 4.17. Schema de montare a rezervorului de apă cu o serpentină [****18].

H=900mm, D=520mm pentru V=120 l

4.2.5. Alte elemente

Vasul de expansiune (4, fig.4.3., fig.4.18.) având capacitatea de 10 l, este confecționat din oțel inoxidabil cu pereți dubli, iar în interior este izolat termic (cu spuma poliuretanică) și are rolul de a permite menținerea presiunii, atunci când temperatura crește și de a prelua surplusul de apă. Acest tip se poate folosi până la temperatura apei de max.95°C.



Fig. 4.18. Vas de expansiune.

Țevile instalației sunt din cupru de diametru $d=18\text{mm}$ și grosimea peretelui $g=1\text{mm}$. Izolația țevilor montate în exterior are trei straturi: vată de sticlă, plasă de fibră de sticlă și folie de aluminiu cu diametrele de 20 mm (interior) și 60 mm (exterior). Izolația țevilor din interior este din burete 18-10 climapor, cu diametrul interior de 18mm și grosimea buretelui de 10mm.

*Temperatura în condensator poate atinge valoarea de 130°C . Debitul de circulație al agentului termic este de 270 l/h (4,5 l/min), presiunea maximă de lucru este 6 bar, iar fluxul energetic captat este de $784 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$. [*****18]*

Conform datelor prezentate de firma Alfabit, acest tip de sistem solar poate realiza, în perioada de iarnă (octombrie – martie), un aport de 15 – 20% la încălzire, în zilele însorite. [*****18]

4.3. Principiul de funcționare al sistemului termic solar

Standul experimental se constituie din două părți:

- partea de captare a energiei solare și transfer termic
- partea de monitorizare și transfer termic.

În partea de captare a energiei solare și transfer termic: agentul termic de vaporizare existent în țevile de cupru (2, fig.4.14) din tuburile vidate (1, fig.4.14), absoarbe radiația solară globală (directă și difuză), se încălzește și se vaporizează. Vaporii se ridică spre condensator (schimbător de căldură) unde are loc schimbul de căldură. Prin condensare, agentul de vaporizare cedează căldura unui alt agent termic aflat în condensator (antogel), care circulă în sistemul solar. Fluidul condensat curge gravitațional, înapoi, în țeava de Cu (țeava de încălzire), unde soarele începe să-l încălzească din nou. Pentru desfășurarea corespunzătoare a procesului de vaporizare-condensare, tuburile trebuie să aibă un unghi minim de

înclinare pentru a permite vaporilor să se ridice și fluidului condensat să curgă înapoi.

În partea de monitorizare și transfer termic: agentul termic din conducta colectorului (4, fig.4.14) circulă prin instalație, fiind antrenat de pompă și ajunge în schimbătorul de căldură din rezervorul de apă, unde cedează căldura sa, apei reci. Din rezervor, apa caldă este dirijată spre consumator (duș, corpuri de încălzire).

Pompa de recirculare (5, fig.4.1) funcționează numai atunci când temperatura (T_2) detectată de senzorul S_2 (13, fig.4.1), montat pe conducta colectorului, este mai mare decât temperatura (T_1) detectată de senzorul S_1 (13, fig.4.1) montat în rezervorul de apă caldă. Pornirea /oprirea pompei de recirculare este asigurată de un calculator de proces, denumit microcontroler X2 (16, fig.4.1).

4.4. Aparatura folosită

4.4.1. Aparate de măsurare. Principii de funcționare. Mărimi măsurate la standul experimental

Aparatele și mijloacele de măsurare cu ajutorul cărora s-a realizat monitorizarea parametrilor de mediu și a parametrilor sistemului termic solar din componența standului experimental sunt: luxmetrul Extech 401036, filtrul atenuator, manometrul, termometrele și contorul de energie termică G20 (firma Kundo).

1. Luxmetrul este un mijloc de măsurare a iluminării E_v (lx) sau a intensității luminoase I_v (cd). Măsurarea iluminării reprezintă un studiu important pentru cercetarea de față, desfășurată la standul experimental.

Luxmetrul Extech 401036 (fig.4.19.) se compune din: display, buton pornire/oprire, buton afișare valoare maximă, buton modificare UM lx/cd, senzor de lumină, selector scară de lucru: 20, 200, 2000, 20.000, buton afișare valoare instantanee, buton înregistrare/stergere, conexiune RS-232, buton pentru ajustare la zero. [*****40]



Fig. 4.19. Luxmetrul Extech 401036 utilizat la standul experimental [*****35].

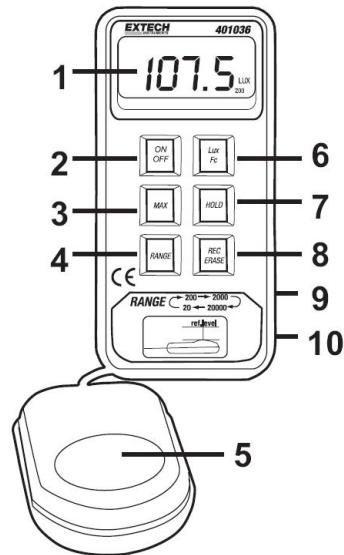


Fig. 4.20. Luxmetrul Extech 401036. Componente: 1=display; 2=buton pornire/oprire; 3=buton afișare valoare maximă; 4=buton modificare UM lx/cd; 5=senzor de lumină; 6=selector scară de lucru:20,200,2000,20.000; 7=buton afișare valoare instantanee; 8=buton înregistrare/stergere; 9=conexiune RS-232; 10=buton ajustare la zero [*****35].

Curba spectrală a luxmetrului este redată în fig.4.21.

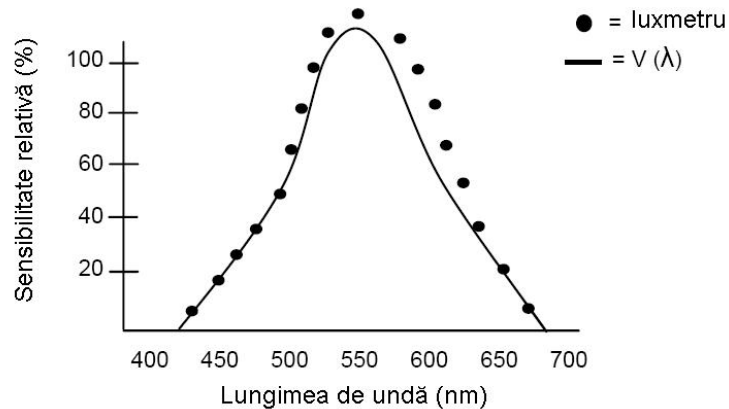


Fig. 4.21. Curba spectrală a luxmetrului; $v(\lambda)$ =domeniul vizibil [*****35].

Luxmetrul conține o celulă fotosensibilă a cărei variație de curent este prezentată pe un afișaj analog sau digital. Principiul de funcționare se bazează pe acțiunea luminii asupra celei fotosensibile.

Iluminarea caracterizează modul în care sunt iluminate corpurile, fiind o mărime fotometrică. Iluminarea unei suprafețe într-un punct al ei este raportul dintre fluxul

luminos $d\Phi$, primit de către o suprafață elementară din jurul punctului și aria acelei suprafețe dS [*****50]:

$$E = \frac{d\Phi}{dS} (lx) \quad (4.1)$$

Unitatea de măsură a iluminării în SI este luxul (lx), definit ca iluminarea unei suprafețe care primește un flux luminos de un lumen, uniform repartizat, pe o suprafață de $1m^2$.

Exemple de valori naturale ale iluminării, precum și valori ale iluminării medii pentru diferite spații sunt date în tab.4.1. și tab.4.2.

Tabelul 4.1. Valorile naturale ale iluminării [43,75,87]

	Valorile iluminării E (lx)
Noaptea înnoată (fără alte lumini)	0,0001
Noaptea cu stele (lună nouă)	0,001
Noaptea cu luna plină	0,25
Zi cu nori iarna	1.000-3.500
Zi senină iarna	10.000
Zi cu nori vara	10.000-30.000
Zi senină vara	100.000

Tabelul 4.2. Valorile iluminării medii pentru spații cu destinații diferite [43,75,87]

Spațiul (destinația)	Valorile iluminării medii E_m (lx)
Sală de lucru (diferite destinații)	100-1.000
Sală de muzeu	50-200
Sală de conferințe	500
Sală cu birouri	200-750
Sală de clasă (cursuri de zi)	300
Sală de clasă (cursuri serale)	500
Sală de clasă (cu computere)	300
Sală de lectură (la bibliotecă)	500
Sală de consultații medicale	500-1.000
Hale industriale (diferite destinații)	1.500-3.000
Sală de consultații (dentist)	5.000
Sală de operație	10.000-100.000

2. Manometrul este un mijloc de măsurare a presiunii, dacă presiunea de măsurat este mai mare decât cea atmosferică ($p > p_0$).

Manometrul utilizat pentru măsurarea presiunii la standul experimental este redat în fig.4.22.

Măsurarea presiunii, mărime ce reprezintă un parametru deosebit de important pentru o serie de procese tehnologice, presupune de regulă, măsurarea unei forțe.

În practică, măsurarea presiunii se poate face în mod absolut (în raport cu vidul), relativ (la presiunea atmosferică) și diferențial (față de o presiune de referință).[P2]

Unitatea de măsură a presiunii în SI este pascalul ($1 Pa = 1 N/m^2$) de valoare mică, motiv pentru care se preferă utilizarea altor unități mai practice: atmosfera tehnică (at), atmosfera fizică (atm), mm coloană de mercur, mm coloană de apă și barul (bar). Echivalențele dintre mărimi sunt prezentate în anexa 2.



Fig. 4.22. Manometrul utilizat la standul experimental.

3. Termometrele utilizate pentru măsurarea temperaturii la standul experimental sunt prezentate în figura 4.23. Ele sunt traductoare termobimetalice, care se bazează pe dilatația termică a corpurilor solide, mărimea de ieșire fiind o deplasare (deviație) obținută printr-o amplificare intrinsecă (datorită construcției traductorului). [P2]



Fig. 4.23. Termometrele utilizate la standul experimental.

În activitatea curentă, se obișnuiește să se utilizeze o unitate de măsură tolerată pentru temperatură, denumită *gradul Celsius* ($^{\circ}\text{C}$), care este egal cu *kelvinul* (K); *Kelvinul este egal cu 1/273,15 din temperatura termodinamică corespunzătoare punctului triplu al apei.*

Căldura este o formă de energie - energia transmisă între două sisteme având temperaturi diferite, între care are loc un schimb energetic, care încetează când sistemele ajung la aceeași temperatură.

Căldura schimbată de un sistem (corp) cu mediul exterior într-un proces termodinamic elementar, în cursul căruia temperatura sistemului suferă o variație mică de temperatură este dată de relația [I1]:

$$\partial Q = m \cdot c \cdot dT \quad [J] \quad (4.2)$$

unde: m =masa corpului, în kg; dT =variația de temperatură, în K; c = căldura specifică, în J/kgK

Căldura Q_{12} primită sau cedată de un sistem, într-un proces termodinamic 1–2, în cursul căruia temperatura variază de la T_1 la T_2 este suma căldurilor elementare [I1]:

$$Q_{12} = \int_1^2 \partial Q = \int_1^2 m \cdot c \cdot dT \quad [J] \quad (4.3)$$

Schimbul de energie între corpuri depinde de natura procesului termodinamic.

Unități de măsură pentru căldură : J, kWh, kcal.

4. Contorul de energie termică, de tipul compact, utilizat la standul experimental este prezentat în figura 4.24. El se compune din contorul de debit și termorezistența 1 (montată în corpul acestuia) plasate pe conducta de apă caldă, termorezistența 2 plasată pe conducta de apă rece și blocul de calcul 3. Acest contor este montat pe o conducta de diametru mic ($D_n = 15 \text{ mm}$).

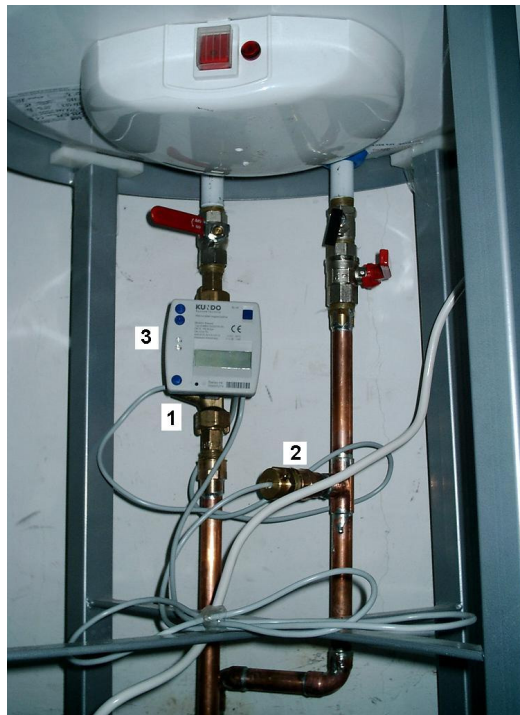


Fig. 4.24. Contor de energie termică G20 (Kundo); 1,2= termorezistențe, 3=bloc de calcul

Parametrii mășurați sau calculați de contorul de energie termică sunt fie afișați ciclic automat, fie afișați la cerere prin apăsare manuală a butonului de comutare. Afișorul redă următoarele informații: energia termică (MWh sau GJ),

volumul de apă caldă trecut prin contor (m^3), debitul instantaneu de apă caldă (m^3/h), diferența dintre temperatura apei reci, care intră în rezervor și temperatura apei calde care iese din rezervor ($^{\circ}C$), temperatura apei reci, puterea termică instantanee (kW), timpul scurs de la începerea măsurării, presiunea agentului termic.

Pentru fiecare parametru afișat este indicată și unitatea de măsură corespunzătoare. De asemenea, contorul poate semnaliza eventualele disfuncționalități intervenite în procesul de măsurare.

5. Microcontrolerul X2 sau calculatorul de proces

Calculatorul specializat sau microcontrolerul X2 este un aparat cu ajutorul căruia [*****18]:

- se poate face comanda și monitorizarea transferului de căldură de la instalația solară spre rezervorul din instalația de apă menajeră a unei clădiri,
- se poate comanda acționarea unui element de execuție (contactor, pompă, etc.) în funcție de o temperatură prestabilită.

Afișajul - Primele trei cifre indică temperatura detectată de senzorul S_1 (care este instalat la rezervorul de apă caldă), iar următoarele trei cifre indică temperatura detectată de senzorul S_2 (care este fixat la ieșirea din panourile solare). Acest mod de afișare este stabil și indică temperaturile măsurate în $^{\circ}C$.

Dacă unul din senzori nu este conectat, sau este întrerupt, pe display apare scris Er 1 sau Er 2.

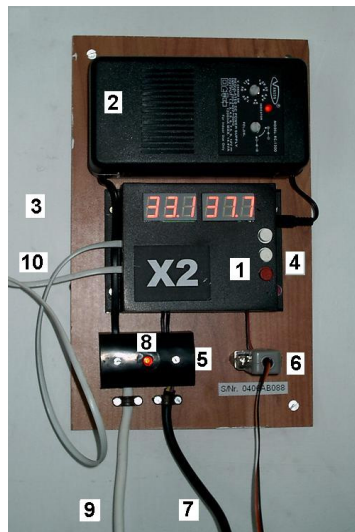


Fig. 4.25. Microcontrolerul X2.

1=calculator (X2); 2=sursă de alimentare; 3=afișaj temperaturi (T_1, T_2);
4=butoane pentru setare; 5=regletă de conexiuni; 6=interfață PC; 7=cablu
alimentare a pompei de apă; 8=semnalizare funcționare pompă; 9= cablu
alimentare generală; 10= conexiune senzori de temperatură (S_1 și S_2)

Funcționarea și reglarea microcontrolerului

Microcontrolerul a fost conceput să fie utilizat în instalațiile solare, dar poate fi utilizat și în alte aplicații. Pentru realizarea funcționării, la aparat se conectează: doi senzori de temperatură, circuitul de alimentare electrică a pompei de apă și un computer.

Aparatul are două moduri de lucru:

Modul 01. În acest mod, aparatul primește valorile temperaturilor de la senzorii S_1 și S_2 , calculează diferența de temperatură $\Delta T = T_2 - T_1$ și în funcție de valorile minimă (L_1) și maximă (H_1) setate pentru ΔT , comandă printr-un releu (R_1), conectarea sau deconectarea pompei de apă.

Modul 02. În acest mod, aparatul lucrează ca două termostate independente. Primul termostat este format din senzorul S_1 și releul R_1 , iar cel de-al doilea din senzorul S_2 și releul R_2 . Pentru primul termostat, temperatura măsurată de senzorul S_1 , comandă conectarea sau deconectarea releului R_1 în funcție de limitele L_1 și H_1 setate pe aparat. În același fel lucrează și al doilea termostat.

L_1 (low)= valoarea minimă a lui ΔT (°C);

H_1 (high)=valoarea maximă a lui ΔT (°C).

Pe durata studiului experimental, microcontrolerul a funcționat cu modul 01, descris mai sus.[*****18]

4.4.2. Alte aparate folosite. Prezentare și funcționare

1. Filtru atenuator

Pentru realizarea unuia dintre obiectivele acestei cercetări, am măsurat și monitorizat iluminarea în vederea compării valorilor obținute cu cele din literatura de specialitate. Deoarece am avut la dispoziție un luxmetru cu un domeniu de măsurare de până la 20.000 (lx), am apelat la un filtru atenuator, pentru a facilita efectuarea măsurării unor valori mult mai mari. Pentru aceasta, am folosit un *filtru optic de tipul Hoya HMC ND(x8)*, pe care l-am montat, cu ajutorul unui adaptor conceput de noi, pe elementul sensibil (senzorul de lumină) al luxmetrului.(vezi 5,fig.4.26.)

Acest tip de filtru optic, reduce intensitatea luminoasă fără a-i afecta distribuția spectrală. În cazul nostru, reducerea este de opt ori.

De obicei, filtrele ND (Neutral Density) sunt folosite în fotografia de peisaj sub formă de filtre graduale, pentru a reduce contrastele excesive.[*****37]

Aceste filtre posedă un anumit nivel al caracteristicilor de transmitanță spectrală în zona vizibilului și sunt numerotate cu valoarea medie a transmitanței, măsurată în trepte de 10nm pentru intervalul de lungimi de undă cuprins între 400nm și 700nm. Ele reduc intensitatea luminoasă fără a deforma absorbția de energie pentru diferite lungimi de undă.

Filtrele cu densitate neutrală au variații ale caracteristicilor spectrale care depind de tehnologia de fabricație. Pentru filtrele ND produse de firma HOYA cu tehnologie de acoperire multistrat (HMC), tehnologia de fabricație asigură atingerea performanțelor proiectate, printr-un control deosebit al abaterilor de grosime. Toleranța la grosime obținută prin lustruirea filtrului este de $\pm 0,1$ mm, aceasta deoarece cu cât transmitanța filtrului este mai mică cu atât vor fi mai semnificative abaterile acesteia odată cu variația grosimii. Date tehnice (v. anexa 1)



Fig. 4.26. Filtru atenuator montat pe senzorul de lumină al luxmetrului.(stand)

2. Pompa de recirculare

Pompa de recirculare a agentului termic, folosită la standul experimental, este prezentată în figura.4.27.Ea este de tipul cu rotor capsulat și are toate reperatele aflate în mișcare, imersate în fluidul recirculat (agentul termic). Fluidul are rol de lubrifiere și răcire a lagărelor precum și a rotorului pompei. Carcasa pompei, prin construcția sa, permite și răcirea suplimentară cu aer.

Pompa are un buton de selectare a treptelor de viteză. Viteza de recirculare, corespunzătoare treptei minime, este de 0,5...0,6 din viteza treptei maxime, iar puterea consumată de pompă, în acest caz, se reduce cu 50%. Pe durata studiului experimental, pompa a funcționat la treapta 1, care permite circulația agentului termic până la înălțimea $h=3\text{m}$.

Date tehnice:

- Racord pe 15mm ;
- Debit maxim: 40 l/min
- Înălțimea maximă de pompare: 6 m

- Interval de temperatură: -10 +110° C
- Presiunea maximă: 6 bar
- Agentul termic recirculat: antigel cu propilenă 40%
- Alimentare: 1x220V/50Hz
- 3 trepte de viteză



Fig. 4.27. Pompa de recirculare (stand).

Funcționarea pompei de apă

La pornirea calculatorului de proces (microcontrolerul X2), senzorii (S_1 și S_2) măsoară temperatura la ieșirea din panourile solare (T_2) și la ieșirea din rezervorul cu apă caldă (T_1). Microcontrolerul compară cele două temperaturi și procedează astfel:

- Dacă $\Delta T = T_2 - T_1 \geq H_1$ (4.4)

atunci aparatul comandă pornirea pompei de apă.

- Dacă $\Delta T = T_2 - T_1 \leq L_1$ (4.5)

atunci aparatul comandă oprirea pompei de apă.

Acționarea pompei se face după o curbă de histerezis, conform graficului din figura 4.28. [*****18]

Când temperatura T_2 din panourile solare crește, ΔT crește și când depășește valoarea setată H_1 , aparatul comandă pornirea pompei de apă. Dacă temperatura T_2 scade (sau T_1 crește), ΔT scade și când ajunge la valoarea L_1 setată, aparatul comandă oprirea pompei de apă.

După cum s-a mai precizat, ΔT are o valoare minimă L_1 și o valoare maximă H_1 . Astfel, pompa funcționează numai când temperatura din instalația solară este mai mare (cu diferența ΔT) decât temperatura din rezervorul de apă caldă, făcând astfel posibil transferul căldurii din instalația solară spre rezervorul cu apă.

Dacă temperatura din instalația solară este mai mică decât temperatura apei din rezervor (cu diferența ΔT), pompa nu funcționează, deci nu se poate face

transferul căldurii de la rezervor la instalația solară. Altfel zis, transferul căldurii se face numai într-un singur sens, de sus în jos.

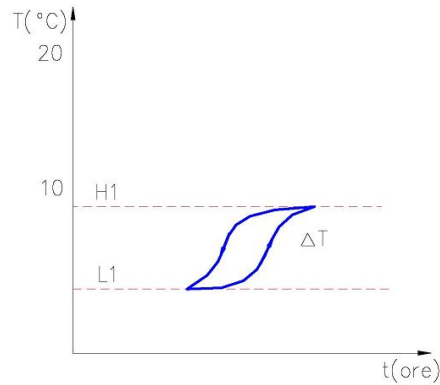


Fig. 4.28. Graficul funcționării pompei de apă [*****18].

4.4.3. Erori de măsurare

*Erori la măsurarea temperaturii [*****21]*

Senzorii folosiți pentru măsurarea temperaturii sunt de fapt traductori de tip rezistiv executați din film subțire de nichel și sunt din clasa B de precizie. Pentru această clasă de precizie, conform [*****4], eroarea de bază tolerată, care este egală cu incertitudinea instrumentală în acest caz, se exprimă sub forma unor binoame, unul pentru intervalul de temperaturi mai mici de 0°C și unul pentru intervalul de temperaturi mai mari de 0°C. Cele două binoame sunt de forma:

$$- T < 0^{\circ}\text{C}, \Delta T = \pm(0.4^{\circ}\text{C} + 0.028 \cdot |T|) \quad (4.6)$$

$$- T > 0^{\circ}\text{C}, \Delta T = \pm(0.4^{\circ}\text{C} + 0.007 \cdot |T|) \quad (4.7)$$

În cazul nostru, datorită unor valori preponderent pozitive, se folosește al doilea binom de exprimare a erorii (4.7).

Erori la măsurarea iluminării

Iluminarea se măsoară, așa cum s-a prezentat, cu ajutorul unui luxmetru care are eroarea de bază tolerată, indicată de producător, exprimată procentual prin valori relative față de valoarea indicată a iluminării. Această eroare este de $\pm 3\%$. Datorită valorilor mari ale iluminării s-a folosit un filtru cu densitate neutrală de tipul ND produs de firma Hoya cu transmitanța medie de 12,5%. Din datele tehnice furnizate de către producător (v.anexa 3) rezultă că, în domeniul vizibil acest filtru prezintă o eroare a transmitanței medii de $\pm 2\%$.

Incertitudinea de măsurare pentru luxmetru se determină cu relația [P3]:

$$u_{Ei} = \pm \frac{\delta_{Ei\%} \cdot E_i}{100} = \pm \frac{3 \cdot E_i}{100} \quad [Ix] \quad (4.8)$$

unde: $\delta_{Ei\%}$ =eroarea relativă a luxmetrului, E_i =valoarea indicată de luxmetru.

Notând cu T_r =transmitanța filtrului, incertitudinea de determinare a transmitanței filtrului este $u_{T_r}=0,02$.

Din relația de definiție a transmitanței [P3]:

$$T_r = \frac{E_T}{E} \quad (4.9)$$

unde: E_T =iluminarea din spatele filtrului, E =iluminarea din fața filtrului adică iluminarea care se aplică asupra panourilor solare

Relația de determinare a iluminării E este:

$$E = \frac{E_T}{T_r} \quad (4.10)$$

Iluminarea E_T este măsurată cu luxmetru și este de forma:

$$E_T = E_i + u_{Ei} \quad (4.11)$$

Transmitanța filtrului se poate exprima sub forma:

$$T_r = T_{rm} + u_{Tr} \quad (4.12)$$

unde T_{rm} =transmitanța medie a filtrului, care pentru filtrul folosit la standul experimental este : $T_{rm}=0,125$.

Cu aceste relații se poate determina incertitudinea rezultatului măsurării iluminării E , prin însumarea pătratică a incertitudinilor parțiale, ca și coeficienți de pondere utilizându-se diferențialele parțiale ($\delta E/\delta E_T$, $\delta E/\delta T_r$) [P3]:

$$u_E = \pm \sqrt{\left(\frac{\delta E}{\delta E_T} \cdot u_{Ei}\right)^2 + \left(\frac{\delta E}{\delta T_r} \cdot u_{Tr}\right)^2} = \pm \frac{E_i}{T_{rm}} \cdot \sqrt{\left(\frac{u_{Ei}}{E_i}\right)^2 + \left(\frac{u_{Tr}}{T_{rm}}\right)^2} = \pm 8 \cdot E_i \cdot 0,163 \quad (4.13)$$

În concluzie, rezultatul măsurării iluminării E se exprimă cu formula:

$$E = 8 \cdot E_i (1 \pm 0,163) \quad (4.14)$$

5. REZULTATE TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE

5.1. Condiții de lucru. Obiectivele cercetării

Standul experimental, prezentat în detaliu la capitolul 4, este destinat cercetării, în cadrul programului doctoral. Sistemul termic solar de preparare a apei calde a fost achiziționat de la SC Alfabit SRL București, de către UPT, grație programului științific de cercetare FP6, GREENENERGY (2005-2007): "Energy optimisation in European greenhouses / Optimizarea energiei în serele europene", care a adus pe lângă suport material al cercetării, finanțare pentru echipamentele achiziționate și know how. Standul experimental a fost instalat în orașul Arad și a funcționat, în această locație, în perioada decembrie 2006 - iulie 2008.

Măsurătorile și citirile s-au efectuat pe durata a minim 343 ore de funcționare continuă și s-au concretizat prin monitorizarea parametrilor de mediu și a parametrilor de la standul experimental:

- iluminarea E_v (lx), pe tot parcursul duratei măsurătorilor, la un interval de timp de 2s
- temperatura mediului exterior T_{ext} (°C) la începutul și la sfârșitul măsurătorilor,
- umiditatea aerului u (%), presiunea atmosferică p_a (hPa) la începutul și la sfârșitul măsurătorilor,
- temperatura apei calde din rezervor T_1 (°C), pe tot parcursul duratei măsurătorilor, la un interval de timp de 10s
- temperatura agentului termic la ieșirea din panourile solare T_2 (°C), pe tot parcursul duratei măsurătorilor, la un interval de timp de 10s
- cantitatea de căldură furnizată de contorul de energie termică (v.cap.4.4.1, pct.4)
- intervalul de timp trecut de la începerea până la terminarea măsurătorilor dt (s).

De asemenea, s-au mai efectuat notații privind: data, ora (la începutul și la sfârșitul măsurătorilor), starea vremii din ziua corespunzătoare, modificarea valorilor setate la microcontroler ($L_1 = \min \Delta T$, $H_1 = \max \Delta T$, unde $\Delta T = T_2 - T_1$) și modificarea unghiului de înclinare a panourilor solare față de orizontală α (°). Acestea sunt prezentate în anexa 4.

Aparatele de măsurare folosite și mărimile măsurate s-au prezentat detaliat la capitolul 4.4.

Cercetarea s-a efectuat în condiții de lucru fixe și variabile, după cum urmează:

Condiții de lucru fixe:

- latitudinea și longitudinea locului de amplasare a standului experimental: Arad, lat.46,19° N; long.21,31° E [*****39],
- orientarea panourilor solare: spre direcția sud,
- tipul de montaj: pe acoperișul clădirii.

Condiții de lucru variabile:

- modificarea unghiului de înclinare a panourilor solare față de orizontală $\alpha(^{\circ})$, același cu unghiul de înclinare a senzorului de lumină al luxmetrului față de orizontală (fig.5.13 - 5.18); în funcție de anotimp,
- modificarea valorilor temperaturilor minimă (L_1) și maximă (H_1) pentru ΔT (v.cap.4.4.1, pct.6);
- modificare poziției soarelui, respectiv a unghiului de înălțare solară $\gamma_s (^{\circ})$, în funcție de: momentele zilei și anotimp,
- condițiile atmosferice variabile (v.anexa 5, tab.1.1-1.40).

Obiectivele cercetării:

1. Calculul randamentului captatoarelor solare ale standului experimental,
2. Calculul capacității de stocare a rezervorului de apă caldă,
3. Calculul cantității de căldură medie furnizată de sistemul termic solar,
4. Analiza economică și ecologică a sistemului termo-solar
5. Reducerea anuală de CO_2 realizată prin folosirea sistemului termic solar, comparativ cu sursele energetice convenționale
6. Determinarea variației în timp a parametrilor dezvoltați de standul experimental: E_v , T_1 și T_2 (v.cap.4.2.);
7. Determinarea valorilor iluminării E_v (lx), pentru locația dată, în condițiile climatice actuale. Comparație cu literatura de specialitate;
8. Analize comparative privind variația iluminării în timp,
9. Analiza influenței iluminării asupra parametrilor dezvoltați de standul experimental ținând cont de condițiile variabile (lună a anului, condiții atmosferice, unghi înclinare panouri față de orizontală, etc.),
10. Analiza variației în timpul serii/noapții a temperaturii de stocare a apei calde din rezervor (T_1) și a temperaturii agentului termic la ieșirea din captatoarele solare (T_2);
11. Analiza influenței unghiului de înclinare a panourilor solare față de orizontală (α) asupra temperaturii din rezervor (T_1).
12. Analiza influenței mediului exterior ($T_{ext\ med}$; condițiile atmosferice, etc.) asupra parametrilor standului experimental T_1 și T_2 .
13. Transmiterea la distanță (max.1,5 km), prin unde electromagnetice, a măsurătorilor efectuate de către aparatele de măsurare - luxmetru și microcontroler - spre computer (v.cap.5.2.2),
14. Comanda de la distanță (max.1,5 km) de la computer spre aparatele de măsurare de la standul experimental (v. cap.5.2.2).

Interpretarea rezultatelor obținute va fi utilă pentru aplicațiile viitoare ale utilizării sistemului termic solar.

5.2. Sisteme de achiziție de date

5.2.1. Modalități de achiziție a datelor

În cadrul cercetării, achiziția datelor s-a realizat, la standul experimental, cu ajutorul luxmetrului și microcontrolerului.

Cu ajutorul luxmetrului

Senzorul de lumină al luxmetrului (5, fig.4.20, cap.4.) se fixează pe suportul de susținere a panourilor solare, astfel încât să fie paralel cu acestea.

Ca aparat de măsurare, luxmetrul stochează valorile iluminării măsurate, existând posibilitatea ca aceste valori să fie preluate la anumite intervale de timp, datorită unui soft dedicat existent. Noi am optat pentru intervalul de timp de 2s.

În vederea prelucrării ulterioare a datelor măsurate, luxmetrul se conectează la un computer printr-un cablu serial RS-232. Odată realizată conexiunea, aceasta facilitează descărcarea și salvarea datelor în memoria computerului. Datele descărcate sunt sub forma unui fișier text.(v.fig.5.1)

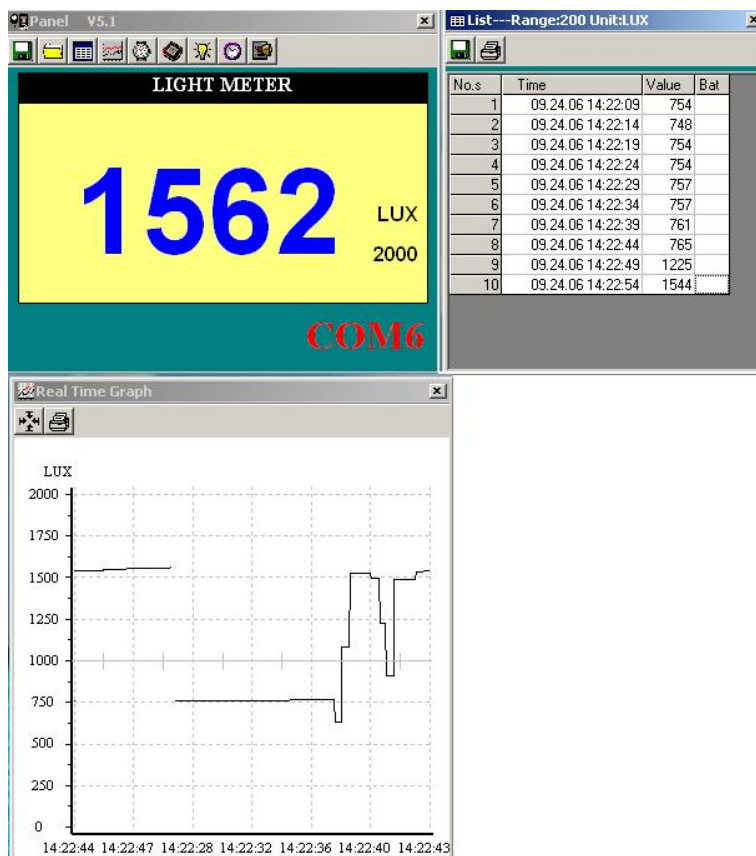


Fig. 5.1. Transferul de date de la luxmetru la computer. Descărcarea datelor în memoria computerului.

Cu ajutorul microcontrolerului

Conexiunea dintre microcontroler (16, fig.4.1.,cap.4) și computer (18, fig.4.1., cap.4) se realizează tot printr-un cablu serial RS-232. Se pornește programul Temprec (furnizat de firma producătoare) împreună cu microcontrolerul, se setează portul serial prin care se face transferul de date de la microcontroler la computer și se salvează datele.

Timpu de salvare și de vizualizare a datelor poate varia de la câteva secunde la câteva minute, în funcție de puterea de calcul a computerului; am optat pentru 2 s. Înregistrarea valorilor măsurate de senzori se face doar prin intermediul programului de monitorizare, microcontrolerul neavând memorie internă.

Vizualizarea înregistrărilor se face bifând opțiunea „History”. Înregistrările se pot vizualiza fie sub forma unui tabel, fie grafic, utilizând opțiunea „Config”, pentru diferite perioade de timp [****18], (v.fig.5.2).

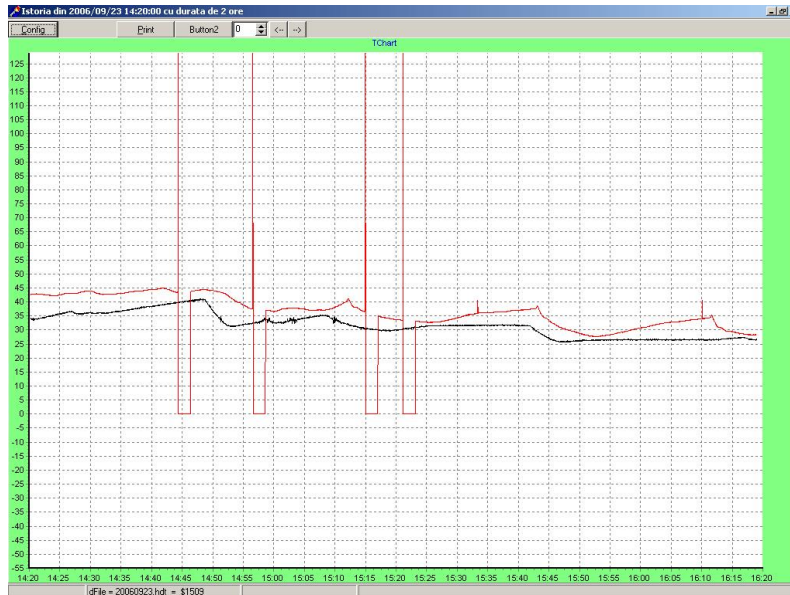


Fig. 5.2. Înregistrare valori măsurate de senzori (S_1 și S_2).
Vizualizare grafică

5.2.2. Transmiterea la distanță a datelor. Comanda la distanță a sistemului termic solar

Comanda la distanță a sistemului solar s-a realizat cu ajutorul unui pachet de emisie – recepție, de tip IRIS, achiziționat de la firma TRL Funksysteme GmbH din Germania, grație proiectului de cercetare, care a fost integrat în programul de finanțare asigurat de Balkan Environmental Association (B.E.N.A.) – COSMOTE pentru domeniul electromagnetic, în anul 2007 [S10].

