

OPTIMIZAREA UNEI CENTRALE TERMOSOLARE CU LENTILĂ FRESNEL ȘI MOTOR STIRLING

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea Politehnica Timișoara
în domeniul INGINERIE ELECTRICĂ
de către

Ing. Simona Ilie

Conducător științific:	prof.univ.dr.ing. Dumitru Toader
Referenți științifici:	prof.univ.dr.ing. Zeno Schlett
	prof.univ.dr.ing. Teodor Leuca
	prof.univ.dr.ing. Aldo De Sabata

Ziua susținerii tezei: 12 iulie 2017

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|---|--|
| 1. Automatică | 9. Inginerie Mecanică |
| 2. Chimie | 10. Știința Calculatoarelor |
| 3. Energetică | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 4. Ingineria Chimică | 12. Ingineria sistemelor |
| 5. Inginerie Civilă | 13. Inginerie energetică |
| 6. Inginerie Electrică | 14. Calculatoare și tehnologia informației |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 15. Ingineria materialelor |
| 8. Inginerie Industrială | 16. Inginerie și Management |

Universitatea Politehnica 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, 2017

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 Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

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

Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborată pe o perioadă de mai mulți ani pe parcursul stagiului doctoral efectuat în cadrul Facultății de Electrotehnică și Electroenergetică a Universității Politehnica Timișoara, sub îndrumarea permanentă, generoasă și plină de înțelegere a conducătorului de doctorat, Prof. dr. ing. Dumitru Toader, căruia îi adresez cele mai respectuoase mulțumiri pentru modul în care a știut să mă coordoneze pe parcursul tezei de doctorat cât și pentru sfaturile de viață primite.

Lucrarea reprezintă o sinteză a activității din domeniul de cercetare Inginerie Electrică, în cadrul studiilor doctorale cu frecvență la Universitatea Politehnica Timișoara, desfășurate în ultimul an în cadrul proiectului POSDRU "Burse doctorale și postdoctorale pentru cercetare de excelență", ID 134378.

Doresc să le mulțumesc în mod special membrilor comisiei de îndrumare a tezei de doctorat, domnului Ș. I. dr. Ioan Luminosu, Conf. dr. ing. Marian Greconici și Conf. dr. ing. Dumitru Irimia precum și cadrelor cu care am avut o frumoasă colaborare de-a lungul anilor, pentru sfaturile utile, încurajări și sprijin moral; mulțumesc doamnei Conf. dr. Floricica Barvinschi, domnului Conf. dr. ing. Constantin Blaj și de asemenea mulțumesc mult doamnelor Conf. dr. Nicolina Pop și Ș.I. dr. ing. Delia-Gabriela Trif-Tordai.

Alese mulțumiri directorului Departamentului Bazele Fizice ale Ingineriei, precum și conducerii Universității Politehnica Timișoara, cadrelor didactice, colegilor și tuturor oamenilor cu sufletul mare care au contribuit la formarea și dezvoltarea mea profesională.

În acest sens le aduc sincere mulțumiri d-lui Conf. dr. ing. Ciprian Șorândaru, Prof. dr. ing. Traian Jurca, dl. Lector dr. ing. Andras Ferencz, Ș.I. dr. ing. Virgil Stoica, d-lui prorector Prof. univ. dr. ing. Daniel Dan precum și d-rei ing. Cristina Tănasă.

De asemenea, doresc să mulțumesc domnului Prof. dr. Ioan F. Schneider pentru frumoasa colaborare, pentru ajutorul, îndrumarea și activitatea științifică deosebită concretizată cu numeroase lucrări valoroase. Mulțumesc colegilor și colectivului de la Universitatea Le Havre din Franța.

Doresc să remarc, alăturând recunoștința mea, ajutorul de care am beneficiat de la domnul Lector Univ. Traian Zamfir, prin asigurarea echipamentelor necesare; pentru colaborarea în cadrul unor contracte de cercetare cât și pentru întreg sprijinul oferit.

Mulțumesc în mod deosebit membrilor comisiei de analiză a tezei de doctorat, domnului Prof. univ. dr. ing. Zeno Schlett, Prof. univ. dr. ing. Teodor Leuca, precum și domnului Prof. univ. dr. ing. Aldo De Sabata.

Doresc să mulțumesc familiei mele; bunicului, mamei și surorii pentru întreg sprijinul moral și financiar, pentru ajutorul tehnic oferit, pentru timpul acordat în elaborarea acestei lucrări, pentru iubire, înțelegere și încurajare continuă.

Mulțumiri d-lui ing. Florin Alexandru Novac pentru sprijinul moral, pentru ideile de îmbunătățire oferite în cadrul elaborării tezei de doctorat, pentru ajutorul tehnic și sfaturile utile pe care mi-i le-a acordat privind instalația experimentală.

Doresc să le mulțumesc prietenilor dragi care au fost alături de mine pe tot parcursul elaborării tezei de doctorat și care m-au susținut și încurajat continuu.

Mulțumesc membrilor familiei mele, care deși astăzi nu mai sunt lângă mine; tatălui și bunicilor mele; fără ei, fără educația și sfaturile date pe parcursul vieții, iubirea și sprijinul necondiționat, nu a-și fi ajuns astăzi aici.

Nu în ultimul rând mulțumesc Divinității, care m-a inspirat în alegerea drumului parcurs și care a făcut posibilă întâlnirea cu toți acești oameni deosebiți; mulțumesc pentru sănătate, înțelepciune, curaj și bucuria datorate pe toată perioada elaborării tezei de doctorat.

Timișoara, Iunie 2017

Simona ILIE

ILIE, Simona

OPTIMIZAREA UNEI CENTRALE TERMOSOLARE CU LENTILĂ FRESNEL ȘI MOTOR STIRLING

Teze de doctorat ale UPT, Seria 6, Nr. 42, Editura Politehnica, 2017, 194 pagini, 122 figuri, 31 tabele, 12 anexe.

ISSN:1842-7022

ISBN:978-606-35-0153-1

Cuvinte cheie: Energii regenerabile, centrale termosolare, lentile Fresnel, motoare Stirling, modelări numerice.

Rezumat: Scopul general al lucrării se referă la crearea unei instalații experimentale de centrală termoelectrică cu lentilă Fresnel și motor Stirling pentru obținerea de energie termică și electrică și identificarea posibilităților de optimizare a centralei în scopul producerii la scară largă a acestor tipuri de sisteme prin oferirea de informații asupra rezultatelor obținute cu ajutorul valorilor măsurate.

Capitolul unu prezintă politicile energetice ale Uniunii Europene și a României; impactului exploatarei resurselor primare de energie asupra mediului precum; a energiilor regenerabile și obiectivele României în acest sens; precum și potențialului energetic al României, cu preponderență în zona de Vest.

Capitolul doi este dedicat studiului energiei solare, precum și a aspectelor privind utilizarea energiei solare la centralele termoelectrice-solare care au în componență lentile Fresnel și motoare Stirling. Este analizată iradianța solară și potențialul solar în zona de Vest a României, acolo unde s-au făcut determinări experimentale cu ajutorul modelului experimental de centrală termo-solară cu lentile Fresnel și motoare Stirling.

În capitolul trei sunt prezentate cele trei modele experimentale de centrală termo-solară cu lentilă Fresnel și motor Stirling, concepute și realizate, în condiții de laborator și în condiții reale.

În capitolul patru se prezintă modelul analitic și numeric pentru analiza funcționării motorului Stirling. Se determină ciclul de funcționare al motorului (diagrama presiune-volum). Se prezintă, de asemenea, modelul numeric conceput care ne permite să analizăm randamentul și puterea motorului.

În capitolul cinci se analizează numeric transferul de căldură în interiorul motorului Stirling; sunt descriși pașii realizării modelului precum și stabilirea regimului de funcționare și a condițiilor la limită. Tot aici se analizează modelul numeric pentru generatorul electric, schema de principiu și parametrii generatorului.

În capitolul șase sunt prezentate rezultatele determinărilor experimentale ale diferitelor instalații de centrală termoelectrică cu lentilă Fresnel și motor Stirling în condiții reale, precum și în condiții de laborator.

Capitolul șapte este dedicat analizei economice și soluțiilor de optimizare a unui parc de centrale termoelectrice cu lentile Fresnel și motoare Stirling.

În ultimul capitol se prezintă principalele concluzii rezultate în urma studiului realizat, precum și principale contribuții științifice ale autoarei prezentate în teza de doctorat.

CUPRINS

CUPRINS	5
ACRONIME	9
LISTA DE FIGURI	11
LISTA DE TABELE	15
1. INTRODUCERE	17
1.1. Generalități	17
1.2. Scop, obiective și structură	21
2. ENERGIA SOLARĂ. ASPECTE PRIVIND UTILIZAREA ACESTEIA LA CENTRALE TERMoeLECTRICE-SOLARE	23
2.1. Potențialul solar al României.....	25
2.2. Irradianța solară	27
2.3. Concentratoare de radiație solară.....	33
2.3.1 Generalități.....	33
2.3.2 Clasificare captatoare solare cu concentrator	34
2.3.2.1. Factorul de concentrare	34
2.3.2.2. Capacitatea de urmărire a Soarelui pe cer	35
2.3.2.3. Tehnologia de concentrare a radiației solare	35
2.3.2.4. Tipuri de lentile Fresnel	36
2.4. Considerații generale asupra tipurilor de motoare Stirling.....	37
2.5. Concluzii și contribuții personale	41
3. MODEL EXPERIMENTAL DE CENTRALĂ TERMoeLECTRICĂ SOLARĂ CU MOTOR STIRLING ȘI LENTILĂ FRESNEL	43
3.1. Model experimental cu motor Stirling tip beta.....	44
3.2. Model experimental cu motor Stirling tip gamma	45
3.3. Descrierea instalației experimentale pilot	46
3.4. Descrierea echipamentelor conexe	59
3.5. Sistem pentru urmărirea Soarelui	63
3.6. Mentenanță și reparații	63
3.7. Concluzii și contribuții personale	63
4. MODELUL ANALITIC ȘI NUMERIC AL MOTORULUI STIRLING	65
4.1. Modelul analitic al lui Schmidt.....	65
4.2. Calcul numeric diagrama P-V motor Stirling.....	70
4.2.1 Caz fără pâlnie, condiții de laborator, $n=610\text{rpm}$, $T_E=706\text{K}$, $T_C=387\text{K}$	71

6 Cuprins

4.2.2 Caz cu pâlnie de cupru, condiții de laborator, n=450rpm, $T_E=623K$, $T_C=320K$	71
4.2.3 Caz cu pâlnie de fier, condiții de laborator, n=500rpm, $T_E=594K$, $T_C=321K$	72
4.2.4 Caz cu pâlnie de aluminiu, în condiții de laborator, n=460rpm, $T_E=723K$, $T_C=336K$	72
4.2.5 Caz fără pâlnie în condiții reale, n=500rpm, $T_E=573K$, $T_C=441K$	73
4.2.6 Caz cu pâlnie de cupru, condiții reale, n=500rpm, $T_E=523K$, $T_C=323K$	73
4.2.7 Caz cu pâlnie de fier, condiții reale, n=580rpm, $T_E=633K$, $T_C=333K$	74
4.2.8 Caz cu pâlnie de aluminiu, în condiții reale, n=600rpm, $T_E=873K$, $T_C=453K$	74
4.2.9. Compararea rezultatelor obținute utilizând modelul numeric	75
4.3. Concluzii și contribuții personale	75
5. MODELE NUMERICE ALE MOTORULUI STIRLING ȘI A GENERATORULUI ELECTRIC	77
5.1. Model numeric pentru motorul Stirling	77
5.1.1. Considerații generale	77
5.1.2. Subdomeniile modelului geometric	79
5.1.3. Modelul numeric în mediul de programare COMSOL Multiphysics	81
5.1.4. Condițiile la frontieră	82
5.1.5. Etapele modelării globale a transferului căldurii în motorul Stirling cu pâlnie.....	83
5.1.5.1. Calcul staționar al distribuției de căldură în interiorul motorului Stirling.....	83
5.1.5.2. Simularea transferului de căldură în funcție de timp.....	85
5.1.6. Rezultate ale modelării globale a instalației Stirling cu pâlnie	86
5.1.6.1. Instalație cu pâlnie de cupru, regim tranzitoriu, $q_0=1250W/m^2$, $T_{inf}=309^{\circ}K$, $T_{Opâlnie}=873^{\circ}K$, $T_{0\ miez\ Fe}=1073^{\circ}K$	86
5.1.6.2 Instalație cu pâlnie de fier, regim tranzitoriu, $q_0=1100W/m^2$, $T_{inf}=309^{\circ}K$, $T_{Opâlnie}=873^{\circ}K$, $T_{0\ miez\ Fe}=973^{\circ}K$	87
5.1.6.3 Instalație cu pâlnie de aluminiu, regim tranzitoriu, $q_0=900W/m^2$, $T_{inf}=303^{\circ}K$, $T_{Opâlnie}=733^{\circ}K$, $T_{0\ miez\ Fe}=973^{\circ}K$	89
5.2. Model numeric pentru generatorul electric.....	91
5.2.1. Schema de principiu a mașinii electrice de curent continuu - generatorul electric.....	91
5.2.1.1. Parametrii: $R_{int}=21\Omega$, $L=0.5mH$, cuplu =0.5 Nm/A, $R=1100\Omega$	92
5.2.1.2. Parametrii: $R_{int}=21\Omega$, $L=0.5mH$, cuplu= 0.5 Nm/A, $R=300\Omega$	92
5.3. Concluzii și contribuții personale	93

6. DETERMINĂRI EXPERIMENTALE	95
6.1. Considerații generale	96
6.2. Determinarea transferului de energie de la lampa cu gaz la motorul Stirling	97
6.3. Determinarea randamentului lentilei Fresnel.....	97
6.4. Determinări experimentale în condiții de laborator	99
6.4.1. Determinări experimentale cu motor Stirling de tip beta	99
6.4.1.1. Motor Stirling tip beta fără pâlnie	101
6.4.1.2. Ansamblu motor Stirling și pâlnie de cupru	103
6.4.1.3. Ansamblu motor Stirling și pâlnie de fier	106
6.4.1.4. Ansamblu motor Stirling și pâlnie de aluminiu	108
6.4.2. Determinări experimentale cu motor Stirling de tip gamma	112
6.5. Determinări experimentale în condiții reale (prototip 3)	115
6.5.1. Motor Stirling fără pâlnie	116
6.5.2. Ansamblu motor Stirling cu pâlnie de cupru	118
6.5.3. Ansamblu motor Stirling cu pâlnie de fier	120
6.5.4. Ansamblu motor Stirling cu pâlnie de aluminiu	121
6.6. Concluzii și contribuții personale	123
7. ANALIZA ECONOMICĂ. SOLUȚII DE OPTIMIZARE A UNUI PARC DE CENTRALE TERMoeLECTRICE-SOLARE CU LENTILE FRESNEL ȘI MOTOARE STIRLING	127
7.1. Analiza economică	128
7.1.1. Costuri cu centrala termoelectrică-solară	128
7.2. Dimensionarea și optimizarea unei centrale termoelectrice-solare cu lentile Fresnel și motoare Stirling.....	129
7.2.1. Necesari de energie electrică.....	130
7.2.2. Zona de amplasare.....	131
7.2.3. Alegerea tipului de lentile și motoare Stirling	131
7.2.4. Alegerea invertoarelor și a blocurilor de comandă	132
7.2.5. Centrală termoelectrică-solară	133
7.3. Concluzii și contribuții personale	135
8. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE	137
BIBLIOGRAFIE	141
SINTEZA PRIVIND LUCRĂRILE PROPRII	149
ANEXA 1	151
ANEXA 2	159
ANEXA 3	167
ANEXA 4	175
ANEXA 5	177
ANEXA 6	179
ANEXA 7	181

8 Cuprins

ANEXA 8	183
ANEXA 9	185
ANEXA 10	187
ANEXA 11	189
ANEXA 12	191

ACRONIME

ACM	- apă caldă menajeră
Al	- Aluminiu
ANRE	- Autoritatea Națională de Reglementare în Domeniul Energiei
CE	- Comisia Europeană
CHP	- Combined Heat and Power
CO ₂	- Dioxid de carbon
Cr	- Crom
Cu	- Cupru
Fe	- Fier
G ₀	- Global solar radiation
G _b	- Beam solar radiation
G _d	- Diffuse solar radiation
GHG	- gaze cu efect de seră
IAS	- International Automated Systems Inc.
IEA	- Agenția Internațională pentru Energie
IR	- Infraroșu
LDR	- Light Dependent Resistor
LS01/02	- Solar Lens
LULUCF	- Land Use, Land-Use Change and Forestry
NI	- National Instruments
Ni	- nichel
ONU	- Organizația Națiunilor Unite
PK	- Protocolul de la Kyoto
PLC	- Programmable Logic Controller
PMMA	- poly-methyl-metha-crylat
POSCCE	- Programul Operațional Sectorial "Creșterea Competitivității Economice"
SMIS	- Sistemul Unic de Management al Informației

10 Acronime

- SRE – Surse de energie regenerabilă
- SRMS – Stația de Monitorizare a Radiației Solare
- UE – Uniunea Europeană
- UNFCCC – Secretariatul la Convenția Cadru a Națiunilor Unite pentru Schimbări Climatice
- UV – Ultraviolet
- WRC – World Radiation Center

LISTA DE FIGURI

Nr. crt.	Numărul figurii	Titlul figurii
1.	Figura 1.1	Obiectivul UE pentru 2020 (<i>Sursa: Comisia Europeană</i>) [***ECEUROPA]
2.	Figura 2.1.	Radiația solară în atmosferă
3.	Figura 2.2.	Potențialul energetic solar al României (<i>Sursa: ICPE, ANM, ICEMENERG</i>) [Turcu2009]
4.	Figura 2.3.	Durata medie anuală de strălucire a Soarelui în România (<i>Sursa: INMH</i>) [Bălan2013], [Turcu2009]
5.	Figura 2.4.	Iradianța solară globală a zilei medii pe 12 luni, anul 2010
6.	Figura 2.5.	Iradianța solară globală a zilei medii pe 12 luni, anul 2011
7.	Figura 2.6.	Iradianța solară globală a zilei medii pe 12 luni, anul 2012
8.	Figura 2.7.	Potențial solar mediu în Timișoara, anii 2010, 2011, 2012
9.	Figura 2.8.	Motor Stirling tip alfa cu simplă acțiune (<i>Sursa: https://www.ohio.edu/mechanical/stirling/</i>) [***OHIO]
10.	Figura 2.9.	Motor Stirling tip beta (<i>Sursa: http://www.mpoweruk.com/stirling_engine.htm</i>) [***MStirl]
11.	Figura 2.10.	Motor Stirling tip gamma (<i>Sursa: https://www.ohio.edu/mechanical/stirlinghtml</i>) [***OHIO]
12.	Figura 3.1	Imagine de ansamblu a instalației experimentale de laborator cu motor Stirling tip beta
13.	Figura 3.2	Imagine de ansamblu a instalației experimentale de laborator cu motor Stirling tip gamma
14.	Figura 3.3	Instalația experimentală – prototip 1
15.	Figura 3.4	Instalație experimentală prototip 2 - cadru suport vedere izometrică
16.	Figura 3.5	Instalație experimentală prototip 2 - Cadru suport vedere laterală
17.	Figura 3.6	Schema de principiu a instalației pilot - cadru suport vedere izometrică – prototip 3
18.	Figura 3.7	Imagine de ansamblu a instalației experimentale pilot (prototip 3)
19.	Figura 3.8	Montaj actuator
20.	Figura 3.9	Cote și dimensiuni actuator
21.	Figura 3.10	Modulul de control
22.	Figura 3.11a.	Lentila Fresnel
23.	Figura 3.11b.	Caneluri lentilă Fresnel
24.	Figura 3.12	Schița motor Stirling tip beta
25.	Figura 3.13	Motorul Stirling tip beta utilizat
26.	Figura 3.14	Motorul Stirling tip gamma
27.	Figura 3.15	Generator electric
28.	Figura3.16	Rezistor etalon
29.	Figura3.17	Rezistor variabil
30.	Figura3.18a.	Dimensionare pâlnii

Nr. crt.	Numărul figurii	Titlul figurii
31.	Figura3.18b	Pâlnii: a - pâlnie cupru, b - pâlnie fier, c - pâlnie aluminiu
32.	Figura3.19a.	Dimensionare discuri
33.	Figura3.19b.	Discuri: a – disc aluminiu, b – disc alamă, c – disc fier
34.	Figura3.20.	Instalație experimentală vas cu apă pentru determinare randament lentilă Fresnel
35.	Figura3.21	Instalație cu placă de aluminiu pentru determinare randament lentilă Fresnel
36.	Figura3.22	Pâlnie izolată fibră ceramică
37.	Figura3.23	Pâlnie izolată fibră ceramică și folie aluminiu
38.	Figura 3.24.	Șasiu NI cDAQ-9172
39.	Figura 3.25	Modul NI9201
40.	Figura 3.26	Multimetru M890G
41.	Figura 3.27	Multimetru UT33C
42.	Figura 3.28.	Piranometru Voltcraft PL-110SM
43.	Figura 3.29	Termometru laser
44.	Figura 3.30	Controller cu termocuplu Pt1000
45.	Figura 3.31	Anemometru
46.	Figura 3.32	Turometru laser Voltcraft DT-10L
47.	Figura 3.33	Schema măsurare cuplu motor
48.	Figura 3.34a.	Măsurare cuplu motor
49.	Figura 3.34b.	Greutăți etalon
50.	Figura 3.35	Cântar de precizie
51.	Figura 4.1.	Schema motorului Stirling de tip beta
52.	Figura 4.2.	Ciclul teoretic al motorului Stirling
53.	Figura 4.3.	a) Diagrama P-V b) Poziția pistonului de lucru
54.	Figura 4.4.	Diagrama P-V, condiții laborator, pâlnie cupru
55.	Figura 4.5.	Diagrama P-V, condiții laborator, pâlnie fier
56.	Figura 4.6.	Diagrama P-V, condiții laborator, pâlnie aluminiu
57.	Figura 4.7.	Diagrama P-V, condiții reale, fără pâlnie
58.	Figura 4.8.	Diagrama P-V, condiții reale, pâlnie cupru
59.	Figura 4.9.	Diagrama P-V, condiții reale, pâlnie fier
60.	Figura 4.10	Diagrama P-V, condiții reale, pâlnie aluminiu
61.	Figura 5.1	Fereastra principală, alegere model - regim staționar 2D axial-simetric
62.	Figura 5.2	Modelul geometric motor Stirling 2D-axial simetric, fără pâlnie
63.	Figura 5.3	Modelul geometric motor Stirling 2D-axial simetric, cu pâlnie
64.	Figura 5.4	Mesh instalație cu pâlnie, 1045 elemente, 569 grade de libertate
65.	Figura 5.5.	Modelul 2D-axial simetric al motorului Stirling, tip beta, cu pâlnie (Cu, Fe, Al) cu notațiile subdomeniilor și al frontierelor [Ilie2016a]
66.	Figura 5.6.	Subdomeniile modelului geometric - fereastra principală [***Comsol]
67.	Figura 5.7.	Selectare proprietăți materiale din librăria de materiale COMSOL [***Comsol]
68.	Figura 5.8.	Meniu setare condiții la frontieră
69.	Figura 5.9.a	Izoterme obținute pentru cazul staționar, la un flux solar incident $q_0^i=1115 \text{ W/m}^2$
70.	Figura 5.9.b	Distribuția căldurii în regim staționar, la un flux solar incident $q_0^i=1115 \text{ W/m}^2$
71.	Figura 5.10	Parametrii pentru soluționarea problemei în funcție de timp;

Nr. crt.	Numărul figurii	Titlul figurii
		alegerea intervalului de timp [***Comsol]
72.	Figura 5.11.	Izotermele la $t=100s$ pentru instalația cu pâlnie de cupru
73.	Figura 5.12.	Distribuția temperaturii pe axa Oz, $T = f(z,t)$, la $t = 1800$ și $t=2700s$, pâlnie cupru
74.	Figura 5.13.	Izotermele la timpul $t=100s$ pentru instalația cu pâlnie de fier
75.	Figura 5.14.	Distribuția temperaturii pe axa Oz, $T = f(z,t)$, la $t = 1800$ și $t=2700s$, pâlnie fier
76.	Figura 5.15.	Izotermele la timpul $t=100s$ pentru instalația cu pâlnie de aluminiu
77.	Figura 5.16.	Distribuția temperaturii pe axa z, $T = f(z, t)$, la $t = 1800s$ și $t=2700s$, pâlnie aluminiu
78.	Figura 5.17.	Schema de principiu generator electric
79.	Figura 5.18a.	Variația în timp a tensiunii la bornele generatorului electric
80.	Figura 5.18b.	Variația în timp a curentului prin sarcina generatorului electric
81.	Figura 5.19a.	Variația în timp a tensiunii la bornele generatorului electric
82.	Figura 5.19b.	Variația în timp a curentului prin sarcina generatorului electric
83.	Figura 6.1.	Diagrama bloc a instrumentului virtual pentru achiziția tensiunilor și curenților
84.	Figura 6.2.	Panoul frontal al instrumentului virtual achizitie-date-tensiune-curent.vi
85.	Figura 6.3.	Variația temperaturii plăcii de aluminiu în funcție de timp
86.	Figura 6.4.	Imagine de ansamblu a instalației experimentale de laborator cu motor Stirling tip beta
87.	Figura 6.5.	Evoluția tensiunii în raport cu timpul
88.	Figura 6.6.	Evoluția curentului în raport cu timpul
89.	Figura 6.7.	Puterea în raport cu rezistența
90.	Figura 6.8.	Temperaturile în focar - T1, pe partea caldă - T2 și partea rece - T3 a motorului Stirling, caz fără pâlnie
91.	Figura 6.9.	Tensiunea în raport cu timpul, caz pâlnie cupru
92.	Figura 6.10.	Evoluția curentului în raport cu timpul, caz pâlnie cupru
93.	Figura 6.11.	Puterea sistemului, caz fără pâlnie
94.	Figura 6.12.	Temperaturile în focar - T1, pe partea caldă - T2 și partea rece - T3 a motorului Stirling, caz pâlnie cupru
95.	Figura 6.13.	Evoluția tensiunii raportată la timp, caz pâlnie fier
96.	Figura 6.14.	Evoluția curentului raportat la unitatea de timp, caz pâlnie fier
97.	Figura 6.15.	Puterea sistemului, caz pâlnie fier
98.	Figura 6.16.	Temperaturile în focar - T1, pe partea caldă - T2 și partea rece - T3 a motorului Stirling, caz pâlnie fier
99.	Figura 6.17.	Evoluția tensiunii față de timp, caz pâlnie aluminiu
100.	Figura 6.18.	Evoluția curentului față de timp, caz pâlnie aluminiu
101.	Figura 6.19.	Puterea sistemului, caz pâlnie aluminiu
102.	Figura 6.20.	Temperaturile în focar - T1, pe partea caldă - T2 și partea rece - T3 a motorului Stirling, caz pâlnie aluminiu
103.	Figura 6.21.	Dependența tensiunii la bornele generatorului funcție de rezistența de sarcină
104.	Figura 6.22.	Dependența randamentului generatorului funcție de rezistența de sarcină
105.	Figura 6.23.	Imagine de ansamblu a instalației experimentale de laborator cu motor Stirling tip gamma
106.	Figura 6.24.	Evoluția tensiunii funcție de timp, motor Stirling tip gamma

Nr. crt.	Numărul figurii	Titlul figurii
107.	Figura 6.25.	Evoluția curentului față de timp, motor Stirling tip gamma
108.	Figura 6.26.	Temperaturile în zona caldă - T1, zona rece - T2 a motorului Stirling tip gamma
109.	Figura 6.27.	Imagine de ansamblu a instalației experimentale pilot (prototip3)
110.	Figura 6.28.	Evoluția tensiunii funcție de timp, motor Stirling tip beta fără pâlnie
111.	Figura 6.29.	Temperaturile în focar - T1, pe partea caldă - T2 și partea rece - T3 a motorului Stirling tip beta fără pâlnie
112.	Figura 6.30.	Evoluția tensiunii funcție de timp, motor Stirling tip beta cu pâlnie din cupru
113.	Figura 6.31.	Temperaturile în focar - T1, pe partea caldă - T2 și partea rece - T3 a motorului Stirling, cu pâlnie de cupru
114.	Figura 6.32.	Evoluția tensiunii funcție de timp, motor Stirling tip beta cu pâlnie din fier
115.	Figura 6.33.	Temperaturile în focar - T1, pe partea caldă - T2 și partea rece - T3 a motorului Stirling, cu pâlnie din fier
116.	Figura 6.34.	Evoluția tensiunii funcție de timp, motor Stirling tip beta cu pâlnie din aluminiu
117.	Figura 6.35.	Temperaturile în focar - T1, pe partea caldă - T2 și partea rece - T3 a motorului Stirling, cu pâlnie din aluminiu
118.	Figura 7.1.	Instalație centrală termoelectrică-solară cu lentile Fresnel și motoare Stirling
119.	Figura 7.2.	Prognoza pentru radiația difuză și globală (2030)
120.	Figura 7.3.	Prognoză temperaturi (până în anul 2030)
121.	Figura 7.4.	Sistem țevi înfășurate pe partea caldă (focar) și partea caldă radiator motor Stirling
122.	Figura 7.5.	Schemă a unei centrale termoelectrice-solare cu lentile Fresnel și motoare Stirling integrate cu sistemul clasic de încălzire și sistemul electric

LISTA DE TABELE

Nr. crt.	Numărul tabelului	Titlul tabelului
1.	Tabelul 2.1.	Iradianța solară globală a zilei medii pentru anul 2010
2.	Tabelul 2.2.	Iradianța solară globală a zilei medii pentru anul 2011
3.	Tabelul 2.3.	Iradianța solară globală a zilei medii pentru anul 2012
4.	Tabelul 2.4.	Media iradianței solare globale a zilei medii pentru cei trei ani: 2010, 2011, 2012
5.	Tabelul 4.1.	Simboluri folosite în modelul Schmidt
6.	Tabelul 4.2.	Comparații ale rezultatelor obținute în condiții de laborator și condiții reale
7.	Tabelul 5.1	Subdomeniile modelului geometric al motorului Stirling cu pâlnie [Ilie2016a]
8.	Tabelul 5.2.	Proprietățile materialelor utilizate în modelarea transferului căldurii [Ilie2016a]
9.	Tabelul 5.3.	Parametrii utilizați în simularea globală a transferului căldurii în motorul Stirling cu pâlnie [Ilie2016a]
10.	Tabelul 5.4.	Temperatura în patru puncte diferite la suprafața pâlniei de Cu
11.	Tabelul 5.5.	Temperatura în patru puncte diferite la suprafața pâlniei de Fe
12.	Tabelul 5.6.	Temperatura în patru puncte diferite la suprafața pâlniei de Al
13.	Tabelul 5.7.	Comparație între datele măsurate și calculate [Ilie2016a], [Ilie2016b], [Ilie2016c]
14.	Tabelul 6.1.	I_{sc} și U_{gol}
15.	Tabel 6.2.	Rezultate experimentale încălzire motor Stirling tip beta
16.	Tabel 6.3.	Rezultate experimentale motor Stirling tip beta fără pâlnie
17.	Tabel 6.4.	Date experimentale motor Stirling tip beta cu pâlnie de cupru
18.	Tabel 6.5.	Date experimentale motor Stirling tip beta cu pâlnie fier
19.	Tabel 6.6.	Date experimentale motor Stirling tip beta cu pâlnie aluminiu
20.	Tabelul 6.7.	I_{sc} și U_{gol}
21.	Tabelul 6.8.	Date experimentale în condiții de laborator, încălzire motor Stirling tip gamma la data de 31Mai 2016
22.	Tabelul 6.9.	Date experimentale în condiții de laborator, motor Stirling tip gamma, timp $t=0$ după 190s
23.	Tabelul 6.10.	Rezultate experimentale în condiții reale, motor Stirling fără pâlnie
24.	Tabelul 6.11.	Rezultate experimentale în condiții reale, motor Stirling cu pâlnie din cupru
25.	Tabelul 6.12.	Rezultate experimentale în condiții reale, motor Stirling cu

Nr. crt.	Numărul tabelului	Titlul tabelului
26.	Tabelul 6.13.	pâlnie din fier Rezultate experimentale în condiții reale, motor Stirling cu pâlnie din aluminiu
27.	Tabelul 7.1.	Necesarul de materiale
28.	Tabelul 7.2.	Costuri de montaj, regie, consumabile, întreținere instalație
29.	Tabelul 7.3.	Total costuri
30.	Tabelul 7.4.	Cost energie electrică la cursul euro de la 1 octombrie 2015
31.	Tabelul 7.5.	Consumul de energie electrică considerat

1. INTRODUCERE

1.1. Generalități

Folosirea intensă a combustibililor clasici (cărbunele, petrolul și gazele naturale) ca surse de energie, a dus pe de o parte la diminuarea îngrijorătoare a zăcămintelor cu perspectiva ca aceste să se epuizeze într-un timp relativ scurt, iar pe de altă parte arderea acestor combustibili a condus la o poluare puternică a mediului înconjurător. La nivel global, între anii 1970 și 2004 a avut loc cea mai mare creștere a emisiilor de CO₂, în sectorul energetic, de 145%, urmat de sectorul transporturi cu 120% [Strategia2012], [Gheorghe2011], [***CNRCME].

Ca urmare, se impune adoptarea unor măsuri care să contribuie la reducerea emisiilor de CO₂, astfel încât concentrația maximă de CO₂ în atmosferă să nu depășească nivelul de la care fenomenul de încălzire globală poate genera modificări ireversibile ale climei [***Directiva 2004/35/CE].

Diminuarea consumului de combustibili clasici conduce la creșterea intervalului de timp până când acestea se vor epuiza și totodată la îmbunătățirea condițiilor de viață pe pământ. Unul din efectele poluării mediului înconjurător constă într-o încălzire globală tot mai accentuată a pământului.

Schimbările climatice tot mai dramatice, provocate de poluarea excesivă a mediului înconjurător devin ireversibile și pot conduce la cataclisme. Din acest motiv la nivelul Uniunii Europene, implicit în toate statele membre, s-au adoptat măsuri care să conducă la reducerea poluării aerului și în special a emisiilor de gaze cu efect de seră [Directiva 2004/35/CE], [Directiva 2008/99/CE], [***Directiva 97/68/CE], [Directiva 2010/26/UE], [Directiva 2010/75/UE], [Directiva 2008/1/CE].

Consiliul Europei a stabilit ca până în anul 2020 să fie reduse emisiile cu gaze ce au efect de seră cu 20% față de nivelul anului 1990. Acest obiectiv poate fi atins prin creșterea ponderii surselor de energie regenerabilă în total producție energie electrică până la 20% și prin reducerea consumului de combustibili clasici în producția de energie electrică cu 20%. Uniunea Europeană a adoptat, prin Comisia Europeană, în octombrie 2009 Planul Strategic European pentru Tehnologiile Energetice – Către un viitor cu emisii reduse de carbon.

În această strategie se propune dezvoltarea tehnologiilor energetice nepoluante, utilizarea surselor regenerabile de energie, creșterea eficienței energetice, reducerea emisiilor de bioxid de carbon. Aceste măsuri sunt foarte importante pentru industria energetică deoarece aceasta generează aproximativ 80% totalitatea gazelor cu efect de seră [Nicolescu2013].

În figura 1.1 sunt prezentate obiectivele țărilor membre ale Uniunii Europene privind ponderea pe care sursele de energie cu energie regenerabilă să reprezinte în total producție de energie electrică la nivelul anului 2020 comparativ cu anul 2011. Din această diagramă se constată că în România ponderea surselor regenerabile de energie în total producție de energie electrică depășește obiectivul impus pentru anul 2020. În această situație mai sunt opt

țări europene. România este din acest punct de vedere peste media europeană și la nivelul anului 2011.

În anul 1992, în cadrul Conferinței de la Rio, a fost discutată, pentru prima dată, de Organizația Națiunilor Unite problema schimbărilor climatice, iar ca urmare a acestei dezbateri, s-a înființat Secretariatul la Convenția Cadru a Națiunilor Unite pentru Schimbări Climatice (UNFCCC).

Mai apoi în anul 1997, o serie de state au semnat Protocolul de la Kyoto (PK), al cărui obiectiv principal o reprezintă reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră (GHG) [ANRE2013], [Plan2013], [INSB2013]. Programul de utilizare a surselor regenerabile de energie se înscrie în cerințele de mediu asumate prin Protocolul de la Kyoto la Convenția – Cadru a ONU asupra schimbărilor climatice, adoptată în 11.12.1997 și ratificată de România prin legea nr.3/2001, respectiv de UE în baza documentului 2002/358/CE.

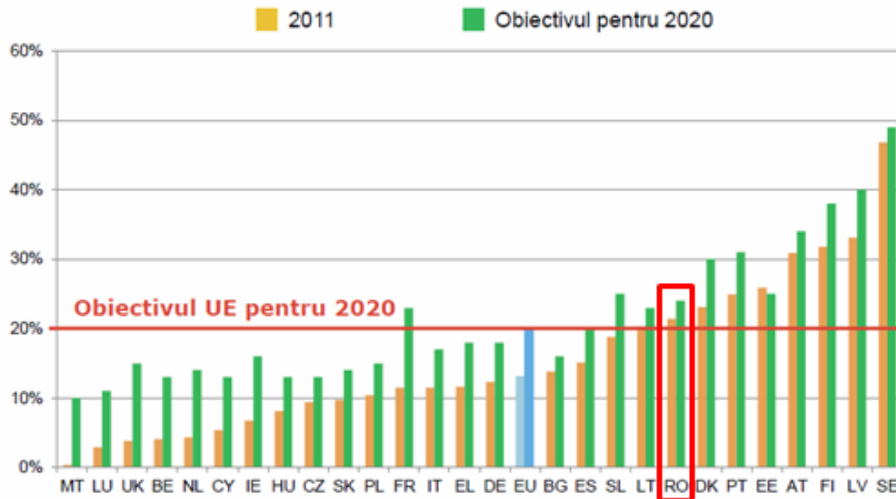


Figura1.1 Obiectivul UE pentru 2020 (Sursa: Comisia Europeană) [***ECEOUPA]

Uniunea Europeană promovează și susține proiecte de cercetare inovative, proiecte care să promoveze consumul și producția "inteligentă" de energie, eficiența energetică, îndeosebi în zonele cu cei mai mari consumatori-zonele urbane; prin îmbunătățirea tehnologiilor de stocare a energiei electrice (pentru a utiliza mai larg energia solară și eoliană), prin încurajarea producerii de noi tipuri de biocombustibili, prin încurajarea implementării rețelelor electrice inteligente (care pot distribui energia electrică în funcție de consumul necesar la un moment dat). În acest demers al Uniunii Europene se încadrează și cercetările privind implementare unor centrale termoelectrice cu lentile Fresnel și motoare Stirling [INSR2013].

Începând cu anul 1989, în România, în urma activităților economice și sociale desfășurate, s-a diminuat cantitatea de emisii poluante a mediului înconjurător. Cea mai puternică scădere s-a înregistrat în perioada 1989-1994 (-39,4%) ca urmare a declinului industriei și a altor activități. Un alt moment important, din punct de vedere al emisiilor de bioxid de carbon, a fost anul 2009, când datorită efectelor crizei economice, emisiile de gaze cu efect de seră s-a diminuat cu -15,8% comparativ cu anul anterior [Raport2013].

Uniunea Europeană este preocupată de promovarea energiilor verzi pe termen lung, și în acest sens, se dorește ca până în 2020, 20% din consumul final de energie primară să rezulte din surse regenerabile. În anul 2011, energia regenerabilă reprezintă aproximativ 8,5% din totalul energiei utilizate la nivelul Uniunii Europene, prin urmare aceste obiective ambițioase necesită efort susținut constant din partea fiecărui stat membru al Uniunii Europene, inclusiv România, [Strategia2011], [GSR2015], [Tudorel2014]].

Cererea globală din ce în ce mai mare de energie impune crearea, sau găsierea de noi soluții inovative, care să înlocuiască și să completeze sursele primare de energie utilizând combustibili fosili, deoarece se estimează că nevoia de energie până în anul 2030 va crește cu aproape 50% comparativ cu anul 2006, iar cererea pentru petrol va fi cu aproape 46% mai mare.

Europa trebuie să importe mai mult de jumătate din necesarul său de energie deoarece aceasta dispune de rezerve energetice reduse. Și cum prețurile se stabilesc la nivelul piețelor mondiale, Europa va plăti în următorii ani tot mai mult pentru a asigura resursele energetice necesare.

Prin urmare, cea mai eficientă soluție pe care o avem pentru a reduce factura la energie este să acționăm asupra cantității consumate prin creșterea eficienței energetice, respectiv prin utilizarea surselor regenerabile de energie [Purica2015].

Având în vedere faptul că rezervele de petrol pot susține necesarul de energie, la nivelul actual de consum doar până în anul 2040, iar cele de gaze naturale până în anul 2070; respectiv rezervele mondiale de ulei pentru o perioadă de peste 200 de ani, și faptul că dezvoltarea economică necesită surse energetice suplimentare, rezultă că preocupările legate de extensia utilizării energiilor regenerabile este pe deplin justificată [Strategia2011], [Gheorghe2011], [Coste2011].

România, conform reglementărilor în vigoare (Hotărârea de Guvern nr. 1535 din 18.12.2003 privind Strategia de valorificare a surselor regenerabile de energie) producția de energie electrică din surse de energie regenerabilă trebuie să ajungă în 2020 la o pondere de 24% din total energie produsă.

Atingerea acestui obiectiv presupune o legislație în domeniu care să asigure predictibilitate, stabilitate și eficiență economică. Impredictibilitatea legislativă, birocrăția excesivă, motivarea deficitară a producătorilor de energie verde (reducerea numărului de certificate verzi) și altele, sunt doar unele din problemele care au generat o dezvoltare mai lentă a surselor de energie regenerabilă (energie verde) comparativ cu alte state europene [UPT2012], [ADR2010], [Ionescu2006], [Pachauri2007] .

O posibilă soluție pentru a reduce emisiile de gaze cu efect de seră ar reprezenta-o valorificarea potențialul energiilor regenerabile la nivelul atât a Uniunii Europene, cât și a României.

Astfel, identificarea surselor regenerabile de energie și analiza oportunităților de valorificare specifice pentru zona noastră de climat, reprezintă un important aspect pe care trebuie să îl avem în vedere [Luminosu2013], [De Sabata2013], [Luminosu2015].

În actualul ritm de consum, activitatea energetică este responsabilă în proporție de peste 50% din emisiile de metan și monoxid de carbon, de aproximativ 90% din emisiile de dioxid de sulf, aproximativ 88% din emisiile de oxizi de azot, 72% din cantitatea de pulberi în suspensie evacuate în atmosferă și

aproximativ 99% din emisiile de dioxid de carbon, doar în acest ultim caz, concentrația dioxidului de carbon a crescut considerabil din perioada pre-industrială până în prezent, lucru care este foarte îngrijorător. [Coste2011], [Uzuna2010], [***CNRCME], [Papatulică2013].

Producția de energie primară din România care se bazează pe valorificarea rezervelor de combustibili fosili, se estimează că nu va crește în următorii 20-30 ani. Surplusul de energie necesar se poate acoperi în România prin creșterea utilizării surselor de energie regenerabilă [Strategia2011].

Dacă cantitatea de energie electrică produsă din surse de energie cu energie regenerabilă continuă tendința de creștere din ultimii ani, România poate reuși să acopere necesarul de energie din următorii ani, în special în zonele greu accesibile și în zonele rurale defavorizate, care încă nu sunt racordate la sistemul energetic național [[HG2013], [INSB2013], [***ECEEUROPA]. Pentru astfel de zone centralele termo-solare cu lentile Fresnel și motoare Stirling sunt foarte indicate. Desigur aceste instalații trebuie să fie însoțite și de sisteme pentru stocarea energiei [Strategia2011], [HG2013], [ADR2010], [Ionescu2006].

România are nevoie de noi investiții în tehnologii inovative pentru producerea energiei verzi, energie regenerabilă precum energia solară concentrată (lentile Fresnel), energia geotermală, etc. De asemenea, evoluția economică și socială a României în perioada crizei și după această perioadă, a influențat intens consumul de energie și structura acestuia, astfel încât este necesară urgentarea unor noi investiții în tehnologii de producere a energiei termice și electrice din surse regenerabile [ADR2010].

Soarele ne dă mult mai multă energie decât ne va trebui vreodată, trebuie doar să găsim modalitățile, sursele și elementele care ne permit colectarea de energie de la Soare.

În lume în prezent există captatoare solare cu oglinzi parabolice care concentrează lumina și permit utilizarea acestei în acționarea unor motoare Stirling care prin punerea în mișcare a generatoarelor electrice produc energie electrică. Unele din cele mai mari parcuri cu oglinzi și motoare Stirling sunt amplasate în Los Angeles și San Diego (SEGS I și II), la acestea se mai adaugă doar în SUA șapte centrale noi care se întind pe o suprafață de circa 650 hectare, cu o putere totală de 354MW. Centrale termo-solare care sunt prevăzute și cu sisteme pentru stocarea căldurii, există în Spania – Andasol, Andaluzia, la Guadix, în Arizona, în Germania, în Australia, în California, în Nevada ș.a.

Conform statisticilor puse la dispoziție de Eurostat, România beneficiază de un potențialul solar, eolian și geotermal demn de luat în considerare, astfel încât, știind că potențialul solar al României este răspândit aproape pe întreg teritoriul țării, beneficiind de aproximativ 210 zile însorite pe an, având cele mai bune locuri pentru parcuri solare în regiunea de sud-est a României, vest, centru dar și estul țării, centralele termoelectrice cu lentile Fresnel și motoare Stirling pot fi amplasate pe întreg teritoriul național [INSR2013], [Turcu2014], [PHARE2003], [Luminosu2015].

Pentru studiul în detaliu a acestor aspecte și a altora, în cadrul Departamentului Bazele Fizice ale Ingineriei a fost implementat, începând cu anul 2009, programul de studii masterale *Energii regenerabile – Energia Solară* [Luminosu2013].

De asemenea, au fost soluționate două contracte de cercetare cu temele: „Realizarea și testarea în vederea certificării și producerii sale în serie a prototipului unei microcentrale termoelectrice solare cu lentile Fresnel și motor Stirling” Proiect PN-II-IN-CI-2012- 1-0104; “Realizarea, testarea și certificarea

prototipurilor LS01 și LS02 ale colectoarelor/concentratoarelor solare cu lentile Fresnel și pregătirea pentru introducere în fabricație în vederea producerii și comercializării acestora pe piața internă și europeană”, pe programul POSCCE- A2-O2.3.1 -2008-1- ETAPA X, ID 1418, cod SMIS 41646.

1.2. Scop, obiective și structură

Scopul tezei de doctorat este de a analiza modul în care diverși parametri influențează funcționarea centralelor termoelectrice cu lentile Fresnel și motor Stirling. În această analiză se utilizează modele analitice, modele numerice și modele experimentale. Verificarea rezultatelor obținute utilizând modele analitice și numerice se face cu ajutorul modelelor fizice. Pentru aceasta s-a conceput și realizat un model experimental de centrală termo-solară cu lentilă Fresnel și motor Stirling. Modelele utilizate permit identificarea posibilităților de optimizare a centralei în scopul producerii și implementării acestor tipuri de centrale termo-solare pe scară largă în producerea energiei electrice și termice.

Lucrarea are ca obiectiv “Optimizarea unei centrale termoelectrice cu lentilă Fresnel și motor Stirling” iar din acest obiectiv decurg obiectivele specifice care sunt prezentate în structura fiecărui capitol.

Astfel, lucrarea este structurată pe opt capitole după cum urmează:

Capitolul unu – Introducere – sunt prezentate: politicile energetice ale Uniunii Europene și a României; impactului exploatarei resurselor primare de energie asupra mediului precum și a energiilor regenerabile și obiectivele României în acest sens; potențialului energetic al României, cu preponderență în zona de Vest.

Capitolul doi este dedicat studiului energiei solare, precum și a aspectelor privind utilizarea energiei solare la centralele termoelectrice-solare care au în componență lentile Fresnel și motoare Stirling.

Este analizată iradianța solară și potențialul solar în zona de Vest a României, acolo unde s-au făcut determinări experimentale cu ajutorul modelului experimental de centrală termo-solară cu lentile Fresnel și motoare Stirling.

În capitolul trei sunt prezentate cele trei modele experimentale de centrală termo-solară cu lentilă Fresnel și motor Stirling, concepute și realizate, precum și echipamentele, respectiv aparatele de măsură necesare măsurătorilor realizate în condiții de laborator și în condiții reale.

În condiții de laborator s-a utilizat ca sursă de căldură o lampă cu gaz butan, iar în condiții reale ca sursă de căldură s-a folosit energia solară, concentrată cu ajutorul lentilei Fresnel în zona caldă a motorului Stirling.

În capitolul patru se prezintă modelul analitic și numeric pentru analiza funcționării motorului Stirling. Se determină ciclul de funcționare al motorului (diagrama presiune-volum). Se prezintă, de asemenea, modelul numeric conceput utilizând mediul de programare Matlab care ne permite să analizăm pornind de la diferiți parametri de intrare, randamentul și puterea motorului.

În capitolul cinci se analizează numeric transferul de căldură în interiorul motorului Stirling; sunt descriși pașii realizării modelului precum și stabilirea regimului de funcționare și a condițiilor la limită.

Tot aici se analizează modelul numeric pentru generatorul electric, schema de principiu și parametrii generatorului.

În capitolul șase sunt prezentate rezultatele determinărilor experimentale ale diferitelor instalații de centrală termoelectrică cu lentilă Fresnel și motor Stirling în condiții reale, precum și în condiții de laborator.

Capitolul șapte este dedicat analizei economice și soluțiilor de optimizare a unui parc de centrale termoelectrice cu lentile Fresnel și motoare Stirling.

În ultimul capitol se prezintă principalele concluzii rezultate în urma studiului realizat, precum și principale contribuții științifice ale autoarei prezentate în teza de doctorat.

2. ENERGIA SOLARĂ. ASPECTE PRIVIND UTILIZAREA ACESTEIA LA CENTRALE TERMOELECTRICE-SOLARE

Schimbările climatice din ultimii ani, precum și temerea că rezervele de combustibili fosili se vor epuiza curând, au determinat oamenii de știință să își focalizeze atenția către sursele alternative de energie. O sursă de energie regenerabilă, inepuizabilă și gratuită este cea obținută de la Soare, folosind diferite sisteme de conversie.

Soarele este una din sursele de energie inepuizabile cunoscute până în prezent, de care lumea ar putea beneficia în cantități tot mai mari, odată cu dezvoltarea de tehnologii inovative de captare și înmagazinare a energiei solare. Energia primită de la Soare, incidentă la suprafața Pământului se regăsește sub formă de energie luminoasă, care se poate transforma în energie termică, energie mecanică, energie electrică.

Soarele este un corp ceresc, cu vârsta de aproximativ 4,6 miliarde de ani, care generează energie prin reacțiile nucleare ce se produc în nucleu. În miezul Soarelui au loc într-o mișcare continuă reacții de fuziune nucleară, prin care, hidrogenul; care se găsește în cea mai mare cantitate în miezul Soarelui, este transformat în heliu. Compoziția Soarelui cunoscută până în prezent este de circa 71% hidrogen, 27,1% heliu, 0,97% oxigen și restul sunt alte elemente în concentrații mai reduse [Luminosu2007].

De la începutul existenței sale, Soarele a produs și încă mai produce energie pe baza reacțiilor de fuziune nucleară din interiorul său, astfel încât energia provenită de la Soare sub forma luminii și a căldurii face posibilă existența vieții pe Pământ [Luminosu2007], [DeSabata2010].

Caracteristicile Soarelui sunt [Luminosu1993], [Luminosu2007], [DeSabata2010], [Bălan2013]:

- diametrul: 1392106 km (de 109 ori diametrul Pământului)
- nucleul solar are raza de aproximativ $0,23R_z$ (R_z - raza discului solar)
- nucleul are o densitate de 100 de ori mai mare decât a apei și masa lui constituie 40% din masă totală
- temperatura la suprafață: 5780K
- temperatura în interior: între $(8-40) \cdot 10^6$ K
- rotație stelară 25,3800 zile (25z 9h 7m 13s)
- înclinația este de $7,25^\circ$ (față de elipsă) și $67,23^\circ$ (față de planul galaxiei)
- mișcarea de rotație are o perioadă de 26 zile
- perioada de rotație: $T_{\text{ecuator}} = 27$ zile; $T_{\text{polar}} = 30$ zile
- puterea eliberată: $4 \cdot 10^{29}$ kW
- vânt solar: la ecuator 400 km/s iar părțile mai active ating și 750 km/s
- radiația emisă de Soare parcurge cei 150000000 km până la Pământ, cu o viteză constantă (cu viteza luminii 300000 km/s) în 8,3 minute. Astfel, noi observăm Soarele cu o întârziere de 8,3 minute
- energia totală emisă în spațiul cosmic: $22,252 \cdot 10^{27}$ J/min
- energia la limita superioară a atmosferei: $10,046 \cdot 10^{18}$ J/min
- energia recepționată la suprafața Pământului: $(8,3 \pm 0,17) \cdot 10^4$ J/m²min.

Energia transmisă de Soare Pământului este sub formă de radiație solară, iar intensitatea radiației solare care ajunge la suprafața Pământului este mai mică decât constanta solară deoarece pe măsură ce traversează atmosfera terestră grosă de aproximativ 50km, intervin factori precum poluarea, acoperirea cu nori, cantitatea de aerosoli, etc, care modifică prin absorbție și difuzie (fenomen în urma căreia, anumite forme de radiație, cum ar fi lumina sau sunetul deviază de la traiectoria rectilinie, deviere cauzată de cele menționate anterior), intensitatea radiației solare [Luminosu2007], [Bălan2013].

Totodată, constanta solară S este definită ca fiind cantitatea de energie primită de la Soare în unitatea de timp de către o suprafață cu aria de 1cm^2 , perpendicular pe direcția razelor Soarelui, la mijlocul distanței dintre Pământ și Soare, la exteriorul atmosferei terestre, având o valoare general acceptată de WRC (World Radiation Center) de $S=1367\text{W/m}^2$ [Luminosu2007], [Gueymard2002]:

Dacă ne referim la spectrul radiației solare globale, acesta cuprinde 3 componente: - radiația ultravioletă (UV- 3%) - radiația vizibilă (42%) și radiația infraroșie (IR -55%). Fiecărei componente a radiației, îi corespunde câte un domeniu bine definit al lungimilor de undă: UV 0,28 - 0,38 μm ; radiația vizibilă 0,38 - 0,78 μm și IR 0,78 - 2,50 μm [Luminosu2007], [Bălan2013].

În figura 2.1. este prezentată o schiță a radiației solare în atmosferă unde se pot observa și fenomenele de difuzie și absorbție.

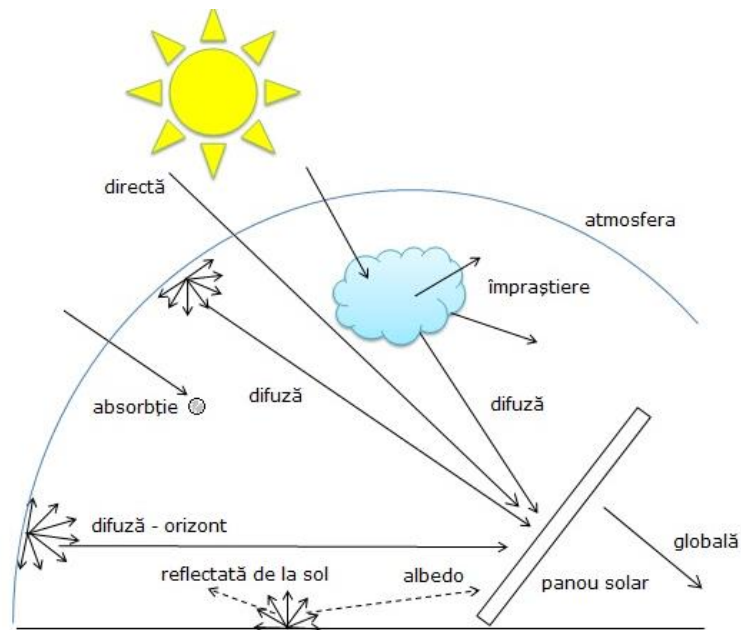


Figura. 2.1. Radiația solară în atmosferă

Radiația solară este emisă de Soare pe diferite lungimi de undă, aceasta trecând prin atmosfera Pământului, o parte din ea este absorbită, o altă parte este împrăștiată de vaporii de apă, de aerosoli, etc, dar cea mai mare parte ajunge pe suprafața Pământului. Pentru aplicațiile terestre ale energiei solare, numai radiația cu lungimea de undă cuprinsă între 0,29 și 3,2 μm este semnificativă [Luminosu2007], [Gueymard2002], [Călinoiu2012], [Coste2011].

Radiația solară globală primită de Pământ pe suprafața orizontală se împarte în [Luminosu2007], [Călinoiu2012], [Luminosu2013], [Coste2011]:

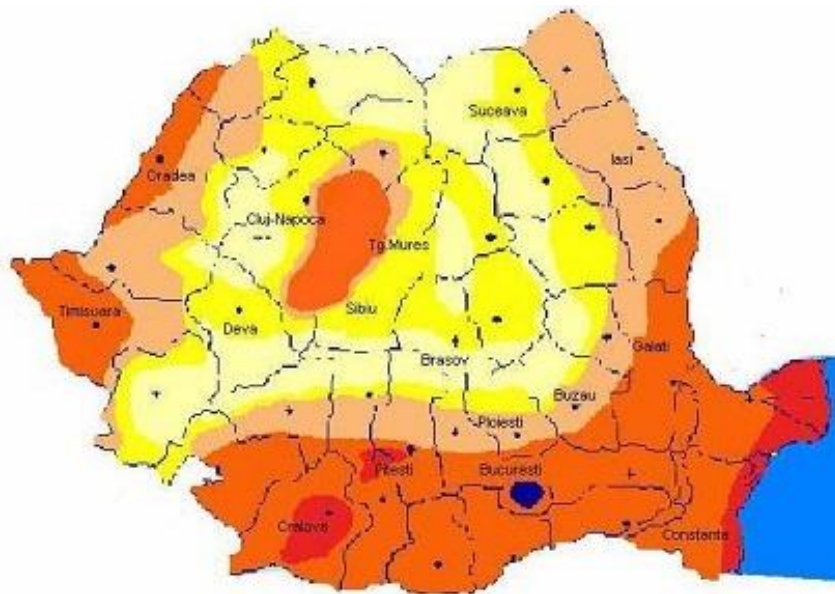
- radiația directă care este primită de la Soare fără să-și fi schimbat direcția de propagare la străbaterea atmosferei
- radiația difuză, adică radiația primită de sol de la Soare după schimbarea direcției de propagare prin reflexie și împrăștiere de către atmosfera terestră.

Radiația incidentă pe o suprafață înclinată se numește totală și componentele sale sunt radiația directă, difuză și reflectată de sol (albedoul) [Paulescu2013a], [Călinoiu2012], [Luminosu2013], [Luminosu2014].

Se prezintă câteva date din literatura de specialitate a potențialul energetic solar al României.

2.1. Potențialul solar al României

România este o țară binecuvântată cu un potențial solar ridicat, o țară care s-a dezvoltat foarte mult în ultimii ani în sectorul de energii regenerabile iar acest lucru aduce avantaje considerabile [Luminosu2013], [Luminosu2014]. Din perspectiva energiei solare disponibile; adică zile cu Soare în România, țara noastră se află în zona B; pe când zona A, cuprinde țări precum Spania, Italia, Grecia, etc.



ZONA DE RADIATIE SOLARA	INTENSITATEA RADIATIEI SOLARE($kWh/m^2/ian$)
I	>1350
II	1300-1350
III	1250-1300
IV	1200-1250
V	<1200

Figura 2.2. Potențialul energetic solar al României (Sursa: ICPE, ANM, ICEMENERG) [Turcu2009]

În figura 2.2. putem observa zonele de interes pentru aplicațiile termoelectrice ale energiei solare în țara noastră, astfel [***Energy],[***Energie]:

- Zona 1 – potențial solar ridicat: Dobrogea și Câmpia Română – peste 1350 kWh/m²/an.

- Zona 2 și 3 - nordul Câmpiei Române, Podișul Getic, Subcarpații Olteniei și Munteniei, Lunca Dunării, sudul și centrul Podișului Moldovenesc și Câmpia de Vest, Dealurile Vestice, vestul Podișului Transilvaniei, unde radiația solară pe suprafață orizontală se situează între 1250 și 1350 kWh/m²/an.

- Zona 4 și 5 - mai puțin de 1250 kWh/m²/an, Podișul Transilvaniei, nordul Podișului Moldovenesc și zona Carpaților [***Energy], [***Energie].

În zona litoralului Mării Negre, Dobrogea și în general în sudul țării, potrivit INMH, aceste zone au un potențial ridicat de exploatare a energiei solare având o durată medie de strălucire a Soarelui de peste 2300h/an, urmată de zona de vest; așa cum se poate vedea în figura 2.3 [***Energie], [Turcu2009] .

Totodată, potențialul energetic solar al României este valorificat prin sisteme capabile să producă energie termică și energie electrică. Dintre acestea amintim: panourile solare cu tuburi vidate, panourile solare cu lentile Fresnel și țevi de cupru și/sau tuburi vidate, panourile cu celule fotovoltaice care convertesc lumina solară în electricitate.

Astfel, studiul unei centrale termoelectrice cu lentile Fresnel și motor Stirling ca și sursă alternativă de producție a energiei termice și electrice poate fi o alternativă care să ne ajute să evităm sumbrele perspective vis-a-vis de rezervele de energie primară a României și nu numai.

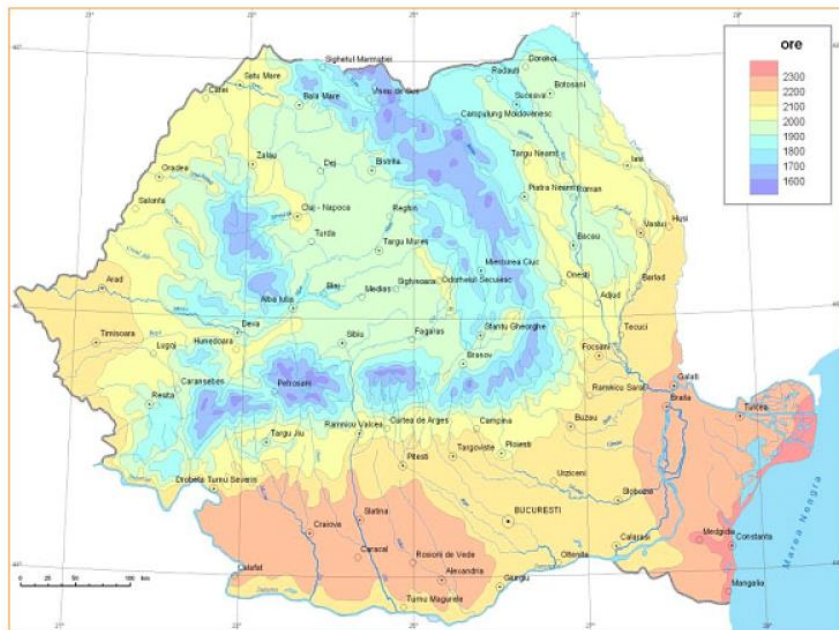


Figura 2.3. Durata medie anuală de strălucire a Soarelui în România (Sursa: INMH) [Bălan2013], [Turcu2009]

În instalația de centrală termoelectrică solară cu lentilă Fresnel și motor Stirling, descrisă în capitolele următoare, este necesar să estimăm/determinăm radiația solară pentru a determina parametrii optimi de funcționare ai acesteia.

Pentru a putea concepe și executa corect o instalație performantă pentru conversia energiei solare în alte forme de energie precum electrică sau termică, trebuie să cunoaștem potențialul solar și condițiile meteorologice ale locației în care dorim să amplasăm centrala sau instalația. Deși insolația unui loc și factorii meteorologici sunt variabile necontrolabile dar foarte importante, este necesar ca măsurătorile să fie detaliate și pe perioade cât mai mari de timp, de obicei de ordinul zecilor de ani.

În continuare este prezentată iradianța solară precum și date și interpretări ale potențialului solar în zona de Vest a României, acolo unde se dorește a fi amplasată instalația pilot de centrală termo-solară cu lentile Fresnel și motoare Stirling. Datele de radiație solară sunt pentru anii 2010, 2011 și 2012 și sunt preluate de la Stația de Monitorizare a Radiației Solare - SRMS (latitudine 45°44'49.57", longitudine 21°13'50.32", altitudine 87 m), stație care monitorizează sistematic radiația solară pe suprafețe orientate. SRMS este amplasată pe acoperișul Universității de Vest din Timișoara unde radiația solară este măsurată cu pyranometre Kipp&Zonen [Luminosu2013], [Luminosu2014], [Paulescu2010], [***SRMS].

2.2. Iradianța solară

Iradianța solară extraterestră sau densitatea fluxului solar, depinde de variația distanței Pământ – Soare și este determinată cu ajutorul piranometrelor. Iradianța solară globală, notată cu G_0 , este dată de suma celor două componente: directă (G_b – beam solar radiation) și difuză (G_d – diffuse solar radiation), exprimată astfel: [Paulescu2013a], [Călinoiu2012], [Luminosu2013], [Luminosu2014], [Paulescu2010], [***SRMS], [Yang2001], [Paulescu2004], [Gueymard1993], [Gueymard1995], [Biga1980].

$$G_0 = G_b + G_d \quad (2.1)$$

Intensitatea radiației solare directe în planul normal la direcția de propagare G_0 se determină cu relația [Luminosu2013], [Bugler1977], [Hottel1976], [Paulescu2013b].

$$G_0 = G^0 \cos \theta z \quad (2.2)$$

unde: θz este distanța zenitală a Soarelui, iar $\cos \theta z$ se calculează cu formula:

$$\cos \theta z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \delta \sin \phi \quad (2.3)$$

unde: ϕ este latitudinea geografică, exprimată în grade (pentru Timișoara, $\phi = 45^\circ 15'$; unghiul orar al Soarelui se modifică cu 15 grade într-o oră respectiv cu 1 grad în 4 min).

δ – unghiul de declinație al Soarelui.

ω – unghiul orar al Soarelui.

Deplasarea unghiulară a Soarelui pe boltă spre est sau vest față de meridianul local, datorită rotației pământului cu 15° pe oră reprezintă unghiul orar. Acesta, convențional ia valori negative dimineața și pozitive după amiază [Paulescu2010], [Yang2001]:

$$\omega = [(\tau s) - 12] \cdot 15^\circ \quad (2.4)$$

unde τs este timpul solar.