Pachetul de emisie-recepție (v.fig.5.3.) se compune din: 2 plăci cu circuite integrate, 2 module IRIS de transmitere a datelor, 2 antene, 2 conexiuni pentru rețele de date, 2 cabluri pentru port serial, documentație și software cu ajutorul cărora se programează modulele.

Modulele IRIS se pot folosi oriunde în lume. Ele lucrează cu 70 canale și realizează transmiterea în siguranță a datelor, până la o distanță de 1500 m, în funcție de topografia locului. Câmpurile de lucru bidirecționale permit emisia și recepția cu un singur modul (dimensiuni: 42x51x11 mm). Modulele sunt compacte, putând fi integrate ușor în apropierea aparatelor. Ele se utilizează pentru: selectarea la distanță a măsurărilor; interfațele M2M; automatele de jocuri; sistemele de măsurare la distanță; transmiterea la distanță a măsurărilor efectuate; telematica circulației rutiere; logistica stocării de date [S10].



Fig. 5.3. IRIS Starter Kit [S10].

Schema constructivă a standului experimental conține sistemul solar și modulele radio ale produsului IRIS Starter Kit (v.fig.5.4).

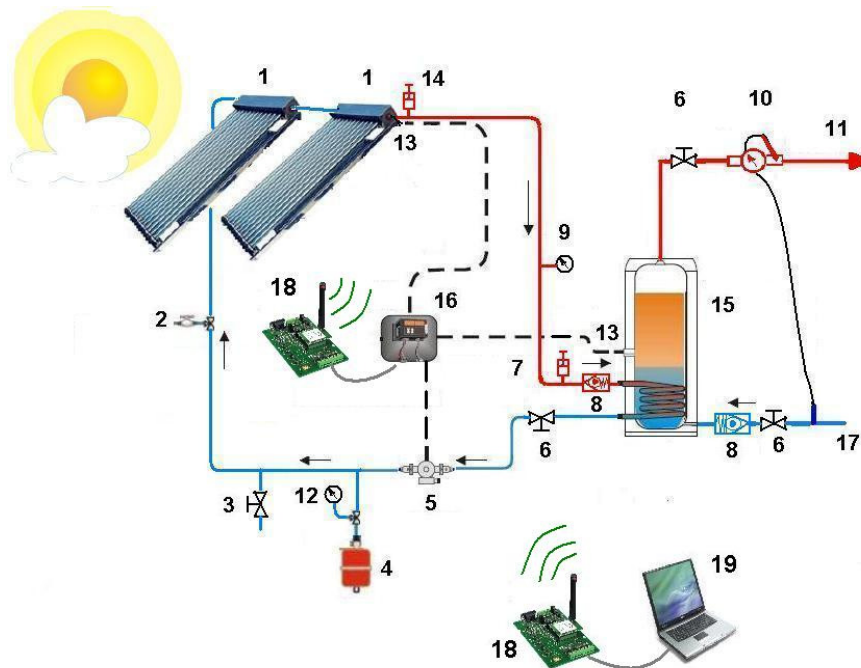


Fig. 5.4. Stand experimental. Schema constructivă cu stația radio [S10]:
 1=captatoare solare; 2=supape de siguranță; 3=robinet de umplere; 4=vas de expansiune; 5=pompă; 6=robinet apă rece; 7 și 14=supape de evacuare a aerului; 8=supapă de circulație uni-sens; 9=termometru; 10=contor de energie termică; 11=ieșire apă caldă; 12=manometru; 13=senzori (S_1, S_2); 15=rezervor de apă caldă; 16=microcontroler X2; 17=intrare apă rece; 18=modul radio IRIS; 19=PC.

Schema de realizare a conexiunilor dintre cele două module IRIS și celelalte aparate este prezentată în fig.5.5.

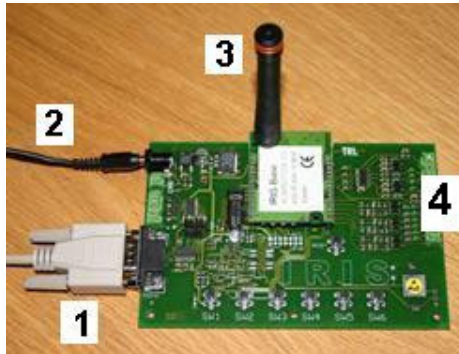


Fig. 5.5. Realizarea conexiunilor pentru modulul IRIS; 1=interfață serială; 2=sursă de alimentare; 3=antena; 4=conexiuni externe [S10].

La standul experimental (v.fig.5.4) se efectuează măsurători ai parametrilor din sistemul solar (temperatura apei calde din rezervor T_1 , temperatura agentului termic la ieșirea din panourile solare T_2). Datele sunt prelevate de la sistemul solar cu ajutorul unui PC conectat la microcontroler, prin intermediul unei conexiuni radio (emițător-receptor IRIS) și apoi sunt prelucrate grafic cu ajutorul unui soft.

Cu ajutorul modulelor radio (IRIS) se transmite la distanță comanda de la PC privind setarea valorilor limită L_1 și H_1 ale microcontrolerului (sens orar, fig.5.6) și a debitului pompei de recirculare. De asemenea, comanda la distanță se poate realiza și în sens invers (sens trigonometric, fig.5.6) obținându-se astfel prelevarea datelor de la microcontroler înspre PC.

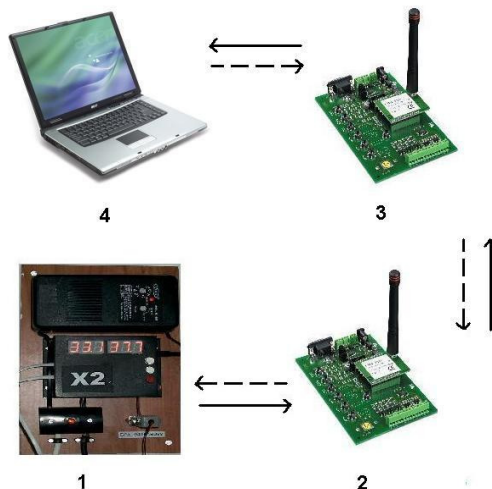


Fig. 5.6. Comanda la distanță (4-3-2-1) și transmiterea la distanță a datelor (1-2-3-4): 1=microcontroler X2; 2 și 3=module IRIS; 4=PC [S10].



Fig. 5.7. Realizarea conexiunii între microcontroler și modulul IRIS 1.

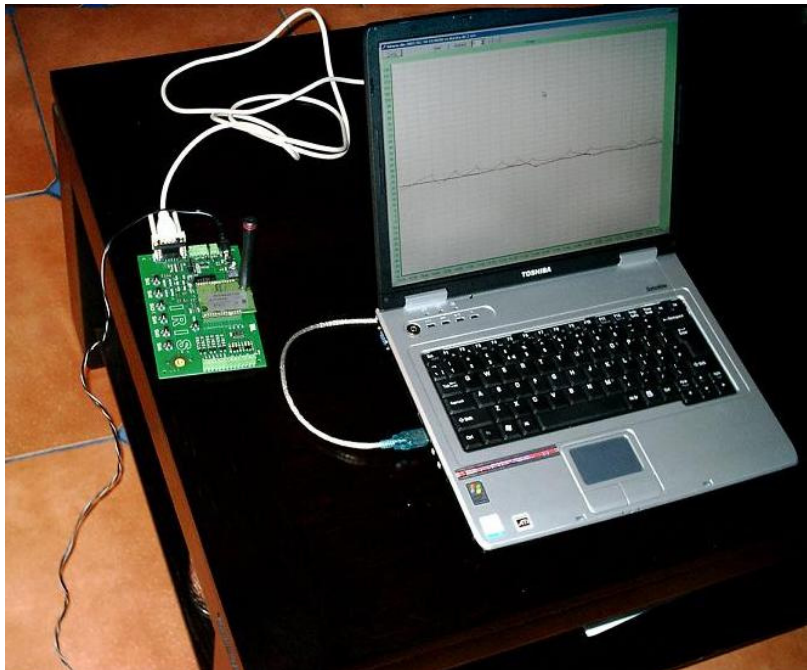


Fig. 5.8. Realizarea conexiunii între modul IRIS 2 și PC.

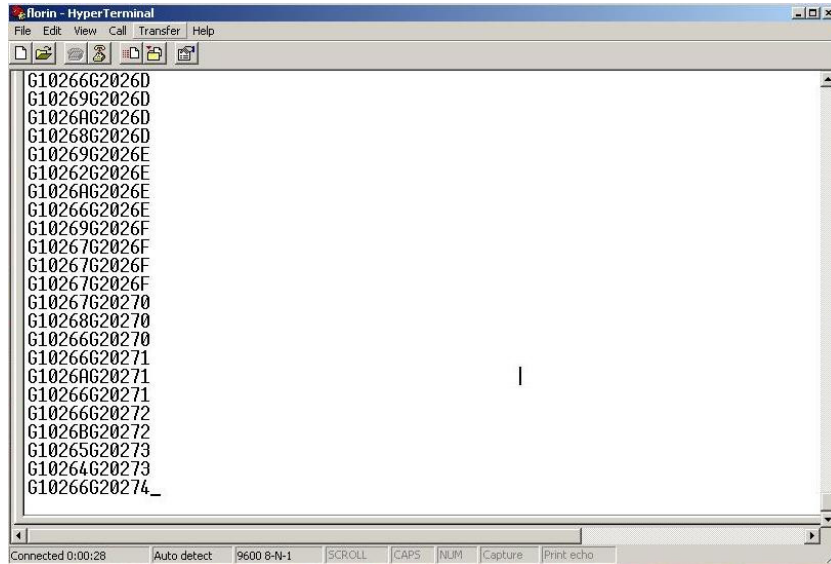


Fig. 5.9. Date preluate de receptorul radio [S10].

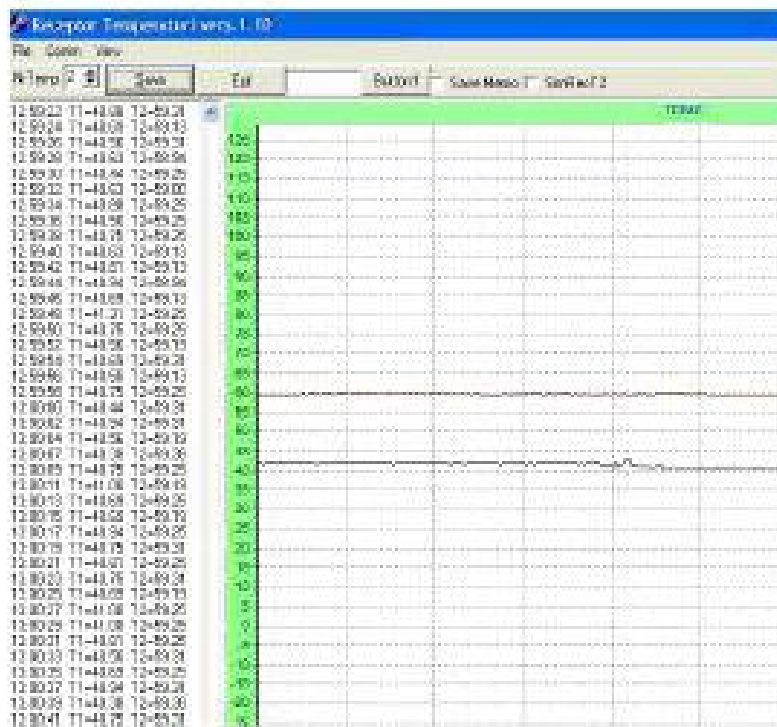


Fig. 5.10. Date prelucrate. Graficul de variație a temperaturilor [S10].

5.3. Prelucrarea datelor experimentale. Rezultate obținute

În acest capitol se prezintă modalitatea de rezolvare a obiectivelor cercetării experimentale, propuse la capitolul 5.1. din prezenta lucrare.

5.3.1. Calculul randamentului captatoarelor solare

Calculul randamentului pentru captatoarele solare din standul experimental, se efectuează pe baza considerațiilor teoretice de la cap.3.5.4.

Aria suprafeței absorbante A_t a unui tub vidat:

$$A_t = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l = \pi \cdot d \cdot l = \pi \cdot 0,047 \cdot 1,5 = 0,221 \text{ m}^2 \quad (5.1)$$

unde: r , d , l = raza, diametrul, lungimea tubului vidat, în m (v.fig.5.16), A_t =aria laterală a suprafeței absorbante a unui tub, în m^2 .

Aria suprafeței absorbante a unui captator solar cu tuburi vidate A_c :

$$A_c = 12 \cdot A_t = 12 \cdot 0,221 = 2,65 \text{ m}^2 \quad (5.2)$$

Aria suprafețelor absorbante a celor două captatoare cu tuburi vidate:

$$A_{2c} = 2 \cdot 2,65 = 5,3 \text{ m}^2 \quad (5.3)$$

Radiația solară medie zilnică pentru Arad este $E=4 \text{ kWh/m}^2/\text{zi}$ [*****39].

Numărul mediu de ore dintr-o zi, în care s-au efectuat măsurătorile $n=7$ (v.anexa 4)

E_n =radiația medie pentru intervalul orar mediu ($n=7$ ore) corespunzător măsurătorilor.

$$E_n = \frac{4000 \cdot 7}{24} = 1166,66 \text{ W / m}^2 \quad (5.4)$$

Fluxul termic la ieșirea din captatoarele solare este (v.cap.3.5.4):

$$\dot{Q}_i = \eta_0 \cdot E_n \cdot A_{2c} - \dot{Q}_{RC} \text{ [W]} \quad (5.5)$$

unde: $\eta_0=0,736$ este randamentul optic al captatorului solar corespunzător ariei suprafeței absorbante $A_c \approx 2,65 \text{ m}^2$ (v.tab.3.6.,cap.3.5.4.), \dot{Q}_{RC} =fluxul termic pierdut prin radiație și convecție (v.cap.3.5.4.):

$$\dot{Q}_{RC} = A_{2c} [a_1(\theta_C - \theta_A) + a_2(\theta_C - \theta_A)^2] \text{ [W]} \quad (5.6)$$

Coeficienții de convecție sunt (cf.tab.3.6.,cap.3.5.4.): $a_1=1,78 \text{ W/m}^2\text{K}$ și $a_2=0,013 \text{ W/m}^2\text{K}^2$, temperatura mediului ambiant $\theta_A=200\text{C}$, temperatura maximă medie a agentului termic, măsurată de senzorul S_2 (13, fig.4.1.) la ieșirea din captatoarele solare (T_2), $T_2=\theta_C=54,12^\circ\text{C}$. Cu aceste date, fluxul termic pierdut prin radiație și convecție devine:

$$\dot{Q}_{RC} = 5,3 \cdot [1,78 \cdot (\theta_C - \theta_A) + 0,013 \cdot (\theta_C - \theta_A)^2] \text{ [W]} \quad (5.7)$$

$$\dot{Q}_{RC} = 5,3 \cdot [1,78 \cdot 34,12 + 0,013 \cdot 34,12^2] = 402,08 \text{ W} \quad (5.8)$$

Atunci, fluxul termic obținut la ieșirea din captatoarele solare este:

$$\dot{Q}_i = 0,736 \cdot \frac{4000}{24} \cdot 7 \cdot 5,3 - 402,08 = 4148,85 \text{ W} \quad (5.9)$$

Iar randamentul mediu al captatoarelor solare din standul experimental devine:

$$\eta_{cm} = \frac{\dot{Q}_i}{E_n \cdot A_{2c}} = \frac{4148,85}{1166,66 \cdot 5,3} = 0,67 \quad (5.10)$$

Calculul randamentului captatorului prezentat mai sus este valabil doar dacă nu este vânt; pierderile termice convective vor crește odată cu viteza vântului. Modificările factorilor de convecție vor lua în considerare aceasta. Randamentul optic η_0 depinde

și de unghiul de incidență al spectrului solar. Pentru un calcul exact, se iau în considerare și aceste efecte.

5.3.2. Calculul capacității de stocare a rezervorului

Reprezentarea schematică a rezervorului de apă caldă este redată în figura 5.11.

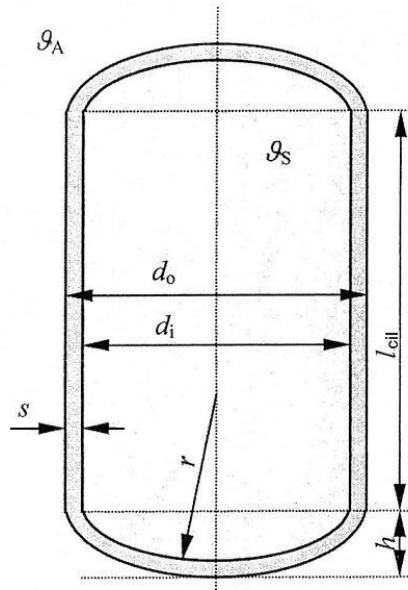


Fig. 5.11. Rezervor de apă caldă. Dimensiuni principale.
 $s=0,05\text{m}$; $d_o=0,52\text{m}$; $d_i=0,42\text{m}$; $r=0,24\text{m}$; $h=0,11\text{m}$; $l_{cil}=0,68\text{m}$.

Capacitatea de stocare a rezervorului de apă caldă este (v. Cap.3.4):

$$Q = m \cdot c \cdot (\theta_S - \theta_A) \text{ [Wh]} \quad (5.11)$$

Această cantitate de căldură (Q) depinde de diferența dintre temperatura medie de stocare (θ_S) și temperatura mediului ambiant (θ_A), de căldura specifică masică (c) și masa (m) apei calde stocate.

Volumul rezervorului $V=120\text{l}$, (v. cap.4).

Masa apei calde stocate este:

$$m = V \cdot \rho = 120 \cdot 0,9881 = 118,57\text{kg} \quad (5.12)$$

Căldura specifică masică a apei este: $c_{H_2O}=4,181\text{kJ/kgK}=1,161\text{Wh/kgK}$, la temperatura $\theta=50^\circ\text{C}$ și densitatea $\rho_{H_2O}=0,9881\text{kg/l}$.

Temperatura mediului ambiant se consideră $\theta_A=20^\circ\text{C}$

Temperatura maximă de stocare, conform datelor tehnice ale rezervorului (v.cap.4.1.) este $\theta_A=95^\circ\text{C}$.

Cu aceste date, capacitatea maximă de stocare a rezervorului devine:

$$Q = m \cdot c \cdot (\theta_S - \theta_A) = 118,57 \cdot 1,161 \cdot (95 - 20) = 10324,48\text{Wh} \quad (5.13)$$

Dacă se ține cont de temperatura medie maximă de stocare, conform rezultatelor măsurărilor efectuate (v.anexa 4), atunci $\theta_A = T_{1\text{maxmed}}=41,3^\circ\text{C}$.

Cu aceste date, capacitatea medie de stocare a rezervorului devine:

$$Q_m = m \cdot c \cdot (\theta_S - \theta_A) = 118,57 \cdot 1,161 \cdot (41,3 - 20) = 2932,15\text{Wh} \quad (5.14)$$

Fluxul termic \dot{Q}'_s pierdut prin pereții rezervorului cilindrico-sferic reprezintă suma dintre fluxul termic transmis prin partea cilindrică \dot{Q}'_{scil} și fluxul de termic transmis prin capacele sferice \dot{Q}'_{ss} (v. Cap.3.4.):

$$\dot{Q}_s = \dot{Q}_{scil} + \dot{Q}_{ss} [W] \quad (5.15)$$

Fluxul termic transmis prin partea cilindrică este \dot{Q}'_{scil} :

$$\dot{Q}_{scil} = k' \cdot l_{cil} \cdot (\theta_s - \theta_A) [W] \quad (5.16)$$

unde: k' =coeficientul global de schimb de căldură, $l_{cil}=0,68m$ este lungimea părții

cilindrice a rezervorului

Coeficientul global de schimb de căldură k' [W/mK] pentru partea cilindrică a rezervorului este (v.cap.3.4):

$$k' = \frac{n}{\frac{1}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln \frac{d_0}{d_i} + \frac{1}{\alpha \cdot d_0}} [W / mK] \quad (5.17)$$

unde, se estimează: $\lambda=0,035W/mK$ conductivitatea termică a izolației, $d_0=0,52m$ diametrul exterior al izolației, $d_i=0,32m$ diametrul interior al izolației, $\alpha=15,5W/m^2K$, coeficient de transmitere a căldurii. Cu aceste date, avem:

$$k' = \frac{n}{\frac{1}{2 \cdot 0,035} \cdot \ln \frac{0,52}{0,32} + \frac{1}{15,5 \cdot 0,52}} = \frac{3,14}{3,16} = 0,99 W / mK \quad (5.18)$$

Fluxul termic maxim transmis prin partea cilindrică este \dot{Q}'_{scil} :

$$\dot{Q}_{scil} = 0,99 \cdot 0,68 \cdot (95 - 20) = 50,49 W \quad (5.19)$$

Fluxul termic mediu efectiv transmis prin partea cilindrică este \dot{Q}'_{smcil} :

$$\dot{Q}_{smcil} = 0,99 \cdot 0,68 \cdot (41,3 - 20) = 14,33 W \quad (5.20)$$

Fluxul termic transmis prin capacele sferice este \dot{Q}'_{ss} (v.cap.3.4.):

$$\dot{Q}_{ss} = k \cdot A_s \cdot (\theta_s - \theta_A) \quad (5.21)$$

în care: A_s =aria suprafețelor sferice, în m^2 , k =coeficient de schimb de căldură, în W/m^2K .

Aria suprafețelor sferice :

$$A_s = 2 \cdot n \cdot r \cdot h = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,24 \cdot 0,11 = 0,165 m^2 \quad (5.22)$$

unde $r=0,24m$ și $h=0,11m$ reprezintă raza și înălțimea capacelor sferice (v.fig.5.16). Coeficientul de schimb de căldură k ($W/m^2 K$) pentru capacele sferice ale rezervorului este (v.cap.3.4):

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{s}{\lambda}} \quad (5.23)$$

în care: $\alpha_1=300W/m^2K$ este coeficientul de transmitere a căldurii prin suprafața dintre peretele rezervorului și izolație, care se estimează, α_2 =coeficientul de transmitere a căldurii de la izolație către aerul înconjurător, care se calculează astfel (v.cap.3.4) :

$$\alpha_2 = 2,2 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot \sqrt[4]{(\theta_s - \theta_A) / 0C} \quad (5.24)$$

$$\alpha_2 = 2,2 \cdot \sqrt[4]{(95 - 20)} = 2,2 \cdot 2,94 = 6,46 W / m^2 K \quad (5.25)$$

$$\alpha_2 = 2,2 \cdot \sqrt[4]{(41,3 - 20)} = 2,2 \cdot 2,14 = 4,78 W / m^2 K \quad (5.26)$$

Având $s=0,04...0,07m$ grosimea izolației din spumă poliuretanică [D5], alegem $s=0,05 m$. Cu $\lambda=0,035W/mK$ conductivitatea termică a izolației și presupunând că temperatura peretelui rezervorului este egală cu temperatura de înmagazinare θ_s , coeficientul de schimb de căldură k are valorile dependente de $\alpha_2 = f(\theta_s - \theta_A)$:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{300} + \frac{1}{6,46} + \frac{0,05}{0,035}} = \frac{1}{1,573} = 0,635 \text{ W / m}^2\text{K} \quad (5.27)$$

$$k_m = \frac{1}{\frac{1}{300} + \frac{1}{4,78} + \frac{0,05}{0,035}} = \frac{1}{1,573} = 0,606 \text{ W / m}^2\text{K} \quad (5.28)$$

Cu aceste date, fluxul termic maxim transmis prin capacele sferice \dot{Q}_{ss} (v.cap.3.4.) este:

$$\dot{Q}_{ss} = k \cdot A_S \cdot (\theta_S - \theta_A) = 0,635 \cdot 0,165 \cdot (95 - 20) = 7,85 \text{ W} \quad (5.29)$$

iar fluxul termic mediu efectiv transmis prin capacele sferice \dot{Q}_{ssm} (v.cap.3.4.) este:

$$\dot{Q}_{ssm} = k_m \cdot A_S \cdot (\theta_S - \theta_A) = 0,606 \cdot 0,165 \cdot (41,3 - 20) = 2,12 \text{ W} \quad (5.30)$$

Fluxul termic maxim pierdut prin pereții rezervorului cilindrico-sferic este \dot{Q}_s (v. Cap.3.4.):

$$\dot{Q}_s = \dot{Q}_{Scil} + \dot{Q}_{SS} = 50,49 + 7,85 = 58,34 \text{ W} \quad (5.31)$$

Fluxul termic mediu efectiv pierdut prin pereții rezervorului cilindrico-sferic este \dot{Q}_{sm} (v. Cap.3.4.):

$$\dot{Q}_{sm} = \dot{Q}_{smcil} + \dot{Q}_{ssm} = 50,49 + 2,12 = 52,61 \text{ W} \quad (5.32)$$

Timpu de stocare constant τ (h) pentru rezervorul aflat la standul experimental, prezintă diferențe mici pentru cele două cazuri:

$$\tau = \frac{m \cdot c}{k \cdot I_{cil} + 2 \cdot k \cdot A_S} = \frac{118,57 \cdot 1,161}{0,99 \cdot 0,68 + 2 \cdot 0,635 \cdot 0,165} = \frac{137,65}{0,87} = 158,2 \text{ h} \quad (5.33)$$

$$\tau = 6,59 \text{ zile} \quad (5.34)$$

$$\tau = \frac{m \cdot c}{k \cdot I_{cil} + 2 \cdot k_m \cdot A_S} = \frac{118,57 \cdot 1,161}{0,99 \cdot 0,68 + 2 \cdot 0,606 \cdot 0,165} = \frac{137,65}{0,88} = 156,4 \text{ h} \quad (5.35)$$

$$\tau = 6,51 \text{ zile} \quad (5.36)$$

Temperatura de stocare (θ_s) scade în timp, având forma următoare:

$$\theta_S(t) = \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \cdot (\theta_S - \theta_A) + \theta_A \quad (5.37)$$

Temperatura de stocare (θ_s) scade în timp, de la temperatura maximă posibilă de stocare $\theta_s=95^\circ\text{C}$, la temperatura mediului ambiant, considerată $\theta_A=20^\circ\text{C}$, astfel:

$$\theta_S(t) = \exp\left(-\frac{t}{6,59}\right) \cdot (95 - 20) + 20 = \exp(-0,151t) \cdot 75 + 20 \quad (5.38)$$

Temperatura de stocare (θ_s) scade în timp, de la temperatura maximă medie de stocare $\theta_s=41,3^\circ\text{C}$, la temperatura mediului ambiant, considerată $\theta_A=20^\circ\text{C}$, conform funcției:

$$\theta_S(t) = \exp\left(-\frac{t}{6,59}\right) \cdot (41,3 - 20) + 20 = \exp(-0,151t) \cdot 21,3 + 20 \quad (5.39)$$

Funcția (5.38) este reprezentată grafic în fig.5.12a, iar funcția (5.39) este reprezentată grafic în fig.5.12b.

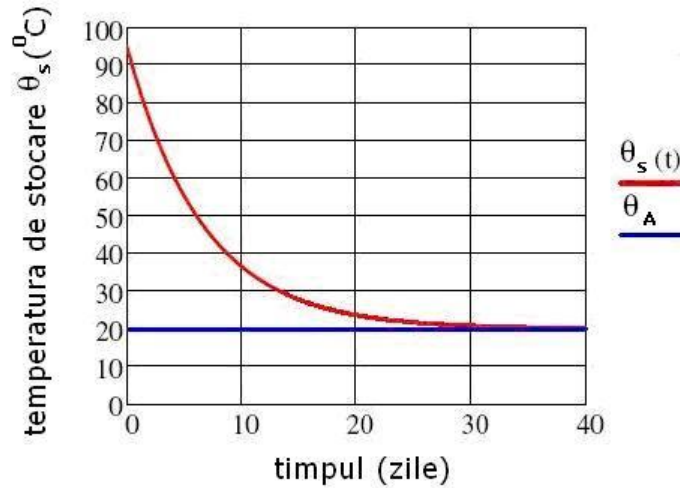
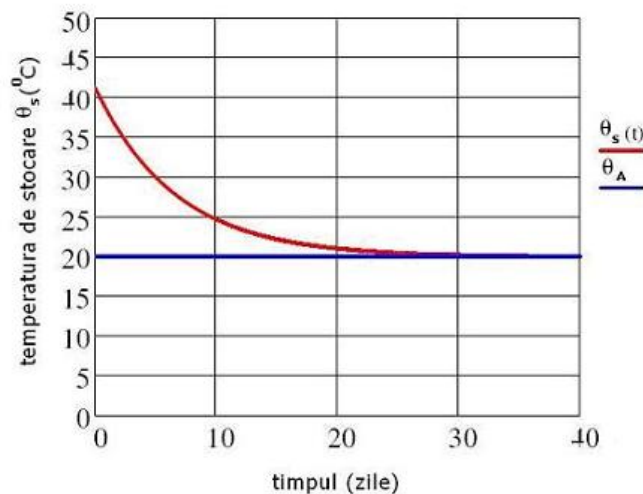
Fig. 5.12.a. Reprezentarea grafică a funcției $\theta_s(t) = \exp(-0,151t) \cdot 75 + 20$ Fig. 5.12.b. Reprezentarea grafică a funcției $\theta_s(t) = \exp(-0,151t) \cdot 21,3 + 20$

Fig.5.12.a și 5.12.b arată variația în timp a temperaturii de acumulare a rezervorului, dacă acesta ar fi staționar (nu se descarcă și nu se încarcă). Este evident, că o mare parte a căldurii înmagazinate este transmisă din nou în mediul înconjurător. După $\tau=6,6$ zile temperatura de acumulare este doar la jumătate din valoarea inițială. De aceea, un astfel de rezervor poate să mențină temperatura ridicată doar pentru câteva zile.

5.3.3. Cantitatea de căldură medie furnizată de sistemul termic solar

Cantitatea de căldură medie Q_m (Wh) furnizată de sistemul termic solar aflat în componența standului experimental (v.cap.4.1.), poate fi calculată pornind de la cantitatea de apă folosită. Cu datele (cap.5.3.2.): căldura specifică masică a apei $c_{H_2O}=4,181\text{kJ/kgK}=1,161\text{Wh/kgK}$, masa apei (5.12) $m=118,57\text{kg}$, temperatura apei reci, care se consideră $\theta_{AR}=10^\circ\text{C}$ și temperatura maximă medie a apei calde, măsurată de senzorul S_1 la ieșirea din rezervor $T_1 = \theta_{AC}=41,30^\circ\text{C}$, cantitatea de căldură devine (v.cap.3.4.):

$$Q_m = m \cdot c \cdot (\theta_{AC} - \theta_{AR}) \quad [Wh] \quad (5.40)$$

$$Q_m = 118,57 \cdot 1,161 \cdot (41,30 - 10) = 4308,75\text{Wh} = 4,3 \text{ kWh} \quad (5.41)$$

În concluzie, rezultă că, valorile temperaturilor dezvoltate de standul experimental T_1 și T_2 depind, în cea mai mare măsură, de valorile radiației solare (anexa 4), prin urmare, cantitatea de căldură obținută la utilizator, are aceeași dependență directă.

5.3.4. Analiza economică

Eficiența economică reprezintă o preocupare majoră atunci când se planifică proiectele pentru utilizarea energiilor regeneratoare. Eficiența economică scăzută este un argument împotriva surselor de energie regeneratoare. Soluția pentru cele mai bune beneficii economice este, ce se obține, în timp ce aspectele ecologice sunt secundare. Din punctul de vedere al economiei naționale, acomodarea la aceste considerații ulterioare cauzează adesea consecințe negative. În sfârșit, efectele asupra mediului nu sunt suficient luate în vedere de practica curentă [Q1].

Scopul calculelor economice este de a identifica, prin comparație, un sistem dintre diferitele soluții posibile, care să furnizeze tipul dorit de energie, la cel mai mic preț. De aceea, sistemul energetic neconvențional (termic solar) este comparat cu cele convenționale.

Rezultatul calculelor economice este costul unei unități de energie. Pentru sistemele care furnizează căldură, costurile sunt relaționate la kWh de căldură ($\text{lei/kWh}_{\text{term}}$), iar pentru sistemele generatoare de electricitate costurile sunt relaționate la kWh de electricitate ($\text{lei/kWh}_{\text{el}}$).

Costurile sistemelor de încălzire solară a apei menajere sunt repartizate astfel: o treime pentru colectorii solari, o treime pentru rezervorul de stocare și accesorii și o treime pentru instalare.

Pentru anul de referință 2006 considerăm următoarele calcule:

Prețul de achiziție al sistemului termic solar cu circulație forțată folosit pentru cercetare a fost de 1800€ (6300lei) cu instalarea inclusă. Acesta are 5 m² arie de colectare și un rezervor de apă de 120l, fiind destinat încălzirii apei [Q1].

Pe baza rezultatelor experimentale, consemnate în anexa 4, au avem următoarele date statistice: consumul anual de apă caldă furnizată de sistemul termic solar, pentru 2 persoane, este de 365 kWh_{term} solar. Deci, minim 365 kWh_{term} solar din căldura necesară, pot fi substituiți de sistemul de energie solară în fiecare an.

Cantitatea de căldură medie zilnică furnizată de sistemul termic solar (v.cap.5.3.3) este: $Q_m = 4,3 \text{ kWh}$, deci cantitatea anuală de energie este:

$$E_a = 4,3 \cdot 365 = 1569,5 \text{ kWh} \quad (5.42)$$

Costurile de mentinere anuală ale instalației sunt relativ mici, iar pompa din sistem, necesită 60 kWh_{el}, la un preț de 0,2750 lei/kWh_{el}, în anul 2006 (16,5 lei/an, adică 4,71€/an).

Pentru costul de investiție $A_0=1800\text{€}$, costul de exploatare anuală $A_i=10\text{€}$ (3,5 lei) și o perioadă de operare de $n=20$ ani, costurile totale devin [Q1]:

$$C_{tot} = A_0 + 20 \cdot A_i = 1800 + 20 \cdot 10 = 2000 \text{ €} \quad (5.43)$$

Costurile anuale C_a :

$$C_a = C_{tot} / n = 2000 / 20 = 100 \text{ €} \quad (5.44)$$

Costul unui kWh termic solar, pentru anul 2006, devine:

$$C_E = C_a / E_a = 100 / 1569,5 = 0,0637 \text{ €/kWh}_{\text{termsolar}} \quad (5.45)$$

$$C_E = 0,0637 \cdot 3,5 = 0,2230 \text{ lei / kWh}_{\text{termsolar}} \quad (5.46)$$

Costul unui kWh termic solar, pentru anul 2008, devine:

$$C_E = 0,0637 \cdot 3,7 = 0,2356 \text{ lei / kWh}_{\text{termsolar}} \quad (5.47)$$

Dacă se iau în considerare numai costurile de exploatare anuală, atunci prețul unui kWh_{termic solar} devine:

$$C_E = C_a / E_a = 10 / 1569,5 = 0,00637 \text{ €/kWh}_{\text{termsolar}} \quad (5.48)$$

Pentru anul 2006:

$$C_E = 0,00637 \cdot 3,5 = 0,0223 \text{ lei / kWh}_{\text{termsolar}} \quad (5.49)$$

Pentru anul 2008:

$$C_E = 0,00637 \cdot 3,7 = 0,0235 \text{ lei / kWh}_{\text{termsolar}} \quad (5.50)$$

În tabelul 5.1. se prezintă prețurile energiei produse convențional în comparație cu prețul energiei obținute neconvențional cu sistemul termic solar, dacă se iau în considerare numai costurile de exploatare.

Tabelul 5.1. Prețurile medii ale unității de energie obținută convențional/neconvențional

1kWh	termic solar (calculat)	termic național*	termic gaze naturale*	electric*
Prețul în lei (2006)	0,0223	0,0924	0,1106	0,2750
Prețul în lei (2008)	0,0235	0,1823	0,1221	0,3827

*Sursa: www.minind.ro/presa_2006, www.financiarul.ro/2008

În condițiile de mai sus, economia de energie C_e (lei), obținută anual cu ajutorul sistemului termic solar, pentru anii de referință 2006 și 2008, este:

$$C_e = E_a \cdot C_E = 1569,5 \cdot 0,2230 = 349,99 \text{ lei} \quad (5.51)$$

$$C_e = E_a \cdot C_E = 1569,5 \cdot 0,2356 = 369,77 \text{ lei} \quad (5.52)$$

unde $E_a = 1569,5 \text{ kWh / an}$ este cantitatea de energie furnizată de sistemul solar, iar C_E este prețul unitar (tab.5.1.)

În concluzie, sistemul neconvențional de producere a apei calde este cel mai rentabil, dacă avem în vedere doar costurile de exploatare anuală, (v.tab.5.1). Dacă se iau în considerare costul investiției inițiale și perioada de operare de 20 ani, atunci prețul unității de energie termică, produsă de sistemul solar, (5.46 și 5.47) este de zece ori mai mare. Pentru ca exploatarea sistemului termic solar să devină rentabilă și să poată concura cu sistemele convenționale, se impune o stimulare din partea statului, așa cum se practică în țările Uniunii Europene și o scădere a

costurilor de fabricație a elementelor componente, cu ajutorul unor tehnologii moderne.

De asemenea, pentru reducerea perioadei de amortizare, sistemele termice solare trebuie să fie montate în complexe rezidențiale sau micro-cartiere, nu în case unifamiliale.

Prețurile pentru transportul energiei convenționale vor crește pe termen lung, datorită limitării resurselor de energie fosilă. Prețurile mari ale petrolului după cum s-a văzut în anul 2008, ar putea apărea din nou în viitorul apropiat. Atunci, sistemele energetice regenerabile, relativ scumpe astăzi, vor deveni deodată mai competitive.

5.3.5. Analiza ecologică

Se cunoaște faptul că procesul de conversie a energiei solare în energie termică are emisii nule de CO₂. Prin urmare, în acest subcapitol, dorim să evidențiem economia anuală de CO₂, care se poate realiza prin folosirea energiei solare ca substituent al energiei convenționale.

Factorul de emisie e reprezintă cantitatea de poluant evacuat în atmosferă, raportată la unitatea de căldură introdusă odată cu combustibilul în cazan [I4].

Cantitatea de poluant evacuată în atmosferă (emisie) se determină cu relația [I4]:

$$E = B \cdot H_i^j \cdot e \quad [kg] \quad (5.53)$$

În care: E= cantitatea de poluant evacuată în atmosferă într-o anumită perioadă de timp, în kg; B=cantitatea de combustibil consumată în perioada respectivă, în kg; H_i^j =puterea calorifică inferioară a combustibilului inițial, în kJ/kg; e=factorul de emisie, în kg/kJ.

Factorii de emisie pentru CO₂ adoptați în toate țările UE, sunt redați în tabelul 5.2. Aceste valori sunt folosite pentru calcule de prognoză.

Tabelul 5.2. Factorii de emisie e_{CO2} [I4]:

Combustibil	e _{CO2} (kg/kJ)	e _{CO2} (g/GJ)	e _{CO2} (kg/kWh)
Cărbune	98x10 ⁻⁶	98000	0,352
Păcură	72x10 ⁻⁶	72000	0,259
Gaze naturale	50x10 ⁻⁶	50000	0,179

Pentru calcule mai exacte se aplică formula:

$$e_{CO2} = \frac{M_{CO2} \cdot C}{M_C \cdot 100} \cdot \frac{1}{H_i^j} \quad [kg / kJ] \quad (5.54)$$

unde: e_{CO2}= factorul de emisie pentru CO₂, în kg/kJ; M_{CO2} =masa moleculară a CO₂, în kg/kmol; M_C=masa atomică a carbonului, în kg/kmol; C=conținutul de carbon din combustibil, în % masice; H_i^j =puterea calorifică inferioară a combustibilului inițial, în kJ/kg.

În tabelul 5.3. se prezintă valorile standardizate ale factorului de emisie CO₂ pentru sectorul clădirilor.

Tabelul 5.3. Valorile standardizate ale factorului de emisie CO₂ (kg/kJ)

Sursa de energie	e _{CO2} (kg/kWh) pentru România	e _{CO2} (kg/kWh) pentru EU-25
Cărbune	0,342	0,3439
Păcură	0,270	0,2665
Gaz	0,205	0,180
Lemn	0,036	0,0349
Termoficare	0,240	-
Peleți	-	0,0349

Sursa: www.ec.europa.eu/environment

Pentru a obține, cu ajutorul energiilor convenționale, o cantitate anuală de energie echivalentă cu E_a furnizată de sistemul termic solar experimental (formula 5.42) au loc emisii de CO₂ în atmosferă, în cantitate dependentă de tipul de combustibil folosit, conform tabelului 5.4.

Tabelul 5.4. Cantitatea de CO₂, E(kg/an), emisă pentru obținerea energiei termice E_a= 1600kWh/an

Combustibilul folosit	cantitatea de combustibil consumată anual B (m ³)	puterea calorică inferioară a combustibilului H _i ** (kWh/m ³)	factorul de emisie de CO ₂ e* _{CO2} (kg/kWh)	cantitatea de CO ₂ emisă în atmosferă, calculată (cf.5.53) E (kg/an)
gaz	157,17	10,18	0,179	287,83
păcură	0,14	10993,257	0,259	398,16
cărbune (brun, lignit)	585 (kg)	2,735	0,352	563,19
energie solară	-	-	0	0

*Sursa: tab.5.3.; ** Sursa: www.apmdb.ro/caracteristici

Utilizarea energiei solare pentru obținerea unei cantități de energie termică duce la economii de emisii de CO₂ conform tab.5.4.

5.3.6. Determinarea variației în timp a parametrilor dezvoltați de standul experimental

Pentru prelucrarea datelor experimentale s-a folosit programul MathCAD versiunea 13.0. Modul de prelucrare a datelor experimentale este prezentat în continuare. Datele preluate de la senzorii de temperatură S₁ și S₂ prin intermediul microcontrolerului X2 (v.cap.4) au fost salvate într-un fișier de tip text.

Datele preluate de luxmetru au fost salvate tot într-un fișier text și apoi prelucrate cu ajutorul programului Microsoft Excel.

În fig.5.13 este prezentat modul de citire a celor 2 fișiere cu date, de către programul MathCAD. Cele 2 matrice cu date de intrare sunt F și L. În vederea prelucrării datelor, s-au creat în MathCAD 13.0. următoarele funcții:

- h(a) și Tr(F), pentru transformarea valorilor temperaturii din sistemul hexazecimal (astfel au fost primite de la senzori) în sistemul zecimal (fig.5.14),
- R(F), pentru eliminarea valorilor aberante și completarea valorilor lipsă, prin interpolare liniară a valorilor temperaturilor (fig.5.15),

- Tr10(F), pentru obținerea valorilor temperaturilor la intervale de timp $t=10(s)$, pentru a putea fi comparate cu valorile iluminării (fig.5.14),
- P(F), pentru înlocuirea valorilor lipsă ale iluminării, prin integrare liniară (fig.5.14).

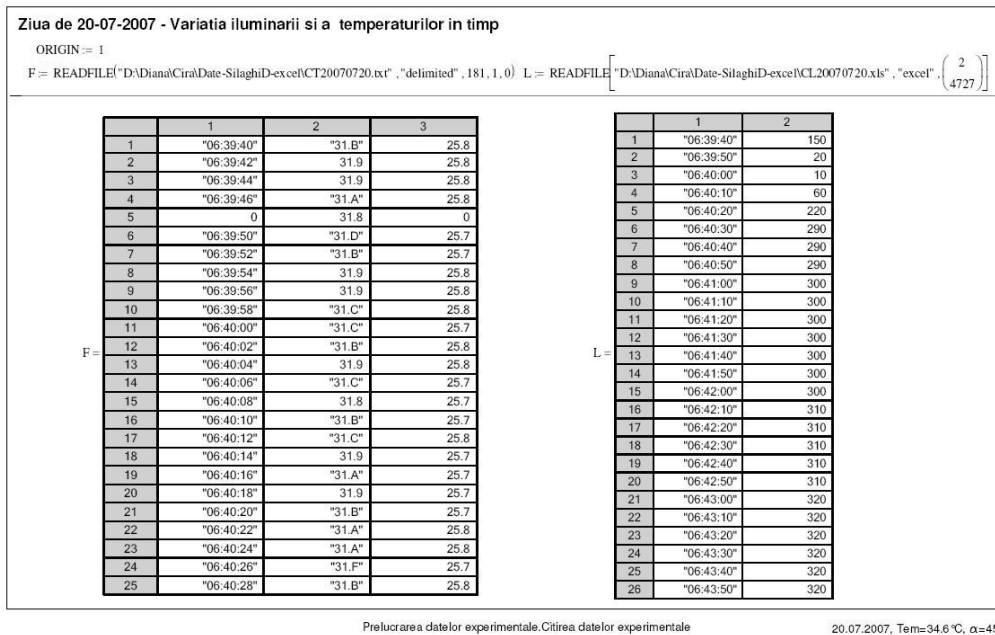
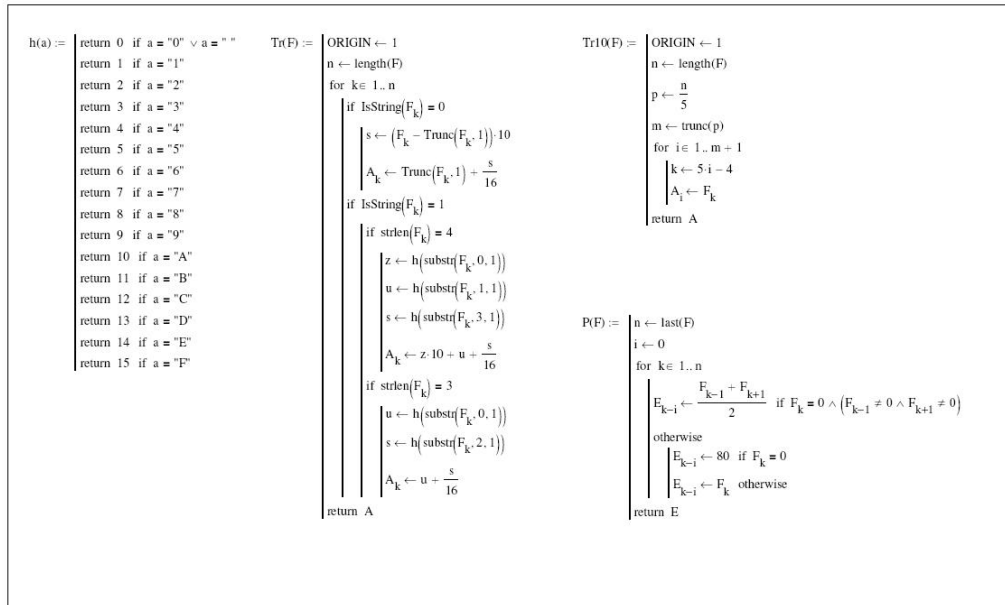


Fig. 5.13. Citirea fișierelor în MathCAD. Exemplu.

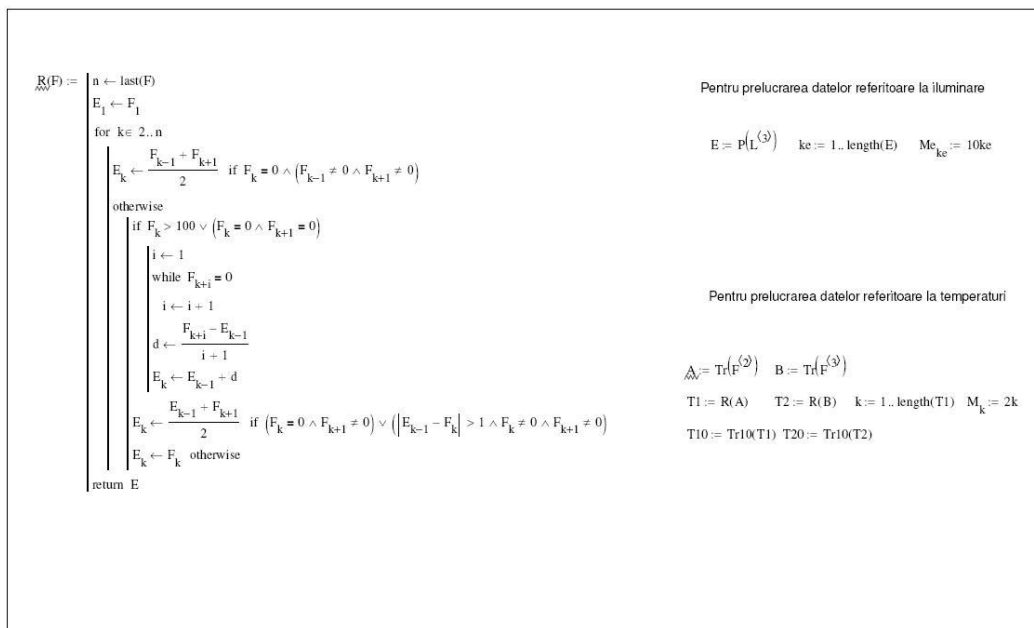
Folosind funcțiile F și L, am obținut valorile temperaturilor și ale iluminării sub forma unor „vectori” denumiți T_1 , T_2 și E. Funcțiile folosite pentru prelucrarea statistică sunt prezentate în fig.5.14 și fig.5.15, iar rezultatele obținute sunt date în fig.5.16.



Prelucrarea datelor experimentale. Funcții folosite pentru prelucrarea datelor

20.07.2007, Tem=34.6 °C, α=45°

Fig. 5.14. Funcțiile folosite la prelucrarea datelor experimentale (1).



Prelucrarea datelor experimentale. Funcții folosite pentru prelucrarea datelor

20.07.2007, Tem=34.6 °C, α=45°

Fig. 5.15. Funcțiile folosite la prelucrarea datelor experimentale (2).

Dispersia empirică	var(T1) = 175.087	var(T2) = 247.849	var(E) = 1861705327.443
Dispersia empirică corectată	Var(T1) = 175.094	Var(T2) = 247.86	Var(E) = 1862099339.152
Valoarea abaterii medii patratice	stdev(T1) = 13.232	stdev(T2) = 15.743	stdev(E) = 43147.483
Valoarea abaterii medii patratice corectate	Stdev(T1) = 13.232	Stdev(T2) = 15.744	Stdev(E) = 43152.049
Media aritmetică	mean(T1) = 52.629	mean(T2) = 56.366	mean(E) = 62952.992
Mediana elementelor	median(T1) = 56.688	median(T2) = 60.938	median(E) = 69440
Valoarea cu frecvența cea mai mare de apariție	mode(T1) = 66.875	mode(T2) = 25.438	mode(E) = 14000
Valoarea maximă	max(T1) = 69.875	max(T2) = 84	max(E) = 123920
Valoarea minimă	min(T1) = 30.688	min(T2) = 25.313	min(E) = 80

Prelucrarea datelor experimentale. Valori statistice obținute prin prelucrarea datelor

20.07.2007, Tem=34.6°C, α=45°

Fig. 5.16. Date statistice calculate. Exemplu.

De asemenea, se poate face o reprezentare grafică a acestor „vectori” funcție de momentele de măsurare M_{ek} , care sunt date în secunde de la începutul până la sfârșitul înregistrării datelor. Aceste grafice sunt prezentate în fig.5.17 pentru temperaturi și fig.5.18 pentru iluminare.

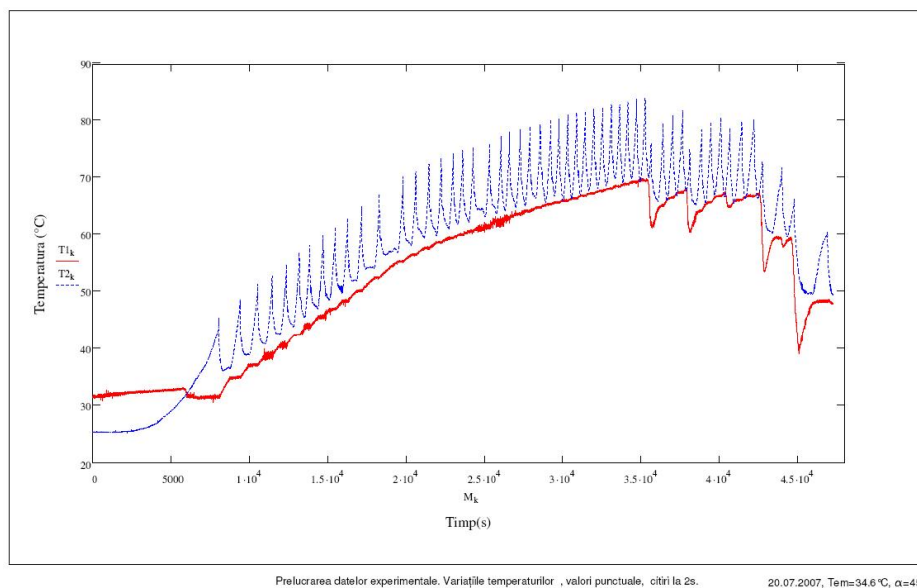


Fig. 5.17. Reprezentarea grafică a temperaturilor. Exemplu.

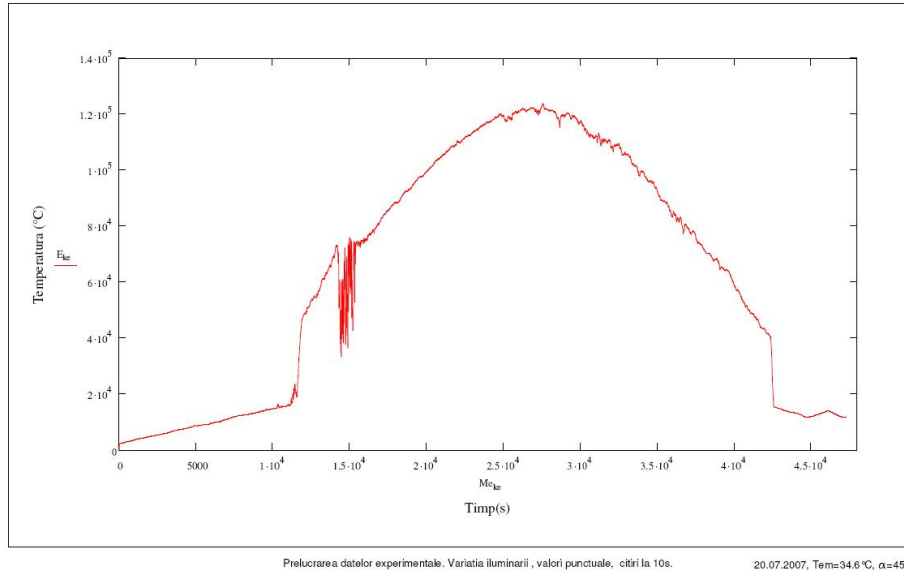


Fig. 5.18. Reprezentarea grafică a iluminării. Exemplu.

Graficele pot fi prelucrate folosind funcții spline și de interpolare pentru a obține variații mai apropiate de cele reale (fig.5.19), dar datorită intervalelor foarte mici de înregistrare a datelor aceasta metodă nu dă rezultate satisfăcătoare.

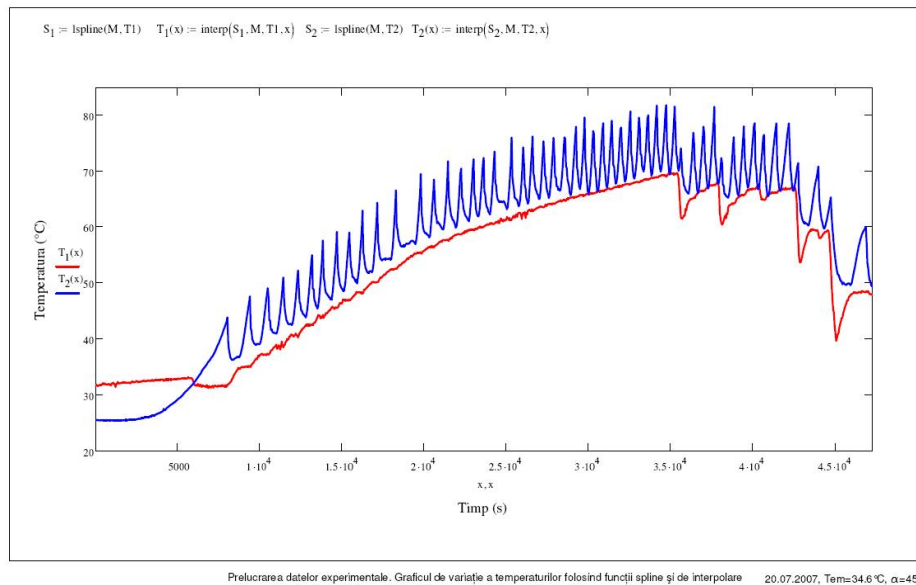


Fig. 5.19. Prelucrarea datelor cu funcții spline de interpolare. Exemplu.

Pentru a urmări evoluția în timp a funcționării pompei, se poate trasa și un grafic pentru diferența de temperatură $\Delta T = T_2 - T_1$ (°C), cu menționarea faptului că, pompa funcționează atunci când graficul prezintă pante descendente (fig.5.20).

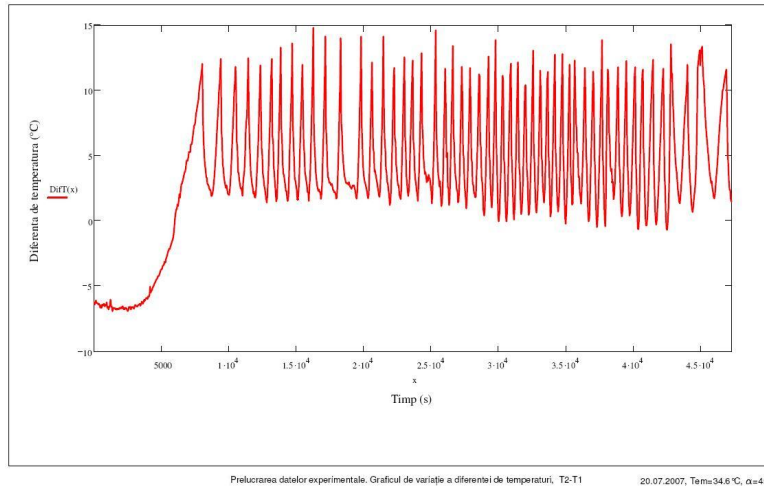


Fig. 5.20. Variația în timp a diferenței de temperatură $\Delta T = T_2 - T_1$ (°C). Exemplu.

Pentru a putea compara valorile iluminării, cu valorile temperaturilor obținute, datorită diferenței între timpii de înregistrare a datelor, se face o citire a valorii temperaturilor la intervale de 10s prin intermediul funcției T10(F). Se obțin astfel „vectori” T10 și T20. Se trasează graficele de variație ale temperaturilor și ale iluminării în funcție de timpul scurs de la începerea înregistrării datelor, exprimat în secunde cu ajutorul funcției „medsmooth (v_y,n)” din softul MathCAD. Această funcție returnează valoarea medie a celor n valori centrate în poziția valorii v_y; exemplul este prezentat în fig.5.21.

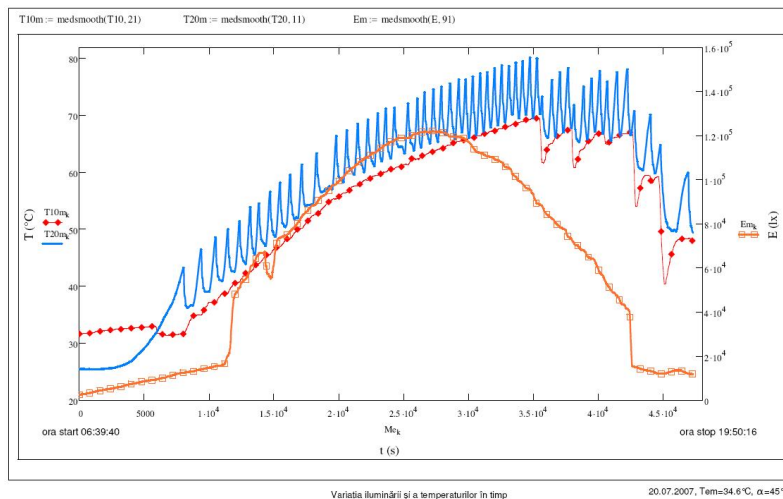


Fig. 5.21. Variația în timp a mărimilor monitorizate. Forma finală. Exemplu

5.3.7. Determinarea valorilor iluminării pentru locația dată, în condițiile climatice actuale. Comparație cu literatura de specialitate.

Valorile iluminării $E(lx)$ pentru locația Arad (lat.46,19°N; long.21,31°E) au fost determinate cu ajutorul luxmetrului (v.fig.4.19, fig.4.20), care a avut montat pe senzorul de lumină, un filtru optic de tipul Hoya HMC NDx8 (v.fig.4.26). Necesitatea montării filtrului optic cu transmitanța $\delta=12,5 \pm 2$ (%) pentru $\lambda=400...700nm$ (v.anexa 3), a apărut în momentul constatării existenței unor valori mari ale iluminării. Aceste valori depășeau datele furnizate în literatura de specialitate (v.tab.4.1 și 4.2), motiv pentru care această problemă a constituit unul dintre obiectivele cercetării.

Facem precizarea că, toate valorile menționate ca rezultat al măsurării, includ erorile de măsurare, conform cap.4.4.3, atât pentru temperaturi, cât și pentru iluminare.

Modalitatea de prelevare și de prelucrare a datelor măsurate de luxmetru este prezentată detaliat la capitolul 5.2.1.

În urma analizei măsurătorilor, efectuate în perioada decembrie 2006 - iulie 2008 (durata studiului experimental) s-au obținut datele prezentate în tabelul 5.5.

Tabelul 5.5. Valori naturale ale iluminării obținute din măsurători.
Comparație cu literatura.

	Iluminarea E^*_{med} , E^*_{max} (lx) măsurată în Arad, lat.46,19N; long.21,31E Decembrie 2006 - Iulie 2008	Iluminarea E (lx), [43,75,87]
Noaptea (luna plină)	1,6	0,25
Zi cu nori iarna	3.216-8240	1.000-3.500
Zi senină iarna	41.154-78.160	10.000
Zi cu nori vara	30.462-118.480	10.000-30.000
Zi senină vara	95.012-129.040	100.000

* inclusiv eroarea de măsurare (cap.4.4.3)

Din analiza datelor statistice (anexa 4), rezultă că, în condițiile actuale de climă și poluare globală, radiația solară pentru domeniul vizibil, adică iluminarea, are valori mai mari decât cele existente în literatura de specialitate. Aceste valori sunt de 1,3...6 ori mai mari, în funcție de anotimp și condițiile meteorologice.

Iluminarea maximă înregistrată punctual a fost $E_{max} \geq 160.000lx$, în mai 2008 (fig.5.22). Alte valori mari (până la 160.000lx) s-au înregistrat în mai 2007 și 2008.

Valori minime (sub 5.000lx) s-au înregistrat în lunile de iarnă (ianuarie, februarie, 2007 și 2008). În grafic, s-a notat cu $\alpha(^{\circ})$ unghiul de înclinare a captatoarelor solare față de orizontală.

Prin acest obiectiv s-a urmărit sistematizarea datelor monitorizate și aducerea la zi a informației referitoare la iluminare.

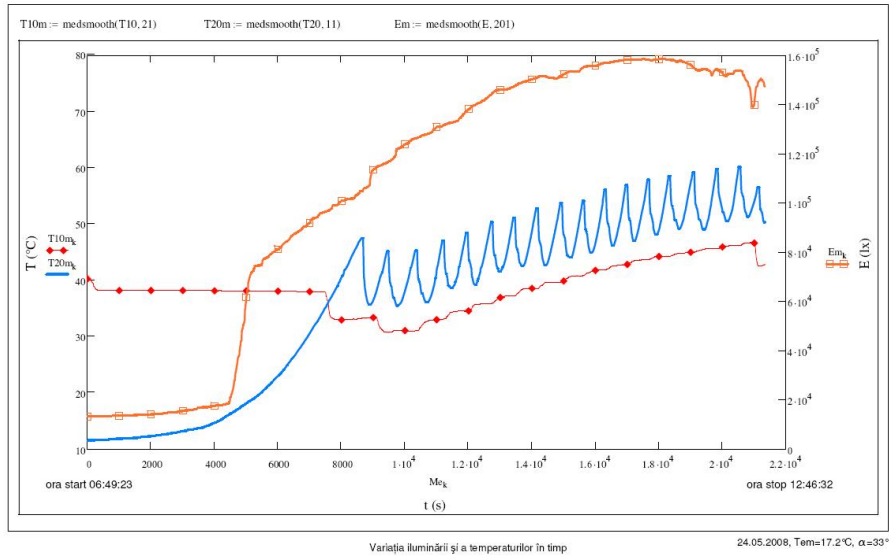


Fig. 5.22. Iluminarea maximă înregistrată, 24.05.2008

5.3.8. Analize comparative privind variația iluminării în timp

- în aceeași zi, din ani diferiți

Graficele corespunzătoare variației iluminării în timp, în aceeași zi, din ani diferiți, sunt prezentate în fig.5.23, 5.24, 5.25 și 5.26.

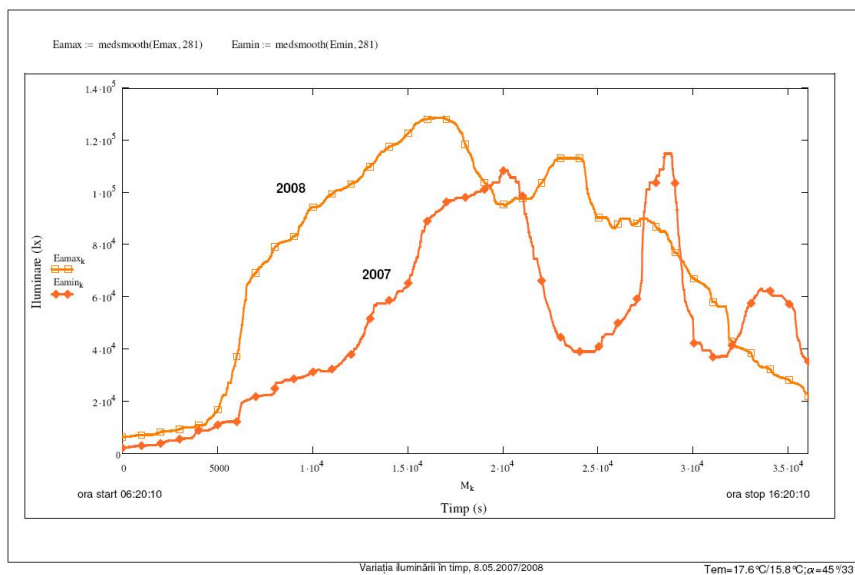


Fig. 5.23. Variația iluminării în timp, 8.05.2007 și 8.05.2008

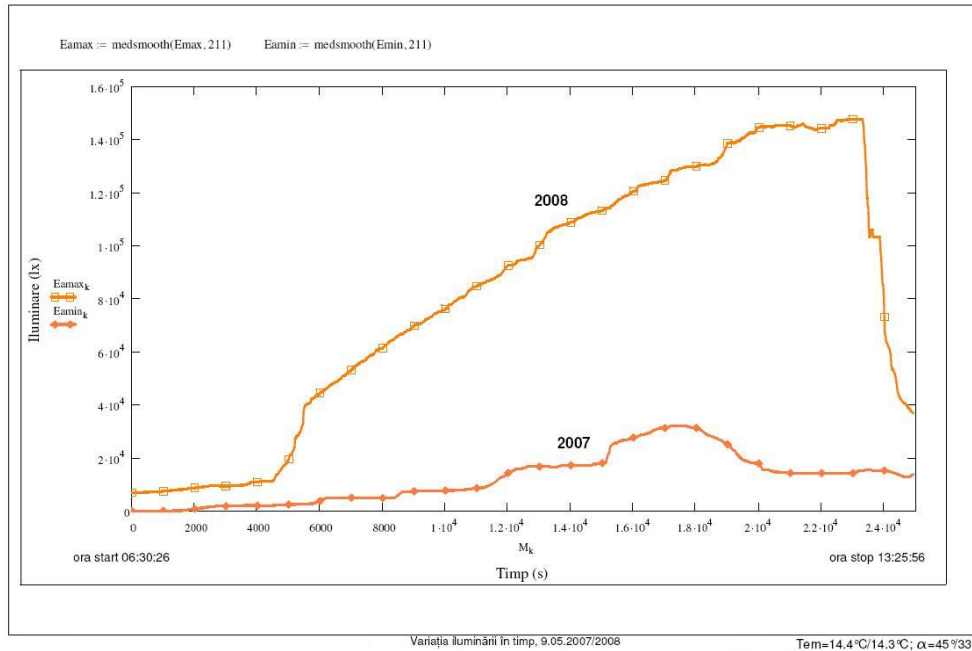


Fig. 5.24. Variația iluminării în timp, 9.05.2007 și 9.05.2008

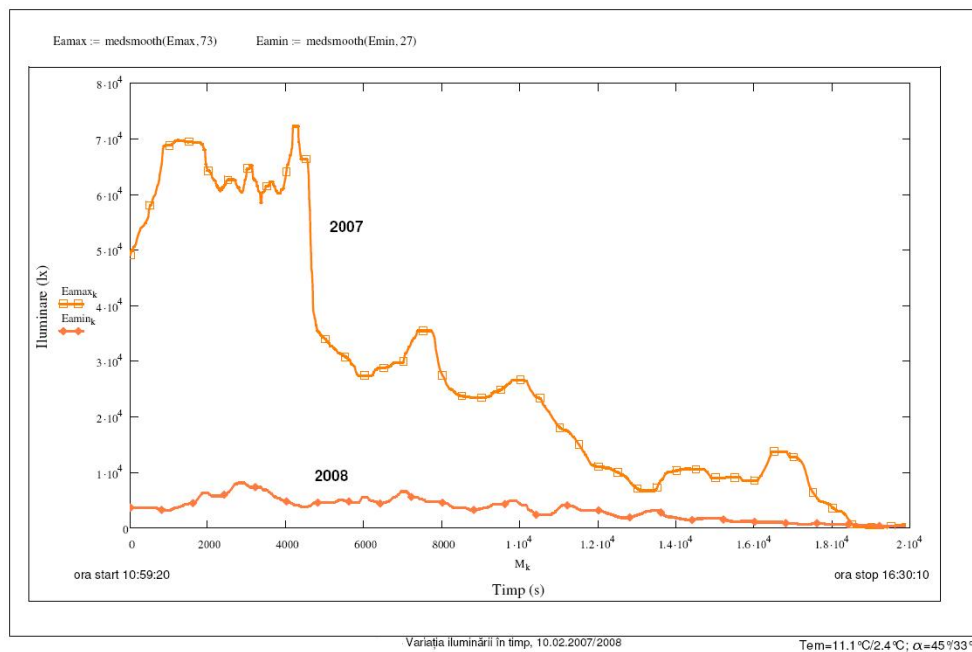


Fig. 5.25. Variația iluminării în timp, 10.02.2007 și 10.02.2008

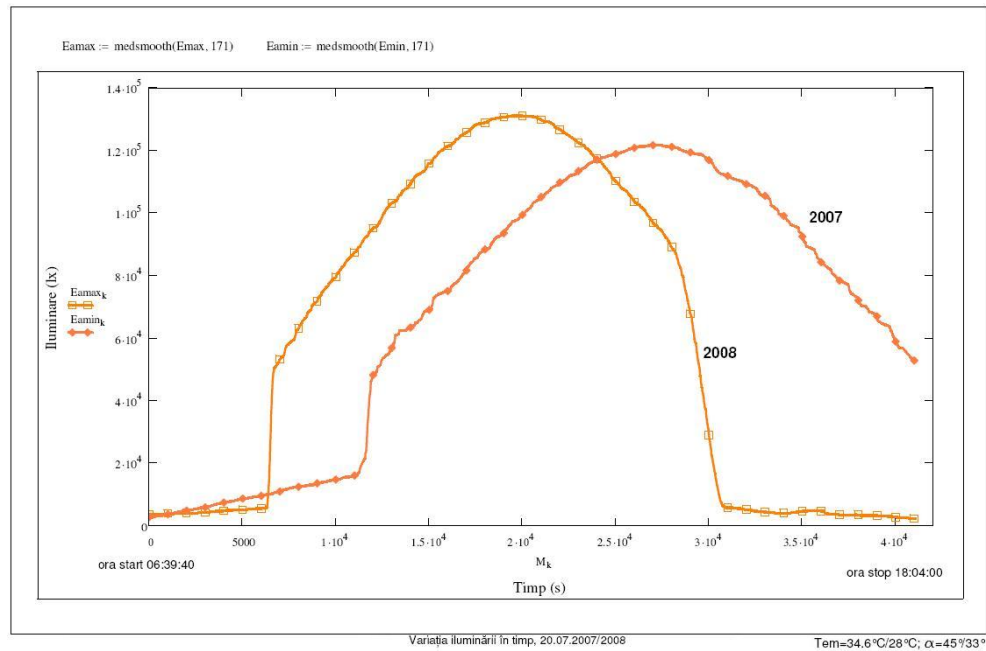


Fig. 5.26. Variația iluminării în timp, 20.07.2007 și 20.07.2008

Din analiza graficelor din fig. 5.23-5.26 rezultă că:

- în aceeași zi, dar în ani diferiți, radiația solară este diferită;
- diferențele, existente între graficele aceleiași zile, se datorează atât condițiilor atmosferice cât și unghiului de înclinare a panourilor solare față de orizontală α ($^\circ$), care sunt variabile.