Declinația este unghiul dintre planul ecuatorial și direcția razelor de soare și variază între $+23.5^\circ$ și -23.5° , valori atinse la solstiții. În funcție de ziua Juliană - j , unghiul de declinație se calculează cu relația:

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (j + 284) \right] \quad (2.5)$$

Numărul zilei din an este numit ziua Juliană j și se determină cu relația:

$$j = 30.416(l - 1) + \chi \quad (2.6)$$

unde l este numărul lunii iar χ este numărul zilei din săptămână.

Iradianța în plan orizontal este notată cu $G_{a,m,d,h}$ unde: a – numărul de ordine al anului, m – lună (month), $m \in (1,12)$, d – ziua din lună (day) $d \in (1,31 \cdot a)$, h – momentul orar al măsurării (hour) $h \in (1,14)$.

Pentru caracterizarea zilei medii a lunii au fost calculate mediile pentru fiecare oră cu formula:

$$G_{m,h} = \frac{1}{D} \sum_1^{d=D} G_{a,m,d,h} \quad (2.7)$$

unde D este numărul total de măsurări la ora h al lunii calendaristice, $D=31 \cdot a$.

Iradianța medie pentru o lună dată s-a calculat cu formula :

$$G_m = \frac{1}{H} \sum_1^{h=H} G_{m,h} \quad (2.8)$$

unde H este numărul total de măsurări (ore) aferente zilei medii a lunii date.

Iradianța medie anuală s-a calculat cu formula:

$$G_{an} = \frac{1}{M} \sum_1^{m=M} G_m \quad (2.9)$$

unde M reprezintă numărul de luni, $M=12$.

Iradieria pentru 1 oră a zilei medii a unei luni s-a calculat cu formula:

$$H_{m,h} = 3600 \cdot G_{m,h} \quad (2.10)$$

Iradieria diurnă pentru ziua medie a unei luni s-a calculat cu formula:

$$H_{m(d)} = 3600 \cdot \sum G_{m,h} \quad (2.11)$$

Iradieria pentru ziua medie a anului se calculează cu formula:

$$H_{an(d)} = \frac{1}{M} \sum_1^{m=M} H_m \quad (2.12)$$

Energia (potențialul solar) medie care străbate în unitatea de timp, prin suprafața orizontală cu aria de 1 m^2 , la sol, în timp de 1 an este dat de formula:

$$Q_{an} = N \cdot H_{an(d)} \quad (2.13)$$

unde N este numărul de zile cu cerul senin sau senin și noros.

În referințele [Luminosu2013], [Luminosu2014], [Paulescu2010], [Bugler1977], [Hottel1976], [Paulescu2013b], [Bădescu2013], [Paulescu2003], [Spencer1971], [Janjai2011], [Coste2011] iradianța solară globală este definită ca fiind cantitatea de energie solară incidentă ce cade pe unitatea de suprafața orizontală, într-o secundă.

Pentru Timișoara, durata medie de strălucire a soarelui este de 2154 ore iar al zilelor cu cer senin sau senin și noros este $N = 274$.

Folosind datele de la stația solară a UVT au fost calculate iradianța medie pentru o lună, iradianța medie anuală, iradierea pentru 1 oră a zilei medii a fiecărei din cele 12 luni ale anului 2010, iradierea diurnă pentru ziua medie fiecărei luni, iradierea pentru ziua medie a anului și potențialul solar mediu; rezultatele sunt prezentate în tabelul 2.1, respectiv în figura 2.4 [Luminosu2013] [Luminosu2014]. Datele în extenso se regăsesc în Anexa 1 pentru anul 2010.

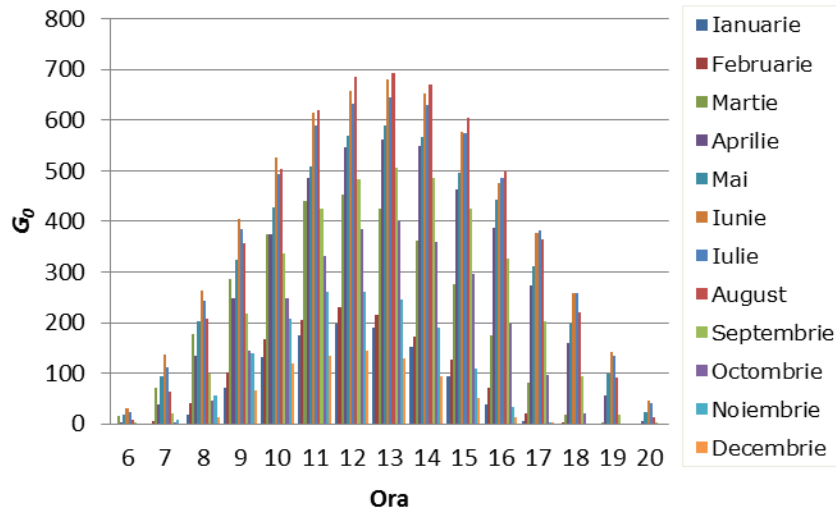


Figura 2.4. Iradianța solară globală a zilei medii pe 12 luni, anul 2010

Tabelul 2.1. Iradianța solară globală a zilei medii pentru anul 2010

Luna Ora	Ian	Feb	Mar	Apr	Mai	Iun	Iul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
6	0	0	5	3	20	34	27	8	0	0	0	0
7	0	6	47	39	89	128	119	65	16	3	8	0
8	16	50	166	129	181	249	254	199	79	45	59	14
9	61	117	229	238	279	363	386	338	179	148	151	48
10	107	190	319	366	371	483	497	493	277	249	218	78
11	161	227	379	467	427	568	599	605	353	328	265	102
12	177	248	414	498	490	582	616	661	394	367	266	116
13	177	224	384	495	547	627	608	645	398	384	256	98
14	143	171	339	488	469	631	615	649	417	343	189	75
15	88	114	246	411	421	550	521	578	363	274	105	39
16	38	64	153	350	362	445	474	483	259	179	31	10
17	5	18	71	245	250	321	349	330	155	84	1	1
18	0	0	11	140	145	209	232	197	74	17	0	0
19	0	0	0	45	67	110	115	78	15	0	0	0
20	0	0	0	3	16	36	33	11	1	0	0	0
G_m [W/m ²]	81	119	213	261	276	356	363	356	213	202	129	53
G_{an} [W/m ²]	218											
$H_{m(d)}$ [MJ/m ²]	3,5	5,14	9,95	14,1	14,89	19,21	19,6	19,22	10,73	8,72	5,57	2,09

Luna	Ian	Feb	Mar	Apr	Mai	Iun	Iul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Ora												
zi]												
$H_{an(d)}$ [MJ/m ² / zi]	11,06 MJ/m ² /zi											
Q [MJ/m ² / an]	1121 kWh/m² /an											

În tabelul 2.2. sunt calculate iradianța medie pentru o lună, iradianța medie anuală, iradierea pentru 1 oră a zilei medii a fiecărei din cele 12 luni ale anului 2011, iradierea diurnă pentru ziua medie fiecărei luni, iradierea pentru ziua medie a anului și potențialul solar mediu; rezultatele sunt prezentate sub formă de grafic în figura 2.5. [Luminosu2013], [Luminosu2014], [DeSabata2013]. Datele în extenso se regăsesc în Anexa 2 pentru anul 2011.

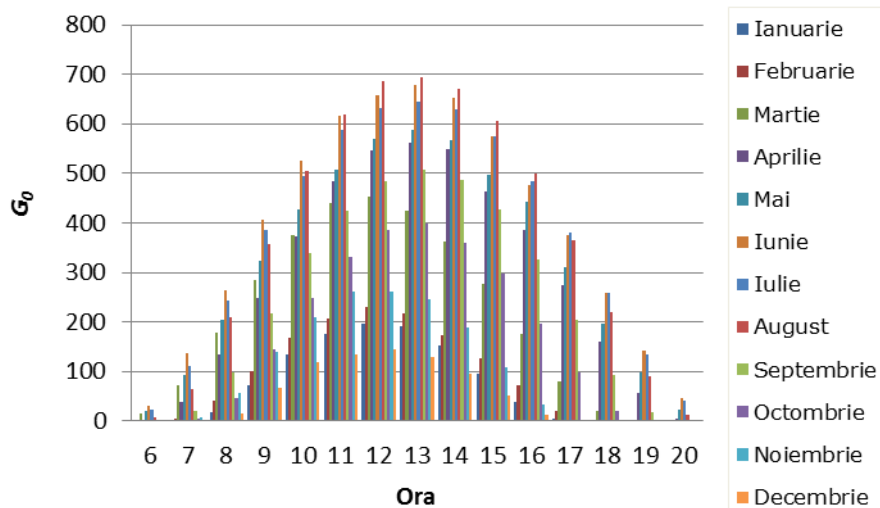


Figura 2.5. Iradianța solară globală a zilei medii pe 12 luni, anul 2011

Tabelul 2.2. Iradianța solară globală a zilei medii pentru anul 2011

Luna	Ian	Feb	Mar	Apr	Mai	Iun	Iul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Ora												
6	0	0	38	4	20	29	21	7	0	0	0	0
7	0	4	131	38	105	140	102	63	21	4	9	0
8	16	38	232	137	229	252	213	210	110	52	61	14
9	59	98	351	254	363	414	346	361	240	162	147	91
10	113	169	409	391	479	534	440	503	379	273	224	164
11	153	210	450	504	573	621	531	628	482	368	269	145
12	184	238	429	589	647	695	600	685	549	430	274	138
13	183	224	382	607	642	690	620	692	576	430	249	125
14	137	184	299	577	632	610	587	653	551	375	191	92
15	85	142	199	509	553	552	532	594	493	315	107	57
16	33	80	105	411	494	453	441	499	380	206	33	14
17	4	22	28	280	334	364	372	379	232	104	2	0

Luna	Ian	Feb	Mar	Apr	Mai	Iun	Iul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Ora												
18	0	0	5	178	204	259	260	227	108	24	0	0
19	0	0	0	62	105	146	136	96	22	0	0	0
20	0	0	0	5	25	46	41	14	0	0	0	0
G_m [W/m ²]	74	117	235	303	416	387	350	374	276	211	121	76
G_{an} [W/m ²]	245											
$H_{m(d)}$ [MJ/m ² /zi]	3,48	5,07	11,01	16,36	19,45	20,9	18,88	20,2	14,91	9,87	5,64	3,03
$H_{an(d)}$ [MJ/m ² /zi]	12.40 MJ/m ² /zi											
Q [MJ/m ² /an]	1257 kWh/m ² /an											

În tabelul 2.3 sunt calculate iradianța medie pentru o lună, iradianța medie anuală, iradierea pentru 1 oră a zilei medii a fiecărei din cele 12 luni ale anului 2012, iradierea diurnă pentru ziua medie fiecărei luni, iradierea pentru ziua medie a anului și potențialul solar mediu; rezultatele sunt prezentate sub formă de grafic în figura 2.6 [Luminosu2013], [Luminosu2014], [DeSabata2013]. Datele în extenso se regăsesc în Anexa 3 pentru anul 2012.

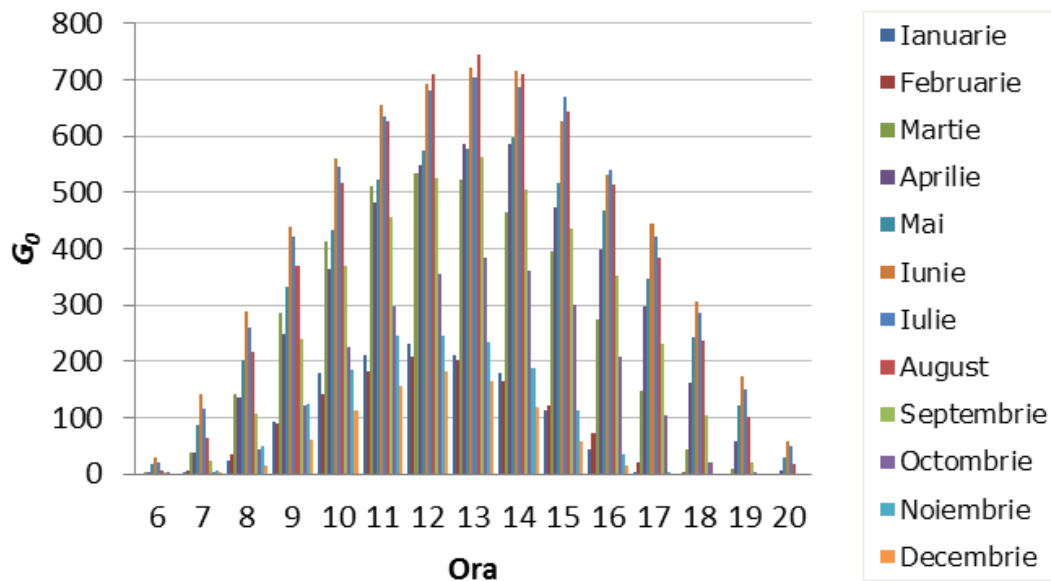


Figura 2.6. Iradianța solară globală a zilei medii pe 12 luni, anul 2012

În tabelul 2.4 este calculată media iradianței solare globale a zilei medii pentru cei trei ani: 2010,2011,2012 iar rezultatele sunt prezentate sub formă de grafic în figura 2.7. [Luminosu2013], [Luminosu2014], [DeSabata2013].

Tabelul 2.3. Iradianța solară globală a zilei medii pentru anul 2012

Luna	Ian	Feb	Mar	Apr	Mai	Iun	Iul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Ora												
6	0	0	2	3	17	29	21	7	1	0	0	0
7	0	5	36	38	87	141	115	65	22	5	6	0
8	24	35	137	135	201	288	261	216	105	44	51	15
9	93	89	276	249	331	440	421	371	232	121	123	62
10	179	142	399	364	432	561	545	517	357	226	184	114
11	212	181	494	484	522	656	636	627	440	299	246	157
12	231	207	518	549	573	693	681	710	509	356	245	181
13	211	201	506	585	577	722	705	746	545	384	234	165
14	180	165	450	585	598	715	688	710	490	361	188	118
15	112	121	384	472	516	626	670	645	423	300	114	59
16	43	72	266	397	469	532	541	514	342	207	35	16
17	4	21	142	299	348	444	422	384	224	105	0	0
18	0	1	42	163	242	306	286	236	100	21	0	0
19	0	0	8	59	123	173	150	100	19	0	0	0
20	0	0	0	5	30	58	50	16	0	0	0	0
G_m [W/m ²]	107	103	261	293	338	426	413	391	272	173	130	68
G_{an} [W/m ²]	248											
$H_{m(d)}$ [MJ/m ² /zi]	4,63	4,46	13,18	15,80	18,24	22,98	22,28	21,10	13,72	8,74	5,13	3,19
$H_{an(d)}$ [MJ/m ² /zi]	12.79 MJ/m ² /zi											
Q [MJ/m ² /an]	1297 kWh/m²/an											

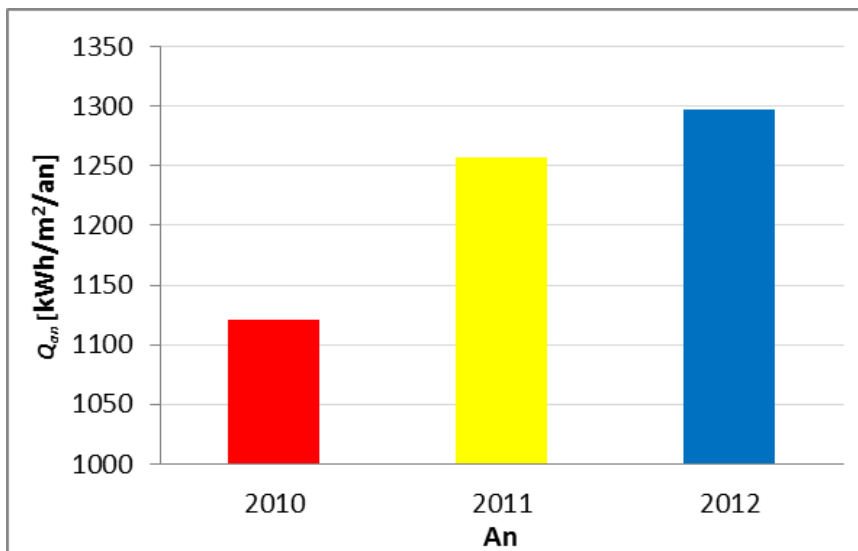


Figura 2.7. Potențial solar mediu în Timișoara, anii 2010, 2011, 2012

Tabelul 2.4. Media iradianței solare globale a zilei medii pentru cei trei ani: 2010,2011,2012

Luna Ora	Ian	Feb	Mar	Apr	Mai	Iun	Iul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
6	0	0	15	3	19	31	23	7	0	0	0	0
7	0	5	71	38	94	136	112	64	20	4	8	0
8	19	41	178	134	204	263	243	208	98	47	57	14
9	71	101	285	247	324	406	384	357	217	144	140	67
10	133	167	376	374	427	526	494	504	338	249	209	119
11	175	206	441	485	507	615	589	620	425	332	260	135
12	197	231	454	545	570	657	632	685	484	384	262	145
13	190	216	424	562	589	680	644	694	506	399	246	129
14	153	173	363	550	566	652	630	671	486	360	189	95
15	95	126	276	464	497	576	574	606	426	296	109	52
16	38	72	175	386	442	477	485	499	327	197	33	13
17	4	20	80	275	311	376	381	364	204	98	1	0
18	0	0	19	160	197	258	259	220	94	21	0	0
19	0	0	3	55	98	143	134	91	19	0	0	0
20	0	0	0	4	24	47	41	14	0	0	0	0
G_m [W/m ²]	87	113	236	286	343	390	375	374	254	195	127	66
G_{an} [W/m ²]	237											
$H_{m(d)}$ [MJ/m ² /zi]	3,87	4,89	11,38	15,42	17,53	21,03	20,25	20,17	13,12	9,11	5,45	2,77
$H_{an(d)}$ [MJ/m ² /zi]	12,08 MJ/m ² /zi											
Q [MJ/m ² /an]	4410 MJ/m ² per an = 1225 kWh/m²/an											

Așa cum poate fi observat din scurta analiză de mai sus, țara noastră are un potențial solar foarte bun comparativ cu al altor țări cu climă temperată, iar zona de vest a României este una din cele mai importante zone de interes pentru aplicațiile termoelectrice-solare din țara noastră.

2.3. Concentratoare de radiație solară

2.3.1 Generalități

Încă din timpul Chinei antice, sisteme pentru concentrarea luminii solare au fost folosite în ansamble cu lentile sau oglinzi. Conversia energiei solare în energie termică, mecanică sau electrică, este realizată cu ajutorul captatorilor solari, dar există o mare diversitate de tipuri de captatoare solare termice, de la captatoare plane, concentratoare parabolice, la lentile Fresnel. Orientarea captatorilor trebuie făcută astfel încât randamentul conversiei energiei solare în energie termică să fie optim [DeSabata2013], [***C57], [***CIP], [***CSP].

Energia solară concentrată cu ajutorul sistemelor care folosesc lentile sau oglinzi pentru a concentra lumina solară pe o suprafață mică au capacitatea de a transforma lumina în căldură, care apoi pune în mișcare un motor cu abur sau un motor Stirling, care sunt conectate la un generator de energie electrică.

Spre deosebire de celulele fotovoltaice, unde energia solară este direct transformată în energie electrică, energia solară concentrată poate fi folosită atât pentru obținerea de energie termică cât și energie electrică.

Totodată, nu se poate vorbi despre un anumit tip de captator solar ca fiind cel mai bun pentru multitudinea de sisteme și aplicații în care pot fi folosite. Factori precum temperatura obținută de sistem, temperatura de lucru, poziția geografică, radiația solară a locului, tipul de instalație, durata de viață a sistemului; toate acestea trebuie să fie bine identificate și definite pentru a putea dimensiona și alege corect tipul de captator solar care este cel mai promițător pentru ceea ce dorim să instalăm.

Randamentul captatoarelor solare termice se calculează în funcție de temperatura de lucru la care poate funcționa sistemul și de factori ai mediului ambiant. Factorii care indică o putere de concentrare mare sunt [***C57], [***CIP], [***CSP], [Câmpan2012]:

- densitatea radiației solare ridicată;
- tipul de captator, unde aspectele importante țin de orientarea acestuia, urmărirea Soarelui pe cer complet automatizat pe 2 axe; dimensionarea corectă în funcție de puterea care dorim să o obținem, poziționarea corectă pentru a evita eventuale umbriri;
- eficiența optică, mai precis cât anume din radiația solară captată de lentilă, spre exemplu, ajunge la suprafața absorbantă a receptorului;
- eficiența transformării energiei solare în energie termică.

2.3.2 Clasificare captatoare solare cu concentrator

Sistemele energetice solare cu concentrare se împart în 3 categorii [Șorândaru2013], [***C57], [***CIP], [***CSP], [Câmpan2012]:

- Sisteme termo-solare cu concentrare a radiației solare
- Sisteme fotovoltaice cu concentrare
- Sisteme fotovoltaice și termice cu concentrare a radiației solare.

Dintre acestea, sistemele solar-termice cu concentrare a radiației solare se utilizează pentru a produce energie termică, fie sub formă de căldură, ACM (apă caldă menajeră), fie pentru instalații frigorifice și/sau pentru a produce energie electrică din aceeași sursă de energie regenerabilă (de obicei în combinație cu motoare cu aburi, motoare Stirling). Aceste sisteme solar-termice folosesc oglinzi sau lentile Fresnel pentru a concentra o suprafață mare de radiație solară (lumină) pe o suprafață mică, spre exemplu, pe un motor Stirling.

Fiecare din metodele enumerate mai sus pot să producă energie termică sau electrică, diferența o face ce anume dorim de la respectiva tehnologie; temperaturi înalte, eficiențe termodinamice mari sau energie electrică care poate fi folosită pentru locuințe individuale sau centrale termoelectrice.

Datorită noilor inovații în materie de tehnologii de concentrare a radiației solare, noile sisteme devin din ce în ce mai eficiente din punct de vedere economic și tehnologic.

2.3.2.1. Factorul de concentrare

Captatoarele cu sisteme termo-solare cu concentrare se împart în funcție de raportul de concentrare, care este practic definit de valoarea medie a densității

fluxului de radiație solară captată sau colectată de receptor și densitatea fluxului de radiație solară care cade pe concentrator [***C57], [***CSP], [Șorândaru2013]:

- captatoare plane-fixe – oglinzi laterale plane, raportul de concentrare este mai mic de 2.
- captatoarele plane cu concentratoare parabolice compuse, raportul de concentrare este maxim 3. Acestea sunt montate în sisteme fixe, iar temperatura de lucru nu depășește 100°C.
- captatoare cu concentrator est-vest, raportul de concentrare este 10. Față de captatoarele fixe, acestea trebuie rotite periodic în jurul axei est-vest. Temperatura de lucru ajunge până la aproximativ 200°C.
- captatoare cu concentratoare liniare, raportul de concentrare este mai mic de 100. Acestea pot fi fâșii de oglinzi plane sau curbe, fixe sau mobile. Aceste tipuri de captatoare necesită minim mișcarea pe o axă.
- captatoare la care raportul de concentrare atinge valoarea de 1000, acestea sunt sisteme de concentrare complexe alcătuite dintr-un câmp de oglinzi plane sau curbate. Acestea fac parte dintr-un sistem care urmărește Soarele pe cer astfel încât radiația solară să fie captată cât mai mult, prin limitarea pierderilor. Spre exemplu, aceste oglinzi pot fi poziționate astfel încât energia solară să fie concentrată pe un turn care preia energia. Temperatura de lucru depășește ușor 550°C.

2.3.2.2. Capacitatea de urmărire a Soarelui pe cer

Captatoarele din această categorie sunt de două tipuri, fixe și mobile [Șorândaru2013], [***C57], [***CIP], [***CSP]:

- Captatorul cu concentrator piramidal – sunt captatoare plane, fixe, prin care circulă un fluid purtător de căldură și care prezintă avantajul că poate colecta atât radiația solară directă cât și cea difuză.
- Captatorul cu concentrator cilindro-parabolic – acest sistem este alcătuit dintr-o oglindă cilindro-parabolică care are nevoie de o singură mișcare pentru urmărirea Soarelui pe cer, în jurul unei singure axe.
- Concentrator dublu-parabolic – acesta nu necesită urmărirea Soarelui pe cer dar există și varianta în care este nevoie de o ajustare periodică.
- Concentratorul sferic fix cu receptor mobil - o oglinda de forma unei calote sferice fixe care reflectă radiația solară indiferent unde este poziția Soarelui pe cer, către un focar liniar, care este montat în centrul oglinzii și care este paralel cu razele Soarelui. În acest caz, receptorul care poate fi un cilindru sau un motor Stirling este plasat mereu în focar.
- Captatoare cu concentrator mobil – aici amintim concentratoarele cu oglinzi și lentile Fresnel. Aceste concentratoare au la bază fenomenele de reflexie și refracție a radiației solare pe un receptor precum un motor Stirling.

2.3.2.3. Tehnologia de concentrare a radiației solare

Există o gamă largă de tehnologii de concentrare, dintre care amintim:

- Jgheab (cuvă) parabolică – Acest sistem este alcătuit dintr-un reflector parabolic liniar care concentrează lumina solară pe un receptor care poate fi o țevă de cupru prin care trece un agent de lucru. Temperatura agentului de lucru ajunge la valori între 150-350°C. Agentul de lucru poate fi folosit ca sursă

de căldură pentru încălzirea locuințelor sau pentru a produce energie electrică în alte sisteme complexe [***CSP].

- Lentile Fresnel – lentilele Fresnel au de asemenea o dublă utilizare. Ele pot fi folosite în sisteme cu tuburi vidate în care lentila concentrează radiația solară în focar liniar pe tuburi vidate sau țevi de cupru prin care circulă un agent de lucru, astfel se obține ACM sau; lentilele cu concentrare punctiformă care pot fi folosite în sisteme cu motoare Stirling pentru a obține atât energie termică cât și electrică [Șorândaru2013], [DeSabata2013], [***C57], [***CIP], [Lorenzo1981], [Wie2011], [Swanson2000].
- Turnul solar – Lumina este concentrată de o rețea de reflectoare pe un receptor central care este poziționat pe turn. Receptorul de pe turn conține la interior un fluid care se încălzește la temperaturi între 500 –1000°C și care este folosit apoi ca sursă de căldură pentru a obține energie electrică [DeSabata2013], [***C57], [***CIP].
- Farfurie parabolică Stirling – sau un sistem cu farfurie, este alcătuit dintr-un reflector parabolic care concentrează lumina solară pe un receptor care este poziționat în punctul central-focal al reflectorului. Ansamblul de farfurie Stirling și receptor este montat într-un sistem ce urmărește Soarele pe două axe. Receptorul poate avea la interior un fluid de lucru care încălzit, ajunge la temperaturi de până la 700°C. Acesta în combinație cu un motor Stirling generează energie electrică.

Dintre tehnologiile enumerate mai sus, vom detalia tipurile, caracteristicile, structura și aplicațiile posibile în care se pot folosi lentile Fresnel [DeSabata2013].

2.3.2.4. Tipuri de lentile Fresnel

Lentilele Fresnel reprezintă o soluție tot mai intens dezvoltată pentru construcția concentratoarelor de energie solară în ansamblu de sisteme mobile cu motoare Stirling. Lentilele Fresnel sunt construite din materiale plastice subțiri cum ar fi vinil rigid, acril sau policarbonat; care pe una din fețe au imprimate caneluri separate prin pereți verticali pe direcția focarului. Aceste materiale au o transmitanță mai mare de 80% în domeniul lungimilor de undă între 400-1500nm.

Cel mai des folosit material pentru construcția lentilelor Fresnel este PMMA – poly-methyl-metha-crylat care funcționează la temperaturi de până la 80°C. PMMA este un material plastic rezistent la lumina Soarelui, care are avantajul că nu își modifică proprietățile prin expunere la lumina solară, având o transmisivitate bună în zona spectrului solar și cu indicele de refracție de aproximativ 1.49, apropiat de cel al sticlei. Spre deosebire de acesta, vinilul rigid funcționează la temperaturi de până la 70°C dar se poate decolora la Soare prin expunere îndelungată, precum și poli-carbonatul care deși funcționează la temperaturi de până la 120°C, se îngălbenește puternic sub acțiunea Soarelui.

Lentilele Fresnel se împart în 2 categorii [DeSabata2013], [IREA2012], [Lorenzo1981], [Wie2011], [Swanson2000], [Ryu2006], [Wu2012]:

- de tip imaging - reproduc imaginea Soarelui pe receptor, adică sunt cu focalizare punctiformă.
- de tip non-imaging - focar liniar.

Referindu-ne la concentratoarele de tip non-imaging, liniare, acestea sunt des folosite în aplicațiile solare care nu necesită o calitate înaltă a imaginii, ci mai degrabă, uniformitatea fluxului concentrat care uzual se folosește pentru

concentrarea radiației solare pe țevi de cupru prin care circulă un agent termic sau pe tuburi vidate cu același scop, acela de a produce energie termică care poate fi folosită pentru încălzirea satelor, orașelor, locuințelor individuale sau pentru producerea ACM.

Lentilele de tip imaging sunt de o mare varietate de dimensiuni, cu distanțe focale între 5 și 1400mm. Canelurile de pe aceste lentile sunt sub formă circulară, lentilele putând fi folosite în concentratoare pentru aplicații termice și electrice, pentru laseri pompați solar, sisteme cu motoare Stirling, etc.

Avantajul acestora este dubla utilizare în care pot fi folosite, pentru obținere directă de energie termică și electrică, sunt subțiri și ușoare, fiabile și rezistente și deși pot induce pierderi de energie prin reflexia pe interfețe, acestea sunt ușor de utilizat și corectat cu straturi subțiri anti-reflectante. De asemenea, lentila nu transmite toată lumina interceptată spre focar din cauza acelor regiuni care deși par verticale, ele formează unghiuri de aproximativ 2 grade, acest lucru poate fi îmbunătățit prin tehnologii de fabricație moderne, inovative și mult mai precise.

În literatura de specialitate [DeSabata2013], [Câmpan2012], [IREA2012], [Lorenzo1981], [Wie2011], [Swanson2000], [Ryu2006], [Wu2012] se arată că există o diversitate de aplicații industriale ale lentilelor Fresnel, dar totodată numărul acestora nu este foarte mare. Spre exemplu, (IAS) International Automated Systems Inc. este în proces de finalizare a testelor efectuate asupra unui turn solar cu patru lentile Fresnel [***IAUS], și deși aplicațiile industriale sunt în stadiu incipient, sistemele cu lentile Fresnel și-au redobândit interesul după anul 2000 prin revigorarea și sporirea interesului pentru aplicații comerciale, științifice cât și cele industriale.

2.4. Considerații generale asupra tipurilor de motoare Stirling

Motorul Stirling este un tip de motor care poate fi folosit cu succes în sistemele de conversie a energiei solare în energie electrică. Cele mai des întâlnite sisteme sunt cele cu oglinzi parabolice în care motorul Stirling este montat în focarul oglinzii. Deși în ultima perioadă interesul a crescut pentru dezvoltarea de sisteme care să includă lentile Fresnel în loc de oglinzi parabolice, în ansamble de sisteme cu motoare Stirling, datele din literatura de specialitate sunt încă destul de limitate [Cheng2009], [***MStirl], [Narayan2015].

Un motor Stirling este un motor termic care funcționează prin compresie ciclică și expansiunea aerului sau a altor gaze din interiorul motorului (sau a fluidului de lucru), prin diferențe de temperaturi astfel încât să se poată produce energie termică urmată de lucru mecanic. Cele patru procese care au loc în interiorul motorului sunt: încălzire, expansiune, compresie și răcire.

Aceste motoare au trei zone importante:

- zona de expansiune
- zona generatorului
- zona de compresie.

Principiul general de funcționare al acestor motoare implică 4 transformări [***MStirl], [Homutescu2003], [***OHIO], [Narayan2015] (figura 4.2):

- la timpul 1-2 are loc încălzirea izocoră – fluidul de lucru este încălzit în zona caldă a cilindrului de la sursa de energie naturală sau artificială. Prin încălzire, fluidul de lucru (gazul - aerul în acest caz) se dilată împingând pistonul de deplasare odată cu pistonul de lucru. Cele două pistoane sunt defazate cu 90°.

- timpul 2-3 – are loc procesul de expansiune izotermă, unde poziția pistonului din zona de expansiune se mișcă datorită fluidului care este în proces de expansiune, și care este menținut la temperatură constantă de sursa externă de căldură.
- la timpul 3-4 are loc procesul de răcire izocoră, unde gazul din zona de expansiune, trecând prin zona regeneratoare este apoi împins spre zona rece unde este răcit.
- la timpul 4-1 are loc compresia izotermă – pistonul superior (sau inferior, după caz) comprimă fluidul de lucru (lichidul sau gazul în zona de compresie), în timp ce, cel de-al doilea piston este staționat. Acest lucru duce la creșterea presiunii la o temperatură constantă.

Motoarele Stirling prezintă numeroase avantaje din care enunțăm [***MStirl], [Homutescu2003]:

- eficiența ridicată - se poate folosi orice sursă de căldură, nu numai cele care au la bază un proces de ardere; cum ar fi energia solară, geotermală sau nucleară
- durata mare de funcționare
- căldura reziduală este ușor de folosit (comparativ cu motorul cu ardere internă)
- mecanismele de acționare sunt mult mai simple decât la alte tipuri de mașini
- pot fi construite pentru o funcționare foarte silențioasă, fără alimentare cu aer (submarine, tehnica spațială)
- deși necesită o perioadă de încălzire, au totuși o pornire ușoară și funcționează mult mai bine pe temperaturi mai scăzute decât motoarele cu ardere internă.
- un motor Stirling poate fi construit astfel încât dacă se folosește apă în instalație, aceasta să fie folosită pentru a răci spațiul de comprimare.
- sunt foarte flexibile. Pot funcționa în instalații de tipul CHP - Combined Heat and Power.

Din punct de vedere al domeniului de utilizare a motoarelor Stirling, există mai multe tipuri [Homutescu2003]:

- Motoare Stirling pentru autovehicule
- Motoare Stirling pentru submarine și pentru nave de suprafață
- Motoare Stirling pentru utilizări cosmice
- Motoare Stirling pentru mașina inimă artificială
- Motoare Stirling pentru instalații termoelectrice staționare
- Motoare Stirling demonstrative și motoare Stirling didactice.

După modul de funcționare, motoarele Stirling se clasifică în [***MStirl], [Homutescu2003], [***OHIO], [Narayan2015]:

- **Alfa Stirling**

Motorul Stirling de tip alfa este un tip de motor ce conține două pistoane de lucru care sunt amplasate în cilindri diferiți. Cilindru pistonului cald este situat în interiorul schimbătorului de căldură de temperatură înaltă iar cel al pistonului rece în schimbătorul de căldură de temperatură scăzută. Există mai multe tipuri de motoare Stirling tip alfa, din care amintim [Homutescu2003], [Narayan2015]:

- motoare Stirling de tip „alfa” cu pistoane cu simplă acțiune
- cu cilindri verticali și cu mecanisme bielă – manivelă
- cu mecanism manivelă - jug - bielă
- cu cilindri verticali și cu mecanism motor balansier
- cu pistoane cu simplă acțiune și cu cilindri în V
- cu pistoane cu simplă acțiune și cu cilindri în opoziție
- cu pistoane cu simplă acțiune și cu cilindri verticali așezați în opoziție

- motoare Stirling de tip „alfa” cu pistoane cu dublă acțiune
- cu pistoane cu dublă acțiune și cu cilindri așezați în linie
- cu pistoane cu dublă acțiune cu patru cilindri așezați în V
- cu pistoane cu dublă acțiune și cu mecanism motor cu placă înclinată
- cu pistoane cu dublă acțiune și cu cilindrii așezați în stea
- cu pistoane cu dublă acțiune cu mecanism motor de tip Balandin.

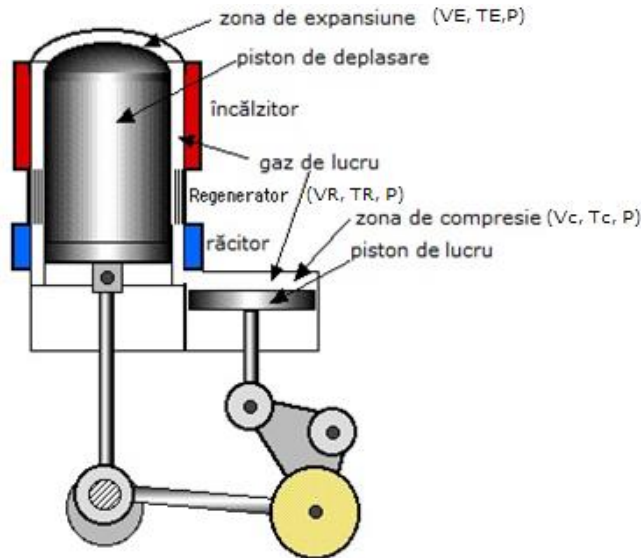


Figura 2.8. Motor Stirling tip alfa cu simplă acțiune
(Sursa: <https://www.ohio.edu/mechanical/stirling/>) [***OHIO]

În figura 2.8. se prezintă o schemă a motorului Stirling de tip alfa cu simplă acțiune în care se pot observa cele două pistoane în două încăperi diferite. Partea superioară a motorului ce conține zona caldă (zona de expansiune) este cea care vine în contact direct cu sursa de căldură, fie ca este vorba de energie clasică, solară sau nucleară. Conceptul motoarelor de tip alfa Stirling este relativ simplu din punct de vedere al designului și configurației; totuși un dezavantaj este faptul că atât pistonul cald cât și cel rece trebuie să fie bine sigilate pentru a nu avea pierderi de gaz (hidrogen, heliu, aer, etc).

- **Beta Stirling**

Un motor de tip Beta Stirling precum se vede în figura 2.9. are un singur cilindru în care sunt așezate un piston de deplasare și un piston de lucru pe același ax. Pistonul de lucru nu este montat etanș și nu folosește la lucrul mecanic, el are doar rolul de a deplasa gazul de lucru între elementul cald și cel rece al motorului Stirling. Când gazul de lucru este împins către capătul cald al cilindrului, se dilată și împinge pistonul de lucru. Când este împins către capătul rece, se contractă și momentul de inerție al motorului care este mărit cu ajutorul unui volant, împinge pistonul de lucru în sensul opus, pentru a comprima gazul [***MStirl], [Homutescu2003], [Narayan2015], [Cheng2012]:

Există mai multe tipuri de motoare Stirling tip beta, din care amintim:

- monocilindric cu mecanism romboidal
- poli-cilindrice cu mecanisme romboidale simetrice
- cu mecanism manivelă - bielă - balansier.

- cu mecanism motor compus din trei mecanisme bielă - manivelă
- cu cilindree variabilă sub sarcină .

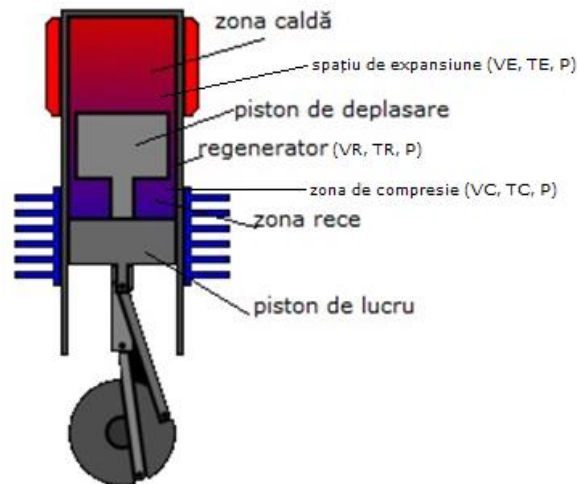


Figura 2.9. Motor Stirling tip beta
(Sursa: http://www.mpoweruk.com/stirling_engine.htm) [***MStirl]

• **Gamma Stirling**

Motorul de tip gamma Stirling un motor la care pistonul de lucru este montat într-un cilindru separat alăturat de cilindrul de deplasare, dar este conectat la același volant. Gazul sau agentul de lucru din cei doi cilindri circulă liber între aceștia (figura 2.10.) [***MStirl], [Homutescu2003], [Narayan2015].

Există mai multe tipuri de motoare Stirling tip gamma, din care amintim [***IAUS], [***MStirl], [Stănescu2014]:

- „back to back” cu mecanism bielă - manivelă
- cu mecanism cu roți dințate eliptice
- cu mecanism motor cu camă
- cu două pistoane împingătoare plasate în opoziție.

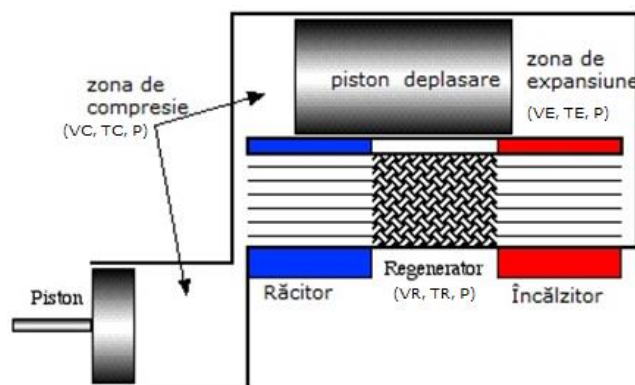


Figura 2.10. Motor Stirling tip gamma
(Sursa: <https://www.ohio.edu/mechanical/stirlinghtml>) [***OHIO]

O altă clasificare este după numărul de cilindri [***IAUS], [***MStirl] , [Stănescu2014]:

- mașini Stirling monocilindrice;
- mașini Stirling poli-cilindrice.

După modul în care interacționează pistoanele cu agentul de lucru mașinile Stirling se clasifică în [***MStirl], [Homutescu2003]:

- mașini cu pistoane cu simplă acțiune;
- mașini cu pistoane cu dublă acțiune;
- mașini cu piston motor cu simplă acțiune și piston împingător cu dublă acțiune.

Conform cu [Cheng2009] și [Narayan2015], motoarele Stirling au o largă plajă de domenii în care pot fi folosite cu succes, și deși prezintă și dezavantaje, motoarele Stirling au și numeroase avantaje: sunt mai silențioase, economice, nu necesită investiții mari pentru întreținere și au avantajul că pot folosi diferite surse pe post de combustibil, inclusiv energia solară, care este gratuită.

2.5. Concluzii și contribuții personale

Din studiul realizat rezultă următoarele concluzii:

- a) În literatura de specialitate sunt prezentate un număr mare de modele matematice pentru estimarea radiației solare globale, dintre care am ales modelul Hotell&Bugler, considerând că acesta se potrivește cel mai bine pentru calculul radiației solare.
- b) Implementând modelul menționat în mediul de programare Excel s-a calculat radiația solară din zona Municipiului Timișoara, utilizând datele furnizate de Platforma Solară a Universității de Vest din Timișoara.
- c) Același model și aceeași metodologie pot fi utilizate pentru calculul radiației solare în oricare din zonele României.
- d) Din datele furnizate de literatura de specialitate rezultă că România are un potențial solar demn de luat în considerare pentru obținerea de energie termică sau electrică. În zonele greu accesibile utilizarea energiei solare devine și mai eficientă.
- e) Elementele avute în vedere la configurarea și dimensionarea corectă a unei centrale termoelectrice solare (model experimental) utilizând motor Stirling și lentile Fresnel sunt: poziția geografică și condițiile de mediu la locul de implementare; tipul de lentilă Fresnel utilizată; tipul motorului Stirling; sistemele de automatizare și control utilizate.

Principalele contribuții în acest capitol sunt următoarele:

- a) Implementarea modelului Hotell&Bugler pentru calculul radiației solare în mediul de programare Excel.
- b) Analiza potențialului solar din zona de Vest a României utilizând programul de calcul conceput și implementat. Rezultatele obținute au fost prezentate în lucrarea: „Analiza comparativă a potențialului solar în regiunea de Sud-Vest a României”, Instalații pentru Construcții și Confortul Ambiental, Universitatea Politehnica din Timișoara, AIIR, Editia 22, pg. 147-155, 2013.
- c) Analiza radiației solare pornind de la datele furnizate de platforma solară a UVT, în scopul de a determina parametrii optimi de funcționare ai unei instalații experimentale de centrală termoelectrică solară cu motor Stirling și lentile Fresnel, care este descrisă în capitolul trei. Rezultatele obținute au fost prezentate în lucrarea: Characteristics of solar radiation in region close to Timișoara, la conferința RAD2014 și publicată în volumul Safety Engineering Nr. 4, pg. 163-166, 2014.

- d) Sinteza bibliografică privind tipurile de concentratoare solare, implicit a lentilelor Fresnel, care fac obiectul de interes pentru instalația experimentală de centrală termoelectrică solară cu motor Stirling și lentile Fresnel concepută și realizată.
- e) Sinteza tipurilor de sisteme pentru urmărirea Soarelui pe cer. Rezultatele sintezei au fost prezentate și publicate în lucrarea: "Sistem pentru urmărirea Soarelui în vederea concentrării radiației solare cu lentile Fresnel", Conferința Instalații pentru Construcții și confortul ambiental, ediția 22, pg. 156-159, Ed. Politehnica, 2013.
- f) Analiza posibilităților de utilizare a concentratoarelor cu lentile Fresnel în zona de Vest a României. Rezultatele obținute au fost prezentate la conferința Instalații pentru construcții și confort ambiental de la Facultatea de Construcții, Universitatea Politehnica Timișoara, și publicate în lucrarea „Studiu privind aplicabilitatea concentratoarelor cu lentile Fresnel în regiunea Timișoarei”, în volumul Conferinței ediția 22, pg. 160 – 165, Timișoara, 2013.
- g) Studiul literaturii de specialitate privind tipurile constructive existente de motoare Stirling în vederea identificării variantei corecte de motor Stirling pentru a fi utilizat în realizarea instalației experimentale de centrală termoelectrică solară cu motor Stirling și lentile Fresnel.

3. MODEL EXPERIMENTAL DE CENTRALĂ TERMoeLECTRICĂ SOLARĂ CU MOTOR STIRLING ȘI LENTILĂ FRESNEL

Așa cum s-a arătat în capitolul precedent, nevoia de a găsi soluții alternative producerii energiei termice și electrice și din alte surse decât cele clasice este cu atât mai importantă și urgentă cu cât, de la an la an, cererea de energie la nivel global crește semnificativ.

Astfel, având în vedere soluțiile deja existente pentru realizarea unei instalații termoelectrice solare [***Solar2014], [***Indiasolar], [***Fresnel], [***Mmekka] care să înglobeze motorul Stirling, lentila Fresnel, aparatele de măsură și elementele conexe, s-a trecut la faza de concepție și execuție a elementelor necesare unui model experimental. Mai întâi s-a dimensionat cadrul suport care să permită montarea lentilei Fresnel având în vedere forma și dimensiunile acesteia. Ulterior s-a conceput sistemul de fixare a motorului Stirling astfel încât acesta să poată fi plasat cât mai exact în focarul lentilei Fresnel. Pentru proiectare elementelor menționate s-a utilizat mediul de programare CAD.

Prima variantă a modelului experimental conține un cadru metalic rigid, format din două părți, partea superioară care susține lentila Fresnel, dimensionat pentru a încadra lentila cu rama de lemn, având dimensiunile lungimea $L=100\text{cm}$, lățimea $l=65\text{ cm}$ cu tot cu cadrul de lemn, fixat în două puncte laterale cu două tije reglabile, care permit rotirea panoului în plan orizontal cu 360 grade. Cadru metalic este prevăzut cu un sistem de fixare a motorului Stirling în focarul lentilei Fresnel. Cadru metalic este prevăzut cu roți astfel încât modelul experimental să poată fi deplasat și plasat în diverse poziții față de Soare. Modelul experimental se fixează pe sol și are posibilitatea modificării orientării lentilei Fresnel față de Soare.

A doua variantă a modelului experimental de centrală termoelectrică solară este o instalație semi-automată; concepută inițial în mediul de programare CAD având două grade de libertate, pe o direcție est-vest acționată automat cu ajutorul unui actuator, pentru urmărirea Soarelui pe cer de la răsărit la apus, și o mișcare manuală pentru schimbarea unghiului de orientare pe direcția nord-sud, cu ajutorul unei tije reglabile și cu ajutorul balamalelor care permit ridicarea sau coborârea instalației în funcție de necesități.

Cea de-a treia variantă a modelului experimental de centrală termoelectrică solară, care este și varianta optimizată, este cea în care cele două grade de libertate sunt automatizate. Aceasta se realizează utilizând două actuatoare poziționate astfel încât să se permită mișcarea lentilei Fresnel pe direcția est-vest, respectiv pe direcția nord-sud. Această variantă permite poziționarea optimă a lentilei Fresnel, față de Soare, în tot cursul zilei și indiferent de locul de poziționare a modelului experimental.

În continuare sunt prezentate instalațiile de laborator precum și varianta îmbunătățită a instalației experimentale, pe care s-au făcut măsurătorile în condiții reale, utilizând ca sursă de căldură Soarele.

3.1. Model experimental cu motor Stirling tip beta

Instalația experimentală cu ajutorul căreia s-au făcut măsurătorile în condiții de laborator ce include motorul Stirling de tip beta, s-a realizat la departamentul Bazele Fizice ale Ingineriei, Universitatea Politehnică din Timișoara.

În figura 3.1 se prezintă instalația de laborator a modelului experimental de centrală termoelectrică cu motor Stirling, la care sursa de energie este lampa cu gaz. În imagine se pot vedea echipamentele și aparatele de măsură folosite: șasiu National Instruments NI cDAQ-9172 cu modul NI9201, program software Labview pentru înregistrarea datelor, multimetre, tahometru, termometre, sonde de temperatură, voltmetru și ampermetru, rezistor variabil în trepte.



Figura 3.1. Imagine de ansamblu a instalației experimentale de laborator cu motor Stirling tip beta

Cu ajutorul lămpii cu gaz se încălzește partea superioară a motorului Stirling, miezul de fier, cu partea cea mai caldă a flăcării poziționată central pe miezul de fier, pentru a limita pierderile de căldură și a concentra cât mai bine căldura de la lampa cu gaz spre motor. Astfel se încălzește gazul din interiorul motorului, în cazul nostru, aerul. Acest tip de motor are un singur cilindru în care se găsesc montate pe același ax un piston de lucru și un piston de deplasare.

În spațiul cald, gazul primind căldură, se dilată, producând lucru mecanic prin deplasarea pistoanelor. Apoi gazul este dislocat de pistonul de deplasare prin regenerator (interstițiul dintre cilindru și pistonul de deplasare) spre spațiul răcit, urmând să fie comprimat aici de pistonul de lucru. După comprimare pistonul de deplasare transferă gazul din nou în spațiul încălzit, reluând ciclul. Coturile arborelui cotit care acționează prin bielele cele două pistoane sunt decalate cu 90 de grade.

Cu energia cinetică acumulată în volant se trece prin punctele moarte (capetele cursei pistonului).

Volantul, prin intermediul unei curele de transmisie, este cuplat cu rotorul generatorului electric. Astfel energia mecanică de la motorul Stirling este

transferată generatorului electric, care o transformă în energie electrică. La bornele generatorului electric este conectat un consumator rezistiv a cărui rezistență electrică este reglată în trepte. Pentru măsurarea tensiunii și curentului generatorului s-a utilizat un sistem de achiziții de date precum și instrumente numerice de măsură.

De asemenea, așa cum poate fi observat în figura 3.1, pe radiatorul motorului Stirling, pe miezul de fier și la baza motorului; sunt plasate în total patru termocuple tip K pentru determinarea temperaturilor în focar, a părților calde și reci a radiatorului de aluminiu și a aerului la intrarea de jos în motor.

Motorul beta folosit în standul experimental, este realizat din metal, cu partea superioară de fier (zona unde se încălzește de la flacără), radiatorul, suportul prindere, volantul, cilindrul interior cu cele două pistoane și pistonul de deplasare sunt construite din aluminiu iar pistonul de lucru este confecționat din bachelită.

3.2. Model experimental cu motor Stirling tip gamma

Instalația experimentală cu ajutorul căreia s-au făcut măsurătorile în condiții de laborator ce include motorul Stirling de tip gamma, s-a realizat în cadrul Laboratorului Experimentarium TM. Acesta este un laborator realizat prin colaborarea între Universitatea Politehnica și Universitatea de Vest din Timișoara.

Principalul motiv pentru care s-a ales și efectuarea de măsurători experimentale pe acest tip de motor este pentru a realiza un studiu comparativ a comportării celor două tipuri de modele experimentale în condiții asemănătoare cu cele existente în instalația pilot.

În figura 3.2 este prezentată o vedere de ansamblu a echipamentelor și aparatelor folosite la acest model experimental. Ca instrumente de măsură sunt utilizate voltmetru, ampermetru, două termocuple Ni-Cr-Ni, tahometru laser, termometru cu infraroșu.

Principiul de funcționare al instalației este asemănător cu cel al instalației ce folosește motorul Stirling tip beta, diferența constând în faptul că pistonul de lucru este montat într-un cilindru separat alăturat de cilindrul de deplasare, dar este conectat la același volant iar gazul din cei doi cilindri circulă liber între aceștia.

Cu ajutorul lămpii cu gaz se încălzește motorul pe calota de sticlă termorezistentă, cu precizarea că flacăra este direcționată pentru a nu avea contact direct cu orificiul în care intră sonda de temperatura, pentru ca citirea temperaturilor în zona caldă să nu fie influențată de lampa de gaz. După un anumit timp de preîncălzire, gazul de lucru (aerul în cazul nostru) se dilată, împinge pistonul de deplasare care este legat cu pistonul de lucru printr-o tijă în sistemul bielă-manivelă, iar aceasta la rândul ei este legată la volant. Volantul este conectat printr-o curea neelasică la generatorul electric.

La bornele generatorului este conectat un consumator rezistiv care are posibilitatea reglării în trepte a rezistenței. Instalația este prevăzută cu instrumentele de măsură necesare determinării tensiunii la bornele generatorului, curentului debitat de generator, turație motorului Stirling și temperaturilor.

Așa cum poate fi observat în figura 3.2, motorul Stirling tip gamma folosit în modelul experimental este din sticlă termorezistentă, cu cilindrul în care se găsește pistonul de deplasare din același material de sticlă termorezistentă. Pistonul de lucru poziționat în cilindrul alăturat este din cupru. Puterea motorului este între 1 – 4W, turația nominală 1000 RPM, diametru volantului 140 mm, volumul de gaz 32 cm^3 – 44 cm^3 , generatorul electric este de curent continuu și are tensiunea nominală 12V și curentul nominal 0.5A.



Figura 3.2 Imagine de ansamblu a instalației experimentale de laborator cu motor Stirling tip gamma

În continuare este prezentată descrierea instalației experimentale în condiții reale într-un sistem cu lentilă Fresnel, motor Stirling tip beta și sistem de urmărire a Soarelui pe cer, de trei tipuri.

3.3. Descrierea instalației experimentale pilot

Instalația experimentală s-a realizat în departamentul Bazele Fizice ale Ingineriei, Universitatea Politehnică din Timișoara și parțial în cadrul unui proiect de cercetare - inovare care a avut ca obiectiv studiul unei „Centrale termoelectrice solare cu lentile Fresnel” .

În figura 3.3 este prezentată instalația pilot inițială, cu lentilă Fresnel, sistem de urmărire a Soarelui pe cer și motor Stirling tip beta. Scopul principal al conceperii și realizării acestei instalații este de a valorifica cât mai eficient energia solară pentru producerea energiei electrice. Utilizarea energiei solare din suprafețe mari în zone cu suprafețe cât mai mici impune folosirea concentratoarelor de energie solară CSP (Concentrated Solar Power).

Aceste concentratoare se realizează cu lentile Fresnel. Concentrarea energiei solare din suprafețe mari în suprafețe cât mai mici (punctiforme) creează premisele utilizării motoarelor Stirling pentru acționarea generatoarelor electrice, ale transformării energiei solare în energie electrică prin centrale termoelectrice solare [Li2013].

În [Sookramoon2016] este prezentată o instalație termoelectrică solară în care se utilizează un concentrator realizat dintr-o oglindă parabolică Fresnel iar motorul Stirling este poziționat în focarul oglinzii (deasupra oglinzii). Rezultatele obținute cu această instalație sunt comparabile cu cele rezultate utilizând instalația termoelectrică solară cu lentilă Fresnel și motor Stirling prezentată în continuare.

Instalația prezentată în figura 3.3 este relativ rigidă, în sensul că mișcarea după Soare pentru optimizarea transferului de energie solară se face complet manual prin rotire, ridicare și fixare pe cadrul suport a părții superioare care ține lentila și motorul, astfel încât este nevoie de cel puțin doi operatori pentru a putea mișca cadrul pentru ca focarul lentilei să rămână permanent centrat pe motorul Stirling și pentru a putea citi valorile aparatelor de măsură care nu au o înregistrare automată continuă.



Figura 3.3 Instalația experimentală – prototip 1

La această instalație cadrul superior a fost izolat cu plăci de poliester pentru a minimiza impactul vântului asupra randamentului instalației. S-a renunțat la această instalație deoarece era mult prea greu de folosit și astfel s-a trecut la conceperea și realizarea unei alte variante. Astfel s-a realizat un cadru nou care să permită urmărirea, cel puțin parțial, a poziției Soarelui.

În figura 3.4 este prezentată schema instalației experimentale denumită prototip 2 - vederea izometrică a cadrului suport, iar în figura 3.5 vederea laterală a aceleiași instalații. Materialele și dimensiunile instalației sunt după cum urmează:

- Suport lentilă Fresnel din profil metalic tip L - 20x20x3 mm;
- Tijă filet M10 pentru susținere cadru lentilă și legătură cu cadrul motorului Stirling;
- Suport motor Stirling;
- Suport generator;

- Suport senzori;
- Suport actuator.
- Balamale;
- Tijă reglabilă pe înălțime;
- Profil U 40x20x5mm.

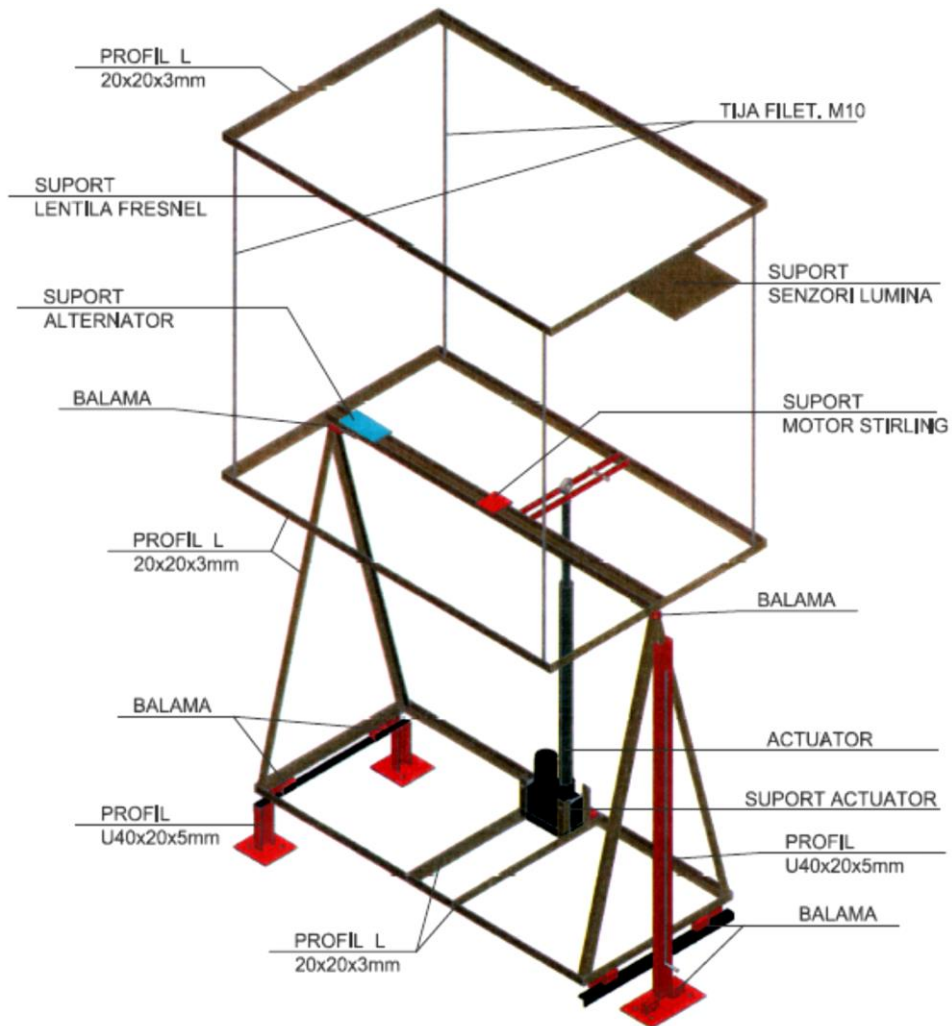


Figura 3.4 Instalație experimentală prototip 2 - cadru suport vedere izometrică

Instalația prototip 2 nu a fost executată fizic deoarece s-a ajuns la concluzia că nici această instalație nu este suficientă pentru a fi operată de un singur operator, astfel s-a conceput o nouă variantă care să necesite intervenții minime din partea operatorului uman. S-a conceput și realizat instalația prototip 3 care este o instalație cu mișcarea pe 2 axe.

În figura 3.6 este prezentată schema instalației prototip 3, instalație pe care s-au efectuat determinări experimentale în condiții reale de funcționare a centralei termoelectrice solare cu lentilă Fresnel și motor Stirling.

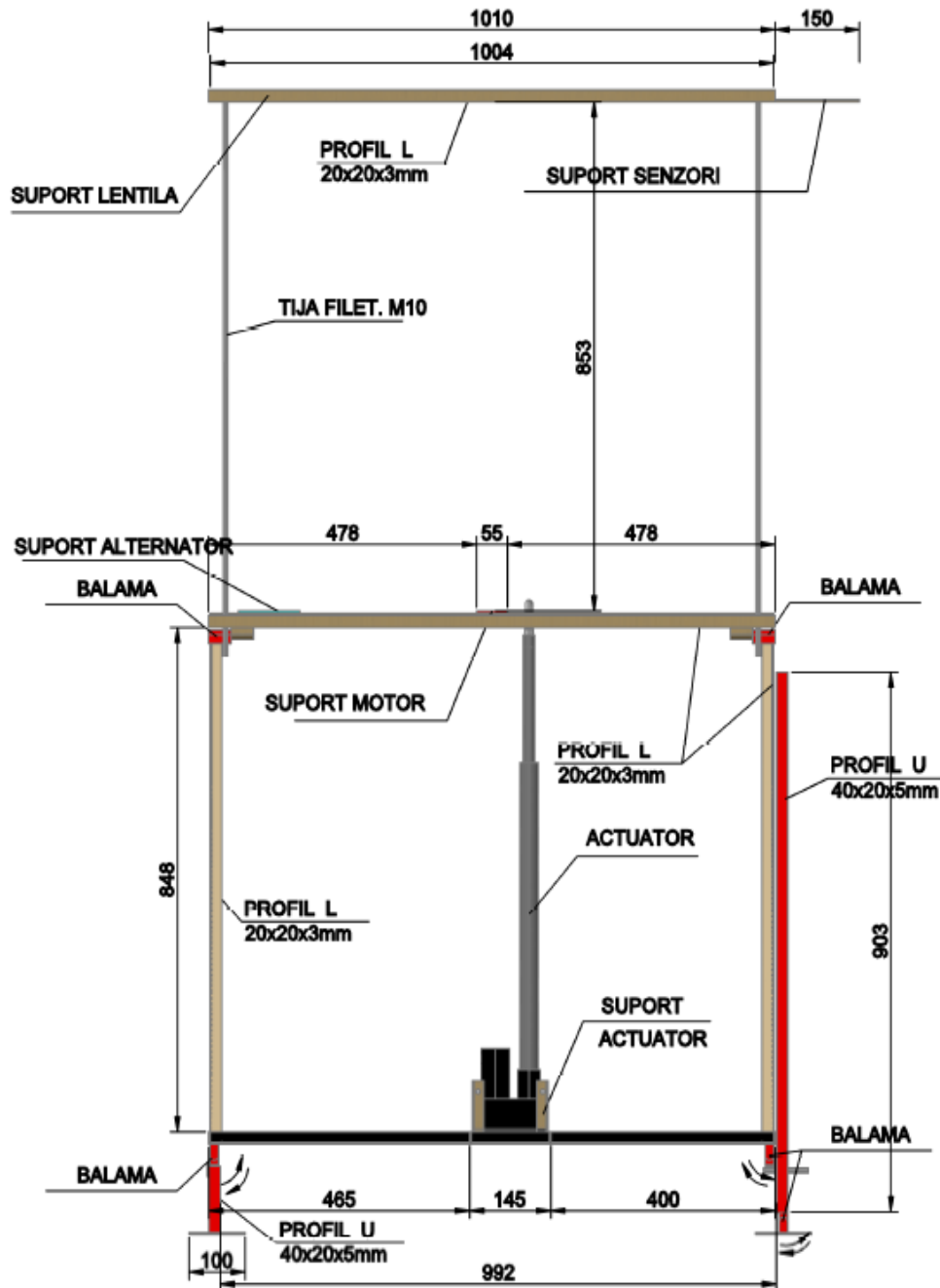


Figura 3.5 Instalație experimentală prototip 2 - Cadru suport vedere laterală



Figura 3.6 Schema de principiu a instalației pilot - cadru suport vedere izometrică – prototip 3

Lentila Fresnel situată în partea superioară a instalației, concentrează lumina provenită de la Soare pe un receptor poziționat perpendicular pe pata focală. [Lorenzo1981], [Rabl1976], [Xie2011], [Jing2014], [Wua2012], [Homutecu2003], [Sukki2010]. Receptorul este un motor Stirling montat direct sub lentilă, la o distanță optimă de pata focală cu un reglaj ce permite reglarea manuală cu ajutorul a patru tije metalice. Aceste tije permit ridicarea sau coborârea suportului motorului. Motorul folosește ca și gaz interior aerul. Panoul urmărește Soarele în timpul zilei prin rotirea în jurul a două axe, în mod automat, cu ajutorul a două actuatoare care permit deplasarea stânga - dreapta a cadrului superior cât și mișcarea sus - jos a aceluiași cadru.

Energia concentrată de lentilă încălzește partea superioară a motorului, gazul din interior se încălzește, crește presiunea (ciclul intră în faza de expansiune) și astfel pistonul este împins înspre zona rece, iar motorul Stirling produce lucru mecanic. Prin intermediul curelei de transmisie este rotit rotorul generatorului electric obținându-se energie electrică. În instalație s-a folosit pe post de consumator o rezistență variabilă cu valori între 100 - 1100 Ω . Pe instalație este suspendat la o distanță de 2 m înălțime un anemometru, pentru a măsura viteza vântului iar pentru măsurarea radiației solare, s-a montat un piranometru.