- **în două zile cu temperaturi extreme**

Graficele corespunzătoare variației iluminării în timp, în două zile cu temperaturi extreme sunt prezentate în fig.5.27 și fig. 5.28.

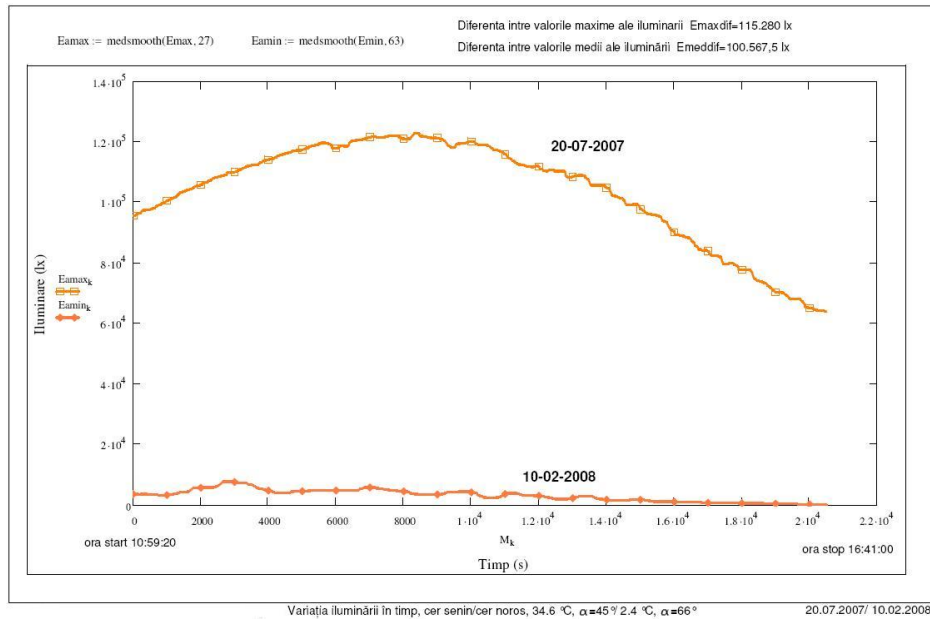


Fig. 5.27. Variația iluminării în timp. Valori extreme înregistrate pe parcursul studiului experimental.

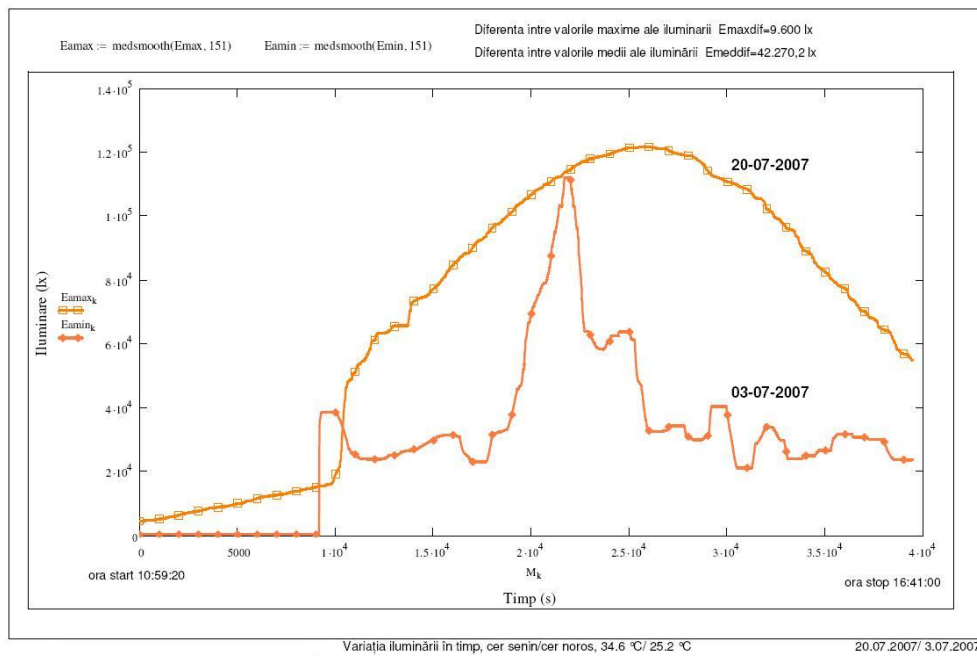


Fig. 5.28. Variația iluminării în timp. Valori înregistrate în condiții atmosferice diferite din aceeași lună

Din analiza graficelor din fig.5.27 și fig.5.28, rezultă că:

- diferența obținută între valorile medii ale iluminării $E_{meddif}=42.270lx$ (fig.5.28) se datorează numai condițiilor meteorologice cer senin/cer noros, care sunt reprezentative pentru captarea radiației solare, în zile diferite din aceeași lună, cu toate că diferența dintre temperaturile medii exterioare (în aceste zile) este numai $2,8^{\circ}C$.
- diferența obținută între valorile medii ale iluminării $E_{meddif}=100.567,5lx$, măsurate în zilele de referință (fig.5.27) se datorează unui complex de factori, dintre care cei mai importanți - condițiile meteorologice și unghiul de înclinare a panourilor solare $\alpha (^{\circ})$.

• **In două zile senine (vara-iarna)**

Reprezentările grafice sunt redată în fig.5.29 și fig.5.30.

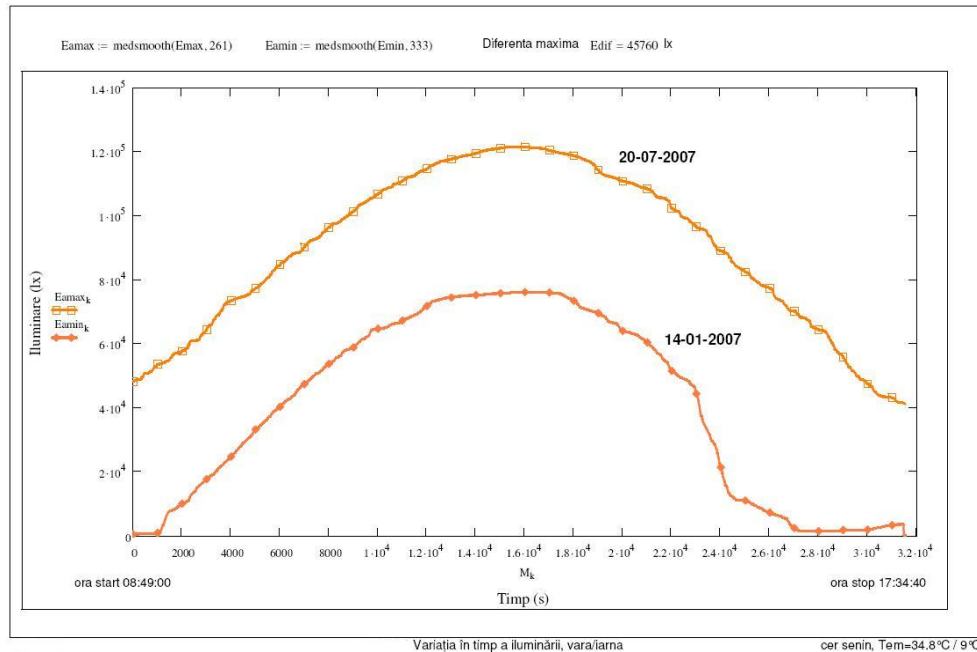


Fig. 5.29. Variația iluminării în timp. Valori înregistrate pentru zile cu cer senin iarna/vara (1)

Din graficul zilei de 14.01.2007 (fig. 5.29) se pot identifica orele de răsărit și apus. De asemenea, se observă că, pe timp de vară, beneficiem de radiație solară mai puternică, pe o durată mai mare a zilei, comparativ cu iarna.

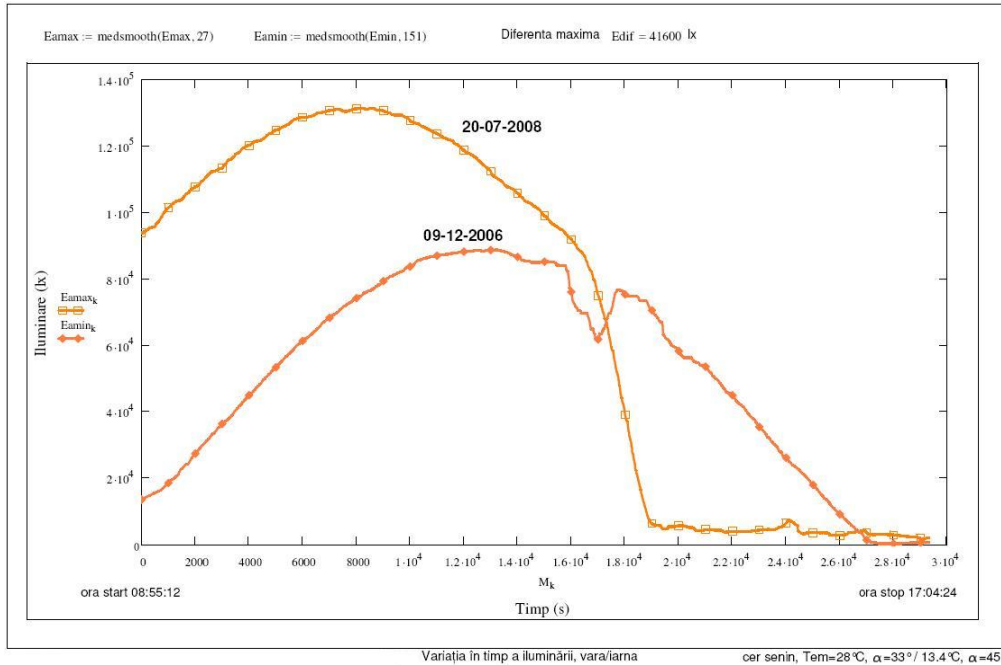


Fig. 5.30. Variația iluminării în timp. Valori înregistrate pentru zile cu cer senin iarna/vara (2)

Din analiza graficelor din fig.5.29 și 5.30, rezultă că:

- pentru o zi senină de vară sau de iarnă, graficele prezintă curbe asemănătoare,
- pentru același unghi de înclinare a panourilor solare $\alpha = 45^\circ$, există o diferență $E_{dif}=45.760\text{lx}$ între vară și iarnă, iar temperatura apei calde este între limitele: $T_{1\text{vara}}=30,7\dots69,9^\circ\text{C}$, $T_{1\text{iarna}}=22\dots34,1^\circ\text{C}$, deci diferența vară-iarnă este $T_{1\text{dif}}=8,7\dots35,8^\circ\text{C}$ (anexa 4).

5.3.9. Analiza influenței iluminării asupra parametrilor dezvoltați de standul experimental, pe durata cercetării

Variațiile în timp a parametrilor monitorizați pe durata a 343 ore de funcționare continuă sunt redată în figurile 5.31-5.51. Fiecare grafic conține 4 mărimi variabile în timp:

- timpul $t(\text{s})$, reprezentat pe abscisă, prin indicarea momentelor de măsurare (M_{ek}), adică a momentelor în care s-a obținut o valoare măsurată. Momentele de măsurare sunt cuantificate în secunde, de la ora start (considerată moment $M_k=0$) până la ora stop.
- temperaturile T_1 (a apei calde în rezervor) și T_2 (a agentului termic la ieșirea din captatoarele solare) în $^\circ\text{C}$, reprezentate pe ordonată, corespund aceluiași momente de măsurare, motiv pentru care sunt notate T_{10mk} și T_{20mk} .
- iluminarea E_{mk} (lx) reprezentată pe axa din dreapta, corespunde aceluiași momente de măsurare ca și celelalte mărimi.

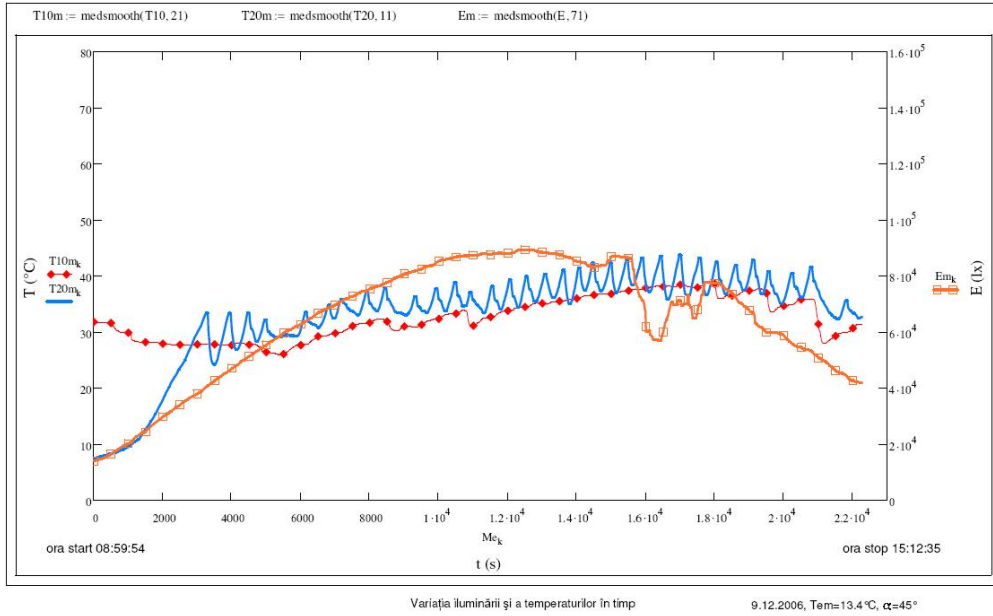


Fig. 5.31. Influența iluminării asupra temperaturilor, 9.12.2006

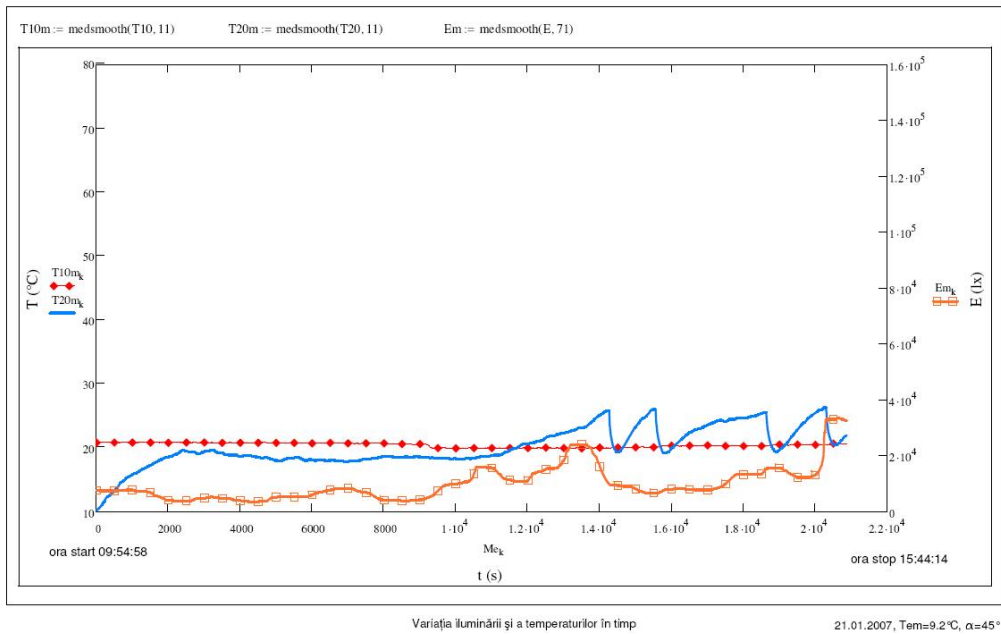


Fig. 5.32. Influența iluminării asupra temperaturilor, 21.01.2007

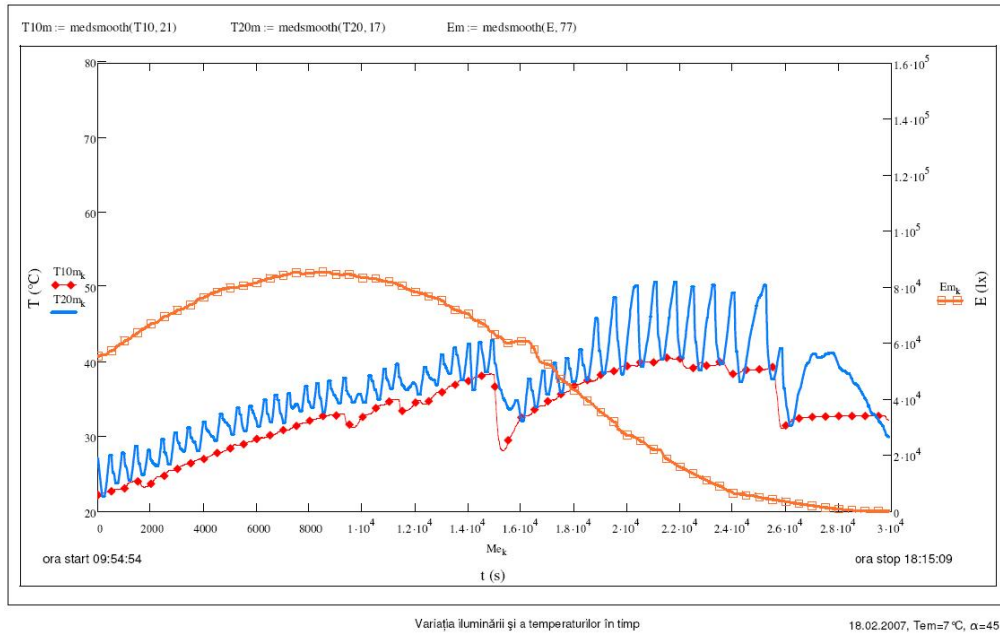


Fig. 5.33. Influența iluminării asupra temperaturilor, 18.02.2007

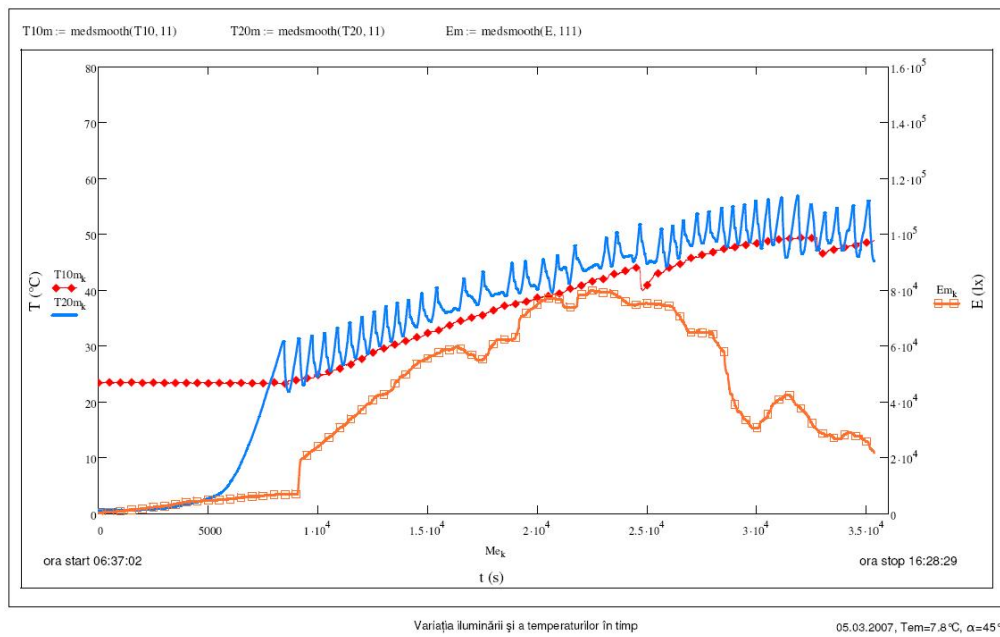


Fig. 5.34. Influența iluminării asupra temperaturilor, 5.03.2007

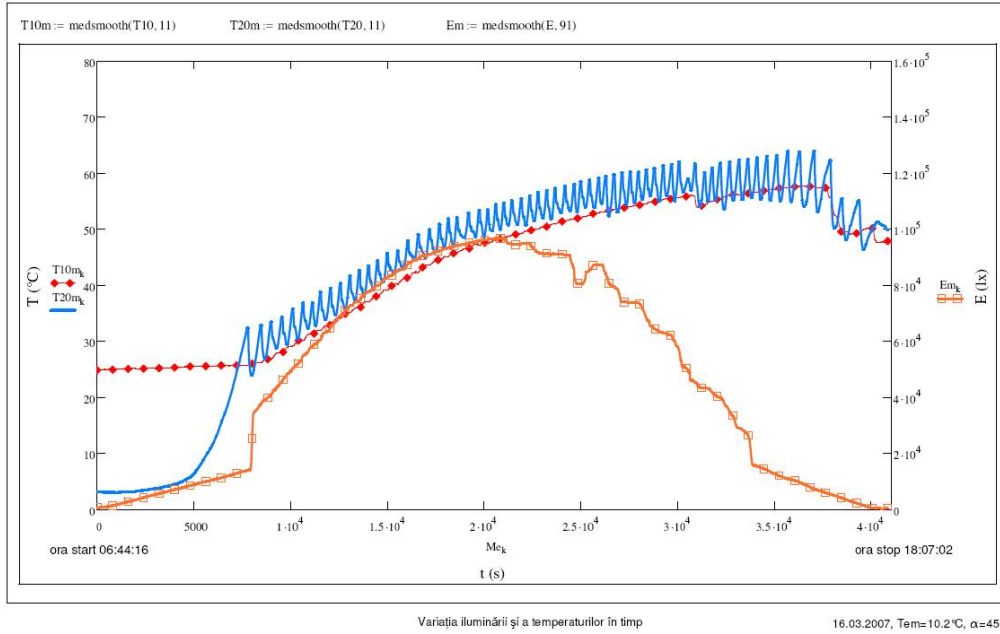


Fig. 5.35. Influența iluminării asupra temperaturilor, 16.03.2007

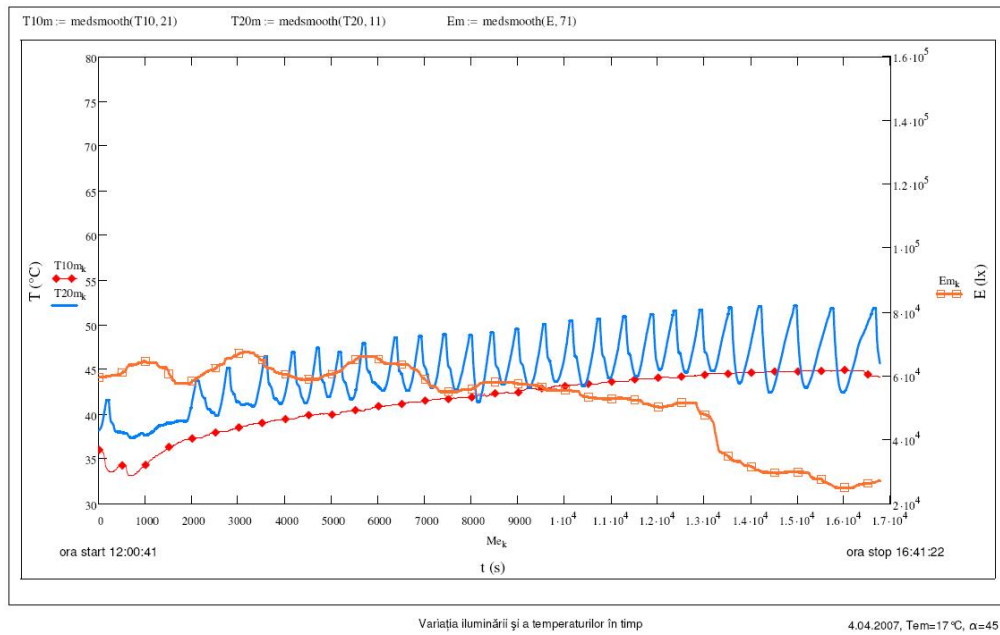


Fig. 5.36. Influența iluminării asupra temperaturilor, 4.04.2007

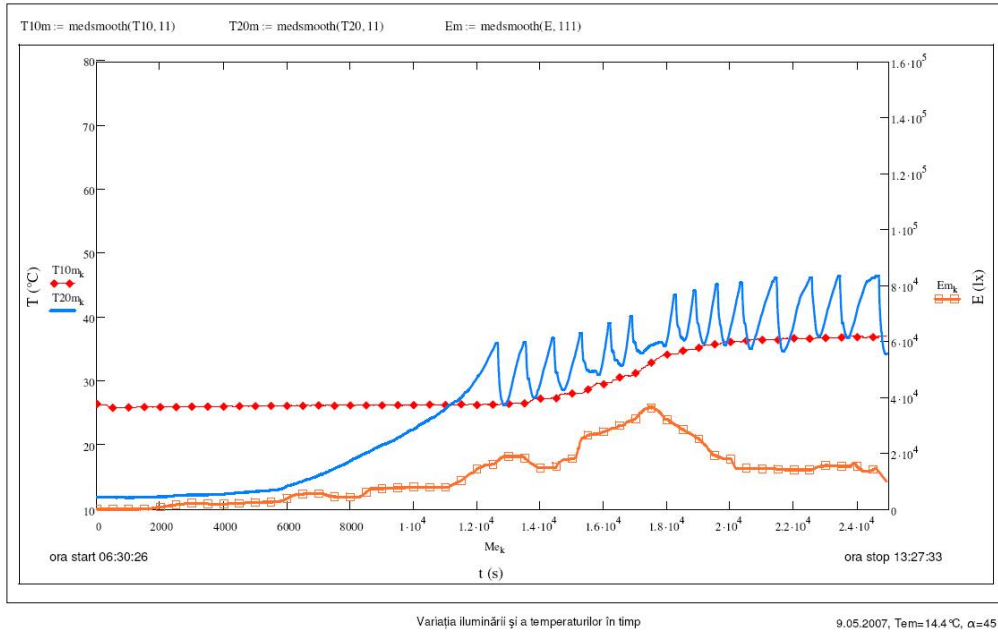


Fig. 5.37. Influența iluminării asupra temperaturilor, 9.05.2007

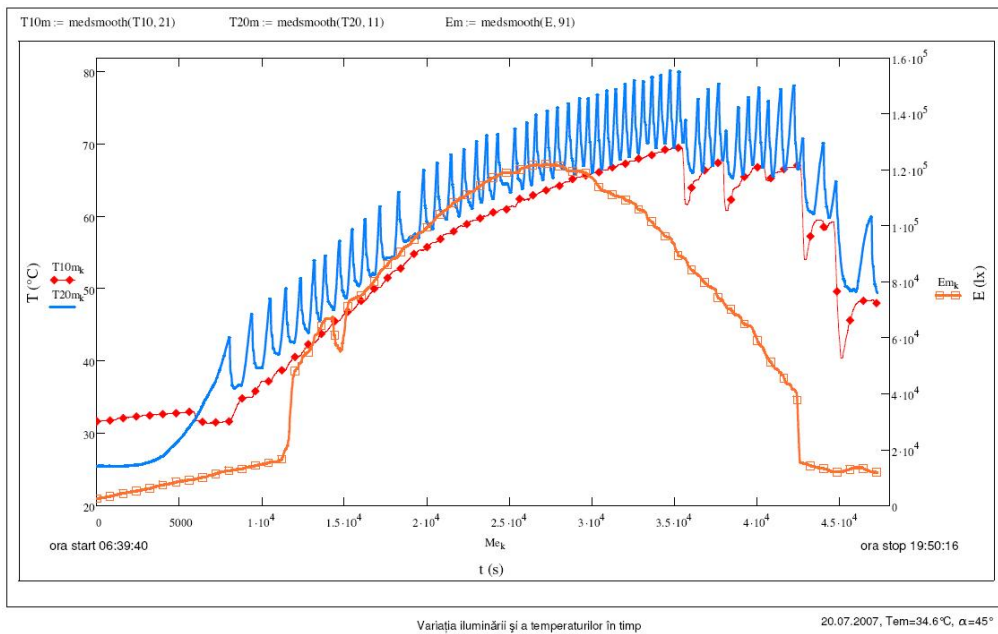


Fig. 5.38. Influența iluminării asupra temperaturilor, 20.07.2007

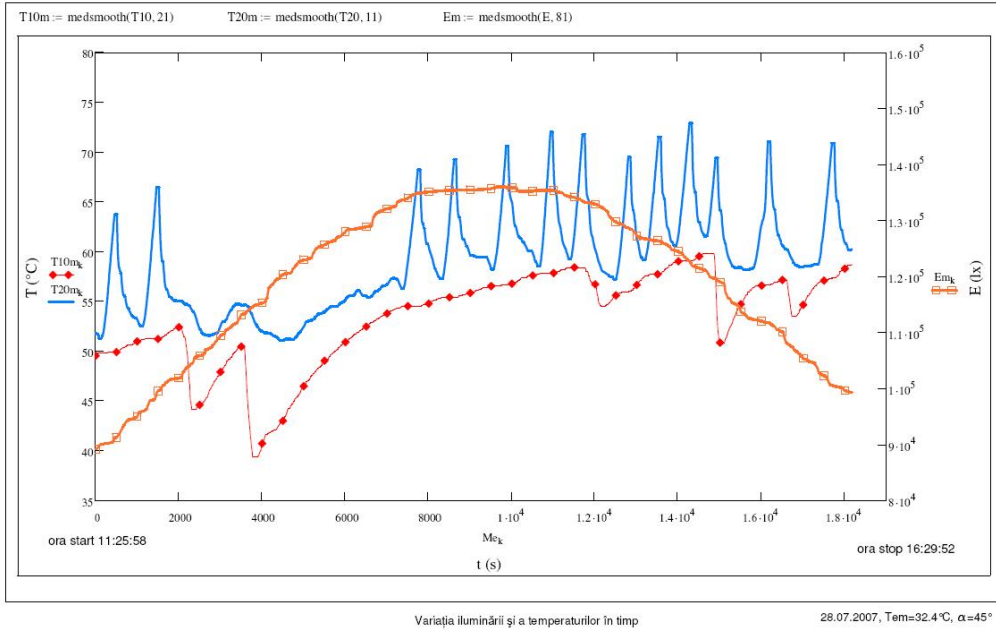


Fig. 5.39. Influența iluminării asupra temperaturilor, 28.07.2007

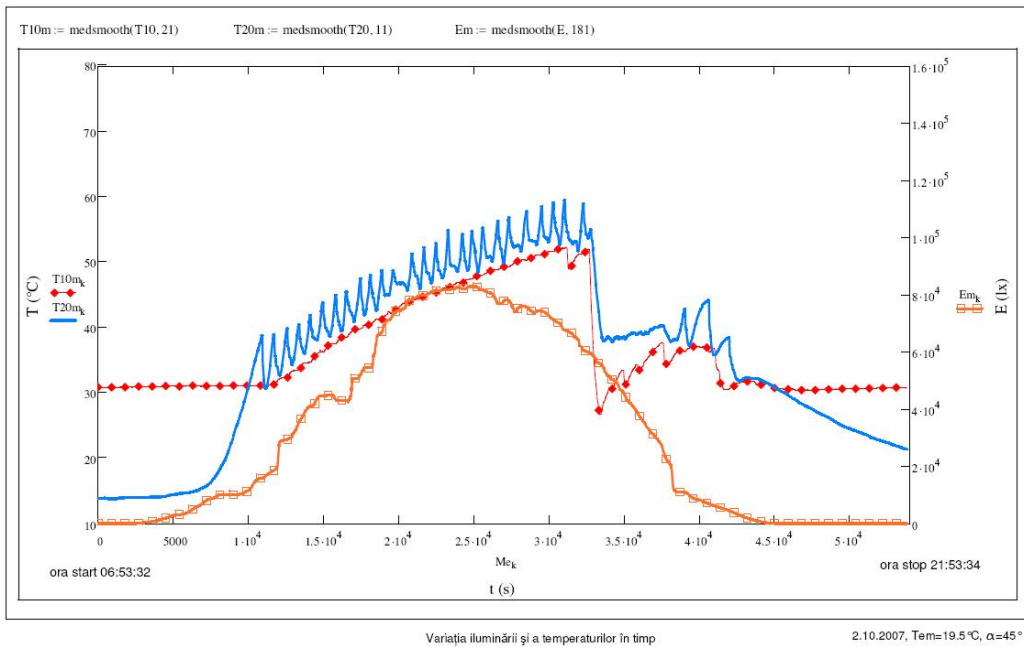


Fig. 5.40. Influența iluminării asupra temperaturilor, 2.10.2007

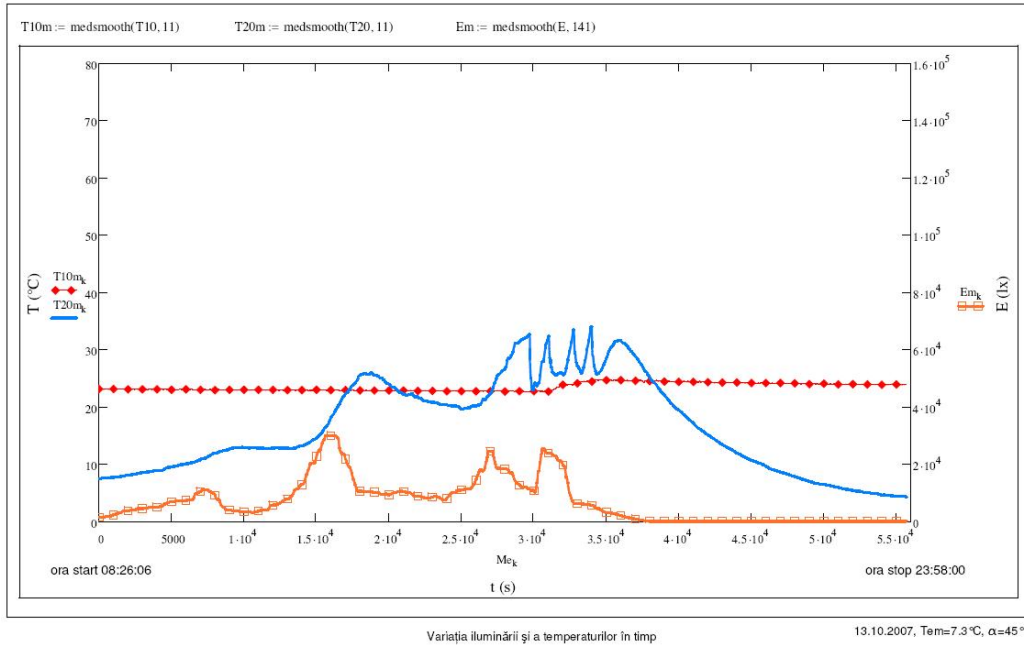


Fig. 5.41. Influența iluminării asupra temperaturilor, 13.10.2007

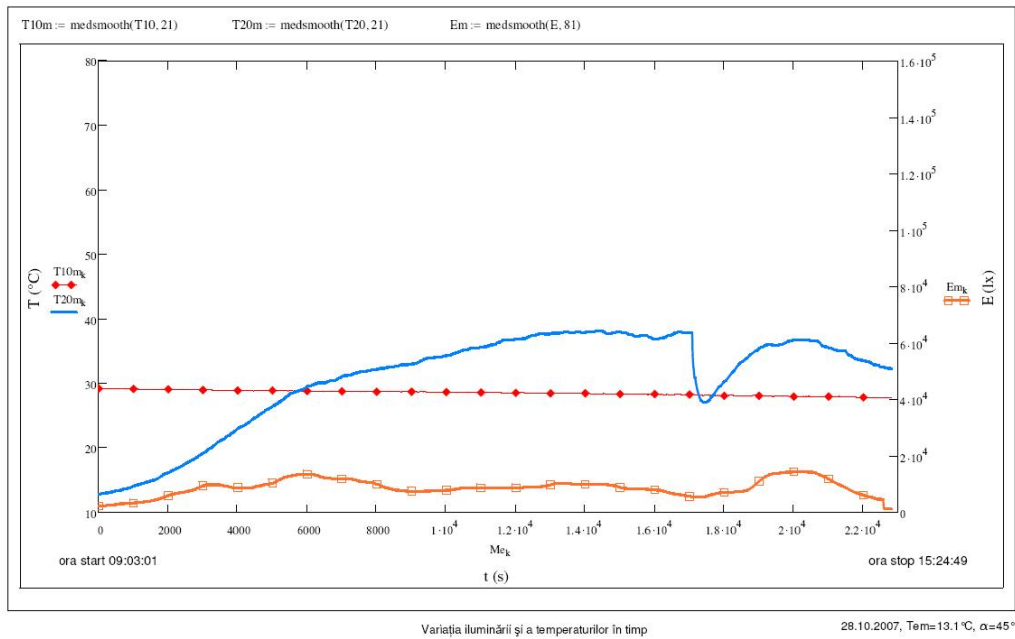


Fig. 5.42. Influența iluminării asupra temperaturilor, 28.10.2007

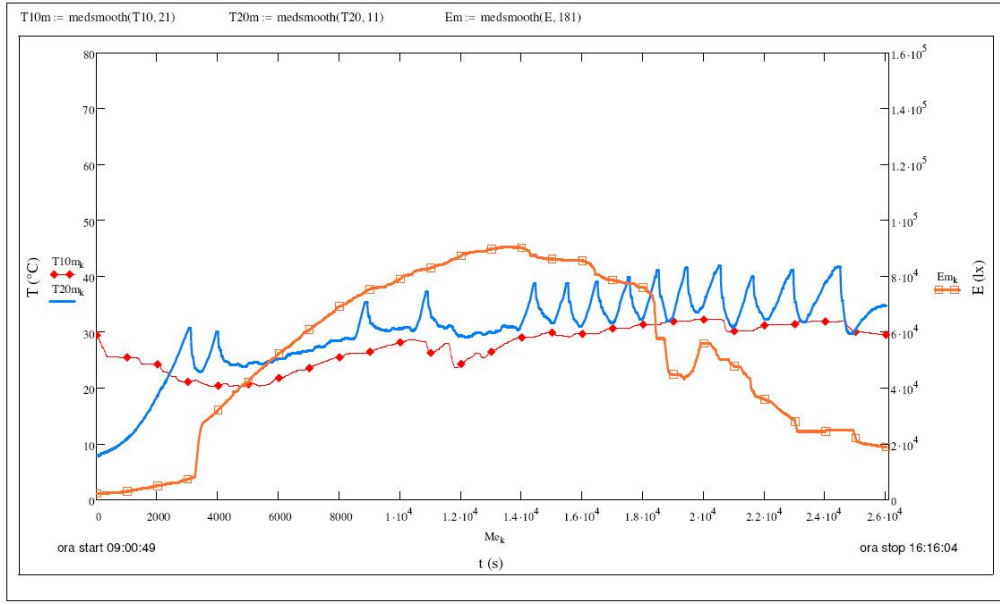


Fig. 5.43. Influența iluminării asupra temperaturilor, 24.11.2007

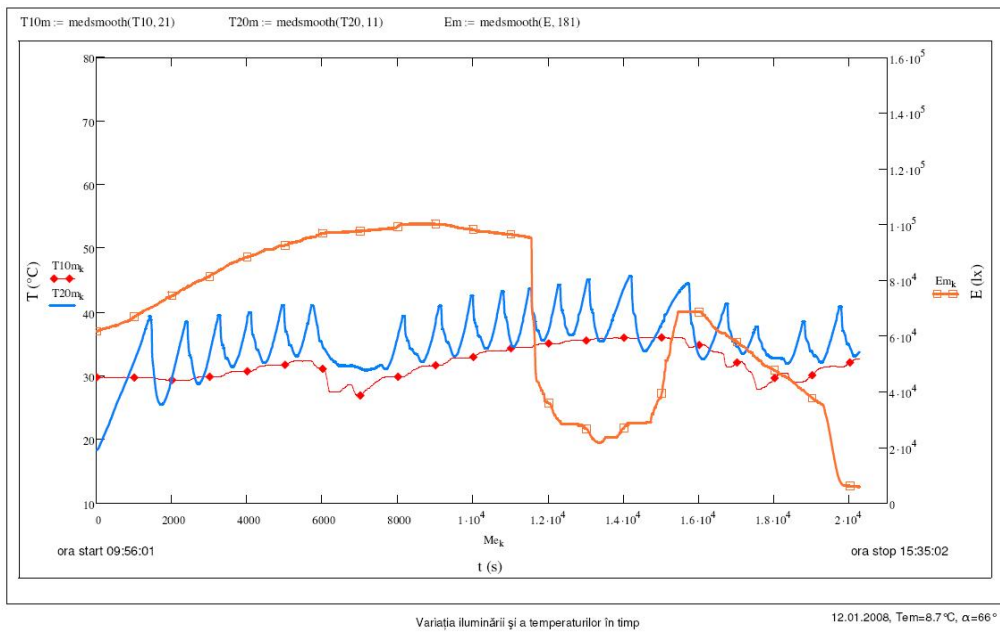


Fig. 5.44. Influența iluminării asupra temperaturilor, 12.01.2008

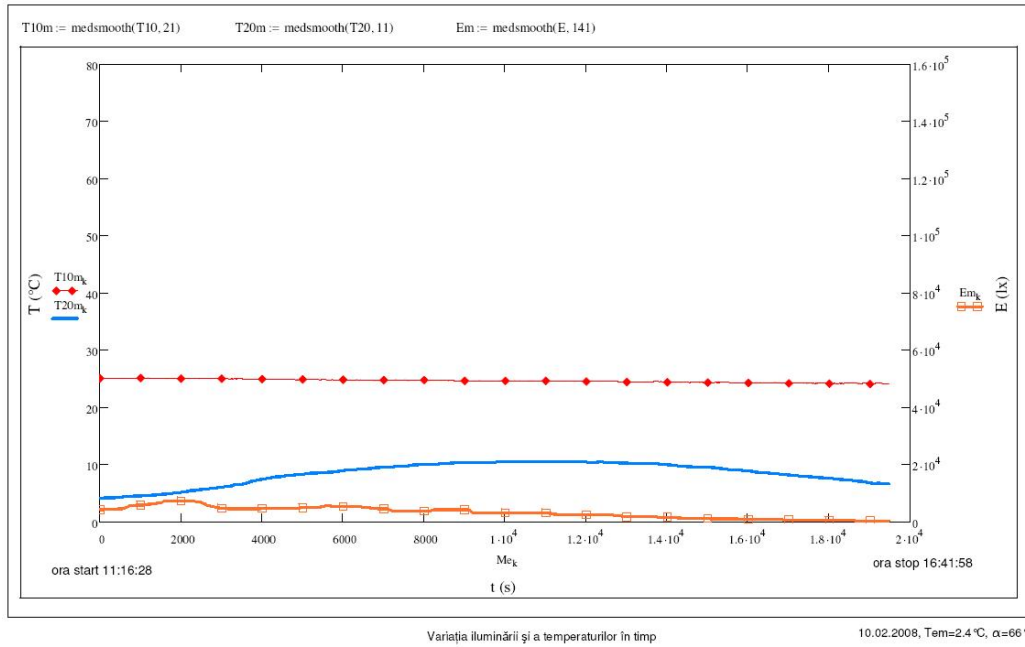


Fig. 5.45. Influența iluminării asupra temperaturilor, 10.02.2008

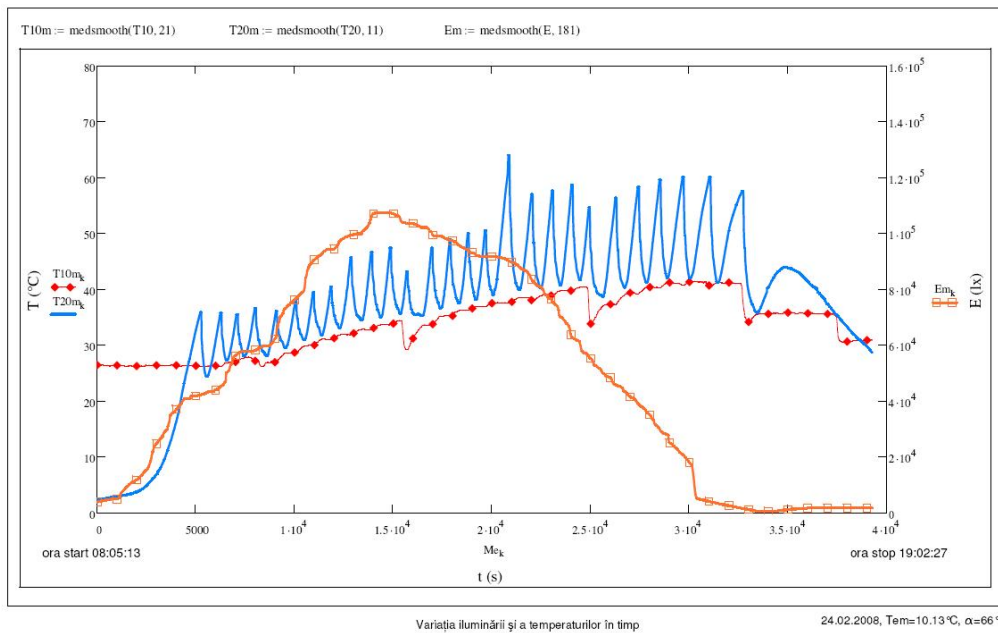


Fig. 5.46. Influența iluminării asupra temperaturilor, 24.02.2008

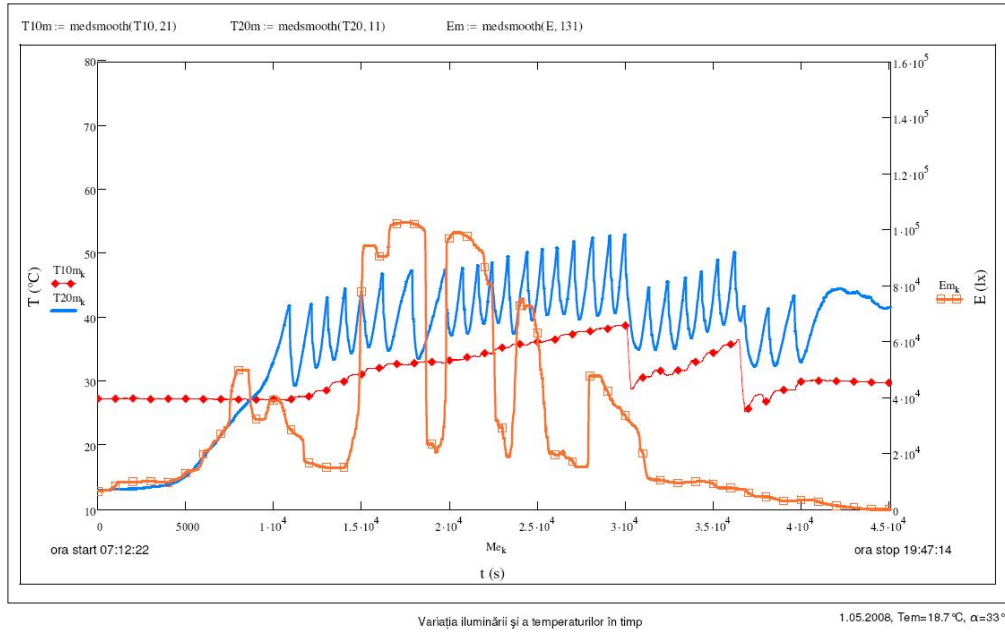


Fig. 5.47. Influența iluminării asupra temperaturilor, 1.05.2008

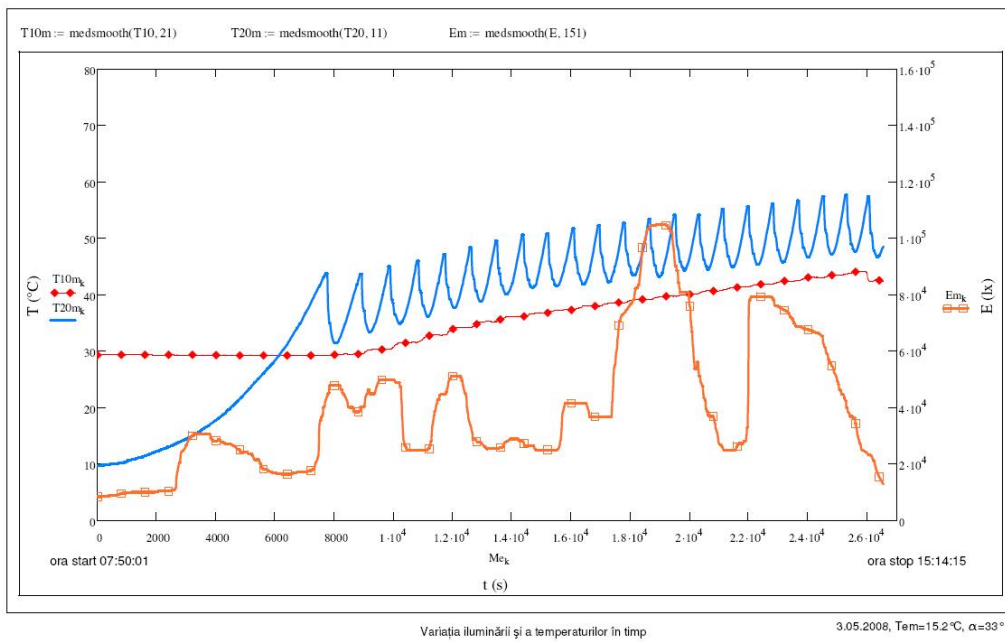


Fig. 5.48. Influența iluminării asupra temperaturilor, 3.05.2008

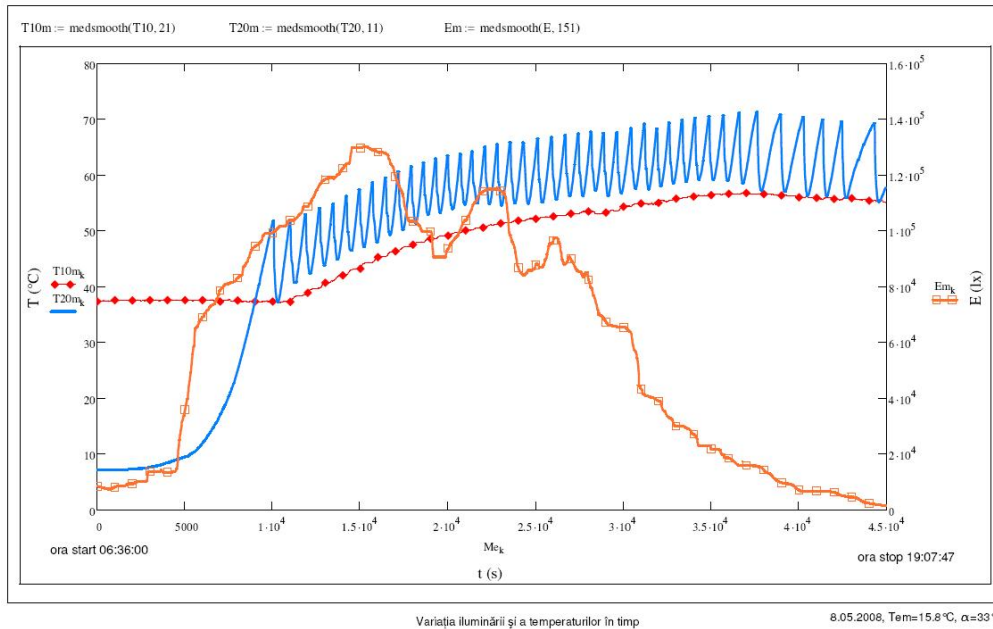


Fig. 5.49. Influența iluminării asupra temperaturilor, 8.05.2008

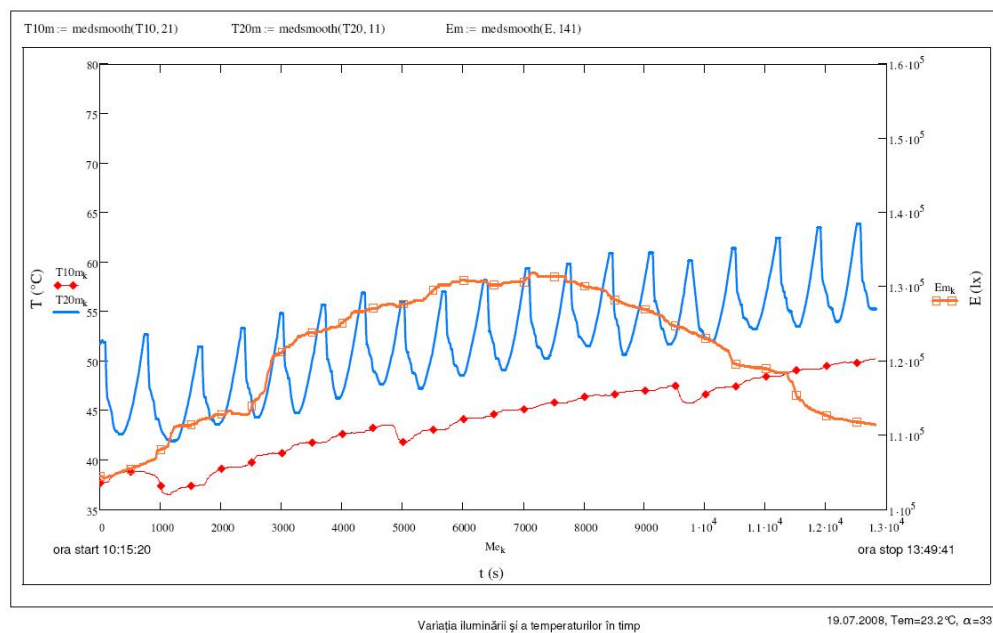


Fig. 5.50. Influența iluminării asupra temperaturilor, 19.07.2008

În urma analizei graficelor din fig.5.31 - 5.50, rezultă că, radiația solară influențează temperaturile obținute în sistemul termic solar. Explicația științifică este

dată de faptul că, odată cu creșterea cantității de energie solară captată, agentul din tuburile vidate se încălzește, se vaporizează, urcă până la condensator unde, prin condensare, efectuează un schimb de căldură cu agentul termic din țevile instalației, deci crește T_2 . Agentul termic având temperatura T_2 intră în schimbătorul de căldură din rezervor, unde cedează căldura apei, care se încălzește, deci crește T_1 . (v.fig.5.33, 5.34, 5.35).

Dacă iluminarea crește mult, crește frecvența schimburilor termice, prin urmare, cresc temperaturile, chiar dacă se consumă apă caldă (v.fig.5.39).

Atunci când iluminarea scade, temperaturile cresc în continuare câteva ore (2...4 ore), apoi scad (v. fig.5.49). Acest fapt se datorează pierderilor termice reduse din captatoarele solare (formula 5.8) și fluxului termic furnizat de acestea (formula 5.9), care întrețin noi procese de vaporizare-condensare la nivelul tuburilor vidate și ca urmare, noi procese de transfer de căldură în schimbătorul din rezervor, care duc la creșterea lui T_1 . Atunci când diferența $\Delta T = T_2 - T_1 = L_1 = 2^\circ\text{C}$ (valoare setată la microcontroler) se oprește pompa și transferul termic de sus în jos.

Dacă iluminarea $E=0$ (noaptea), temperatura T_2 scade mult, deoarece nu se mai captează energie solară (v.fig.5.40, 5.41), dar temperatura T_1 rămâne constantă, având un timp de stocare mare (ec.5.27, 5.28), dacă nu se consumă apă caldă.

5.3.10. Analiza variației temperaturilor în timpul serii/noapții

Reprezentările grafice ale mărimilor măsurate sunt redată figurile 5.51, 5.52 și 5.53. Din analiza graficelor rezultă că, în timpul nopții, radiația solară este nulă, deci nu se captează energie solară și nu se produc schimburi termice. În consecință, scade brusc temperatura agentului termic din captatoarele solare (T_2). Dacă nu se consumă energie termică, temperatura apei calde din rezervor (T_1) rămâne aproape constantă. Pierderea înregistrată este: $\Delta T_1 < 1^\circ\text{C}$, pe durata $dt > 5\text{h}$.

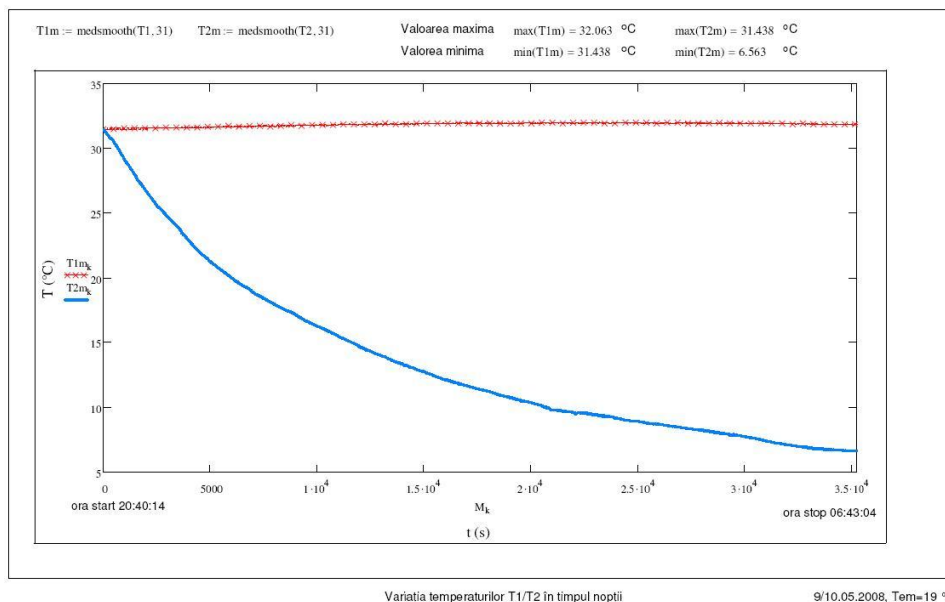


Fig. 5.51. Variația temperaturilor, noaptea, 9/10.05.2008

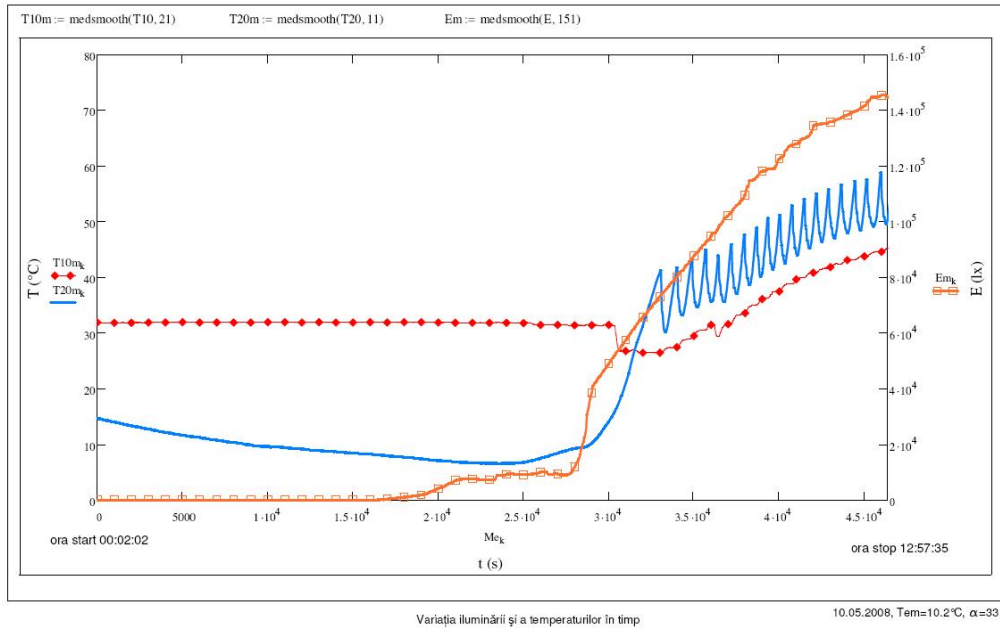


Fig. 5.52. Variația temperaturilor, noaptea, 10.05.2008

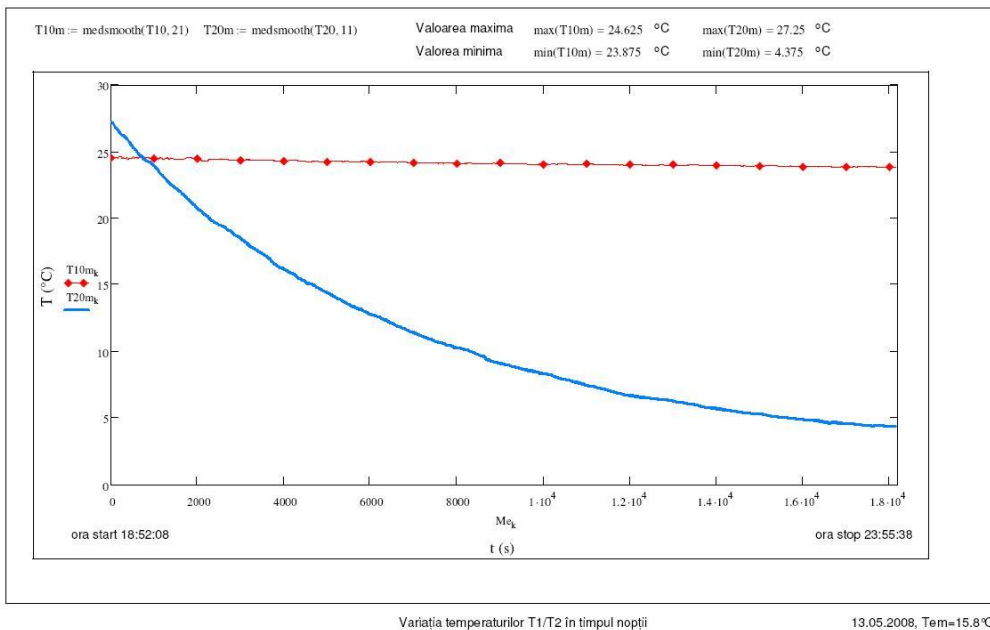


Fig. 5.53. Variația temperaturilor, noaptea, 13.05.2008

5.3.11. Analiza influenței unghiului de înclinare a panourilor solare față de orizontală asupra temperaturii ape calde

În vederea realizării acestui obiectiv, am modificat unghiul de înclinare a captatoarelor solare față de orizontală α ($^{\circ}$), pentru a modifica unghiul de incidență solară și cantitatea de energie solară captată. Modificarea s-a efectuat cu ajutorul unui suport de prindere conceput de noi.

Pe durata studiului experimental, panourile solare au fost înclinate față de orizontală cu unghiul variabil: $\alpha = 45^{\circ}$, 66° și 33° (fig.5.54, fig.5.56, fig.5.58), astfel: 1. în perioada decembrie 2006 - noiembrie 2007, $\alpha = 45^{\circ}$; 2. în perioada noiembrie 2007 - mai 2008, $\alpha = 66^{\circ}$; 3. în perioada mai 2008 - august 2008, $\alpha = 33^{\circ}$.

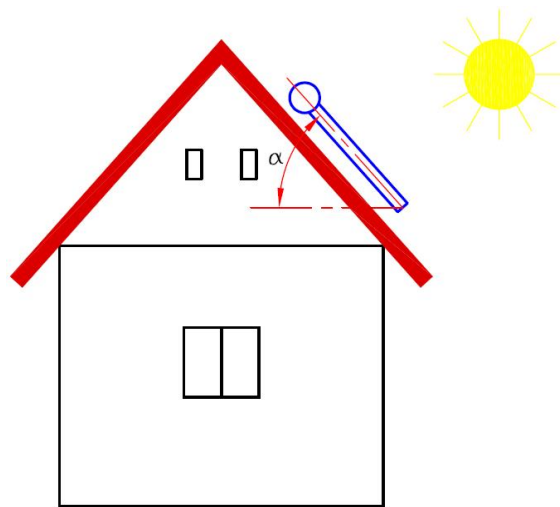


Fig. 5.54. Unghiul de înclinare a panourilor solare față de orizontală (α), poziția 1



Fig. 5.55. Fixarea panourilor solare cu unghiul de înclinare $\alpha = 45^{\circ}$, (poz.1)

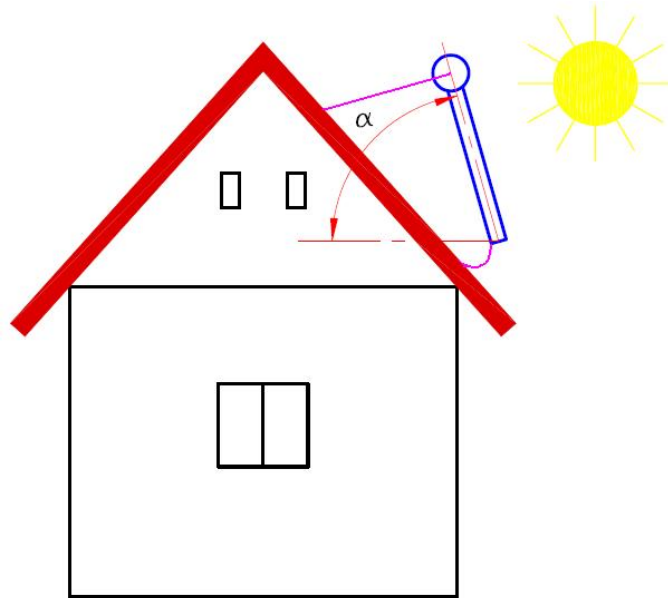


Fig. 5.56. Unghiul de înclinare a panourilor solare față de orizontală (α), poziția2

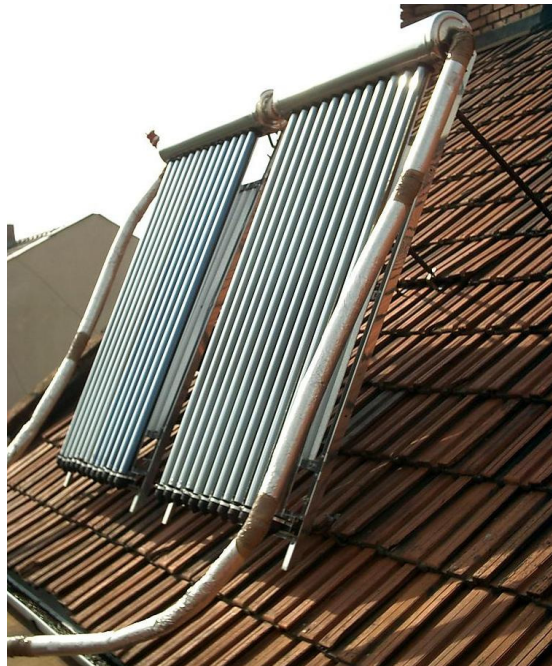


Fig. 5.57. Fixarea panourilor solare cu unghiul de înclinare $\alpha=66^\circ$ (poz.2)

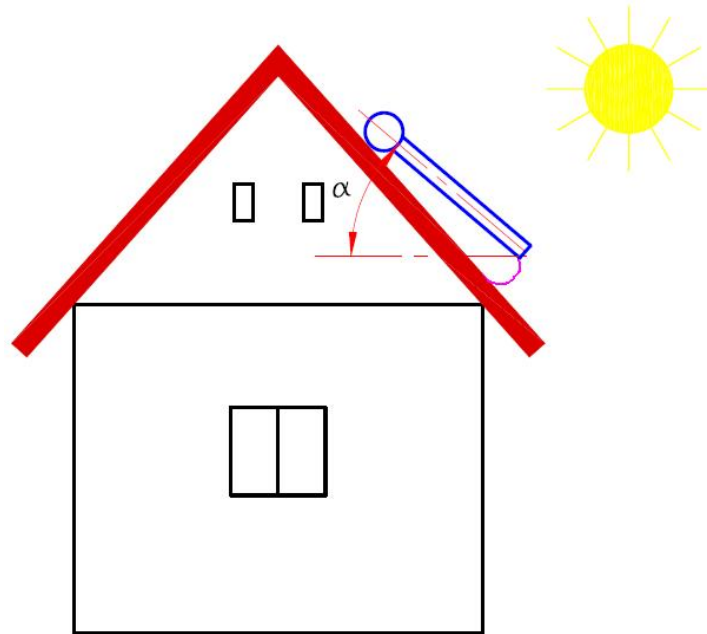


Fig. 5.58. Unghiul de înclinare a panourilor solare față de orizontală (α), poziția3



Fig. 5.59. Fixarea panourilor solare cu unghiul de înclinare $\alpha=33^\circ$ (poz.3)

Prin compararea graficelor din fig.5.31.-5.50, rezultă că:
Iarna, este mai avantajos unghiul $\alpha=66^\circ$ (poz.2), deoarece se obține un câștig mediu de 5°C pentru T_1 , adică $T_1=25\text{...}40^\circ\text{C}$, față de situația când $\alpha=45^\circ$

(poz.1), în care $T_1=20...30^\circ\text{C}$. Aceasta se explică printr-o creștere a cantității de energie solară primită de suprafața înclinată a panourilor $E_{dir,s}$, corelată cu unghiul de înălțare solară γ_s și cu θ_{inclin} unghiul de incidență al soarelui pe suprafața înclinată cu α față de orizontală (v. cap.2.1, fig.2.8, formula 2.16) :

$$E_{dir,s} = E_{dir,oriz} \cdot \frac{\cos \theta_{inclin}}{\sin \gamma_s} \quad (5.55)$$

$$\alpha \uparrow, \theta_{inclin} \approx \text{cst}, \gamma_s \downarrow \Rightarrow \sin \gamma_s \downarrow \Rightarrow E_{dir,s} \uparrow \quad (5.56)$$

Primăvara și vara este mai avantajos ca unghiul $\alpha=45^\circ$ (poz.1), deoarece se obține un câștig pentru T_1 , astfel : primăvara $T_1=40...50^\circ\text{C}$, față de situația când $\alpha=33^\circ$ (poz.3) în care $T_1=27...47^\circ\text{C}$; vara $T_1=30...70^\circ\text{C}$, față de situația când $\alpha=33^\circ$ (poz.3) în care $T_1=25...50^\circ\text{C}$.

S-a verificat astfel, recomandarea că, valoarea unghiului α să fie apropiată de valoarea unghiului corespunzător paralelei locației, adică $\alpha_{panouri} = 45^\circ$ și $\alpha_{Arad} = 46,19^\circ$. Explicația științifică este legată de creșterea cantității de energie solară primită de suprafața înclinată a panourilor $E_{dir,s}$, corelată cu unghiul de înălțare solară γ_s și cu θ_{inclin} unghiul de incidență al soarelui pe suprafața înclinată cu α față de orizontală.

Recomandare: să se țină cont de valoarea unghiului de înălțare solară, nu numai de paralela locului, atunci când se orientează captatoarele solare față de orizontală; soluția adoptată de noi $\alpha=33^\circ$ (poz.3), nu se recomandă a fi folosită în practică, pentru locația Arad, datorită faptului că nu permite captarea energiei solare optime.