Tensiunea și curentul generatorului electric sunt măsurate cu un voltmetru, respectiv ampermetru. Termocuplele sunt poziționate în diferite puncte ale motorului, în focar, pe radiator în zona caldă, pe radiator în zona rece și în interiorul motorului Stirling tip beta la partea inferioară.

Prin încălzirea capului motorului Stirling cu ajutorul lentilei, gazul de lucru din interior, aerul în acest caz, este încălzit în zona superioară caldă a monocilindrului, pe baza absorbției de energie termică de la sursa noastră de căldură, Soarele. Gazul de lucru încălzit se dilată iar astfel pistonul de deplasare este împins în jos spre pistonul de lucru, pe care îl va pune și pe acesta în mișcare care va ceda lucru mecanic volantului [Gheith2015].

În figura 3.7 se prezintă instalația pe care s-au efectuat măsurătorile în condiții reale. Instalația experimentală este formată din următoarele componente: cadru suport mobil, lentila Fresnel, motor Stirling tip beta, generator electric, actuator, pâlnii, discuri, material fibră ceramică izolator pentru motorul Stirling și pâlnii, plăci poliester pentru izolarea cadrului, folie termorezistentă și aparatele anexe pentru măsurători.

Dimensiunile instalației sunt:

- baza cadrului: - lungime: 102 cm
- lățime: 65 cm
- partea superioară a cadrului:
 - lungime: 102 cm
 - lățime: 65 cm
 - adâncime: 80 cm.

Lateralele părții superioare a sistemului sunt izolate pentru a minimaliza influența vântului prin răcirea părții calde superioare a motorului și pentru a putea păstra o diferență de temperatură cât mai mare între cele două părți.

Important de menționat este faptul că în timpul funcționării, la intensități mari are radiației solare, cer senin, lentila concentrează o putere mult mai mare decât în condiții meteorologice nefavorabile, cu cerul acoperit de nori, astfel crește și puterea debitată de motor; crește vibrația instalației provocată de mișcarea celor două pistoane destabilizându-se astfel cadrul suport. Pentru a împiedica acest lucru, s-au fixat pe lateral și sub cadrul de jos, tampoane de cauciuc care să amortizeze vibrațiile.

Pentru a limita pierderile de căldură, partea superioară a motorului este izolată cu pătură din fibră ceramică rezistentă până la temperaturi de 1350 °C, care are atât rol de izolator termic, cât și acustic. Grosimea stratului este de 25 mm, în dublu strat, cu folie de aluminiu la exterior.

În continuare sunt prezentate pe larg principalele componente ale standului experimental.

a) Cadrul suport

Acesta este construit din platbandă metalică sudată, pe el este fixată lentila Fresnel în partea superioară, iar prin tije metalice sudate pe cadrul superior la o distanță focală optimă, reglabilă și aceasta cu ajutorul filetelor de distanțare, și prins în patru puncte, este situat motorul Stirling tip beta.

Cadrul permite urmărirea Soarelui în două moduri: manual (sistemul se rotește manual de către operator - în cazul unor defecțiuni tehnice se poate interveni manual) și automat (rotirea instalației este făcută cu ajutorul actoarelor pe direcția est-vest, respectiv nord-sud).

La partea inferioară a cadrului sunt montate roți transportoare care pot fi reglate și în poziție fixă, fără să se miște; pentru a putea poziționa întregul sistem în orice locație se dorește.



Figura 3.7 Imagine de ansamblu a instalației experimentale pilot (prototip 3)

b) Actuatore

Sistemul de mișcare a cadrului suport pentru urmărirea Soarelui pe cer este realizat cu actuatore tip JC35D, cu puterea de ridicare de până la 6000N, viteza la sarcina maximă de 18 mm/s, poziția de montare în orizontală sau verticală sau la o înclinare de 45 grade, temperatura de operare între 5-40 °C, învelișul de protecție a sistemului este dintr-un tub de aluminiu, cu capetele de prindere superior și inferior de aliaj de aluminiu, cu posibilitate de a fi înlocuite cu material de oțel sau plastic.

Actuatorul este cel care primește instrucțiunile de comandă sub forma de semnal electric punând în mișcare cadrul superior al instalației care susține lentila Fresnel și motorul Stirling.

Actuatorul este utilizat împreună cu un modul de control și un sistem de urmărire a Soarelui pe cer. În figura 3.8 este prezentat actuatorul, iar în figura 3.9 dimensiunile actatoarelor pentru a putea identifica corect cotele la care trebuie să fie montate.



Figura 3.8 Montaj actuatoare

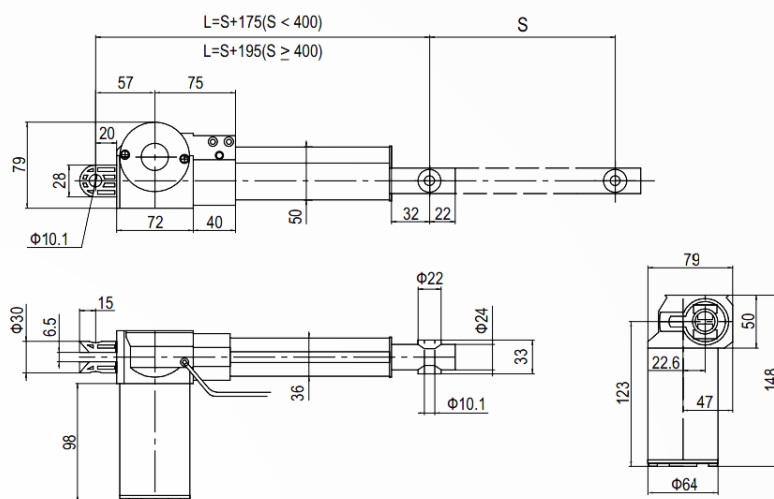


Figura 3.9 Cote și dimensiuni actuatoare

c) Modulul de control

Modulul de comandă și control care transmite semnalul de comandă actuatorelor este de tipul JCJ35D, la care se pot conecta maxim 4 actuatore. Temperatura de funcționare este între 5-40°C. În figura 3.10 se poate vedea modulul și dimensiunile modulului.

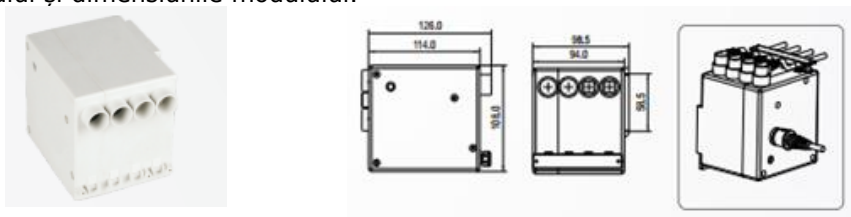


Figura 3.10 Modulul de control

d) lentila Fresnel

În figura 3.11a este prezentată lentila Fresnel utilizată în instalația experimentală, cu cadrul de fixare din lemn iar în figura 3.11b canelurile acestei lentile [Lorenzo1981].



Figura 3.11a. Lentila Fresnel

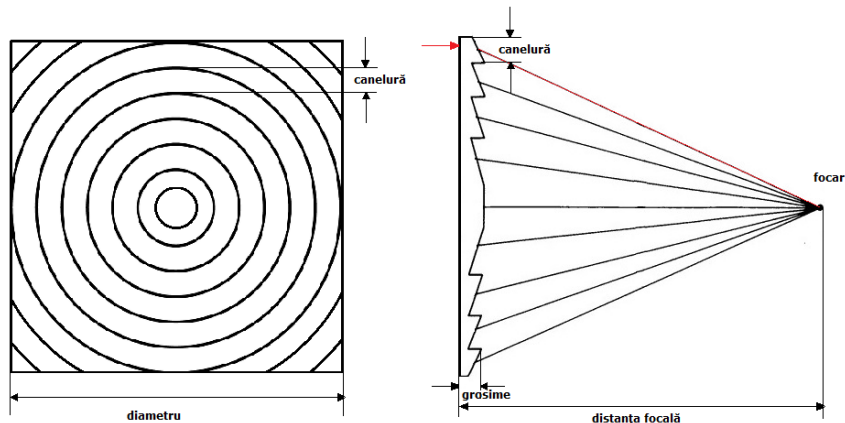


Figura 3.11b. Caneluri lentilă Fresnel

Date despre lentilă [De Sabata2013], [Ilie2015], [Ilie2016], [Wu2012], [Rabl1976], [Xie2011], [Jing2014], [Sukki2010]:

- materialul: masă plastică
- lentila Fresnel cu lungime 90.5 cm și 57.8 cm lățime în ramă
- masa: 2.5 kg
- rigidizare: ramă de lemn
- aria suprafeței active (apertură): $A = 0.52 \text{ m}^2$
- focarul: punctiform
- conturul zonelor Fresnel succesive: circular
- transmitanța: $Tr = 0.85$
- factorul de interceptare: $\gamma = 0.80$

Rezultate experimentale asupra lentilei [De Sabata2013], [Ilie2015]:

- Pentru lentila cu fața plană spre Soare, razele sunt concentrate într-o zonă spațială cuprinsă între planele de coordonate 65 și 70 cm față de lentilă.
- Razele solare sunt concentrate într-o pată focală cu raza de 4 cm

- Iluminarea este maximă într-o pată circulară cu raza de 2 cm.

e) motor Stirling tip beta

În figura 3.12 este ilustrată schița modelului geometric al motorului Stirling tip beta iar în figura 3.13 se poate vedea imaginea motorului Stirling de tip beta folosit în instalația experimentală [Chen2014], [Aksoy2013], [Ilie2016a], [Ilie2016b], [Stirling4], [Homutescu2003].

Dimensiunile motorului sunt următoarele:

- lungime radiator aluminiu 8 cm
- diametru 4 cm
- lungime miez fier 2.5 cm
- diametru miez fier 2 cm
- suport prindere grosime de 0.2 cm
- distanța între elementele de răcire ale radiatorului 0.1 mm
- grosime elemente răcire radiator 0.2 cm
- diametru volant 9 cm
- diametru ax volant 1 cm.

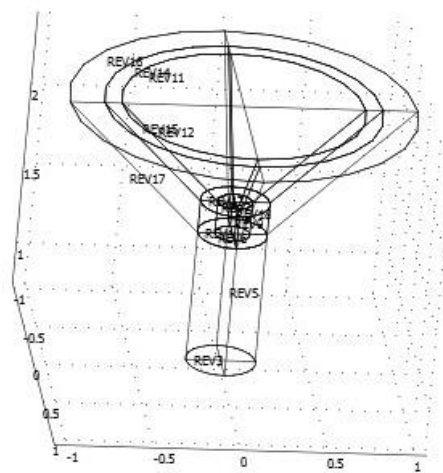


Figura 3.12 Schița motor Stirling tip beta



Figura 3.13 Motorul Stirling tip beta utilizat

f) motor Stirling tip gamma

În figura 3.14 este prezentat motorul Stirling tip gamma folosit în instalația experimentală de laborator. Caracteristicile motorului sunt următoarele [StirlingG]:

- putere: 1-4W
- diametru volant 14 cm
- diametru piston de lucru 2.5 cm
- volumul minim 32cm^3
- volumul maxim 44cm^3
- generator 12V DV, 0.43A
- dimensiuni: 160 x 300 x 220mm.

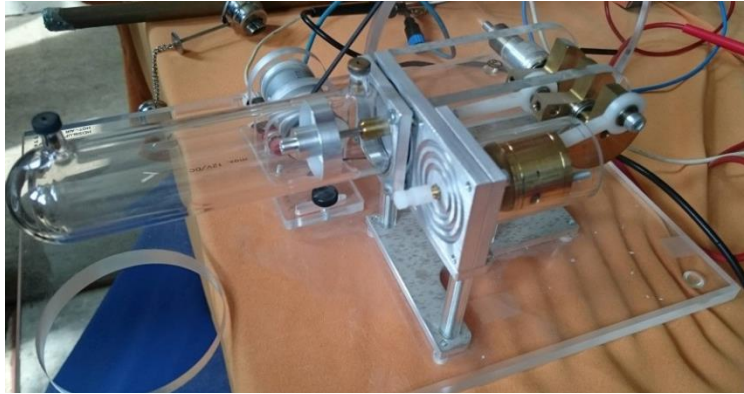


Figura 3.14 Motorul Stirling tip gamma

g) generator electric

Generatorul electric folosit pentru instalația cu motor Stirling tip beta (figura 3.15) are următoarele specificații tehnice: tensiune de operare 0,3 - 12 V, diametru ax 2 mm, lungime ax 10.8 mm, dimensiuni $\varnothing \times L$ 35 x 26 mm, viteza nominală 2500 RPM, curent de pornire 10mA, cuplu maxim 5.5 g/cm.



Figura 3.15 Generator electric

h) Rezistor etalon

În figura 3.16 este prezentată rezistor etalon folosită în instalație.



Figura 3.16 Rezistor etalon

i) Reostat reglabil în trepte

Pentru a determina caracteristica externă a generatorului s-a utilizat ca sarcină un rezistor variabil în trepte, treapta de $100\ \Omega$, valorile rezistenței electrice în intervalul (100-1100 Ω) (Figura 3.17).

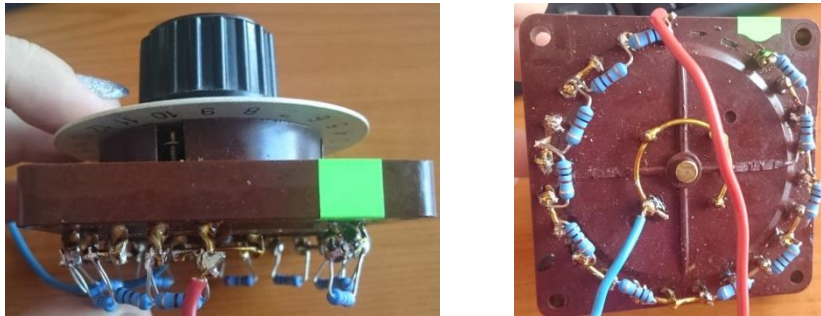


Figura 3.17 Rezistor variabil în trepte

j) Cavități - pâlnii

Deoarece pata focală a lentilei Fresnel este mai mare decât suprafața de receptare a capului motorului Stirling pentru creșterea transferului de energie solară la motorul Stirling s-au folosit pâlnii din materiale diferite [Aksoy2013], [Ilie2016a], [Ilie2016b]. Pâlniile utilizate sunt de 6 tipuri cu forma și dimensiunile din figura 3.18a. Materialele din care sunt confecționate pâlniile este: fier; cupru; aluminiu. Cele 6 pâlnii sunt prezentate în figura 3.18b.

Pâlniile au fețele interioare vopsite în negru cu vopsea rezistentă la temperaturi de până la 900°C iar fața exterioară este izolată cu pătură din fibră ceramică.

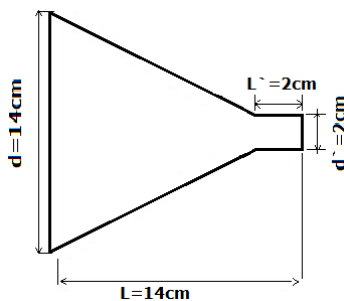


Figura 3.18a. Dimensionare pâlnii

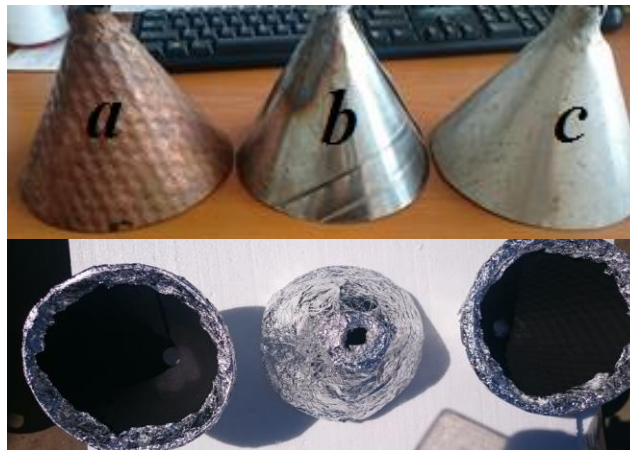


Figura 3.18b Pâlnii: a - pâlnie cupru, b - pâlnie fier, c - pâlnie aluminiu

k) Discuri

Folosite în același scop ca și pâlniile, discurile utilizate la instalația experimentală sunt de trei tipuri, având un diametru exterior de 9 cm, diametru interior de 2 cm (figura 3.19a), materiale folosite sunt aluminiu, alamă și fier (figura 3.19b), grosimea discurilor este de 1 mm.

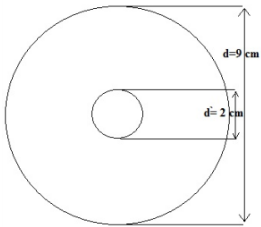


Figura 3.19a. Dimensionare discuri



Figura 3.19b. Discuri:
a – disc aluminiu, b – disc alamă, c – disc fier

l) Placă aluminiu

Pentru a putea determina randamentul lentilei Fresnel, s-au făcut mai multe seturi de încercări. În prima variantă s-a încercat determinarea randamentului cu ajutorul unui vas cu apă, cu o cantitate de 300 ml apă, vopsit în interior cu vopsea neagră rezistentă la topire până la temperaturi de 900°C, așa cum se vede în figura 3.20.



Figura 3.20. Instalație experimentală vas cu apă pentru determinare randament lentilă Fresnel

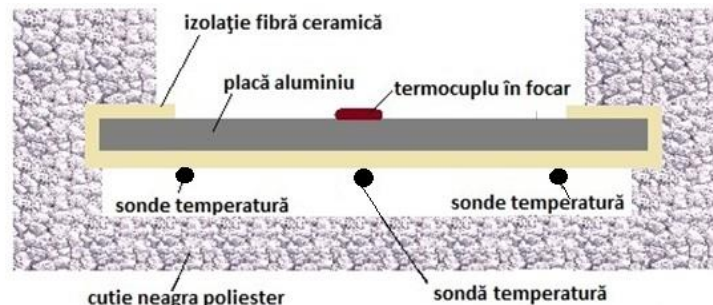


Figura 3.21 Instalație cu placă de aluminiu pentru determinare randament lentilă Fresnel

Datorită faptului că vasul nu este închis ermetic, pierderile de căldură sunt mari, creșterea temperaturii apei până la punctul de fierbere este foarte lentă, ceea ce face ca această metodă să prezinte erori mari, inacceptabile din punct de vedere tehnic. Totodată instalația urmărește poziția Soarelui pe cer, sub un anumit unghi, ceea ce înseamnă că pentru a păstra pata focală în vas este nevoie să înclinăm vasul, intervenind erori și datorită faptului că apa nu are suprafața perpendiculară pe pereții vasului.

Având în vedere aceste neajunsuri s-a conceput o altă instalație (figura 3.21) formată dintr-o cutie de poliester neagră în care este plasată la mijloc o placă din aluminiu cu grosimea de 5 mm, învelită în fibră ceramică pentru a nu topi partea inferioară și lateralele cutiei și 4 sonde de temperatură, asemănător experimentului din [Gallitto2011]. Instalația este prezentată în figura 3.21.

m) Izolație fibră ceramică

Pentru diminuarea până la eliminarea completă a pierderilor de căldură prin pâlniile de pe capul motorului Stirling, acestea s-au izolat termic cu vată din fibră ceramică rezistentă la temperaturi de până la 1350°C.

Vata din fibra ceramică utilizată are densitatea de 128kg/mc, temperatura de lucru până la 1350°C, cu grosimea de 25mm și punctul de topire la 1800°C. Peste straturile de fibră ceramică s-a adăugat un strat de folie de aluminiu de 30 microni grosime. În figurile 3.22 și 3.23 se pot vedea pâlniile izolate cu fibră ceramică, respectiv fibră ceramică și folie de aluminiu.



Figura 3.22 Pâlnie izolată fibră ceramică



Figura 3.23 Pâlnie izolată fibră ceramică și folie aluminiu

3.4. Descrierea echipamentelor conexe

Aparatele de măsură utilizate pentru determinările experimentale sunt prezentate în continuare.

a) Șasiu National Instruments NI cDAQ-9172

În figura 3.24 este prezentat șasiul National Instruments care are următoarele specificații tehnice: 8 sloturi, execută până la 7 operații I/O, I/O digital, sau contor/temporizator analog cronometrat simultan, tensiune 9V-30V, rezoluție de 32 biți, temperatura de operare -20°C până la 55°C, măsurare și înregistrare date cu software-ul NI-DAQmx - LabView.



Figura 3.24. Șasiu NI cDAQ-9172

b) Modul NI9201

În figura 3.25 se observă modulul National Instruments cu specificațiile tehnice: 8 canale, $\pm 10V$ intervalul de măsurare, rezoluție de 12 biți, temperatura de operare -40°C până la 70°C.



Figura 3.25 Modul NI9201

Cu ajutorul șasiului și modului National Instruments și prin intermediul unui software care servește ca interfață între modul și calculator, se pot înregistra tensiuni, curenți și altele mărimi.

c) Multimetre

În figurile 3.26 și 3.26 sunt prezentate aparatele de măsură folosite pentru determinarea tensiunii și a curentului. Instrumentele folosite sunt multimetre digitale de tip M890G cu sonde de temperatură - 4 bucăți și un multimetru digital cu 5 funcții UT33C cu sondă de temperatură 150°C-1000°C.

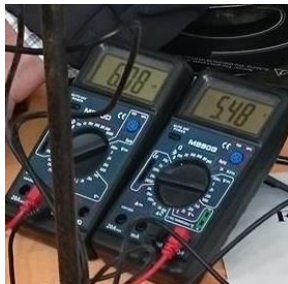


Figura 3.26 Multimetre M890G



Figura 3.27 Multimetre UT33C

d) Piranometru

Piranometrul folosit pentru măsurarea radiației solare (figura 3.28) este de tipul Voltcraft PL-110SM cu domeniul de măsurători între 0-1999 W/m², precizie: ±10 W/m² și temperatura de operare între 5°C - 40°C, umiditatea de operare între 0 - 80%.



Figura 3.28. Piranometru Voltcraft PL-110SM

e) Termometru laser

Este de tipul SKF (figura 3.29), model TMTL500, clasa II, cu fascicul laser infraroșu care emite, reflectă și transmite energia care este colectată apoi și concentrată pe un detector. Temperatura de măsurare este între -60 și 500°C.



Figura 3.29 Termometru laser

f) Controller cu termocuplu Pt1000

Termocuplul folosit este prezentat în Figura 3.30 și este de tip PIXSYS ATR243-31-ABC. Pe lângă acesta, s-au mai folosit multiple sonde de temperatură.



Figura 3.30 Controller cu termocuplu Pt1000

g) Anemometru

Pentru a măsura viteza vântului s-a folosit anemometrul Voltcraft PL-130AN, (figura 3.31):



Figura 3.31 Anemometru

h) Turometru laser Voltcraft DT-10L

Pentru măsurarea turației motorului Stirling de tip beta s-a folosit turometrul optic cu laser din figura 3.32 cu domeniul de măsurare în RPM: 2–99.999 RPM;

fascicolul laser trebuie să fie într-un unghi de 45° spre banda reflectorizantă iar distanța dintre tuometru și banda reflectorizantă poate fi între 5 și 50 cm.



Figura 3.32 Tuometru laser Voltcraft DT-10L

- i) Resort și greutateți etalon pentru măsurarea cuplului motor
În figura 3.33 se prezintă schema instalației pentru măsurarea cuplului motor iar în figura 3.34a și 3.34b instalația cu resort și greutateți etalon.

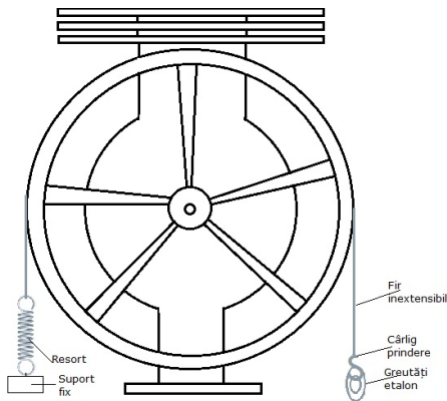


Figura 3.33 Schema măsurare cuplu motor

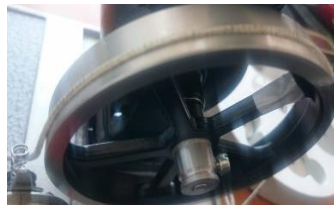


Figura 3.34a. Măsurare cuplu motor



Figura 3.34b. Greutăți etalon

- j) Cântar de precizie
Pentru măsurarea cantității de gaz consumată s-a folosit un cântar de precizie precum cel din figura 3.35.



Figura 3.35 Cântar de precizie

3.5. Sistem pentru urmărirea Soarelui

Sistemele de orientare "solar tracking systems" semiautomate sau automate sunt o necesitate în cazul instalației cu lentile Fresnel și motor Stirling [Șorândaru2013].

În mișcarea sa, Soarele traversează cerul de la est la vest, astfel încât în cazul unei instalații cu lentile Fresnel cu focar punctiform, este insuficientă o poziționare a instalației în regim fix, precum este posibil cu panourile fotovoltaice orientate doar spre direcția sud, deși acestea au un randament mai mare dacă sunt orientate perpendicular cu Soarele la mijlocul zilei, când intensitatea luminoasă este cea mai mare, acest lucru nu este obligatoriu în cazul instalației analizate.

Deoarece Pământul se rotește în jurul Soarelui există și variații în funcție de anotimpuri, iar pentru fiecare latitudine există un unghi de inclinație optim. Orientarea optimă este dată de direcția normalei la suprafața instalației cu lentila Fresnel, iar direcția normalei se exprimă sub forma a două unghiuri, elevația și azimutul.

În general există mai multe metode pentru a urmări poziția Soarelui pe cer; una dintre cele mai simple metode folosește un LDR – "Light Dependent Resistor" pentru a detecta schimbările de intensitate luminoasă pe suprafața acestuia. Alte metode utilizate sunt cele care folosesc doi fototranzistori acoperiți cu o placă care servește ca un scut împotriva luminii Soarelui [Șorândaru2013].

În instalația concepută s-a folosit sistemul automat cu 2 actuatore din considerente economice. Sistemul are montat pe cadrul inferior 2 actuatore care ridică, coboară sau deplasează stânga - dreapta cadrul superior în configurație completă (lentilă și motor).

Poziția actuatorelor și montarea lor pe cadrul de jos a fost calculată astfel încât să permită cu ușurință deplasarea cadrului superior pe cele 2 axe; totodată, cele 2 actuatore fiind poziționate pe același cadru (cel inferior) (figura 3.8), s-a montat un suport de prindere în partea de jos pe lateralele actuatorului responsabil de mișcarea sus-jos (nord-sud), pentru ca acesta să nu forțeze celălalt actuator în cazul în care este necesar ca mișcarea să se facă simultan pe ambele axe. Suportul lateral al actuatorului este format din două profile L prinse în șuruburi astfel încât spațiul dintre profile să cuprindă grosimea actuatorului iar lungimea lor să permită deplasarea actuatorului până la deschiderea sa maximă. Cele două profile sunt învelite în cauciuc ce permite alunecarea înainte-înapoi a actuatorului și totodată pentru a elimina frecarea metal pe metal pentru a evita distrugerea carcasei actuatorului.

3.6. Mentenanță și reparații

Pentru o bună funcționare a sistemului trebuie luat în considerare și păstrarea unei mentenanțe adecvate. Aceasta implică:

- curățarea exterioară a lentilei prin spălare cu jet de apă
- verificarea și refacerea integrității izolației termice dacă este cazul
- asigurarea stabilității cadrului împotriva vântului excesiv
- asigurarea stabilității întregului sistem la vibrații puternice
- menținerea unei izolații anticorozive a structurilor metalice
- verificarea funcționării sistemelor mecanice de orientare
- ungerea pistoanelor motorului Stirling
- ungerea motoarelor din interiorul actuatorelor
- verificarea și întreținerea aparatelor de măsură
- calibrare aparate de măsură.

Motorul Stirling folosit în instalație necesită întreținere adecvată, la fel ca și restul aparatelor de măsură și control. În timpul funcționării, pot apărea diferite

defecțiuni sau probleme, care necesită reparații: curățarea prafului prin spălare cu jet de apă de pe lentile dacă zona de amplasare este cu mult praf sau dacă pe perioade lungi de timp nu a plouat.

3.7. Concluzii și contribuții personale

- a) Prețul de cost al centralei termoelectrică cu motor Stirling și lentilă Fresnel este minim pentru prototipul 1 și maxim este pentru prototipul 3. Comparativ cu prototipul 1 la prototipul trei se adaugă următoarele costuri: ale actuatorilor, ale modului de comandă și control, ale energiei consumate pentru mișcarea cadrului, ale asigurării mentenanței.
- b) Randamentul cel mai bun se obține cu ajutorul prototipului 3 deoarece la acesta se asigură transferul maxim de putere de la radiația solară la centrala termoelectrică solară.
- c) Utilizarea celor 3 variante de pâlnii a evidențiat faptul că acestea se comportă diferit în funcție de materialul din care sunt realizate.
- d) Pâlnia din aluminiu asigură randamentul cel mai bun pentru transferul energiei solare la centrala termoelectrică solară dar are și remanența termică cea mai mare deoarece grosimea acesteia este dublă față de pâlnia din cupru, respectiv fier.
- e) Pâlnia din cupru și cea din fier au aceeași grosime dar timpul de răcire cel mai scurt este pentru pâlnia din fier.
- f) Prin acoperirea pâlniilor cu 2 straturi din fibră ceramică, s-a îmbunătățit transferul de energie de la lentilă la motorul Stirling.

Principalele contribuții sunt:

- a) Conceperea celor 3 tipuri de modele experimentale a centralei termo-solară cu motor Stirling și lentilă Fresnel. Rezultate parțiale au fost prezentate și în lucrarea " System for following the Sun on the sky in order to concentrate solar radiation with Fresnel lenses", autori: Șorândaru, S. Ilie, T. Zamfir, I. Luminosu, Installations for construction and ambient confort.
- b) Pentru a putea identifica corect tipul de centrală care să fie pretabilă zonei de Vest a României, s-a efectuat un studiu ale căror rezultate au fost publicate și în: " Studiu privind aplicabilitatea concentratoarelor cu lentile Fresnel în regiunea Timișoarei", Instalații pentru construcții și confort ambiental, AIIR, 2013.
- c) Conceperea și dimensionarea pâlniilor necesare îmbunătățirii transferului de căldură de la lentilă la motorul Stirling.
- d) Realizarea modelelor experimentale prototip 1 și prototip 3 de centrală termoelectrică cu motor Stirling și lentilă Fresnel.
- e) Realizarea celor 3 pâlnii cu și fără straturi izolatoare de fibră ceramică.
- f) Conceperea și realizarea instalației necesare determinării experimentale a funcționării tipurilor 1 și 3 a centralei termoelectrice cu motor Stirling și lentilă Fresnel. Rezultatele au fost prezentate în lucrarea Design And Construction Of A Thermosolar Instalation With Fresnel Lens and Stirling Engine, autori: S . Ilie, I. Luminosu, D. Toader, A. De Sabata, T. Zamfir, în cadrul buletinului Științific al Universității Politehnica Timișoara și în "Innovative systems for suppling heating-cooling systems with zero CO₂ emissions in EU cities", autori: S. Ilie, T. Zamfir, I. Luminosu, D. Toader, Elsedima 11th International Conference.

4. MODELUL ANALITIC ȘI NUMERIC AL MOTORULUI STIRLING

În literatura de specialitate [Homutescu2003], [Hirata2008], [Gopal2012], [Ferreira2014] pentru calculul presiunii și a volumului gazului la motoarele Stirling cel mai des este model folosit, este modelul Schmidt.

În continuare în acest capitol este prezentat modelul analitic și numeric folosit pentru determinarea diagramei presiune-volum (P-V).

4.1. Modelul analitic Schmidt

Pentru început am ales să aplicăm ecuația gazului ideal:

$$PV = \mu RT \quad (4.1)$$

unde P este presiunea absolută, V este volumul gazului μ este numărul de moli de gaz, iar T este temperatura [Homutescu2003], [Hirata2008], [Lie2012], [Ziabasharhagh2012].

Motorul analizat este motor Stirling de tip Beta, ceea ce înseamnă că este alcătuit dintr-un singur cilindru în care sunt poziționate ambele pistoane, atât pistonul de lucru cât și pistonul de deplasare, așa cum se poate observa în figura 4.1 [Chen2012].

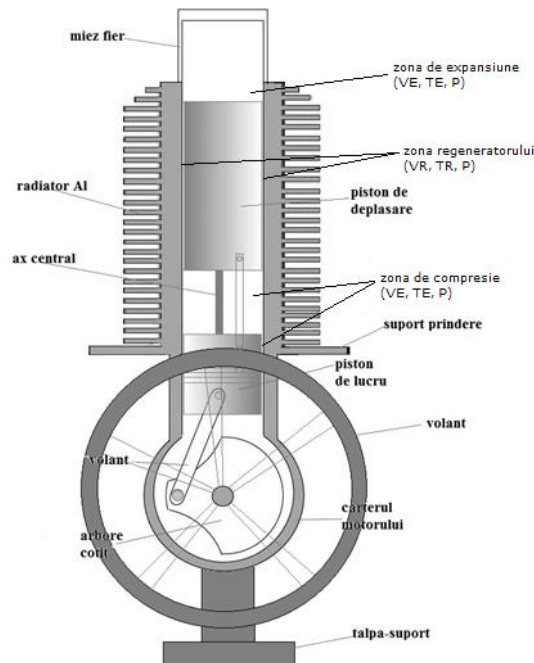


Figura 4.1. Schema motorului Stirling de tip beta

Volumul total al cilindrului motorului este împărțit în trei volume: volumul din zona rece, volumul din zona caldă și volumul din regenerator [Homutescu2003], [Hirata2008]. În prima etapă sunt determinate volumele din zona de destindere și zona de compresie din interiorul cilindrului, la un anumit unghi. Volumele momentane sunt descrise mai apoi ca funcție de unghiul variabil notat cu x . Acest unghi este definit ca având valoarea $x = 0$ atunci când pistonul se află în poziția cea mai de sus (punctul mort superior) [Homutescu2003], [Hirata2008], [***RStirling], [Jahromi2011], [Chen2012], [Ziabasharhagh2012].

Relația 4.2 prezintă dependența volumului de destindere momentană - V_E , funcție de volumul din zona caldă notat cu V_{SE} , volumul gazului de destindere - V_{DE} și variabila x .

Volumul momentan în zona rece (fluidul de lucru este comprimat) - V_C se exprimă prin ecuația 4.3, unde V_{SE} este volumul de gaz împins de pistonul de deplasare, V_{SC} - volumul de gaz împins de pistonul de lucru, unghiul variabil x și dx - unghiul de fază dintre pistonul de lucru și pistonul de deplasare [Jahromi2011].

$$V_E = \frac{V_{SE}}{2} (1 - \cos x) + V_{DE} \quad (4.2)$$

$$V_C = \frac{V_{SE}}{2} (1 - \cos x) + \frac{V_{SC}}{2} \{1 - \cos(x - dx)\} + V_{DC} - V_B \quad (4.3)$$

Așa cum s-a menționat anterior, în cazul unui motor Stirling de tip beta, pistonul de deplasare și pistonul de lucru sunt localizate în același cilindru, ceea ce înseamnă că în momentul când cele două pistoane au aceeași mișcare, se creează un spațiu de lucru efectiv, astfel există un volum comun notat cu V_B (de suprapunere) și poate fi calculat cu relația (4.4)

$$V_B = \frac{V_{SE} + V_{SC}}{2} - \sqrt{\frac{V_{SE}^2 + V_{SC}^2}{4} - \frac{V_{SE} V_{SC}}{2} \cos dx} \quad (4.4)$$

Volumul total V care se calculează ca suma dintre volumul fluidului de lucru (aer în acest caz) din zona rece, volumul de aer cald și volumul din zona regeneratorului se exprimă prin relația (4.5).

$$V = V_E + V_R + V_C \quad (4.5)$$

Pentru a calcula presiunea în interiorul motorului Stirling, folosim ecuația (4.6), unde cu P este notată presiunea momentană a aerului din cilindrul motorului, cu P_{mean} - presiunea medie, P_{min} - presiunea minimă, P_{max} - presiunea maximă.

$$P = \frac{P_{mean} \sqrt{1-c^2}}{1-c \cdot \cos(x-a)} = \frac{P_{min}(1+c)}{1-c \cdot \cos(x-a)} = \frac{P_{max}(1-c)}{1-c \cdot \cos(x-a)} \quad (4.6)$$

În ecuațiile (4.7) până la (4.16) sunt definiți coeficienții și corelațiile dintre diverși parametri. Semnificația mărimilor este următoarea: t_{ce} - raportul dintre temperaturi, T_c - temperatura în zona de compresie (zona rece), T_E - temperatura în zona de destindere a agentului de lucru (zona caldă), V_B - volumul din zona de suprapunere, V_R - volumul de aer din zona regeneratorului, V_C - volumul aerului în zona rece (în zona de compresie), V_E - volumul aerului în zona caldă, X_{DE} - volumul din zona de destindere (superior), X_{DC} - volumul inferior (în zona de compresie, zona rece), X_R - volumul de aer dintre zona regeneratorului și volumul de aer împins spre zona caldă.

$$t_{ce} = \frac{T_C}{T_E} \quad (4.7)$$

$$v = \frac{V_{SC}}{V_{SE}} \quad (4.8)$$

$$X_B = \frac{V_B}{V_{SE}} \quad (4.9)$$

$$X_{DE} = \frac{V_{DE}}{V_{SE}} \quad (4.10)$$

$$X_{DC} = \frac{V_{DC}}{V_{SE}} \quad (4.11)$$

$$X_R = \frac{V_R}{V_{SE}} \quad (4.12)$$

$$a = \tan^{-1} \frac{v \sin dx}{t_{ce} + \cos dx + 1} \quad (4.13)$$

$$S = t_{ce} + 2t_{ce}X_{DE} + \frac{4t_{ce}X_E}{1+t_{ce}} + v + 2X_{DC} + 1 + 2X_B \quad (4.14)$$

$$B = \sqrt{t_{ce}^2 + 2(t_{ce} - 1)v \cos dx + V^2 - 2t_{ce} + 1} \quad (4.15)$$

$$c = \frac{B}{S} \quad (4.16)$$

Pentru a putea calcula analitic randamentul motorului este necesar să se calculeze energia ciclului termodinamic (aria diagramei P - V). Calculul energiei ciclului termodinamic necesită determinarea energiei primite în intervalul de destindere și încălzire (figura 4.2), respectiv a energiei cedate în intervalul de compresie și răcire (figura 4.2). Aceste mărimi se obțin integrând funcției $P(V)$ pe intervalul V_m , V_M . Energia din spațiul de destindere notată cu W_e , care ține cont de presiunea medie P_{mean} , presiunea minimă P_{min} și presiunea maximă P_{max} , poate fi calculată cu ecuația (4.17) [Hirata2008]:

$$\begin{aligned} W_e &= \oint PdV_E = \frac{P_{mean}V_{SE}\pi c * \sin a}{1 + \sqrt{1 - c^2}} = \frac{P_{min}V_{SE}\pi c * \sin a}{1 + \sqrt{1 - c^2}} * \frac{\sqrt{1 + c}}{\sqrt{1 - c}} \\ &= \frac{P_{max}V_{SE}\pi c * \sin a}{1 + \sqrt{1 - c^2}} * \frac{\sqrt{1 + c}}{\sqrt{1 - c}} \end{aligned} \quad (4.17)$$

Energia din zona de compresie se notează cu W_c (J) și se calculează cu relația (4.18).

$$\begin{aligned} W_c &= \oint PdV_C = -\frac{P_{mean}V_{SE}\pi c t_{ce} * \sin a}{1 + \sqrt{1 - c^2}} = -\frac{P_{min}V_{SE}\pi c t_{ce} * \sin a}{1 + \sqrt{1 - c^2}} * \frac{\sqrt{1 + c}}{\sqrt{1 - c}} \\ &= -\frac{P_{max}V_{SE}\pi c t_{ce} * \sin a}{1 + \sqrt{1 - c^2}} * \frac{\sqrt{1 - c}}{\sqrt{1 + c}} \end{aligned} \quad (4.18)$$

Energia din întregul ciclu este notată cu W_i și se calculează ca sumă dintre W_e și W_c relațiile (4.19) și (4.20) [Hirata2008], [Ilie2016c], [Luminosu2015], [Snyman2008], [Shazly2014].

$$W_i = \frac{P_{\text{mean}} V_{\text{SE}} \pi c (1 - t_{\text{ce}}) \sin a}{1 + \sqrt{1 - c^2}} = \frac{P_{\text{min}} V_{\text{SE}} \pi c (1 - t_{\text{ce}}) \sin a}{1 + \sqrt{1 - c^2}} * \frac{\sqrt{1 + c}}{\sqrt{1 - c}}$$

$$= \frac{P_{\text{max}} V_{\text{SE}} \pi c (1 - t_{\text{ce}}) \sin a}{1 + \sqrt{1 - c^2}} * \frac{\sqrt{1 - c}}{\sqrt{1 + c}} \quad (4.19)$$

$$W_i = W_e + W_c \quad (4.20)$$

Dependența dintre presiunea medie, minimă și maximă sunt exprimate prin relațiile (4.21) și (4.22).

$$\frac{P_{\text{min}}}{P_{\text{mean}}} = \sqrt{\frac{1 - c}{1 + c}} \quad (4.21)$$

$$\frac{P_{\text{min}}}{P_{\text{mean}}} = \sqrt{\frac{1 - c}{1 + c}} \quad (4.22)$$

Se exprimă prin relațiile (4.23), (4.24), (4.25) următoarele: puterea din spațiul de destindere este notată cu L_E , puterea din spațiul de compresie - L_C și puterea motorului L_i ; acestea țin cont de viteza de rotație a motorului măsurată în rotații pe secundă, n (Hz).

$$L_E = W_E n \quad (4.23)$$

$$L_C = W_C n \quad (4.24)$$

$$L_i = W_i n \quad (4.25)$$

Energia din spațiul de destindere calculată cu formula (4.17) reprezintă cantitatea de căldură primită de motor de la sursa caldă. Energia calculată cu formula (4.18) este energia pierdută de motor spre mediul ambiant. Prin urmare, randamentul termic al motorului "e" se exprimă cu relația (4.26).

$$e = \frac{W_i}{W_E} = 1 - t_{\text{ce}} \quad (4.26)$$

Din literatura de specialitate [***MStirl], [He2008], [Wood2003], [Weber1992], remarcăm faptul că randamentul motoarelor Stirling reprezintă aproximativ 60% din randamentul ciclului Carnot, dar la motoarele mici randamentul variază între 15-50%; prin urmare vom considera formula randamentului termic al motorului împărțită la 2.5, rezultând un randament teoretic de 40% din ciclul Carnot. Datele simulate numeric vor fi comparate ulterior cu cele obținute experimental.

În tabelul 4.1 sunt prezentate simbolurile, semnificația mărimilor, unitățile de măsură precum și câteva exemple de valori care vor fi introduse în modelul de calcul implementat în mediul de programare Matlab.

Deși motorul Stirling poate atinge cel mai mare randament teoretic și este un tip de motor robust care poate funcționa cu diferite surse de căldură (Soare, nuclear, chimic), în realitate randamentul lui este scăzut datorită următoarelor elemente: probleme de natură tehnică, proprietățile fluidului de lucru, eficiența metodelor de încălzire și răcire a motorului, conductivitatea termică și punctul de topire a materialelor folosite [Stanescu2014], [***RStirling], [***MStirl], [Jahromi2011], [Abete2013].

Tabelul 4.1. Simboluri folosite în modelul Schmidt

Semnificație	Simbol	Unitate de măsură	Valori
Presiune motor	P	Pa	$P_{atm} 10^5$
Volumul de aer împins de pistonul de deplasare (zona caldă)	V_{SE}	m^3	$6597 \cdot 10^{-9}$
Volumul de aer împins de pistonul de lucru (zona rece)	V_{SC}	m^3	$6803.51 \cdot 10^{-9}$
Volumul din spațiul de expansiune - superior	V_{DE}	m^3	$942.48 \cdot 10^{-9}$
Volumul de aer din zona regeneratoarei	V_R	m^3	$2566.68 \cdot 10^{-9}$
Volumul din spațiul de compresie - inferior	V_{DC}	m^3	$628 \cdot 10^{-9}$
Volumul momentan în spațiul de expansiune	V_E	m^3	pt $x=0$, $\cos x=1$, $V_E=942.48 \cdot 10^{-9}$ pt $x=10^\circ$, $\cos x=0.984$, $V_E=995.25 \cdot 10^{-9}$ pt $x=20^\circ$, $\cos x=0.939$, $V_E=114$ $3.68 \cdot 10^{-9}$
Volumul momentan în spațiul de compresie	V_C	m^3	$5553.992 \cdot 10^{-9}$
Volumul momentan total	V	m^3	$9063.15 \cdot 10^{-9}$
Masa totală a gazului (aer)	m	kg	
Constanta gazului	R	J/kgK	287.68
Temperatura gazului în zona caldă	T_H	$^\circ K$	250
Temperatura gazului în zona rece	T_C	$^\circ K$	40
Temperatura gazului în regenerator	T_R	$^\circ K$	145
Unghiul de fază	dx	$^\circ$	90
Raportul între temperaturi	t_{ce}		0.16
Raportul între volumele de schimb	v		1.03
Raportul între volumele din punctele moarte superior și inferior	X		1.50
Viteza motorului	n	Hz	350 rpm
Energia din spațiul zonei calde	W_E	J	
Energia din spațiul zonei reci	W_C	J	
Energia totală	W_i	J	
Puterea din spațiul zonei calde	L_E	W	
Puterea din spațiul zonei reci	L_C	W	

Transformarea energiei termice în energie mecanică apoi în energie electrică este un proces deosebit de complex care în condiții reale este însoțit de pierderi de energie. De aceea este necesar ca pentru determinarea randamentului fiecărui proces în parte să se evalueze cele mai bune condiții de utilizare a căldurii provenite de la Soare și nu numai. Evaluând randamentul ciclului termodinamic real, se poate stabili gradul de perfecțiune la care se desfășoară procesele din motor și se pot evidenția modalitățile prin care motorul poate ajunge la un randament bun.

La analiza ciclurilor termodinamice trebuie să se țină cont și de următoarele ipoteze care deși sunt valabile pentru ciclurile ideale, nu mai sunt îndeplinite în cazul ciclurilor reale [***MotInt]:

- La ciclurile reale, realizarea procesului de schimb de gaze este însoțită de pierderi de energie care nu sunt luate în considerare în cazul ciclului teoretic.

- În cazul ciclului ideal se consideră căldurile specifice ale mediului de lucru ca fiind constante și se acceptă că acestea nu depind de temperatură și presiune

pe când pentru ciclurile reale căldurile specifice ale gazelor variază în funcție de temperatură și presiune.

- Ciclul ideal presupune procese de comprimare și destindere de natură adiabatică, adică nu se efectuează schimb de căldură cu mediul exterior. În realitate, datorită faptului că există o diferență destul de mare de temperatură între părțile motorului care intră în procesul de transformare termodinamică, are loc un transfer de căldură spre exterior în procesele de încălzire, destindere, comprimare, deci procesele termice nu sunt adiabatică, ceea ce conduce la scăderea randamentului.

Pentru calculul diagramei P-V a motorului Stirling, cunoscând valorile pentru temperaturi, volume, turație, s-a conceput un program de calcul (model numeric) în mediul de programare Matlab. Ca date de intrare s-au utilizat valorile turației și temperaturilor determinate experimental. Temperatura s-a măsurat în focarul lentilei pe miezul de fier al motorului și în interiorul motorului Stirling (zona rece). Pentru zona caldă a motorului, pentru calcul, s-a considerat că temperatura este identică cu cea a miezului de fier al motorului Stirling.

4.2. Calculul numeric al diagramei P-V pentru motorul Stirling

Pornind de la ecuațiile prezentate la punctul 4.1, putem analiza cu ajutorul programului Matlab diagrama P-V. Pentru aceasta a fost creat programul de analiză care ne permite să studiem diferite cazuri care vor fi comparate ulterior cu datele experimentale [Shazly2014].

Ciclul termodinamic al motorului Stirling de tip beta, este reprezentat în diagrama din figura 4.2. Sistemul primește căldură fie de la Soare, fie de la o sursă artificială de căldură. Gazul interior se încălzește, are loc dilatarea izotermă și astfel pistonul se deplasează în jos, simultan cu pistonul de lucru din zona rece. În acest mod are loc trecerea gazului prin regenerator către zona rece, iar prin sincronizarea mișcării celor două pistoane, gazul este împins spre zona de comprimare, de unde își reia ciclul termodinamic, astfel se produce lucru mecanic care este teoretic egal cu diferența dintre căldurile schimbate [***RStirling], [Mishra2014], [Ferreira2014a].

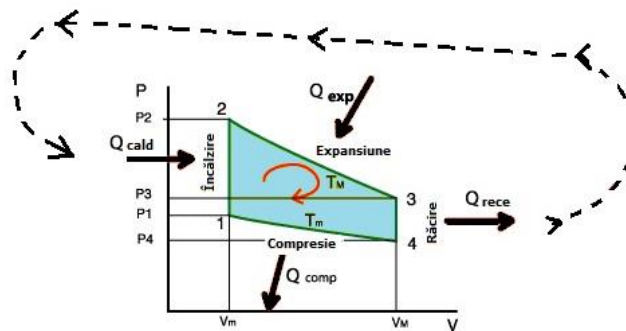


Figura 4.2. Ciclul teoretic al motorului Stirling

În continuare se prezintă opt studii de caz pentru instalația cu motor Stirling tip beta, 4 în condiții de laborator și 4 în condiții reale în instalație cu lentilă Fresnel, prototip 3, precum a fost descris în capitolul 3 [Ilie2016c], [Luminosu2015].

4.2.1 Caz fără pâlnie, condiții de laborator, $n=610\text{rpm}$, $T_E=706\text{K}$, $T_C=387\text{K}$.

În figura 4.3 se poate observa diagrama P-V precum și poziția pistonului de lucru în raport cu masa de aer deplasată. În condițiile de laborator cu motor Stirling tip beta, fără nici o pâlnie, doar cu lampa cu gaz ca și sursă de căldura poziționată direct pe miezul de fier al motorului Stirling, cu temperatura $T_E=706\text{K}$, $T_C=387\text{K}$ și 610rpm ; rezultă un randament de 22.59% și puterea de 2.56W.

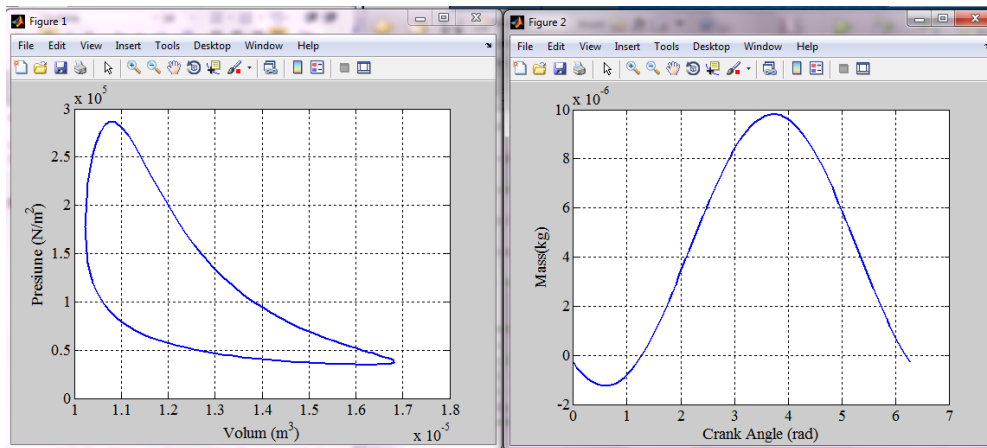


Figura 4.3 a) Diagrama P-V

b) Poziția pistonului de lucru

4.2.2 Caz cu pâlnie din cupru, condiții de laborator, $n=450\text{rpm}$, $T_E=623\text{K}$, $T_C=320\text{K}$

În figura 4.4 se observă diagrama P-V a motorului Stirling tip beta, obținută în condițiile de laborator a instalației cu pâlnie de cupru, la $n=450\text{rpm}$, $T_E=623\text{K}$, $T_C=320\text{K}$. În aceste condiții, în urma analizei rezultă un randament de 24.32% și puterea de 2.28W.

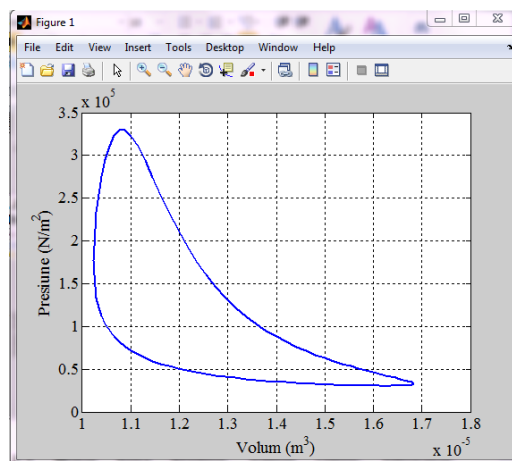


Figura 4.4. Diagrama P-V, condiții laborator, pâlnie cupru

4.2.3 Caz cu pâlnie de fier, condiții de laborator, $n=500\text{rpm}$, $T_E=594\text{K}$, $T_C=321\text{K}$.

În figura 4.5 se observă diagrama P-V a motorului Stirling, obținută în condițiile de laborator cu sursa de căldură lampă cu gaz. Instalația este formată din ansamblu motor și pâlnie de fier, cu următoarele rezultate $n=500\text{rpm}$, $T_E=594\text{K}$, $T_C=321\text{K}$. În urma analizei, rezultă un randament de 22.98% și puterea de 2.18W.

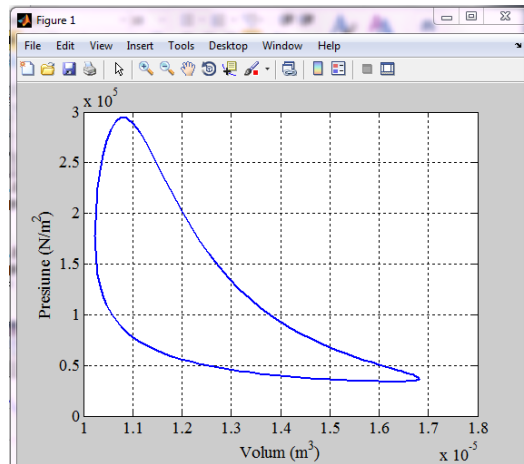


Figura 4.5. Diagrama P-V, condiții laborator, pâlnie fier

4.2.4 Caz cu pâlnie de aluminiu, în condiții de laborator, $n=460\text{rpm}$, $T_E=723\text{K}$, $T_C=336\text{K}$

În figura 4.6 se poate observa diagrama presiune-volum a motorului Stirling tip beta, obținută în condițiile de laborator cu pâlnie de aluminiu, la un număr de rotații $n=460\text{rpm}$, și temperaturile $T_E=723\text{K}$ și $T_C=336\text{K}$, rezultă un randament de 26.76% și puterea de 3.17W.

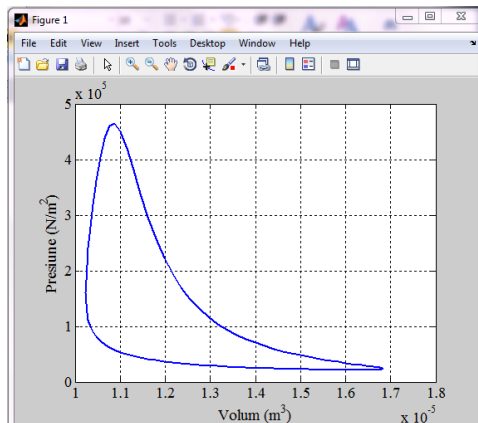


Figura 4.6. Diagrama P-V, condiții laborator, pâlnie aluminiu

4.2.5 Caz fără pâlnie în condiții reale, $n=500\text{rpm}$, $T_E=573\text{K}$, $T_C=441\text{K}$.

În figura 4.7 se observă diagrama P-V în condiții reale, cu Soarele ca și sursă de căldură, în instalație formată din motor Stirling tip beta fără pâlnii și lentilă Fresnel; la o turație $n=500\text{rpm}$ și temperaturile $T_E=573\text{K}$ și $T_C=441\text{K}$. Radiația solară măsurată este de 900W/m^2 . Obținem un randament de 11.52% și putere de 0.63W. Putem observa ca diferența între temperatura în partea caldă și partea rece a motorului este mult mai scăzută comparativ cu cazurile anterioare și prin urmare randamentul și puterea motorului scad.

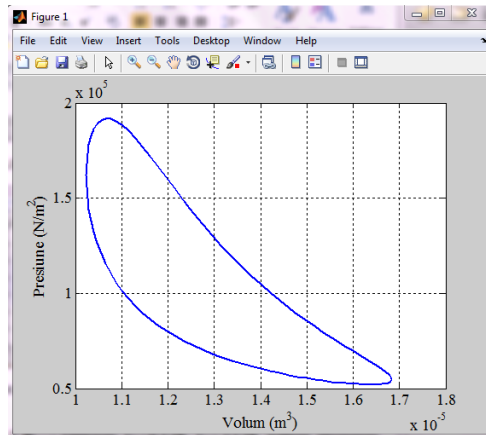


Figura 4.7. Diagrama P-V, condiții reale, fără pâlnie

4.2.6 Caz cu pâlnie de cupru, condiții reale, $n=500\text{rpm}$, $T_E=523\text{K}$, $T_C=323\text{K}$.

În figura 4.8 diagrama P-V este calculată pentru instalația motor Stirling tip beta – lentila Fresnel și pâlnie de cupru montată pe partea caldă a motorului. Sursa de căldură este Soarele. Radiația solară măsurată este 850W/m^2 . Obținem un randament de 16.25% și o putere de 1.46W.

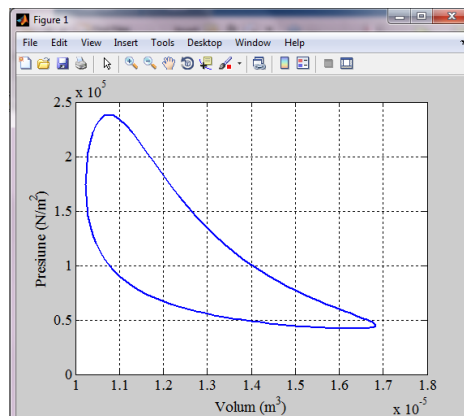


Figura 4.8. Diagrama P-V, condiții reale, pâlnie cupru

4.2.7 Caz cu pâlnie de fier, condiții reale, $n=580\text{rpm}$, $T_E=633\text{K}$, $T_C=333\text{K}$.

În figura 4.9 se poate vedea diagrama P-V care este calculată pentru aceeași instalație dar cu pâlnie de fier. Datele de intrare sunt următoarele: $n=580\text{rpm}$, $T_E=633\text{K}$, $T_C=333\text{K}$. Radiația solară măsurată este 920W/m^2 . Din diagramă se poate observa că aria suprafeței diagramei este mult mai mare, ceea ce rezultă printr-un randament de 23.69% și putere 2.74W.

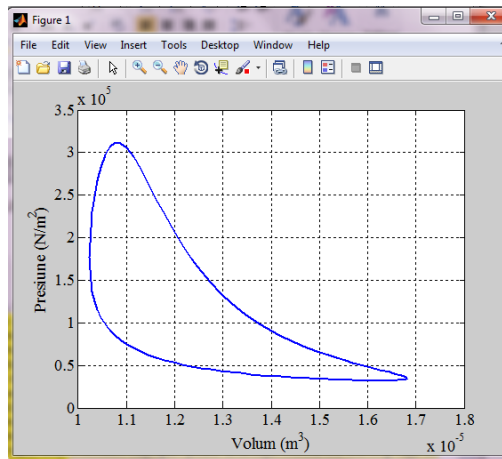


Figura 4.9. Diagrama P-V, condiții reale, pâlnie fier

4.2.8 Caz cu pâlnie de aluminiu, în condiții reale, $n=600\text{rpm}$, $T_E=873\text{K}$, $T_C=453\text{K}$.

În figura 4.10 se poate vedea diagrama P-V pentru instalația cu pâlnie de aluminiu, cu datele de intrare: $n=600\text{rpm}$, $T_E=873\text{K}$, $T_C=453\text{K}$. Radiația solară măsurată este 1150W/m^2 . Randamentul este de 24.05% și puterea de 2.95W.

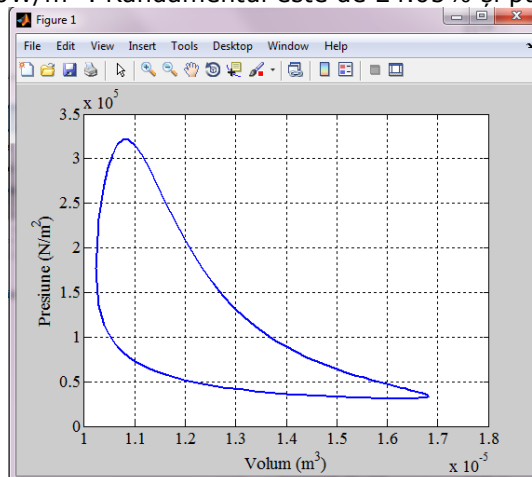


Figura 4.10. Diagrama P-V, condiții reale, pâlnie aluminiu

4.2.9. Comparația rezultatelor obținute utilizând modelul numeric

Cu ajutorul modelului numeric s-a simulat motorul Stirling în condiții de laborator și în condiții reale. În tabelul 4.2 sunt prezentate rezultatele obținute în condiții de laborator și condiții reale.

Tabelul 4.2. Comparații ale rezultatelor obținute în condiții de laborator și condiții reale

	Tip pânie	Parametrii				
		n [rpm]	T_E [K]	T_C [K]	L_i [W]	e %
Condiții de laborator	-	610	706	387	2.56	22.59
	Cu	450	623	320	2.28	24.32
	Fe	500	594	321	2.18	22.98
	Al	460	723	336	3.17	26.75
Condiții reale	-	500	573	441	0.63	11.52
	Cu	500	523	323	1.46	16.25
	Fe	580	633	333	2.74	23.69
	Al	600	873	453	2.95	24.05

Așa cum se poate observa în figurile de mai sus (4.3 – 4.10), gazul din motorul Stirling (în cazul nostru aer) parcurge un ciclu format din 4 transformări: încălzire, expansiune, răcire și compresie. Cu ajutorul pistonului de lucru și pistonului de deplasare, mișcarea gazului se face în ciclu complet, mișcarea gazului înainte și înapoi se face dinspre zona caldă spre zona rece cu trecerea gazului prin etapa intermediară prin regeneratoare [Lorenzo1981], [Rabl1976], [Xie2011], [Jing2014], [Ilie2016b], [Gheith2015].

Rezultatele arată că limitările transferului de căldură influențează direct randamentul motorului, în special datorită volumului redus al regeneratoarelor.

4.3. Concluzii și contribuții personale

Din studiul realizat rezultă următoarele concluzii mai importante:

- În cazul motorului Stirling tip beta, partea superioară a motorului aflată în contact direct cu sursa de căldură – în condiții de laborator partea caldă este încălzită cu ajutorul unei lămpi cu gaz, iar în condiții reale, radiația solară este concentrată pe motor cu ajutorul unei lentile Fresnel, așa cum s-a arătat în capitolul 3; pe când partea inferioară este în legătură cu un radiator de aluminiu care este răcit cu aer. Cunoașterea acestor date ne permit ca în condițiile în care temperatura gazului se modifică (de exemplu în condiții reale acoperirea cerului cu nori duce la scăderea cantității de energie concentrată pe motor), acest lucru atrage după sine scăderea sau creșterea randamentului, în funcție de caz.
- Modelul creat în mediul de programare Matlab ne permite să analizăm pornind de la diferiți parametri de intrare, diagrama presiune-volum, randamentul, puterea motorului, valori ale temperaturilor, poziția pistoanelor în raport cu volantul.
- Natura modelului folosit permite ca programul creat să poată fi adaptat și pentru alte tipuri de motoare Stirling, fie că sunt de tip alfa, beta sau gamma.
- Rezultatele obținute cu ajutorul modelului numeric au fost comparate cu cele determinate experimental pentru a valida modelul numeric conceput.

- e) Din tabelul 4.2 rezultă că randamentul cel mai bun (26,75% - în condiții de laborator, 24,05% - în condiții reale) al motorului Stirling se obține atunci când pentru concentrarea energiei în zona caldă a motorului se folosește o pâlnie din aluminiu.
- f) Randamentul cel mai scăzut al motorului Stirling, atât în condiții de laborator cât și în condiții reale, se obține atunci când nu se folosește pâlnie pentru concentrarea energiei în zona caldă a motorului. În condiții de laborator randamentul obținut a fost de 22,59%, cu 18,4% mai scăzut decât cea mai mare valoare, iar în condiții reale randamentul obținut a fost 11,52% cu 108,8% mai mic decât valoarea maximă obținută.
- g) Din cele prezentate rezultă că utilizarea pâlniei pentru concentrarea căldurii în zona caldă a motorului Stirling este necesară atunci când sursa de căldură este Soarele și se utilizează lentile Fresnel.
Principalele contribuții în acest capitol sunt:
 - a) Conceperea și implementarea modelului numeric de calcul al motorului Stirling utilizând mediul de programare Matlab, programul se regăsește în Anexa 4.
 - b) Analiza comportării motorului Stirling cu ajutorul modelului numeric conceput.
 - c) Compararea rezultatelor obținute prin simulare numerică pentru motorul Stirling care preia energia de la o lampa cu gaz (condiții de laborator), respectiv de la lentila Fresnel (condiții reale).
 - d) Evidențierea limitărilor transferului de căldură în interiorul motorului Stirling de tip beta, în principal datorită dimensiunii reduse a regeneratoarelor, fapt care influențează direct randamentul motorului.

5. MODELE NUMERICE ALE MOTORULUI STIRLING ȘI A GENERATORULUI ELECTRIC

5.1. Model numeric pentru motorul Stirling

5.1.1. Considerații generale

Modelul numeric este utilizat pentru analiza transferului de căldură în interiorul motorului Stirling. Pentru aceasta, se utilizează programul COMSOL Multiphysics 3.5. Pentru rezolvarea ecuațiilor diferențiale ce descriu transferul de căldură în motor s-a conceput modelul geometric cu ajutorul soft-ului COMSOL Multiphysics 3.5. În cele ce urmează sunt descriși pașii realizării modelului precum și stabilirea regimului de funcționare, a condițiilor la limită, comparații și concluzii generale și specifice.