5.3.12. Analiza influenței mediului exterior asupra parametrilor T_1 și T_2

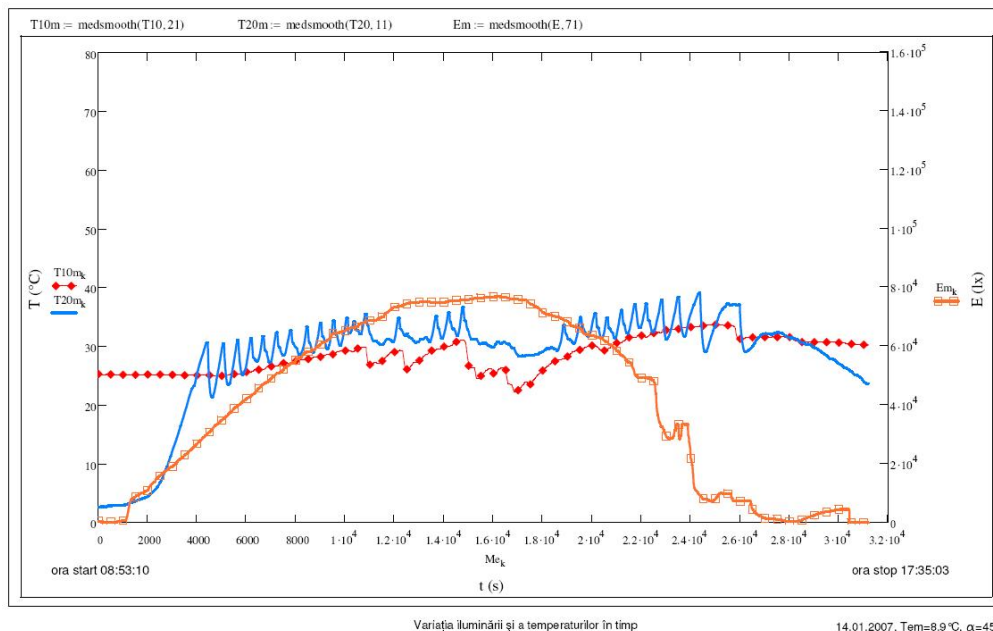
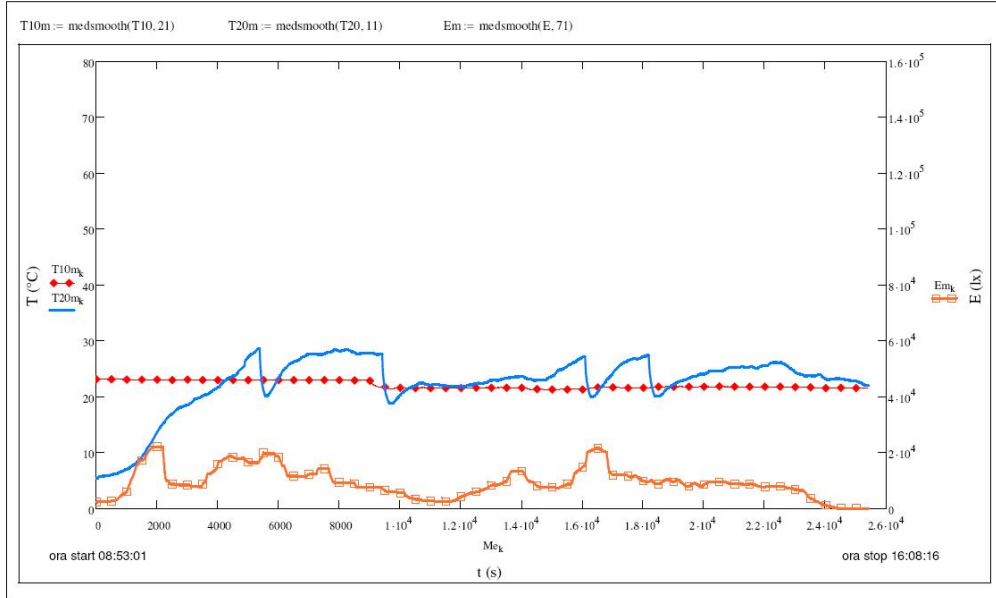


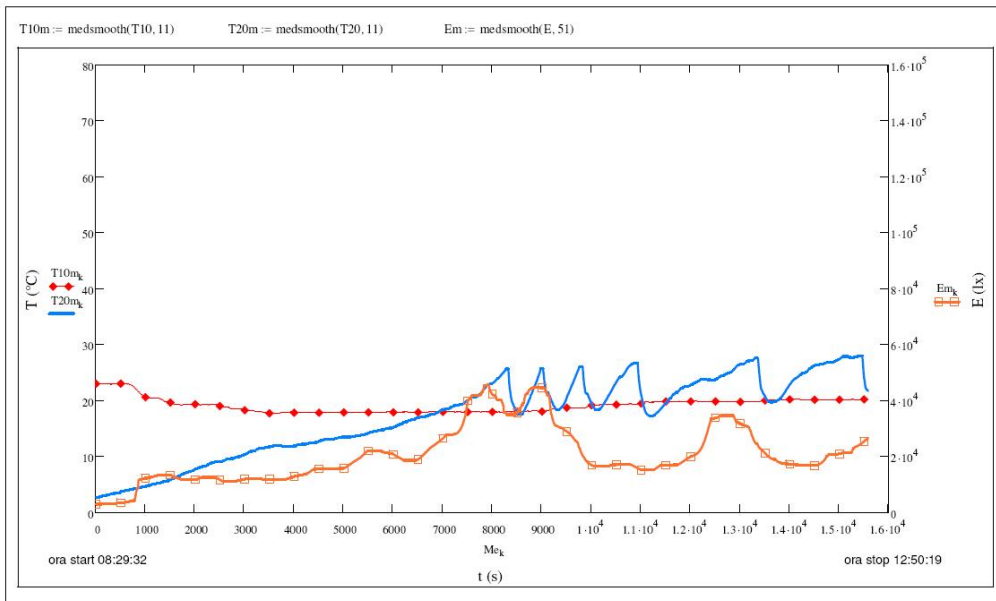
Fig. 5.60. Variația parametrilor, 14.01.2007



Variația iluminării și a temperaturilor în timp

20.01.2007, $T_{em}=8.9^{\circ}\text{C}$, $\alpha=45^{\circ}$

Fig. 5.61. Variația parametrilor, 20.01.2007



Variația iluminării și a temperaturilor în timp

25.02.2007, $T_{em}=2.6^{\circ}\text{C}$, $\alpha=45^{\circ}$

Fig. 5.62. Variația parametrilor, 25.02.2007

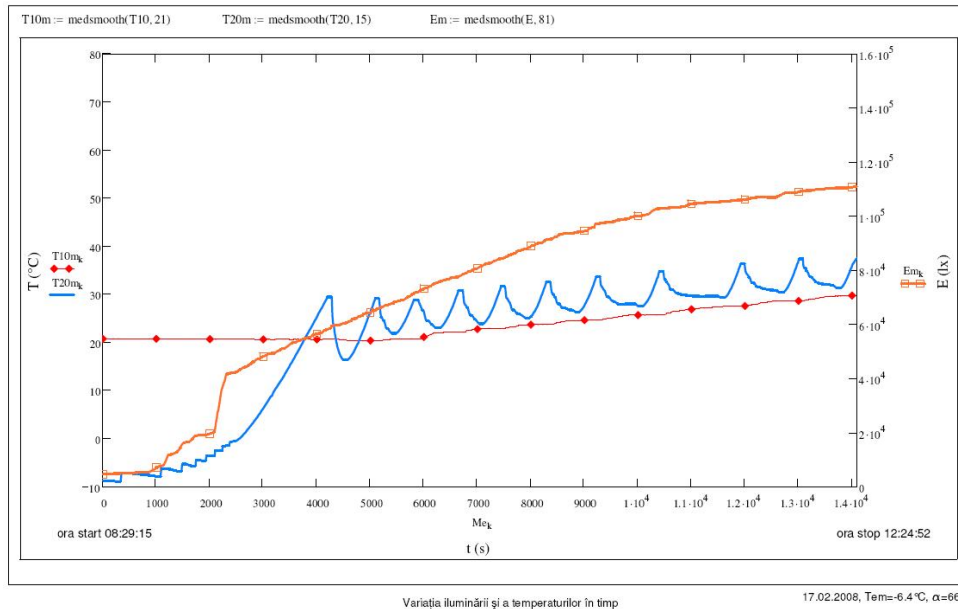


Fig. 5.63. Variația parametrilor, 17.02.2008

Din analiza graficelor prezentate în figurile 5.60 - 5.63 și a condițiilor atmosferice din anexa 4, rezultă că:

- independent de valoarea temperaturii exterioare medii T_{extmed} înregistrate pe durata zilei, cu ajutorul sistemului solar (dimensionat cf. cap.4) se obține temperatura apei calde: $T_1 = 20 \dots 70^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$;
- independent de factorii de influență, în perioada martie - decembrie $T_1 \geq 30^{\circ}\text{C}$;
- temperatura exterioară medie T_{extmed} prezintă o influență neglijabilă pentru T_1 și T_2 , influența majoră o reprezintă radiația solară;
- temperaturi minime medii $T_{extmed} = -6,4 \dots +8,9^{\circ}\text{C}$, s-au înregistrat în lunile ianuarie și februarie, când și nebulozitatea a fost predominantă;
- temperaturi maxime medii $T_{extmed} = 23,2 \dots 34,6^{\circ}\text{C}$ s-au înregistrat în luna iulie.

În concluzie, studiul efectuat certifică faptul că, panourile solare cu tuburi vidate sunt performante, în privința captării unei cantități maxime de energie solară pe durata zilei (v.fig.3.15). De asemenea, se certifică faptul că rezervorul de apă izolat corespunzător cu stratul de spumă poliuretanică, pentru că pierderile de căldură prin pereții cilindrico-sferici sunt reduse (ec.5.31 și 5.32).

6. CONCLUZII. CONTRIBUȚII

6.1. Concluzii generale

În lucrarea de față se prezintă rezultatele unui studiu teoretic și experimental efectuat asupra unui sistem termic solar destinat încălzirii apei, aflat în funcțiune în orașul Arad, în perioada decembrie 2006 - iulie 2008. Studiul s-a axat pe cercetarea întreprinsă în cadrul proiectelor europene de cercetare FP6 GREENENERGY (2005-2007): "Energy optimisation in European greenhouses " și proiectul ROBENA-COSMOTE (2007): "Remote, computer assisted command and optimize of the use of a solar instalation for greenhouses and small consumers", propunându-și să contribuie la dezvoltarea cunoașterii într-un domeniu prioritar pe plan european și anume, cel al valorificării energiilor neconvenționale ca surse nepoluante și în caz particular, prin măsurători, particularizate spre valorificarea energiei solare.

Studiul experimental a totalizat un număr de 343 ore de funcționare continuă, având scopul de verificare și optimizare a procesului de valorificare a energiei solare și transformare în energie termică. În acest scop, ne-am propus 14 obiective de cercetare (v.cap.5.1), care au fost îndeplinite (v.cap.5.3).

Pe teritoriul României, aflată în zona energetică B din Europa, este posibilă captarea unei cantități anuale de energie solară cuprinsă în domeniul: 1143..1450 (kWh/m²), în funcție de anotimp și poziție geografică (v.cap.2.1.5, fig.2.16 și 2.17). În orașul Arad (lat.46,19°N; long.21,31°E) situat în zona energetică B din România, este posibilă captarea unei cantități anuale de energie solară de 4894 MJ/m² sau 1359 kWh/m²(v.fig.2.17),[*****39]. Beneficiind de aceste avantaje, am constituit standul experimental, prezentat în detaliu, la cap.4. din prezenta lucrare.

Primul capitol „Introducere în tematica lucrării” tratează aspecte privind prioritățile cercetării în domeniul energiilor regenerabile considerate a fi o investiție de viitor, situația energetică actuală privind rezervele de combustibili fosili, creșterea necesarului energetic al planetei, beneficiile utilizării energiei solare ca sursă nepoluantă, acordurile internaționale în privința reducerii emisiilor de bioxid de carbon și promovarea energiilor verzi. Astfel, sunt amintite principalele obiectivele strategice ale Comisiei Europene 2005-2009 și deciziile Forumului Economic Mondial de la Davos (23-27.01.2008) privind planul de măsuri pentru lupta împotriva încălzirii climatice.

Al doilea capitol al tezei "Stadiul actual al cunoașterii referitoare la teoria radiației solare" prezintă, în urma unei documentări la nivel actual, factorii de influență ai radiației solare, potențialul energetic solar al planetei, Europei, României și modalitățile de obținere a radiației solare maxime pe o suprafață înclinată. De asemenea, sunt prezentate metodele de măsurare a radiației solare și metodele generale de transfer de căldură.

Capitolul al treilea „Aspecte teoretice privind sistemele termice solare” prezintă problemele legate de încălzirea solară a apei (conversia termo-solară), care a stat la baza întregii cercetări, tipurile de sisteme termo-solare (cu circulație naturală și cu circulație forțată) și principiile lor de funcționare, detalii privind construcția și funcționarea captatoarelor termice solare (plane, cu tuburi vidate),

randamentul lor, eficiența captatoarelor cu tuburi vidate și probleme privind stocarea energiei solare.

Capitolul patru „Prezentarea standului experimental și a tehnicilor de măsurare”, prezintă detaliat, folosind multe figuri: schema standului experimental, partea de captare a energiei solare, partea de transfer termic și monitorizare, principalele elemente componente și principiul de funcționare. De asemenea, sunt consemnate: aparatele de măsurare folosite, adaptările lor în vederea facilitării măsurătorilor, mărimile măsurate de acestea, precum și calculul erorilor de măsurare.

În capitolul cinci, intitulat “Rezultate teoretice și experimentale”, se prezintă sub formă grafică rezultatele măsurătorilor efectuate pe parcursul unei perioade totalizând 20 luni de funcționare, condițiile stabile și variabile în care s-au efectuat măsurătorile, obiectivele cercetării (14), sistemele de achiziție de date (2), printre care, și transmiterea la distanță a datelor, modalitatea de prelucrare a datelor experimentale folosind programele MathCAD 0.13 și Microsoft Excel. Se evidențiază aici influența radiației solare asupra parametrilor standului experimental – T_1 temperatura apei calde, T_2 temperatura agentului termic din panourile solare. Se efectuează studii privind randamentul captatoarelor solare, pierderile termice din sistem, capacitatea de stocare a rezervorului de apă caldă, cantitatea de căldură medie furnizată de sistem, costurile sistemului termic solar pentru încălzirea apei și reducerea anuală de CO_2 , care se poate obține prin înlocuirea unui sistem energetic convențional cu sistemul termic solar.

Capitolul șase denumit „Concluzii. Contribuții” prezintă sintetizat concluziile ce decurg din rezultatele măsurătorilor efectuate pe parcursul unei perioade totalizând 343 ore de funcționare continuă. Ca urmare a studiilor efectuate, rezultă că:

- energia solară favorizează producerea de schimburi termice în sistemul termic solar, schimburi materializate prin încălzirea agentului termic și a apei;
- panourile solare cu tuburi vidate sunt performante, în privința captării unei cantități de energie solară maximă pe durata zilei având randamentul mediu calculat $\eta=67\%$;
- independent de valoarea temperaturii exterioare medii T_{extmed} înregistrate pe durata zilei, cu ajutorul sistemului solar (dimensionat cf. cap.4) se obține temperatura apei calde: $T_1=20...70^\circ C \pm 2^\circ C$, ceea ce dovedește că sistemul este izolat corespunzător;
- independent de factorii de influență, în perioada martie/decembrie, temperatura apei calde $T_1 \geq 30^\circ C$, ceea ce dovedește că se captează și energia solară difuză;
- temperatura exterioară medie T_{extmed} prezintă o influență neglijabilă pentru T_1 și T_2 , influența majoră o reprezintă radiația solară directă;
- unghiul de înclinare a panourilor solare față de orizontală, egal cu paralela locului, $\alpha_{panouri}=45^\circ$; $\alpha_{Arad}=46,19^\circ$, este optim pentru captarea energiei solare în perioada martie/octombrie; în perioada de iarnă, s-a dovedit că unghiul $\alpha=66^\circ$ obține un câștig mediu de $5^\circ C$ pentru T_1 , adică se obține $T_1=25...40^\circ C$;
- valorificarea energiei solare pentru obținerea unei cantități de energie termică anuală egală cu cea furnizată de standul experimental $E_a = 1600 kWh$, ar duce la reducerea emisiilor de CO_2 (E_{CO_2}), dacă ar înlocui combustibilii fosili, astfel: E_{CO_2} (gaz)=287,83 kg/an; E_{CO_2} (păcură)=398,16 kg/an; E_{CO_2} (cărbune)= 563,19 kg/an.

- Prețul unității de energie obținută prin conversie termo-solară este mai mic decât dacă s-ar obține convențional, dacă nu se iau în considerare costurile investiției inițiale (2008): $1\text{kWh}_{\text{termicsolar}}=0,0235$ lei, $1\text{kWh}_{\text{termicgaz}}=0,1221$ lei, $1\text{kWh}_{\text{termic național}}=0,1823$ lei, $1\text{kWh}_{\text{electric}}=0,3827$ lei.
- utilizarea energiei solare în vederea conversiei în energie termică va deveni rentabilă, dacă, prin aplicarea unor tehnologii moderne, vor scădea costurile de producere și comercializare a elementelor componente ale instalațiilor și dacă statul va aplica metode de stimulare pentru consumatorii care utilizează energia solară.

6.2. Contribuții

6.2.1. Contribuții teoretice

- Parcurgerea literaturii de specialitate (peste 100 titluri bibliografice), în vederea informării cu privire la stadiul actual a cercetărilor în domeniul energiei solare și a instalațiilor termice solare;
- Efectuarea traducerii, din limba germană, a informațiilor necesare, prezente în articolele bibliografice;
- Stabilirea modului de efectuare a măsurătorilor;
- Stabilirea dependențelor dintre parametrii monitorizați;

6.2.2. Contribuții experimentale

- Verificarea, în condiții experimentale, a unui produs existent pe piața românească;
- Realizarea standului experimental;
- Adaptarea aparaturii de măsurare la condițiile de lucru specifice, prin alegerea tipului de filtru pentru senzorul de lumină al luxmetrului, pentru a facilita efectuarea măsurărilor (cap.4.4.2) și prin conceperea inelului adaptor pentru montarea filtrului optic (fig.4.26);
- Conceperea suportului de prindere a panourilor solare pe acoperiș, în vederea modificării unghiului de înclinare a acestora față de orizontală;
- Conceperea sistemului de achiziție de date;
- Monitorizarea parametrilor dezvoltați de standul experimental;
- Crearea funcțiilor în MathCAD, versiunea 0.13, pentru prelucrarea datelor experimentale;
- Prelucrarea datelor experimentale cu ajutorul programelor MathCAD versiunea 13.0 și Microsoft Excel (cap.5.3 și anexa 4);
- Trasarea graficelor de variație ale temperaturilor (T_1 , T_2) și ale iluminării (E) în funcție de timpul scurs de la începerea înregistrării datelor, exprimat în secunde, cu ajutorul funcției „medsmooth (v_y, n)” din softul MathCAD;
- Determinarea, prin calcul bazat pe măsurătorile efectuate a: randamentului captatoarelor solare cu tuburi vidate, pierderilor termice din sistem, capacității de stocare a rezervorului de apă caldă, funcției temperaturii de stocare $\theta_s(t)$, cantității medii de căldură furnizată de sistem, a costurilor economice ale sistemului în comparație cu sistemele convenționale și reducerea emisiilor de CO_2 , care s-ar obține prin înlocuirea unui sistem termic convențional cu sistemul termic solar din standul experimental (cap.5.3);
- Determinarea erorilor de măsurare (cap.4.4.3);

- Stabilirea, prin analiză, a influențelor parametrilor monitorizați asupra parametrilor funcționali ai standului, în vederea optimizării funcționării.

6.2.3. Contribuții privind extinderea domeniului de aplicabilitate

- Extinderea studiului, prin modificarea cantității de energie solară captată, prin modificarea unghiului de înclinare a panourilor solare față de orizontală;
- Sistematizarea datelor experimentale pentru aducerea la zi a informației referitoare la iluminare (cap.5.3);
- Conectarea sistemului termic solar la stația radio de emisie-recepție, pentru realizarea comenzii la distanță a sistemului și pentru transmiterea la distanță a valorilor măsurate (cap.5.2.2);
- Studiul influenței radiației solare asupra temperaturii agentului termic din captatoarele solare și asupra temperaturii apei calde din rezervor;
- Studiul variației temperaturilor dezvoltate de stand, în timpul nopții;
- Optimizarea funcționării sistemului termic solar pentru locația dată.

BIBLIOGRAFIE

- A1 Ahrendts, J., u.a. Hütte. Manualul inginerului. Fundamente, Editura Tehnică, București, 1995, pag.195-200
- B1 Bita, O. Unele aspecte ale influenței parametrilor meteorologici asupra eficienței instalațiilor solare, Energetica, nr.9, București, 1980
- C1 Cira, O Lecții de Mathcad 2001 Professional, Editura Albastră, Cluj Napoca, 2003
- C2 Christipher, L., Martin, Yogi Goswami, D. Solar Energy Pocket Reference, International Solar Energy Society, 2005
- D1 Dănescu, Al., ș.a. Termotehnică și mașini termice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982
- D2 Dănescu, Al., ș.a. Utilizarea energiei solare, Editura Tehnică, București, 198
- D3 De Sabata, C., Borneas, M., Rothenstein, B., Munteanu, A. Bazele fizice ale conversiei energiei solare, Editura Facla, Timișoara, 1982
- D4 Duma, V., F.,: Vignetarea, Editura Politehnica, Timișoara, 2001
- D5 Dumitrașcu, G., ș.a. Utilizarea energiei solare, Editura Timpul, Iași, 1998
- D6 De Sabata, C., Maiogan, V., Nagy, M. Contributions at studying of the house-heating by the use of solar energy in Banat-Crișana (Ro & Yu), International Conference, in vol. "Proceedings of RSEE '96", Oradea, 1996
- G1 Grallert, H. Solar Thermische Heizungssysteme, R. Oldenburg Verlag, München, 1980
- H1 Hadamovsky, H.,F., u.a. Solarstrom. Solarthermie, Vogel Buchverlag, Würzburg, 2004
- I1 Ignea, A. Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice, Editura Institutul Politehnic "Traian Vuia " Timișoara, 1986, pag.212 -216

- | | | |
|----|---|--|
| I2 | Ilina, M.,
Bandrabur, C.,
Oancea, N. | Energii neconvenționale utilizate în instalațiile în construcții, Editura Tehnică, București, 1987 |
| I3 | Ionel, I.,
Popescu, F. | Introducere în termotehnică, Editura Politehnica, Timișoara, 2007 |
| I4 | Ionel, I.,
Ungureanu, C. | Termoenergetica și mediul, Editura Tehnică, București 1996, pag.49-56. |
| I5 | Ionel, I.,
Trif Tordai, G.,
Silaghi, D. , ș.a. | Managementul valorificării energetice a biomasei. Monografie, Editura Politehnica, Timișoara, ISBN 978-973-625-541-0. |
| J1 | Jinescu, Gh. | Procese hidrodinamice și utilaje specifice în industria chimică, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983 |
| K1 | Kaltschmitt, M.,
Wiese, A.,
Streicher, W. | Erneuerbare Energien, 3.Auflage, Springer Verlag, Berlin - Heidelberg, 2003 |
| K2 | Kincses, S., ș.a. | Casa pasivă independentă energetic, Buletinul AGIR nr.3/2007, pag.48, Budapest, 2001 |
| L1 | Ladener, H. | Solaranlagen, Ökobuch Verlag, Staufen, 1995 |
| L2 | Leonăchescu, N. | Termotehnică, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981 |
| L3 | Lohmeyer, G.,
Bergmann, H.,
Post, M. | Praktische Bauphysik. Eine Einführung mit Berechnungsbeispielen. 5.Auflage, Teubnerverlag, Hannover, 2005 |
| L4 | Lien, A. G.,
Hestens, A.G., u.a. | The Use of Transparent Insulation in Low Energy Dwellings in Cold Climates. Solar Energy, vol.59, pag.27-35, 1997 |
| L5 | Luminosu, I., De
Sabata, A.,
De Sabata, C.,
Nagy, M. | Statistics on the availability of solar energy on the 45th Northern parallel, Buletin. PAMM no. CXII (BAM – 2369), Budapesta, 2008, p.161-170 |
| L6 | Luminosu, I.,
De Sabata, C.,
De Sabata A.,
Nagy, M. | An energetic study of a small solar residence, Buletin. PAMM no. CXII (BAM – 2370), Budapesta, 2008, pag.171-180 |
| L7 | Luminosu, I.,
Nagy, M. | Apparatus and instruments for measuring physical magnitudes wich describe the processes of heliothermal conversion developed at the Politehnica University of Timisoara, Bulletins for Applied and Computer Matematics |

-
- | | | |
|----|--|---|
| M1 | Marion, W.,
Wilcox, S. | "Solar Radiation Data Manual for flat-plate and concentrating collectors" NREL/TP-463-5607, Golden, CO:National Renewable Energy Laboratory, 1994 |
| M2 | Moșit, H., M. | Contoare, Artecno SRL Bucuresti, 1997, pag.80 – 101 |
| M3 | Müller, J. | Thermodynamik I, Verlag Shaker, 1997 |
| M4 | Müller, J. | Thermodynamik II, Verlag Shaker, 1994 |
| M5 | Mortoiu, D.,
Silaghi, D. ,
Radu, I. | The biomass - non conventional fuel. Specific burning instalations, Proceedings of the International Symposium: Research and Education in an Innovation Era, Section III, Engineering Processes and Technologies, Aurel Vlaicu University, Arad, November 16-18, 2006, ISBN: 9978-973-752-110-1, pag.335-339. |
| N1 | Nagi, M. | Schimbătoare de căldură, Editura Mirton, 2007 |
| N2 | Nicolau, E.,
Belis, M. | Măsurări electrice și electronice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979 |
| O1 | Oncescu, T.,
Ionescu, S. G. | Conversie fotochimică și stocare de energie solară, Editura Academiei, București, 1985 |
| P1 | Palz, W.,
Greif, J. | European Solar Radiation Atlas, Springer Verlag, Berlin 1996 |
| P2 | Perju, D.,
Puri, G. | Aparate și sisteme de măsurare mecanice. Îndrumar de laborator, Editura Institutul Politehnic "Traian Vuia " Timișoara, 1985, pag.107 – 115 și 133 – 145 |
| P3 | Puri, G.,
Pugna, A. | Metrologie generală. Curs pentru uzul studenților, Editura Institutul Politehnic "Traian Vuia " Timișoara, 1985, pag.66-72 și 101-116 |
| Q1 | Quaschnig V. | Understanding renewable energy systems, Carl Hanser Verlag GmbH&Co, 2005 |
| Q2 | Quaschnig, V.,
Ortmanns, V. | Specific Cost of Photovoltaic and Concentrated Solar Thermal Systems Depending on the Global Irradiation, Proceedings of ISES Solar World Congress 2003, 4-9 June 2003, Gothenburg |

-
- | | | |
|-----|-----------------------------------|--|
| S1 | Schade, D. | Energiebedarf- Energienutzung- Energiebereitstellung, Springer Verlag, 1995 |
| S2 | Schwister, K., u.a. | Taschenbuch der Umwelttechnik, Fachverlag, Leipzig, 2003 |
| S3 | Skach, C. | Tehnica prelucrării informațiilor, Curs, Ediția I-a, Editura Institutul Politehnic "Traian Vuia " Timișoara, 1983 |
| S4 | Silaghi, D.,
Ionel, I. | Remote, computer assisted command and optimize of the use of a solar system, Scientific Bulletin of the Politehnica University of Timisoara, Transactions on Mechanics, 2008, ISSN 1224-6077, (acceptat spre publicare) |
| S5 | Silaghi, D.,
Duma V.F. | Direct solar energy use for greenhouses and small consumers, Annals of the Oradea University Fascicle of Management and Technological Engineering, Volume VI(XVI), 2007, ISSN 1583-0691, pag.830-837. |
| S6 | Silaghi, D. | Direct solar energy use for greenhouses, Scientific Bulletin of the Politehnica University of Timisoara, Transactions on Mechanics, Tomul 52 (66), Fascicola 4, 2007, ISSN 1224-6077, pag.88-93. |
| S7 | Silaghi, D.,
Duma, V.F. | Use of solar energy installations for locally solving the energy issues, International Conference VSU'2007, 15 may-16 may 2007, Sofia, Bulgaria, Vol.I, ISBN 978-954-331-015-9, pag.11-16 |
| S8 | Silaghi, D.,
Cârlan, D. | Theoretical considerations about the mechanical equipment for orientating the solar panel, with a view to carry off the maximal solar radiation, Annals of the Oradea University, Fascicle of Management and Technological Engineering, Volume V(XV), 2006, ISSN 1583-0691, pag.24 |
| S9 | Silaghi, D. | Decreasing energy consumption and CO2 emissions using solar energy, Scientific Bulletin of the Politehnica University of Timisoara, Transactions on Mechanics, Tomul 51 (65), Fascicola 2, 2006, ISSN 1224-6077, pag.319-322 |
| S10 | Silaghi, D. | Comanda la distanță asistată de calculator și optimizarea unei instalații solare pentru sere, |

- proiect integrat în programul de finanțare asigurat de Balkan Environmental Association (B.E.N.A.) – COSMOTE pentru domeniul electromagnetic, în anul 2007.
- S11 **Silaghi, D.,**
Ionel, I. Night variation of obtained temperatures in solar thermal system, Scientific Bulletin of the Politehnica University of Timisoara, Transactions on Mechanics, 2008, ISSN 1224-6077, (acceptat spre publicare)
- Ș1 Șandru, E.,
Mihăilă, O., ș.a. Termotehnică și aparate termice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982
- Ș2 Ștefănescu, D.,
Marinescu, M. Termotehnică, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983
- Ș3 Ștefănescu, D.,
Leca, A., ș.a. Transfer de căldură și masă. Teorie și aplicații. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983
- T1 Tănăsescu, F., T., ș.a. Agenda Tehnică, Editura Tehnică, București, 1990
- J1 Jițeica, S. Termodinamică. Editura Academiei, București, 1982
- *****1 AIIR Manualul de Instalații, volumul „I”, Editura Artecno București, 2002
- *****2 CEN European Committee for Standardization (1999) EN ISO 9488: Solar Energy Vocabulary, Brussels, CEN
- *****3 Deutsches Institut für Normung e.V. DIN (1982) DIN 5031, Optical Radiation Physics and Illuminating Engineering, Berlin, Beuth Press
- *****4 Deutsches Institut für Normung DIN EN 43760 - Industrielle Widerstandsthermometer und Platin-Sensoren (IEC 65B/541/CD:2004)
- *****5 Deutsches Institut für Normung DIN EN 12464-1-Light and lighting
- *****6 Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung-HEA-e.V. Regenerative Energien, Technik –Daten – Zahlen – Fakten, Energie Verlag, 1998
- *****7 MO Legea protecției mediului în România,

-
- nr.137/1995, Monitorul Oficial al României,
anul VII,nr.304/30.12.1995
- *****8 Planing and Installing. Solar Thermal Systems.
A guide for installers, architects and
engineers, The German Solar Energy Society
(DGS LV Berlin BRB), Ecofys, 2005
- *****9 Planing and Installing. Solar Thermal Systems.
A guide for installers, architects and
engineers, The German Solar Energy Society
(DGS LV Berlin BRB), Ecofys, 2005
- *****10 Research Priorities for the Renewable Energy
Sector FP7
- *****11 SPF Institut für Solartechnik, SPF Info CD
2002 Thermal Solar Energy, Rapperswil, SPF
- *****12 Technischer Überwachungsverein TÜV-
Rheinland (1984) Atlas über die
Sonnenstrahlung in Europa, Cologne, TÜV
- *****13 Vakuum - Beschichtungen von
Solarabsorbern – Dünne Schichten, die es in
sich haben; Sonnenenergie, 2000
- *****14 Verein Deutscher Ingenieure, VDI (1982) VDI
2067 Blatt 4, Economic Calculation of Heat-
consumption: Installation of Warm Water
Supplies, Düsseldorf, VDI press
- *****15 www.aerosolar.ro
- *****16 www.agir.ro/univers-ingineresc
- *****17 www.airflow.de
- *****18 www.alfabit.ro
- *****19 [www.amistad.as.ro/date/energia
solara/influentameteo.html](http://www.amistad.as.ro/date/energia_solara/influentameteo.html)
- *****20 www.atpsensor.com
- *****21 www.conelek.de
- *****22 www.constructiv.ro
- *****23 www.cordis.europa.eu/de/home
- *****24 www.de.wikipedia.com
- *****25 [www.earthobservatory.nasa.gov/Study/
RenewableEnergy/](http://www.earthobservatory.nasa.gov/Study/RenewableEnergy/)
- *****26 www.editiaspeciala.com
- *****27 www.energie-verde.ro
- *****28 www.energofree.ro
- *****29 www.erdoel-vereinigung.ch
- *****30 www.espegroup.eu
- *****31 www.extech.com

- *****32 www.gdhm.de
- *****33 www.hamburger-bildungsserver.de
- *****34 www.junkers.ro
- *****35 www.kippzonen.com/pages/6/3/Pyranometers
- *****36 www.lightingdesign.ro
- *****37 www.photocami.ro
- *****38 [www.puchner.org/Fotografie/technick/
physyk/licht](http://www.puchner.org/Fotografie/technick/physyk/licht)
- *****39 www.romanian.wunderground.com
- *****40 www.shop.micronplus.ro/pdf/Mavolux5032.pdf
- *****41 www.solarstocc.com
- *****42 www.springsolar.hu
- *****43 www.tcsolutions.ro
- *****44 www.tehnicainstalatiilor.ro
- *****45 www.teubner.de
- *****46 www.tinox.com/de
- *****47 www.trifunk.de/produkte
- *****48 www.umweltbundesamt.de
- *****49 www.uem.ro
- *****50 www.wikipedia.org

ANEXE

Factorul de emisie al unor corpuri (e)

Anexa 1

Suprafața (material-calitate)	t [°C]	e
Aur - polizată fin	225	0,018
	625	0,035
Alamă - laminată	388	0,221
- oxidată	388	0,220
	600	0,059
Aluminiu - laminată	170	0,039
- oxidată	600	0,190
- tablă	40	0,216
Cupru - polizată	115	0,023
- oxidată	120	0,760
	600	0,550
Fier - polizată	425	0,144
- ruginită	20	0,610
- oxidată	525	0,820
- cu crustă de oxizi	20	0,770
- fontă	925	0,870
	1115	0,950
- fontă cenușie	600	0,780
Nichel - polizată	375	0,087
- oxidată	600	0,480
Oțel - oxidată	25	0,820
	600	0,790
- țevă	200	0,800
Căramidă roșie	20	0,930
Căbune - polizată	125	0,810
	625	0,790
Email alb	20	0,900
	0	0,945
Funingine	370	0,945
Ghiață	0	0,985
Gips	200	0,900
Cărămizi refractare radiante	500	0,800
	1000	0,900
Cărămizi de șamot	1000	0,750
Sticlă	90	0,940
Tencuială de var	20	0,930
Apă	-	0,800
Acoperirea suprafeței unui corp cu:		
- sticlă solubilă	20	0,960
- funingine	100	0,960
- vopsea de ulei	0	0,885
- lac negru mat	20	0,910
- lac de bachelită	80	0,935
- lac alb	40	0,800
- lac negru	95	0,980
- miniu de plumb	100	0,930
- vopsea de aluminiu	300	0,350

Anexa 2

Unități de măsură folosite. Echivalențe.