În figura 5.1 se observă fereastra principală a programului care ne permite să alegem tipul aplicației pentru a crea modelul geometric 2D-axial simetric în regim staționar, respectiv tranzitoriu [***Comsol].

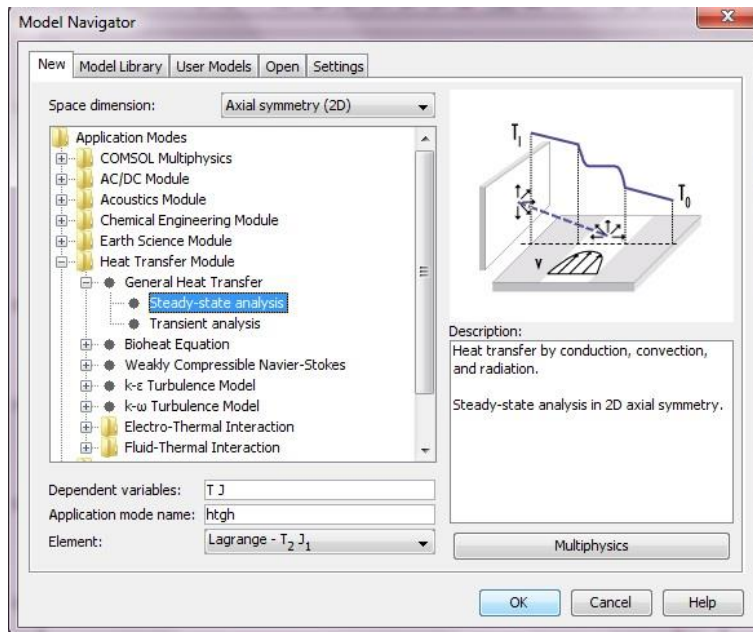


Figura 5.1 Fereastra principală, alegere model - regim staționar 2D axial-simetric

Se creează modelul geometric al motorului Stirling cu și fără pâlnii, așa cum se observă în figura 5.2 , respectiv figura 5.3.

În figura 5.2, cu R1 s-a notat izolatorul din fibră ceramică, cu R2 radiatorul de aluminiu, cu CO3 aerul din interiorul motorului Stirling, CO5 – suportul de

aluminiu, CO8 – partea superioară, miezul de fier care este în contact direct cu sursa caldă (Soarele, în cazul nostru).

În figura 5.3, cu R1 s-a notat izolatorul din fibră ceramică, cu R2 radiatorul de aluminiu, cu CO1 – aerul din interiorul pâlniei, CO2 - izolator exterior pâlniei din fibră ceramică, CO3 - aerul din interiorul motorului Stirling, CO4 – pâlnia de cupru, aluminiu sau fier, după caz, CO5 – suportul de aluminiu, CO8 – partea superioară a motorului din fier care este în contact direct cu sursa caldă.

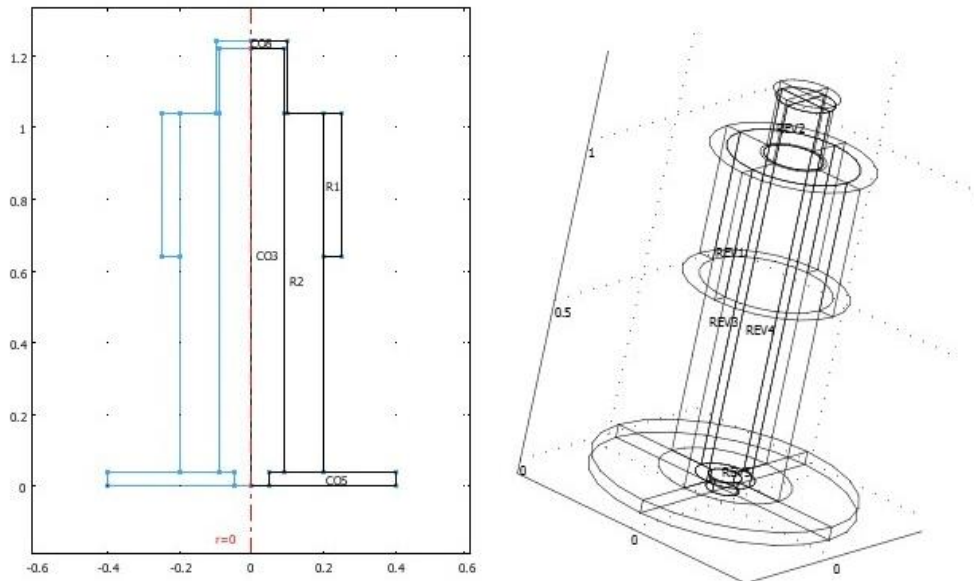


Figura 5.2 Modelul geometric motor Stirling 2D-axial simetric, fără pâlnie

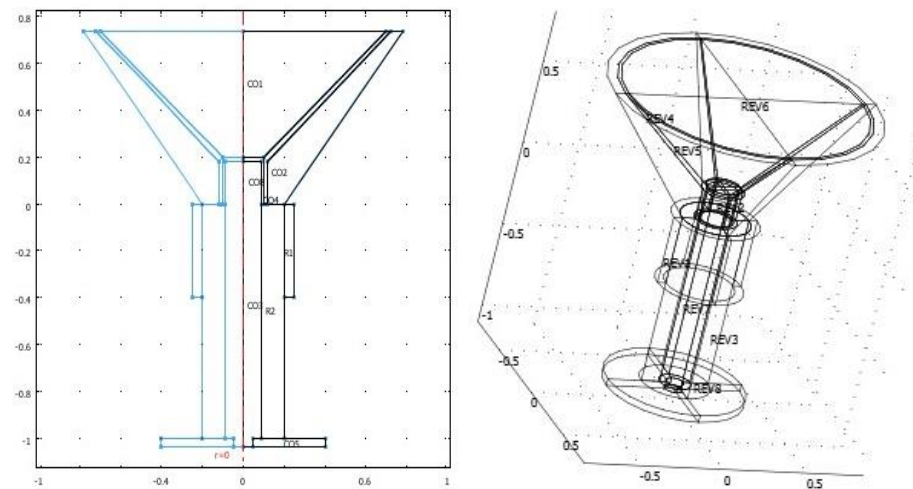


Figura 5.3 Modelul geometric motor Stirling 2D-axial simetric, cu pâlnie

După ce se stabilesc subdomeniile și condițiile la limită ale modelului geometric, se creează mesh-ul constituit, în cazul acesta, din 1045 elemente și 569 grade de libertate, așa cum se poate vedea în figura 5.4.

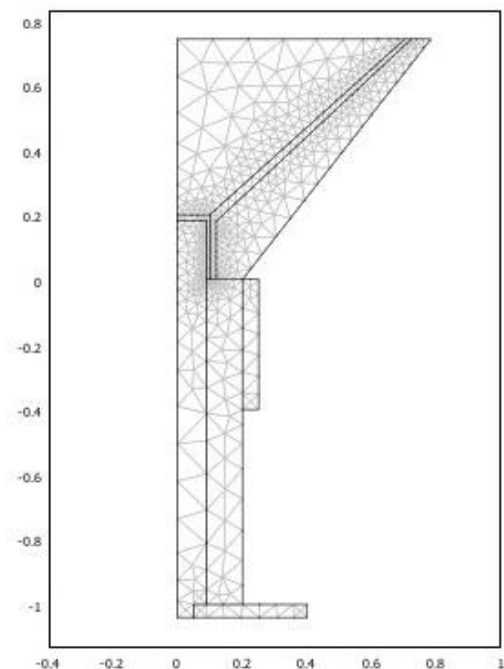


Figura 5.4 Mesh instalație cu pâlnie, 1045 elemente, 569 grade de libertate

5.1.2. Subdomeniile modelului geometric

Odată cu crearea modelului geometric se stabilesc și subdomeniile acestuia; astfel în figura 5.5 este prezentat modelul geometric al motorului beta Stirling cu trei tipuri de pâlnii: pâlnie de aluminiu, cupru și fier, cu dimensiunile descrise în capitolul anterior. Pentru rezolvarea ecuației transferului de căldură cu condiții la frontieră adecvate cazului de studiu, domeniul modelat numeric a fost împărțit în 7 subdomenii.

În figura 5.5 se observă notațiile subdomeniilor, precum și frontierele modelului matematic (S1 - S13), iar în figura 5.6 este prezentată caseta de dialog pentru setarea proprietăților subdomeniilor. Fiecare subdomeniu corespunde unuia din materialele din care este alcătuită instalația reală, așa cum se poate vedea în Tabelul 1 [***Comsol].

Tabelul 5.1. Subdomeniile modelului geometric al motorului Stirling cu pâlnie [Ilie2016a]

Nr. în Figura 5.5.	Subdomenii i, j	
	Nume	Material
1	Aer interior pâlnii	Aer
2	Pâlnie	Cupru, Fier, Aluminiu
3	Izolator-1	Fibră ceramică
4	Miez Fe	Fier
5	Izolator-2	Fibră ceramică
6	Radiator aluminiu	Aluminiu
7	Aer interior motor	Aer

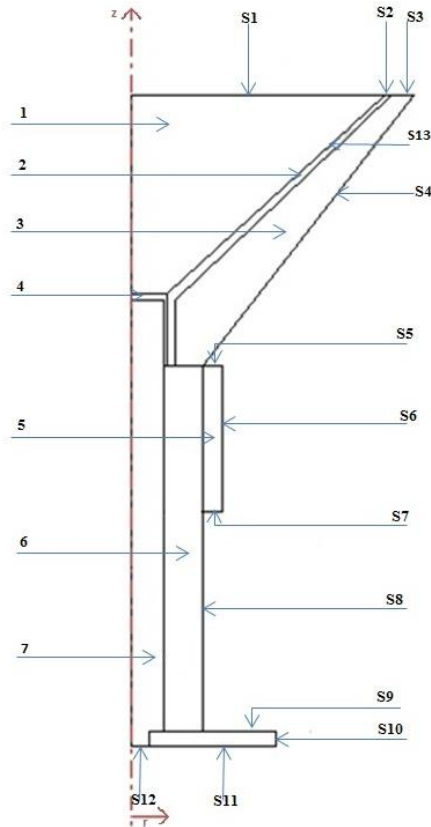


Figura 5.5. Modelul 2D-axial simetric al motorului Stirling, tip beta, cu pâlnie (Cu, Fe, Al) cu notațiile subdomeeniilor și al frontierelor [Ilie2016a]

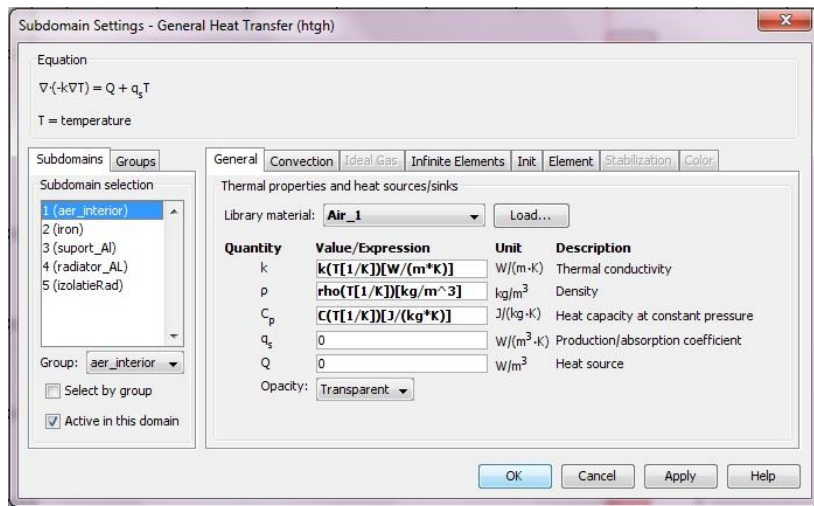


Figura 5.6. Subdomeeniile modelului geometric – fereastra principală [***Comsol]

5.1.3. Modelul numeric în mediul de programare COMSOL Multiphysics

În fiecare subdomeniu, COMSOL Multiphysics rezolvă, prin metoda elementului finit, ecuația transferului de căldură (legea Fourier), care este o ecuație diferențială de ordinul doi, având forma generală [***Comsol]:

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla(-k\nabla T) = 0 \quad (5.1)$$

unde ρ este densitatea, C este căldura specifică la presiune constantă, iar k este coeficientul de conductivitate termică.

De menționat este faptul că simulările au fost realizate utilizând conductivități termice, densități și călduri specifice constante (mediile s-au considerat izotrope), dar dependente de temperatură pentru fiecare subdomeniu din model (Tabelul 2 și Figura 2). Aceste proprietăți de material sunt alese din biblioteca de materiale a programului COMSOL Multiphysics 3.5 așa cum se observă în figura 5.7.

Tabelul 5.2. Proprietățile materialelor utilizate în modelarea transferului de căldură [Ilie2016a]

Material	Proprietăți			Referința
	k (W/mK)	ρ (kg/m ³)	C (J/kgK)	
Aer-1, -2	$f_{k1}(T)$	$f_{\rho1}(T)$	$f_{C1}(T)$	[***Comsol]
Pâlnie	$f_{k2}(T)$	$f_{\rho2}(T)$	$f_{C2}(T)$	[***Comsol]
Izolator-1, -2	$f_{k3}(T)$	$f_{\rho3}(T)$	$f_{C3}(T)$	[***Comsol]
Miez fier	$f_{k4}(T)$	$f_{\rho4}(T)$	$f_{C4}(T)$	[***Comsol]
Radiator aluminiu	$f_{k5}(T)$	$f_{\rho5}(T)$	$f_{C5}(T)$	[***Comsol]

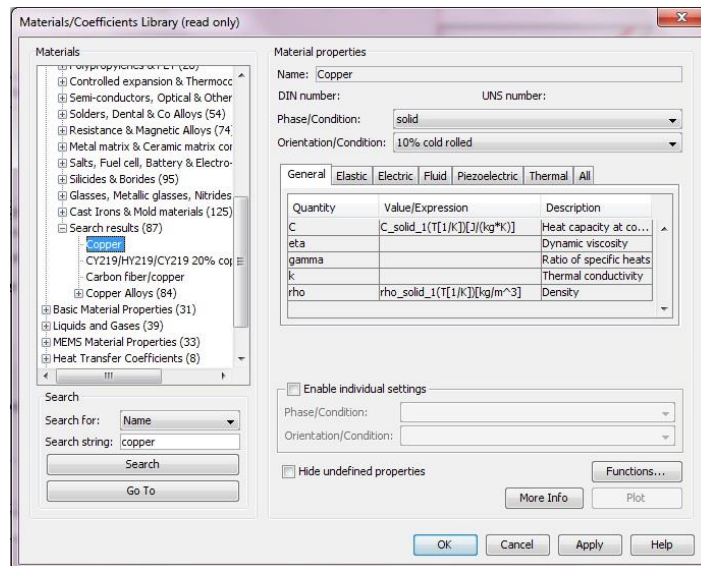


Figura 5.7. Selectare proprietăți materiale din librăria de materiale COMSOL [***Comsol]

După ce modelul geometric a fost realizat și constantele de material au fost alocate subdomeniilor, se impun condițiile la frontieră.

5.1.4. Condițiile la frontieră

Condițiile la frontieră care au fost utilizate pentru integrarea ecuației (1) prin metoda elementului finit, se introduc în caseta de comandă din figura 5.8. Aceste condiții la frontieră sunt următoarele [Ionel2002], [***Comsol], [Barvinschi1997], [Holman2002]]:

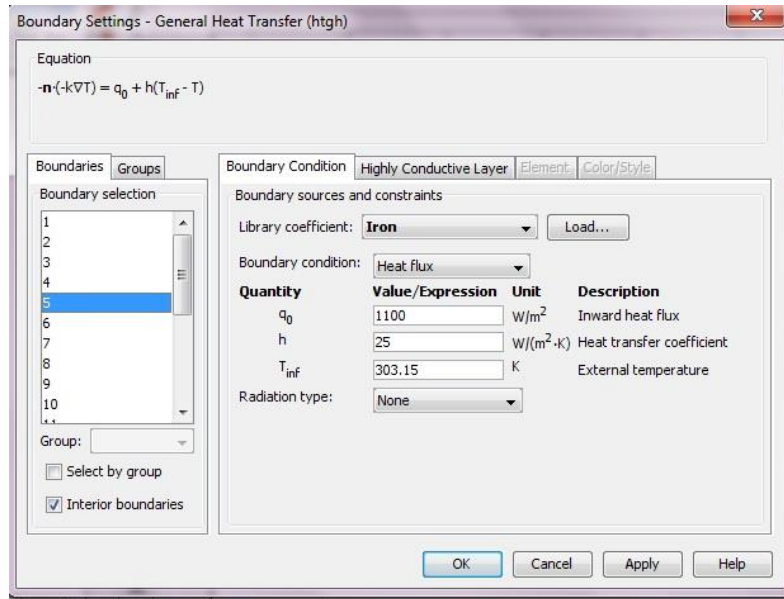


Figura 5.8. Meniu setare condiții la frontieră

Temperaturile și fluxurile de căldură între două subdomenii alăturate, i, j , sunt funcții continue [***Comsol], [Roy1988] :

$$T_i = T_j \quad (5.2)$$

La frontiera dintre două subdomenii alăturate, i, j , fluxurile termice sunt egale:

$$-(k\nabla T)_i \vec{N}_{ij} = -(k\nabla T)_j \vec{N}_{ij} \quad (5.3)$$

unde \vec{N}_{ij} reprezintă vectorul unitate normal la frontiera dintre subdomeniile alăturate i și j .

Axa de simetrie a sistemului reprezintă o axă de simetrie de reflexie în profilul de temperatură, adică:

$$k \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=0} = 0 \quad (5.4)$$

Motorul Stirling primește căldură de la Soare, de aceea în modelarea numerică s-au utilizat următoarele condiții pe frontierele S1, S2 și S3 (Figura 5.4):

$$-k_i \left(\frac{\partial T}{\partial N_i} \right) = q_0^i h_i (T_{inf} - T) \quad (5.5)$$

unde N_i reprezintă direcția normală la frontiera S_i , ($i = 1, 2, 3$), q_0^i reprezintă fluxul solar incident pe frontiera S_i [Ilie2016b], [Ilie2016c], h_i este coeficientul de transfer convectiv, iar T_{inf} este temperatura mediului ambiant.

Modelarea globală a instalației Stirling cu pâlnie este realizată prin impunerea unor condiții pe frontierele exterioare laterale ale geometriei, deoarece se pierde căldură prin convecție către mediul ambiant, și anume pe frontierele S4 - S10, de forma:

$$k_i(\vec{N}_i \nabla T) = q_0 + h_i(T - T_{inf}) + \varepsilon_i \sigma (T^4 - T_{inf}^4) \quad (5.6)$$

unde N_i reprezintă vectorul unitate al direcției normale la frontiera S_i , ($i = 4 - 10$), q_0 este fluxul de căldură primit de frontiera S_i , ε_i este emisivitatea suprafeței S_i , iar σ este constanta Stefan-Boltzmann.

În Tabelul 5.3 sunt sintetizați parametrii simulărilor efectuate. Așa cum se poate vedea în Tabelul 3, fluxul de căldură incident, q_0^i , constituie cel mai important parametru al calculelor efectuate în acest studiu.

Tabelul 5.3. Parametrii utilizați în simularea globală a transferului căldurii în motorul Stirling cu pâlnie [Ilie2016a]

Parametrii de operare			
T_{inf}	309, 303, 309	(K)	[***Comsol]
h_i	25	(W/mK)	[Holman2002]
q_0	0	(W/m ²)	[Holman2002] S4-S10
q_0^i	1250 - pâlnie Cu	(W/m ²)	Experiment
	900 - pâlnie Al	(W/m ²)	Experiment
	1100 - pâlnie Fe	(W/m ²)	Experiment
ε_i	0.7	Miez fier	[Holman2002]
	0.2	Izolator	[Holman2002]

5.1.5. Etapele modelării globale a transferului căldurii în motorul Stirling cu pâlnie

Ecuția căldurii se rezolvă în două etape:

- În prima etapă rezolvarea ecuației se face în condiții independente de timp (staționar);
- În a doua etapă, utilizând distribuția de temperatură obținută în cazul staționar ca soluție inițială la momentul $t=1$, se rezolvă ecuația căldurii în cazul tranzitoriu (dependent de timp).

5.1.5.1. Calcul staționar al distribuției de căldură în interiorul motorului Stirling

Așa cum s-a arătat mai sus, pentru a obține distribuția de temperatură $T(r,z)$ în întreg domeniul studiat, am împărțit domeniul modelat în subdomenii. Ecuția căldurii într-un subdomeniu, în caz staționar, se scrie sub forma [***Comsol], [Siegel1992], [Holman2002]:

$$\nabla(k(T,r,z)\nabla T) = 0 \quad (5.7)$$

unde $k(T,r,z)$ este conductivitatea termică a subdomeniului considerat, dependentă în general de temperatura T și de coordonatele r și z .

Distribuția de temperatură obținută, prin metoda elementului finit depinde în mod fundamental de condițiile la frontierele domeniului. De aceea, în continuare sunt detaliate tipurile de condiții pe frontieră pe care le-am utilizat în modelul propus:

Temperatura și fluxul de căldură între două subdomenii adiacente i și j sunt continue:

$$T_i = T_j, \quad (5.8)$$

respectiv,

$$-(k\nabla T)_i \vec{N}_{ij} = -(k\nabla T)_j \vec{N}_{ij} \quad (5.9)$$

unde k_i și k_j sunt conductivitățile subdomeniilor.

- Pe axa de simetrie, Oz a sistemului, există o simetrie a profilului de temperatură precum s-a arătat mai sus.
- Pe frontierele laterale (S4-S10) se pierde căldură prin convecție către un mediu ambiant cu temperatura $T_{inf}=300,15K$, conform ecuației (5.10):

$$k_i(\vec{N}_i \nabla T) = q_0 + h_i(T - T_{inf}) + \varepsilon_i \sigma (T^4 - T_{inf}^4) \quad (5.10)$$

- Pe frontierele S1, S2 și S3 ale modelului este considerată condiția pe frontieră de forma:

$$-k_i \left(\frac{\partial T}{\partial N_i} \right) = q_0^i + h_i(T_{inf} - T) \quad (5.11)$$

unde ε_i – emisivitățile suprafețelor S_i ($i=4,5,\dots,10$).

În figura 5.9.a se pot observa izotermele calculate în sistem staționar iar în figura 5.9.b distribuția căldurii pe suprafața pâlniei, în miezul de fier, interiorul motorului Stirling. Valoarea considerată pentru fluxul de căldură de la Soare este $q_0^i=1115 \text{ W/m}^2$, pentru cazul cu pâlnie de aluminiu.

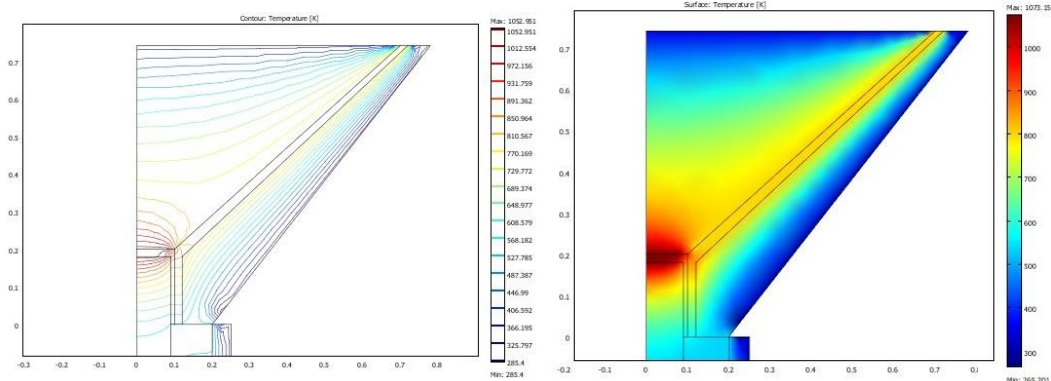


Figura 5.9.a Izoterme obținute pentru cazul staționar, la un flux solar incident $q_0^i=1115 \text{ W/m}^2$

Figura 5.9.b Distribuția căldurii în regim staționar, la un flux solar incident $q_0^i=1115 \text{ W/m}^2$

Așa cum se poate observa în figura 5.9.a, programul ne permite să stabilim valori ale temperaturilor în diferite puncte de coordonate r și z . Spre exemplu: în partea superioară a motorului care este în contact direct cu sursa caldă (Soarele), energia termică concentrată pe suprafața miezului de fier cu ajutorul lentilei Fresnel, determină ca în punctul de coordonate $(0.035198, 0.192285)$, temperatura să fie $T=1072.283166 \text{ [}^\circ\text{K]}$.

După obținerea soluției considerând regimul staționar se continuă cu pasul 2, adică cu rezolvarea ecuației căldurii în funcție de timp (regim variabil).

5.1.5.2. Simularea transferului de căldură în funcție de timp

În această etapă, câmpul de temperatură $T(r, z)$ obținut în cazul staționar este utilizat ca soluție la $t_0 = 1$ în calculul distribuțiilor de temperatură $T(r, z, t)$.

Ecuția transferului nestaționar de căldură în coordonate cilindrice are forma generală [Barvinschi1997], [Barvinschi2011], [Ionel2002]:

$$\frac{k}{\rho C} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial t^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) - v \frac{\partial T}{\partial z} = 0 \quad (5.12)$$

unde ρ este densitatea, C este căldura specifică, v este viteza, r reprezintă coordonata radială iar z este coordonata axială.

Condițiile pe frontierele domeniului sunt de același tip ca în cazul în modelului staționar și pot fi ajustate după un număr de pași de timp.

Din meniul Physics se alege caseta de Proprieties iar în submeniul Analysis type se schimbă din Stationary în Transient.

Pașii sunt aceeași ca și în regim staționar, cu subdomeniile stabilite, condițiile la limită, mesh-ul constituit din 1045 elemente și 569 grade de libertate, așa cum se poate vedea în figura 5.8, urmând ca apoi să se treacă la rezolvarea problemei. Astfel, în meniul Solve se selectează caseta Solver Parameters.

În această fereastră, în meniul din stânga se alege Time dependent iar sub meniul General se poate seta intervalul de timp, mărimea pasului precum și toleranțele așa cum poate fi vizualizat în figura 5.10.

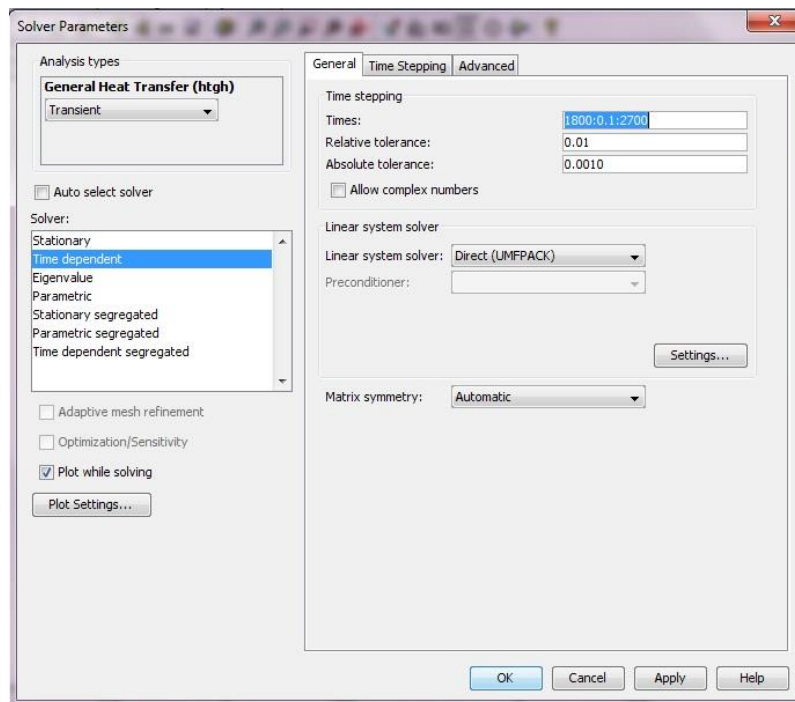


Figura 5.10 Parametrii pentru soluționarea problemei în funcție de timp; alegerea intervalului de timp [***Comsol]

5.1.6. Rezultate ale modelării globale a instalației Stirling cu pâlnie

Modelarea a fost făcută din aproape în aproape, adică s-a pornit de la timpul $t_0=1s$ până la $t_1=100s$, moment în care timpul t_1 devine t_0 pentru următoarea analiză, astfel $t_0'=100s$ și $t_1'=1000s$, ș.a.m.d. În continuare se arată câteva rezultate obținute în modelarea numerică a instalației cu diferite pâlnii, precum și influența folosirii acestora în sistem.

5.1.6.1. Instalație cu pâlnie de cupru, regim tranzitoriu, $q_0=1250W/m^2$, $T_{inf}=309^\circ K$, $T_{Opâlnie}=873^\circ K$, $T_{Omiez Fe}=1073^\circ K$

În figura 5.11 se pot observa izotermele la $t=100s$, la instalația formată din motor Stirling și pâlnie de cupru. Proprietățile materialelor au fost alese din biblioteca de materiale, așa cum a fost descris mai sus la punctul 5.3. Se poate observa că cea mai caldă parte este pe miezul de fier unde radiația solară este concentrată cu ajutorul lentilei direct pe centrul motorului [Martaj2009], [Roy1988], [Chen2012].

În tabelul 4 se pot observa temperaturile la diferite coordonate, r și z , în patru puncte diferite pe pâlnie, corespunzând aproximativ cu poziția termocuplelor.

Tabelul 5.4. Temperatura în patru puncte diferite la suprafața pâlniei de Cu

	Temperatura [$^\circ K$]	r [cm]	z [cm]
1	872.462322	0.70469	0.736447
2	865.047997	0.584462	0.63912
3	868.688499	0.389807	0.465457
4	913.37821	0.107366	0.213551

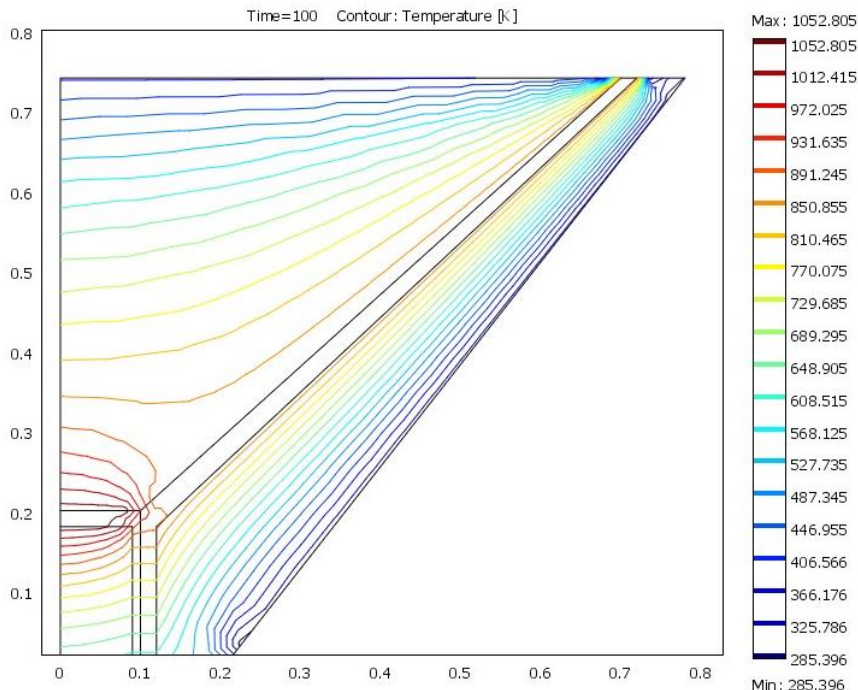


Figura 5.11. Izotermele la $t=100s$ pentru instalația cu pâlnie de cupru

În Figura 5.12 putem vedea distribuția temperaturii axiale ($r=0$) la instalația cu pâlnie de cupru, $T = f(z, t)$, la $t = 1800$ s comparat cu $t=2700$ s. După cum se poate observa în figura 5.12, valoarea maximă a temperaturii corespunde coordonatei miezului de fier pe axa Oz.

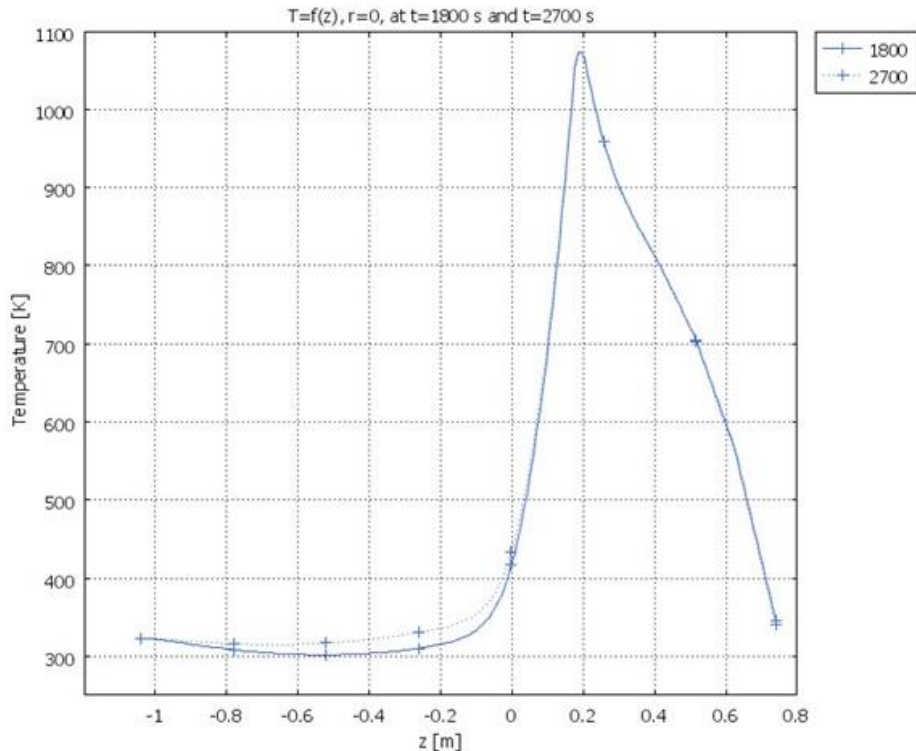


Figura 5.12. Distribuția temperaturii pe axa Oz, $T = f(z,t)$, la $t = 1800$ și $t=2700$ s, pâlnie cupru

5.1.6.2 Instalație cu pâlnie de fier, regim tranzitoriu, $q_0=1100\text{W/m}^2$, $T_{\text{inf}}=309^\circ\text{K}$, $T_{0 \text{ pâlnie}}=873^\circ\text{K}$, $T_{0 \text{ miez Fe}}=973^\circ\text{K}$

În figura 5.13 se pot observa izotermele la timpul $t=100$ s, la instalația formată din ansamblu motor Stirling și pâlnie de fier iar în tabelul 5 se pot observa temperaturile la diferite coordonate r și z , în patru puncte diferite pe pâlnie.

Tabelul 5.5. Temperatura în patru puncte diferite la suprafața pâlniei de Fe

	Temperatura[°K]	$r[\text{cm}]$	$z[\text{cm}]$
1	785.384043	0.694296	0.737844
2	864.983327	0.591623	0.645587
3	871.353907	0.296995	0.38072
4	914.717716	0.102065	0.203646

Așa cum se poate observa din figura 5.14, distribuția axială a temperaturii la instalația cu pâlnie de fier, $T = f(z, t)$, în momentul $t = 1800$ s este comparată cu cea de la momentul $t=2700$ s. Se observă o ușoară creștere a temperaturii aerului din interiorul motorului.

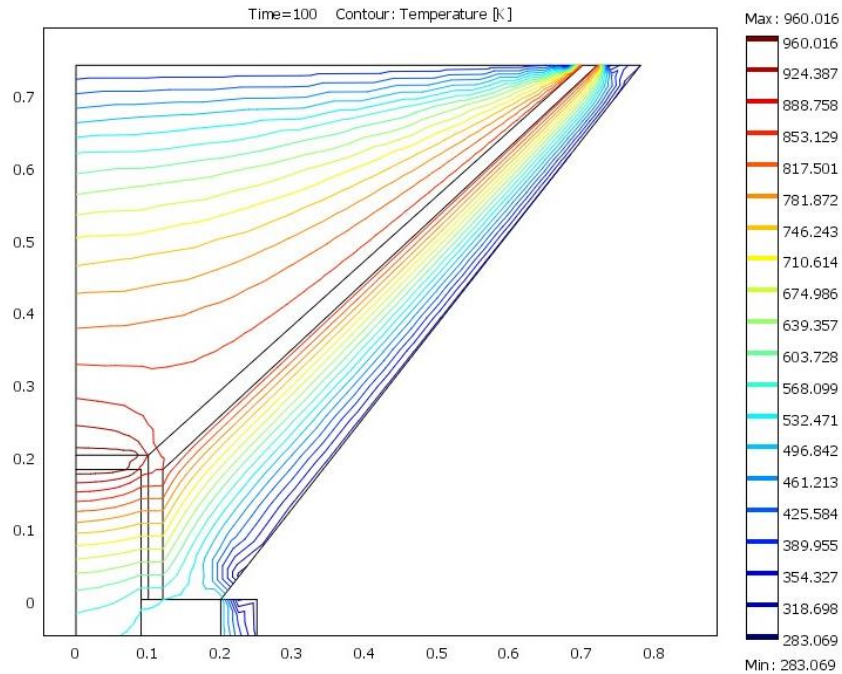


Figura 5.13. Izotermele la timpul $t=100s$ pentru instalația cu pâlnie de fier

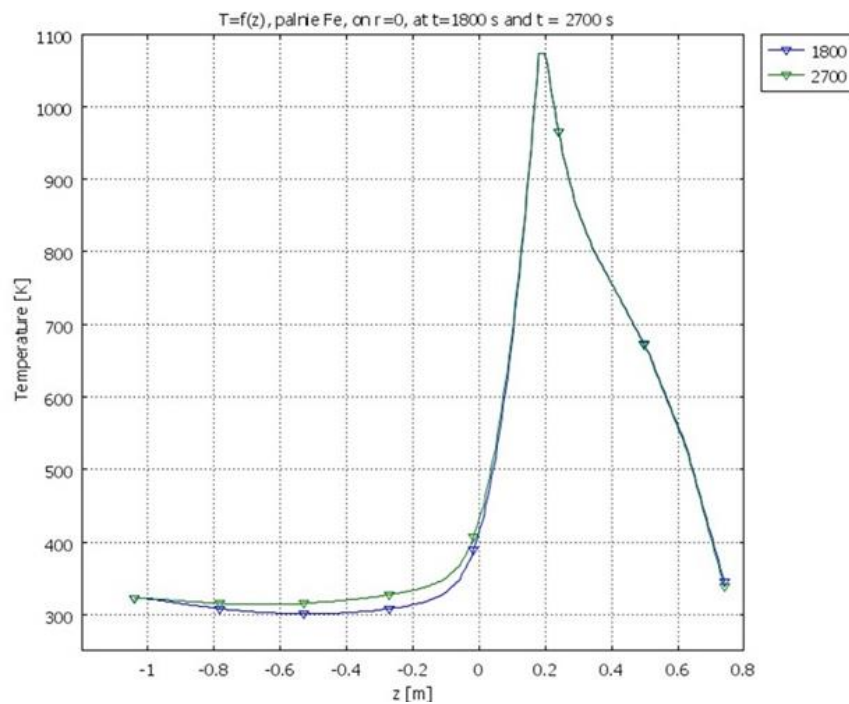


Figura 5.14. Distribuția temperaturii pe axa Oz , $T = f(z,t)$, la $t = 1800$ și $t=2700s$, pâlnie fier

5.1.6.3 Instalație cu pâlnie de aluminiu, regim tranzitoriu, $q_0=900\text{W/m}^2$, $T_{\text{inf}}=303^\circ\text{K}$, $T_{\text{Opâlnie}}=733^\circ\text{K}$, $T_{\text{Omiez Fe}}=973^\circ\text{K}$

Figura 5.15 ne arată izotermele la timpul $t=100\text{s}$, la aceeași instalație cu motor beta Stirling, dar cu pâlnie de aluminiu de această dată; iar în tabelul 6 se pot observa valorile temperaturilor la diferite coordonate, r și z .

Prima valoare din tabel este temperatura în poziția cea mai de sus pe pâlnie, unde este în contact direct cu mediul ambiant. A doua și a treia valoare sunt alese la mijlocul pâlniei spre interior, deoarece partea exterioară este izolată termic, iar ultima valoare din tabel reprezintă punctul cel mai apropiat de miezul de fier al motorului Stirling, unde este concentrată cea mai mare parte a radiației solare.

Tabelul 5.6. Temperatura în patru puncte diferite la suprafața pâlniei de Al

	Temperatura[K]	$r[\text{cm}]$	$z[\text{cm}]$
1	732.994246	0.693594	0.733891
2	729.869875	0.536529	0.595488
3	733.039655	0.265942	0.352893
4	835.591067	0.101102	0.205159

În figura 5.16 putem vedea distribuția axială a temperaturii la instalația cu pâlnie de aluminiu, $T = f(z, t)$, în aceleași condiții, la timpul $t = 1800\text{s}$ comparat cu $t=2700\text{s}$.

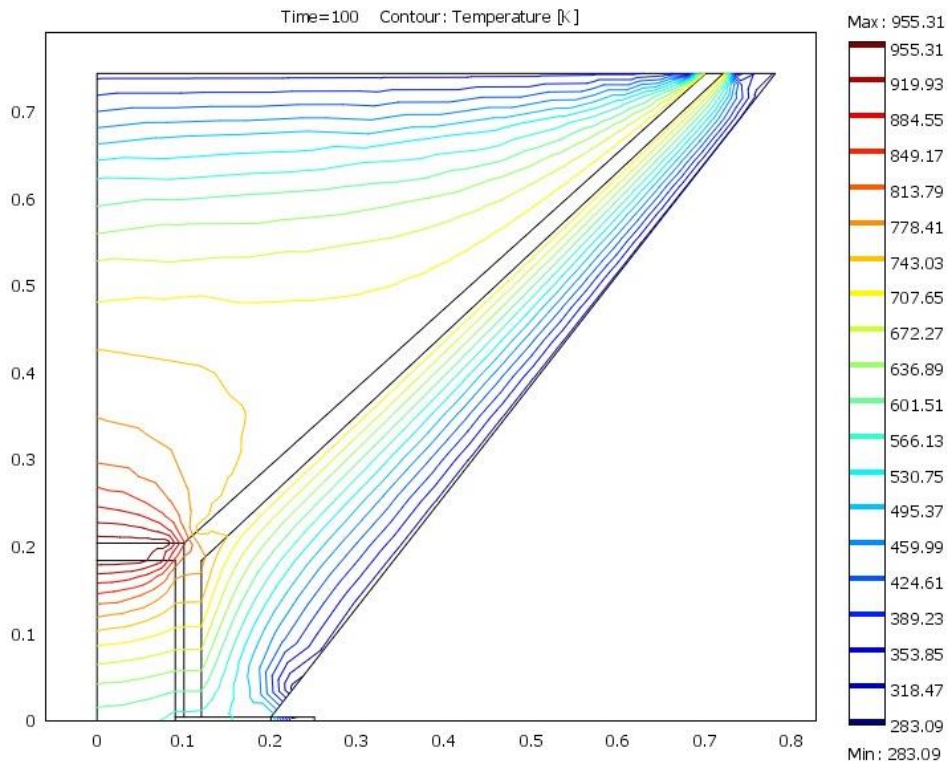


Figura 5.15. Izotermele la timpul $t=100\text{s}$ pentru instalația cu pâlnie de aluminiu

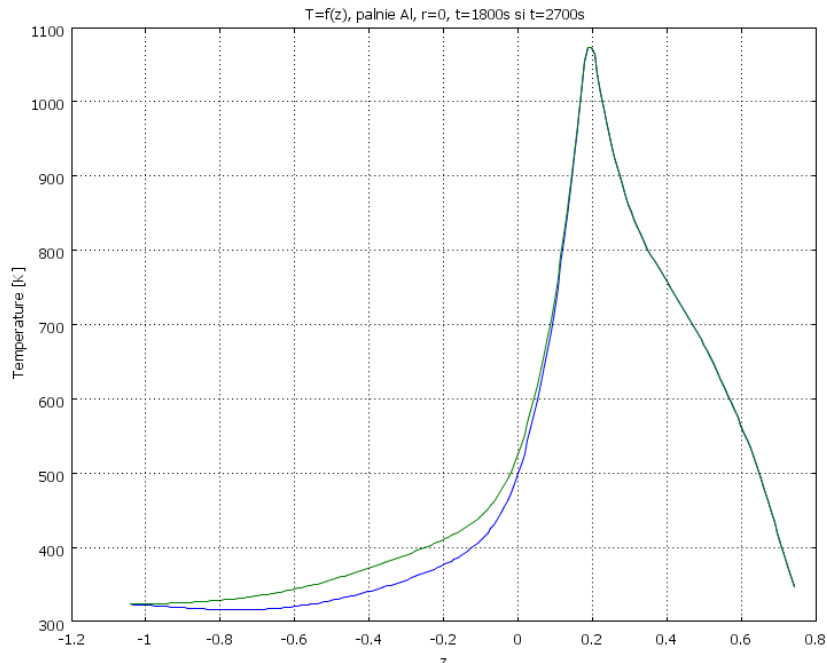


Figura 5.16. Distribuția temperaturii pe axa z , $T = f(z, t)$, la $t = 1800$ s și $t=2700$ s, pâlnie aluminiu

În cazul pâlniei de aluminiu, temperatura aerului din interiorul motorului este cea mai ridicată, comparativ cu celelalte două materiale folosite pentru pâlnii, prin urmare acest sistem motor - pâlnie de aluminiu va da cel mai bun randament termodinamic al motorului.

În urma simulărilor efectuate, se poate observa că în toate cazurile analizate, temperatura cea mai mare se află pe miezul de fier al motorului Stirling care primește cea mai mare parte din căldura provenită de la Soare, care este concentrată cu ajutorul lentilei Fresnel în această direcție [Martaj2009], [Roy1988], [Chen2012].

Pentru validarea modelului, în tabelul 5.7 sunt prezentate câteva comparații între rezultatele obținute în urma simulărilor și măsurătorile efectuate [Ilie2016a], [Ilie2016b], [Ilie2016c].

Tabelul 5.7. Comparație între datele măsurate și calculate [Ilie2016a], [Ilie2016b], [Ilie2016c]

Poziția termocuplei	Temperatura [°K]		ϵ [%]
	Măsurat	Calculat	
Pe miezul de fier	1074.15	1024.19	4.6
Partea caldă a radiatorului de aluminiu	545.15	536.26	1.63
Partea rece a radiatorului de aluminiu	363.15	393.30	7.6
Partea inferioară a motorului	313.15	323.29	3.2

Se poate observa că modelul este în foarte bună concordanță cu măsurătorile efectuate, cu mici diferențe care se datorează faptului că poziția termocuplelor pe instalația reală nu a putut fi stabilită cu suficient de mare precizie.

5.2. Model numeric pentru generatorul electric

5.2.1. Schema de principiu a mașinii electrice de curent continuu - generatorul electric

Generatorul electric care transformă energia mecanică în energie electrică folosit în instalația experimentală are tensiunea de operare între 0.3 - 12V, viteza nominală 2500 RPM, curent de pornire 10mA și cuplu maxim 5.5 g/cm.

Schema generatorului electric a fost simulată în mediul de programare Matlab Simulink, având următoarele mărimi de intrare (figura 5.17.):

- rezistența internă a mașini electrice,
- inductanța echivalentă a mașinii electrice,
- constanta cuplului
- turație nominală
- rezistența de sarcină.

Pe diagrama bloc a generatorului de curent continuu (Figura 5.17), sarcina este conectată între porturile A+ și A- ale blocului.

În schema bloc a modelului, consumatorul poate fi simulat printr-un circuit RLC serie sau paralel. În cazul nostru, consumatorul este simulat prin rezistența de sarcină R.

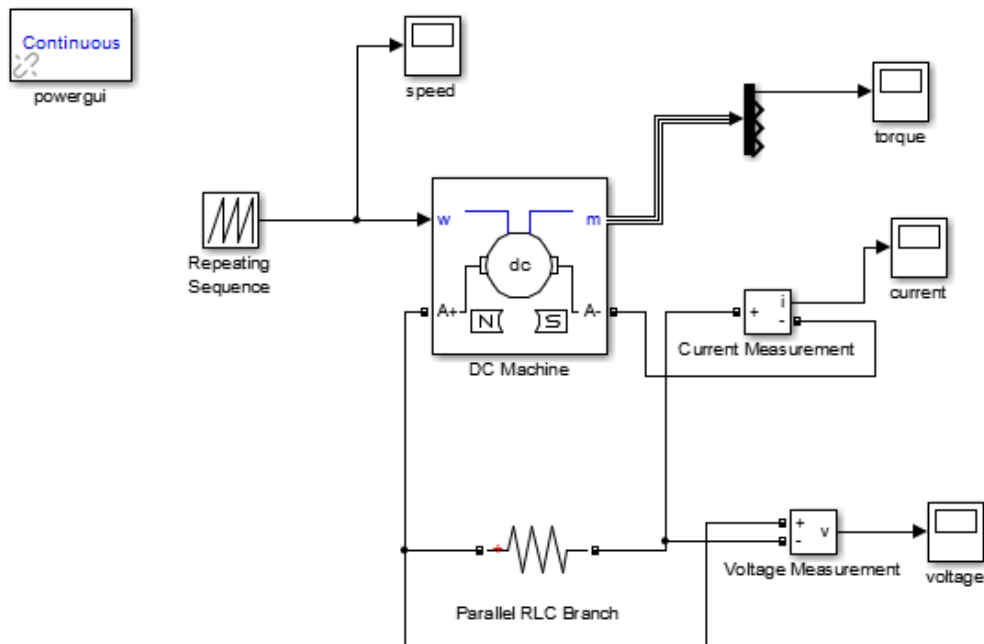


Figura 5.17. Schema de principiu generator electric

Cu ajutorul modelului de mașină electrică în mediul de programare Matlab Simulink, se analizează regimul tranzitoriu care are loc la pornirea generatorului electric. S-au avut în vedere două situații care sunt prezentate în continuare:

5.2.1.1. Parametrii: $R_{int} = 21\Omega$, $L=0.5mH$, $cuplu = 0.5 Nm/A$, $R=1100\Omega$

În figura 5.18a se prezintă variația în timp a tensiunii la bornele generatorului, iar în figura 5.18b, se prezintă variația în timp a curentului prin sarcina generatorului. Se observă că cele două dependențe în raport cu timpul sunt liniare, ceea ce este în concordanță cu realitatea, deoarece tensiunea indusă în înfășurarea mașinii de curent continuu este proporțională cu viteza. În situația analizată, viteza crește liniar de la 0 la 1 m/s.

Din figura 5.18a rezultă că tensiunea la bornele generatorului crește de la 0 la 4.9 V, iar din figura 5.18b, rezultă că valoarea curentului crește de la 0 la 4.4 mA.

Din simularea numerică a generatorului, rezultă că rezistența totală a circuitului electric este:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{4.9}{4.4 \cdot 10^{-3}} = 1136\Omega$$

Având în vedere că valoarea rezistenței de sarcină este 1100Ω , rezultă următoarea eroare:

$$\varepsilon\% = \frac{1136-1100}{1136} \cdot 100 = 3.17\%.$$

Eroarea obținută prin simulare numerică este acceptabilă din punct de vedere tehnic.

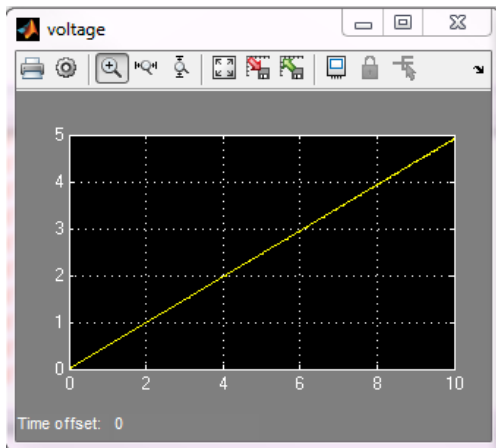


Figura 5.18a. Variația în timp a tensiunii la bornele generatorului electric

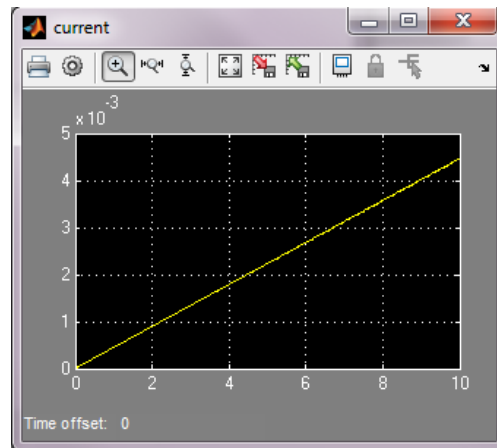


Figura 5.18b . Variația în timp a curentului prin sarcina generatorului electric

5.2.1.2. Parametrii: $R_{int} = 21\Omega$, $L=0.5mH$, $cuplu= 0.5 Nm/A$, $R=300\Omega$

Din figura 5.19a rezultă că tensiunea la bornele generatorului crește de la 0 la 4.6 V, iar din figura 5.19b, rezultă că valoarea curentului crește de la 0 la 16 mA.

Din simularea numerică a generatorului, rezultă că rezistența totală a circuitului electric este:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{4.6}{16 \cdot 10^{-3}} = 287.5\Omega.$$

Având în vedere că valoarea rezistenței de sarcină este 300Ω , rezultă următoarea eroare:

$$\varepsilon\% = \frac{287.5 - 300}{287.5} \cdot 100 = -4,35\%.$$

Eroarea obținută prin simulare numerică este acceptabilă din punct de vedere tehnic.

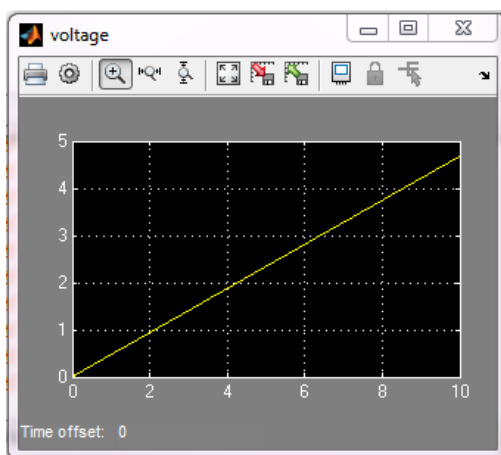


Figura 5.19a. Variația în timp a tensiunii la bornele generatorului electric

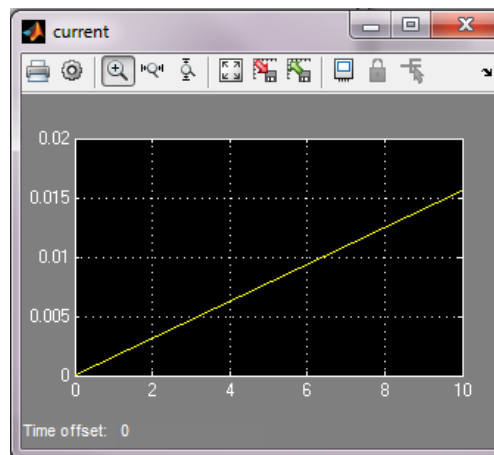


Figura 5.19b. Variația în timp a curentului prin sarcina generatorului electric

5.3. Concluzii și contribuții personale

Din studiul realizat rezultă câteva concluzii importante:

- Modelul matematic folosit ne permite să analizăm transferul de căldură în interiorul motorului Stirling, lucru care ar fi foarte dificil de estimat, dată fiind natura relativ redusă, ca dimensiuni, a motorului folosit în instalația experimentală și prin urmare reducerea posibilităților de măsurare experimentală;
- Pentru calcularea temperaturilor și determinarea fluxului de căldură pe suprafața de sus a miezului de fier, precum și în partea de jos, este necesar să ținem cont de caracteristicile termice ale fiecărei componente ale motorului precum și de diferitele tipuri de materiale ale pâlniilor folosite;
- Modelul numeric are marele avantaj că poate fi utilizat pentru a determina transferul de căldură și pentru alte tipuri de materiale ale pâlniilor, cu diferite proprietăți;
- Alegerea condițiilor pe frontieră determină corectitudinea rezultatelor obținute în urma calculului numeric, prin urmare este necesar ca fiecare analiză numerică să fie validată pe cât posibil și de datele obținute experimental;
- În modelarea numerică efectuată, toate conductivitățile sunt funcții izotrope de temperatură (nu depind de direcție), iar prin parametrizarea fluxului incident normal primit de la Soare putem evalua și compara cu datele experimentale efectuate în diferite condiții, favorabile sau mai puțin favorabile (fluxul de căldură primit poate scădea sau crește în funcție de procentul de acoperire cu nori, spre exemplu, sau la diferite condiții de mediu);

- f) În urma simulărilor efectuate, am observat că după circa 8-10 minute de calcul tranzitoriu, sistemul atinge o stare cvasi-staționară a profilului de temperatură, care nu se mai modifică în timp prea mult la un flux de căldură relativ constant.
 - g) Modelele numerice sunt în continuă dezvoltare și sunt utilizate din ce în ce mai mult, având avantaje de economie de timp, materiale și resurse.
- Principalele contribuții în acest capitol sunt următoarele:
- a) Conceperea și implementarea modelului numeric de calcul al transferului de căldură în motorul Stirling în regim staționar și tranzitoriu;
 - b) Stabilirea designului motorului Stirling cu pâniile anexe, astfel încât complexitatea motorului să fie adaptată la posibilitățile de creare oferite de versiunea 3.5 a COMSOL Multiphysics;
 - c) Conceperea și implementarea modelului numeric al motorului cu pâniile anexe, folosite pentru a ajuta instalația experimentală astfel încât pata focală să fie concentrată cât mai bine pe miezul de fier al motorului;
 - d) Compararea rezultatelor obținute numeric cu datele experimentale ale diferitelor instalații, cu cele trei tipuri de pâinii (fier, cupru și aluminiu).

În lucrările: Modern Education on Renewable Energies by Using Numerical Finite Element Method of a Solar Powered Stirling Engine with Heat Transfer Simulations, prezentată și publicată în volumul conferinței International Symposium of Electronics and Telecommunications ISETC 2016; Numerical Simulation of Heat Transfer inside a Beta Type Stirling Engine Using Concentrated Solar Energy and Artificial Heat Source , prezentată la conferința Global Conference on Applied Physics and Mathematics, APM2016; Combined Simulations of Heat Transfer and Thermodynamic Cycle Processes Inside a Beta Stirling Engine by Using Two Different Software`s, prezentată la conferința Global Conference on Applied Physics and Mathematics, APM2016; au fost făcute publice rezultatele obținute din analiza regimului termic al motorului Stirling utilizând modelul numeric implementat în mediul de programare Comsol Multiphysics.

6. DETERMINĂRI EXPERIMENTALE

Capitolul 6 constituie principala parte practică a lucrării. În acest capitol se prezintă rezultatele obținute prin determinări experimentale privind centrala termoelectrică solară care are ca și componente principale o lentilă Fresnel, un motor Stirling tip beta și generatorul electric [Ilie2015], [Luminosu2013], [DeSabata2013], [Stoica2013].

Pentru acest capitol, s-au selectat rezultatele măsurătorilor în forma sintetică, deși o parte din datele înregistrate se prezintă în detaliu în cadrul capitolului. Toate datele sunt prezentate în detaliu în anexele 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 și 12.

Determinările experimentale au fost realizate în condiții de laborator, când sursa de energie este o lampă cu gaz; respectiv în condiții reale, când sursa de energie este Soarele.

Datele experimentale au fost realizate în mai multe etape, cu condiții de cer senin, cer cu nori, precum și cu viteze ale vântului ridicate. În lucrare sunt prezentate câteva cazuri, atât în condiții de cer senin precum și acoperire parțială cu nori, pentru a determina caracterul general al instalației de centrală termoelectrică solară cu lentilă Fresnel și motor Stirling [Ilie2015], [Wu2012], [Rabl1976], [Cody1977], [Chen2014], [Cheng2009], [Cheng2016], [Xie2011], [Chin2011], [***SolarLas], [***Indiaenerg], [***Mmeka], [***Green].

De asemenea, o bună parte a rezultatelor măsurătorilor au fost prezentate în lucrări științifice, în rapoarte de cercetare, precum și în cadrul unui contract derulat pe perioada a 3 ani, prin parteneriatul SC Energosophia SRL, cu Universitatea Politehnică Timișoara, intitulat: "Realizarea, testarea și certificarea prototipurilor LS01 și LS02 ale colectoarelor/concentratoarelor solare cu lentile Fresnel și pregătirea pentru introducerea în fabricație în vederea producerii și comercializării acestora pe piața internă și europeană", pe programul POSCCE- A2- O2.3.1 -2008-1- ETAPA X, ID 1418, cod SMIS 41646.

Prima parte a capitolului se referă la descrierea modului în care modelul experimental de centrală termoelectrică solară se comportă în condiții reale de funcționare, verificate experimental precum și prezentarea mărimilor determinate experimental în laborator cu două tipuri de motoare Stirling, de tip beta și gamma.

Rezultatele determinate experimental permit validarea celor obținute analitic, respectiv prin simulare numerică din elementele anterioare. În capitolele anterioare au fost analizate separat toate elementele componente ale unei centrale termoelectrice solare, iar în acest capitol este analizat modelul experimental de centrală termoelectrică solară, conceput și executat fizic.

În a doua parte a capitolului se prezintă rezultatele măsurătorilor efectuate în condiții de mediu naturale, cu interferența norilor și efectul acestora asupra rezultatelor determinate experimental.

La finele capitolului se prezintă o serie de comentarii și concluzii, cu caracter particular și general legat de rezultatele concrete ale măsurătorilor efectuate.

6.1. Considerații generale

Mărimile determinate experimental au fost următoarele:

- radiație solară (când modelul experimental funcționează în condiții reale)
- viteza vântului (când modelul experimental funcționează în condiții reale)
- temperatura în focar (când modelul experimental funcționează în condiții reale)
- temperatura pe radiatorul de răcire în partea caldă
- temperatura pe radiator în partea rece
- temperatura în interiorul motorului Stirling în partea rece
- tensiunea la borne și curentul generatorului electric

Pentru determinarea experimentală a tensiunii la bornele generatorului electric și a curentului de sarcină s-a folosit un sistem de achiziții date tip NI9201 fabricație Texas Instruments. Sistemul de achiziții date utilizează mediul de programare LabVIEW [Maier2000], [***LabView].

Programul conține două instrumente virtuale și anume *Achizie 3 semnale.vi* folosit pentru înregistrarea semnalelor de la placa de achiziție, și pentru configurarea acesteia, respectiv *Prelucrare 3 semnale.vi* folosit pentru prelucrarea tensiunilor și curenților.

Instrumentul virtual *Achizie 3 semnale.vi* cu diagrama bloc prezentată în figura 6.1 permite vizualizarea semnalelor achiziționate în panoul principal (pe ecranul calculatorului), a tensiunii la bornele generatorului și a curentului de sarcină. Semnalele achiziționate pot fi salvate pe hard-discul calculatorului într-un fișier ce poate fi accesat și utilizat ulterior.

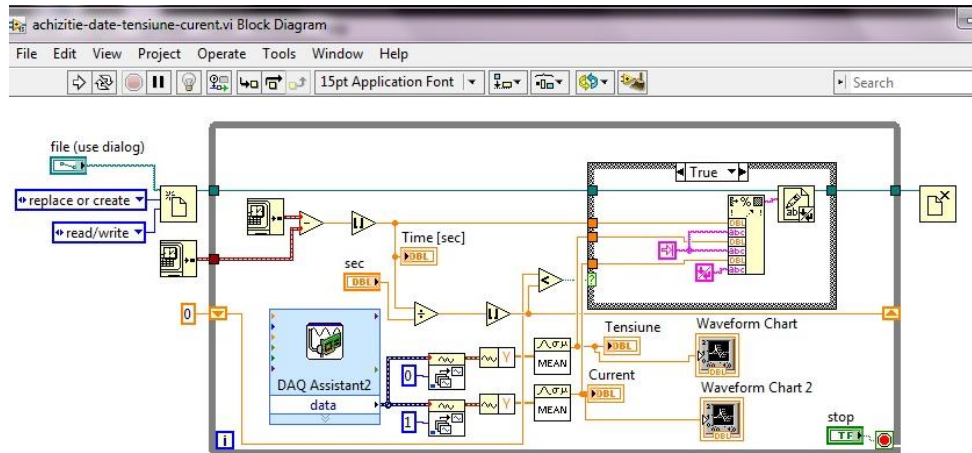


Figura 6.1. Diagrama bloc a instrumentului virtual pentru achiziția tensiunilor și curenților

În figura 6.2 se prezintă panoul frontal al instrumentului virtual, care indică valoarea mărimilor măsurate precum și variația în timp a acestor mărimi.

Pe panoul frontal al instrumentului virtual pot fi amplasate casetele parametrilor care se doresc a fi vizualizați sau înregistrați; precum și locația unde poate fi exportat fișierul cu datele înregistrate sub formă .txt. Pe panou se observă o casetă intitulată "sec", de unde poate fi setat pasul de timp la care se dorește a fi scris în fișierul de ieșire cu valorile măsurate sub format .txt.