Joule, $1(\text{J})=1(\text{Ws})$

Joule, $1(\text{J})=277,8 \times 10^{-9} (\text{kWh})$

$1(\text{MJ})=277,8 \times 10^{-3} (\text{kWh})=0,2778 (\text{kWh})$

Kilowattoră, $1(\text{kWh})=859,8(\text{kcal})$

Kilowattoră, $1(\text{kWh})=3,6 \times 10^6(\text{J})=3,6(\text{MJ})$

Kilocalorie, $1(\text{kcal})=4,186 \times 10^3(\text{J})$

Atmosfera tehnică (at), $1 \text{ at} = 98\,067 \text{ Pa}$

Atmosfera fizică (atm), $1 \text{ atm} = 101\,325 \text{ Pa}$

Mm coloană de mercur, $1 \text{ mm Hg} = 133,3 \text{ Pa}$

Mm coloană de apă, $1 \text{ mm H}_2\text{O} = 9,807 \text{ Pa}$

Barul (bar), $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

$1(\text{lx})=1(\text{lm}/\text{m}^2)$

$683(\text{lx})=1(\text{W}/\text{m}^2)$, numai pentru $\lambda=555(\text{nm})$

$1(\text{lx})=1,464(\text{mW}/\text{m}^2)$, numai pentru $\lambda=555(\text{nm})$

$1 \text{ cd}/(\text{sr}\cdot\text{m}^2)=1(\text{lm}/\text{m}^2)$

$T(\text{K})=t(^{\circ}\text{C})+273,15$

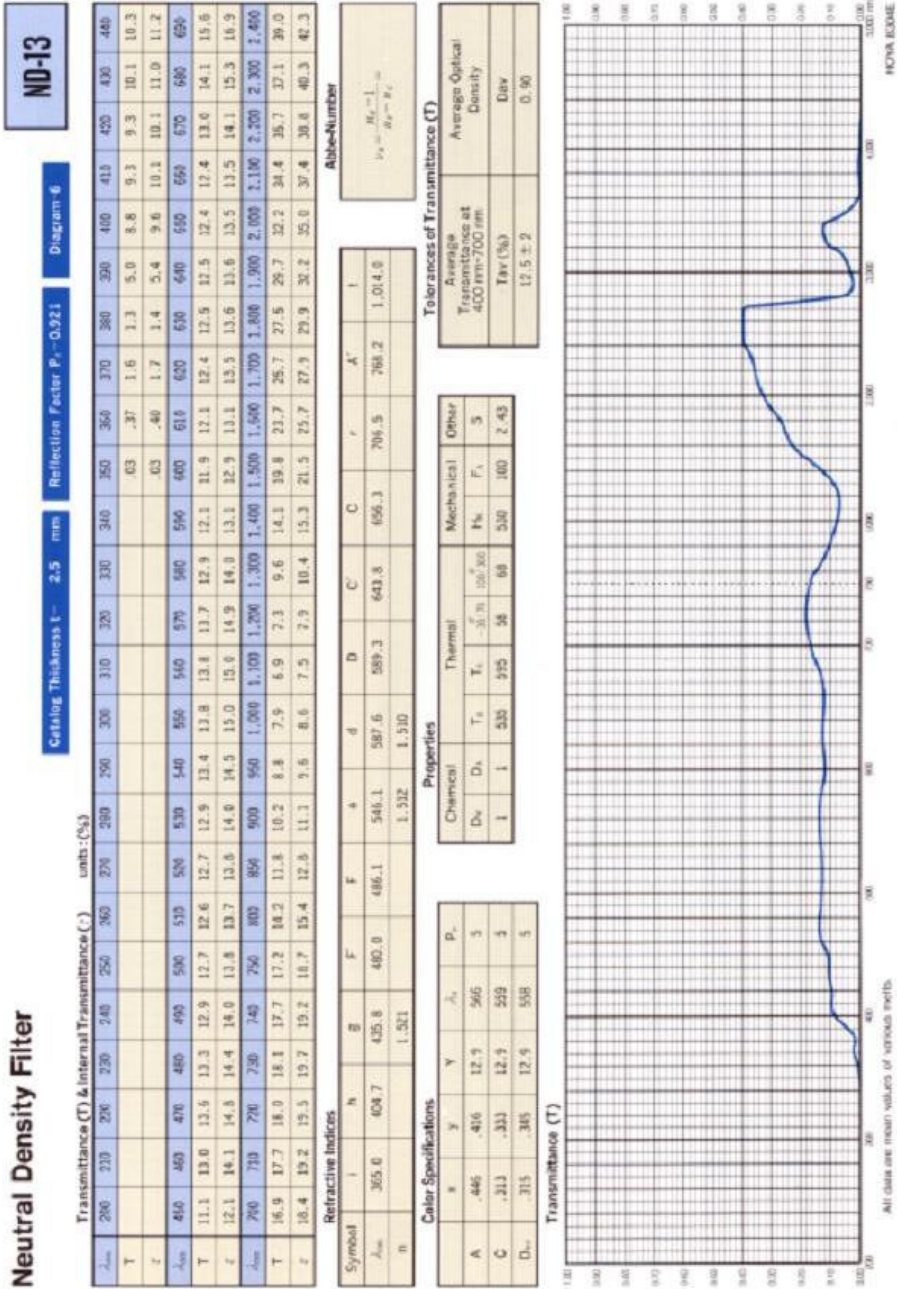
Kilo (K)= 10^3

Mega (M)= 10^6

Giga (G)= 10^9

Tera (T)= 10^{12}

Peta (P)= 10^{15}



Anexa 3

Tab. 1 Tabel centralizator cu datele măsurate/citite în zilele corespunzătoare măsurătorilor

ANEXA 4

data	Emax [W]	Emed [W]	Emed [W]	Text med [W]	Tmax [°C]	Tmin [°C]	Dif T [°C]	Tmax [°C]	Tmin [°C]	Tmax [°C]	Tmin [°C]	Umiditate	Pres. atm. [hPa]	Cilre conor	L.I.H.I. seate	H-I efectiv	paronul	ora start	ora stop	Nr. Valori interval orar
05.12.2005	50000	33488,5	68300	13,4	38,3	25,7	12,6	45,9	21,4	45,9	21,4	57%	1017,7	*	2/8	8,4	45	15:12:36	15:12:36	223
14.01.2007	78160	41153,4	48120	6,9	34,2	22,0	12,2	40,6	2,5	40,6	2,5	73%	1023,5	*	2/8	8,2	45	8:53:10	17:35:03	3120
20.01.2007	43680	9630,4	8640	6,9	21,1	23,4	-2,3	30,1	5,4	30,1	5,4	73%	1020,3	*	2/8	7,2	45	8:53:01	16:28:16	2540
21.01.2007	39840	10014,8	8080	9,2	19,7	21,1	-1,4	27,1	10,0	27,1	10,0	77%	1014,2	*	2/8	7,0	45	9:54:58	15:44:14	2088
10.02.2007	83840	22934,0	14400	11,1	30,3	16,8	13,6	35,4	5,6	35,4	5,6	71%	1009,9	11,4	2/8	7,3	45	8:24:27	16:25:16	2881
18.02.2007	85000	48203,0	60000	7,0	41,3	22,1	19,3	53,6	2,6	53,6	2,6	57%	1025,3	11*	2/8	13,6	45	9:54:54	18:15:09	2991
25.02.2007	64080	20718,3	17600	2,6	17,5	23,3	-5,8	29,5	2,6	29,5	2,6	59%	1016,9	*	2/8	9,8	45	8:29:32	12:50:19	1599
05.03.2007	81520	39699,0	39360	7,8	49,8	23,0	26,8	59,3	0,6	59,3	0,6	55%	1025,9	*	2/8	11,0	45	6:37:02	16:28:29	3536
07.03.2007	59360	59579,9	67320	12,3	50,8	28,5	22,3	60,1	6,0	60,1	6,0	49%	1015,1	*	2/8	10,3	45	6:38:31	13:52:56	2968
16.03.2007	59120	47841,0	49920	10,2	37,9	34,7	3,2	45,8	2,8	45,8	2,8	55%	1023,3	*	2/8	10,3	45	6:44:18	18:07:02	4081
17.03.2007	128880	53189,5	54960	14,6	49,0	30,1	18,9	56,4	29,8	56,4	29,8	45%	1015,4	*	2/8	10,8	45	9:50:53	17:26:55	2727
18.03.2007	163280	65924,5	57960	12,1	38,1	22,9	15,2	48,5	7,1	48,5	7,1	55%	1013	*	2/8	10,3	45	7:59:26	14:11:59	2263
04.04.2007	72000	52261,9	8720	17,0	45,8	24,9	20,9	54,5	37,3	54,5	37,3	50%	1007,5	*	2/8	10,4	45	12:00:41	18:41:22	1677
08.05.2007	199200	50969,2	41960	17,6	48,2	27,8	20,4	59,3	10,8	59,3	10,8	71%	1011,7	124/125	2/8	12,9	45	6:19:58	16:22:21	3601
08.05.2007	51040	12622,9	12480	14,4	38,1	25,6	12,5	48,5	11,4	48,5	11,4	82%	1014	125/126	2/8	12,4	45	6:30:26	13:27:33	2484
03.07.2007	156480	30461,6	28000	25,2	52,4	34,4	18,0	67,3	21,3	67,3	21,3	69%	1010,6	232/234	2/14	16,3	45	7:05:22	18:02:31	3946
20.07.2007	129320	52953,0	69400	34,6	69,9	30,7	39,2	84,0	26,3	84,0	26,3	32%	1013,3	257/259	2/12	15,4	45	6:39:40	19:50:16	4726
22.07.2007	144880	50577,8	53960	31,7	55,4	34,2	21,3	73,3	25,7	73,3	25,7	44%	1007,7	272/274	2/15	18,3	45	7:28:00	14:24:33	2551
28.07.2007	126720	119794,0	122200	24,4	60,1	28,6	21,5	77,1	10,9	77,1	10,9	27%	1014,4	289/290	2/14	20,7	45	1:25:59	18:25:52	1818
03.10.2007	86320	31269,0	17960	16,5	52,5	26,2	26,3	63,4	13,5	63,4	13,5	64%	1023,7	*	2/14	15,9	45	6:53:32	21:53:24	5378
13.10.2007	57720	21662,0	4880	17,1	35,6	22,4	13,2	40,6	4,3	40,6	4,3	76%	1019,5	353/353	2/14	17,6	45	6:35:36	17:55:00	5871
28.10.2007	54720	6819,6	8600	13,1	26,8	25,4	-1,5	40	13,8	40	13,8	80%	1019,8	403	2/14	11,9	45	5:03:01	15:24:49	2383
24.11.2007	53480	52003,1	55360	11,8	32,6	19,9	12,6	45,0	7,7	45,0	7,7	63%	1020,8	403	2/14	13,6	45	5:09:48	16:16:04	2601
12.01.2008	101600	55160,3	74660	8,7	35,9	26,4	10,4	50,3	17,9	50,3	17,9	65%	1019,8	407	2/14	15,1	66	5:55:01	15:35:00	2007
03.02.2008	102720	27925,2	13520	6,0	31,8	25,2	6,6	44,5	2,0	44,5	2,0	77%	1028,1	408	2/14	14,5	66	8:31:59	17:23:28	3176
10.02.2008	8240	3216,1	3280	2,4	23,6	25,3	-1,7	10,8	3,9	10,8	3,9	77%	1026	408/409	2/14	-13,6	66	11:15:28	16:41:58	1948
16.02.2008	54720	26565,7	15760	-2,4	26,6	19,8	6,8	39,6	1,2	39,6	1,2	72%	1031,1	409	2/14	14,9	66	9:14:36	16:45:09	2693
17.02.2008	135760	73167,6	81360	-6,4	30,0	20,1	9,9	42,8	-8,9	42,8	-8,9	65%	1043	409	2/14	15,2	66	8:29:15	12:24:52	1469
24.02.2008	122860	49684,6	46800	10,1	42,6	25,3	17,4	70,6	2,3	70,6	2,3	61%	1028,2	410	2/14	33,1	66	8:05:13	19:02:27	3938
01.05.2008	105200	29291,8	15480	18,7	35,4	24,4	11,0	57,9	15,9	57,9	15,9	62%	1013,3	445	2/14	20,2	66	7:12:22	19:47:14	4510
02.05.2008	102860	26235,8	14120	14,6	39,8	28,1	11,8	57,5	10,0	57,5	10,0	74%	1018,1	445	2/14	15,6	66	6:47:13	17:51:11	3954
03.05.2008	112400	41013,2	32320	15,2	44,4	28,8	15,6	63,0	9,6	63,0	9,6	61%	1020,4	445	2/14	15,6	66	7:50:01	15:14:15	2695
08.05.2008	199200	51159,5	68120	15,8	57,1	36,3	20,9	74,5	7,1	74,5	7,1	44%	1016,7	*	2/14	19,1	33	6:38:00	19:07:47	4496
09.05.2008	160000	38565,5	16840	14,3	51,4	22,8	28,7	69,3	8,6	69,3	8,6	59%	1016,5	*	2/14	20,2	33	6:15:24	23:55:00	6342
10.05.2008	164240	39773,9	7920	10,2	46,8	26,7	20,1	63,9	5,5	63,9	5,5	70%	1019,5	*	2/14	19,4	33	0:03:02	13:07:48	4686
17.05.2008	160000	68727,8	88720	2,8	47,0	25,7	21,3	63,9	19,3	63,9	19,3	52%	1012	466/467	2/14	19,4	33	7:49:36	17:17:20	3394
24.05.2008	170368	96051,2	105920	17,2	47,1	30,6	16,5	65,1	11,4	65,1	11,4	65%	1013,2	*	2/14	19,4	33	6:49:23	12:46:32	2195
25.05.2008	169920	8784,2	62720	23,2	46,7	23,3	23,4	64,5	28,8	64,5	28,8	49%	1013,6	475/476	2/14	18,3	33	9:07:26	19:42:16	3764
19.07.2008	136640	117403,5	123200	23,2	50,6	36,0	14,6	69,6	41,8	69,6	41,8	52%	1016	569/566	2/14	20,2	33	10:15:20	13:49:41	1282
20.07.2008	128940	96012,0	95760	28,0	36,0	24,9	11,1	54,1	23,9	54,1	23,9	34%	1014,8	569/568	2/14	19,9	33	8:32:42	11:34:27	1087

Tabelul 1.1

ANEXA 5

Temperatura Medie	10 °C
Temperatura Max	16 °C
Temperatura Min	4 °C
Umiditate medie [%]	65
Umiditate maxima [%]	81
Umiditate minima [%]	37
Presiunea atmosferică	1014.80 hPa

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 9.12.2006 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică	Vizibilitatea	Direcția vântului	Viteza vântului	Viteza rafalelor	Precipitații	Evenimente, Condiții
09:00	7.0 °C	76%	1015 hPa	-	SE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
09:30	8.0 °C	76%	1015 hPa	-	SE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
10:00	9.0 °C	71%	1015 hPa	-	SE	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer senin
10:30	11.0 °C	67%	1015 hPa	-	SE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
11:00	12 °C	56%	1015 hPa	20 kilometri	SSE	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer senin
11:30	14.0 °C	55%	1015 hPa	-	SSE	21.6 km/h / 6.0 m/s	-	N/A	Cer senin
12:00	15.0 °C	51%	1015 hPa	-	sud	25.2 km/h / 7.0 m/s	-	N/A	Cer senin
12:30	15.0 °C	51%	1015 hPa	-	sud	25.2 km/h / 7.0 m/s	43.2 km/h / 12.0 m/s	N/A	Cer senin
13:00	15.0 °C	51%	1015 hPa	-	sud	25.2 km/h / 7.0 m/s	43.2 km/h / 12.0 m/s	N/A	Cer senin
13:30	16.0 °C	52%	1014 hPa	-	sud	21.6 km/h / 6.0 m/s	-	N/A	Cer senin
14:00	16 °C	37%	1015 hPa	20 kilometri	SSE	14.4 km/h	-	-	Cer senin
14:30	16.0 °C	52%	1014 hPa	-	sud	25.2 km/h / 7.0 m/s	-	N/A	Cer senin
15:00	16.0 °C	52%	1014 hPa	-	sud	25.2 km/h / 7.0 m/s	-	N/A	Cer senin
15:30	16.0 °C	52%	1014 hPa	-	sud	21.6 km/h / 6.0 m/s	-	N/A	Cer senin

7

8

9

11

13

14

15

15

15

16

16

16

16

16

13,35714

Tabelul 1.2

ANEXA 5

Temperatura Medie	6 °C
Temperatura Max	12 °C
Temperatura Min	0 °C
Umiditate medie [%]	81
Umiditate maxima [%]	93
Umiditate minima [%]	45
Presiunea atmosferică	1024.12 hPa

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 14.01.2007 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică	Vizibilitatea	Directia vântului	Viteza vântului	Viteza rafaelor	Precipitații	Evenimente, Condiții
09:00	3.0 °C	93%	1023 hPa	-	SE	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
09:30	3.0 °C	93%	1024 hPa	-	SSE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
10:00	3.0 °C	93%	1024 hPa	-	SSE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
10:30	3.0 °C	87%	1024 hPa	-	SSE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
11:00	7 °C	87%	1024 hPa	20 kilometri	SE	3.6 km/h / 14.4 km/h / 4.0 m/s	-	-	Cer senin
11:30	7.0 °C	81%	1024 hPa	-	SSE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
12:00	9.0 °C	76%	1024 hPa	-	sud	10.8 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
12:30	9.0 °C	76%	1024 hPa	-	SSV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
13:00	11.0 °C	71%	1024 hPa	-	sud	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
13:30	12.0 °C	67%	1023 hPa	-	sud	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
14:00	12 °C	45%	1024 hPa	20 kilometri	SSV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	-	Cer senin
14:30	13.0 °C	67%	1023 hPa	-	SSV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
15:00	13.0 °C	67%	1023 hPa	-	SSV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
15:30	13.0 °C	67%	1023 hPa	-	SSV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
16:00	13.0 °C	67%	1023 hPa	-	SSV	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
16:30	11.0 °C	67%	1023 hPa	-	SSV	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
17:00	10.0 °C	66%	1023 hPa	20 kilometri	SSV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
17:30	8.0 °C	71%	1023 hPa	-	SSV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin

8,888889

Tabelul 1.3

ANEXA 5

Temperatura Medie	6 °C
Temperatura Max	10 °C
Temperatura Min	3 °C
Umiditate medie [%]	76
Umiditate maxima [%]	93
Umiditate minima [%]	50
Presiunea atmosferică	1017.86 hPa

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 20.01.2007 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică	Vizibilitatea	Direcția vântului	Viteza vântului	Viteza rafalelor	Precipitații	Evenimente, Condiții		
09:00	6.0 °C	81%	1020 hPa	-	vest	25.2 km/h / 7.0 m/s	-	N/A		Cer senin	6
09:30	7.0 °C	81%	1020 hPa	-	vest	25.2 km/h / 7.0 m/s	-	N/A		Cer senin	7
10:00	7.0 °C	81%	1021 hPa	-	vest	21.6 km/h / 6.0 m/s	-	N/A		Cer senin	7
10:30	8.0 °C	76%	1021 hPa	-	vest	21.6 km/h / 6.0 m/s	-	N/A		Cer senin	8
11:00	9.0 °C	76%	1020 hPa	20 kilometri	vest	21.6 km/h / 6.0 m/s	-	N/A		Cer senin	9
11:30	9.0 °C	76%	1020 hPa	-	vest	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A		Cer senin	9
12:00	9.0 °C	76%	1021 hPa	-	vest	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A		Cer senin	9
12:30	9.0 °C	76%	1021 hPa	-	vest	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A		Cer senin	9
13:00	9.0 °C	76%	1020 hPa	-	vest	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A		Cer senin	9
13:30	10.0 °C	71%	1020 hPa	-	VNV	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A		Cer senin	10
14:00	10 °C	50%	1021 hPa	20 kilometri	VNV	3.6 km/h /	-	-		Cer în general noros	10
14:30	10.0 °C	71%	1020 hPa	-	VNV	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A		Cer senin	10
15:00	10.0 °C	66%	1020 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A		Cer senin	10
15:30	10.0 °C	66%	1020 hPa	-	vest	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A		Cer senin	10
16:00	10.0 °C	71%	1019 hPa	10 kilometri	vest	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Ploaie	Ploaie ușoară	10

8.866687

Tabelul 1.4

ANEXA 5

Temperatura Medie	8 °C
Temperatura Max	14 °C
Temperatura Min	2 °C
Umiditate medie [%]	81
Umiditate maxima [%]	93
Umiditate minima [%]	56
Presiunea atmosferică	1014.93 hPa

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 21.01.2007 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică	Vizibilitatea	Direcția vântului	Viteza vântului	Viteza rafalelor	Precipitații	Evenimente, Condiții
10:00	7.0 °C	87%	1015 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
10:30	7.0 °C	87%	1015 hPa	-	SSE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
11:00	8 °C	80%	1016 hPa	10 kilometri	SE	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	-	Cer în general noros
11:30	8.0 °C	81%	1015 hPa	-	SSE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
12:00	8.0 °C	81%	1015 hPa	10 kilometri	SSE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer parțial noros
12:30	8.0 °C	81%	1015 hPa	-	SSE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
13:00	9.0 °C	82%	1014 hPa	-	SSE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
13:30	10.0 °C	76%	1014 hPa	-	SSE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
14:00	10 °C	62%	1014 hPa	20 kilometri	SE	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	-	Cer în general noros
14:30	11.0 °C	76%	1013 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
15:00	11.0 °C	76%	1013 hPa	-	sud	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
15:30	11.0 °C	76%	1013 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
16:00	12.0 °C	72%	1012 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin

12
9.230789

Tabelul 1.5

ANEXA 5

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 10.02.2007 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică	Vizibilitatea	Direcția vântului	Viteza vântului	Viteza rafalelor	Precipitații	Evenimente, Condiții
08:30	6.0 °C	93%	1011 hPa	-	SE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
09:00	6.0 °C	93%	1011 hPa	-	ESE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
09:30	7.0 °C	93%	1011 hPa	-	ESE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
10:00	7.0 °C	93%	1011 hPa	-	ESE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
10:30	9.0 °C	82%	1011 hPa	-	SE	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer senin
11:00	9 °C	71%	1011 hPa	20 kilometri	est	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	-	Cer parțial noros
11:30	11.0 °C	76%	1010 hPa	-	SE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
12:00	12.0 °C	72%	1010 hPa	-	SE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
12:30	13.0 °C	67%	1010 hPa	-	ESE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
13:00	13.0 °C	67%	1010 hPa	-	SE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
13:30	13.0 °C	67%	1009 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
14:00	14 °C	46%	1009 hPa	20 kilometri	ESE	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	-	Cer acoperit
14:30	14.0 °C	59%	1009 hPa	-	SSV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
15:00	14.0 °C	63%	1009 hPa	-	SSE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
15:30	14.0 °C	55%	1009 hPa	-	SSE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
16:00	14.0 °C	55%	1009 hPa	10 kilometri	SSE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Nori risipit
16:30	13.0 °C	54%	1009 hPa	10 kilometri	SSE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros

11,11765

Tabelul 1.6

ANEXA 5

Temperatura Medie	4 °C
Temperatura Max	8 °C
Temperatura Min	0 °C
Umiditate medie [%]	77
Umiditate maxima [%]	100
Umiditate minima [%]	38
Presiunea atmosferică	1026.14 hPa

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 18.02.2007 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică	Vizibilitatea	Direcția vântului	Viteza vântului	Viteza rafalelor	Precipitații	Evenimente, Condiții
10:00	4.0 °C	76%	1028 hPa	-	ESE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
10:30	4.0 °C	76%	1028 hPa	-	ESE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
11:00	4 °C	61%	1029 hPa	10 kilometri	est	7.2 km/h / 4.0 m/s	-	-	Cer senin
11:30	6.0 °C	66%	1028 hPa	-	SE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
12:00	6.0 °C	61%	1027 hPa	10 kilometri	SSE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer parțial noros
12:30	7.0 °C	57%	1027 hPa	10 kilometri	SE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer parțial noros
13:00	7.0 °C	57%	1026 hPa	10 kilometri	SE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer parțial noros
13:30	8.0 °C	53%	1026 hPa	10 kilometri	SE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer parțial noros
14:00	8 °C	38%	1026 hPa	20 kilometri	SE	7.2 km/h / 5.0 m/s	-	-	Nori risipiți
14:30	8.0 °C	57%	1025 hPa	10 kilometri	SSE	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer parțial noros
15:00	9.0 °C	54%	1024 hPa	10 kilometri	SSE	21.6 km/h / 6.0 m/s	-	N/A	Cer parțial noros
15:30	9.0 °C	50%	1024 hPa	10 kilometri	sud	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer parțial noros
16:00	9.0 °C	50%	1023 hPa	-	sud	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer senin
16:30	8.0 °C	53%	1023 hPa	-	sud	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
17:00	9 °C	42%	1024 hPa	20 kilometri	sud	10.8 km/h / 4.0 m/s	-	-	Nori risipiți
17:30	8.0 °C	53%	1023 hPa	-	sud	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
18:00	7.0 °C	57%	1022 hPa	-	sud	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
18:30	5.0 °C	70%	1022 hPa	-	SSV	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin

4

4

4

6

6

7

7

8

8

8

9

9

9

8

8

9

8

7

5

7

Tabelul 1.8

ANEXA 5

Temperatura Medie	6 °C
Temperatura Max	12 °C
Temperatura Min	-1 °C
Umiditate medie [%]	82
Umiditate maxima [%]	93
Umiditate minima [%]	19
Presiunea atmosferică	1025.46 hPa

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 5.03.2007 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică	Vizibilitatea	Direcția vântului	Viteza vântului	Viteza rafalelor	Precipitații	Evenimente, Condiții	
06:30	1.0 °C	87%	1025 hPa	-	NE	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	1
07:00	1.0 °C	87%	1025 hPa	-	ENE	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	1
07:30	1.0 °C	93%	1026 hPa	-	Linistit	Linistit	-	N/A	Cer senin	1
08:00	2.0 °C	81%	1026 hPa	20 kilometri	Linistit	Linistit	-	N/A	Cer senin	2
08:30	3.0 °C	81%	1026 hPa	-	ENE	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin	3
09:00	5.0 °C	76%	1027 hPa	-	est	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin	5
09:30	6.0 °C	70%	1026 hPa	-	ENE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin	6
10:00	7.0 °C	61%	1027 hPa	-	ENE	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	7
10:30	8.0 °C	57%	1026 hPa	-	ENE	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	8
11:00	9.0 °C	50%	1027 hPa	20 kilometri	ENE	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	9
11:30	10.0 °C	43%	1026 hPa	-	est	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin	10
12:00	10.0 °C	35%	1027 hPa	-	ENE	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	10
12:30	10.0 °C	35%	1026 hPa	-	NE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin	10
13:00	10.0 °C	35%	1026 hPa	-	ESE	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	10
13:30	11.0 °C	35%	1026 hPa	-	sud	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin	11
14:00	11 °C	21%	1026 hPa	20 kilometri	VNV	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	-	Nori risipiti	11
14:30	12.0 °C	41%	1025 hPa	-	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin	12
15:00	11.0 °C	44%	1025 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	11
15:30	12.0 °C	41%	1025 hPa	-	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin	12
16:00	12.0 °C	41%	1025 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	12
16:30	12.0 °C	41%	1025 hPa	-	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin	12

7.809524

Tabelul 1.10

ANEXA 5

Temperatura Medie	7 °C
Temperatura Max	14 °C
Temperatura Min	0 °C
Umiditate medie [%]	63
Umiditate maxima [%]	87
Umiditate minima [%]	24
Presiunea atmosferică	1022.91 hPa

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 16.03.2007 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică	Vizibilitatea	Direcția vântului	Viteza vântului	Viteza rafalelor	Precipitații	Evenimente, Condiții	
06:30	2.0 °C	87%	1024 hPa	-	vest	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	2
07:00	1.0 °C	87%	1024 hPa	-	vest	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin	1
07:30	1.0 °C	87%	1024 hPa	8 kilometri	vest	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Ceată Ceată ușoară	1
08:00	1.0 °C	87%	1024 hPa	8 kilometri	NNV	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Ceată Ceată ușoară	1
08:30	3.0 °C	87%	1024 hPa	-	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin	3
09:00	6.0 °C	76%	1024 hPa	-	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin	6
09:30	7.0 °C	71%	1024 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	7
10:00	9.0 °C	66%	1024 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	9
10:30	10.0 °C	62%	1024 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	10
11:00	12.0 °C	54%	1024 hPa	-	NE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin	12
11:30	12.0 °C	54%	1024 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	12
12:00	13.0 °C	51%	1024 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	13
12:30	13.0 °C	51%	1024 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	13
13:00	13.0 °C	44%	1024 hPa	-	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin	13
13:30	14.0 °C	44%	1023 hPa	-	nord	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin	14
14:00	14 °C	27%	1024 hPa	10 kilometri	nord	3.6 km/h /	-	-	Nori risipiți	14
14:30	14.0 °C	41%	1023 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	14
15:00	14.0 °C	41%	1022 hPa	-	ENE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin	14
15:30	15.0 °C	42%	1022 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	15
16:00	15.0 °C	42%	1022 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	15
16:30	14.0 °C	41%	1022 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	14
17:00	14 °C	24%	1022 hPa	10 kilometri	nord	3.6 km/h /	-	-	Nori risipiți	14
17:30	14.0 °C	38%	1021 hPa	10 kilometri	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin	14
18:00	13.0 °C	44%	1021 hPa	-	Liniștit	Liniștit	-	N/A	Cer senin	13

10.18667

Tabelul 1.13

ANEXA 5

Temperatura Medie	10 °C
Temperatura Max	18 °C
Temperatura Min	2 °C
Umiditate medie [%]	50
Umiditate maxima [%]	70
Umiditate minima [%]	17
Presiunea atmosferică	1007.29 hPa

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 4.04.2007 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică	Vizibilitatea	Direcția vântului	Viteza vântului	Viteza rafalelor	Precipitații	Evenimente, Condiții
12:00	15 °C	24%	1008 hPa	10 kilometri	est	3.6 km/h /	-	-	Cer senin
12:30	16.0 °C	31%	1008 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
13:00	17.0 °C	32%	1008 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
13:30	17.0 °C	34%	1008 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
14:00	17.0 °C	32%	1008 hPa	-	NE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
14:30	18.0 °C	32%	1007 hPa	-	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin
15:00	18 °C	17%	1008 hPa	10 kilometri	NNE	3.6 km/h /	-	-	Cer acoperit
15:30	18.0 °C	30%	1007 hPa	-	NNE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
16:00	17.0 °C	34%	1007 hPa	-	NNE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
16:30	17.0 °C	30%	1007 hPa	10 kilometri	NNE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Condiții necunoscute
17:00	17.0 °C	32%	1007 hPa	-	NE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin

Tabelul 1.14

ANEXA 5

Temperatura Medie	16 °C
Temperatura Max	23 °C
Temperatura Min	8 °C
Umiditate medie [%]	77
Umiditate maxima [%]	100
Umiditate minima [%]	33
Presiunea atmosferică	1011.43 hPa

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 8.05.2007 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică	Vizibilitatea	Direcția vântului	Viteza vântului	Viteza rafalelor	Precipitații	Evenimente, Condiții	
06:00	9 °C	100%	1011 hPa	3 kilometri	sud	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Ceață	Ceață ușoară
06:30	10.0 °C	100%	1011 hPa	4 kilometri	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A		Ceață
07:00	10.0 °C	100%	1011 hPa	4 kilometri	SSV	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A		Ceață
07:30	11.0 °C	100%	1012 hPa	6 kilometri	SSE	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A		Condiții necunoscute
08:00	12.0 °C	100%	1012 hPa	7 kilometri	Linștit	Linștit	-	N/A		Condiții necunoscute
08:30	13.0 °C	100%	1012 hPa	8 kilometri	SSV	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A		Condiții necunoscute
09:00	14 °C	88%	1012 hPa	4 kilometri	sud	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	-		Ceață
09:30	15.0 °C	82%	1012 hPa	-	VNV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A		Cer senin
10:00	16.0 °C	82%	1012 hPa	-	VNV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A		Cer senin
10:30	18.0 °C	73%	1012 hPa	10 kilometri	VNV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A		Condiții necunoscute
11:00	19.0 °C	64%	1012 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A		Cer senin
11:30	20.0 °C	60%	1012 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A		Cer senin
12:00	20 °C	48%	1012 hPa	10 kilometri	NNE	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	-		Nori risipiți
12:30	22.0 °C	53%	1012 hPa	-	NNV	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A		Cer senin
13:00	22.0 °C	53%	1012 hPa	-	NV	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A		Cer senin
13:30	21.0 °C	56%	1012 hPa	-	VNV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A		Cer senin
14:00	21.0 °C	56%	1012 hPa	10 kilometri	vest	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A		Cer în general noros
14:30	23.0 °C	50%	1012 hPa	10 kilometri	vest	21.6 km/h / 6.0 m/s	-	N/A		Cer în general noros
15:00	22.0 °C	50%	1012 hPa	10 kilometri	vest	21.6 km/h / 6.0 m/s	-	N/A		Cer în general noros
15:30	23.0 °C	50%	1011 hPa	10 kilometri	vest	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A		Cer în general noros
16:00	22.0 °C	50%	1011 hPa	10 kilometri	vest	21.6 km/h / 6.0 m/s	-	N/A		Cer în general noros
16:30	22.0 °C	53%	1011 hPa	10 kilometri	vest	21.6 km/h / 6.0 m/s	-	N/A		Cer în general noros

17,54546

Tabelul 1.15

ANEXA 5

Temperatura Medie	14 °C
Temperatura Max	18 °C
Temperatura Min	11 °C
Umiditate medie [%]	80
Umiditate maxima [%]	100
Umiditate minima [%]	50
Presiunea atmosferică	1013.98 hPa

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 9.05.2007 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică	Vizibilitatea	Direcția vântului	Viteza vântului	Viteza rafalelor	Precipitații	Evenimente, Condiții
06:30	12.0 °C	94%	1013 hPa	10 kilometri	SSV	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
07:00	12.0 °C	94%	1014 hPa	10 kilometri	SV	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
07:30	12.0 °C	100%	1013 hPa	10 kilometri	SSV	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
08:00	12.0 °C	100%	1013 hPa	10 kilometri	SSV	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
08:30	13.0 °C	94%	1014 hPa	10 kilometri	SV	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
09:00	13.0 °C	94%	1014 hPa	10 kilometri	SV	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
09:30	14.0 °C	88%	1014 hPa	10 kilometri	VSV	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Condiții necunoscute
10:00	15.0 °C	88%	1014 hPa	10 kilometri	VSV	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
10:30	15.0 °C	77%	1014 hPa	10 kilometri	vest	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
11:00	16.0 °C	72%	1015 hPa	10 kilometri	vest	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
11:30	17.0 °C	63%	1014 hPa	10 kilometri	VNV	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
12:00	16.0 °C	72%	1014 hPa	10 kilometri	VNV	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
12:30	16.0 °C	63%	1015 hPa	10 kilometri	vest	21.6 km/h / 6.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
13:00	17.0 °C	59%	1014 hPa	10 kilometri	vest	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
13:30	16.0 °C	72%	1015 hPa	10 kilometri	vest	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Căderi ușoare de ploaie

12

12

12

12

12

13

13

14

15

15

16

17

16

16

17

16

14,4

Tabelul 1.16

ANEXA 5

Temperatura Medie	22 °C
Temperatura Max	29 °C
Temperatura Min	16 °C
Umiditate medie [%]	60
Umiditate maxima [%]	83
Umiditate minima [%]	30
Presiunea atmosferică	1009.98 hPa

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 3.07.2007 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică	Vizibilitatea	Direcția vântului	Viteza vântului	Viteza rafalelor	Precipitații	Evenimente, Condiții
07:00	19.0 °C	83%	1010 hPa	10 kilometri	SE	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
07:30	20.0 °C	78%	1010 hPa	10 kilometri	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Nori risipiti
08:00	21.0 °C	78%	1010 hPa	10 kilometri	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
08:30	22.0 °C	73%	1010 hPa	10 kilometri	Liniștit	Liniștit	-	N/A	Cer în general noros
09:00	24.0 °C	66%	1011 hPa	10 kilometri	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
09:30	25.0 °C	66%	1011 hPa	10 kilometri	vest	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
10:00	25.0 °C	61%	1011 hPa	-	vest	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin
10:30	25.0 °C	61%	1011 hPa	-	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin
11:00	25.0 °C	61%	1011 hPa	-	vest	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
11:30	25.0 °C	61%	1011 hPa	-	vest	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
12:00	26 °C	36%	1011 hPa	20 kilometri	VSV	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	-	Cer în general noros
12:30	26.0 °C	61%	1011 hPa	-	vest	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
13:00	27.0 °C	54%	1011 hPa	-	vest	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
13:30	28.0 °C	54%	1011 hPa	-	vest	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
14:00	28.0 °C	54%	1011 hPa	-	vest	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
14:30	27.0 °C	54%	1011 hPa	-	VSV	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
15:00	28 °C	30%	1011 hPa	20 kilometri	vest	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	-	Cer în general noros
15:30	27.0 °C	61%	1011 hPa	10 kilometri	vest	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
16:00	27.0 °C	61%	1010 hPa	10 kilometri	VNV	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
16:30	25.0 °C	61%	1010 hPa	10 kilometri	vest	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
17:00	26.0 °C	61%	1010 hPa	-	vest	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin
17:30	26.0 °C	54%	1010 hPa	-	Liniștit	Liniștit	-	N/A	Cer senin
18:00	27 °C	30%	1010 hPa	20 kilometri	NNV	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	-	Nori risipiti

25,17391

Tabelul 1.17

ANEXA 5

Temperatura Medie	30 °C
Temperatura Max	39 °C
Temperatura Min	21 °C
Umiditate medie [%]	38
Umiditate maxima [%]	61
Umiditate minima [%]	6
Presiunea atmosferică	1012.98 hPa

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 20.07.2007 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică	Vizibilitatea	Direcția vântului	Viteza vântului	Viteza rafaelor	Precipitații	Evenimente, Condiții	
06:30	24.0 °C	61%	1013 hPa	-	ESE	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	24
07:00	24.0 °C	61%	1013 hPa	-	est	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin	24
07:30	24.0 °C	61%	1014 hPa	-	est	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin	24
08:00	25.0 °C	54%	1014 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	25
08:30	27.0 °C	54%	1014 hPa	-	ESE	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	27
09:00	28 °C	29%	1014 hPa	20 kilometri	ESE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	-	Nori risipiti	28
09:30	29.0 °C	51%	1014 hPa	-	ESE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin	29
10:00	31.0 °C	46%	1014 hPa	-	ESE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin	31
10:30	32.0 °C	40%	1014 hPa	-	ESE	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	32
11:00	34.0 °C	36%	1014 hPa	-	ESE	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	34
11:30	36.0 °C	34%	1014 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	36
12:00	37 °C	12%	1014 hPa	20 kilometri	SSE	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	-	Cer senin	36
12:30	38.0 °C	29%	1014 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	38
13:00	38.0 °C	27%	1014 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	38
13:30	38.0 °C	27%	1014 hPa	-	SV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin	38
14:00	38.0 °C	27%	1014 hPa	-	SSE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin	38
14:30	39.0 °C	24%	1014 hPa	-	SE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin	39
15:00	39 °C	6%	1013 hPa	20 kilometri	SE	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	-	Nori risipiti	39
15:30	39.0 °C	24%	1013 hPa	-	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin	39
16:00	40.0 °C	24%	1013 hPa	-	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin	40
16:30	39.0 °C	24%	1013 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	39
17:00	39.0 °C	24%	1012 hPa	-	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin	39
17:30	39.0 °C	24%	1012 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin	39
18:00	39 °C	7%	1011 hPa	20 kilometri	NE	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	-	Nori risipiti	39
18:30	39.0 °C	24%	1012 hPa	-	est	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin	39
19:00	39.0 °C	24%	1012 hPa	-	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin	39
19:30	38.0 °C	25%	1012 hPa	-	SSE	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin	38
20:00	38.0 °C	25%	1012 hPa	-	Linistit	1.0 m/s	-	N/A	Cer senin	38

34,60714

Tabelul 1.18

ANEXA 5

Temperatura Medie	30 °C
Temperatura Max	38 °C
Temperatura Min	21 °C
Umiditate medie [%]	43
Umiditate maxima [%]	69
Umiditate minima [%]	9
Presiunea atmosferică	1008.61 hPa

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 22.07.2007 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică	Vizibilitatea	Directia vântului	Viteza vântului	Viteza rafalelor	Precipitații	Evenimente, Condiții
07:30	25.0 °C	54%	1010 hPa	-	SE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
08:00	25.0 °C	54%	1010 hPa	-	SSE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
08:30	26.0 °C	54%	1010 hPa	-	SSE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
09:00	28 °C	29%	1010 hPa	10 kilometri	ESE	7.2 km/h /	-	N/A	Cer senin
09:30	29.0 °C	51%	1010 hPa	-	SSE	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer senin
10:00	30.0 °C	55%	1010 hPa	-	SSE	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer senin
10:30	32.0 °C	46%	1010 hPa	-	sud	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer senin
11:00	32.0 °C	46%	1010 hPa	-	sud	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer senin
11:30	34.0 °C	44%	1010 hPa	-	SSV	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
12:00	33 °C	22%	1009 hPa	10 kilometri	sud	18.0 km/h /	-	-	Cer senin
12:30	35.0 °C	41%	1010 hPa	-	SSV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
13:00	36.0 °C	41%	1009 hPa	-	vest	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
13:30	37.0 °C	42%	1009 hPa	-	VSV	6.7 mph / 10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
14:00	37.0 °C	42%	1009 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
14:30	38.0 °C	35%	1009 hPa	-	VSV	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer senin