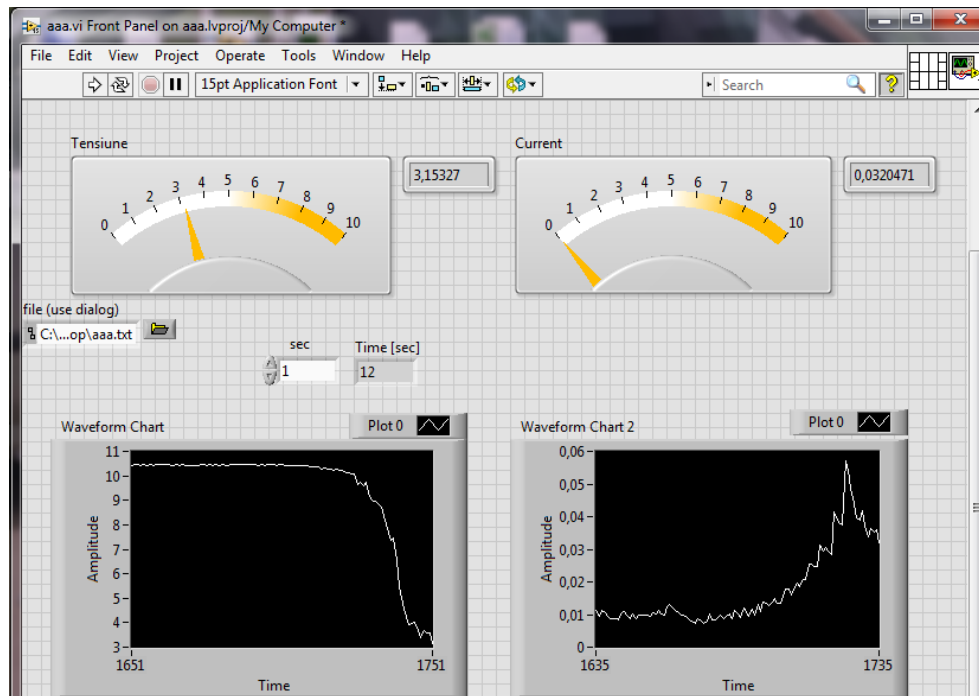


Figura 6.2. Panoul frontal al instrumentului virtual achizitie-date-tensiune-curent.vi

6.2. Determinarea transferului de energie de la lampa cu gaz la motorul Stirling

Verificarea experimentală a modelului de centrală termoelectrică solară în condiții de laborator s-a efectuat utilizând ca sursă de căldură o lampă cu gaz. Cantitatea de energie transferată de la lampa cu gaz la motorul Stirling s-a determinat măsurând consumul de gaz. Timp de 1 minut cantitatea de gaz consumată, determinată experimental, a fost $m=0,8\text{g}$. Cantitatea de căldură obținută prin arderea gazului este,

$$Q=m\cdot c=0,8\cdot 10^{-3}\cdot 39,5\cdot 10^6 = 31,6\cdot 10^3\text{J}$$

unde m este masa gazului consumat, c – puterea calorică amestec butan-propan.

Puterea obținută prin arderea gazului este,

$$P=Q/t=31,6\cdot 10^3/60=526\text{W}.$$

Având în vedere dimensiunile zonei calde a motorului Stirling, volumul de aer, temperatura la care ajunge zona caldă și timpul în care se ajunge la această temperatură, rezultă că puterea preluată de motorul Stirling, în varianta fără pâlnie este de 18,6W. Deci randamentul transferului termic de la sursă la motor este de 3,54%.

Temperatura flăcării nu este constantă în volumul acesteia, în centrul flăcării are valori mai mari decât pe laterale. Pentru a îmbunătăți transferul de căldură de la lampa cu gaz la partea caldă a motorului Stirling s-au utilizat pâlnii de formă tronconică, realizate din materiale diferite.

6.3. Determinarea randamentului lentilei Fresnel

Randamentul lentilei Fresnel se determină având în vedere rezultatele măsurărilor experimentale privind radiația solară din Timișoara în locația unde a fost amplasată instalația.

Pentru a determina randamentul lentilei cu energia preluată de la Soare se încălzește o placă de aluminiu plasată în focarul lentilei.

Caracteristicile lentilei sunt: aria suprafeței active (apertura) $A_1 = 0.52 \text{ m}^2$; transmitanța $T_r = 0.90$ [Wu2012], [Rabl1976], [Cody1977]; factorul de interceptare: $\gamma = 0.85$ [Wu2012], [Rabl1976], [Cody1977].

Razele sunt concentrate într-o pată focală cu raza de 4 cm; iluminarea este maximă într-o pată circulară cu raza de 2 cm; în coroana circulară din jurul cercului cu iluminarea maximă temperatura tinde spre 500°C .

Radiația solară ce cade pe lentila Fresnel se măsoară cu ajutorul piranometrului tip Voltcraft. Intensitatea radiației solare înmulțită cu suprafața lentilei determină puterea incidentă pe lentilă.

Temperatura plăcii din aluminiu se măsoară în 3 puncte diferite pe suprafața acesteia. De asemenea se măsoară temperatura în focarul lentilei.

Pentru a reduce eroarea se impune condiția ca timpul să fie foarte scurt pentru ca temperatura plăcii să nu fie mult diferită față de temperatura mediului ambiant, în acest fel se pot neglija pierderile spre mediul ambiant, care se consideră că sunt nule.

În figura 6.3 se prezintă curba de variație a temperaturii în funcție de timp determinată experimental a plăcii de aluminiu. Variația de temperatura se calculează cu relația 6.1:

$$\Delta T = T_m - T_a \quad (6.1)$$

unde mărimile au următoarea semnificație: T_m - temperatura medie; T_a - temperatura mediului ambiant.

Din curba prezentată în figura 6.3 se calculează:

$$\text{tg}\beta = \frac{\Delta T}{\Delta \tau} \left[\frac{^\circ\text{C}}{\text{s}} \right] \quad (6.2)$$

Panta cea mai mare (cea din origine) ne arată variația temperaturii în prima secundă.

Se calculează căldura acumulată în placa de aluminiu în prima secundă, utilizând relația (6.3):

$$W_{\text{util}} = m \cdot c \cdot \text{tg}\beta \quad (6.3)$$

unde, W_{util} - căldura utilă (puterea utilă), m - masa plăcii de aluminiu, $m = 0.338 \text{ kg}$, c - căldura specifică, la aluminiu este $900 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ [***SpecAl].

Cu aceste valori pentru mărimea W_{util} se obține valoarea

$$W_{\text{util}} = 0.338 \cdot 900 \cdot 1.16 = 352.87 \text{ J/s.}$$

Căldura incidentă pe lentila Fresnel W_{incident} timp de 1s se determină cu relația (6.4),

$$W_{\text{incident}} = G \cdot S \quad (6.4)$$

Valoarea măsurată a radiației solare a fost $G = 863 \text{ W}/\text{m}^2$. Suprafața lentilei $S = 0.52 \text{ m}^2$. Cu aceste valori pentru mărimea W_{incident} rezultă valoarea,

$$W_{\text{incidentă}} = 863 \cdot 0.52 = 483.28 \text{ J/s.}$$

Randamentul este raportul dintre căldura utilă și căldura incidentă, $W_{utilă}$ și $W_{incidentă}$, astfel:

$$\eta = \frac{W_{utilă}}{W_{incidentă}} = \frac{352.87}{483.28} = 0.73 \quad (6.5)$$

Eficiența lentilei Fresnel (randamentul teoretic) se calculează cu relația (6.6) [Ilie2015], [Wu2012], [Rabl1976], [Cody1977]:

$$\eta' = T_r * \gamma \quad (6.6)$$

unde, semnificația mărimilor este: T_r – transmitanța, cu valoarea 0.90; γ – factorul de interceptare, cu valoarea 0.85. Cu aceste valori pentru eficiența lentilei rezultă valoarea:

$$\eta' = 0.76.$$

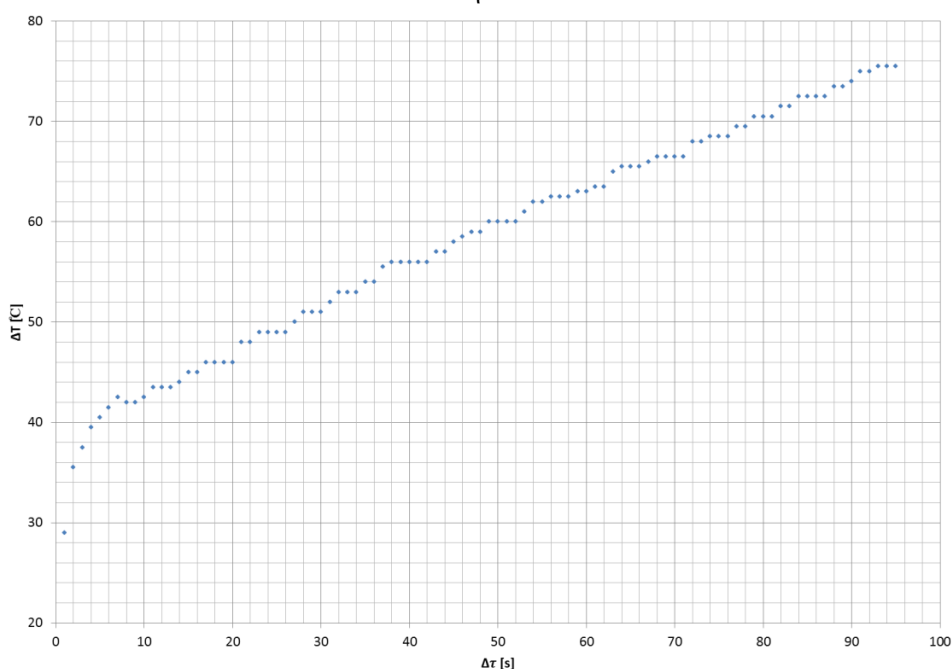


Figura 6.3. Variația temperaturii plăcii de aluminiu în funcție de timp

Comparând valoarea randamentului lentilei determinat experimental cu valoarea teoretică a acestuia se constată o diferență de 3,95%. Având în vedere precizia măsurătorilor diferența obținută pentru randament este acceptabilă.

6.4. Determinări experimentale în condiții de laborator

6.4.1. Determinări experimentale cu motor Stirling de tip beta

În figura 6.4 se prezintă o vedere de ansamblu a modelului experimental și a aparatelor folosite pentru măsurători. Notațiile au următoarele semnificații:

- a - motor Stirling tip beta,
- b – generator electric,

- c – lampă cu gaz butan folosit ca sursă de căldură,
 - d – rezistor etalon,
 - e – rezistor variabil în trepte (100-1100) Ω ,
 - f – șasiu National Instruments NI cDAQ-9172,
 - g – modul NI9201,
 - h – laptop cu program software Labview pentru înregistrarea datelor,
 - i – voltmetru pentru măsurarea tensiunii,
 - j – ampermetru pentru măsurarea curentului ,
 - k – turometru laser Voltcraft DT-10L pentru măsurarea turației motorului
 - l – multimetru cu sondă de temperatură tip K-până la 1000°C pentru măsurarea temperaturii pe miezul de fier,
 - m – multimetru cu sondă de temperatură tip K poziționată în partea rece,
 - n – multimetru cu sondă de temperatură tip K (1000°C) pentru măsurarea temperaturii în partea inferioară a motorului,
 - o – termometru SKF laser,
 - p – termometru digital cu senzor interior și exterior pentru măsurarea temperaturii ambiante,
 - q – pâlnii izolate,
 - r – cântar de precizie pentru măsurarea masei de gaz consumate.
- S-au efectuat următoarele variante de determinări experimentale: fără pâlnie; cu pâlnie de cupru; cu pâlnie de fier; cu pâlnie de aluminiu.



Figura 6.4. Imagine de ansamblu a instalației experimentale de laborator cu motor Stirling tip beta

În tabelul 6.1. sunt prezentate valorile tensiunii la mers în gol și a curentului de scurtcircuit pentru generatorul electric pentru câteva valori ale turației. Din cele două mărimi se determină rezistența internă R_i a generatorului electric. Valoarea medie a rezistenței interne este 56,97 Ω . Abaterea maximă față de valoarea medie a rezistenței interne din tabelul 6.7 este -5,39% și s-a obținut pentru turația de 1247 rpm, iar abaterea minimă este de 1,05% și s-a obținut pentru turația de 992 rpm.

Tabelul 6.1. I_{sc} și U_{gol}

n [rpm]	U_{gol} [V]	I_{sc} [mA]	R_i [Ω]
878	2,97	54,1	54,90
992	3,14	55,7	56,37
1059	3,24	57,9	55,96
1247	3,29	54,8	60,04
1268	3,34	58,0	57,59

S-a determinat timpul necesar pentru ca motorul să pornească, astfel, folosind ca sursă caldă lampa cu gaz și știind că temperatura mediului ambiant este 28°C, motorul pornește după circa 60 secunde, moment în care temperatura ajunge la 180°C.

În tabelul 6.2. sunt prezentate valorile tensiunii (U), curentului (I) și puterii generatorului (P), temperaturii zonei calde (T_1) și zonei reci (T_2) a motorului Stirling, turației (n) a motorului Stirling la anumite valori de timp și rezistența de sarcină. Se observă din tabelul 6.2, că la $t=60s$ temperatura zonei calde a motorului Stirling are valoarea 180°C, deci sunt îndeplinite condițiile necesare pentru pornirea motorului Stirling. În primele 60 secunde după ce motorul a pornit, încălzirea este mai rapidă, apoi temperatura crește mult mai încet.

Tabel 6.2. Rezultate experimentale încălzire motor Stirling tip beta

t [s]	R [Ω]	n [rpm]	T_1 [C]	T_2 [C]	U [V]	I [mA]	P [mW]
60	1100	232	180	36	3,76	4,91	18,4616
120	1000	270	234	40	4,45	5,52	24,564
180	900	281	236	43	4,58	6,35	29,083
240	800	296	236	45	4,76	7,77	36,9852
300	700	291	237	48	4,69	8,39	39,3491
360	600	283	238	50	4,42	9,49	41,9458
420	500	273	238	52	4,38	11,98	52,4724
480	400	241	239	54	3,89	12,58	48,9362
540	300	225	241	55	3,42	15,58	53,2836
600	200	189	242	57	2,81	15,17	42,6277

6.4.1.1. Motor Stirling tip beta fără pâlnie

În tabelul 6.3., sunt prezentate valorile tensiunii (U), curentului (I) și puterii generatorului (P), temperatura flăcării de gaz – pe partea din fier a motorului (T_1), temperaturii zonei calde (T_2) și zonei reci (T_3) a motorului Stirling, turației (n) a motorului Stirling la anumite valori pentru timp și rezistența de sarcină, în cazul motorului fără pâlnie.

În figura 6.5 se prezintă dependența tensiunii la bornele generatorului electric funcție de timp, modificând valoarea rezistenței de sarcină, în trepte de 100 Ω , de la 1100 Ω la 100 Ω .

În figura 6.6 se prezintă dependența curentului de sarcină a generatorului electric funcție de timp, modificând valoarea rezistenței de sarcină, în trepte de 100 Ω , de la 1100 Ω la 100 Ω .

În figura 6.7 se prezintă dependența puterii generatorului electric funcție de rezistența de sarcină, modificând valoarea rezistenței de sarcină, în trepte de 100 Ω , de la 100 Ω la 1100 Ω .

Tabel 6.3. Rezultate experimentale motor Stirling tip beta fără pâlnie

Nr. crt	$P_{\text{sursă}}$ [W]	R [Ω]	n_{medie} [rpm]	$T_{1\text{medie}}$ [$^{\circ}\text{C}$]	$T_{2\text{medie}}$ [$^{\circ}\text{C}$]	$T_{3\text{medie}}$ [$^{\circ}\text{C}$]	U_{mediu} [V]	I_{mediu} [mA]	$P_{\text{medie debitată}}$ [mW]	P_{max} [mW]	η
1	526	1100	450,70	184,40	61,10	30,80	9,21	8,47	78,01	80,324	0,3062
2	526	1000	547,89	244,67	76,11	36,56	11,19	11,37	127,18	90,3	0,3388
3	526	900	425,88	208,25	63,38	29,88	8,66	9,68	83,81	88,605	0,3398
4	526	800	497,88	239,75	72,38	34,00	10,14	12,75	129,24	103,398	0,3431
5	526	700	542,75	273,63	81,38	37,75	10,96	15,74	172,52	115,2	0,3444
6	526	600	395,71	224,71	66,14	30,14	7,97	13,34	106,29	113,988	0,3444
7	526	500	449,71	260,86	76,57	34,43	9,05	17,47	158,17	128,961	0,3474
8	526	400	373,71	231,14	67,86	30,14	7,39	17,89	132,23	140,998	0,3481
9	526	300	334,57	231,86	68,00	30,29	6,54	20,91	136,75	143,226	0,3463
10	526	200	291,14	234,29	69,00	30,43	5,61	24,71	138,54	143,64	0,3466
11	526	100	613,50	235,86	69,43	30,00	1,40	12,56	17,56	123,975	0,3494

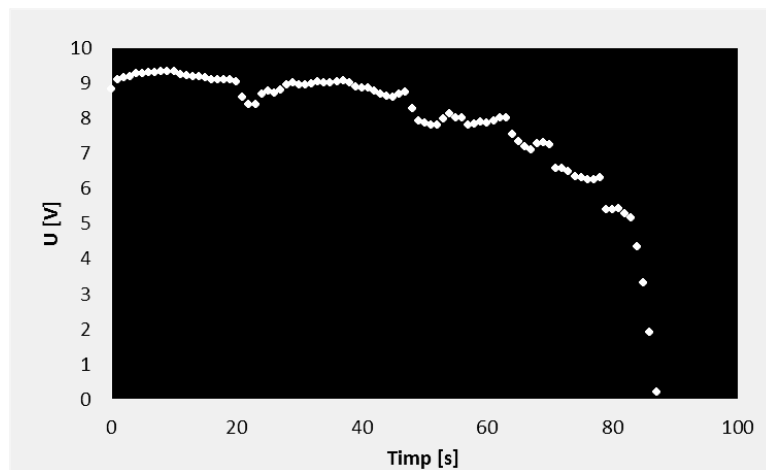


Figura 6.5. Evoluția tensiunii în raport cu timpul

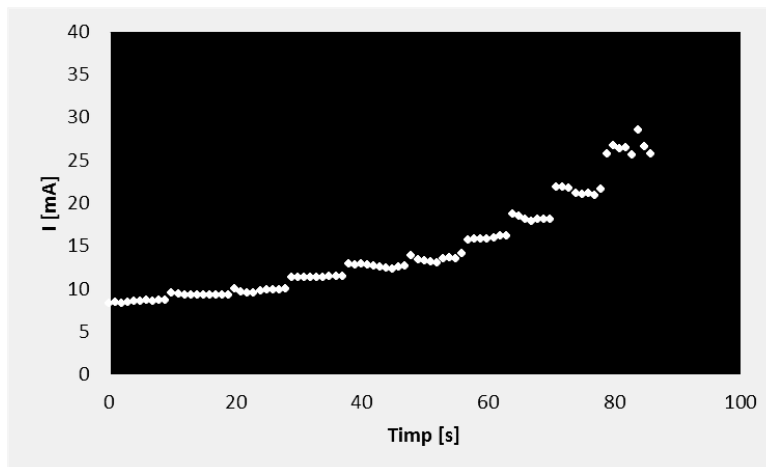


Figura 6.6. Evoluția curentului în raport cu timpul

În figura 6.8 se prezintă dependența temperaturii pe partea din fier a motorului Stirling (T_1), a temperaturii zonei calde (T_2) și a temperaturii zonei reci (T_3) a motorului Stirling funcție de timp. Din această diagramă se constată că temperatura zonei reci și a zonei calde a motorului Stirling are o variație scăzută în timp, iar temperatura flăcării de gaz, în același interval de timp, crește de la 180°C la 238°C. Deci temperatura flăcării de gaz crește cu 32,2%. Datele experimentale se regăsesc detaliat în Anexa 5.

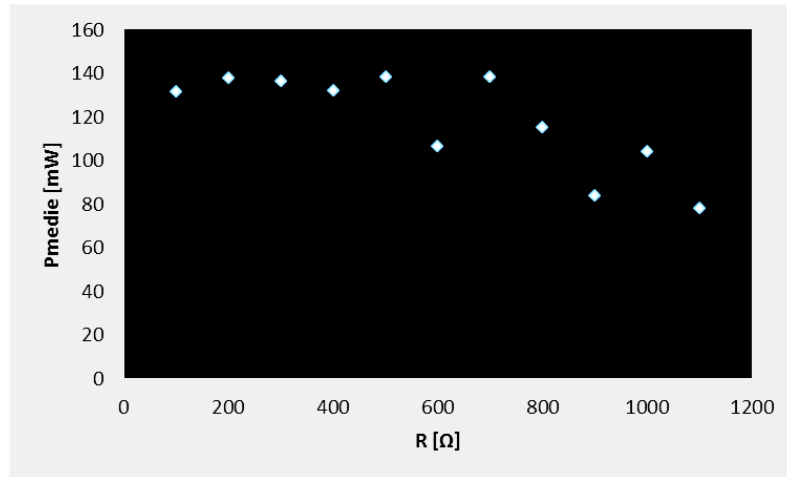


Figura 6.7. Puterea în raport cu rezistența

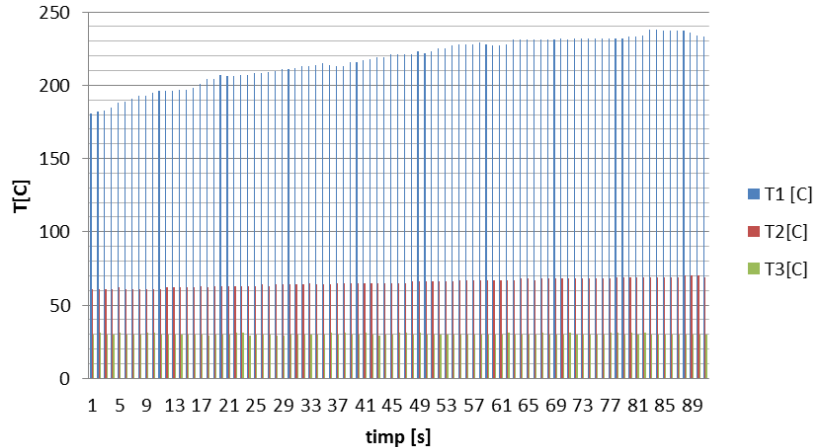


Figura 6.8. Temperaturile în focar

- T1, pe partea caldă – T2 și partea rece – T3 a motorului Stirling, caz fără pâlnie

6.4.1.2. Ansamblu motor Stirling și pâlnie de cupru

În tabelul 6.4., sunt prezentate valorile tensiunii (U), curentului (I) și puterii generatorului (P), temperaturii zonei calde (T_1) și zonei reci (T_2) a motorului Stirling, turației (n) a motorului Stirling la anumite valori pentru timp și rezistența de sarcină, în cazul motorului Stirling tip beta și pâlnie de cupru. Datele experimentale se regăsesc detaliat în Anexa 6.

Tabel 6.4. Date experimentale motor Stirling tip beta cu pâlnie de cupru

Nr.crt	$P_{\text{sursă}}$ [W]	R [Ω]	n_{medie} [rpm]	$T_{1\text{medie}}$ [C]	$T_{2\text{medie}}$ [C]	$T_{3\text{medie}}$ [C]	U_{mediu} [V]	I_{mediu} [mA]	$P_{\text{medie Debitată}}$ [mW]	P_{max} [mW]	η
1	526	1100	458,78	353,89	147,33	47,44	9,40	8,78	82,54	92,06	0,3458
2	526	1000	471,13	363,63	143,00	47,88	9,59	9,53	91,34	91,68	0,3479
3	526	900	473,55	372,82	137,64	48,55	9,51	10,35	98,41	105,05	0,3478
4	526	800	458,30	382,00	132,10	49,40	9,26	11,73	108,64	123,56	0,3480
5	526	700	468,70	389,70	127,70	50,00	9,36	13,84	129,47	142,44	0,3494
6	526	600	469,25	395,75	128,38	50,88	9,28	15,83	146,86	165,98	0,3481
7	526	500	431,63	400,75	114,50	51,50	8,46	16,98	143,57	160,56	0,3487
8	526	400	407,08	406,33	111,50	52,50	8,06	20,47	165,01	199,19	0,3485
9	526	300	375,73	412,00	109,91	53,55	7,18	24,43	175,34	213,51	0,3480
10	526	200	314,56	416,44	106,00	54,44	5,76	29,31	168,90	180,54	0,3480
11	526	100	184,86	421,14	106,57	55,00	2,69	25,90	69,63	133,22	0,3475

În figura 6.9 se prezintă dependența tensiunii la bornele generatorului electric funcție de timp, modificând valoarea rezistenței de sarcină, în trepte de 100 Ω , de la 1100 Ω la 100 Ω .

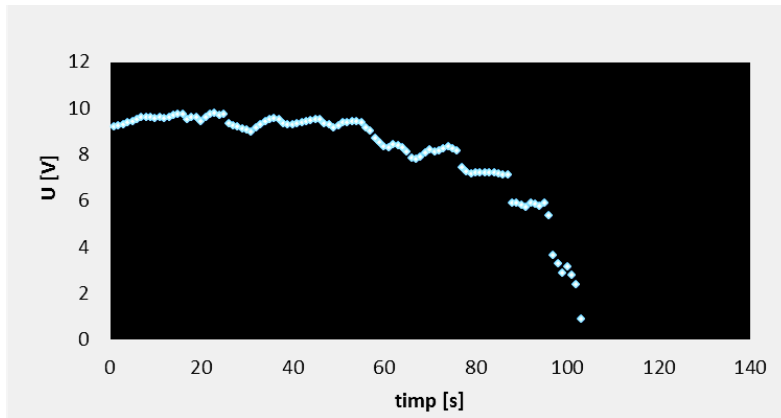


Figura 6.9. Tensiunea în raport cu timpul, caz pâlnie cupru

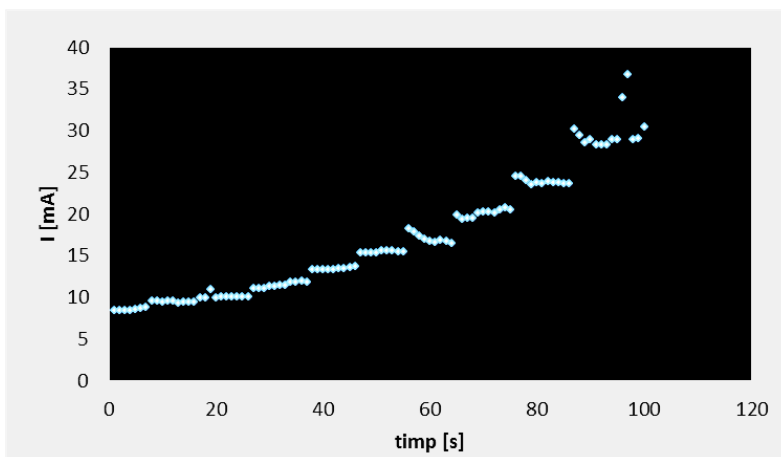


Figura 6.10. Evoluția curentului în raport cu timpul, caz pâlnie cupru

În figura 6.10 se prezintă dependența curentului de sarcină a generatorului electric funcție de timp, modificând valoarea rezistenței de sarcină, în trepte de 100Ω , de la 1100Ω la 100Ω .

În figura 6.11 se prezintă dependența puterii generatorului electric funcție de rezistența de sarcină, modificând valoarea rezistenței de sarcină, în trepte de 100Ω , de la 100Ω la 1100Ω .

În figura 6.12 se prezintă dependența temperaturii în focar (T_1), a temperaturii zonei calde (T_2) și a temperaturii zonei reci (T_3) motorului Stirling funcție de timp. Din această diagramă se constată că temperatura zonei reci a motorului Stirling are o variație scăzută în timp, iar temperatura zonei calde a motorului Stirling scade de la valoarea de 147°C până la valoarea de 108°C . În schimb temperatura flăcării crește de la valoare 347°C la 423°C . Deci temperatura flăcării de gaz crește cu 21,9%.

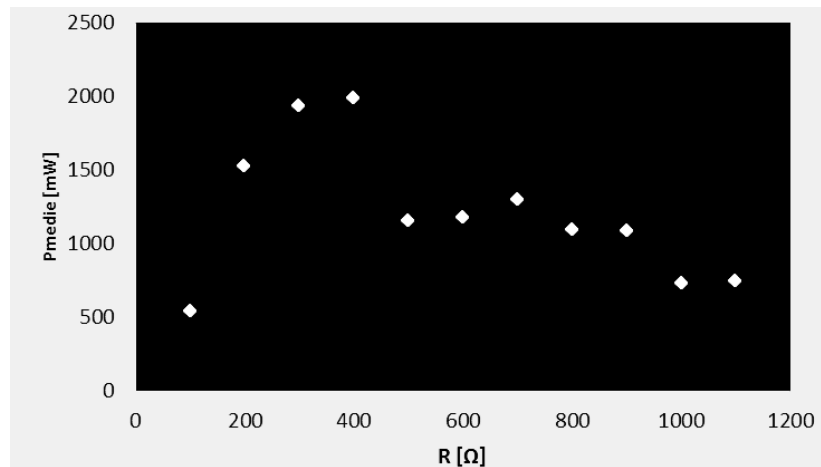


Figura 6.11. Puterea sistemului, caz pânle cupru

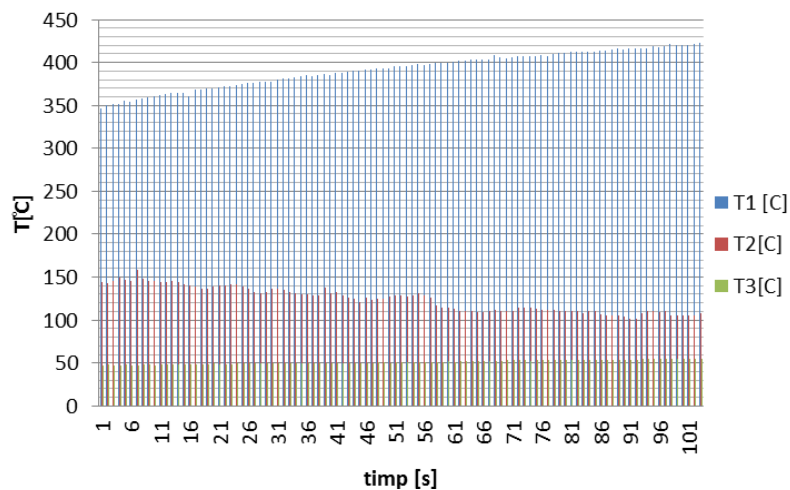


Figura 6.12. Temperaturile în focar

- T1, pe partea caldă - T2 și partea rece - T3 a motorului Stirling, caz pânle cupru

6.4.1.3. Ansamblu motor Stirling și pâlnie de fier

În tabelul 6.5., sunt prezentate valorile tensiunii (U), curentului (I) și puterii generatorului (P), temperaturii zonei calde (T_1) și zonei reci (T_2) a motorului Stirling, turației (n) a motorului Stirling la anumite valori pentru timp și rezistența de sarcină, în cazul motorului Stirling tip beta și pâlnie din fier. Datele experimentale în extenso se regăsesc prezentate detaliat în Anexa 7.

În figura 6.13 se prezintă dependența tensiunii la bornele generatorului electric funcție de timp, modificând valoarea rezistenței de sarcină, în trepte de 100Ω , de la 1100Ω la 100Ω .

În figura 6.14 se prezintă dependența curentului de sarcină a generatorului electric funcție de timp, modificând valoarea rezistenței de sarcină, în trepte de 100Ω , de la 1100Ω la 100Ω .

În figura 6.15 se prezintă dependența puterii generatorului electric funcție de rezistența de sarcină, modificând valoarea rezistenței de sarcină, în trepte de 100Ω , de la 100Ω la 1100Ω .

Tabel 6.5. Date experimentale motor Stirling tip beta cu pâlnie fier

Nr. crt.	$P_{sursă}$ [W]	R [Ω]	n_{medie} [rpm]	T_{1medie} [C]	T_{2medie} [C]	T_{3medie} [C]	U_{mediu} [V]	I_{mediu} [mA]	P_{medie} debitată [mW]	P_{max} [mW]	η
1	526	1100	492,08	307,08	156,15	48,54	9,91	9,05	89,62	96,63	0,3860
2	526	1000	507,31	321,92	171,69	49,54	10,23	10,29	105,26	114,01	0,3846
3	526	900	524,11	333,44	184,22	50,11	10,47	11,67	122,18	124,14	0,3830
4	526	800	502,33	341,67	199,89	50,78	10,01	12,76	127,74	144,13	0,3810
5	526	700	509,00	347,50	208,13	51,75	10,10	14,43	145,75	149,50	0,3784
6	526	600	508,00	352,64	208,55	52,27	10,00	16,46	164,58	169,18	0,3750
7	526	500	472,80	358,90	223,00	53,10	9,30	18,59	172,83	176,53	0,3704
8	526	400	464,20	354,80	219,20	54,20	9,01	22,33	201,26	209,30	0,3636
9	526	300	444,33	339,56	222,11	54,89	8,48	27,73	235,12	247,00	0,3529
10	526	200	361,90	349,50	226,20	55,70	6,71	32,47	217,78	270,44	0,3333
11	526	100	244,09	339,27	226,91	56,64	4,19	38,30	160,48	238,17	0,2857

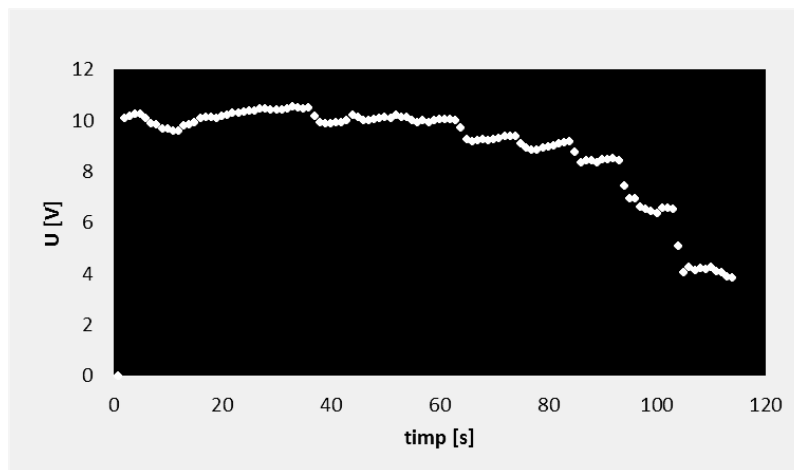


Figura 6.13. Evoluția tensiunii raportată la timp, caz pâlnie fier

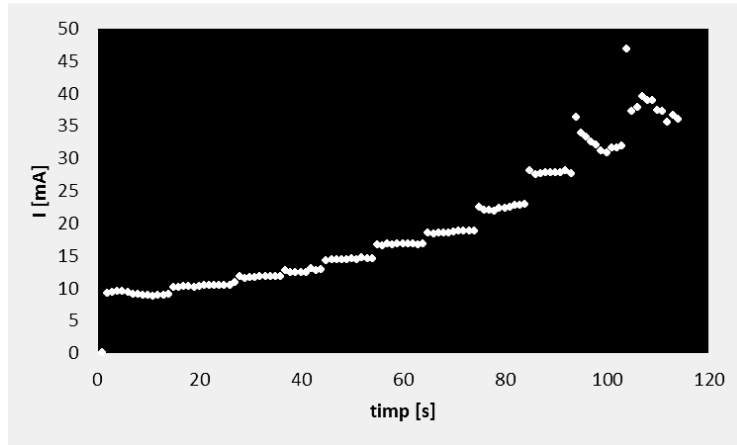


Figura 6.14. Evoluția curentului raportat la unitatea de timp, caz pâlnie fier

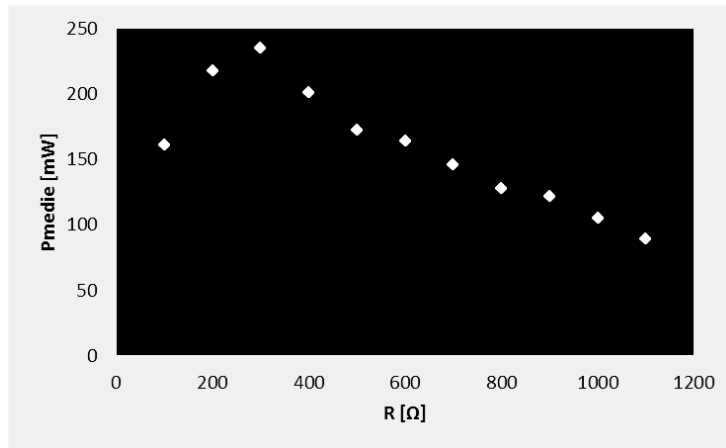


Figura 6.15. Puterea sistemului, caz pâlnie fier

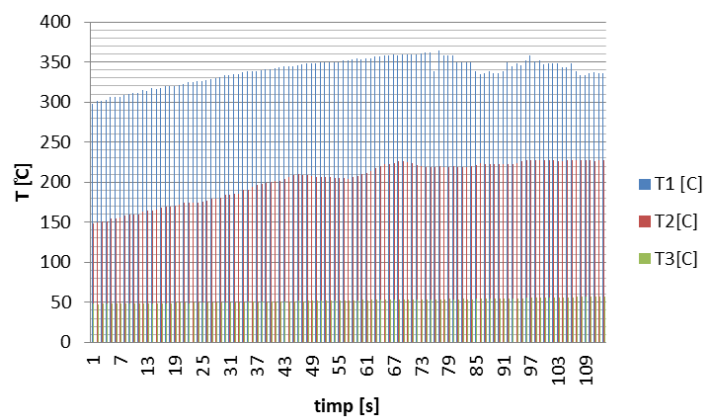


Figura 6.16. Temperaturile în focar

- T1, pe partea caldă - T2 și partea rece - T3 a motorului Stirling, caz pâlnie fier

În figura 6.16 se prezintă dependența temperaturii în focar (T_1), a temperaturii zonei calde (T_2) și a temperaturii zonei reci (T_3) motorului Stirling funcție de timp.

Din această diagramă se constată că temperatura zonei reci a motorului Stirling are o variație scăzută în timp, iar temperatura zonei calde a motorului Stirling crește de la valoarea de 148°C până la valoarea de 227°C. În schimb temperatura flăcării are valoarea minimă 298°C și valoarea maximă 360°C. Variația acesteia în timpul experimentului este de 20,8%.

6.4.1.4. Ansamblu motor Stirling și pâlnie de aluminiu

În tabelul 6.6., sunt prezentate valorile tensiunii (U), curentului (I) și puterii generatorului (P), temperaturii zonei calde (T_1) și zonei reci (T_2) a motorului Stirling, turației (n) a motorului Stirling la anumite valori pentru timp și rezistența de sarcină, în cazul motorului Stirling tip beta și pâlnie din aluminiu [***SpecAl]. Datele experimentale în extenso se regăsesc în Anexa 8.

Tabel 6.6. Date experimentale motor Stirling tip beta cu pâlnie aluminiu

Nr. crt.	$P_{\text{sursă}}$ [W]	R [Ω]	n_{medie} [rpm]	$T_{1\text{medie}}$ [C]	$T_{2\text{medie}}$ [C]	$T_{3\text{medie}}$ [C]	U_{mediu} [V]	I_{mediu} [mA]	$P_{\text{medie debitată}}$ [mW]	P_{max} [mW]	η
1	526	1100	495,14	486,00	342,29	152,71	9,95	9,13	90,87	92,552	0,3860
2	526	1000	501,45	493,18	350,36	116,55	9,98	9,97	99,53	102,01	0,3846
3	526	900	476,33	499,83	360,00	201,50	9,91	11,08	109,87	110,223	0,3830
4	526	800	491,79	506,57	366,93	194,50	9,82	12,19	119,61	134,83	0,3810
5	526	700	483,78	512,89	370,44	197,22	9,64	13,88	133,77	135,8	0,3784
6	526	600	477,70	518,00	380,80	203,90	9,44	15,81	149,21	152,163	0,3750
7	526	500	465,75	521,75	385,50	214,25	9,15	17,59	160,84	166,164	0,3704
8	526	400	441,10	578,60	390,30	219,30	8,64	20,80	179,71	200,895	0,3636
9	526	300	403,50	582,90	397,10	222,30	7,77	24,74	192,33	215,847	0,3529
10	526	200	347,82	534,09	401,18	225,91	6,37	29,95	190,70	209,934	0,3333
11	526	100	233,82	538,45	403,55	255,82	4,11	36,78	151,21	190,036	0,2857

În figura 6.17 se prezintă dependența tensiunii la bornele generatorului electric funcție de timp, modificând valoarea rezistenței de sarcină, în trepte de 100 Ω , de la 1100 Ω la 100 Ω .

În figura 6.18 se prezintă dependența curentului de sarcină a generatorului electric funcție de timp, modificând valoarea rezistenței de sarcină, în trepte de 100 Ω , de la 1100 Ω la 100 Ω .

În figura 6.19 se prezintă dependența puterii generatorului electric funcție de rezistența de sarcină, modificând valoarea rezistenței de sarcină, în trepte de 100 Ω , de la 100 Ω la 1100 Ω .

În figura 6.20 se prezintă dependența temperaturii în focar (T_1), a temperaturii zonei calde (T_2) și a temperaturii zonei reci (T_3) motorului Stirling funcție de timp. Din această diagramă se constată că temperatura zonei reci a motorului Stirling are o variație importantă în intervalul de timp (6-13)s, iar în continuare rămâne practic constantă la valoarea 220°C. Temperatura zonei calde a motorului Stirling crește de la valoarea de 339°C până la valoarea de 404°C. În schimb temperatura flăcării are valoarea minimă 483°C și valoarea maximă 540°C. Variația acesteia în timpul experimentului este de 11,8%.

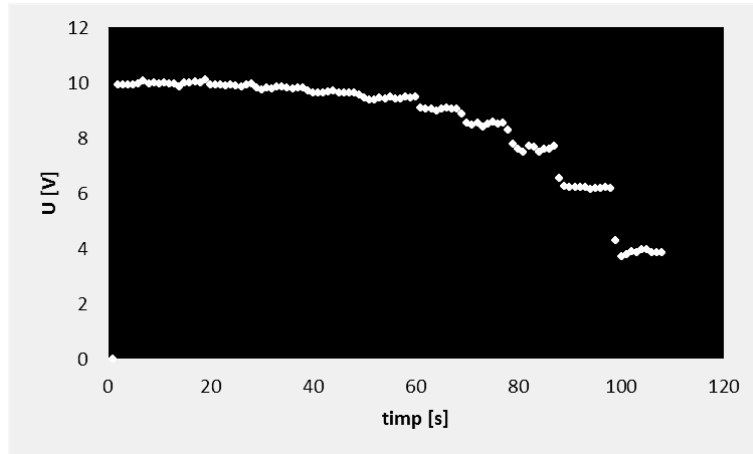


Figura 6.17. Evoluția tensiunii față de timp, caz pâlnie aluminiu

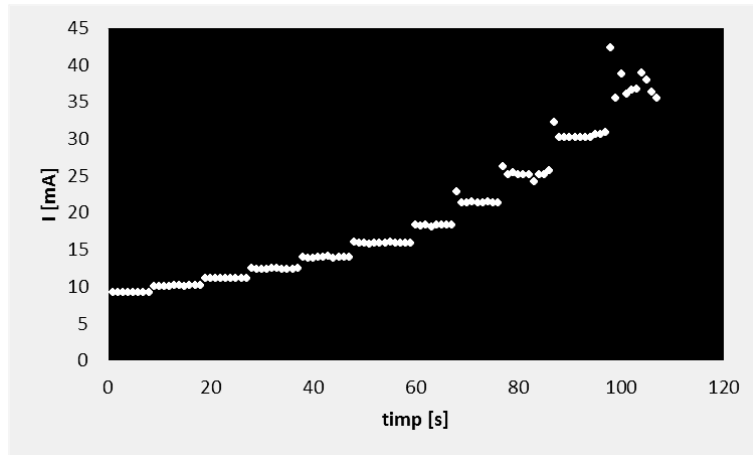


Figura 6.18. Evoluția curentului față de timp, caz pâlnie aluminiu

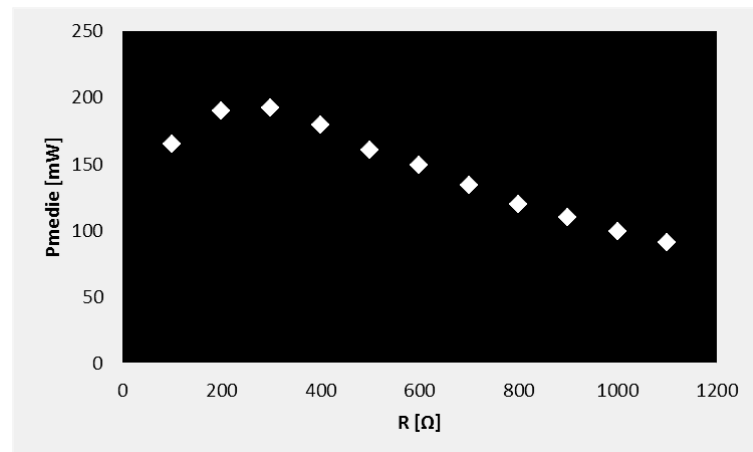


Figura 6.19. Puterea sistemului, caz pâlnie aluminiu

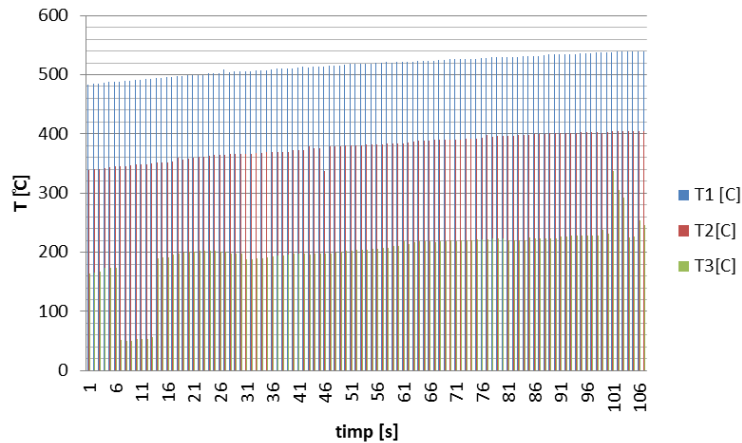


Figura 6.20. Temperaturile în focar

- T1, pe partea caldă – T2 și partea rece – T3 a motorului Stirling, caz până aluminiu

Rezultatele experimentale relevă faptul că utilizând o până (din cupru, fier, aluminiu) plasată în zona caldă a motorului Stirling se îmbunătățește transferul de căldură de la sursa de căldură (lampa de gaz) la motor.

Eficiența cea mai bună se obține atunci când până este realizată din aluminiu, caz în care temperatura zonei calde ajunge la valoarea de 404°C în timp ce dacă motorul nu este prevăzut cu până temperatura zonei calde ajunge doar la valoarea de 70°C.

Deci utilizând până din aluminiu temperatura zonei calde a motorului a crescut de 5,77 ori. Utilizând până din fier temperatura zonei calde a motorului ajunge la valoarea de 227°C.

Creșterea temperaturii zonei calde comparativ cu varianta fără până este de 3,24 ori. Utilizând până din cupru temperatura zonei calde a motorului ajunge la valoarea de 149°C. În acest caz creșterea temperaturii zonei calde comparativ cu varianta fără până este de 2,13 ori.

Deoarece până din aluminiu are grosimea dublă față de cea din fier și cea din cupru, aceasta se răcește mai greu ceea ce este favorabil pentru că la îndepărtarea sursei de căldură motorul continuă să funcționeze un interval de timp mai îndelungat față de celelalte două cazuri, până ce se revine cu sursa caldă.

Pentru generatorul electric utilizat împreună cu motorul Stirling tip beta se prezintă dependența tensiunii la borne funcție de rezistența de sarcină în figura 6.21, iar randamentul acestuia funcție de rezistența de sarcină în figura 6.22.

Comparând figurile 6.5, 6.9, 6.13, 6.17 cu figura 6.21 se constată o diferență importantă. Această diferență este justificabilă deoarece în figura 6.21 s-a considerat tensiunea electromotoare a generatorului constantă în timp, iar pe durată măsurărilor această mărime nu este constantă în timp deoarece turația rotorului generatorului pe durată măsurărilor nu a fost constantă.

În cazul motorului Stirling fără până turația a variat între 291 și 613 rot/minut, la cel cu până din cupru turația a variat între 185 și 474 rot/minut, la cel cu până din fier turația a variat între 244 și 524 rot/minut, iar la cel cu până din aluminiu turația a variat între 234 și 501 rot/minut.

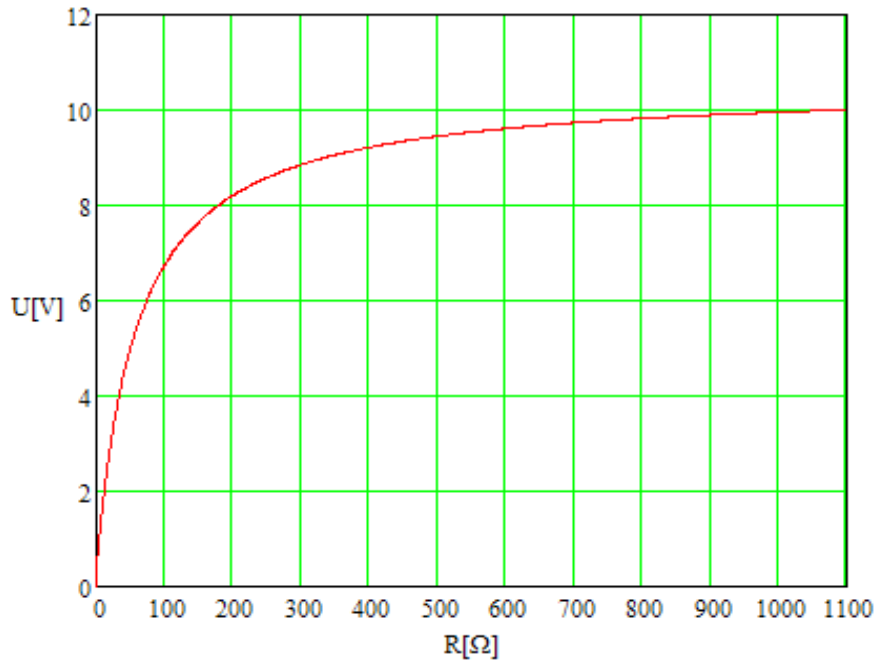


Figura 6.21. Dependența tensiunii la bornele generatorului funcție de rezistența de sarcină

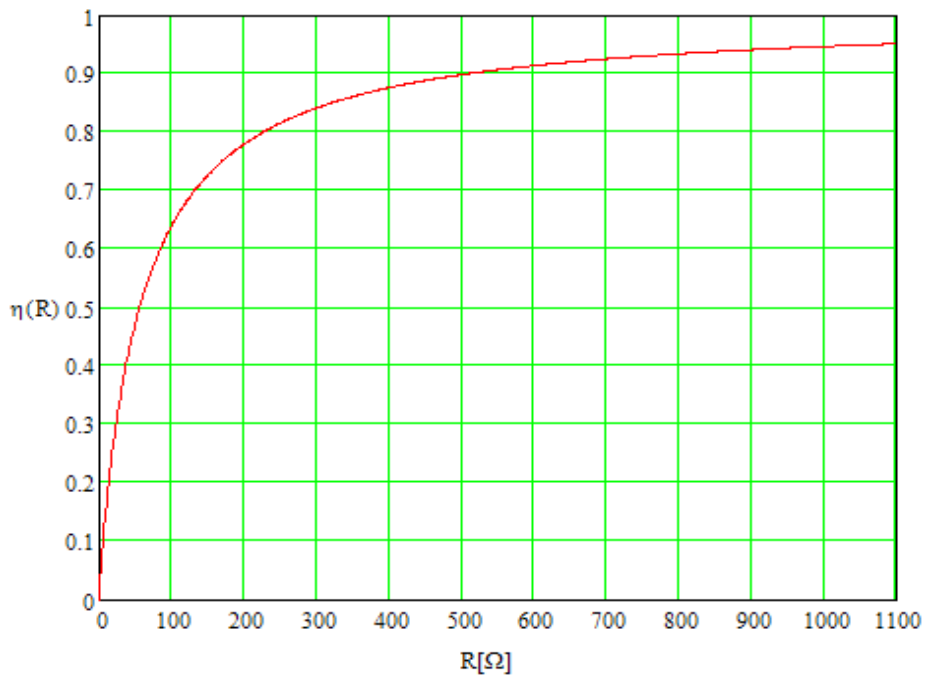


Figura 6.22. Dependența randamentului generatorului funcție de rezistența de sarcină

6.4.2. Determinări experimentale cu motor Stirling de tip gamma

În figura 6.23. se poate vedea imaginea de ansamblu a modelului experimental cu motor Stirling de tip gamma și a aparatelor folosite pentru măsurători. Notațiile de pe figură au următoarele semnificații:

- a - motor Stirling tip gamma,
- b - generator electric 12V DC,
- c - voltmetru pentru măsurarea tensiunii,
- d - ampermetru pentru măsurarea curentului ,
- e - rezistor variabil în trepte între 100-1100 Ω ,
- f - termocuplu Ni-Cr-Ni pentru citirea temperaturilor în partea caldă,
- g - termocuplu Ni-Cr-Ni pentru citirea temperaturilor în partea rece,
- h - aparat citire temperaturi T1-T4 și T_{min} - T_{max} ,
- i - tahometru laser Voltcraft DT-10L pentru măsurarea turației motorului,
- j - lampa cu gaz butan folosit ca sursă de căldură,
- k - pânză izolată pentru minimizarea pierderilor de căldură și direcționarea către motor,
- l - plăcuță metalică de protecție pentru oprirea flăcării să nu ajungă direct pe senzorul de temperatură în partea caldă,
- m - termometru cu infraroșu DT-380,
- n - cântar de precizie pentru măsurarea masei de gaz consumate.

La fel ca în cazul motorului Stirling tip beta, s-a determinat timpul necesar pentru ca motorul să pornească. S-a constatat că motorul Stirling pornește după circa 60 secunde, timp în care temperatura zonei calde ajunge la 190°C.

În tabelul 6.7. sunt prezentate valorile tensiunii la mers în gol și ale curentului de scurtcircuit pentru diferite valori ale turației. Din cele două mărimi se determină valoarea rezistenței interne R_i a generatorului electric. Valoarea medie a rezistenței interne a generatorului electric este 27,23 Ω . Abaterea maximă față de valoarea medie a rezistenței interne din tabelul 6.7 este -11,49% și s-a obținut pentru turația de 600rpm, iar abaterea minimă este de 0,33% și s-a obținut pentru turația de 400rpm.

Temperatura mediului ambiant este $T_{amb} = 21^\circ\text{C}$. Cantitatea de gaz consumată este cea de la punctul 6.2 iar rezistența internă măsurată este 27.23 Ω .

Tabelul 6.7. I_{sc} și U_{gol}

n [rpm]	U_{gol} [V]	I_{sc} [mA]	R_i [Ω]
250	1,89	74	25,54
300	2,41	94,7	25,45
350	2,77	112	24,73
400	3,42	126	27,14
450	3,60	131,2	27,44
500	3,85	147	26,19
550	4,27	162	26,36
600	5,10	168	30,36
650	5,56	187	29,73
700	5,69	194	29,33

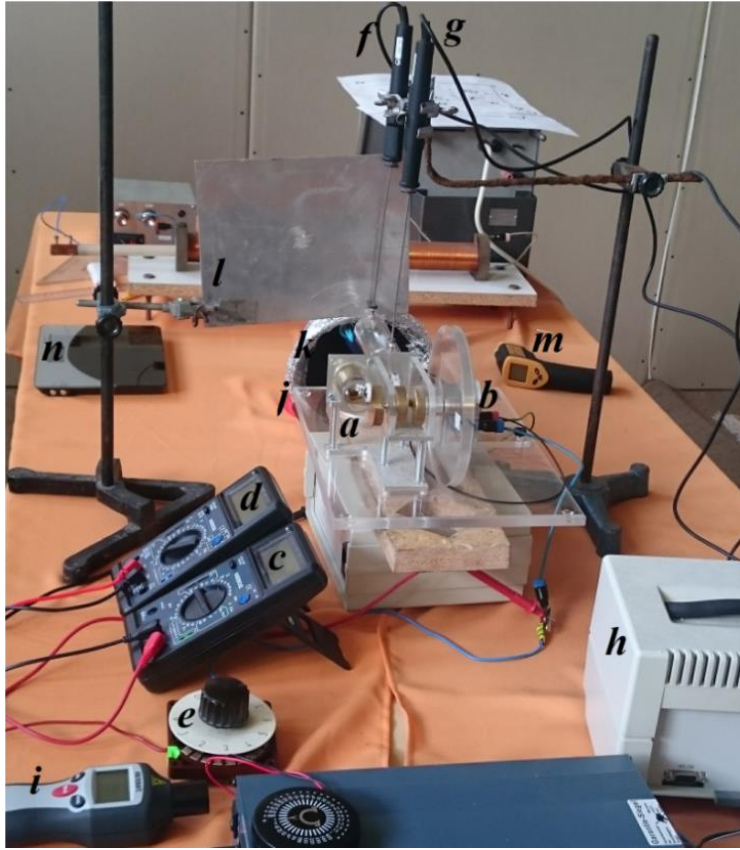


Figura 6.23. Imagine de ansamblu a instalației experimentale de laborator cu motor Stirling tip gamma

În tabelul 6.8. sunt prezentate date experimentale din data de 31 mai 2016. Temperatura mediului ambiant T_{amb} este 21°C . Cantitatea de gaz consumată este cea de la punctul 6.2 iar rezistența internă măsurată este 27.23Ω .

În tabelul 6.9. sunt prezentate date experimentale cu același motor Stirling tip gamma, dar momentul $t=0$ este după cele 190s, timp în care motorul a pornit. Datele sunt citite la fiecare 30s, modificând valoarea rezistenței de sarcină, în trepte de 100Ω , de la 100Ω la 1100Ω .

În figura 6.24 se prezintă dependența tensiunii la bornele generatorului electric funcție de timp, modificând valoarea rezistenței de sarcină, în trepte de 100Ω , de la 1100Ω la zero.

În figura 6.25 se prezintă dependența curentului de sarcină a generatorului electric funcție de timp, modificând valoarea rezistenței de sarcină, în trepte de 100Ω , de la 1100Ω la zero.

În figura 6.26 se prezintă dependența temperaturii zonei calde (T_1), a temperaturii zonei reci (T_2) motorului Stirling tip gamma funcție de timp. Din această diagramă se constată că temperatura zonei reci a motorului Stirling este practic constantă având valoarea 50°C , iar temperatura zonei calde a motorului Stirling crește de la valoarea de 190°C până la valoarea de $219,7^{\circ}\text{C}$. Variația temperaturii zonei calde este de $15,63\%$.

Tabelul 6.8. Date experimentale în condiții de laborator, încălzire motor Stirling tip gamma la data de 31Mai 2016

Nr. crt.	t [s]	$P_{sursă}$ [W]	R [Ω]	n [rpm]	T_1 [C]	T_2 [C]	U [V]	I [mA]	P_{medie} [mW]	η
1	60	526	1100	468	226	37	4,1	3,63	14,883	0,3345
2	120	526	1000	494	216	39,3	4,4	4,25	18,7	0,3272
3	180	526	900	525	211	43	4,08	4,38	17,8704	0,3184
4	240	526	800	462	217	45,8	3,07	4,5	13,815	0,3155
5	300	526	700	504	215	46,9	4,06	5,71	23,1826	0,3127
6	360	526	600	547	219,7	49,3	3,53	5,73	20,2269	0,3102
7	420	526	500	579	212	50,1	4,59	9	41,31	0,3054
8	480	526	400	450	210	50,9	3,63	8,9	32,307	0,3030
9	540	526	300	466	218	51,5	3,27	10,93	35,7411	0,3055
10	600	526	200	448	211,9	54,6	3,91	11,3	44,183	0,2969
11	660	526	100	369	210	52,9	2,59	25,4	65,786	0,2992

Tabelul 6.9. Date experimentale în condiții de laborator, motor Stirling tip gamma, timp t=0 după 190s

Nr. crt.	t [s]	$P_{sursă}$ [W]	R [Ω]	n [rpm]	T_1 [C]	T_2 [C]	U [V]	I [mA]	P_{medie} [mW]	η
1	0	526	1100	349	193	49	2,92	2,7	7,884	0,2984
2	30	526	1000	385	202	49	2,98	2,99	8,9102	0,3029
3	60	526	900	356	204	48,9	2,79	3,12	8,7048	0,3041
4	90	526	800	308	206	48,9	2,89	3,21	9,2769	0,3050
5	120	526	700	385	206,2	48,9	2,99	3,89	11,6311	0,3051
6	150	526	600	492	206,1	48,5	3,29	6,08	20,0032	0,3058
7	180	526	500	445	205,7	48,5	3,39	6,73	22,8147	0,3056
8	210	526	400	368	204,8	48,6	2,78	6,89	19,1542	0,3050
9	240	526	300	326	205	48,6	2,36	7,81	18,4316	0,3051
10	270	526	200	313	204,3	48,8	2,28	11,25	25,65	0,3044
11	300	526	100	281	204	48,8	1,69	17,29	29,2201	0,3043

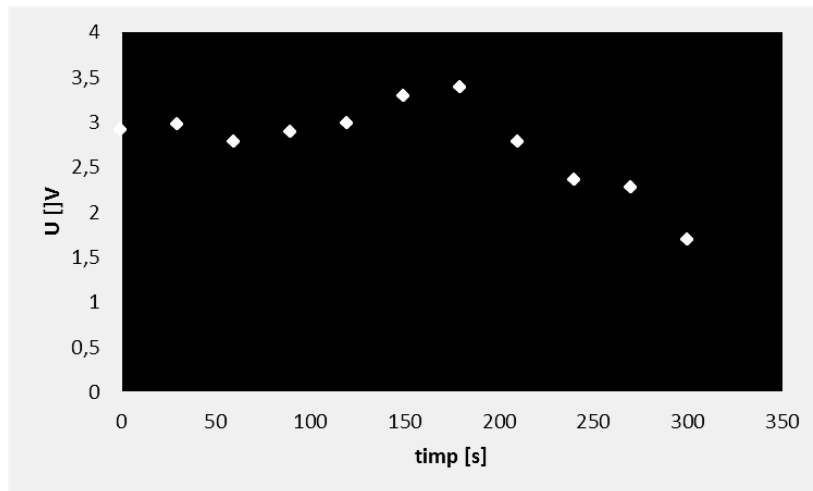


Figura 6.24. Evoluția tensiunii funcție de timp, motor Stirling tip gamma

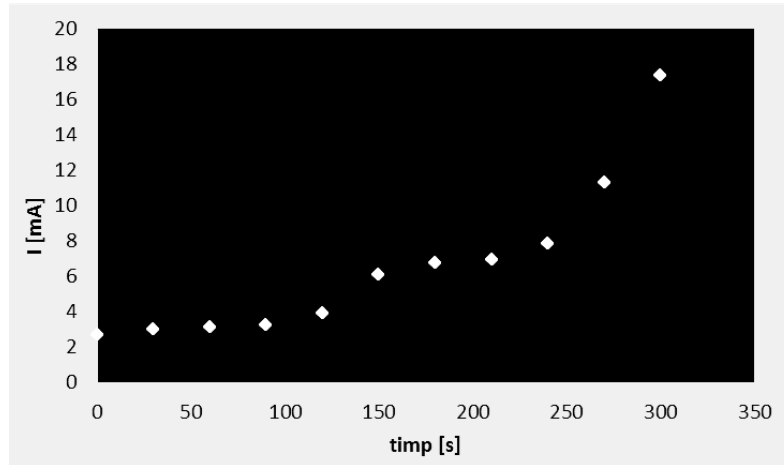


Figura 6.25. Evoluția curentului față de timp, motor Stirling tip gamma

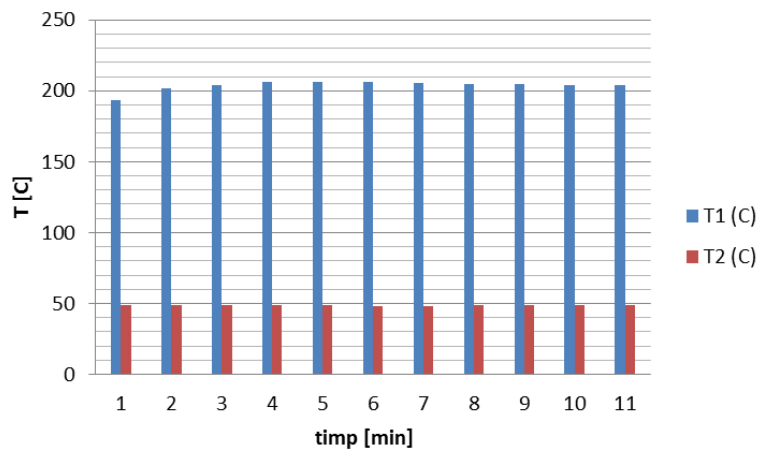


Figura 6.26. Temperaturile în zona caldă - T1, zona rece - T2 a motorului Stirling tip gamma

6.5. Determinări experimentale în condiții reale (prototip 3)

În figura 6.27. este prezentată o vedere de ansamblu modelului experimental de centrală termoelectrică solară cu lentilă Fresnel și motor Stirling tip beta (prototip 3) și aparatele de măsură folosite în determinările experimentale.

Notațiile din figură au următoarea semnificație:

- a - lentilă Fresnel,
- b - motor Stirling tip beta,
- c - generator electric,
- d - cadru suport lentilă,
- e - cadru suport inferior,
- f - actuatoare ,
- g- anemometru pentru măsurarea vitezei vântului,

h – piranometru,
 i – modul de comandă și control actuator,
 j – pâlnii izolate,
 k – discuri,
 l – voltmetru,
 m - ampermetru,
 o – modul National Instruments pentru achiziție date,
 p – rezistor etalon,
 q - rezistor variabil în trepte (100-1100 Ω),
 r - laptop cu software LabView,
 s – multimetru cu sondă temperatură (zona caldă),
 t – multimetru cu sondă de temperatură (zona rece),
 u – multimetru cu sondă de temperatură (focar),
 v – termometru laser,
 w – tahometru.

În figura 6.27 se observă instalația experimentală, dar fără izolația de poliester și izolația de fibră de ceramică care au fost prezentate la descrierea prototipului 1, pentru a se putea vedea interiorul instalației.

6.5.1. Motor Stirling fără pâlnie

În tabelul 6.10., sunt prezentate valorile tensiunii (U), curentului (I) și puterii generatorului (P), temperaturii focarului lentilei Fresnel (T_1) temperaturii zonei calde (T_2) și zonei reci (T_3) a motorului Stirling, turației (n) a motorului Stirling la anumite valori pentru timp și rezistența de sarcină, în cazul motorului fără pâlnie. Datele experimentale în extenso se regăsesc în Anexa 9.

În figura 6.28 se prezintă dependența tensiunii generatorului electric în timp, la diferite rezistențe de sarcină, modificând valoarea rezistenței de sarcină, în trepte de 100 Ω , de la 100 Ω la 1100 Ω . Viteza vântului variază între 14,6- 18,2 km/h.

Temperatura mediului ambiant $T_{amb}=36^\circ\text{C}$, viteza vântului variabil între 12,6 și 14,2 km/h. Instalația de centrală termo-solară cu lentilă Fresnel și motor Stirling a fost amplasată pe acoperișul Universității Politehnica Timișoara, corpul C.

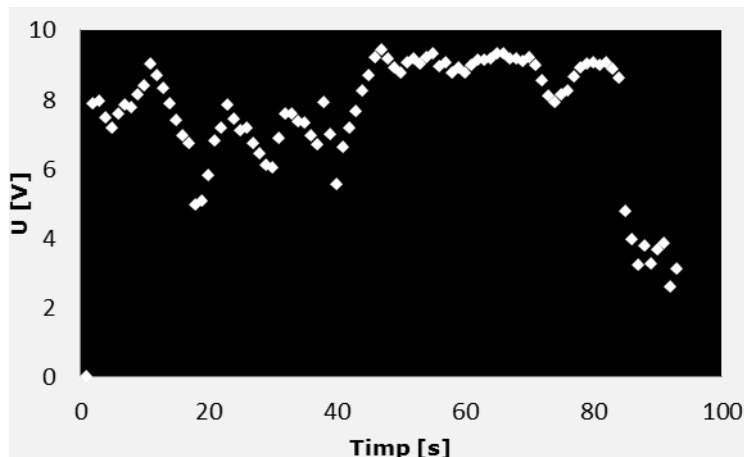


Figura 6.28. Evoluția tensiunii funcție de timp, motor Stirling tip beta fără pâlnie



Figura 6.27. Imagine de ansamblu a instalației experimentale pilot (prototip 3)

Tabelul 6.10 Rezultate experimentale în condiții reale, motor Stirling fără pâlnie

Nr. crt.	Rad. Solară medie [W/m ²]	R [Ω]	n [rpm]	T ₁ medie [C]	T ₂ medie [C]	T ₃ medie [C]	U _{mediu} [V]	I _{mediu} [A]	P _{medie} [W]	P _{max} [W]	η
1	848	1100	344	293	87,88	30,31	7,8262	0,0068	0,0530	0,1206	0,3586
2	848	1000	318	267	93,14	30,86	6,4376	0,0068	0,0445	0,0991	0,3538
3	850	900	318	267	95,71	31,29	6,9863	0,0039	0,0268	0,0924	0,3531
4	854	700	591	540	106,33	31,00	8,2422	0,0114	0,0945	0,1793	0,3770
5	853	500	327	276	122,35	31,41	9,0923	0,0173	0,1574	0,2468	0,3545
6	851	300	541	490	135,17	30,75	8,6276	0,0268	0,2314	0,3105	0,3749
7	851	100	404	353	132,55	30,73	4,5223	0,0321	0,1447	0,3346	0,3651

În figura 6.29 se prezintă dependența temperaturii în focar (T_1), a temperaturii zonei calde (T_2) și a temperaturii zonei reci (T_3) motorului Stirling funcție de timp. Din această diagramă se constată că temperatura în focar (pe motorul Stirling) are o variație importantă în intervalul de timp (35-57)s și intervalul (70-85)s.

Temperatura în focar crește de la valoarea de 300°C până la valoarea de 624°C. În schimb temperatura T_1 are valoarea minimă 197°C și valoarea maximă 624°C.

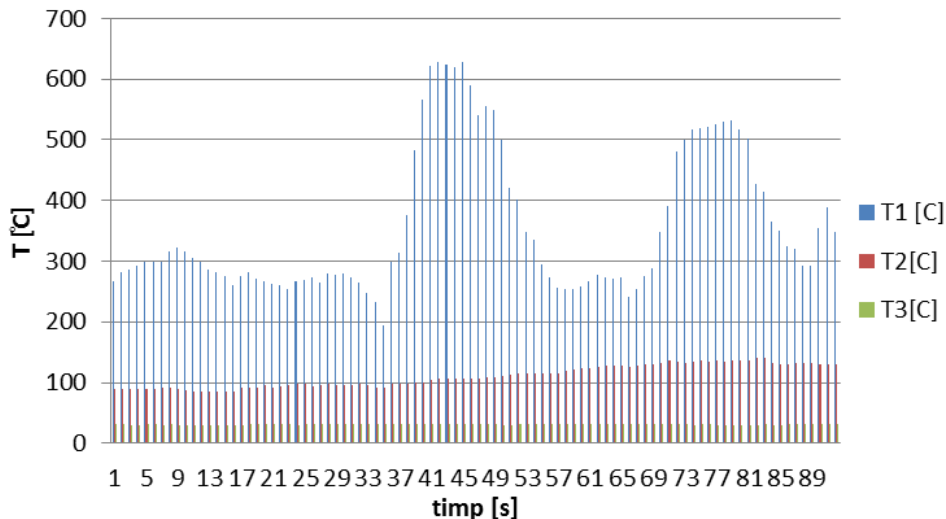


Figura 6.29. Temperaturile în focar
- T_1 , pe partea caldă - T_2 și partea rece - T_3 a motorului Stirling tip beta fără pâlnie

6.5.2. Ansamblu motor Stirling cu pâlnie de cupru

În tabelul 6.11, sunt prezentate valorile tensiunii (U), curentului (I) și puterii generatorului (P), temperaturii focarului lentilei Fresnel (T_1) temperaturii zonei calde (T_2) și zonei reci (T_3) a motorului Stirling, turației (n) a motorului Stirling la anumite valori pentru timp și rezistența de sarcină, în cazul motorului cu pâlnie din cupru. Viteza vântului variază între 13,9- 14,8 km/h. Datele experimentale în extenso se regăsesc detaliate în Anexa 10.

Tabelul 6.11. Rezultate experimentale în condiții reale, motor Stirling cu pâlnie din cupru

Nr. crt.	Rad. Solara medie [W/m^2]	R [Ω]	n [rpm]	T_{1medie} [C]	T_{2medie} [C]	T_{3medie} [C]	U_{mediu} [V]	I_{mediu} [A]	P_{medie} [W]	P_{max} [W]	η
1	850	1100	402	323,30	205,45	70,90	10,1952	0,0095	0,0965	0,1757	0,3120
2	850	900	416	336,50	206,67	75,17	9,5022	0,0095	0,0901	0,1298	0,3108
3	850	700	398	320,56	209,19	94,25	8,4374	0,0118	0,0999	0,1657	0,2823
4	851	500	388	322,75	209,96	91,83	6,7519	0,0112	0,0757	0,1116	0,2862
5	852	300	389	322,44	210,89	93,22	5,0984	0,0136	0,0700	0,1323	0,2842
6	852	200	327	263,30	208,30	95,00	1,8605	0,0088	0,0263	0,0824	0,2555

În figura 6.30 se prezintă dependența tensiunii generatorului electric în timp, la diferite rezistențe de sarcină, modificând valoarea rezistenței de sarcină, în trepte de 100Ω , de la 100Ω la 1100Ω .

În figura 6.31 se prezintă dependența temperaturii în focar (T_1), a temperaturii zonei calde (T_2) și a temperaturii zonei reci (T_3) motorului Stirling funcție de timp.

Din această diagramă se constată că temperatura în focar (pe motorul Stirling) are o variație relativ uniformă importantă în intervalul de timp. Temperatura în focar crește de la valoarea de 250°C până la valoarea de 349°C .

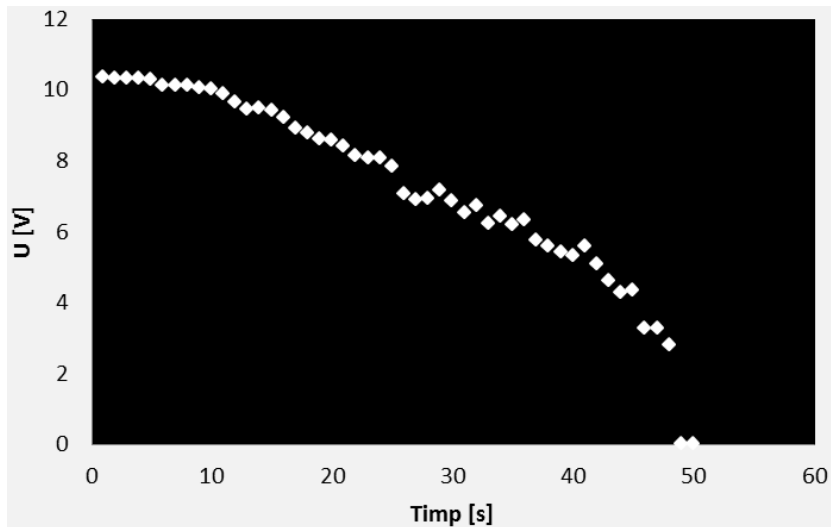


Figura 6.30. Evoluția tensiunii funcție de timp, motor Stirling tip beta cu pâlnie din cupru

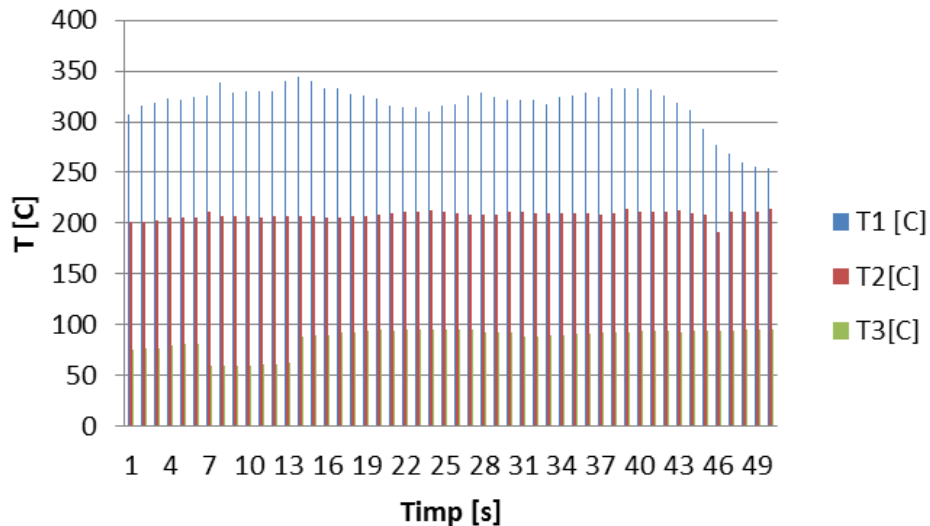


Figura 6.31. Temperaturile în focar
- T1, pe partea caldă - T2 și partea rece - T3 a motorului Stirling, cu pâlnie de cupru

6.5.3. Ansamblu motor Stirling cu pâlnie de fier

În tabelul 6.12, sunt prezentate valorile tensiunii (U), curentului (I) și puterii generatorului (P), temperaturii focarului lentilei Fresnel (T_1) temperaturii zonei calde (T_2) și zonei reci (T_3) a motorului Stirling, turației (n) a motorului Stirling la anumite valori pentru timp și rezistența de sarcină, în cazul motorului cu pâlnie din fier. Viteza vântului variază între 14,4-18,9 km/h. Datele experimentale în extenso se regăsesc detaliate în Anexa 11.

Tabelul 6.12. Rezultate experimentale în condiții reale, motor Stirling cu pâlnie din fier

Nr. crt.	Rad. Solară Medie [W/m^2]	R [Ω]	n [rpm]	T_{1medie} [C]	T_{2medie} [C]	T_{3medie} [C]	U_{mediu} [V]	I_{mediu} [A]	P_{medie} [W]	P_{max} [W]	η
1	852	1100	487	294	135	62	5,4909	0,0050	0,0242	0,0494	0,3158
2	852	900	488	308	117	65	5,8672	0,0047	0,0277	0,0679	0,3152
3	852	700	482	292	148	89	6,2232	0,0089	0,0552	0,0920	0,2756
4	853	500	480	293	164	87	6,2858	0,0063	0,0393	0,0758	0,2810
5	854	300	481	293	166	88	6,7037	0,0068	0,0458	0,0635	0,2797
6	857	200	301	297	168	80	5,8225	0,0053	0,0310	0,0648	0,2930

În figura 6.32 se prezintă dependența tensiunii generatorului electric în timp, la diferite rezistențe de sarcină, modificând valoarea rezistenței de sarcină, în trepte de 100 Ω , de la 100 Ω la 1100 Ω .

În figura 6.33 se prezintă dependența temperaturii în focar (T_1), a temperaturii zonei calde (T_2) și a temperaturii zonei reci (T_3) motorului Stirling funcție de timp. Din această diagramă se constată că temperatura în focar (pe motorul Stirling) are o variație în intervalul de timp (40-49)s unde se constată o scădere a temperaturii în focar datorată trecerii norilor pe cer în timpul măsurărilor.

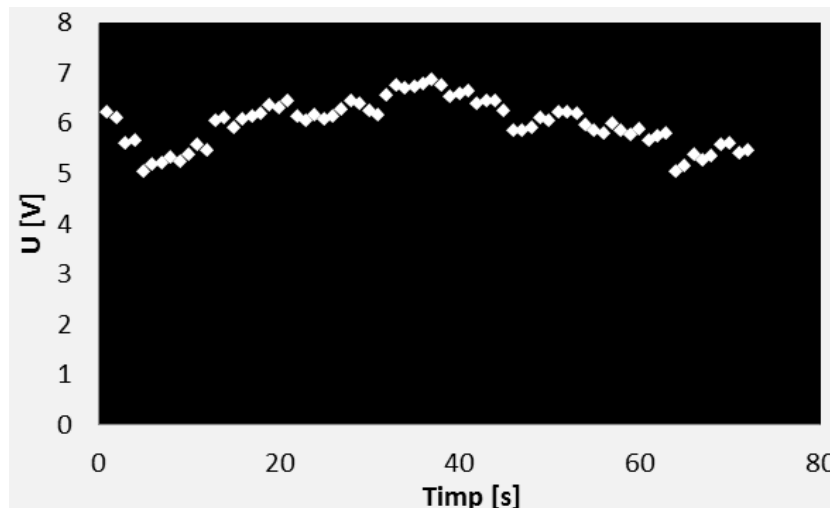


Figura 6.32. Evoluția tensiunii funcție de timp, motor Stirling tip beta cu pâlnie din fier

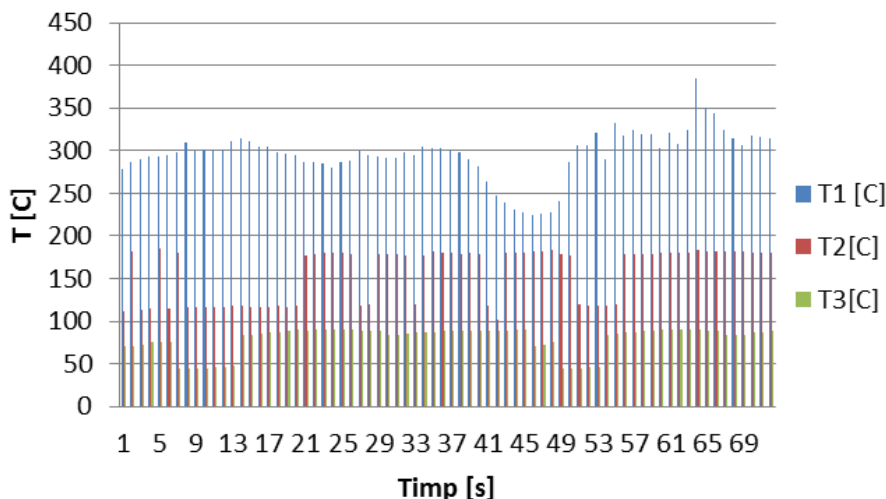


Figura 6.33. Temperaturile în focar

- T1, pe partea caldă - T2 și partea rece - T3 a motorului Stirling, cu pâlnie din fier

6.5.4. Ansamblu motor Stirling cu pâlnie de aluminiu

În tabelul 6.13., sunt prezentate valorile tensiunii (U), curentului (I) și puterii generatorului (P), temperaturii focarului lentilei Fresnel (T_1) temperaturii zonei calde (T_2) și zonei reci (T_3) a motorului Stirling, turației (n) a motorului Stirling la anumite valori pentru timp și rezistența de sarcină, în cazul motorului cu pâlnie din aluminiu. Datele experimentale în extenso se regăsesc detaliate în Anexa 12.

Tabelul 6.13. Rezultate experimentale în condiții reale, motor Stirling cu pâlnie din aluminiu

Nr. crt.	Rad. Solară Medie [W/m ²]	R [Ω]	n [rpm]	T ₁ medie [C]	T ₂ medie [C]	T ₃ medie [C]	U _{mediu} [V]	I _{mediu} [A]	P _{medie} [W]	P _{max} [W]	η
1	851	1100	459	447	268	144	6,4648	0,0053	0,0347	0,0739	0,2714
2	851	1000	475	459	247	112	5,1308	0,0064	0,0341	0,0813	0,3025
3	851	900	471	456	247	172	4,0359	0,0065	0,0261	0,0470	0,2488
4	852	800	451	441	302	175	6,0951	0,0043	0,0270	0,0735	0,2412
5	851	700	443	448	295	171	5,6961	0,0054	0,0309	0,0575	0,2477
6	852	600	454	453	304	173	5,5827	0,0057	0,0343	0,1074	0,2475
7	854	500	362	395	297	175	4,9242	0,0040	0,0211	0,0474	0,2225
8	856	400	264	395	306	177	4,4128	0,0051	0,0218	0,0334	0,2205
9	857	300	235	549	284	177	7,5610	0,0097	0,0756	0,1579	0,2708
10	857	200	209	461	314	179	5,5441	0,0126	0,0691	0,1239	0,2450

În figura 6.34 se prezintă dependența tensiunii generatorului electric în timp, la diferite rezistențe de sarcină, modificând valoarea rezistenței de sarcină, în trepte de 100 Ω, de la 100 Ω la 1100 Ω. Se pot identifica variații foarte mari ale valorilor datorită scăderii și creșterii repetate a radiației solare, implicit a turației motorului Stirling și a puterii generatorului electric.

În figura 6.35 se prezintă dependența temperaturii în focar (T_1), a temperaturii zonei calde (T_2) și a temperaturii zonei reci (T_3) motorului Stirling funcție de timp. Viteza vântului variază între 11,6- 12,2 km/h. Din această diagramă

se constată că temperaturile variază foarte mult față de celelalte cazuri unde interferența norilor a fost mult mai mică.

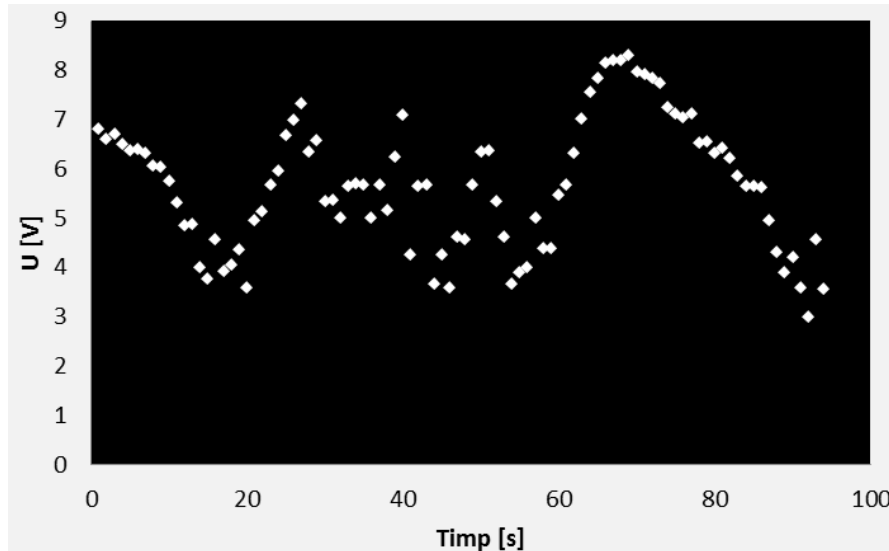


Figura 6.34. Evoluția tensiunii funcție de timp, motor Stirling tip beta cu pâlnie din aluminiu

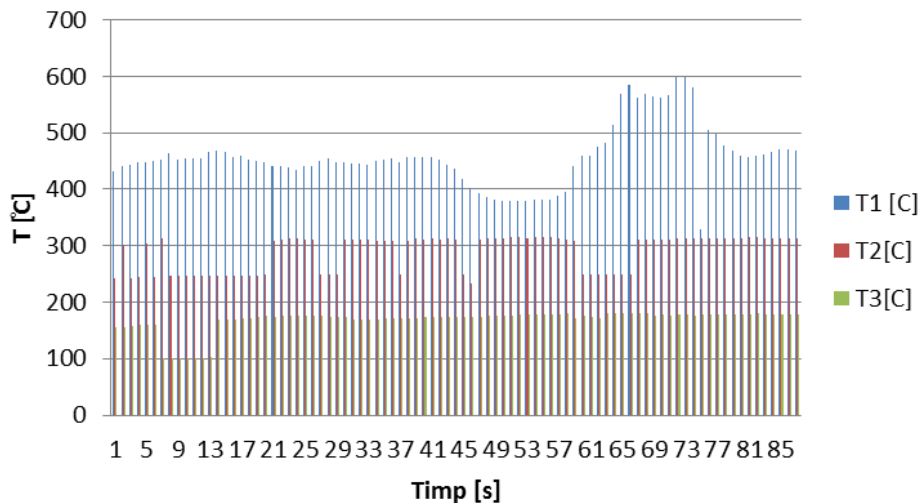


Figura 6.35. Temperaturile în focar - T1, pe partea caldă - T2 și partea rece - T3 a motorului Stirling, cu pâlnie din aluminiu

Așa cum se poate vedea din figura 6.34, dependența tensiunii generatorului electric în timp, la diferite rezistențe de sarcină, este variabilă, nu are o continuitate uniformă precum cazul cu pâlnie de fier spre exemplu. Acest lucru se datorează mai multor factori, precum:

- prezența norilor pe cer
- viteza vântului variabilă
- pâlnia de aluminiu are dublu grosimii pâlniei de fier, ceea ce face ca, căldura înmagazinată de aceasta să fie neuniformă pe întreaga suprafață a acesteia, și

deși cerul este acoperit parțial cu nori, răcirea pâlniei se face în mod natural, ceea ce rezultă că timpul de trecere a norilor pe cer nu este suficient de rapid pentru ca pâlnia să își poată păstra temperatura relativ constantă în timp.

Comparând figurile 6.28, 6.30, 6.32, 6.34 cu figura 6.21 se constată o diferență foarte mare între curbele reprezentate. Această diferență este mai mare decât în cazul măsurărilor efectuate în laborator.

Rezultatul obținut se justifică prin faptul că transferul de căldură de la sursă la motorul Stirling este influențat de condițiile atmosferice. Pe durata efectuării măsurărilor condițiile de mediu nu au fost aceleași, pe când în laborator condițiile de mediu au fost practic aceleași.

6.6. Concluzii și contribuții personale

Capitolul 6 constituie principala parte practică a lucrării. În acest capitol au fost prezentate rezultatele determinărilor experimentale efectuate pentru următoarele 9 cazuri diferite:

- în condiții de laborator cu motor Stirling tip beta
 - motor fără pâlnie
 - motor cu pâlnie de cupru
 - motor cu pâlnie de fier
 - motor cu pâlnie de aluminiu
 - în condiții de laborator cu motor Stirling tip gamma
 - în condiții de mediu naturale cu sursa caldă Soarele, centrală termoelectrică cu motor Stirling tip beta și lentilă Fresnel
 - motor fără pâlnie
 - motor cu pâlnie de cupru
 - motor cu pâlnie de fier
 - motor cu pâlnie de aluminiu.
- a) De asemenea, s-a determinat experimental rezistența internă a generatorului electric în cazul utilizării motorului Stirling tip beta, respectiv tip gamma. Pentru cele două tipuri de motoare Stirling s-au utilizat generatoare electrice diferite. Rezistența internă a generatorului electric s-a determinat din proba de mers în gol, respectiv de scurtcircuit, modificând turația generatorului în intervalul (878 – 1268) rot/minut în cazul motorului Stirling tip beta, respectiv în intervalul (250 – 700) rot/minut în cazul motorului Stirling tip gamma.
- b) În cazul motorului Stirling tip beta (tabelul 6.1) valoarea medie obținută pentru rezistența internă a generatorului a fost $56,97\Omega$, cu o abatere maximă față de valoarea medie de 5,385%, respectiv minimă față de valoarea medie de 1,08%.
- c) În cazul motorului Stirling tip gamma (tabelul 6.7) valoarea medie obținută pentru rezistența internă a generatorului a fost $27,237\Omega$, cu o abatere maximă față de valoarea medie de 11,51%, respectiv minimă față de valoarea medie de -0,32%.
- d) Randamentul teoretic al lentilei Fresnel utilizată la centrala termo-solară este 76%, iar pentru cel determinat experimental s-a obținut valoarea de 73%, deci o diferență de 3,95% față de valoarea teoretică.
- e) Această diferență este justificată dacă se are în vedere clasa de precizie a instrumentelor de măsură utilizate pentru determinarea experimentală a randamentului.

- f) Randamentul de transfer al căldurii de la sursa de căldură (lampa cu gaz în cazul determinărilor experimentale în condiții de laborator) la motorul Stirling este dependent de condițiile de transfer termic. Motorul Stirling este prevăzut cu o pâlnie din cupru, fier, aluminiu sau fără pâlnie.
- g) Puterea maximă debitată de generatorul electric la aceeași putere furnizată de sursă, în condiții de laborator, se obține în cazul în care motorul Stirling este prevăzut cu o pâlnie din fier. Comparativ cu acest caz atunci când motorul Stirling este fără pâlnie generatorul electric debitează o putere maximă cu 46,9% mai mică decât atunci când motorul Stirling este prevăzut cu o pâlnie din fier. Dacă motorul Stirling este prevăzut cu o pâlnie din cupru puterea maximă debitată de generatorul electric este cu 21,1% mai mică decât atunci când motorul Stirling este prevăzut cu o pâlnie din fier.
- h) Dacă motorul Stirling este prevăzut cu o pâlnie din aluminiu puterea maximă debitată de generatorul electric este cu 20,2% mai mică decât atunci când motorul Stirling este prevăzut cu o pâlnie din fier. Aceste precizări evidențiază faptul că transferul de căldură de la sursa de căldură la motorul termic în condiții de laborator se realizează cel mai eficient atunci când motorul Stirling este prevăzut cu o pâlnie din fier și cel mai neeficient atunci când motorul Stirling nu este prevăzut cu pâlnie. Deci una din măsurile necesare a se implementa pentru a obține un transfer termic mai bun de la sursa de căldură la motorul Stirling constă în montarea unei pâlnii din fier la motorul Stirling.
- i) Puterea maximă debitată de generatorul electric la aceeași putere furnizată de sursă, în condiții reale de funcționare a centralei termo-solare, se obține în cazul în care motorul Stirling este fără pâlnie. Comparativ cu acest caz atunci când motorul Stirling este cu o pâlnie din fier generatorul electric debitează o putere maximă cu 72,5% mai mică decât atunci când motorul Stirling este fără pâlnie. Dacă motorul Stirling este prevăzut cu o pâlnie din cupru puterea maximă debitată de generatorul electric este cu 47,49% mai mică decât atunci când motorul Stirling este fără pâlnie.
- j) Dacă motorul Stirling este prevăzut cu o pâlnie din aluminiu puterea maximă debitată de generatorul electric este cu 52,8% mai mică decât atunci când motorul Stirling este fără pâlnie. Aceste precizări evidențiază faptul că transferul de căldură de la sursa de căldură la motorul termic în condiții de funcționare reale ale centralei termo-solare se realizează cel mai eficient atunci când motorul Stirling este fără pâlnie.
- k) Din figurile 6.5, 6.9, 6.13, 6.17, în care s-a reprezentat dependența tensiunii la bornele generatorului funcție de timp, dependențe obținute cu sistemul de achiziții date, se constată că tensiunea scade odată cu creșterea timpului. Această variație se explică prin faptul că sarcina pe care debitează generatorul scade de la valoarea de 1100Ω la 100Ω .
- l) Comparând figurile 6.5, 6.9, 6.13, 6.17 cu figura 6.21 se constată o diferență importantă. Această diferență este justificabilă deoarece în figura 6.21 s-a considerat tensiunea electromotoare a generatorului constantă în timp, iar pe durată măsurătorilor această mărime nu este constantă în timp deoarece turația rotorului generatorului pe durata măsurătorilor nu a fost constantă.
- m) În cazul motorului Stirling fără pâlnie turația a variat între 291 și 613 rot/minut, la cel cu pâlnie din cupru turația a variat între 185 și 474 rot/minut, la cel cu pâlnie din fier turația a variat între 244 și 524 rot/minut, iar la cel cu pâlnie din aluminiu turația a variat între 234 și 501 rot/minut.
- n) Comparând figurile 6.28, 6.30, 6.32, 6.34, în care s-a reprezentat dependența tensiunii la bornele generatorului în funcție de timp pentru centrala termo-

- solară funcționând în condiții reale, cu figura 6.21 se constată o diferență foarte mare între curbele reprezentate.
- o) Această diferență este mai mare decât în cazul măsurărilor efectuate în laborator. Rezultatul obținut se justifică prin faptul că transferul de căldură de la sursă la motorul Stirling este influențat de condițiile atmosferice. Pe durata efectuării măsurărilor în condiții reale mărimile ce caracterizează atmosfera nu au fost aceleași, pe când în laborator aceste mărimi au fost practic aceleași.
 - p) În condiții de laborator (tabelele 6.3, 6.4, 6.5, 6.6) randamentul motorului Stirling are valoarea maximă 38,6% pentru motorul cu pâlnie din fier, respectiv din aluminiu, și 34,94% pentru motorul fără pâlnie, respectiv pentru cel cu pâlnie din cupru. Valoarea minimă a randamentului motorului Stirling este 28,57% când motorul are pâlnie din aluminiu sau din fier, 34,58% când motorul are pâlnie din cupru, respectiv 30,62% când motorul este fără pâlnie.
 - q) În condiții reale de funcționare a centralei termo-solare (tabelele 6.9, 6.10, 6.11, 6.12) randamentul motorului Stirling are valoarea maximă 37,7% pentru motorul fără pâlnie, 31,58% pentru motorul cu pâlnie din cupru, 31,2% pentru motorul cu pâlnie din fier, și 30,25% pentru motorul cu pâlnie din aluminiu. Valoarea minimă a randamentului motorului Stirling este 22,05% când motorul are pâlnie din aluminiu, 25,55% când motorul are pâlnie din cupru, 27,56% când motorul are pâlnie din fier, respectiv 35,31% când motorul este fără pâlnie. Aceste rezultate se justifică prin faptul că viteza vântului a fost minimă când s-au făcut măsurători cu motorul Stirling fără pâlnie și maximă când s-au făcut măsurători cu motorul Stirling prevăzut cu pâlnie din fier.
 - r) Din figurile 6.29, 6.31, 6.33, 6.35 se constată că temperaturile din focar (T_1), din zona caldă (T_2), respectiv din zona rece (T_3) a motorului Stirling prezintă variații în timp foarte mari și neregulate, ceea ce justifică și variația în timp a tensiunii la bornele generatorului electric. Aceste dependențe au fost determinate experimental în condiții reale de funcționare a centralei termo-solare cu lentilă Fresnel.
 - s) Rezultatele experimentale obținute pentru cele trei temperaturi în condiții de laborator sunt prezentate în diagramele din figurile 6.8, 6.12, 6.16, 6.20 și respectiv 6.26.
 - t) Din aceste diagrame rezultă că variația în timp a temperaturi din focar (T_1), din zona caldă (T_2), respectiv din zona rece (T_3) a motorului Stirling este mult mai scăzută decât în condiții reale de funcționare a centralei termo-solare.

Principale contribuții personale sunt după cum urmează:

- a) Conceperea schemelor necesare determinărilor experimentale atât în laborator cât și în condiții reale de funcționare a centralei termo-solare cu lentilă Fresnel și motor Stirling.
- b) Realizarea schemelor concepute pentru efectuarea determinărilor experimentale atât în condiții de laborator cât și în condiții reale de funcționare a centralei termo-solare cu lentilă Fresnel și motor Stirling.
- c) Prelucrarea datelor experimentale obținute în condiții de laborator și în condiții reale de funcționare a centralei termo-solare cu lentilă Fresnel și motor Stirling.
- d) Determinarea experimentală a randamentului lentilei Fresnel utilizată în construcția centralei termo-solare.
- e) Determinarea randamentului de transfer a căldurii de la sursă la motorul Stirling.

- f) Determinarea experimentală a dependenței tensiunii la bornele generatorului electric funcție de sarcina generatorului.
- g) Determinarea experimentală a rezistenței interne a generatorului electric.
- h) Determinarea experimentală a randamentului motorului Stirling.
- i) Determinarea experimentală a temperaturii din focar (T_1), din zona caldă (T_2), respectiv din zona rece (T_3) a motorului Stirling în condiții de laborator și în condiții reale de funcționare a centralei termo-solare.
- j) Conceperea și implementarea instrumentelor virtuale pentru măsurarea tensiunii la bornele generatorului și a curentului de sarcină utilizând mediul de programare LabVIEW.

7. ANALIZA ECONOMICĂ. SOLUȚII DE OPTIMIZARE A UNUI PARC DE CENTRALE TERMoeLECTRICE-SOLARE CU LENTILE FRESNEL ȘI MOTOARE STIRLING

Obiectivul acestui capitol este de a stabili, condițiile în care o centrală termoelectrică-solară, formată din lentile Fresnel, capabile de a colecta dar și concentra, în focare punctiforme, radiația incidentă pe suprafața lor și a transmite unor motoare Stirling poate realiza conversia acesteia în energie electrică, respectiv termică.

Se stabilesc condițiile de funcționare a centralei termoelectrice-solare și se determină gradul de fiabilitate al acestuia. Evidențierea randamentului instalației, prin testarea performanței obținută în urma conversiei energetice, duce, pe de altă parte, la determinarea fezabilității sale. Aceasta permite calculul raportului eficiență-cost care, la rândul său, stă la baza dezvoltării eficiente a instalației de centrală termoelectrică cu lentile Fresnel și motoare Stirling.

Modelarea este o metodă de cercetare și de cunoaștere a realității. Esența modelării constă în înlocuirea procesului real studiat printr-un model al acestuia mai accesibil studiului, așa cum s-a arătat în capitolele anterioare.

De altfel, în cele mai multe cazuri este foarte scump sau este complet nepractic să se facă determinări experimentale cu un sistem real, astfel încât folosirea unui model fizic reprezintă o modalitate eficientă pentru verificarea rezultatelor teoretice și pentru obținerea unor concluzii în conformitate cu realitatea fizică. Din aceste considerente s-a realizat un model experimental de centrală termo-solară cu lentile Fresnel și motor Stirling.

În acest capitol pornind de la rezultatele teoretice și experimentale obținute din analiza comportării modelului experimental – care are caracteristicile unui model de laborator, având dimensiuni mici și, prin urmare, nu întotdeauna rezultatele obținute sunt concludente pentru echipamente realizate la scară mare, industrială, se stabilesc condițiile în care trebuie proiectată și optimizată o centrală termoelectrică solară cu lentile Fresnel și motoare Stirling, în vederea utilizării eficiente a surselor de energie regenerabilă, în acest caz, energiei solare.

O primă concluzie importantă formulată în urma rezultatelor teoretice cât și cele experimentale obținute utilizând modelul experimental de centrală termo-solară cu lentilă Fresnel și motor Stirling prezentat în capitolele anterioare constă în aceea că sistemul conceput este cu fiabilitate foarte bună. În consecință costurile acestor sisteme cu asigurarea mentenanței sunt foarte scăzute, indiferent de puterea acestora.

În continuare este efectuată o analiză financiară a costurilor de investiție precum și perioada de amortizare a investiției propriu-zise pentru o centrală termoelectrică-solară cu lentile Fresnel și motoare Stirling.

7.1. Analiza economică

În analiza efectuată se impun următoarele date (figura 7.1) [De Sabata2015], [Breyer2012]. Elementele componente și prețurile de cost ale centralei termoelectrice-solare sunt detaliați în tabelul 7.1:

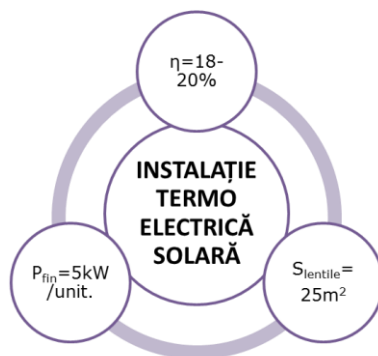


Figura 7.1. Instalație centrală termoelectrică-solară cu lentile Fresnel și motoare Stirling

7.1.1. Costuri cu centrala termoelectrică-solară

În tabelul 7.1 este detaliat necesarul de materiale și componente, numărul de bucăți, precum și prețul/bucată.

Tabelul 7.1. Necesarul de materiale

Materiale	Cantitate	Unitate măsură	Preț €/buc	Preț total €
Lentile Fresnel cu focar punctiform	25	buc	150	3750
Motoare Stirling	25	buc	250	6250
Generatoare	25	buc	150	3750
Panouri de comandă și control	5	buc	300	1500
Invertoare	5	buc	725	3625
Pompă de recirculare	1	buc	200	200
Cabluri cupru secțiune 2.5mm, respectiv 4mm	180	m		50
Profile metalice de tip L, cu dimensiunile 50/50/4, 25 Bare de 4 m	100	m		350
Tevi cupru 15mm diametru	50	m		150
Izolație țevi cupru	50	m		40
Tije filet 10mm pentru ranforsări		m		400
Suport metalic motor, reglabil, dimensiuni 15x15cm	25	buc	1	25
Fundație 15m ³	15	m ³		500
Foi metalice închidere cadre	100	m ²		250
TOTAL				20840

Am considerat cheltuielile cu manopera pentru execuția operațiunilor de montaj de aproximativ 2000€ (2415 lei - salariul mediu brut pe economie/ persoană, pentru 4 persoane calificate care să lucreze, în regim full-time, câte 8 ore pe zi lucrătoare timp de o lună) (tabelul 7.2).

Cei 5 kW vor produce în cele 2000 de ore (așa cum s-a arătat în capitolul 2, în România, în zona de Vest, anual sunt însumate, în medie, 2000 de ore în care intensitatea insolației se situează în jurul valorii de 1000 W/m²); anual, circa 10000 de kWh/an.

La prețul actual al energiei electrice, consumatorul ar fi plătit suma de aproximativ (1322) € cu TVA pentru cei circa 10000kWh/an (tabelul 7.4).

Tabelul 7.2. Costuri de montaj, regie, consumabile, întreținere instalație

Costuri	Preț total €
Manoperă - operațiuni de montaj	2200
Consumabile: materiale, țevi, profile, fittinguri, izolații termice, etc.	1215
Regie	4000
Întreținerea instalației (100€/an/unitate; acestea includ mentenanța necesară, uleiul pentru motorul Stirling, curățare lentile, etc.)	2500
TOTAL	9915

Rezultă un cost total, de 30755€ (fără TVA) (tabelul 7.3).

Tabelul 7.3. Total costuri

Costuri materiale	20840
Costuri montaj, întreținere, etc.	9915
TOTAL Costuri (fără TVA)	30755€

Tabelul 7.4. Cost energie electrică la cursul euro de la 1 octombrie 2015

An	Curs Euro	Consum Kwh/an	Cost (lei)	Cost (€)
2015	4.4155	10000	5839 lei (cu TVA)	1322€ (cu TVA)

Durata de amortizare a investiției inițiale ar fi de aproximativ 23 ani.

7.2. Dimensionarea și optimizarea unei centrale termoelectrice-solare cu lentile Fresnel și motoare Stirling

Pentru a realiza o centrală termoelectrică-solară cu lentile Fresnel și motoare Stirling, este necesar a se verifica în primul rând, dacă locația este adecvată din punct de vedere al: radiației solare; a numărului de ore cu cer senin în decursul unui an; a terenului disponibil; satisfacerii cerințelor privind necesarul de energie finală care se dorește a se obține [Drugărin2014], [Banu2011], [Hermenean2011], [Ilie2015].

Procesul de dimensionare al unei centrale termoelectrică-solară cu lentile Fresnel și motoare Stirling conectate la rețeaua electrică de distribuție constă, în principal, în selecția tipurilor de lentile Fresnel, a tipurilor de motoare Stirling, generatoarelor și a invertoarelor, determinarea dimensiunilor și configurației ariilor de acoperire a lentilelor, precum și calculul performanțelor tehnice și economice estimate ale unei instalații de centrală termoelectrică-solară.

În particular, dimensionarea optimală pentru o locație dată necesită o analiză a influențelor variabilelor dependente de amplasament, cum ar fi radiația solară, temperatura, viteza vântului, terenul dacă este în pantă sau are alți factori de umbră precum și analiza dependenței funcționării centralei în raport cu acești factori [Abagiu2016].

În continuare, se va urmări o propunere de optimizare a centralei astfel încât prioritară să fie reducerea costurilor materiale.

Principali pași care se fac la dimensionarea unei centrale termoelectrică-solară cu lentile Fresnel și motoare Stirling sunt:

- alegerea locației de amplasare;
- alegerea tensiunii de lucru a sistemului;
- alegerea tipurilor de motoare Stirling;
- alegerea tipurilor de lentile Fresnel (dacă dorim să obținem energie termică și/sau electrică);
- estimarea puterii generatoarelor solare.

Se determină numărul de panouri necesare pentru asigurarea autonomiei energetice pentru o casă familială cu patru persoane și amplasarea acestora pe teren, în imediata apropiere a casei pentru reducerea pierderilor.

Caracteristicile și parametrii centralei termoelectrice solare (așa cum este propusă în figura 7.5) sunt:

- **Fundațiile** pe care vor fi fixate cadrele suport ale ansamblului de lentile Fresnel, motoare Stirling tip beta și generatoare, sunt de beton turnat cu o adâncime de 0.4 m la care se adăuga și un strat de piatră de 0.1 m.

Fundația v-a fi săpată manual, iar turnarea betonului se va face tot manual, panourile se leagă între ele pe suportul de jos, și vor fi prinse în dibluri în beton pentru ca sistemul să reziste solicitărilor provocate de vânt.

- **Traseele de cabluri.** Modulele de panouri cu lentile Fresnel și motoare Stirling se conectează între ele formând șiruri de 5 linii cu 5 coloane, sau 2 linii cu câte 12, respectiv 13 panouri. Toate acestea sunt în funcție de zona de amplasare, locația respectivă, terenul pus la dispoziție, factori de umbrire (pante, clădire, pomi, garaje, etc). Conexiunile electrice se realizează cu cabluri de cupru secțiunea 2,5 mm² și 4 mm² și lungime totală de 180m (conexiune între module, până la invertoare și apoi la instalația electrică din locuință).

- **Motoare Stirling** de 5kw și generatoare electrice aferente, precum și lentile Fresnel cu randament minim 80% (asigurate de producător).

- **Invertoare** on-grid sau off-grid, în funcție de solicitare, dacă există racord la rețeaua electrică națională se pot folosi sisteme on-grid. Eficiența minim 97%, date de intrare: puterea maximă DC 5.25kW, curent maxim 15A, tensiune maximă 600V; date de ieșire: puterea maximă AC 5.00kW, tensiune nominală 180-280V, frecvența între 45-65 Hz, monofazic.

- **Panouri de comandă și control**, 5 bucăți plasate la capăt de linie dacă distribuția modulelor este precum cea din figura 7.6, unde se propune o schemă a unei centrale termoelectrice-solare cu lentile Fresnel și motoare Stirling integrate cu sistemul clasic de încălzire și sistemul electric al unei case familiale cu 4 persoane pe 5 linii cu 5 coloane, pe o suprafață de Lxl=14x10m. Panourile trebuie să regleze în mod automat mișcarea modulelor după Soare astfel încât suprafața de captare a lentilei Fresnel să fie mereu în cea mai bună poziție pentru a capta focal concentrat radiația solară spre motorul Stirling.

7.2.1. Necesari de energie electrică

Se propune proiectarea și analiza unei centrale termoelectrice-solare pentru asigurarea necesarului de energie electrică pentru un consumator casnic (familie cu 4 persoane), având următoarele consumuri (tabelul 7.5).

Energia electrică de care are nevoie consumatorul casnic este de 291.9KWh pe lună, respectiv 9.73 KWh pe zi.

Tabelul 7.5. Consumul de energie electrică considerat

	Putere(W)	Ore/zi	Cantitate	Consum/zi KWh/zi	Consum/lună KWh/lună
Iluminat economic	20	4	5	0.4	12
Frigider (clasa A+++)	250	6	1	1.5	45
TV	150	3	2	0.9	27
Mașina de spălat vase	1000	2	1	2	60
Mașina de spălat rufe	2300	1	1	2.3	69
PC	100	4	1	0.4	12
Laptop	120	4	1	0.48	14.4
Imprimantă laser	800	0.2	1	0.16	4.8
Cafetieră	1200	0.2	1	0.24	7.2
Uscător	1500	0.1	1	0.15	4.5
Home cinema	600	2	1	1.2	36
TOTAL					291.9

7.2.2. Zona de amplasare

Legat de studiul amplasării centralei termoelectrice-solare, în scopul optimizării locațiilor și determinării producției de energie solară, au fost utilizate datele puse la dispoziție de Stația de Monitorizare a Radiației Solare – SRMS (așa cum a fost analizat în capitolul 2), datele oferite de METEONORM, și de SunnyDesign precum și măsurători proprii [***Sunnydesign], [***Meteonorm].

Locația aleasă pentru amplasarea centralei termoelectrice-solare este în Timișoara, România (Europa de Est). Iradianța globală medie se situează în jurul valorii de 1300 kWh/m²/an. Utilizând programul METEONORM, s-a efectuat o prognoză pentru următorii ani până în anul 2030, pentru radiația solară și temperaturi pentru Timișoara, coordonate: 45.8N-21.3E, 86 m altitudine, ținând cont de turbiditatea atmosferică (valori de la stația Aeronet de pe acoperișul Universității Politehnica Timișoara), valori ale radiației solare din anii precedenți (pornind de la date climatice – din baza de date ale Meteonorm pentru anii 1987-1990, respectiv anii 1994-2012). Datele sunt ilustrate sub formă grafică în figurile 7.2 se arată radiația solară (cu portocaliu este radiația difuză iar cu galben este arătată radiația globală), respectiv în figura 7.3 se observă temperaturile.

7.2.3. Alegerea tipului de lentile și motoare Stirling

Pentru alegerea tipului de lentile s-au avut în vedere următoarele:

- aceste lentile au capacitatea de a concentra punctiform radiația solară;
- au randamentul garantat de producător de minim 80%, iar după 25 ani procentul de degradare să nu fie mai mare de 10%;
- sunt comparabile ca și preț cu cele liniare.

Pentru alegerea tipului de motoare Stirling sau avut în vedere următoarele:

- randament termic ridicat;
- funcționare silențioasă,
- rezistența materialului din care este fabricat la temperaturi ridicate,
- suprafața de receptare din zona caldă să fie proporțională cu pata focală,
- permite atașarea unui sistem de răcire suplimentar,
- costuri de întreținere moderate spre reduse (ulei motor, agent de lucru)
- rezistența la uzură crescută.

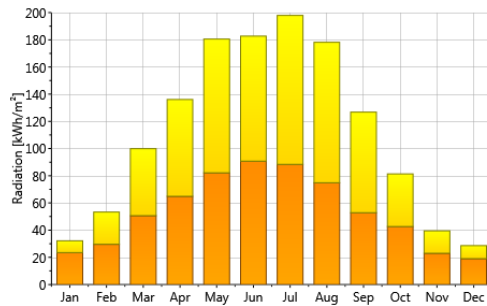


Figura 7.2. Prognoza pentru radiația difuză și globală (2030). Sursa: *Meteonorm*

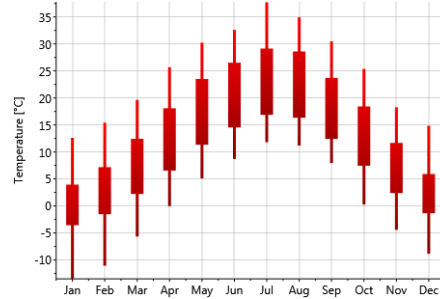


Figura 7.3. Prognoză temperaturi (până în anul 2030) Sursa: *Meteonorm*

Motoarele Stirling au o construcție simplă, ceea ce înseamnă costuri de producție, respectiv achiziție, scăzute, dar totodată acestea au o mare fiabilitate în funcționare, fapt care le face optime pentru instalația de centrală propusă. Factorul care le face importante și demne de luat în considerare pentru instalația de centrală termoelectrică-solară este randamentul lor termic care este cu mult superior în raport alte mașini termice.

Deoarece motoarele Stirling nu au uzual dimensiuni și puteri mari, este necesar ca în modelul de centrală termoelectrică-solară să fie utilizate mai multe motoare, iar numărul lor este în funcție de puterea instalată care este prevăzută în proiectul de execuție al acesteia și în necesarul de consum al utilizatorului.

Pentru proiectul propus, analizat și detaliat în figura 7.5 este necesar a se folosi grupuri de motoare Stirling de câte 5kW fiecare, dispuse în module de 5 rânduri pe 5 coloane, legate în serie la capăt de linie.

7.2.4. Alegerea invertoarelor și a blocurilor de comandă

Pentru alegerea invertoarelor se are în vedere dacă sunt necesare sisteme off-grid sau on-grid. În cazul de față se alege sistemul on-grid, adică unde există conexiune cu rețeaua electrică națională, pentru ca în zilele cu nori sau alți factori perturbatori, sistemul național să acopere necesarul de energie în condițiile în care centrala termoelectrică-solară nu funcționează în condiții optime, pentru a satisface necesarul de energie al consumatorului casnic.

Blocurilor de comandă și control trebuie să fie cu comandă automată, ceea ce presupune derularea automată a unor secvențe de lucru în două axe, orizontală/verticală a modulelor, pentru ca radiația solară să aibă o incidență perpendiculară pe suprafața lentilelor tot timpul zilei și tot timpul anului calendaristic. Acest mecanism automatizat va fi controlat de către un controler programabil – PLC (Programmable Logic Controller) la care se pot programa următorii parametri: timpul; coordonatele astronomice; algoritmul de calcul.

Știind că panourile cu lentile Fresnel utilizate fie pentru a obține energie electrică (lentile focar punctiform + motoare Stirling), fie energie termică (lentile focar liniar – țevi de cupru) necesită suprafețe mari pentru amplasare, cu distanțe optime între ele pentru a nu se umbri unele pe altele, propun un model inovativ - care să combine motoarele Stirling folosite doar pentru obținerea energiei electrice, cu un sistem de țevi de cupru prin care circulă agentul termic, astfel încât energia termică care este pierdută prin lateralele părții calde a motorului Stirling, este recuperată prin aceste țevi de cupru, în aceeași instalație.

Astfel, în urma măsurărilor efectuate pe instalația pilot (capitolul 6) s-au constatat că pierderile de energie pe suprafața superioară a motorului Stirling sunt

mari deoarece pata focală a lentilei Fresnel este mai mare decât suprafața de receptare a motorului Stirling, radiatorul nu este izolat la partea superioară, răcirea este deficitară iar suprafața totală a radiatorului este destul de redusă.

În urma celor constatate, propun un sistem de optimizare a instalației prin obținerea și de energie termică (care poate fi folosită ca și apă caldă menajeră sau pentru încălzirea locuințelor, garajelor, etc.) prin introducerea în model, pe partea caldă a radiatorului motorului, de țevi de cupru prin care să circule un agent termic care să își păstreze proprietățile fizice până la minim 400°C, antrenat de o pompă de circulație.

Pentru a conserva energia termică colectată din timpul zilei, circuitul este prevăzut cu un rezervor în care se stochează agentul termic (ulei sau apă) încălzit în timpul unei zile însorite. Sistemul cu țevi de cupru înfășurate pe partea caldă a radiatorului motorului Stirling este prezentat în figura 7.4 cu specificația ca acesta poate fi adaptat și la motoare mai mari.

În figura 7.4 se observă sistemul de țevi de cupru înfășurate pe partea caldă a radiatorului motorului. Zona rece nu trebuie intercalată pentru că astfel temperaturile se uniformizează iar motorul ajunge să aibă randament termic scăzut și se poate bloca. Zona rece a motorului poate fi răcită cu apa rece sau chiar cu agentul de circulație folosit pe un circuit separat înainte să ajungă în zona caldă și să fie încălzit.

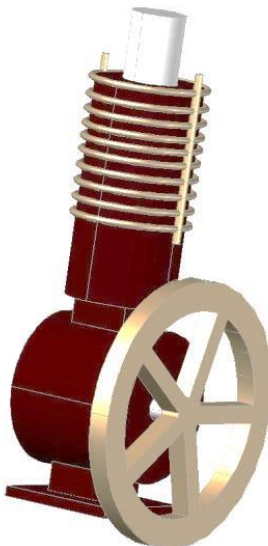


Figura 7.4. Sistem țevi înfășurate pe partea caldă radiator motor Stirling

7.2.5. Centrală termoelectrică-solară

Pentru a optimiza o centrală termoelectrică solară din punct de vedere tehnologic, în anumite condiții date, trebuie să pornim de la proiectarea și execuția unei instalații de tip industrial care să permită mărirea puterii finale a centralei, prin mărirea numărului de lentile (sau a suprafeței eficiente a lentilelor Fresnel), a numărului de motoare sau chiar puterea motorului/motoarelor Stirling (în condițiile în care acestea sunt în serie), respectiv, puterea generatorului/generatoarelor de curent [Ilie2015].

Pentru o vedere de ansamblu, modelul analizat de centrală termoelectrică-solară este prezentat în figura 7.5.

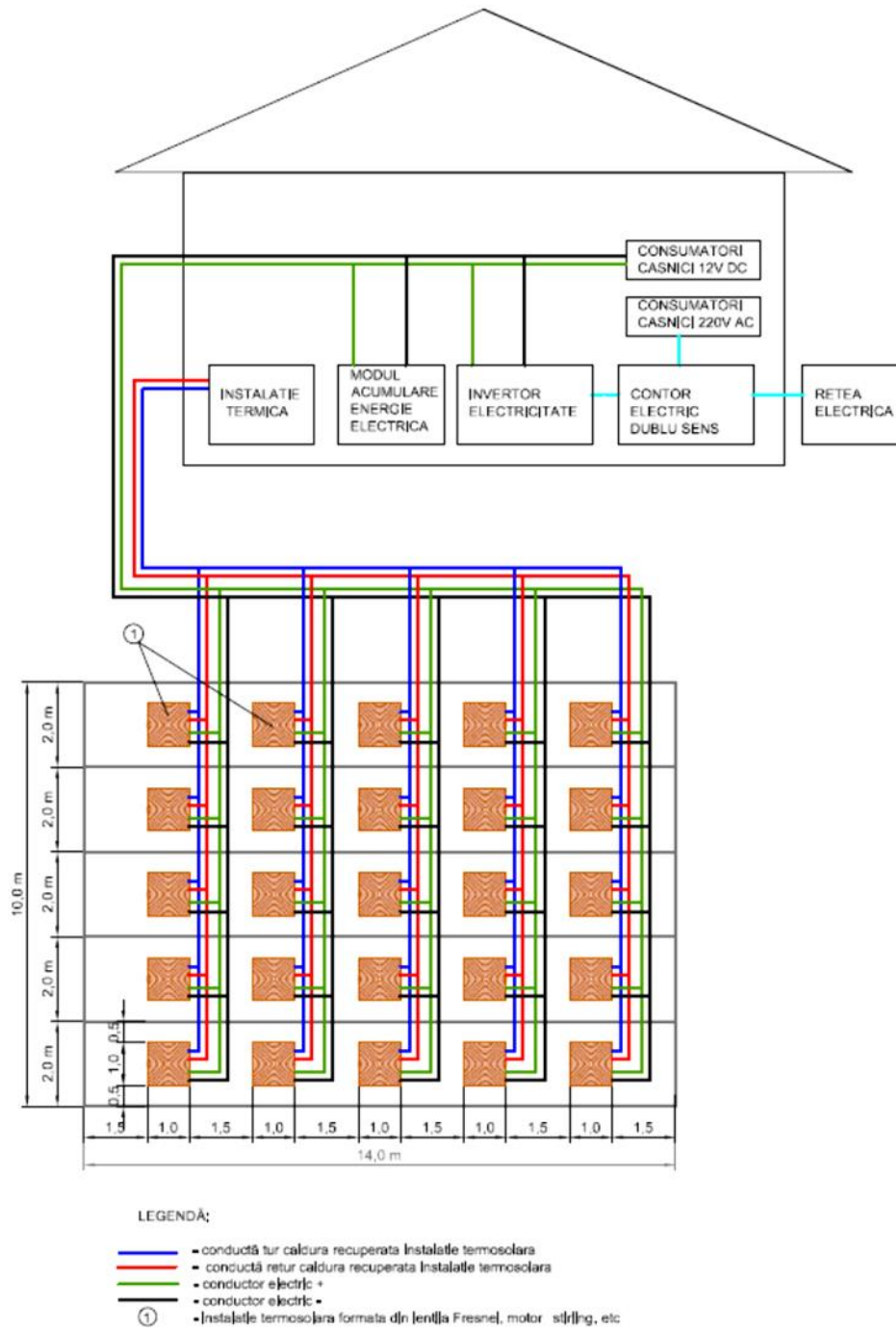


Figura 7.5. Schemă a unei centrale termoelectrice-solare cu lentile Fresnel și motoare Stirling integrate cu sistemul clasic de încălzire și sistemul electric.

În figura 7.5 sistemul electric este reprezentat cu culorile verde și negru. Sistemul termic este desenat cu culoarea albastră pentru conducta tur de căldură (agent termic) recuperată de la centrala termoelectrică-solară și cu roșu conducta de retur.

Astfel, avem 3 subsisteme:

- Subsistemul A: sistemul solar
- Subsistemul B: sistemul național de electricitate
- Subsistemul C: centrală termică pe gaz

Subsistemul A este constituit dintr-o rețea de lentile Fresnel cu focar punctiform, cu orientare biaxială automată, în număr de 5 linii / 5 coloane (25 bucăți), cu suprafața unei lentile de 1m^2 .

Focarele acestora sunt concentrate pe capul motoarelor Stirling care sunt în același număr poziționate la distanța optimă de focalizare aferentă lentilelor, și totodată focarul este suficient de mare pentru a ajunge pe țevile de cupru înfășurate elicoidal pe motor, conducte prin care circulă un agent termic, în calitate de lichid caloportor. Circulația acestuia este asigurată de pompa de recirculare din instalația termică. Subsistemul mai este dotat cu un rezervor cu scopul de a stoca energia termică acumulată în timpul zilei. Conductele (roșii și albastre din figura 7.5) traversează prin focarele lentilelor și pe capul cald al motorului Stirling, astfel încât cantitatea de energie termică acumulată crește în mod semnificativ.

Lichidul caloportor care a ajuns la o temperatură înaltă este stocat în rezervor sau folosit în instalația termică din casă (încălzire încăperi, apă caldă menajeră). Subsistemul A are de asemenea posibilitatea de a fi montat în module de acumulare a energiei electrice (baterii solare).

Subsistemele B și C au rolul ca în perioadele lipsite de insolație sau în timpul sezonelor reci, sistemele de energie electrică de la rețeaua națională, respectiv centrala cu gaz, să genereze necesarul de energie electrică, respectiv termică.

Cu ajutorul controrelelor se realizează comutarea automat a alimentării cu energie electrică și termică a consumatorilor de la sistemele clasice la centrala termo-solară cu lentile și motoare Stirling. Subsistemul A, conectat cu sistemul C, prin care circulă agentul termic poate avea fie caracter închis, fie deschis (cu ajutorul robinetelor montate în instalație). În cazul în care subsistemul este deschis, apa provenită de la sistemul public de distribuție face să se răcească partea inferioară a motoarelor Stirling. Astfel, crește și diferența de temperatură dintre cele două zone ale motoarelor (cald-rece), fapt care duce la creșterea randamentului acestuia. Dacă nu există o cantitate suficientă de radiație solară, centrala termoelectrică-solară poate fi proiectată astfel încât să existe posibilitatea funcționării cu combustibili fosili (peleți, masă lemnoasă, cărbuni, hidrocarburi). În aceste condiții, centrala poate funcționa tot timpul anului asigurând autonomia energetică a unei familii sau a unui areal (dimensionat corespunzător).

7.3. Concluzii și contribuții personale

Obținerea de energie electrică de la centralele termoelectrice-solare cu lentile Fresnel și motoare Stirling în condiții economice și de fiabilitate ridicată presupune o proiectare optimă în funcție de numeroși factori precum: amplasare centrală, zona climatică, necesarul de energie, tipurile de materiale, tipul de motor, lentile cu focar liniar sau punctiform, precum și dimensionarea corectă în funcție de cele necesare enumerate anterior.

Procesul de dimensionare al unei centrale termoelectrice-solare conectate la rețeaua electrică de distribuție constă, în principal, în identificarea necesarului de

energie, selecția tipurilor de lentile, motoare Stirling și a generatoarelor aferente; a invertoarelor, contoarelor electrice cu dublu sens, precum și determinarea dimensiunilor și configurației întregului ansamblu termic, și implicit, al performanțelor tehnice și economice estimate ale centralei termoelectrice-solare.

Dimensionarea optimă pentru o locație dată necesită o analiză a influențelor variabilelor zonei de amplasare, factori climatici, radiație solară, viteza vântului, temperatura, înclinație teren, factori de umbră.

Principale contribuții personale sunt după cum urmează:

- a) Analiza economică pentru instalația de centrală termoelectrică-solară propusă.
- b) Determinarea consumului necesar de energie electrică pentru o familie cu 4 persoane.
- c) Analiza zonei posibile de amplasare a centralei termoelectrice-solare.
- d) Dimensionarea unei centrale termoelectrice-solare pentru necesarul de consum electric și termic al unei familii cu 4 persoane.
- e) Conceperea schemei centralei termo-solare cu lentile Fresnel și motoare Stirling.
- f) Propunerea unui sistem inovativ de recuperare a energiei termice pierdute prin capul motorului Stirling și zona caldă a acestuia.
- g) Soluții de optimizare a unei centrale termoelectrice-solare în condițiile analizate în capitolele anterioare.

8. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

Preocuparea privind utilizarea surselor de energie regenerabile în vederea obținerii energiei electrice și termice este pe deplin justificată dacă se are în vedere rezervele limitate a resurselor energetice clasice. Din acest motiv la nivelul Uniunii Europene, deci și în România s-au luat o serie de măsuri pentru încurajarea acestor preocupări, inclusiv de natură financiară. Este demn de remarcat faptul că extinderea utilizării surselor de energie regenerabile contribuie și la reducerea poluării, deci implicit la asigurarea unor condiții mai bune de viață pentru populație.

Din studiul realizat rezultă în principal următoarele concluzii:

- a) Realizarea unei centrale termo-solare eficiente este posibilă doar în zonele în care radiația solară depășește $800\text{W}/\text{m}^2$. În România este satisfăcută această condiție pentru zonele I – IV privind potențialul energetic solar. Ceea ce reprezintă peste 80% din suprafața României. Din acest motiv și pentru țara noastră realizarea de centrale termo-solare contribuie într-un procent important la creșterea ponderii surselor regenerabile de energie în producerea energiei electrice și termice.
- b) Irradianța solară globală a zilei medii în Timișoara a fost: $1121\text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$ în anul 2010; $1257\text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$ în anul 2011; $1297\text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$ în anul 2012, iar media irradiației solare globale a zilei medii pentru cei trei ani (2010, 2011, 2012) a fost $1225\text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$.
- c) Utilizarea concentratoarelor de radiația solară permite folosirea motoarelor Stirling pentru antrenarea generatoarelor electrice. Motoarele Stirling sunt foarte fiabile și au costuri reduse în funcționare. Dintre diversele categorii de concentratoare lentilele Fresnel au un randament bun, motiv pentru care sunt cele mai utilizate.
- d) Principalele avantaje ale motoarelor Stirling sunt: pot utiliza orice sursă de căldură inclusiv energia solară; durată de funcționare mare; căldura reziduală este ușor de folosit; funcționare la temperaturi scăzute.
- e) Centrală termo-solară prevăzută cu sisteme automate pentru mișcarea pe două axe este cea mai scumpă, dar și cea mai eficientă, deoarece lentila Fresnel este poziționată automat astfel ca razele solare să aibă unghiul de incidență cât mai mic (tinde spre zero) în tot cursul zilei. În aceste condiții se asigură transferul cel mai mare de energie solară la lentila Fresnel.
- f) Prin amplasarea unor pâlnii din materiale termoconductoare (cupru, fier aluminiu) dar izolate termic față de mediul ambiant prin acoperirea suprafețelor exterioare ale pâlniilor cu două straturi din fibră ceramică se asigură un transfer termic spre motorul Stirling mai bun.
- g) Modelul analitic al motorului Stirling (modelul Schmidt) implementat în mediul de programare Matlab permite determinarea ciclului termodinamic de funcționare a motorului (diagrama P-V), a poziției pistoanelor și a randamentului.
- h) Randamentul cel mai bun calculat numeric ($26,75\%$ - în condiții de laborator, $24,05\%$ - în condiții reale) al motorului Stirling se obține atunci când pentru concentrarea energiei în zona caldă a motorului se folosește o pâlnie din aluminiu.
- i) Randamentul cel mai scăzut al motorului Stirling, atât în condiții de laborator cât și în condiții reale, se obține atunci când nu se folosește pâlnie pentru concentrarea energiei în zona caldă a motorului. În condiții de laborator randamentul obținut a fost de $22,59\%$, cu $18,4\%$ mai scăzut decât cea mai mare valoare, iar în condiții reale randamentul obținut a fost $11,52\%$ cu $52,1\%$ mai mic decât valoarea maximă obținută.