25

25

26

28

29

30

32

32

32

33

35

36

37

37

38

31,68667

Tabelul 1.19

ANEXA 5

Temperatura Medie	25 °C
Temperatura Max	35 °C
Temperatura Min	15 °C
Umiditate medie [%]	44
Umiditate maxima [%]	85
Umiditate minima [%]	14
Presiunea atmosferică	1014.14 hPa

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 28.07.2007 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică	Vizibilitatea	Directia vântului	Viteza vântului	Viteza rafaletelor	Precipitații	Evenimente, Condiții
11:30	29.0 °C	33%	1016 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
12:00	30 °C	20%	1015 hPa	20 kilometri	NNV	3.6 km/h /	-	N/A	Cer senin
12:30	31.0 °C	27%	1015 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
13:00	32.0 °C	38%	1015 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
13:30	32.0 °C	27%	1015 hPa	-	NNV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
14:00	34.0 °C	36%	1014 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
14:30	33.0 °C	28%	1014 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
15:00	33 °C	15%	1014 hPa	20 kilometri	VNV	3.6 km/h /	-	-	Cer senin
15:30	34.0 °C	24%	1014 hPa	-	vest	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
16:00	34.0 °C	30%	1013 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
16:30	34.0 °C	23%	1013 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin

29

30

31

32

32

34

33

33

34

34

34

34

32,36364

Tabelul 1.20

ANEXA 5

Temperatura Medie	18 °C
Temperatura Max	25 °C
Temperatura Min	11 °C
Umiditate medie [%]	72
Umiditate maxima [%]	100
Umiditate minima [%]	30
Presiunea atmosferică	1023.14 hPa

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 2.10.2007 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică	Vizibilitatea	Direcția vântului	Viteza vântului	Viteza rafalelor	Precipitații	Evenimente	Condiții	
07:00	14 °C	90%	1024 hPa	10 kilometri	ESE	7.2 km/h /	-	N/A		Cer senin	14
07:30	14.0 °C	94%	1024 hPa	7 kilometri	SE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A		Condiții necunoscute	14
08:00	13 °C	86%	1024 hPa	10 kilometri	ESE	3.6 km/h /	-	-		Cer senin	13
08:30	14.0 °C	94%	1024 hPa	8 kilometri	SE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A		Cer senin	14
09:00	14 °C	85%	1024 hPa	10 kilometri	ESE	7.2 km/h /	-	-		Cer senin	14
09:30	15.0 °C	94%	1024 hPa	-	SSE	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A		Cer senin	15
10:00	16 °C	78%	1024 hPa	10 kilometri	SE	3.6 km/h /	-	-		Cer senin	16
10:30	18.0 °C	83%	1024 hPa	-	SSE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A		Cer senin	18
11:00	19.0 °C	78%	1024 hPa	-	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A		Cer senin	19
11:30	20.0 °C	73%	1024 hPa	-	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A		Cer senin	20
12:00	21.0 °C	64%	1024 hPa	10 kilometri	Linistit	Linistit	-	N/A		Cer parțial noros	21
12:30	22.0 °C	53%	1024 hPa	10 kilometri	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A		Nori risipiți	22
13:00	22 °C	43%	1024 hPa	10 kilometri	VSV	3.6 km/h /	-	-		Cer senin	22
13:30	23.0 °C	50%	1023 hPa	10 kilometri	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A		Nori risipiți	23
14:00	23 °C	34%	1023 hPa	10 kilometri	SV	3.6 km/h /	-	-		Nori risipiți	23
14:30	24.0 °C	44%	1023 hPa	-	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A		Cer senin	24
15:00	24 °C	33%	1023 hPa	10 kilometri	NV	3.6 km/h /	-	-		Nori risipiți	24
15:30	24.0 °C	44%	1022 hPa	-	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A		Cer senin	24
16:00	24 °C	31%	1022 hPa	10 kilometri	est	3.6 km/h /	-	-		Nori risipiți	24
16:30	24.0 °C	41%	1022 hPa	-	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A		Cer senin	24
17:00	25 °C	30%	1021 hPa	10 kilometri	Linistit	Linistit	-	-		Nori risipiți	25
17:30	24.0 °C	44%	1021 hPa	-	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A		Cer senin	24
18:00	24 °C	37%	1021 hPa	10 kilometri	NNE	3.6 km/h /	-	-		Nori risipiți	24
18:30	22.0 °C	57%	1021 hPa	-	Linistit	Linistit	-	N/A		Cer senin	22
19:00	20.0 °C	68%	1021 hPa	-	Linistit	Linistit	-	N/A		Cer senin	20
19:30	19.0 °C	68%	1021 hPa	-	Linistit	Linistit	-	N/A		Cer senin	19
20:00	18 °C	64%	1021 hPa	10 kilometri	Linistit	Linistit	-	-		Cer acoperit	18
20:30	17.0 °C	77%	1021 hPa	-	Linistit	Linistit	-	N/A		Cer senin	17
21:00	16 °C	70%	1022 hPa	10 kilometri	Linistit	Linistit	-	-		Cer acoperit	16
21:30	16.0 °C	82%	1022 hPa	-	Linistit	Linistit	-	N/A		Cer senin	16
22:00	16.0 °C	82%	1022 hPa	10 kilometri	SE	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A		Cer senin	16

16,51613

Tabelul 1.21

ANEXA 5

Temperatura Medie	6 °C
Temperatura Max	10 °C
Temperatura Min	1 °C
Umiditate medie [%]	81
Umiditate maxima [%]	100
Umiditate minima [%]	49
Presiunea atmosferică	1018.17 hPa

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 13.10.2007 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică	Vizibilitatea	Direcția vântului	Viteza vântului	Viteza rafalelor	Precipitații	Evenimente, Condiții
08:30	8.0 °C	93%	1016 hPa	1.5 kilometri	vest	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Ceată / Ceată ușoară
09:00	8.0 °C	100%	1016 hPa	1.8 kilometri	vest	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer acoperit
09:30	9.0 °C	100%	1017 hPa	1.8 kilometri	VNV	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer acoperit
10:00	9 °C	89%	1017 hPa	1 kilometru	vest	3.6 km/h /	-	-	Ceată
10:30	10.0 °C	100%	1017 hPa	1.8 kilometri	VNV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer acoperit
11:00	10 °C	90%	1017 hPa	1 kilometru	vest	3.6 km/h /	-	-	Ceată
11:30	10.0 °C	94%	1018 hPa	-	NNE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
12:00	9.0 °C	93%	1018 hPa	-	NE	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
12:30	10.0 °C	82%	1018 hPa	7 kilometri	NE	25.2 km/h / 7.0 m/s	-	N/A	Nori risipiți
13:00	10.0 °C	76%	1018 hPa	10.0 kilometri	NE	28.8 km/h / 8.0 m/s	46.8 km/h / 13.0 m/s	N/A	Cer în general noros
13:30	9.0 °C	76%	1019 hPa	10 kilometri	NNE	32.4 km/h / 9.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
14:00	8.0 °C	81%	1019 hPa	10 kilometri	NNE	32.4 km/h / 9.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
14:30	7.0 °C	76%	1019 hPa	10 kilometri	NNE	28.8 km/h / 8.0 m/s	46.8 km/h / 13.0 m/s	N/A	Cer în general noros
15:00	7 °C	59%	1019 hPa	20 kilometri	nord	32.4 km/h /	-	-	Cer acoperit
15:30	7.0 °C	71%	1019 hPa	10 kilometri	NE	21.6 km/h / 6.0 m/s	-	N/A	Cer acoperit
16:00	8.0 °C	71%	1019 hPa	10 kilometri	NNE	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
16:30	8.0 °C	71%	1019 hPa	-	NNE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
17:00	8 °C	57%	1019 hPa	20 kilometri	nord	14.4 km/h /	-	-	Nori risipiți
17:30	9.0 °C	71%	1019 hPa	-	NV	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
18:00	10 °C	53%	1020 hPa	20 kilometri	NV	7.2 km/h /	-	-	Nori risipiți
18:30	9.0 °C	62%	1020 hPa	-	NNE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
19:00	8.0 °C	57%	1020 hPa	-	NNE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
19:30	7.0 °C	61%	1021 hPa	-	nord	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
20:00	5.0 °C	70%	1022 hPa	-	nord	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
20:30	5.0 °C	70%	1022 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
21:00	3.0 °C	75%	1022 hPa	-	NNV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
21:30	3.0 °C	75%	1023 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
22:00	5 °C	57%	1023 hPa	20 kilometri	nord	14.4 km/h /	-	-	
22:30	2.0 °C	81%	1023 hPa	10 kilometri	NNV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Condiții necunoscut
23:00	5 °C	51%	1024 hPa	20 kilometri	NNV	7.2 km/h /	-	-	
23:30	2.0 °C	87%	1024 hPa	10 kilometri	NNV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Condiții necunoscut

7.322581

Tabelul 1.22

ANEXA 5

Temperatura Medie	10 °C
Temperatura Max	14 °C
Temperatura Min	7 °C
Umiditate medie [%]	89
Umiditate maxima [%]	100
Umiditate minima [%]	82
Presiunea atmosferică	1024.37 hPa

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 28.10.2007 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică	Vizibilitatea	Direcția vântului	Viteza vântului	Viteza rafalelor	Precipitații	Evenimente, Condiții
09:00	10 °C	90%	1026 hPa	4 kilometri	nord	3.6 km/h /	-	-	Ceată
10:00	12.0 °C	94%	1025 hPa	-	NE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
10:30	13.0 °C	88%	1025 hPa	-	NE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
11:00	12 °C	78%	1025 hPa	4 kilometri	NE	3.6 km/h /	-	-	Ceată
11:30	13.0 °C	88%	1024 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
12:00	13 °C	71%	1025 hPa	4 kilometri	NE	3.6 km/h /	-	-	Ceată
12:30	14.0 °C	82%	1024 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
13:00	14.0 °C	82%	1023 hPa	10 kilometri	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer acoperit
13:30	14.0 °C	82%	1023 hPa	9 kilometri	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer acoperit
14:00	14 °C	88%	1023 hPa	10 kilometri	nord	3.6 km/h /	-	-	Cer acoperit
14:30	14.0 °C	82%	1022 hPa	10 kilometri	Linistit	Linistit	-	N/A	Cer acoperit
15:00	14 °C	82%	1023 hPa	10 kilometri	Linistit	Linistit	-	-	Cer acoperit
15:30	14.0 °C	77%	1022 hPa	10 kilometri	Linistit	Linistit	-	N/A	Cer acoperit

10

12

13

12

13

13

13

14

14

14

14

14

13,07892

Tabelul 1.23

ANEXA 5

Temperatura Medie	8 °C
Temperatura Max	14 °C
Temperatura Min	1 °C
Umiditate medie [%]	70
Umiditate maximă [%]	93
Umiditate minimă [%]	38
Presiunea atmosferică	1020.63 hPa

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 24.11.2007 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică	Vizibilitatea	Direcția vântului	Viteza vântului	Viteza rafelelor	Precipitații	Evenimente, Condiții
08:00	3 °C	74%	1022 hPa	20 kilometri	ESE	3.6 km/h /	-	-	Nori risipiti
08:30	7.0 °C	66%	1021 hPa	-	SSE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
10:00	8.0 °C	66%	1021 hPa	-	SSE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
10:30	10.0 °C	62%	1021 hPa	10 kilometri	SSE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
11:00	11 °C	43%	1022 hPa	20 kilometri	SE	7.2 km/h /	-	-	Nori risipiti
11:30	13.0 °C	51%	1021 hPa	-	sud	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
12:00	13 °C	38%	1021 hPa	20 kilometri	SSE	7.2 km/h /	-	-	Nori risipiti
12:30	14.0 °C	51%	1021 hPa	-	SSV	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
13:00	14.0 °C	51%	1021 hPa	-	SSV	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer senin
13:30	14.0 °C	51%	1020 hPa	-	sud	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
14:00	14 °C	38%	1021 hPa	20 kilometri	SSE	7.2 km/h /	-	-	Cer senin
14:30	14.0 °C	55%	1020 hPa	-	SV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
15:00	14 °C	41%	1020 hPa	20 kilometri	sud	10.8 km/h /	-	-	Cer senin
15:30	14.0 °C	59%	1020 hPa	-	SSV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
16:00	14 °C	43%	1020 hPa	10 kilometri	sud	10.8 km/h /	-	-	Cer senin
16:30	12.0 °C	67%	1020 hPa	-	VSV	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin

11,8125

Tabelul 1.24

ANEXA 5

Temperatura Medie	6 °C
Temperatura Max	11 °C
Temperatura Min	1 °C
Umiditate medie [%]	66
Umiditate maxima [%]	78
Umiditate minima [%]	42
Presiunea atmosferică	1019.32 hPa

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 12.01.2008 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică	Vizibilitatea	Direcția vântului	Viteza vântului	Viteza rafaelor	Precipitații	Evenimente, Condiții
10:00	3 °C	62%	1020 hPa	20 kilometri	ESE	10.8 km/h /	-	-	Nori risipiti
10:30	5.0 °C	70%	1019 hPa	-	SSE	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer senin
11:00	7.0 °C	61%	1019 hPa	-	SSE	21.6 km/h / 6.0 m/s	-	N/A	Cer senin
11:30	8.0 °C	62%	1019 hPa	-	SSE	21.6 km/h / 6.0 m/s	-	N/A	Cer senin
12:00	8 °C	51%	1020 hPa	20 kilometri	ESE	7.2 km/h /	-	-	Nori risipiti
12:30	10.0 °C	54%	1019 hPa	-	sud	25.2 km/h / 7.0 m/s	-	N/A	Cer senin
13:00	9 °C	43%	1020 hPa	20 kilometri	SE	10.8 km/h /	-	-	Nori risipiti
13:30	10.0 °C	58%	1018 hPa	-	sud	25.2 km/h / 7.0 m/s	-	N/A	Cer senin
14:00	11.0 °C	54%	1018 hPa	-	sud	21.6 km/h / 6.0 m/s	-	N/A	Cer senin
14:30	11.0 °C	54%	1018 hPa	-	sud	25.2 km/h / 7.0 m/s	-	N/A	Cer senin
15:00	11 °C	42%	1018 hPa	20 kilometri	SSE	14.4 km/h /	-	-	Cer parțial noros
15:30	11.0 °C	58%	1018 hPa	-	sud	21.6 km/h / 6.0 m/s	-	N/A	Cer senin

8,666667

Tabelul 1.26

ANEXA 5

Temperatura Medie	1 °C
Temperatura Max	2 °C
Temperatura Min	0 °C
Umiditate medie [%]	87
Umiditate maxima [%]	100
Umiditate minima [%]	88
Presiunea atmosferică	1034.98 hPa

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 10.02.2008 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică	Vizibilitatea	Direcția vântului	Viteza vântului	Viteza rafalelor	Precipitații	Evenimente, Condiții
11:00	2.0 °C	87%	1035 hPa	10 kilometri	sud	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer acoperit
11:30	2.0 °C	81%	1035 hPa	10 kilometri	sud	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer acoperit
12:00	2 °C	72%	1036 hPa	10 kilometri	SE	7.2 km/h /	-	-	Cer acoperit
12:30	3.0 °C	75%	1035 hPa	10 kilometri	sud	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer acoperit
13:00	3.0 °C	75%	1035 hPa	10 kilometri	sud	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer acoperit
13:30	3.0 °C	75%	1035 hPa	10 kilometri	sud	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer acoperit
14:00	3.0 °C	75%	1035 hPa	10 kilometri	sud	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer acoperit
14:30	3.0 °C	75%	1035 hPa	10 kilometri	sud	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer acoperit
15:00	2 °C	70%	1036 hPa	10 kilometri	sud	7.2 km/h /	-	-	Cer acoperit
15:30	2.0 °C	81%	1034 hPa	10 kilometri	sud	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer acoperit
16:00	2 °C	72%	1036 hPa	10 kilometri	sud	7.2 km/h /	-	-	Cer acoperit
16:30	2.0 °C	81%	1034 hPa	9.0 kilometri	sud	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer acoperit
17:00	2.0 °C	87%	1034 hPa	8.0 kilometri	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Zăpadă Ninsoare slabă

2,384615

Tabelul 1.29

ANEXA 5

Temperatura Medie	6 °C
Temperatura Max	14 °C
Temperatura Min	-1 °C
Umiditate medie [%]	70
Umiditate maxima [%]	100
Umiditate minima [%]	31
Presiunea atmosferică	1027.76 hPa

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 24.02.2008 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică	Vizibilitatea	Direcția vântului	Viteza vântului	Viteza rafalelor	Precipitații	Evenimente, Condiții		
08:00	-1.0 °C	100%	1028 hPa	10 kilometri	SSV	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Ceată ușoară	Ceată ușoară	-1
08:30	1.0 °C	93%	1028 hPa	10 kilometri	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Ceată ușoară	Ceată ușoară	1
09:00	3.0 °C	87%	1028 hPa	-	SSV	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A		Cer senin	3
09:30	5.0 °C	87%	1029 hPa	-	SSV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A		Cer senin	5
10:00	6 °C	75%	1030 hPa	10 kilometri	sud	7.2 km/h /	-	-		Cer senin	5
10:30	8.0 °C	71%	1029 hPa	-	SSV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A		Cer senin	8
11:00	9.0 °C	71%	1029 hPa	-	SSV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A		Cer senin	9
11:30	10.0 °C	66%	1029 hPa	-	SE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A		Cer senin	10
12:00	10.0 °C	66%	1029 hPa	-	SSE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A		Cer senin	10
12:30	11.0 °C	62%	1029 hPa	-	sud	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A		Cer senin	11
13:00	12.0 °C	58%	1029 hPa	-	SSV	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A		Cer senin	12
13:30	13.0 °C	51%	1029 hPa	-	sud	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A		Cer senin	13
14:00	12 °C	46%	1029 hPa	10 kilometri	sud	10.8 km/h /	-	-		Cer senin	12
14:30	14.0 °C	41%	1028 hPa	-	SV	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A		Cer senin	14
15:00	14 °C	37%	1029 hPa	10 kilometri	sud	10.8 km/h /	-	-		Cer senin	14
15:30	15.0 °C	42%	1028 hPa	-	SSV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A		Cer senin	15
16:00	15.0 °C	39%	1027 hPa	-	SSV	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A		Cer senin	15
16:30	15.0 °C	42%	1027 hPa	-	sud	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A		Cer senin	15
17:00	15.0 °C	42%	1027 hPa	-	sud	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A		Cer senin	15
17:30	14.0 °C	48%	1027 hPa	-	sud	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A		Cer senin	14
18:00	12 °C	44%	1028 hPa	20 kilometri	SE	7.2 km/h /	-	-		Cer senin	12
18:30	11.0 °C	62%	1026 hPa	-	SSE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A		Cer senin	11
19:00	10.0 °C	62%	1026 hPa	-	SSE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A		Cer senin	10

10,13043

Tabelul 1.30

ANEXA 5

Temperatura Medie	16 °C
Temperatura Max	22 °C
Temperatura Min	9 °C
Umiditate medie [%]	61
Umiditate maxima [%]	88
Umiditate minima [%]	25
Presiunea atmosferică	1012,78 hPa

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 1.05.2008 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică	Vizibilitatea	Direcția vântului	Viteza vântului	Viteza rafalelor	Precipitații	Evenimente, Condiții	
07:00	13.0 °C	77%	1012 hPa	-	SE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin	13
07:30	12.0 °C	82%	1012 hPa	-	SE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin	12
08:00	13.0 °C	82%	1013 hPa	10 kilometri	SSE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer parțial noros	13
08:30	14.0 °C	77%	1013 hPa	-	SSE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin	14
09:00	15.0 °C	72%	1013 hPa	-	sud	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin	15
09:30	16.0 °C	68%	1014 hPa	-	sud	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin	16
10:00	16 °C	62%	1014 hPa	10 kilometri	SSE	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	-	Cer în general noros	16
10:30	16.0 °C	68%	1014 hPa	-	SSE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin	16
11:00	17 °C	53%	1014 hPa	10 kilometri	SE	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	-	Nori risipiți	17
12:00	19.0 °C	56%	1014 hPa	10 kilometri	sud	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros	19
12:30	19.0 °C	56%	1014 hPa	10 kilometri	SSV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros	19
13:00	19 °C	46%	1014 hPa	20 kilometri	SSV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	-	Nori risipiți	19
13:30	20.0 °C	52%	1014 hPa	10 kilometri	VSV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros	20
14:00	21 °C	39%	1014 hPa	20 kilometri	SSV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	-	Nori risipiți	21
14:30	21.0 °C	46%	1014 hPa	10 kilometri	VSV	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros	21
15:00	22 °C	33%	1013 hPa	20 kilometri	SSV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	-	Nori risipiți	22
15:30	21.0 °C	40%	1013 hPa	10 kilometri	SV	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros	21
16:00	22.0 °C	38%	1013 hPa	10 kilometri	SSV	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros	22
16:30	22.0 °C	35%	1013 hPa	10 kilometri	SV	21.6 km/h / 6.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros	22
17:00	22.0 °C	38%	1013 hPa	10 kilometri	VSV	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros	22
17:30	22.0 °C	35%	1013 hPa	10 kilometri	vest	21.6 km/h / 6.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros	22
18:00	22 °C	32%	1013 hPa	20 kilometri	sud	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	-	Cer parțial noros	22
18:30	21.0 °C	40%	1013 hPa	10 kilometri	vest	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Nori risipiți	21
19:00	20.0 °C	43%	1013 hPa	10 kilometri	VSV	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Nori risipiți	20
19:30	20.0 °C	46%	1013 hPa	10 kilometri	vest	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Nori risipiți	20
20:00	20 °C	34%	1013 hPa	20 kilometri	SSV	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	-	Nori risipiți	20

18.05385

Tabelul 1.32

ANEXA 5

Temperatura Medie	12 °C
Temperatura Max	20 °C
Temperatura Min	4 °C
Umiditate medie [%]	69
Umiditate maxima [%]	100
Umiditate minima [%]	25
Presiunea atmosferică	1019.95 hPa

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 3.05.2008 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică	Vizibilitatea	Direcția vântului	Viteza vântului	Viteza rafalelor	Precipitații	Evenimente, Condiții
07:30	8.0 °C	93%	1019 hPa	6 kilometri	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Ceată ușoară
08:00	9 °C	88%	1020 hPa	20 kilometri	ENE	3.6 km/h /	-	-	Căderi ușoare de ploaie
08:30	11.0 °C	88%	1020 hPa	-	VNV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
09:00	12 °C	78%	1020 hPa	20 kilometri	VNV	3.6 km/h /	-	-	Cer parțial noros
09:30	12.0 °C	88%	1021 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
10:00	13 °C	89%	1021 hPa	20 kilometri	NNV	3.6 km/h /	-	-	Nori risipiti
10:30	15.0 °C	72%	1021 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
11:00	15 °C	59%	1021 hPa	20 kilometri	NNV	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	-	Nori risipiti
11:30	16.0 °C	63%	1021 hPa	-	variabil	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
12:00	17.0 °C	59%	1021 hPa	-	NE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
12:30	18.0 °C	45%	1021 hPa	10 kilometri	NNE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Nori risipiti
13:00	19 °C	38%	1020 hPa	20 kilometri	nord	10.8 km/h /	-	-	Nori risipiti
13:30	19.0 °C	48%	1020 hPa	10 kilometri	nord	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Nori risipiti
14:00	19.0 °C	37%	1020 hPa	10 kilometri	nord	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Nori risipiti
14:30	19.0 °C	40%	1020 hPa	10 kilometri	NNE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Nori risipiti
15:00	19 °C	25%	1020 hPa	20 kilometri	nord	10.8 km/h /	-	-	Cer parțial noros
15:30	17.0 °C	48%	1020 hPa	10 kilometri	nord	28.8 km/h / 8.0 m/s	50.4 km/h / 14.0 m/s	N/A	Nori risipiti

15,17647

Tabelul 1.33

ANEXA 5

Temperatura Medie	12 °C
Temperatura Max	20 °C
Temperatura Min	3 °C
Umiditate medie [%]	51
Umiditate maxima [%]	88
Umiditate minima [%]	20
Presiunea atmosferică	1016.70 hPa

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 8.05.2008 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică	Vizibilitatea	Direcția vântului	Viteza vântului	Viteza rafelelor	Precipitații	Evenimente, Condiții	
06:30	5.0 °C	81%	1017 hPa	-	variabil	3.8 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin	5
07:00	5.0 °C	81%	1017 hPa	-	vest	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin	5
07:30	6.0 °C	81%	1017 hPa	-	vest	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin	6
08:00	8.0 °C	76%	1017 hPa	-	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin	8
08:30	11.0 °C	67%	1017 hPa	-	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin	11
09:00	12.0 °C	62%	1017 hPa	-	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin	12
09:30	14.0 °C	55%	1017 hPa	-	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin	14
10:00	14 °C	46%	1018 hPa	20 kilometri	nord	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	-	Cer senin	14
10:30	16.0 °C	48%	1017 hPa	-	nord	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin	16
11:00	17.0 °C	36%	1018 hPa	-	nord	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin	17
11:30	18.0 °C	37%	1018 hPa	-	nord	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin	18
12:00	18 °C	26%	1017 hPa	20 kilometri	NNV	10.8 km/h / 14.4 km/h / 4.0 m/s	-	-	Cer senin	18
12:30	18.0 °C	40%	1017 hPa	-	nord	4.0 m/s	-	N/A	Cer senin	18
13:00	18 °C	21%	1017 hPa	20 kilometri	nord	10.8 km/h / 14.4 km/h / 4.0 m/s	-	-	Cer senin	18
13:30	18.0 °C	40%	1017 hPa	10 kilometri	nord	4.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros	18
14:00	19.0 °C	37%	1017 hPa	10 kilometri	nord	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros	19
14:30	19.0 °C	37%	1017 hPa	10 kilometri	NNV	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros	19
15:00	19.0 °C	35%	1017 hPa	10 kilometri	NNV	14.4 km/h / 4.0 m/s	32.4 km/h / 9.0 m/s	N/A	Cer în general noros	19
15:30	20.0 °C	35%	1016 hPa	10 kilometri	NNV	21.6 km/h / 6.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros	20
16:00	20.0 °C	35%	1016 hPa	10 kilometri	NNE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros	20
16:30	20.0 °C	35%	1016 hPa	10 kilometri	NE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros	20
17:00	19 °C	20%	1016 hPa	20 kilometri	NNE	10.8 km/h /	-	-	Cer parțial noros	19
17:30	19 °C	20%	1016 hPa	-	NNE	12.8 km/h /	-	-	Cer parțial noros	19
18:00	19 °C	23%	1015 hPa	20 kilometri	nord	10.8 km/h /	-	-	Noni risipiți	19
18:30	19.0 °C	37%	1015 hPa	-	NNE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin	19
19:00	20 °C	26%	1015 hPa	20 kilometri	NV	7.2 km/h /	-	-	Noni risipiți	20

16,80789

Tabelul 1.34

ANEXA 5

Temperatura Medie	12 °C
Temperatura Max	19 °C
Temperatura Min	6 °C
Umiditate medie [%]	67
Umiditate maxima [%]	100
Umiditate minima [%]	31
Presiunea atmosferică	1016.29 hPa

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 9.05.2008 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică	Vizibilitatea	Directia vântului	Viteza vântului	Viteza rafalelor	Precipitații	Evenimente, Condiții
06:00	8 °C	87%	1016 hPa	2 kilometri	NNE	3.6 km/h / 4.0 m/s	-	-	Ceată
06:30	9.0 °C	93%	1016 hPa	-	NNE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
07:00	9.0 °C	100%	1016 hPa	-	NNE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
07:30	10.0 °C	94%	1016 hPa	-	NNE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
08:00	10.0 °C	94%	1016 hPa	-	NE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
08:30	11.0 °C	88%	1016 hPa	-	NNE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
09:00	11.0 °C	88%	1016 hPa	-	NNE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
09:30	13.0 °C	82%	1016 hPa	-	NNE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
10:00	14.0 °C	67%	1016 hPa	-	NE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
10:30	15.0 °C	55%	1017 hPa	-	NNE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
11:00	14 °C	57%	1017 hPa	20 kilometri	nord	10.8 km/h / 4.0 m/s	-	-	Nori risipiti
11:30	15.0 °C	56%	1017 hPa	10 kilometri	NNE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer parțial noros
12:00	16 °C	44%	1017 hPa	20 kilometri	nord	10.8 km/h / 4.0 m/s	-	-	Cer parțial noros
12:30	17.0 °C	45%	1017 hPa	10 kilometri	nord	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Nori risipiti
13:00	17 °C	33%	1017 hPa	20 kilometri	nord	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	-	Cer parțial noros
13:30	18.0 °C	42%	1017 hPa	10 kilometri	NNE	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Nori risipiti
14:00	18 °C	37%	1016 hPa	20 kilometri	nord	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	-	Cer parțial noros
14:30	18.0 °C	45%	1017 hPa	10 kilometri	NNE	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
15:00	18 °C	32%	1016 hPa	20 kilometri	nord	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	-	Cer parțial noros
15:30	19.0 °C	43%	1016 hPa	10 kilometri	nord	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
16:00	17 °C	31%	1016 hPa	20 kilometri	nord	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	-	Cer în general noros
16:30	17.0 °C	45%	1016 hPa	10 kilometri	nord	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Ploaie Căderi ușoare de ploaie
17:00	17 °C	31%	1016 hPa	20 kilometri	NV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	-	Cer parțial noros
17:30	18.0 °C	45%	1016 hPa	10 kilometri	nord	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Nori risipiti
18:00	17.0 °C	42%	1016 hPa	10 kilometri	nord	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
18:30	17.0 °C	45%	1016 hPa	10 kilometri	NNV	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
19:00	17.0 °C	42%	1016 hPa	10 kilometri	nord	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
19:30	16.0 °C	45%	1016 hPa	10 kilometri	NNV	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer în general noros
20:00	16.0 °C	52%	1017 hPa	-	NNV	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
20:30	15.0 °C	55%	1017 hPa	-	nord	18.0 km/h / 5.0 m/s	-	N/A	Cer senin
21:00	14.0 °C	56%	1017 hPa	-	NNV	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
21:30	12.0 °C	67%	1017 hPa	-	NNV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
22:00	11.0 °C	71%	1017 hPa	-	NNV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
22:30	11.0 °C	71%	1018 hPa	10 kilometri	NNV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
23:00	11.0 °C	71%	1018 hPa	-	NNV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
23:30	10.0 °C	76%	1018 hPa	10 kilometri	NNV	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer parțial noros

56%

14,33333

Tabelul 1.35

ANEXA 5

Temperatura Medie	12 °C
Temperatura Max	20 °C
Temperatura Min	4 °C
Umiditate medie [%]	58
Umiditate maxima [%]	93
Umiditate minima [%]	22
Presiunea atmosferică	1018.44 hPa

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 10.05.2008 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică	Vizibilitatea	Direcția vântului	Viteza vântului	Viteza rafaelor	Precipitații	Evenimente, Condiții
00:00	13 °C	49%	1018 hPa	20 kilometri	NNV	7.2 km/h / 3.6 km/h /	-	-	Cer senin
00:30	9.0 °C	82%	1018 hPa	10 kilometri	variabil	1.0 m/s 3.6 km/h /	-	N/A	Cer senin
01:00	9.0 °C	76%	1018 hPa	-	variabil	1.0 m/s 7.2 km/h /	-	N/A	Cer senin
01:30	9.0 °C	76%	1018 hPa	10 kilometri	NE	2.0 m/s 3.6 km/h /	-	N/A	Cer senin
02:00	9 °C	65%	1018 hPa	20 kilometri	NNV	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	-	Cer senin
02:00	8.0 °C	81%	1018 hPa	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
02:30	7.0 °C	81%	1018 hPa	10 kilometri	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
03:00	7.0 °C	87%	1018 hPa	-	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin
03:30	8.0 °C	76%	1018 hPa	10 kilometri	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin
04:00	7 °C	75%	1018 hPa	20 kilometri	NNE	3.6 km/h /	-	-	Cer senin
04:30	7.0 °C	81%	1018 hPa	10 kilometri	Liniștit	Liniștit	-	N/A	Cer senin
05:00	6 °C	81%	1019 hPa	20 kilometri	Liniștit	Liniștit	-	-	Cer senin
05:30	6.0 °C	81%	1018 hPa	-	variabil	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Cer senin
06:00	5.0 °C	87%	1018 hPa	-	Liniștit	Liniștit	-	N/A	Cer senin
06:30	4.0 °C	93%	1019 hPa	-	vest	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
07:00	6 °C	79%	1019 hPa	20 kilometri	nord	3.6 km/h / 7.2 km/h /	-	-	Nori risipii
07:30	7.0 °C	87%	1019 hPa	-	NE	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
08:00	8 °C	70%	1019 hPa	20 kilometri	NNV	7.2 km/h / 3.6 km/h /	-	-	Cer parțial noros
08:30	9.0 °C	82%	1019 hPa	-	variabil	1.0 m/s 10.8 km/h /	-	N/A	Cer senin
09:00	12.0 °C	72%	1019 hPa	-	NE	3.0 m/s 14.4 km/h /	-	N/A	Cer senin
09:30	13.0 °C	67%	1019 hPa	-	NE	4.0 m/s 14.4 km/h /	-	N/A	Cer senin
10:00	15.0 °C	63%	1019 hPa	-	nord	4.0 m/s 18.0 km/h /	-	N/A	Cer senin
10:30	16.0 °C	55%	1019 hPa	-	NNE	5.0 m/s 18.0 km/h /	-	N/A	Cer senin
11:00	16.0 °C	55%	1019 hPa	-	NE	5.0 m/s 18.0 km/h /	-	N/A	Cer senin
11:30	17.0 °C	48%	1019 hPa	10 kilometri	NNE	5.0 m/s 10.8 km/h /	-	N/A	Cer parțial noros
12:00	17 °C	37%	1019 hPa	20 kilometri	NNE	18.0 km/h /	-	-	Nori risipii
12:30	18.0 °C	42%	1019 hPa	10 kilometri	NNE	5.0 m/s	-	N/A	Cer parțial noros
13:00	18 °C	29%	1019 hPa	20 kilometri	nord	14.4 km/h	-	-	Cer parțial noros

10.21429

Tabelul 1.40

ANEXA 5

Temperatura Medie	22 °C
Temperatura Max	32 °C
Temperatura Min	12 °C
Umiditate medie [%]	52
Umiditate maxima [%]	80
Umiditate minima [%]	15
Presiunea atmosferică	1014.52 hPa

Condiții atmosferice pe durata măsurătorilor, 20.07.2008 [56]

Ora	Temperatura	Umiditatea	Presiunea atmosferică		Vizibilitatea	Directia vântului	Viteza vântului	Viteza rafalelor	Precipitații	Evenimente, Condiții
08:30	19.0 °C	73%	1016 hPa	1016	-	SSE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
09:00	20 °C	60%	1016 hPa	1016	20 kilometri	ESE	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	-	Cer senin
09:30	23.0 °C	61%	1016 hPa	1016	-	SSE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
10:00	24.0 °C	53%	1016 hPa	1016	-	SSE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
10:30	25.0 °C	50%	1016 hPa	1016	-	SE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
11:00	26.0 °C	42%	1016 hPa	1016	-	SSE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
11:30	27.0 °C	38%	1016 hPa	1016	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
12:00	28.0 °C	35%	1016 hPa	1016	-	SSV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
12:30	28.0 °C	35%	1016 hPa	1016	-	SE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
13:00	28.0 °C	32%	1015 hPa	1015	-	ESE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
13:30	29.0 °C	30%	1015 hPa	1015	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
14:00	29.0 °C	29%	1015 hPa	1015	-	SV	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
14:30	30.0 °C	27%	1015 hPa	1015	-	ESE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer senin
15:00	30.0 °C	27%	1015 hPa	1015	10 kilometri	SE	10.8 km/h / 3.0 m/s	-	N/A	Cer parțial noros
15:30	31.0 °C	25%	1014 hPa	1014	10 kilometri	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer parțial noros
16:00	31 °C	16%	1014 hPa	1014	20 kilometri	ESE	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	-	Nori risipiti
16:30	31.0 °C	25%	1014 hPa	1014	10 kilometri	SE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer parțial noros
17:00	31 °C	16%	1013 hPa	1013	20 kilometri	ESE	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	-	Nori risipiti
17:30	32.0 °C	22%	1013 hPa	1013	-	SSE	14.4 km/h / 4.0 m/s	-	N/A	Cer senin
18:00	32 °C	15%	1013 hPa	1013	20 kilometri	SSE	3.6 km/h / 1.0 m/s	-	-	Nori risipiti
18:30	31.0 °C	24%	1013 hPa	1013	-	variabil	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	N/A	Cer senin
19:00	31 °C	16%	1012 hPa	1012	20 kilometri	SE	7.2 km/h / 2.0 m/s	-	-	Nori risipiti

27,95455