- j) Puterea maximă debitată de generatorul electric la aceeași putere furnizată de sursă, în condiții de laborator, se obține în cazul în care motorul Stirling este prevăzut cu o pâlnie din fier. Comparativ cu acest caz atunci când motorul Stirling este fără pâlnie generatorul electric debitează o putere maximă cu 46,9% mai mică decât atunci când motorul Stirling este prevăzut cu o pâlnie din fier. Dacă motorul Stirling este prevăzut cu o pâlnie din cupru puterea maximă debitată de generatorul electric este cu 21,1% mai mică decât atunci când motorul Stirling este prevăzut cu o pâlnie din fier. Dacă motorul Stirling este prevăzut cu o pâlnie din aluminiu puterea maximă debitată de generatorul electric este cu 20,2% mai mică decât atunci când motorul Stirling este prevăzut cu o pâlnie din fier. Aceste precizări evidențiază faptul că transferul de căldură de la sursa de căldură la motorul termic în condiții de laborator se realizează cel mai eficient atunci când motorul Stirling este prevăzut cu o pâlnie din fier și cel mai neeficient atunci când motorul Stirling nu este prevăzut cu pâlnie. Deci una din măsurile necesare a se implementa pentru a obține un transfer termic mai bun de la sursa de căldură la motorul Stirling constă în montarea unei pâlnii din fier la motorul Stirling.
- k) Modelul numeric al motorului Stirling implementat în mediul de programare COMSOL Multiphysics 3.5. permite analiza regimului termic de transfer a căldurii în interiorul motorului. Determinarea experimentală a temperaturilor în interiorul motorului este foarte complicată. Prin utilizarea modelului numeric se elimină această dificultate. Modelul numeric permite analizarea transferului de căldură din interiorul motorului și pentru alte tipuri de materiale utilizate în construcția acestuia.
- l) Modelul numeric al generatorului electric implementat în mediul de programare Matlab Simulink permite analiza regimului tranzitoriu ce se produce la pornirea generatorului. Modelul implementat permite modificarea parametrilor generatorului electric și vitezei de rotație a rotorului generatorului.
- m) În condiții reale de funcționare a centralei termo-solare cu lentilă Fresnel se constată că temperaturile din focar (T_1), din zona caldă (T_2), respectiv din zona rece (T_3) a motorului Stirling prezintă variații în timp foarte mari și neregulate. Rezultatele experimentale obținute pentru cele trei temperaturi în condiții de laborator sunt prezentate în diagramele din figurile 6.8, 6.12, 6.16, 6.20 și 6.26. Din aceste diagrame rezultă că variația în timp a temperaturii din focar (T_1), din zona caldă (T_2), respectiv din zona rece (T_3) a motorului Stirling este mult mai scăzută decât în condiții reale de funcționare a centralei termo-solare.
- n) Din figurile 6.5, 6.9, 6.13, 6.17, în care s-a reprezentat dependența tensiunii la bornele generatorului funcție de timp, dependențe obținute cu sistemul de achiziții de date, se constată că tensiunea scade odată cu creșterea timpului. Această variație se explică prin faptul că sarcina pe care debitează generatorul scade de la valoarea de 1100Ω la 100Ω . Comparând figurile 6.5, 6.9, 6.13, 6.17 cu figura 6.21 se constată o diferență importantă. Această diferență este justificabilă deoarece în figura 6.21 s-a considerat tensiunea electromotoare a generatorului constantă în timp, ipoteză care nu este valabilă pe durată măsurărilor deoarece turația rotorului generatorului pe durată măsurărilor nu a fost constantă. În cazul motorului Stirling fără pâlnie turația a variat între 291 și 613 rot/minut, la cel cu pâlnie din cupru turația a variat între 185 și 474 rot/minut, la cel cu pâlnie din fier turația a variat între 244 și 524 rot/minut, iar la cel cu pâlnie din aluminiu turația a variat între 234 și 501 rot/minut.
- o) Utilizarea centralelor termoelectrice-solare cu lentile Fresnel și motoare Stirling pentru obținerea energiei electrice necesită o proiectare optimală având în vedere mai mulți factori precum: locul de amplasare a centralei; sursa de energie solară - zona climatică, necesarul de energie necesară consumatorilor; tipurile de materiale utilizate în construcția centralei; tipul de motor Stirling utilizat; tipul de lentile folosit (cu focar liniar sau punctiform). Pentru a crește eficiența energetică a centralei se

propune realizarea unui sistem de țevi care înfășoară zona caldă a radiatorului (figura 7.4).

- p) Dimensionarea unei centrale termoelectrice-solare conectate la sistemul electro-energetic necesită în principal, în identificarea necesarului de energie a consumatorilor, selectarea optimă a următoarelor elemente componente: lentile; motoare Stirling; generatoare electrice; invertoare; contoare electrice cu dublu sens. Un exemplu de centrală termo-solară cu lentile Fresnel și motoare Stirling care funcționează conectat la sistemul electroenergetic este prezentat în figura 7.5.

Contribuții personale

Principale contribuții științifice ale doctorandei sunt:

- a) Conceperea și implementarea în mediul de programare Excel a modelului Hotell&Bugler pentru calculul radiației solare și analiza potențialului energetic solar din zona de Vest a României.
- b) Studiul comparativ asupra potențialului solar în partea de sud vest a României bazat pe măsurători efectuate în cadrul Departamentului BFI și preluate din literatura de specialitate (Universitatea de Vest, Facultatea de Fizică, Fraunhofer-Institute for Solar Energy Systems). Rezultatele obținute au fost prezentate în lucrarea cu titlul „Analiza comparativă a potențialului solar în regiunea de Sud-Vest a României”, publicată în volumul Conferinței Naționale *Instalații pentru Construcții și Confortul Ambiental*, organizată de Universitatea Politehnica din Timișoara și Asociația Inginerilor de Instalații din România, 2013.
- c) Analiza radiației solare pornind de la datele furnizare de platforma solară a UVT, în scopul de a determina parametrii optimi de funcționare ai unei instalații experimentale de centrală termoelectrică solară cu motor Stirling și lentile Fresnel. Rezultatele obținute au constituit subiectul lucrării cu titlul “Characteristics of solar radiation in region close to Timișoara”, prezentată la Conferința Internațională RAD2014 - *Second International Conference on Radiation and Dosimetry in Various Fields of Research*. Lucrările conferinței au fost publicate în volumul Safety Engineering Nr. 4, 2014.
- d) Sinteza bibliografică privind tipurile de sisteme pentru urmărirea Soarelui pe cer. Rezultatele sintezei au fost prezentate și publicate în lucrarea: “Sistem pentru urmărirea Soarelui în vederea concentrării radiației solare cu lentile Fresnel”, Lucrarea a fost prezentată la Conferința Instalații pentru Construcții și confortul ambiental, ediția 22, Editura Politehnica din Timișoara, 2013.
- e) Analiza posibilităților de utilizare a concentratoarelor cu lentile Fresnel în zona de Vest a României. Rezultatele obținute au fost prezentate în lucrarea „Studiu privind aplicabilitatea concentratoarelor cu lentile Fresnel în regiunea Timișoarei”. Lucrarea a fost susținută la Conferința Națională *Instalații pentru construcții și confort ambiental* ediția 22, Timișoara, 2013.
- f) Sinteza a literaturii de specialitate privind tipurile constructive existente de motoare Stirling în vederea identificării variantei corecte de motor Stirling pentru a fi utilizat în realizarea instalației experimentale de centrală termoelectrică solară cu motor Stirling și lentile Fresnel.
- g) Conceperea și realizarea celor 3 tipuri de modele experimentale pentru centrala termo-solară cu motor Stirling și lentilă Fresnel. Rezultate parțiale au fost prezentate și în lucrarea “System for following the Sun on the sky in order to concentrate solar radiation with Fresnel lenses” Lucrarea a fost susținută la Conferința Națională *Instalații pentru construcții și confort ambiental* ediția 22, Timișoara, 2013, respectiv în lucrarea Design And Construction of a Thermosolar Instalation with Fresnel Lens and Stirling Engine, publicată în Buletinul Științific al Universității Politehnica Timișoara, Seria Matematică – Fizică, Volume 60(74), Issue 2, 2015.

- h) Conceperea și realizarea celor trei tipuri de pâlnii (cupru, fier, aluminiu, cu și fără straturi izolatoare din fibră de ceramică, necesare motorului Stirling pentru a îmbunătăți transferul de energie din pata focală a lentilei Fresnel la zona caldă a motorului Stirling. Prin acest procedeu s-a îmbunătățit transferul termic de la sursă la motorul Stirling cu aproximativ 46%. Rezultatele cercetării au fost publicate în lucrarea "Innovative systems for supplying heating-cooling systems with zero CO₂ emissions in EU cities" prezentată la a 11th International Conference ELSEDDIMA – Environmental Legislation, Safety Engineering and Disaster Management, Cluj-Napoca, 2016.
- i) Determinarea ciclului de funcționare, utilizând modelul Schmidt implementat în mediul de programare Matlab, a motorului Stirling în variantele: fără pâlnie; cu pâlnie din cupru; cu pâlnie din aluminiu - în condiții de laborator și în condiții reale de funcționare a motorului Stirling. Rezultatele obținute au fost publicate în lucrarea cu titlul "Combined Simulations Of Heat Transfer And Thermodynamic Cycle Processes Inside A Beta Stirling Engine By Using Two Different Software`s", prezentată la conferința internațională *Global Conference on Applied Physics and Mathematics*, APM2016, Roma, 2016.
- j) Analiza transferului de căldură în interiorul motorului Stirling, considerând regim staționar sau tranzitoriu, utilizând mediul de programare COMSOL Multiphysics în care este implementată metoda elementului finit pentru rezolvarea ecuației diferențiale de transfer a energiei termice. Rezultatele obținute au fost prezentate în lucrările: "Modern Education on Renewable Energies by Using Numerical Finite Element Method of a Solar Powered Stirling Engine with Heat Transfer Simulations", prezentată și publicată în volumul conferinței *International Symposium of Electronics and Telecommunications ISETC 2016*; „Numerical Simulation of Heat Transfer inside a Beta Type Stirling Engine Using Concentrated Solar Energy and Artificial Heat Source”, prezentată la conferința *Global Conference on Applied Physics and Mathematics*, APM2016; „Combined Simulations of Heat Transfer and Thermodynamic Cycle Processes Inside a Beta Stirling Engine by Using Two Different Software`s”, prezentată la conferința *Global Conference on Applied Physics and Mathematics*, APM2016.
- k) Analiza regimului de pornire al generatorului electric utilizând modelul numeric al generatorului în mediul de programare Matlab Simulink.
- l) Conceperea și realizarea schemelor necesare determinărilor experimentale atât în laborator cât și în condiții reale de funcționare a centralei termo-solare cu lentilă Fresnel și motor Stirling.
- m) Determinarea experimentală a randamentului lentilei Fresnel, a transferului termic de la sursă (în condiții de laborator și în condiții reale) la motorul Stirling, a randamentului motorului Stirling (în condiții de laborator și în condiții reale), a variației în timp a tensiunii la bornele generatorului și a curentului de sarcină utilizând un sistem de achiziții date ce utilizează mediul de programare LabVIEW, și a puterii debitate de generatorul electric funcție de rezistența de sarcină.
- n) Determinarea experimentală a temperaturii din focar (T_1), din zona caldă (T_2), respectiv din zona rece (T_3) a motorului Stirling în condiții de laborator și în condiții reale de funcționare a centralei termo-solare.
- o) Stabilirea condițiilor optime pentru alegerea elementelor componente ale unei centrale termo-solare cu lentilă Fresnel și motor Stirling, inclusiv a sistemului automat de corectare a poziției lentilei funcție de poziția soarelui, pentru ca centrala să funcționeze optimal din punct de vedere tehnic și economic.
- p) Dimensionarea unei centrale termoelectrice-solare cu lentile Fresnel și motoare Stirling pentru a asigura necesarul de energie electrică și termică al unei familii cu 4 persoane și conceperea unui sistem de recuperare a energiei termice de la motorul Stirling.

BIBLIOGRAFIE

1. [Abagiu2016] S.F. Abagiu, Optimizări la sistemele electrice cu centrale fotovoltaice, Teză de doctorat, Universitatea Transilvania din Braşov, 2016.
2. [Abete2013] A. J. Abete, "Testing and optimization of the performance of a Stirling engine", lucrare master, 2013;
3. [ADR2010] Analiza emisiilor de gaze cu efect de seră la nivelul regiunii centru în contextul schimbărilor climatice. Identificarea soluțiilor privind eficiența energetică și utilizarea energiilor regenerabile. Lucrarea elaborată în cadrul ADR Centru, septembrie 2010.
4. [Aksoy2013] F. Aksoy, H. Karabulut, Performance testing of a Fresnel/Stirling micro solar energy conversion system, *Energy Conversion and Management* 75, pg. 629-634, 2013.
5. [ANRE2013] Raport National 2013, Autoritatea Națională de Reglementare în Domeniul Energiei - ANRE. Iulie 2014.
6. [Bădescu2013] V. Bădescu, C. A. Gueymard, S. Cheval, C. Oprea, M. Baci, A. Dumitrescu, F. Iacobescu, I. Milos, C. Rada, Accuracy and sensitivity analysis for 54 models of computing hourly diffuse solar irradiation on clear sky. *Theoretical and Applied Climatology* 111(3): 379-399, 2013.
7. [Baehr2006] H. D. Baehr, K.I. Stephan, *Heat and Mass Transfer*, 2nd Edition, Springer, ISBN-3-540-29526-7, pg. 10-12, 2006.
8. [Bălan2013] M. Bălan, *Energii regenerabile*, Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, editura UT PRES, ISBN: 978-973-662-350-9, 2007.
9. [Banu2011] I.V. Banu, Soluții de optimizare a conversiei energiei fotovoltaice în energie electrică, Lucrare de disertație, Universitatea "Vasile Alecsandri din Bacău, Facultatea de Inginerie, Masterat Universitar: ETME, Bacău, 2011.
10. [Barvinschi1997] F. Barvinschi, "Finite Element Analysis for Crystal Growth Modelling", *Proceedings of 7-th Symposium of Mathematics and its Applications*, Timișoara, 1997, 262-270.
11. [Barvinschi2011] P. Barvinschi, F. Barvinschi, "Coupled Heat Transfer and Fluid Dynamics Modeling of InSb Solidification", *Physics Conference Tim-10*, Timișoara, 2010, AIP Conference Proceedings, 2011, 1387, 190-197.
12. [Biga1980] J. BIGA, R. ROSA, Estimating solar irradiation sums from sunshine and cloudiness observations, *Solar Energy*, Vol. 25, pg. 265 - 272, 1980.
13. [Breyer2012] C. Breyer, "Economics of Hybrid Photovoltaic Power Plants", *Deutsche Nationalbibliothek*, 2012.
14. [Bugler1977] Bugler J.W., "The determination of hourly insolation on an inclined plane using a diffuse irradiance model based on hourly measured global horizontal insolation", *Solar Energy*, Vol. 19, pg. 477-491, DOI: 10.1016/0038-092x(77)90103-7, 1977.
15. [Călinoiu2012] D.G. Călinoiu, „Cercetări privind influența aerosolilor asupra potențialului energetic solar prin investigarea transferului radiativ în atmosferă”, teză de doctorat, seria 9, nr. 120, pg.32-37, 2012.
16. [Câmpan2012] P. Câmpan, C. D. Deac, "Concentratoare De Radiație Solară Pentru Conversia Heliotermică" , a XII-a Conferință Națională Multidisciplinară, Sebeș 2012.

17. [Chen2012] Chieh-Li Chen, Chia-En Ho and Her-Terng Yau, "Performance Analysis and Optimization of a Solar Powered Stirling Engine with Heat Transfer Considerations", *Energies* 2012, 5, 3573-3585; doi:10.3390/en5093573, 2012.
18. [Chen2014] H. Chen, S. Czerniak, E. De La Cruz, W. Frankian, G. Jackson, A. Shiferaw, E. Stewart, „Design of a Stirling Engine for Electricity Generation”, A Major Qualifying Project Submitted to the faculty of Worcester Polytechnic Institute, 2014.
19. [Cheng2009] T. C. Cheng, C. H. Cheng, Y. H. Mou, Y. J. Yu, K. C. Chang, S. J. Shih, T. S. Lee, K. M. Chung, „Design and Construction of a Heat Collection Solar Tracker with Constant Focal Distance for Solar Stirling Engine Application”, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, vol. 58, pg. 1028-1032, 2009.
20. [Cheng2012] C.H.Cheng, H.S.Yang, „Optimization of geometrical parameters for Stirling engines based on theoretical analysis”, *Applied Energy Journal* 92, pg. 395-405, doi:10.1016/j.apenergy.2011.11.046, 2012.
21. [Cheng2016] T. C. Cheng, C. K.Yang, I Lin, Biaxial-Type Concentrated Solar Tracking System with a Fresnel Lens for Solar-Thermal Applications, *Appl. Sci.* 2016, 6(4), 115; doi:10.3390/app6040115
22. [Chin2011] Chin, C.S.; Babu, A.; McBride, W., „ Design, modeling and testing of a standalone single axis active solar tracker using MATLAB/Simulink”, *Renewable Energy*, pg. 3075-3090, 2011.
23. [Cody1977] R. M. Cody, „Solar concentration by curved-base Fresnel lenses”, *Nasa Contractor Report, National Aeronautics And Space Administration Washington D. C.*,1977.
24. [Coste2011] Coste A. L, „Modelarea radiației solare pentru optimizarea proiectării sistemelor de conversie a energiei solare”, teză de doctorat, *Universitatea Transilvania din Brașov*, 2011.
25. [De Sabata2010] C. De Sabata, I. Luminosu, A. De Sabata, „Tradiție și perspective în energia solară la Universitatea Politehnica Timișoara”, *Ed. Excelsior Art*, pg. 16-20, 2010.
26. [De Sabata2013] A. De Sabata, I. Luminosu, **S. Ilie**, „Studiu privind aplicabilitatea concentratoarelor cu lentile Fresnel în regiunea Timișoarei”, în volumul Conferinței „Instalații pentru construcții și confort ambiental”ediția 22, pg. 160 – 165, Timișoara, 2013.
27. [De Sabata2015] A. De Sabata, I. Luminosu, D. Mărgineanu, **S. Ilie**, D. Jovanović, D. Krstić, „Economics of a Small-Scale, Grid-Connected PV System in Western Romania: an LCoE Analysis”, 11th International Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC 2014), pp.13-17, 2015.
28. [Drugărin2014] C.V.A. Drugărin, L. Cîndea, „Proiectarea instalației electrice cu sistem fotovoltaic optim cuplat la rețea, cu ajutorul unui software dedicat”, A XIV-a Conferință Internațională - multidisciplinară, Profesorul Dorin Pavel-fondatorul hidroenergeticii românești, Sebeș, pg. 399-408, 2014.
29. [Ferreira2014] Ana C. Ferreira, Ricardo F. Oliveira, Manuel L. Nunes, Luís B. Martins, and Senhorinha F. Teixeira, " Modelling and Cost Estimation of Stirling Engine for CHP Applications", *Proceedings of the 2014 International Conference on Power Systems, Energy, Environment*, 2014.
30. [Ferreira2014a] Ana C. Ferreira, Manuel L. Nunes, Luís B. Martins, Senhorinha F. Teixeira, "Thermal Analysis and Cost Estimation of Stirling Cycle Engine", *WSEAS Transactions On Power Systems*, Volume 9, pg. 341-351, E-ISSN: 2224-350X, 2014.

31. [Gallitto2011] A. Gallitto, E. Fiordilino, „A didactic experiment and model of a flat-plate solar collector”, *Phys. Educ.* 46, pg. 312-317, 2011.
32. [Gheith2015] R. Gheith, H. Hachem, F. Aloui, S. Ben Nasrallah, „Experimental and theoretical investigation of Stirling engine heater: Parametrical optimization”, *Energy Conversion and Management* 105, pg. 285–293, 2015.
33. [Gheorghe2011] A. Gheorghe, L. Mureșan, S. Celac, S. Caceu, C. Degeratu, L. Lenes, C. Kanovits, R. Bores, C. Prebensen, T. Refvem, „Energy Security, International and Local Issues, Theoretical Perspectives and Critical Energy Infrastructures”, Springer, ISBN:978-94-007-0719-1, pg.337-412, 2011.
34. [Ghozzi2015] S. Ghozzi and R. Boukhanouf, “ Computer Modeling of a Novel Mechanical Arrangement of a Free-Piston Stirling Engine”, *Journal of Clean Energy Technologies*, Vol. 3, No. 2, March 2015
35. [Gopal2012] V.K. Gopal, “Active Stirling Engine”, Universitatea Canterbury, 2012
36. [GSR2015] Anual Reporting on Renewables: Ten Years of excellence, Global Status Report, Renewables 2015.
37. [Gueymard1993] Gueymard C., „Mathematically integrable parameterization of clear-sky beam and global irradiances and its use in daily irradiation applications”, *Solar Energy, Journal of Solar Energy Science and Engineering*, Vol.50, pg. 385-397, 1993.
38. [Gueymard1995] Gueymard, C., „SMARTS2, a simple model of the atmospheric radiative transfer of sunshine: algorithms and performance assessment”, Florida Solar Energy Center, pg. 1-84, 1995.
39. [Gueymard2002] Gueymard C.A., Myers D., Emery K., „Proposed reference irradiance spectra for solar energy systems testing”, *Solar Energy* 73(6), pp. 443–467, 2002.
40. [He2008] M. He, S. Sanders, „Design of a 2.5kW Low Temperature Stirling Engine for Distributed Solar Thermal Generation”, American Institute of Aeronautics and Astronautics, University of California - Berkeley, Berkeley, USA, 2008.
41. [Hermenean2011] I. S. I. Hermenean, „Optimizarea eficienței sistemelor fotovoltaice prin orientare biaxială și concentrare a radiației folosind oglinzi plane”, teză de doctorat, Universitatea Transilvania din Brașov, Școala Doctorală Interdisciplinară, Centrul de cercetare: Sisteme de Energii Regenerabile și Reciclare, Brașov, 2011.
42. [HG2004] Hotărârea nr. 1535/2003 privind aprobarea Strategiei de valorificare a surselor regenerabile de energie, Guvernul României, 2004.
43. [HG2013] HG529 din 2013 pentru aprobarea Strategiei naționale a României privind schimbările climatice, Guvernul României, 2013-2020.
44. [Hirata2008] K. Hirata, “Schmidt theory for Stirling engines”, Musashino-jjutaku 6-103, Gakuen 2-36-1, Musashimurayama, Tokyo, Japonia, 2008.
45. [Holman2002] J. P. Holman, “Heat Transfer”, 9th ed. New York: McGraw- Hill, 2002.
46. [Homutecu2003] C.A. Homutescu., Savitescu Gh., Jugureanu E., Homutecu V.M., “Introducere în mașini Stirling”, pg. 67-92, ISBN 973-8000-90-4, Ed. CERMI, Iași, 2003.
47. [Hottel1976] Hottel H.C., „A simple model for estimating the transmittance of direct solar radiation through clear atmosphere”, *Solar Energy*, Vol. 18, pg. 129-139, 1976.
48. [Ilie2013] **Ilie S.**; Toader D.; Căta I.; Blaj C., „Magnetic flux calculations inside multi-wire conductors”, EUROCON 2013 Conference, Pg: 1003-1010; ISBN:978-1-4673-2232-4; 978-1-4673-2230-0, 2013

49. **[Ilie2013a] Ilie S.**; Blaj C.; Căta I.; Toader D., „Analysis of Positive and Negative Sequence Parameters of Overhead Power Lines over Transient Phases Caused by Short-circuits”, 8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE) Bucharest, 2013.
50. **[Ilie2015] S. Ilie**, I. Luminosu, D. Toader, A. De Sabata, T. Zamfir, „Design and construction of a thermosolar instalation with Fresnel lens and Stirling engine”, Buletinul Științific al Universității Politehnica Timișoara, Seria Matematică – Fizică, Volume 60(74), Issue 2. 2015.
51. **[Ilie2016] S. Ilie**, T. Zamfir, I. Luminosu, D. Toader, “Innovative systems for suppling heating-cooling systems with zero CO₂ emissions in EU cities”, Elsedima 11th International Conference, Cluj-Napoca, 2016.
52. **[Ilie2016a] S. Ilie**, D. Toader, F. Barvinschi, “Modern Education on Renewable Energies by Using Numerical Finite Element Method of a Solar Powered Stirling Engine with Heat Transfer Simulations”, International Symposium of Electronics and Telecommunications ISETC 2016.
53. **[Ilie2016b] S. Ilie**, D. Toader, I. Luminosu, M. Greconici, F. Barvinschi, “Numerical Simulation of Heat Transfer inside a Beta Type Stirling Engine Using Concentrated Solar Energy and Artificial Heat Source, Global Conference on Applied Physics and Mathematics, APM2016
54. **[Ilie2016c] S. Ilie**, F. Barvinschi, D. Toader, M. Greconici, I. Luminosu, A. De Sabata, “Combined Simulations Of Heat Transfer And Thermodynamic Cycle Processes Inside A Beta Stirling Engine By Using Two Different Software`s”, Global Conference on Applied Physics and Mathematics, APM2016, Roma, 2016.
55. [INSR2013] Resursele și consumurile energetice în anul 2012, Comunicat de presă, Institutul Național de Statistică, 2013.
56. [Ionel2002] I. Ionel, F. Barvinschi, P. D. Oprisa, “Modélisation du dépôt chimique en phase de vapeur du Si poly-cristallin, Colloque Franco-Roumain CUFRET`02, Universitatea "Politehnica" București, Ed. CONPRESS, 2002, 49-52.
57. [Ionescu2006] C. Ionescu, C. Moldovan, „Impactul efluenților gazoși rezultați la arderea cărbunelui asupra mediului și organismului uman”, Buletinul AGIR nr. 3/2006, iulie-septembrie, pg. 99-102, 2006.
58. [IREA2012] Renewable energy technologies: cost analysis series, Concentrating Solar Power, International Renewable Energy Agency, Volume 1: Power Sector, Issue 2/5, 2012.
59. [Jahromi2011] M. Z. Jahromi, M.M.H. Bioki, R. Fadaeinedjad, “Simulation of a Stirling Engine Solar Power Generation System Using Simulink”, Acemp, Electromotion 2011, Istanbul, Turcia, DOI: 10.1109/ACEMP.2011.64906818-10, Septembrie 2011
60. [Janjai2011] S. Janjai , K. Sricharoen, S. Pattarapanitchai, „Semi-empirical models for the estimation of clear sky solar global and direct normal irradiances in the tropics”, Applied Energy 88, 4749–4755, 2011.
61. [Jing2014] Lei Jing, Hua Liu, Yao Wang, Wenbin Xu, Hongxin Zhang, Zhenwu Lu, „Design and Optimization of Fresnel Lens for High Concentration Photovoltaic System”, International Journal of Photoenergy, Vol. 2014, 2014.
62. [Lege1994] Lege nr. 24 din 06/05/1994 Publicat în Monitorul Oficial, Partea I nr. 119 din 12/05/1994, Parlamentul României.
63. [Li2013] P-W. Li, P. Kane, M. Mokler, „Modeling of solar tracking for giant Fresnel lens solar stoves”, Solar Energy 96 , pg. 263–273, 2013.
64. [Lie2012] T. Lia, D. Tanga, Z. Lia, J. Dua, T. Zhou, Y. Jiab, “ Development and test of a Stirling engine driven by waste gases for the micro-CHP system”, Applied Thermal Engineering 33-34,119e123,2012.

65. [Lorenzo1981] E. Lorenzo, A. Luque, "Fresnel lens analysis for solar energy applications", *Applied Optics*, Vol. 20, Issue 17, pp. 2941-2945 (1981)
66. [Luminosu1993] Luminosu. I., „Ridicarea randamentului captatorilor solari plani prin studiul fenomenelor fizice implicate în termoconversie”, Teză de doctorat, Timisoara, 1993.
67. [Luminosu2007] Luminosu. I., „Fenomene termice și aplicații ale conversiei termosolare”, Ed. Politehnica, pg.13-20, 2007.
68. [Luminosu2013] Luminosu, A. De Sabata, **S. Ilie**, "Analiza comparativă a potențialului solar în regiunea de Sud-Vest a României", *Instalații pentru Construcții și Confortul Ambiental*, Universitatea Politehnica din Timișoara, AIIR, Editia 22, pg. 147-155, 2013.
69. [Luminosu2014] Luminosu, A. De Sabata, **S. Ilie**, D. Jovanović, D. Krstić, „Characteristics of solar radiation in region close to Timișoara”, *RAD2014, Safety Engineering Vol. Nr. 4*, pg. 163-166, DOI: 10.7562/SE2013.3.04.01, 2014.
70. [Luminosu2015] I. Luminosu, A. De Sabata, D. Toader, D. Margineanu, **S. Ilie**, "Conception of a master degree program în Solar Energy: Infrastructure, Structure and Results", *Environmental Engineering and Management Journal*, 2015.
71. [Maier2000] Maier V., Maier C. D., *LabVIEW în calitatea energiei electrice*, Editura Albastră, Cluj-Napoca, 2000.
72. [Martaj2009] N. Martaj, P. Rochelle, L. Grosu, R. Bennacer, S. Savarese, "Numerical Study of an LTD Stirling engine with a porous regenerator", *Comsol Conference - Milano, Italia*, 2009.
73. [Mishra2014] D. Mishra, S. Chaudhary, „Thermodynamic Modeling And Performance Analysis of Stirling Engine Cycle”, *International Journal of Innovative Research în Engineering & Science*, ISSN 2319-5665, vol. 8, issue 3, 2014.
74. [Narayan2015] S. Narayan, V. Gupta, „Overview of working of Striling engines”, *Journal of Engineering Studies and Research – Volume 21, No. 4*, pg. 45-53, 2015.
75. [Nicolescu2013] M. A. Nicolescu, „Protejarea mediului înconjurător prin promovarea exploatării surselor regenerabile de energie”, *Programul de Cooperare Transfrontalieră România-Bulgaria 2007-2013*, Nr. aplicație proiect: 2(4.i)-2.1-6, MIS-ETC CODE 594.
76. [Pachauri2007] R. K. Pachauri, A. Reisinger, *Synthesis Report, „Climate Change 2007”, The Intergovernmental Panel on Change*, 2007.
77. [Papatulică2013] M. Papatulică, P. Prisecaru, „Dinamica energiilor regenerabile în UE și România”, *Institutul Național de Cercetări Economice, Academia Română, București*, 2013.
78. [Paulescu2003] M. Paulescu, Z. Schlett, „A simplified but accurate spectral solar irradiance model”, *Theor. Appl. Climatol.*, vol. 75, pg. 203-212, DOI 10.1007/s00704-003-0731-y, 2003.
79. [Paulescu2004] M. Paulescu, Z. Schlett, „Performance assessment of global solar irradiation models under Romanian climate”, *Elsevier, Renewable Energy*, Volum 29, nr. 5, Pg. 767-777, 2004.
80. [Paulescu2010] M. Paulescu, C. Dughir, E. Tulcan-Paulescu, M. Lascu, P. Gravila, T. Jurca, „Solar Radiation Modeling and Measurements in Timisoara, Romania: Data and Model Quality”, *Environmental Engineering and Management Journal (EEMJ) Vol.9, Nr.8*, pg. 1089, 2010.
81. [Paulescu2013a] M. Paulescu, E. Paulescu, P. Gravila, V. Badescu, „Weather Modeling and Forecasting of PV Systems Operation”, *Green Energy and Technology*, capitolul 2, pg. 17-39 DOI: 10.1007/978-1-4471-4649-0_2, Springer-Verlag London, 2013.

82. [Paulescu2013b] M. Paulescu, E. Paulescu, P. Gravila, V. Badescu, „Weather Modeling and Forecasting of PV Systems Operation”, pg. 127-132, Springer, 2013.
83. [Petre2007] C. Petre, „Utilisation de la Thermodynamique à Vitesse Finie pour l'Etude et l'Optimisation du Cycle Carnot et des Machines de Stirling”, teză, Universitatea Politehnica din București, 2007.
84. [PHARE2003] PHARE, Despre Politica de Energie a Uniunii Europene, 2003
85. [Piacentini2013] R. D. Piacentini, J. A. Schmidt, N. Budin, M. Vega, E. Giandoménico, N. Feldman, R. Buitrago, „Photovoltaic materials and solar power plant optimization design in relation to its environmental impact”, Materials and processes for energy: communicating current research and technological developments (A. Méndez-Vilas, Ed.), Formatex Research Center, 2013.
86. [Plan2013] Plan Național de acțiune în domeniul eficienței energetice, 2013.
87. [Purica2015] I. Purica, C. Uzlaș, S. Dinu, „Evaluarea impactului reducerii emisiilor de gaze cu efect de seră asupra economiei românești prin utilizarea relațiilor tehnologice și de interdependență dintre ramuri”, 2015.
88. [Rabl1976] Rabl, A., „Comparison of Solar Concentrators”, Solar Energy, Vol. 18, pg. 93-111, Pergamon Press, 1976.
89. [Raport2013] Raport de expertiză, Domeniul 11, Potențial energetic, Dezvoltarea de instrumente și modele de planificare statistică teritorială pentru sprijinirea viitoarei perioade de programare post2013, 2013.
90. [Roy1988] Roy C. Tew, Jr., „Overview of Heat Transfer and Fluid Flow Problem Areas Encountered in Stirling Engine Modeling”, NASA Technical Memorandum, 1988.
91. [Ryu2006] K. Ryu, J.-G. Rhee, K.-M. Park, J. Kim, „Concept and design of modular Fresnel lenses for concentration solar PV system”, Solar Energy Vol. 80, pg. 1580-1587, 2006.
92. [Shazly2014] J.H. Shazly, A.Z. Hafez, E.T. El Shenawy, M.B. Eteiba, „Simulation, design and thermal analysis of a solar Stirling engine using MATLAB”, Energy Conversion and Management 79, 626-639, Martie 2014;
93. [Siegel1992] R. Siegel, J. R. Howell, „Thermal Radiation Heat Transfer”, Hemisphere Publishing Corporation, Washington D.C., 1992.
94. [Snyman2008] H. Snyman, T. M. Harms, J. M. Strauss, „Design analysis methods for Stirling engines”, Journal of Energy în Southern Africa, Vol 19, No 3, August 2008.
95. [Sookramoon2016] K. Sookramoon, P. Bunyawanichakul, B. Kongtragool, „Experimental Study of a 2-stage Parabolic Dish-Stirling Engine in Thailand”, Walailak J Sci & Tech; Vol. 13, nr.8, pg. 579-594, 2016.
96. [Șorândaru2013] Șorândaru, **S. Ilie**, T. Zamfir, I. Luminosu, „System for following the Sun on the sky in order to concentrate solar radiation with Fresnel lenses”, Installations for construction and ambient comfort, AIIR, 22nd edition, pp. 160-165, 2013.
97. [Spencer1971] W. Spencer, „Fourier series representation of the position of the Sun”, Vol. 2, nr.5, 1971.
98. [Stănescu2014] M. Stănescu, C. Ocnarescu, F.I.T. Petrescu, „Contribuții la studiul mecatronicii motoarelor Stirling”, Sesiunea Științifică Studentească, UPB, București, România, Volume: 1, 2014.
99. [Stirling4] Stirling engine model 4 owner's manual
100. [StirlingG] Stirling Motor G U10050 manual

101. [Stoica2013] V. Stoica, M. Enache, „Utilizarea motorului Stirling în cadrul instalațiilor de producere a energiei electrice și/sau termice de uz individual”, în volumul Conferinței „Instalații pentru construcții și confort ambiental”ediția 22, aprilie, 173 – 180, Timișoara (2013)
102. [Strategia2011] Strategia energetică a României pentru perioada 2007 - 2020 actualizată pentru perioada 2011 – 2020.
103. [Strategia2012] Raport - Strategia Națională asupra Schimbărilor climatice 2012-2020, Ministerul Mediului și Pădurilor, 2012.
104. [Sukki2010] F. Muhammad-Sukki, R. Ramirez-Iniguez, S.G. McMeekin, B.G. Stewart & B. Clive, Solar Concentrators, International Journal of Applied Sciences - IJAS, Volume 1, Issue 1, 2010.
105. [Swanson2000] R.M. Swanson, "The promise of concentrators", Prog. Photovolt. Res. Appl. 8, pg. 93-111, 2000.
106. [Tudorel2014] Tudorel A., D. I. Gherghuț, G. P. Jifcu, I. Dumitrescu, A. Ciucea, D. Badea, România în cifre, Institutul Național de Statistică, 2014.
107. [Turcu2009] I. Turcu, Studiu privind evaluarea potențialului energetic actual al surselor regenerabile de energie în România (solar, vânt, biomasă, microhidro, geotermie), identificarea celor mai bune locații pentru dezvoltarea investițiilor în producerea de energie electrică neconvențională, ICEMERENG SA, 2009.
108. [Turcu2014] I. Turcu, Studiu privind evaluarea potențialului energetic actual al surselor regenerabile de energie în Romania (solar, vânt, biomasă, micro-hidro, geotermie), identificarea celor mai bune locații pentru dezvoltarea investițiilor în producerea de energie electrică neconvențională, ICEMENERG SA, 2014.
109. [UPT2012] Proiect PN-II-IN-CI-2012- 1-0104, „Realizarea și testarea în vederea certificării și producerii sale în serie a prototipului unei microcentrale termoelectrice solare cu lentile Fresnel și motor Stirling, beneficiar: SC Energosophia SRL”, Furnizor de servicii: Universitatea Politehnica Timișoara.
110. [Uzuna2010] R. Uzuna, „Învață să trăiești cu ursul la ușă, Romania și securitatea energetică europeană”, Centrul Român de Politici Europene, 2010.
111. [Weber1992] E. Weber, Stirling engine with heat exchanger, Patent: US 5337563 A, 1992.
112. [Xie2011] W. T. Xie, Y. J. Dai, R. Z. Wang, K. Sumathy, "Concentrated solar energy applications using Fresnel lenses: A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, pg 2588– 2606, 2011.
113. [Wood2003] J. G. Wood, N. Lane, „Advanced 35 W Free-Piston Stirling Engine for Space Power Applications”, Space Technology and Applications International Forum--STAIF 2003, American Institute of Physics 0-7354-0115-2, 2003.
114. [Wua2012] Y. Wua, P. Eames, T. Mallick, M. Sabry, "Experimental characterisation of a Fresnel lens photovoltaic concentrating system", Solar Energy 86, pg. 430–440, 2012.
115. [Xie2011] W.T. Xie, Y.J. Dai, R.Z. Wang, K. Sumathy, „Concentrated solar energy applications using Fresnel lenses: A review”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, pg. 2588–2606, 2011.
116. [Yang2001] K. Yang, , G.W. Huang, N. Tamai, „A hybrid model for estimating global solar radiation”, Solar Energy, Volum 70, Pg. 13–22, 2001.
117. [Ziabasharhagh2012] M.Ziabasharhagh, M. Mahmoodi, " Numerical Solution of Beta-type Stirling Engine by Optimizing Heat Regenerator for Increasing Output Power and Efficiency”, J. Basic. Appl. Sci. Res., 2(2)1395-1406, ISSN 2090-4304, 2012.
118. [***CIP] <http://apps.upm.ro/cip/docm/m20.pdf>, Curs online, Universitatea Petru Maior Tîrgu-Mureș, Centrul de Instruire și Perfecționare (CIP).

148 Bibliografie

119. [***CNCME] Comitetul Național Român al Consiliului Mondial al Energiei, World Energy Council. Raport , <http://www.cnr-cme.ro/>
120. [***Comsol] COMSOL Multiphysics 3.5, <https://www.comsol.com/>.
121. [***Considerații] Considerații generale asupra captatoarelor cu concentrația radiației, <http://www.rasfoiesc.com/inginerie/constructii/instalatii/Consideratii-generale-asupra-c57.php>
122. [***CSP] http://www.rets-project.eu/UserFiles/File/pdf/respedia/09%20Concentrated%20solar%20power/09-Solar-energy---Part-III---Concentrated-Solar-Power_RO.pdf
123. [***Directiva 2004/35/CE] privind răspunderea față de mediul înconjurător în legătură cu prevenirea și remedierea prejudiciului adus mediului, modificată de Directivele 2006/21/CE și 2009/31/CE
124. [***ECEUROPA] Provocările din domeniul energetic și politica energetică, Contribuția Comisiei la reuniunea Consiliului European din 22 mai 2013, <http://ec.europa.eu/europe2020/>, 2013.
125. [***Energie] <http://www.energie-solara.com.ro/>
126. [***Energy] <http://add-energy.ro/potentialul-tehnic-si-economic-solar-amenajabil-pe-teritoriul-romaniei/>
128. [***Fresnel] <https://www.greenoptimistic.com/fresnel-sun-house-generates-electricity-from-thermal-energy-20130117/#.WNgtgW-LTIX>.
129. [***Green] <https://www.greenoptimistic.com/fresnel-sun-house-generates-electricity-from-thermal-energy-20130117/#.WNgtgW-LTIX>
130. [***IAUS] <http://iaus.com/technology>
131. [***Indiaenerg] <https://phys.org/news/2011-03-india-solar-energy-power-video.html>
132. [***Indiasolar] <https://phys.org/news/2011-03-india-solar-energy-power-video.html>
133. [***LabView] *** LabView. Manual de utilizare.
134. [***Meteonorm] <http://www.meteonorm.com/>
135. [***Mmeka] http://www.mmeka.com.tr/en/faaliyet.asp?a_id=93
136. [***Mmeka] http://www.mmeka.com.tr/en/faaliyet.asp?a_id=93
137. [***MotInt] ***<https://ro.scribd.com/doc/26145798/Procese-si-Characteristici-ale-motoarelor-cu-ardere-interna>.
138. [***MStirl] http://www.mpoweruk.com/stirling_engine.htm
139. [***OHIO] <https://www.ohio.edu/mechanical/stirling/>
140. [***RStirling] ***<http://www.robertstirlingengine.com/theory.php>
141. [***Solar2014] <http://www.nextbigfuture.com/2014/10/solar-powered-lasers-for-magnesium.html>
142. [***SolarLas] <http://www.nextbigfuture.com/2014/10/solar-powered-lasers-for-magnesium.html>
143. [***SpecAl]http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-metals-d_152.html
144. [***SRMS] <http://solar.physics.uvt.ro/srms/srms/>
145. [***Sunnydesign] <https://www.sunnydesignweb.com/sdweb/#/Home>

SINTEZA PRIVIND LUCRĂRILE PROPRII

1. [DeSabata2013] A. De Sabata, I. Luminosu, **S. Ilie**, "Studiu privind aplicabilitatea concentratoarelor cu lentile Fresnel în regiunea Timișoarei", Instalatii pentru Costructii si Confortul Ambiental, Universitatea "Politehnica" din Timișoara, Conferinta cu participare Internatională, AIIR, Editia 22, pg. 160-165, 2013.
2. [DeSabata2015] A. De Sabata, I. Luminosu, D. Mărgineanu, **S. Ilie**, D. Jovanović, D. Krstić, „Economics of a Small-Scale, Grid-Connected PV System in Western Romania: an LCoE Analysis”, 11th International Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC 2014), pp.13-17, 2015
3. [**Ilie2013**] **Ilie S.**; Toader D.; Cata I.; Blaj C., „Magnetic flux calculations inside multi-wire conductors”, EUROCON 2013 Conference, Pages: 1003-1010; ISBN:978-1-4673-2232-4; 978-1-4673-2230-0, 2013
4. [**Ilie2013a**] **Ilie S.**; Blaj C.; Cata I.; Toader D., „Analysis of Positive and Negative Sequence Parameters of Overhead Power Lines over Transient Phases Caused by Short-circuits” , 8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE) Bucharest, 2013
5. [**Ilie2015**] **S. Ilie**, I. Luminosu, Dumitru Toader, A. De Sabata, T. Zamfir, "Design and Construction of a Thermosolar Instalation with Fresnel Lens and Stirling Engine", Buletinul Științific al Universității Politehnica Timișoara, Seria Matematică – Fizică, Volume 60(74), pg.70-79, Issue 2 / 2015.
6. [**Ilie2016**] **S. Ilie**, D. Toader, F. Barvinschi, "Modern Education on Renewable Energies by Using Finite Element Method for a Solar Powered Stirling Engine with Heat Transfer Simulations"; International Symposium on Electronics and Telecommunications ISETC, pg. 137-140, 2016.
7. [**Ilie2016a**] **S. Ilie**, D. Toader, I. Luminosu, M. Greconici, F. Barvinschi, "Numerical Simulation of Heat Transfer inside a Beta Type Stirling Engine Using Concentrated Solar Energy and Artificial Heat Source", Global Conference on Applied Physics and Mathematics, pg. 147-148, Roma 2016
8. [**Ilie2016b**] **S. Ilie**, F. Barvinschi, D. Toader, M. Greconici, I. Luminosu, A. De Sabata, "Combined Simulations of Heat Transfer and Thermodynamic Cycle Processes Inside a Beta Stirling Engine by Using Two Different Software`s", Global Conference on Applied Physics and Mathematics, pg. 159-160, Roma 2016.
9. [Luminosu2013] I. Luminosu, A. De Sabata, **S. Ilie**, "Analiza comparativa a potentialului solar in regiunea de Sud-Vest a Romaniei", Instalatii pentru Costructii si Confortul Ambiental, Universitatea "Politehnica" din Timișoara, Conferinta cu participare Internationala, AIIR, Editia 22, pg. 147-155, 2013.
10. [Luminosu2014] I. Luminosu, A. De Sabata, **S. Ilie**, D. Jovanović, D. Krstić, „Characteristics of solar radiation in region close to Timisoara”, RAD2014, Safety Engineering Volume, No. 4, DOI: 10.7562/SE2013.3.04.01, pg. 163-166, 2014.
11. [Luminosu2015] I. Luminosu, A. De Sabata, D. Toader, D. Margineanu, **S. Ilie**, "Conception of a master degree program in Solar Energy: Infrastructure, Structure and Results", Environmental Engineering and Management Journal, (acceptata, in press), 2015.
12. [Mezei2016] Mezei Z.; Colboc F.; Pop N.; **Ilie S.**; Chakrabarti K.; Niyonzima S.; Lepers M.; Bultel A.; Dulieu O.; Motapon O.; Tennyson J.; Hassouni K.; Schneider I.; "Dissociative recombination and vibrational excitation of BF+ in

- low energy electron collisions", Plasma Sources Science and Technology, ISSN: 0963-0252, 2016.
13. [Motapon2015] Motapon, S. Niyonzima, K. Chakrabarti, J.Zs. Mezei, D. Backodissa, **S. Ilie**, M.D. Epee Epee, B. Peres, M. Lanza, T. Tchakoua, N. Pop, F. Argoubi, M. Telmini, O. Dulieu, A. Bultel, J. Robert, Å. Larson A.E. Orel, I.F. Schneider, "Advances in the MQDT approach of electron/molecular cation reactive collisions: High precision extensive calculations for applications", DR2013: Ninth International Conference on Dissociative Recombination: Theory, Experiment, and Applications, EPJ Web of Conferences, Volume 84, pp.45-55 January 2015
 14. [Niyonzima2015] S. Niyonzima, **S. Ilie**, N. Pop, J. Zs. Mezei, K. Chakrabarti, V. Morel, B. Peres, D. Little, K. Hassouni, A. Larson, A. E. Orel, D. Benredjem, A. Bultel, J. Tennyson, D. Reiter and I. F. Schneider - Low-energy collisions between electrons and BeH⁺: cross sections and rate coefficients for all the vibrational states of the ion, ScienceDirect, Atomic Data and Nuclear Data Tables, 2016.
 15. [Pop2014] Pop, N ; Motapon, O Niyonzima, S ; Epee, MDE ; **Ilie, S** ; Mezei, J. Zs.; Chakrabarti, K.; Schneider, IF, „Study of Reactive Collisions Between Electrons and Molecular Cations Using Multichannel Quantum Defect Theory: Application to HD⁺ and BeH⁺“, TIM 2013 Physics Conference, Volume: 1634, pp: 70-75; 2014
 16. [Pop2015] N. Pop, J. Zs Mezei, S.Niyonzima, F. Colboc, **S. Ilie**, M. D. Epée Epée, D. A. Little, B. Peres, V. Morel, O. Motapon, K. Chakrabarti, A. Bultel, K. Hassouni, J. Tennyson, I. F. Schneider; "Electron-impact excitation and recombination of molecular cations in cold ionized gases: application to H₂⁺, BeH⁺, CH⁺, CO⁺, N₂⁺, BF⁺ and AlO⁺", 32nd ICPIG, Iași, Romania, 2015.
 17. [Sorândaru2013] C. Șorândaru, **S. Ilie**, T. Zamfir, I. Luminosu, "Sistem pentru urmărirea Soarelui în vederea concentrării radiației solare cu lentile Fresnel", Instalatii pentru Constructii si Confortul Ambiental, Universitatea "Politehnica" din Timișoara, Conferinta cu participare Internationala, AIIR, Editia 22, pg. 156-159, 2013.
 18. [Stankovic2014] V. B. Stanković, **S. Ilie**, D. Jovanović And V. V. Marković, „Electric Field Distribution in Human Head“, 8th International PhD Seminar on Computational Electromagnetics and Electromagnetic Compatibility, Timisoara, Romania, CEMEMC 2014.
 19. [Tatai2013] I.Tatai; D.Toader; B.Arvti; **S.Ilie**, "Considerations on the Mathematical model for Calculating the Single-phase Grounding", Journal of Electrical and Electronics Engineering, Volume 6, Issue 1, pp 147-152, 2013.

Anexa 1. Valorile ale radiației solare de la Stația de Monitorizare a Radiației Solare, pentru anul 2010

ora/ ian	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	0	5,6	8,6	19,4	53,2	82,2	86,4	39,4	35,7	9,1	0	0	0	0
2	0	0	13,3	63,2	124	149,1	160,9	144,4	86,5	36,4	10,5	0	0	0	0
3	0	0	6	25,2	42,3	50,4	46	48,1	48,2	59,4	29,3	4	0	0	0
4	0	0	16,6	82,8	216,5	317,8	381,6	455,8	353,6	159,9	29,6	0	0	0	0
5	0	0	9,8	72,5	136,2	177,7	153,9	137,2	121,6	79,6	16,5	0	0	0	0
6	0	0	6,1	27,3	51	129,6	103,5	75,1	39,1	26,9	11,9	0	0	0	0
7	0	0	6,9	28,6	63,7	73,4	60,5	46,1	24,8	25,1	15,5	0	0	0	0
8	0	0	12,4	43,6	52,2	98,9	43,3	52,6	65,5	30,2	11,3	0	0	0	0
9	0	0	26,2	91,6	57,3	62,9	72,7	32,9	42,6	65	30,2	0	0	0	0
10	0	0	19,9	59,9	78,3	100,9	169,4	227,9	229,4	87,1	26,9	0	0	0	0
11	0	0	8,6	21,9	58,9	223,9	218	209,9	190,4	122,3	38,8	2,5	0	0	0
12	0	0	18,2	63,7	127,1	125,7	188,1	192,1	220,7	105,5	36	3,2	0	0	0
13	0	0	7,8	30,3	59,2	85,6	100,6	110,1	108,3	72,2	31,5	2,9	0	0	0
14	0	2,6	7,3	19,8	29,4	46,6	75,6	100,9	104,3	43,7	18,1	3,1	0	0	0
15	0	0	8,3	36,4	91,5	140,9	151,5	233,6	213	218,2	184,3	55	3,2	0	0
16	0	0	11,2	41	77	128,8	134	96,7	110,6	148,6	51,8	4,1	0	0	0
17	0	0	35,5	160,9	290,8	337,3	245,5	189,2	122,2	43,4	12,7	0	0	0	0
18	0	0	7,4	23,4	61,6	164,2	185,3	267,9	132,2	42,4	22,2	3,2	0	0	0
19	0	0	9,4	37,9	51,5	111,8	176,2	141,2	70,2	65,2	31,9	3,5	0	0	0
20	0	0	5,4	27,1	44,9	76,7	62,9	96,2	68,8	31	21	3,4	0	0	0
21	0	0	17,1	71,5	113	113,5	97,8	115,4	100,3	62,2	25	3,9	0	0	0
22	0	0	16,8	63,1	108,9	136,9	228,2	176,7	98	49,8	22,3	4,5	0	0	0
23	0	0	13,1	72,2	144,5	282,4	281,4	180,1	271,1	64	25,5	5,1	0	0	0
24	0	0	21,7	90,4	206,6	465,1	447,2	395,9	312,8	209	87,4	8,2	0	0	0
25	0	0	52,4	172,7	273,9	374,8	405,4	379,1	297,1	167,1	79,5	8,4	0	0	0
26	0	0	26,4	105	171,6	291,3	408,6	419	244,5	185,8	72,6	8,2	0	0	0
27	0	0	9,6	33	58,1	103,2	165,2	197,4	178	125,9	51,3	8,1	0	0	0
28	0	3,6	19,9	53,8	103,5	128,6	146,3	158,4	114,5	61,8	28,7	6,1	2,6	0	0
29	0	3,2	28,7	157,8	251	306,5	373,1	327	296,1	211,8	86,4	9,5	0	0	0
30	0	0	28,9	89,5	112,2	80,4	82	142,3	103,2	62,6	48	7,4	0	0	0
31	0	0	8,9	23,1	41,3	49,8	40,5	38,6	34,5	24,4	14,9	3,2	0	0	0
	0,00	0,30	15,66	61,22	107,0	160,9	177,0	176,5	143,2	87,81	38,09	5,08	0,19	0,00	0,00

ora/ feb	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	0	14,5	26,4	37,3	56,7	57,2	126,9	113,1	64,3	33,8	6,4	0	0	0
2	0	0	29,7	95,1	259,7	400,9	441,8	348,5	170,9	128,9	110,5	13,6	0	0	0
3	0	3	85,7	240	428,3	438,2	445	271,2	155,1	89,4	45,2	7,1	0	0	0
4	0	3,1	24,4	109,7	233,3	375,8	362,2	424,1	295	242,6	120,6	12,5	0	0	0
5	0	4	92,9	259,2	355,4	408,4	443,7	417,8	343,1	209,8	87,8	13,7	0	0	0
6	0	0	8,2	20	30,5	40,8	36,3	33,2	30,6	33,1	22,8	7,7	0	0	0
7	0	2,9	34,6	87,2	162,3	193	241,5	249,6	161,5	104,1	46,1	7,9	0	0	0
8	0	3,4	17,3	38	69	84,2	86	72,4	72,2	39	19,5	6,1	0	0	0
9	0	3,7	29,3	69,6	178,3	217,8	355,8	333,5	226,6	112,4	58,2	12,9	0	0	0
10	0	4,1	95	210,4	324,4	379,8	330,9	296,8	245,8	88,7	30,5	6,6	0	0	0
11	0	3,8	41,7	93,6	71,8	99,4	189,8	117,3	69	52,2	37,1	7,9	0	0	0
12	0	3,7	16,3	53,5	75,5	183,7	220	228,8	134,4	67,6	39,1	14,7	0	0	0

152 Anexa 1

ora/ feb	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
13	0	3	8,4	19	27	36	38,8	37,6	31,8	32,5	15,7	6,6	0	0	0
14	0	6,5	56,8	121,1	300,5	450	502	474,1	359,7	198,4	123,4	34,2	0	0	0
15	0	3,9	19,6	38,8	64,7	104,9	122,1	126,7	111,3	103,2	50,8	24,1	3	0	0
16	0	7,1	94,3	267	391,5	300,2	369,2	287,2	193	217,5	102,4	15	0	0	0
17	0	3,3	18,8	48,6	67,7	101,9	114,1	93,7	69,7	53,5	27,7	9,8	0	0	0
18	0	5,4	32,4	81,2	115,9	149,7	128,4	88,2	100	102,2	51,1	19,6	0	0	0
19	0	9,4	110,8	229,7	374,8	475,4	502,4	363,3	306,5	128,3	34,5	10,2	0	0	0
20	0	0	15,3	84,6	114,9	150,3	138,8	280,4	152,9	45,9	31,1	12,4	0	0	0
21	0	0	9,9	21,2	38	56,6	108,9	82	114,4	206,8	203,1	58,9	0	0	0
22	0	16,1	134,7	199,6	447,1	427,9	333,6	298,3	211,6	160,7	127,6	57,4	0	0	0
23	0	11,8	105,8	281,9	413,1	493,3	543,9	506,1	462,6	308,6	121,1	31	0	0	0
24	0	7,1	41,7	78	100,8	107,7	256,3	220,8	274,8	145,2	94,7	29,2	0	0	0
25	0	4	14,3	28,3	79,6	73,6	38,9	31,3	56,1	52,2	29,7	14,9	0	0	0
26	0	19,4	140,5	302,1	408,2	418,8	419	357	231,8	120,7	81,6	40,5	0	0	0
27	0	4,2	36,3	18,4	25	32,5	45,9	56,8	41,1	35,1	20,9	4,9	0	0	0
28	0	24,5	71,9	151,1	127,3	102,4	74,5	56,2	57,2	40,2	30	12,5	0	0	0
	0,00	5,62	50,04	116,9	190,0	227,1	248,1	224,2	171,1	113,6	64,16	17,80	0,11	0,00	0,00

ora/ martie	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	8,3	51,3	99,1	87,8	66,4	43,6	109,9	154,7	120,9	189,8	68,7	0	0	0
2	0	31,1	157,1	291,7	325,6	316,5	572,7	558,1	370,6	350,8	177,7	53,1	3,3	0	0
3	0	5,1	32,9	43,2	162,2	157,4	368,2	341,2	481,8	343,5	149,9	57	0	0	0
4	0	23,5	90,7	204,4	189,7	150,6	184,9	176,6	89,9	57,6	22,8	10,8	0	0	0
5	0	9,3	35,6	78,8	132,4	183,1	244,6	243,7	163,4	134,5	55,2	32,4	7,1	0	0
6	0	11,3	74,9	173,5	165,6	189,1	217,8	134,9	374,1	358,9	236	89	5,4	0	0
7	0	68,4	211,4	344,8	570,9	597,5	610,1	375,8	195,2	129,6	126,5	78,9	5,3	0	0
8	0	28,1	103,8	173	326,7	455,6	446,3	419	322,6	187,9	143	59,9	8,3	0	0
9	0	19,8	125,8	222,4	407,4	511,5	482,9	208,7	203,9	211,1	199,7	49,6	6,5	0	0
10	0	32,4	114	176,6	244,3	324,3	292	169,2	175,5	188,2	70,9	36,3	3,9	0	0
11	0	10,2	30,8	66,7	97,6	94,8	173	137,5	100,6	72,9	38,3	20,9	5	0	0
12	0	8,9	34,7	32,4	32,6	87,8	157,4	147,2	243,1	167,8	148	68,7	7,1	0	0
13	0	13,6	37,7	40,7	53,3	93,6	238,3	137,5	75,3	50,4	37,1	24,7	4,1	0	0
14	0	22,4	106,1	261,3	419,2	344,9	322,1	243,1	190,9	144,3	60,5	24,2	5,2	0	0
15	0	8,1	43	197,7	461,4	417,5	194,1	621,5	347,5	183,3	106,8	117,9	16,7	0	0
16	4,1	21,3	78,1	138	116,6	280,1	345,8	152,1	108,8	162,8	80,6	26,4	5	0	0
17	3,7	83,7	244,3	392,8	534,6	637,5	703,3	583,9	566,9	275,5	124,2	72,5	14,5	0	0
18	3,9	46,5	151,8	345,2	418,9	461,1	626,5	597,7	524,1	435,3	245,4	118	9,9	0	0
19	7,4	83,5	238,8	391,4	529,1	619,5	661	642,2	562,9	414,5	218,6	140,1	15,3	0	0
20	6,2	88,9	245,4	413,8	543,7	634	666,3	641,8	559,5	309,7	222,4	127,5	12,9	0	0
21	4,1	29,7	67,2	82,5	137,5	292,1	361,1	334,3	454,4	361,7	273,7	101,4	17	0	0
22	6,4	58,5	233,3	317,1	351,9	577,2	476,7	562,2	374,7	210,7	93,5	37,3	7,7	0	0
23	5,3	20,9	84,7	69,8	166,1	415,5	253,1	232,4	208,8	55,2	33,7	24,6	7,3	0	0
24	5,5	36,7	97,9	259,9	481,2	549,4	330,3	376,6	389,6	284,1	188,1	88,6	20,1	0	0
25	9,7	119,6	234,4	354,2	468,1	626,3	666,6	512,5	543,4	308,5	249,2	87,1	12,6	0	0
26	6,7	68,8	259	420,1	553,8	647,6	679,2	657,2	598,8	449,7	252,1	97,9	26,1	0	0
27	16	130,9	143,4	192,1	183,3	205,7	411,5	338,6	200,1	174,3	127	13,4	4,8	0	0
28	0	12,1	59,1	157,6	281,4	356	470,7	596,1	504,3	388,5	227,8	221,9	224,7	45,6	0
29	0	20,8	148,4	1325	467,6	594,9	686,9	714,1	690,8	612,7	497	322	157,3	33,8	0
30	0	25	134,2	291,1	450,6	521,5	510,2	457,5	428,1	401,5	326,8	222,7	94,1	23,4	0
31	0	3,2	12,2	59,5	113,1	243,8	159	348,5	615,4	521,6	429,2	113	5,5	18,5	0
	2,55	37,12	118,7	245,6	305,6	375,9	405,0	379,7	349,0	260,2	172,6	84,08	22,99	3,91	0,00

ora/ aprilie	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	9	6,6	52,6	437	853	717	239,9	158	296,5	429,3	280	175,9	36,2	0
2	0	27,8	173,9	323,3	438,7	618,2	642,4	577	564,2	415,9	282,8	155,1	124	18,1	0

ora/ aprilie	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
3	0	22,4	164,6	337,3	497,5	588,1	544,4	389	412,6	306	251,7	379,4	199,5	39,1	0
4	0	33,6	158,9	314,9	408,5	583,6	700,9	712,5	683,4	538,2	462,7	262,7	143,8	28,6	0
5	0	12,8	55,2	63,1	148,4	71,1	53,2	148,9	165,1	529,5	377	27,9	18,8	48,6	0
6	0	6,1	32,6	40,2	37,6	61	69,6	64,8	54,3	67,7	54	50,6	57,9	9,1	0
7	0	9,2	35,1	139,2	325,2	606,4	686,6	528,3	587,6	192,3	97,3	74,3	69,3	28,9	0
8	0	21,1	83,4	188,2	459,8	615,7	648,1	721,2	724	528,6	496,9	364,5	83	47	0
9	0	41,9	166,3	328,2	476,5	602,4	684,7	707,4	699,2	502,6	395,4	290,2	184,8	29,9	0
10	0	40,3	167	193,3	258,4	483,9	338,3	212,8	508,3	305,7	270,8	140,9	92,5	30,5	3,2
11	0	56,4	179,1	229,3	231,7	279,8	453,1	337,2	382,8	276	212,7	136,3	74,4	15,6	0
12	0	8,2	55,9	103,1	82,6	87,6	161,9	508	288	239,9	195,3	218,5	177,1	33,6	0
13	0	27,7	94,4	203,3	211,3	198,2	256,3	416,9	293,4	146,5	157,1	106,3	105	30,9	0
14	0	14,4	55,5	147,7	182	229,9	293,6	192,6	66,2	92,8	115,5	11,7	18	21,2	3,2
15	0	21	72,4	134,5	190,9	149,1	281,6	256,4	357,3	144,4	497,6	221,9	118,2	43,4	5,5
16	3,5	19,6	45,2	189,8	512,9	560,6	290,2	212,3	351,8	516,3	284,9	362,4	176,4	29,3	2,9
17	4,8	60,9	155,7	390,1	534	635,8	485,1	696,5	736,6	501,5	466,7	397,6	207,5	67,3	4,1
18	4,9	68	226,3	391,5	553,1	662,6	708,5	670,2	754,2	681,6	528,1	279,4	164,2	60,1	4
19	0	9,1	14,7	40,2	60,7	108,2	112,2	92,7	94,8	93,3	65,3	27,4	15,2	7	3,2
20	0	8,1	46,3	111,3	240,1	272,2	390,4	552,4	275,2	444,7	491,5	380,5	204,6	56	6,9
21	4,9	67,7	211,6	364,4	509,6	608,7	699,7	546,8	404,1	536,4	345,8	376	207,6	63	4,8
22	3,5	10	93,2	81,7	197	194,7	213,4	476,3	662,5	429,1	275,6	238,6	152,6	55,5	5,1
23	7,9	87,1	188,6	290,4	486,6	623	681,6	726,5	704,4	643,8	516,6	323,3	127,4	43,2	3,4
24	3,4	18,7	33,8	46,1	106,1	246,7	199,4	136,7	175,5	225	148	86,6	56,9	24,1	3,3
25	9,1	60,3	285,6	452,6	577,8	691,2	765,6	787	685,6	629,2	194,3	47,7	48,2	8,5	0
26	6,5	62	170,9	447,5	488,3	636,6	768,3	789,6	758,7	637,4	583,9	403,3	213,3	84,1	6,2
27	9,3	92,4	260,2	424,5	574,9	697,3	764,8	772,7	759,3	675,7	561,7	414,9	246,4	90,2	4,5
28	10,3	46,6	85,6	201,7	537,2	590,3	756,1	754,7	753,7	321,7	568,6	418,9	256	100	9,7
29	10,8	99,8	281,7	453,1	604,8	725,3	796,3	822,1	785,6	706,1	585,5	437,7	231,1	97,3	10,3
30	13,2	99,5	281,1	447,4	601	721	783	809	780,6	701,7	580,7	431,2	260,1	99	7,5
	3,07	38,72	129,3	237,6	365,6	466,7	498,2	495,2	487,5	410,8	349,7	244,8	140,3	44,84	2,93

ora/ mai	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	12,2	101,5	276,4	443,7	593	702,3	736,2	794,2	760,7	684,7	558,9	408,9	227,1	72,9	14,1
2	12,6	64,6	159,1	360,4	455	647	554,4	664,9	643,6	417,2	425,9	257,4	125	89,8	10,1
3	14,7	93,7	181,8	205,5	352,8	560	634,7	636,4	513,2	640,5	392,7	310	254,1	77	8,8
4	13,2	104,5	268,8	424,7	562,8	608,9	455,4	830	359,1	459,8	394,6	344	150,2	86,7	6,5
5	9,1	64,6	187,9	187,2	416,2	458	397,3	613,7	592,4	295	173	89,9	51,5	26,6	4,1
6	3,3	16,6	113,9	223,8	310,3	359,1	646,2	807,4	781,6	692,3	312,1	117,6	28	25,1	13,1
7	7,1	15,5	30,4	107,1	149,4	185,2	165,2	525,9	622,7	358,8	276,5	309,5	273,9	120,8	16,3
8	25,3	122,6	198,7	304,1	356,4	365,4	373,9	565,7	589,5	473	441,8	264,4	145,1	18,1	0
9	9	43,5	102,4	234,6	254,2	195,8	529,3	316	435,6	522,1	369,4	249,8	269,4	94,7	13,6
10	27,8	94,5	259,8	440,4	622,2	729,1	759,6	486,1	265,6	291,6	476,9	191,1	102,1	27,6	5,9
11	22,4	129	300,2	465,2	614,5	731,8	804,1	836	539,8	341,4	374,9	218,8	64,3	35,5	9,4
12	14,6	43,7	169,1	445,8	491,4	546,5	806,8	581,4	471,4	524,6	417,3	191,3	12,1	4,1	6,8
13	25	83,5	63,4	189,1	263,5	150,7	254,2	316,5	612,7	422	255,9	381,1	132,8	68,1	11,1
14	22,4	146,8	263	492	632,3	530,6	728,4	682,9	531,7	752,9	497,6	309,2	117,9	51,9	15,8
15	35,4	96,6	123,5	49,1	42,9	92,9	117,9	97,1	112,5	88,2	206,3	248,8	179,8	70	7
16	19,2	41,2	51,4	69,8	90,1	95,9	89,3	80,2	110,2	80,2	82,5	66,6	38,7	17,6	6,2
17	9	14,8	19,1	34,7	58,9	99,4	89,7	109	103,9	104,7	81	83,1	48	22,3	5,9
18	22,9	73,5	219	119,1	92,7	121,4	71,5	139,4	103,4	115,5	78	74	41,6	27,2	10,9
19	8,8	41,1	61,2	107,4	85,3	104,5	166,6	216	184,9	276,5	140,2	56	45,8	23	5,5
20	27,5	53,8	86,5	179,9	381,6	407,2	326,4	176,9	50,3	129,3	196,5	151,3	102,1	41,1	18,9
21	33,4	74,7	162,4	255,4	301,1	210,1	423,3	697,2	761,1	690,6	501,2	404,8	191,3	80,2	13,5
22	21,5	156,2	333,1	488	636,6	753	767,6	772,9	747,7	525,7	347,8	324,7	272,2	149,4	32,1
23	12,3	83,5	152,2	319	595,4	551,9	511,5	851,1	111,7	39,9	113,5	161,6	173,5	75,8	38,3
24	19,7	56,3	95,1	178,1	269,5	664,6	807,6	718,5	634,7	604,1	428,3	351	251,5	122	30,9
25	15,4	81,1	314,6	467,1	630,2	748,3	827,1	816,5	784,8	449,6	443	407,2	306,9	141,1	29,3

154 Anexa 1

ora/ mai	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
26	32,9	154,5	292,2	409,1	557,6	724,7	768,8	853,7	788,8	665,5	591,6	398,8	202,9	117,1	30,8
27	41,5	136,2	262,1	503,3	634,7	679,2	832	825,8	737,4	665,4	600,5	468,8	245,8	130,2	25
28	13	135,4	201,4	118,1	310,1	588	688,4	685,8	616,9	668,1	660,4	354,9	120,6	103,8	33,9
29	35,5	167,9	198,1	198	164,3	38,4	263,8	749,7	720	655,9	602,5	152,9	82,8	87,2	40,5
30	40,4	141,2	322,3	454,7	478,5	539,4	482,5	471,8	194,2	255	625,1	285,7	81	38,4	25,1
31	26,8	124,8	127,8	188,3	105,1	33	98,2	51,5	68,6	164,2	153,1	121,5	142,1	44,9	12,4
	20,4	88,95	180,5	279,4	371,2	426,5	489,6	547,4	469,3	421,	361,9	250,1	144,5	67,43	16,1

ora/ iunie	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	7,5	19,2	67,5	76,7	96,1	99,8	128,3	280,4	156,6	384,6	151,4	73,8	48,1	39,8	17,9
2	10,8	27,1	53,6	152,1	316,6	338,6	393,3	332,4	301	187,6	335,4	284,7	161,8	78	20,2
3	45,8	138,9	346	480,7	476,6	479,4	463,5	505,1	559,5	483,9	389,7	282,7	90,3	35,1	19,2
4	20,8	42,4	93,8	110,9	82,6	100,4	177	128,2	159,2	129,7	130,2	81,6	51,8	24,3	4,2
5	11,5	42,6	101,3	298,9	358,2	695,6	610,2	762,2	743,7	634,1	431	469,3	366,4	197,7	61,5
6	32,7	83,6	187,1	345,4	664,4	629,2	456,1	796,2	706,6	798,3	687,4	456,2	399,8	166,4	43,4
7	45	176	341,7	504,9	649,8	759,6	835,2	862,8	850,3	772,7	651,4	502,7	341,5	175,9	43
8	43,3	188,2	344,6	501,8	642,9	755,7	839,2	854,1	822,1	749,1	636,1	493,7	330,6	170,6	45
9	42,7	186,5	348,9	510,9	648	760,3	833,1	852,6	823,4	739,8	639,9	499,9	338,1	190,5	57,9
10	42,2	179	337,4	493,5	630,5	743,3	808,1	831,9	804,4	723,2	626,8	487,8	322,7	163,5	33,3
11	46,8	184,7	337,9	481,9	628,9	723,2	788,3	818,8	792,7	726,5	613,9	468,2	307,6	155,6	47,7
12	48,1	158,4	303,1	456,4	598,2	711	784,7	807	782,1	716,5	604,5	462,2	306,2	154,3	47,8
13	43,8	147	297,7	453,8	588,6	689	758,9	766,9	745,9	546,9	383,9	155,1	162,4	75,3	47,9
14	19,3	58,3	203,4	469,4	609	712	745,8	782,9	710,7	710,6	606,6	468,6	324,3	164,4	41,4
15	42,3	179,2	336,5	499,7	637,3	748,7	818,9	840,6	825,6	745,9	635,2	488,8	319,7	165,1	39,6
16	53,1	142,6	225,8	86,5	132,8	419,4	730,1	797,2	766,1	707,2	615,4	503,1	195,6	168	75,7
17	27,7	126,7	344,2	510,8	647,6	761,6	824,2	849,9	827,4	777,2	714,7	540,3	351,7	151,1	50,7
18	40,5	176,8	336,8	492,3	638,5	738,6	493	530,4	682,2	426,9	123,1	14	5,9	11,5	6,9
19	39,3	182,5	341,6	467,1	608,4	480,2	585	742,3	825	303,6	281,6	173,7	75,7	84,4	14,1
20	21,8	36,2	152	134,2	544	769,4	558,5	723,9	726,1	754,7	607,8	305,8	278,8	133,4	33,6
21	15,8	85,6	291,8	433,2	526,2	472,6	598,3	293,2	562	549,1	452,4	143,6	14,8	11,3	17,1
22	28,8	63,6	94,5	102	293,1	259,7	265,8	277	206,4	237,8	243,8	147,6	54,2	47,3	20,7
23	27,4	86,2	136,6	91,5	164,7	387,1	712	830,5	845,6	794,8	666,5	541,9	395,7	182,8	49,3
24	34,3	193	363,7	446,3	635,9	767,5	837	811,9	657,9	431,6	168,3	93,9	54,5	19,5	15,8
25	41	201,3	356,4	522	656,9	711,9	452,5	517,6	526,1	504,7	322,9	204,6	124,5	92,4	28,4
26	33,8	180	246	174,9	211,8	165,9	73,2	97	128,3	134,7	92,3	89,2	43,8	25,1	11,1
27	13,2	76,3	100,3	77,4	170,2	142,6	162,2	115,4	87,8	69,8	86	83,5	168	186,2	53,2
28	39,6	139,7	256,7	515,3	400,5	495,2	543,3	755,2	672,2	477,4	446,9	488,7	301,4	145,9	68,4
29	52,5	183	305,9	501,9	629,7	751,9	377	616,5	814,2	708,8	596,1	508,2	302,2	73,1	43,8
30	35,1	170,2	225,8	486,3	607	762,4	814,5	639,7	808,7	561,6	394	124,4	38,3	12,8	7,6
	33,5	128,4	249,2	362,6	483,1	567,7	582,2	627,3	630,6	549,6	444,5	321,2	209,2	110,0	35,5

ora/ iulie	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	39,6	159,5	309,7	477,8	614,2	738,8	818,3	823,2	773,3	739,9	642,4	501,2	332,6	108,9	38,7
2	34,7	166,7	320,5	480,5	623,7	734,6	806,3	829,3	804,7	739,7	630	484,6	330,5	149	45,3
3	35,1	168,2	326,4	485,1	625,1	735,3	801	835,5	672	150	197,4	30,7	181,8	10,2	0
4	40,3	153,9	271,9	464,4	566,5	745,2	586,5	630,5	850	767,1	712,7	529,2	356,7	209,2	46,2
5	49,1	84,8	286,2	491,9	450,3	645,2	501,5	190,8	236,5	342,6	446,4	77,8	77,4	49,8	18,1
6	39,1	162,6	333,9	496,5	639,6	740,8	827,1	846,4	785	757,1	588,8	481,5	336,4	171,1	49,2
7	30,4	60,7	161,5	253,7	295,5	91,1	109,9	226,2	189,9	159,8	385,4	352,2	158,3	103,7	16,1
8	11	56,5	111,2	196,2	240,3	504,7	724,2	769,1	798,6	792,1	532,2	322,1	209,8	101,9	45,7
9	32,3	169	329,6	493,3	641,6	754,1	823,4	837,8	800,7	758,5	653	512,5	349,3	186,3	52,6
10	32,4	163,4	320,6	479,6	625,3	739,7	812,8	827,4	822,6	697,2	672,2	496,5	334,2	182,3	68,8
11	42,1	185	320,5	474,1	616,1	726,9	773,2	812,2	785,2	739,1	626,3	487,6	327	172	46,9
12	29,3	155,8	309,3	466,6	604,8	719,1	747,8	188,9	610,7	428,2	607	296	203,4	185,7	55,7
13	31	150	304,3	462,4	606,5	716,6	726,3	389,6	491,5	539,2	603,5	414,8	245,8	105,9	46,1

ora/ iulie	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
14	35,7	115,8	280,8	427	568,7	695,6	786,5	819,7	732,2	567,1	590,8	326,6	263,9	215,1	63,9
15	28,6	148	302,7	461,6	606,4	719,5	789,5	817,1	801,4	631,5	619,9	473,8	320,1	167,4	39,8
16	28,6	145,5	306,8	452,4	576,6	673,7	776,3	805,7	787,8	721,5	573	472	312,9	152,1	31,9
17	28,5	131,6	273,3	431,8	570,7	695,1	632,6	662	716,2	655,5	639,8	382	115,4	55,7	36,2
18	26,5	140,9	290,2	449,2	589	695,4	771,4	822,7	814,2	376,7	271,5	185,8	149,1	89,9	19,6
19	24,2	79,5	115,9	169,9	342,6	324,3	367,7	300,6	392,5	387,8	224,4	340	292,4	86,8	12,2
20	25,9	123,3	274,8	436,8	554,3	618,8	514,1	740,8	697	541,2	583,7	420,2	168,8	123,2	35,5
21	23,2	131,5	278,9	435,8	582,3	643,3	343,2	571,8	549,8	542,4	564,7	485,2	277,1	150,8	39,1
22	23,6	125,4	271,7	426,1	568,3	679,6	467,7	455	622,6	678,7	505	341,7	191,6	104,2	43,9
23	22,2	114,4	255,5	415,6	561,4	677,9	694,5	589,4	526,1	464,6	623	450,3	291,9	142,7	35,8
24	27,4	51,5	313,4	312,9	463,2	423,6	564,8	473,2	482,8	344,5	229	315	118	15,5	5,6
25	10	65,6	115,7	200,9	100,9	120,8	181,1	101,8	166,3	300,7	181,9	114,3	133,2	75,1	19,7
26	8,8	33,5	65,3	128,6	185,3	363,3	297,2	232,7	256,1	172,8	217	222,8	194	100,3	34,6
27	11,8	57,5	134,9	173,6	191,5	410,9	376,6	417,9	297,5	190,7	106,8	179,4	82,7	34,1	12,5
28	20,4	65,6	58,4	209	223,8	147,4	226,7	544,4	538,2	172	98,6	176	98,1	17	19,6
29	14,4	114,5	280	307,2	415,4	717,9	687,7	766,9	729,6	520,4	365,7	325,5	308,5	143,7	25,9
30	15,6	113,3	279,5	450,4	600,3	718,4	793,7	792,3	793,5	713,9	557,5	381,1	252,1	84,3	14,5
31	16,6	102,7	271,4	366,8	543,4	650,5	751,2	718,4	535,5	544,3	431,4	232,3	166,9	73,9	15,8
	27,0	119,2	254,0	386,3	496,5	598,9	615,5	607,7	614,8	520,5	473,5	348,7	231,6	115,9	33,0

Ora/ aug	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	6,6	22,4	58,5	123,8	145	206,5	475,9	613,2	723,3	720,1	228,5	102,4	272	76,5	19,7
2	17	105	256,5	420,2	566,8	686,6	757,8	682,1	714,7	631,8	555	448,8	284,3	131,9	23,7
3	14,7	100,3	256,7	420,7	568,8	674,9	736	759,1	622,2	502,6	468,2	190,9	98,4	56,1	17,3
4	4,5	44,2	249	264,3	334,2	472,3	335,3	628,2	773	496,8	524,3	347,5	278,3	121,9	33,4
5	11	76,3	153,1	172	246,5	249,8	533,8	602	672,4	579,9	444,2	302,1	150,5	110,3	18,3
6	12,9	91,9	243	404,8	546,8	665	257,9	150,5	351,9	480,5	312,2	178,4	12,9	6,4	19,4
7	15,1	70,1	139	431,6	572,8	574,7	605,2	422,6	723,7	695,6	573,5	415,7	308,2	150,3	27
8	9,7	95,8	250,2	435,9	575,9	706,1	779	699,5	435,3	477,9	634,4	398	232,4	112,2	17,7
9	10,7	93,7	258,9	432	585,3	687,1	546,1	623,3	701,4	548,6	524,1	384,8	255,8	115,8	15
10	10,4	91,2	265,7	432,9	588	708,9	785,9	808,5	787,6	715,4	595,8	440,8	275,4	114,5	12,5
11	10,2	100	284,6	389,7	562,6	689,8	762,6	674,4	676,7	712,2	571,9	437,2	256	100,1	13,4
12	9,8	77,3	225,6	383,4	530,4	646,5	707,9	726,7	661	619,7	429,6	278,8	167,3	66	12,1
13	8,8	72,2	203,5	300,9	394,4	586,1	707,6	362,1	273	521	411,4	394,3	210,5	62,3	6,1
14	8,2	40,1	81	222,7	506,9	620,5	676,6	709,4	680	575,8	488,2	351,3	176,4	78,6	9,6
15	9,2	75,8	214,1	369,6	507,9	614,2	685,5	730,2	692,3	328	312,4	97,7	160,6	84,1	9,3
16	10	80,7	225,9	348	495,8	629,5	641,5	581,4	681,7	638,7	521,1	354	76	9,4	5,2
17	8,7	64,2	175,1	383,1	577,6	710,6	806,5	815,6	747,7	723,2	615,4	384,6	206,6	83,9	10,5
18	7,3	55,7	107,9	270,7	605,4	703,2	756,5	742,4	727	684,8	567,2	419,7	250,5	99,9	7,4
19	8,3	75,2	237,5	401,9	553,4	677,2	696,6	712,9	756,7	679,8	484,9	303,1	224,4	78,9	7,2
20	7,7	65,3	236,4	327,8	447,6	560,2	737,5	753,9	765,4	671,9	556	420,6	233	85,9	5
21	0	72,7	247,8	418,9	574,8	693,2	769,1	799,3	764	675,6	558,3	399,9	222,5	72,2	5
22	0	68,2	232,7	401,2	555,1	672,6	745,6	775,2	613,4	476,8	534,1	369,7	215,5	72,3	5,2
23	7,2	69,7	226,4	400,2	561,1	689,1	758	783,3	752,8	669,4	557,9	399,6	225,8	71,7	4,3
24	4,5	55,8	218,6	388,3	545,6	666,3	747,8	773,7	744,8	669,3	545,4	384,6	217,2	74,5	6,1
25	4,4	18,2	100,9	179,5	268	401,8	487,6	407,2	469,4	336,2	316,4	384,5	142,2	69,2	6,1
26	4,1	51,1	205,4	372,1	531,7	651	733,8	758,8	737,6	656,5	540,2	391,4	231,6	81,3	6,5
27	4,6	53,7	212,9	368,5	538	658	731,6	752,8	692,2	654,4	530,5	379,6	217,4	62,5	3,5
28	4,4	46,7	167,7	297,8	455,5	503,6	699,7	733,3	601,8	548,2	307	228,6	162,4	41,8	5,2
29	0	26,3	171,5	205,9	355,4	598,1	546,6	486,3	588	382,8	528,5	331,5	169,1	73,2	4,9
30	0	41,3	205,3	366,8	537,6	649,6	748,5	555,2	553,8	475,7	462,6	139,3	45,2	6,7	0
31	5,2	11	69,2	136	458,7	490,6	524,2	386,7	437,8	370,3	283,1	161,8	119,7	53,1	4,8
	7,5	64,9	199,3	337,7	493,3	604,6	660,7	645,4	649,1	578,0	483,3	329,7	196,7	78,1	11,0

156 Anexa 1

ora/ sept	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	21,2	145,6	268,6	386,8	340,6	344	291,5	473,4	168,2	103,4	95,4	95,4	30,1	0
2	0	47,6	192,4	338,5	455,3	607,7	530,8	509,2	543,5	571,7	347,5	170,4	170,4	42,8	0
3	0	36,6	153	311,3	461	546,4	669,7	616,1	619,1	353,8	364,7	267,3	267,3	34,8	0
4	0	37,2	110,4	350,7	515,9	640,2	729,5	702,1	638,3	473,4	80,2	64	64	15,3	0
5	0	27,6	57,5	81,5	159,7	294,9	221,2	549,2	509,6	553,5	547,3	351,8	351,8	48,1	0
7	0	27,6	57,5	236,4	417,1	573,6	630,2	488,3	570,3	327,9	137,7	68	68	13,4	3,8
8	0	28,3	148,7	299,3	475,6	597	670,8	638,8	345,4	253,6	280,3	176,4	176,4	29,2	0
9	0	9,4	49,5	197,1	92,3	43,1	198,2	244,6	530,2	576,7	465,6	231,7	231,7	12,3	0
10	0	8,8	8,9	24,6	90,5	94,1	115,2	108,9	207,6	133,3	201,4	194,3	194,3	22,4	0
13	0	8,8	8,9	103,7	133,8	288,3	273,1	411,5	358,4	594,8	506,3	121	121	36,1	0
14	0	28,9	68,6	153,3	314,7	473,4	498,2	641,8	693,5	563	490,2	441,9	441,9	70,2	12,2
15	0	12,1	60,6	104,5	136,3	174,5	504,5	607,2	432,2	426,7	399	274,8	274,8	15	0
16	0	23,2	145,3	283	437,7	522,4	632,1	619,6	638,6	554,1	431	236,3	236,3	14,7	0
17	0	23,1	90,7	243,1	412,4	515,5	412,3	322,6	341,9	157,5	86	54,1	54,1	7	0
18	0	10,4	41,1	106,9	169,9	149,8	129,8	314,7	350,1	421,2	356,3	159,4	159,4	13,6	0
19	0	9,5	29,3	78,2	109,4	204,8	115,7	165	137	58,2	58,3	42,7	42,7	5,3	0
20	0	10,6	130,1	300,4	457,1	580	657,4	651,9	651,1	609	345,9	194,9	194,9	15,2	0
21	0	16	118,9	286	451	565,2	579,2	317,7	614,1	524,5	357,3	157,2	157,2	8,6	0
22	0	16,9	138,7	296,1	452,1	572,4	646,8	670,7	633,5	547	420	263,3	263,3	7,4	0
23	0	14,4	119,8	272,4	420,8	547,7	622,9	636,1	544,6	517,1	388,8	233,6	233,6	6,7	0
24	0	13,7	125,4	286,3	440,6	558,7	616	659,8	625,7	437,3	298,2	231,1	231,1	8,3	0
25	0	19,7	89,3	162,5	322,1	454,9	498,6	424,3	415,3	340,3	246,7	101,9	101,9	0	0
26	0	5,5	31	32,9	46,2	72,4	135,1	256,1	562,3	507,7	55,9	71,4	71,4	5,9	0
27	0	12,7	118,1	276,8	430,3	496,3	628	591,1	487	525,7	353,8	119,8	119,8	0	0
29	0	7,6	66,5	111,1	134,6	184,3	237,1	309,2	317,8	366,4	210,2	162,8	162,8	0	0
30	0	9	68,1	175,5	379,7	483,5	514	192	271,9	332	249,5	167,2	167,2	0	0
	0,0	18,0	87,92	199,2	307,5	391,9	437,4	442,2	463,4	403,5	288,0	172,3	172,3	17,13	0,59

ora/ octo	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	7,3	75,6	190,5	292,1	510,9	577,7	608,5	513,8	470,2	345	109,4	47,3	0	0
2	0	6,7	109,9	256,4	411,5	486,4	303,7	251,8	261,1	244,6	210,7	98,8	19,8	0	0
3	0	4,8	32,3	99,2	176,4	451,3	413,1	625,6	559,4	318,9	134,6	161,8	39,6	0	0
4	0	6,7	66,5	239,4	419,4	439,6	303,9	286,1	100,7	77,8	45,5	21,4	13,5	0	0
5	0	6,2	39,5	220,4	148,6	134,2	193,1	169,2	88,8	54	69,4	18,4	5,8	0	0
6	0	6,2	42,1	151,2	240,8	290,9	374,7	373	429,6	292,8	152,9	75,5	17,8	0	0
7	0	3,9	31,1	63,4	135,8	179,8	305,8	334,5	411,2	391,2	172,8	85,6	29,8	0	0
8	0	0	24,9	95,8	272,8	392,8	545,1	504,4	561,3	472,1	337,9	180,9	43,7	0	0
9	0	4,5	80,7	226,8	372,7	494,5	566,8	587,6	549,5	455	320,1	172,5	44,1	0	0
10	0	4	72,9	219,1	354,8	474,2	538,8	545,8	474,6	333,6	248,4	156	39,3	0	0
11	0	4,9	71,6	204,5	345,5	464,7	530,5	542,2	490,3	392,9	277,9	144,8	27,3	0	0
12	0	3,8	70,6	210,8	338,5	449,5	515,9	528,7	488,2	402,3	258,2	131,6	19,1	0	0
13	0	4	63	208	332,2	453,5	524,2	517,9	514	430,1	300,1	145,2	26,9	0	0
14	0	0	31,4	156,8	203,5	224,1	144,3	118,1	116	62,1	47,4	38,2	10,8	0	0
15	0	0	49,7	174,2	317,8	440,4	509,3	521,7	487,5	390,6	266,3	121,1	19	0	0
16	0	0	8,7	33,1	43,7	34,8	76,5	64,3	39,9	41,1	21,8	10,7	5,2	0	0
17	0	0	13	30,3	87,1	166,9	263,4	346,9	144,2	131,9	77,9	49,5	8,2	0	0
18	0	0	13,4	63,7	185,8	171,1	304,5	336,3	420	360,8	190,1	43	8,5	0	0
19	0	0	10,8	38,1	71,4	98,3	135,7	213,3	122,7	120,2	41,5	14,5	5,8	0	0
20	0	0	10,6	32,2	68,2	68,6	68,6	107,8	78,2	106,3	78,9	32,9	6,5	0	0
21	0	0	23,5	196,8	293,8	285,4	342,9	468,8	349,6	347,8	281,9	125,1	14,7	0	0
22	0	0	56,6	198,5	344,1	458,5	526,9	538,7	497,9	411,1	269,8	119,5	14,4	0	0
23	0	0	48,5	185,5	327,4	437,6	505,3	515,2	472,2	379,3	241,3	86,8	11	0	0
24	0	3,6	25,2	142,6	316,5	413,5	409,8	501,2	415,3	283	147,9	65,3	6,7	0	0
25	0	0	30,5	90,2	173,2	182,9	233,7	187,9	136	97,4	81,8	39	5,3	0	0
26	0	0	10,4	48	131,9	101,4	63,7	74,2	60,6	28,9	27,7	14,7	0	0	0
27	0	0	34,3	172	316,2	427,9	495,2	501,1	443,4	365,8	239	97,1	8,4	0	0

28	0	0	18,2	74,4	132,5	179,4	182,1	271,1	202	138,4	159	86,8	6,7	0	0
29	0	0	20,2	83	173,5	359,1	453,5	329	407,6	321,6	204,5	79,9	5,5	0	0
30	0	0	56	180,3	273,9	397,8	476	484,5	436,1	349,4	223,9	84,9	4,7	0	0
31	0	34,7	165,1	308,1	421	484,5	495,6	451,9	359,6	225,9	78,4	0	0	0	0
	0,00	3,27	45,3	148,1	249,1	327,5	367,1	384,1	342,9	274,1	179,1	84,2	16,6	0,00	0,00

ora/ noi	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	26,6	142,6	276	334,6	393,4	265,6	417,6	314,2	171,7	42,8	5	0	0	0
2	0	14,9	66,2	156,9	286,1	403	375,6	407,3	348,8	222,6	61,1	3,9	0	0	0
3	0	14,7	68	140,6	278,2	347,3	435	390	302,7	174,8	54,1	0	0	0	0
4	0	18	106,5	216,1	321	386,1	380,7	361,4	275,8	174	57,7	3,6	0	0	0
5	0	15,4	111,7	242,9	349	402	422,3	385,7	298,2	165	52,1	0	0	0	0
6	0	15,9	99,8	223,1	339	403,4	412,8	382	293,7	173,4	52,2	0	0	0	0
7	3,2	16,1	101,1	218,9	323,5	388,3	408,4	368,9	282,9	152,4	40	0	0	0	0
8	0	0	12,8	83,6	68,1	85,9	65,2	67,8	117,8	98,1	51,5	0	0	0	0
9	0	8,8	76,1	128,7	107	207,9	84,7	47,1	25,7	23,5	14,2	3,3	0	0	0
10	0	0	18,3	132,1	41,9	58,3	87,2	80	40,2	46,6	36	0	0	0	0
11	0	7	52	172,9	272,8	268,9	322,9	226,2	193	127,5	52,2	0	0	0	0
12	0	12,6	85,4	241,2	338,1	364,3	299,8	322,7	195,2	139,6	32,9	0	0	0	0
13	0	9	92,6	215,3	308,3	388,5	400,3	382,2	287,6	163,1	39,6	0	0	0	0
14	0	9,7	95,3	218,7	323,5	386,7	398,7	360,3	275	155,8	39,2	0	0	0	0
15	0	9	91,7	216,7	316,8	376,2	386,1	351,3	262,3	146,9	34,3	0	0	0	0
16	0	7	78,6	195,9	291,5	346,9	355,8	312,9	230,3	128,7	28,4	0	0	0	0
17	0	4,6	61	172,9	244,3	249,6	194,4	141,5	108,7	73,4	25,5	0	0	0	0
18	0	7,9	33,2	163,5	286,1	379,7	381,8	332,8	264,5	134	19,9	0	0	0	0
19	0	4,5	34,6	117,8	158,8	252,9	264,8	366,6	209,7	67,7	6,2	0	0	0	0
20	3,5	5,1	23,7	60,4	105,8	89,3	107,8	162,5	131,2	68,1	26,4	0	0	0	0
21	0	6,2	66,6	160,3	254,1	302,2	362,9	241,5	150,1	97	28,5	0	0	0	0
22	0	3,4	17,4	30,4	36,1	47,5	76,5	78,4	56,8	18,5	4,6	0	0	0	0
23	0	4,1	24,9	66,5	103,2	82	94	51,9	54,5	16,5	8,7	0	0	0	0
24	0	3,7	40,7	159	166,3	193	322,3	312,2	229	81	24,5	0	0	0	0
25	0	4,3	64,2	181,6	284,6	346,3	352,3	327,7	246,6	128,2	22,5	0	0	0	0
26	0	4,1	16,5	55,7	89,9	93,2	129,7	181,2	160,7	73,1	16,3	0	0	0	0
27	0	0	18,7	41,8	75,6	147,8	182,9	186,5	97,1	59,9	20,2	0	0	0	0
28	0	0	36	166,8	191,6	132,5	73,2	52,7	22,7	21,5	10,8	0	0	0	0
29	0	0	8,5	29,7	182,9	307,1	221,4	315,3	163,9	17	6,2	0	0	0	0
30	0	0	16,4	42,2	65,4	104,8	105,5	75,3	35,9	17,9	7,2	0	0	0	0
	0,22	7,75	58,7	150,9	218,1	264,5	265,6	256,3	189,1	104,5	30,5	0,53	0,00	0,00	0,00

ora/ dec	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	0	8,5	19,8	46,7	48	48,9	49,4	37,1	22,8	7,1	0	0	0	0
2	0	0	50,7	119,1	102,7	33,1	36,7	45	35,9	21,6	5,4	0	0	0	0
3	0	0	23,9	35,9	44,3	88,5	96,3	49,7	14,2	15,1	3,7	0	0	0	0
4	0	0	12,9	29,5	52,3	69,6	80,9	66	38,6	17,7	5,9	0	0	0	0
5	0	0	43,7	191,4	275,4	308,1	333,1	293,1	215,9	114,1	21,8	0	0	0	0
6	0	0	26,2	80,9	68,3	146,7	286,1	164,2	115	39,9	10,5	0	0	0	0
7	0	0	20,9	28,4	44,8	90,8	67,1	58	40,2	22,1	7,2	0	0	0	0
8	0	0	7,8	26,1	31,9	36,5	90,9	56,3	36,1	17,9	12	0	0	0	0
9	0	0	10,9	24,9	48,7	83,1	64,5	57	40,1	28,6	4,8	0	0	0	0
12	0	0	10,5	20,6	33,8	76,4	168,1	201,9	105,5	59,1	23,6	12,7	0	0	0
13	0	0	5,9	14,4	29,7	63,6	49,7	89,5	90	23,6	9	0	0	0	0
14	0	0	8	34,6	59,6	84,1	107	88,8	83,8	50,1	10,8	0	0	0	0
15	0	0	19,2	55,9	49,8	104,9	156,9	76,2	56,4	40,6	7,8	0	0	0	0
16	0	0	25,3	66,2	106,5	160,7	157	163,7	132,3	66,8	16,7	0	0	0	0
17	0	0	12,4	48,8	86	121,8	147,5	152,8	171,3	62,1	14,5	0	0	0	0
18	0	0	8	15,8	43	80,7	54,4	33,7	34,1	12,5	5,3	0	0	0	0
19	0	0	14,9	71,9	133,2	174,6	193,4	195,4	184	101,7	19,3	0	0	0	0

158 Anexa 1

ora/ dec	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
20	0	0	12,6	58,2	123,5	290,6	287,2	212,6	155,4	126,2	20,8	0	0	0	0
21	0	0	23,7	116,5	235,1	265,6	230,2	195,4	236,8	94,3	15,8	0	0	0	0
22	0	0	21,4	124,6	172,4	185,8	224	251,5	151,4	78,4	15,6	0	0	0	0
23	0	0	7,5	53,7	158,2	221,6	267,6	209,6	116,8	53,7	31,3	0	0	0	0
24	0	0	10,1	69	218,4	146,6	127,9	92,8	54,2	30,4	4,3	0	0	0	0
25	0	0	6,1	53,6	76,2	59	75,6	43,6	15,9	9,5	5,4	0	0	0	0
26	0	0	6,2	17,4	28,2	34,3	33,1	33,3	27,8	22,9	7,1	3,3	3,2	3,2	3,2
27	0	0	5,4	10,8	18,8	39,5	43,5	28,1	20,6	11,3	5,2	0	0	0	0
28	0	0	8,1	26,2	30,5	55,3	47,6	37	25,9	16,1	8,2	0	0	0	0
29	0	0	6,9	35,6	57,4	37,9	30,2	25,7	14,7	9,5	4,8	3,6	0	0	0
30	0	0	4,6	10	18,1	24,9	26,5	25,2	18,7	11,6	5,8	0	0	0	0
31	0	0	5,6	14,7	38,5	35,5	56,9	51,5	62,6	31	9,5	3,4	0	0	0
	0,00	0,00	14,76	50,84	83,86	109,23	123,75	105,07	80,39	41,77	11,01	0,79	0,11	0,11	0,11

Anexa 2. Valorile ale radiației solare de la Stația de Monitorizare a Radiației Solare, pentru anul 2011

ora/ ian	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	0	5,1	11,9	22	30,6	29,3	27,2	27,3	18,4	9,9	0	0	0	0
2	0	0	5,5	12,9	66,2	128,3	167,7	142,1	83,2	41	13,4	0	0	0	0
3	0	0	6,6	31	42,3	64,9	49,2	75,4	32,4	19,8	7	0	0	0	0
4	0	0	7	17,7	17,5	54,4	65	58,2	45,9	26,4	10,5	0	0	0	0
5	0	0	0	16,8	69,9	120,6	142,5	131	122,7	99,2	72,9	29,1	0	0	0
6	0	0	11,9	46,9	95,4	156	215,7	331,3	238,1	130,8	31,9	0	0	0	0
7	0	0	6,6	20,8	43,3	68,4	65,6	40,4	25,5	20,7	13,3	0	0	0	0
8	0	0	9,4	45	70,3	124,6	94,4	100,4	93,7	34,5	7,6	0	0	0	0
9	0	0	11,4	41,9	99,9	199,8	288,9	249,6	173,4	130,1	42,4	0	0	0	0
10	0	0	22,8	76,1	177,3	235,4	266,5	249,8	154,9	88,3	30,5	0	0	0	0
11	0	0	14,9	70	132,5	150,1	130,3	151	120,2	55,4	21,7	0	0	0	0
12	0	0	11,6	48,4	167,7	136,2	226,3	246	135	135,9	34,6	0	0	0	0
13	0	0	16,4	57,4	77,9	138,9	142,9	73,3	53,4	75,5	25,5	0	0	0	0
14	0	0	5,7	20,5	41,6	112	133,7	203,4	150,6	47	18,6	0	0	0	0
15	0	0	15,2	41,2	45	66,3	78,6	121,3	83,1	64,6	31,7	0	0	0	0
16	0	0	27,7	144,9	248,7	321,9	358,1	339,2	241,7	169,8	56,7	0	0	0	0
17	0	0	24,5	130,6	245,4	325,2	362,2	344,8	286,8	183,4	62,7	0	0	0	0
18	0	0	29	116,7	270,4	323,6	358,6	320,1	226,7	52,3	23	4	0	0	0
19	0	0	5,1	16,2	51,4	60,8	68,2	74,9	50,5	39,3	13,9	3,1	0	0	0
20	0	0	4,5	17,4	35,5	50,7	69,7	58,7	34,2	12,8	9,2	3,3	0	0	0
21	0	0	6,5	25,5	46,8	58,2	68,8	61,4	46,1	33,4	13	3,8	0	0	0
22	0	0	10,1	30,2	42,1	62,7	78,1	81,7	58,8	39	17,4	3,3	0	0	0
23	0	0	6,4	20,8	41	98,2	126,1	117,2	91,7	51,5	27,1	4,4	0	0	0
24	0	0	11,5	37,3	74,8	89,1	60,3	61,1	67,3	59,5	35,3	7,7	0	0	0
25	0	0	12,5	39,1	60,2	68,9	68,6	72,3	53,6	34,9	16,8	5,7	4,3	4,3	4,2
26	0	0	10,8	55,1	174,2	189,8	287,7	197,1	181,1	119,5	57,4	5,3	0	0	0
27	0	0	7,3	29,7	49,7	59,5	87,8	169,8	191	119,4	31,8	6,9	0	0	0
28	0	0	77,2	208,8	311,2	391,9	534,6	470,2	338,3	211,8	85,9	9,2	0	0	0
29	0	0	46,3	173,3	286,6	383,7	541,6	483,1	361,3	236	100,4	10,3	0	0	0
30	0	0	65,7	190,4	287,3	345,9	404,6	515,4	413,6	257,6	69,8	8,9	0	0	0
31	0	0	10,9	41,6	99,3	112	124,2	92,3	67,5	40,7	18,1	5,6	0	0	0
	0	0	16,3	59,3	112,6	152,5	183,7	182,5	137,0	85,4	32,5	3,5	0,15	0,13	0,13

ora/ febr	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	0	9	26,2	43,4	59,6	75,8	72,5	58,1	41,8	22,8	6,2	0	0	0
2	0	0	11,1	22,8	39,6	48,6	44,6	37,9	35,9	34,5	17,8	5,4	3	0	0
3	0	0	10	28,4	66	72,1	64,1	73,9	69,4	43	19,8	5,6	0	0	0
4	0	0	9,7	32,1	64	63,6	64,4	75,3	69,9	58,2	29,8	9,5	0	0	0
5	0	0	35,1	183,1	316,2	409,3	453,2	426	348,1	258,8	146,7	31,2	0	0	0
6	0	0	77,9	223,7	339,8	401,4	437,3	417,8	349,6	247,8	124,1	20,9	0	0	0
7	0	0	92,2	234	336,3	420,2	460,1	448,9	367,8	266,3	139,3	22,5	0	0	0
8	0	0	86,2	239,7	339,7	418,5	474,2	442,8	338	256,7	133,6	24,8	0	0	0
9	0	0	22,9	68,9	102,8	136,4	177,4	323,6	334,3	249,1	93,3	19,7	0	0	0
10	0	3,8	25,7	70,7	171,2	247,9	220,4	290,6	255,9	170,5	48,4	13,1	0	0	0
11	0	3,6	73,7	155,6	325,5	264,9	471,7	479,5	321,7	125,4	65,2	22,2	0	0	0

160 Anexa 2

ora/ febr	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
12	0	0	10,1	25,1	113,6	209,6	337,6	246,9	310,6	321,5	159,8	34,8	0	0	0
13	0	6,3	81	151,2	278,2	389,9	447,3	193,8	84,9	71,4	55,3	17,9	0	0	0
14	0	3,2	32,5	57,8	74	121,6	159,9	144,8	112,9	85,7	71	22	0	0	0
15	0	3,3	23,9	71	84,3	131,2	134,3	142,1	128,7	98,4	32,1	18,2	0	0	0
16	0	6,6	39,3	111	247,2	375,5	479	439,5	276,8	234,8	113,9	26	0	0	0
17	0	3,3	26,8	65,3	91,8	122,2	124	66,7	112,2	158,1	174,5	48,5	0	0	0
18	0	5	48,3	215,8	350,2	386,1	250,4	201,9	68,5	57,2	20	8,7	0	0	0
19	0	4,1	13,7	26,9	42,9	59,3	40,6	39,1	37,1	25,8	18,4	8,4	0	0	0
20	0	3,6	20,6	43	91	112,2	172,1	148,2	140	115,9	61,7	22	0	0	0
21	0	4,3	18,8	44,2	72	105,9	91,3	162,4	130,1	105,8	115,1	20,6	0	0	0
22	0	9,1	62,6	103,3	233,2	248,7	301,6	221,3	139,5	108,7	63	17,9	0	0	0
23	0	8,8	58,8	155,9	254,3	295,2	251,3	193,5	134,4	86,2	37,9	5,4	0	0	0
24	0	7,9	39,2	73	145,1	131,3	160,4	123,8	85,6	56	35,2	14,6	0	0	0
25	0	4,7	22,8	57,4	80,8	99,9	89,6	149,7	143,6	108,9	77	25,4	0	0	0
26	0	10,2	48,3	113	189,8	244,3	308,3	331,3	283,7	228,9	127,3	58,6	0	0	0
27	0	8,1	35,7	72,7	124,6	171,6	243,3	265,9	312,7	269,5	179,8	60	0	0	0
28	0	6,4	29	64,1	102,6	125	128,6	122,9	104	81	53,7	22,2	4	0	0
0	0	3,3	34,3	88,2	152,2	189,4	214,9	202,6	166,2	127,9	72,1	19,7	0,2	0	0

ora/ mart	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	5,8	19,8	37,7	63,9	81,9	99,8	100,4	122	114,3	76	31,8	4,4	0	0
2	0	19,3	124,5	186,1	305,2	336,1	303,9	383,4	183,9	137,4	88,4	24,8	4,3	0	0
3	0	9,5	44,8	124,9	169,5	211,1	168,7	155,2	120	125,1	62,7	21,4	3,3	0	0
4	0	8,4	31,1	59	269,5	259,1	362,3	528,7	412,1	215,9	156,4	80,5	5,9	0	0
6	0	5,1	35,4	69,7	73,3	91,1	84,4	68	223,5	256,7	202,3	68,6	4,1	0	0
7	0	43,6	194,8	365,4	550,2	510,7	633,5	599,4	560,1	212,3	59,4	74,6	13,2	0	0
8	0	56	207,1	364,8	500,7	581,5	603,5	512,4	517,5	398,6	264,7	108,1	8,2	0	0
9	0	65,8	281,4	459,5	524,3	585,7	602,7	586,1	517,7	402,6	254,2	102,1	8,6	0	0
10	0	65,7	223,1	361,5	496,4	583,2	619,3	597,2	517,7	399,7	222,9	87,6	7,2	0	0
11	0	47,7	182,4	332,1	464,9	547	598,4	563	527,8	373,5	231,4	92,7	9	0	0
12	0	47,1	187,2	345,5	479,4	571,3	617,2	603,6	536	428,4	279,9	118,4	11	0	0
13	0	36,1	249,3	219,9	448,8	590,1	631,4	624,2	491,1	436,6	258,5	82,7	11,4	0	0
14	3,5	39,8	145,7	241	207,2	445	431,7	403	376,4	309	229,5	84,3	12,4	0	0
15	0	47,4	135,2	272,9	492,5	579,4	622,4	507	356,1	254,5	209	86,2	15,5	0	0
16	3,1	61,2	203,6	354	495,5	533,8	398,2	236,4	221,4	144,2	114,6	40,7	4,3	0	0
17	0	20,5	37,4	123,8	313,6	352,1	572,4	222,9	94,8	151,4	70,2	129,3	18,9	0	0
18	5,1	37,6	102,8	234,7	282,4	187,3	319,7	263,8	470	261,9	149,1	56,4	10,9	0	0
19	3,9	10,8	34,5	57,4	64,7	80	107,9	64,8	71,3	54,1	48,9	42,3	9,5	3,1	0
20	4,5	29,8	75,4	63	90,3	104,6	75,3	81,9	114,5	71,2	39,7	14,3	6	0	0
21	4	17,6	72,8	121,7	237,6	190,9	306,5	511,5	370	102,5	75	47,8	13,7	0	0
22	6,5	93,4	262,8	390,7	564,8	627,1	679,5	660,1	595,7	476,1	311,7	150,1	23,1	0	0
23	7	60,4	152,1	304,1	516,2	542,1	658,4	638,3	466,4	458,5	244,2	69,1	15,4	0	0
24	7,9	102,1	266,4	424,4	560,1	653,7	691	667,3	588,8	479,9	333,4	165,1	29	0	0
25	11,5	85	247,2	424,1	570,4	653,1	690,7	665,8	594	477,2	325,5	158,7	28,1	0	0
26	12,7	108,9	227,1	377,5	446,2	566,5	560,8	563,9	461,5	353,5	280,9	108,7	16,8	0	0
27	0	0	20,9	91,2	152,7	410,5	374,4	241,8	221,9	256,4	367,7	308,9	147	28,6	0
28	0	9,9	69,8	176,1	214,4	109,8	158,8	140	112,5	155	79,9	57,8	16,8	4,9	0
29	0	9,8	76	201	437,5	562,5	640	710	640,6	542,5	367,5	319,4	110,2	27,9	0
30	0	11,1	72,8	215,2	440,1	569,5	661,6	696,7	684,5	618,7	272,8	193	134,8	37,4	0
31	0	16,7	72,4	187	439,6	567,1	662,3	694,5	675,7	610,9	498,9	335,4	176,1	38,9	0
2,3	39,0	135,1	239,5	362,3	422,7	464,5	443,0	394,5	309,2	205,8	108,6	29,3	4,6	0	0

ora/ april	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	19,5	124,6	286,8	446,5	580,3	674,5	502,7	294,3	203,2	236,1	109,6	63,5	44,5	0
2	0	20,1	114,1	279,1	444,1	574,7	646	636,6	648,3	648,4	536,8	331,5	171,1	38,9	0
3	0	19,3	124,2	288	445,2	576,3	666,7	700,9	691,9	585,3	447,1	350,1	181,6	46	0

ora/ april	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
4	0	23	139	305,8	475,1	605,5	685,7	710,7	624,4	629,3	500	320	194,9	42	0
5	3,8	7,7	26,5	75,2	90,5	75,2	104,9	116,8	124	120,2	63,8	94,8	75,8	43	4,1
6	0	29,2	150,8	288,3	495,6	639,2	639,2	775,8	729,3	660,3	514,9	359,9	205,4	57,5	0
7	3,1	22,5	105,4	253,4	425,9	570,1	663,5	717	653,9	524,2	370	344,1	187	48,2	0
8	0	25,6	103,4	185,6	274	415,6	539,2	601,9	637,4	605,1	516,2	358,5	201,3	34,7	0
9	0	27,6	159,6	337,7	495,7	582,2	601	470,4	598,8	627,7	438,2	319,2	227,3	71,2	3,6
10	3,8	35	179,4	372,4	522,9	641,4	475,9	570,3	650	632,3	286	186,8	160,8	55,4	3,4
11	4,6	69,9	218,6	379,1	544,7	675,5	761,1	791,5	767,5	682,8	532,3	390,8	210,9	58,3	0
12	3,2	18	47,8	105,1	335,7	591,7	704,2	666,3	705,5	540,2	349,7	169,6	49,6	19,3	3,6
13	4,1	8,9	36	44,7	114,5	173,5	223,3	371,2	322,3	132,3	162,7	150,5	94,6	37,2	6,7
14	4,9	34,2	69,4	105	164	236,1	490,8	524,7	563,4	401,4	435,2	191,1	213,5	98,5	5,9
15	4,4	35,6	123,1	224	301	171,8	513,2	134,3	217,9	313,7	59,7	111,8	74,8	19,3	4,1
16	4	12,4	42,3	72,1	132,3	198,7	394,1	537,4	551,8	225,7	287,4	430,3	150,4	44	4,9
17	3,9	20,7	80,4	181,3	300,8	508,6	634,6	708,7	526,6	486,5	132,6	132,9	235,2	84,5	5,1
18	5,6	59,7	199	357,9	510,9	640,1	748,1	740,9	711,4	544,9	574,8	412,6	240,6	82,9	5
19	4,3	36,3	126,7	248,4	500,8	672,5	577,8	589,1	632	561,6	374,3	329,9	220,7	81,8	6,6
20	4,8	58,1	206	371,4	531,8	656,3	739,6	763	733,2	690,8	593	412,5	248,2	86,3	5,5
21	5,6	61,7	213,4	382,9	539,6	665,1	748,5	778,9	760,7	680,1	572,8	346,8	236	81,4	5,3
22	5,2	34,3	129,8	406,3	540,1	668,6	749,7	777,3	794,8	739,3	589,1	288,8	247,3	91,1	6
23	6,5	68,5	226,4	391,5	543,7	672,9	755,9	782,3	757,5	686,9	568,5	421,1	255,2	85,9	8,6
24	9	83,8	260,9	307,6	323	572,9	548,9	433,8	461,4	290	289,9	265,4	123,8	68,9	9,7
25	4,5	24,3	84,8	99,5	223,4	292,8	359	560,3	630,2	719,2	539,7	191,3	252,6	97,9	8,1
26	12,1	71,7	231,3	320,6	375,2	430,6	666,8	714,6	756,5	562,4	602,2	502,1	273,2	101,9	13,5
27	8,9	63,7	152,2	336,9	597,6	706,4	712,5	711,2	525,7	312	576,6	271,9	122,5	41,3	7,8
28	3,7	18,1	35,6	68,8	165,8	253,5	155,6	256,5	269,9	652,1	456,1	167,5	52,2	46,5	11,8
29	6	64,9	139,4	289	536,5	576,2	772	761,7	169,8	290,1	424,4	222,9	248,7	75,6	10,9
30	8,8	65,3	256,5	256,3	340,5	495,6	704,9	800,3	799,2	512,9	306,7	210,9	129,4	62,2	10,1
	4,16	37,9	136,8	254,0	391,2	503,9	588,8	606,8	576,9	508,6	411,2	279,4	178,7	61,4	5,0

ora/ mai	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2	9	50,5	80,2	102,3	118,7	129,2	197,7	314,3	385,2	437,9	603,5	330,9	162,7	78,3	12,2
3	10,5	54,5	112,1	222,5	375,7	302,5	289,8	200,3	212,8	193,5	241,2	203,5	269,6	109,3	23,1
4	7,7	31,2	42,3	89,2	51,5	144,8	241,1	256,5	262,4	338,7	367,7	324,8	303	66,5	11,7
5	13,9	106,6	276,6	454,2	611,1	735,1	817,6	862,1	663,8	591,9	446,5	320,5	273,5	126,7	16,2
6	13,2	104,3	280,6	457,9	657	798,7	876	889,1	832,5	746,8	628,5	479,7	307	139,1	20,6
7	13,7	110,2	287,9	458,3	544,2	741,7	801,9	847,8	829,9	610,1	583,5	222,6	62,9	67,7	23,8
8	20,3	79,2	191,3	220	264,1	267	206,2	231,2	236,5	356,4	342,8	181,1	64,3	29,6	10,1
9	6,5	32,2	87,6	112,2	183,2	424,3	598,9	855,3	835	677,3	544,5	473,3	191,6	91,4	15,4
10	16,2	113,6	278,1	447,5	605,4	658,3	793,9	716,1	848,2	710,6	648,1	401,2	291,6	166,1	23,8
11	22,9	137,1	196,4	528,1	563	709	783,3	878,9	826,5	707,9	600,2	495,3	318,8	149	26,2
12	18,6	119,4	264,6	459,8	610,8	737,4	822,8	854,5	829,4	757,9	518,2	410,5	316,6	148,6	24,5
13	21,9	99,1	286,7	461,1	579,9	779,1	462,9	205,7	345	484,7	656,3	375,9	158,7	122	27,7
14	20,8	120,7	291,6	457,4	612,2	733,1	816	845,5	772,4	738,3	644	481,2	261,5	130,7	20,7
15	13,7	101,8	265,1	383,4	545,9	657	721,3	728,1	569,3	663,9	554,3	314,9	307,3	192,9	36,4
16	0	18,2	32,9	51,3	72,4	81,7	127,7	112,4	99,6	74,7	136,4	108,1	62,7	41,9	11,4
17	7,3	25,5	166,8	193,4	312,1	405	405,3	330,8	565,3	452,1	344,3	247,3	111,2	80,2	24,5
18	23,6	80,6	155,2	318,3	611,4	747,7	1122	511,3	456,3	376,8	288,9	96,3	38,4	29,3	19,2
19	27,3	127,5	298,9	470,3	617,3	731,5	797,2	781	765,3	705,4	319,9	344,2	235,9	135,9	45,5
20	25,2	137,2	298,4	458,2	577,8	705,5	761,6	682,7	821,5	724,1	659	301,2	134,7	78,1	17
21	27	140,2	299,5	458	605,6	722,9	809	751,4	786,4	655,1	533,1	490,6	250,5	58,3	20
22	33,9	140,1	312,8	469,3	617,7	730,2	798,2	822,8	810,4	742,8	632,2	495,9	224,1	77,2	23
23	35,6	118,2	275	257	406,3	412,9	513,6	713,6	802,4	569,8	498	307,4	23,7	31,4	10
24	35	160,6	307,3	467,5	613,1	709,3	789,8	820,1	784,7	696,7	610,8	384,7	218,4	166,9	40,4
25	30,7	142,5	290,2	456,6	582,9	719,4	749,7	715,2	499	82,9	608,6	113,8	298,7	180,5	51
26	30	161	319,9	482,4	589	676,5	799	829,9	819,2	742,2	626,4	455,9	238,8	78,5	38,6
27	29,4	162	326,1	490,4	636,4	753,5	826,4	850,7	815,4	748,4	626,4	488,9	327,2	165,7	42
28	31,8	165	322,5	485,5	629,8	745,3	818,4	836,3	806,4	734,4	359,1	391,5	96,2	9,3	5,8

162 Anexa 2

ora/ mai	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
29	18,9	67,2	128,6	378,4	408,2	399,4	710,6	789,3	696,7	670,6	644	479,4	319,9	160,4	42,8
30	33,6	161,6	318,4	482,2	617	727,8	803,8	832,3	803,5	392,5	419	477	340,4	207,8	62,2
31	25,1	179,6	319,1	478,7	619,2	665,2	791,1	822,8	815,5	765,5	632,2	158,8	100,7	139,4	23,6
	20,7	108,2	237,0	375,0	494,3	591,7	668,4	662,9	653,2	571,6	510,5	345,2	210,3	108,3	25,5

ora/ iunie	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	38,1	155,5	324,5	484,5	621,6	731,9	810,6	840,6	739,7	578,3	131,4	118,7	208,3	211,2	44,1
2	30,4	168	312,6	490,9	635,1	762,2	635,7	776,7	704,6	537,9	497,6	310,9	146,5	133	53,2
3	36	162,9	208,9	247	319,8	528,2	766,8	376,4	552,4	723,9	442,7	266,5	282,3	115,6	46,4
4	37,4	176,7	288,9	403,7	520,2	730,8	789,6	789	365,1	599	484,3	287,3	261,5	129,3	51,2
5	35,8	151,1	334,1	489,2	639,7	755,7	829,7	777,7	800,4	796,4	570,3	538,3	227,9	170,9	61,7
6	48,6	141,1	116,1	456,1	625,7	746,9	815,1	824,1	856,9	750	633,3	475,2	330,1	164	36
7	26,6	129,8	160,8	487,3	573,8	680,1	820,6	841,2	816,5	746,9	631,2	479,2	331,1	153,1	52,1
8	16,5	138,9	229,2	414,2	554,8	595,1	815	821,4	651,1	588	216,4	267	53,5	10	13,1
9	35,5	205,7	199,8	356	516,8	439,9	455,2	529,8	500,8	325,1	123,1	73,8	70,5	135	40,2
10	20,7	65,7	160,7	137,4	80,1	178,5	229,7	151	57,6	101,1	168,7	128,9	149,9	120,6	26,6
11	23,3	84,4	193,3	246,6	247,9	311,8	330,3	372,8	444,2	406,1	258,4	196,4	119,9	79,3	21,7
12	27,7	96,5	130,5	275,2	291,1	405,5	631,9	654,1	552,1	280,1	229,5	238,5	294,4	168,8	44,2
13	32,3	175	236,3	323,3	547,5	556,5	816,4	854	832,2	764,3	656	510,9	350,6	190,6	61,9
14	30,2	105,3	312,6	469,8	648,3	761,5	830,1	816,6	767,8	759,1	635,6	500,7	318,1	197,6	58,4
15	12,9	60	91,2	189,1	156,2	356,2	826,6	735	845	713,1	550,4	509,5	339,6	189,1	56,1
16	30,8	176,9	336,2	497,1	644,8	751,5	673,3	788,8	399	386	275,3	463,8	354,1	189,5	58,7
17	28,2	164,6	323,1	480,9	628,8	693,8	796,8	860,9	830,1	759,6	644,4	487,7	331,8	159,2	54,2
18	36,3	158,5	323,2	485,8	615,4	723,7	797,9	816,4	799,1	708,8	405,8	390,1	333,4	170,1	47,1
19	38,5	163	319,8	473,5	419,3	444,3	676,7	698,3	509,5	297,7	458,9	288,6	144,6	22,1	10,1
20	30,6	188,7	357,4	503,8	658,9	660,7	692,2	620,5	605,4	532,4	455,9	413,1	342,5	187,7	66,4
21	32,3	100,2	264,5	446,2	612,8	777,2	846,7	869	870,1	713,7	467,6	477,9	366,3	202	63,1
22	26,7	184,3	345,8	509	653	765,3	828,7	862,1	835,6	764,2	654	514,7	355,6	198	62,5
23	26,9	180,9	336,6	500,7	643,6	755,2	824,1	841,6	811,6	741,2	643,3	505,5	346,9	185,3	58,9
24	14,8	98,9	310,7	471,8	625,4	742,8	811,9	835,9	815,2	757,5	587,2	389,1	317,1	99,3	21,6
25	19,3	94,4	249,7	512,6	644,9	686,9	688,6	836,7	556,3	596,3	646,7	273,5	211,1	176,7	67,2
26	30,2	191,6	349	514,1	661,2	788,4	631,3	718,9	492,4	407	431	326,3	125,6	151,7	46,6
27	28	180,9	345,3	508,6	651,5	753,2	609,3	600	649,3	707,6	637,9	504,7	400	192,2	66,7
28	26,9	137,1	120,3	302,2	350,4	446,7	397,1	186,1	275,3	278,8	288,4	180,6	49,4	18,1	15,5
29	13,7	29,9	67,1	256,8	595,9	492,9	602,9	646,5	149,9	138,4	363,2	288,5	359,9	197,2	49,5
30	22,5	121,1	202,9	492,2	626,6	612,4	576,8	363	228,6	102,5	399	527,2	248,7	63	24,1
	28,59	139,5	251,7	414,1	533,7	621,1	695,8	690,1	610,4	552,0	452,9	364,4	259,4	146,0	45,9

ora/ iulie	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	7,7	30,8	68,1	147,6	157,2	128,9	146,3	147,5	130,3	212,4	201,4	115,8	109,2	32,3	21
2	22	158	352	394	569,4	512,6	510,3	455,7	559,4	504,5	203,5	122,4	208,7	96,3	40,3
3	30,1	168,4	327,4	492,6	649,7	621,4	737	727,5	685,9	747	528,4	503,6	332,9	157,8	35,4
4	12,1	78,9	148	187,7	284	333,2	528,6	361,9	304,3	499,3	294,5	382,9	232,9	119,4	39,3
5	14,1	27	49,1	90,1	152,8	205,5	332,5	477,3	548,6	191,1	274,1	501,5	357,4	200,8	54,8
6	25,5	160,5	323,8	491,2	628,6	750,6	763,7	729,6	657,2	589,1	527,4	448	388	178,1	49,3
7	25,6	165,3	289,3	463,9	615,8	739,1	823,2	757,8	706,7	640,6	644,3	397	315	184,3	54,4
8	27	157,1	312	472	621,9	739,3	809,6	835,4	811,4	746,3	633,6	499,5	341,4	162,1	52,3
9	27	149,4	300,3	458,9	604,4	720,5	793,9	820,6	798,4	730,2	624,6	483,6	329,9	179,7	55,6
10	27,1	148,9	304,6	463,5	607,4	720,9	800,5	823,4	812,3	739,8	636,2	497,1	340,3	179,9	55,6
11	28	142,7	291,4	450,5	597,7	713,5	783,3	811,7	800,2	596,1	487,2	168,3	227,2	97,7	59,9
12	24,8	148,3	306,8	477,4	623,9	739,8	815,7	852	829	761,2	645,4	506,1	342,1	186,2	55,9
13	24,1	151,6	295,7	476,8	626,1	741,7	818,3	844,4	832	693,2	699,7	351,8	219,4	149,5	67,5
14	30,7	132,3	278,3	442,2	589,2	705,1	782,7	812,4	791	726,1	617,1	470	312,7	163	52,1
15	27,5	129,9	281,1	439,9	570,7	689,5	767,9	801,5	784,1	708,7	602	465,2	310	155,3	46,5
16	24,3	81,6	261	422,1	580,9	711,2	794,6	864,8	804,6	736,6	626,9	489,1	324,9	173,9	52,8
17	29	73,1	238,3	416,2	521,8	714,9	783,2	821,2	798,8	717,1	567,1	476,1	323	173,7	49

ora/ iulie	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
18	22,3	138,5	291,3	449,6	601,7	713	783,8	805	803,1	768,6	625,9	472	311,1	165,2	45,5
19	30,9	69,3	230,3	432,5	586,5	702,4	775,8	799,6	778,7	710,4	640,3	432,2	253,2	151	32,8
20	30,7	165,1	160,8	291,2	227,5	360,9	674,3	711,1	226,6	23,4	58,6	102,7	328,2	191,8	59,8
21	18,9	64,5	162,7	327,8	337,2	320	257,1	598,7	156,6	212,3	77	286,6	192,2	117,6	33,4
22	17,1	47,2	131,9	220,4	406,1	283,6	435,5	822,3	813,4	696,9	414,4	356,4	363,4	186,1	43,5
23	24,3	130,2	275,1	418,4	478,2	609,6	786,1	476,6	463	524,7	404,5	311,9	143,3	58,3	17,1
24	7,6	46,6	76,4	134,5	237,7	530,7	409,5	401,2	544,2	498,6	335,5	461,1	202,7	143,7	39,7
25	9,9	85,7	121,1	171,8	143,6	257,4	282,4	442	456,1	472,6	353,5	435,3	165,8	70,3	22,4
26	7,6	18	62,7	129,5	258,7	279,2	212,8	238,1	234	149,2	135	202,4	182,9	81,8	15,2
27	16,9	70,6	130,7	424,4	392,5	408,1	835,1	607	544,5	617,3	601,3	335,3	297,6	131,5	35,9
28	19,7	63,4	247,6	326,8	256,7	409,6	261,5	519,3	594,8	576,5	597,7	475,6	238,6	133	29,6
29	12,3	35,4	72,1	80,5	79,4	111,1	124	183,2	79,6	59	42,7	35,4	27,6	30,4	7,9
30	8	37,9	72	78,5	82,9	439,2	704	550,9	688,2	523,4	423,3	427,4	123,1	100,9	38,8
31	19,3	79,8	146,1	455,9	557,9	547,8	269,5	125,6	164,9	125,7	158,9	307,7	212,5	67,2	18,3
	101,8	213,1	346,0	440,2	530,9	600,0	620,1	587,1	532,1	441,3	371,6	259,9	136,0	41,3	3,8

ora/ aug	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	12,3	95,2	224	322,4	608,3	588,5	352	301,3	273	351,2	234,5	122,7	131	131,7	37
2	8,1	38,6	112,7	145,4	201,9	381,9	351,5	481,3	347,1	415,6	267	179,8	193,4	118,7	22,3
3	10,8	58,6	250,4	421	570,4	680,8	767,6	708,3	436,1	220,1	506,8	472,2	251,7	133,5	27,3
4	14,2	77,4	194	296,8	298,5	624,6	761,5	752,7	717,2	535,2	325,1	213,4	158,8	90,6	15,7
5	12,6	81,4	265,2	350	373,4	591,9	528,7	764,1	744,4	656,9	541,5	401,8	258,1	136,2	37
6	10,6	83,3	220,5	401,7	550,2	668,5	781,7	787,1	750,7	696,8	571,3	459,4	280,3	103,7	20,3
7	10,2	80,8	238,5	400,2	550,5	667,4	749	770,6	753,4	678	568,6	419,5	242,8	85,3	17,5
8	9,3	77,9	240,3	399,7	550,6	673,8	753,1	779,2	765,9	695	580,9	432,3	271,1	96,4	16,7
9	6	15	46,3	104,6	306,6	355,2	418	227,5	216	222,4	482,1	268,4	92	106,4	24
10	7,7	80,1	251,8	434	585,9	688	614,5	704,8	676,6	435,7	420,8	444	171,3	159,9	23,5
11	7,8	78,3	260,1	427,4	577	697,1	777,8	779,8	769,3	666,8	415,8	441,4	290,8	128,1	18,1
12	7,5	72,5	250,9	416,3	567	684,9	760,3	790,7	767,5	696,5	581,3	432,7	270,4	118,5	13,6
13	7,2	68,6	242,4	408,7	558,6	667,7	729,3	705,2	736,6	685,2	588,4	409,7	269,9	126,8	19,4
14	9,4	58,4	207	395	544,5	665,1	723,8	765,8	739,1	706,8	597,5	491,2	337,6	90,1	12,7
15	6,6	68,1	241,1	407	554,2	672,3	747,6	778,9	731,4	630,4	483,7	427,9	263,8	111,2	11,2
16	6,3	68,3	232	389,5	528	648,8	732,5	658,3	395,2	651,1	489,4	394,8	268,1	109,9	12,1
17	5,8	65,2	222,7	384,4	525,1	641,6	742,2	467	669,1	565,1	562,1	463,3	253,8	102,3	11,9
18	5,3	66,2	238,4	404,8	555,8	674	751,2	766,1	738	661,6	550,5	409,7	247,9	94,5	8,8
19	5,9	62,2	224,4	387	536,2	650,5	725,7	750,9	731,1	662,1	544,5	401,2	239,2	92,4	7,5
20	4,9	59,6	223,8	370,7	490,7	664,2	731,5	735,5	697,5	695,8	522,4	424,7	267	96,4	9,9
21	5,2	59,5	232,9	400,2	549,1	666,7	745,5	766,7	741,6	670	549,2	402,7	243,8	91,5	7,8
22	5,4	59	217,1	381	533,3	649,7	731,6	758,9	731	655,4	539,3	392,6	227,7	81,7	6,4
23	4,9	55,7	203,9	366,1	513,6	633,1	712,8	739,8	712,9	638,5	524,2	377,4	215,4	76,6	6,7
24	4,5	53,2	197,9	359,6	509,1	629,4	706,3	729,2	702,3	630,8	518,4	381,4	219,5	75,1	6
25	4,2	52,4	199,2	361,6	496,1	617,2	690,6	709,8	698,8	619,4	498,9	354,9	200,1	68,9	5,1
26	4,3	49,7	185,1	345,2	495,2	614,8	693	719,3	687,5	614,6	503,6	363,3	206,2	71	6,8
27	4,5	51,4	192,7	355,2	510,2	636,9	717,5	743,4	718,1	645,9	526,2	376,9	214,3	72,1	6,1
28	4,3	53,2	187,8	351	501,3	620,3	693,2	713,4	685	609,2	493	343,1	185,8	53,6	4,9
29	4,4	49,2	184,3	346,4	495,1	615,9	691,5	716,8	695	622,6	502,5	352,3	192,1	55,1	0
30	4,3	58,2	157,2	336,1	494,2	611,7	689,5	708,9	674,5	599,6	482	340,5	183,5	56,2	3,4
31	0	44,4	173,9	331,6	475,7	600,3	678,2	672,1	546,7	582,4	491,4	341,5	176,9	48	3,5
	6,5	62,6	210,2	361,3	503,4	628,4	685,4	692,0	653,6	594,0	498,8	378,6	226,5	96,2	13,6

ora/ sept	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	46,1	177,5	337,3	482,2	611	679,5	712,7	683,9	605,6	484	304,9	182,5	50,5	0
2	4,7	12,9	42,3	156,9	493,3	547,1	514,6	674,3	644	556,4	466,9	280,2	192,3	43,1	0
3	0	42,3	172,5	333,5	486	606	690,5	598,2	715,2	552,5	411,7	281,9	195,4	47	0
4	0	45,8	186,9	354,3	504,5	628	708	730,9	693,9	620,3	500	350	186	43,9	0
5	0	38,7	164,6	316,1	453,8	576,5	649,6	664,9	638,6	566,9	449,3	262,2	115,7	31,6	0

164 Anexa 2

ora/ sept	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
6	0	17,5	139,6	254,2	461,6	442,1	555,6	668,3	659,4	601,1	484,8	354,3	194,1	47,2	3,5
7	0	42,3	182,3	347,6	494,6	607,4	683,6	712,9	635,2	588,1	433,2	198,8	92	48,5	0
8	0	23,9	58,3	113,9	245,3	572,1	446,5	613,2	579,2	510,6	387,3	194,4	78,9	25,4	0
9	0	12	51,5	143,5	300,6	472,6	518,8	539,1	653,1	627,5	539,8	340,8	162,4	36,2	0
10	0	36,7	180	268,2	481,3	511,8	678,1	688,1	655,1	579,7	474	302,9	147,8	29,1	0
11	0	32,9	161,1	321,3	472,5	592	666,6	684,8	655,3	574	458,6	305,2	145,6	24,1	0
12	0	30,8	154,9	309,9	454,1	536	635,8	668,8	641,7	563,4	452,1	301,2	135,9	23,9	0
13	0	28,5	154,2	316,9	465,3	576,1	651,7	674,1	648,7	570,6	449,3	300,8	141,7	21,6	0
14	0	30,6	149,8	309,5	457,6	576,3	648,3	666,2	631,6	552,4	427	279,5	126,1	18,9	0
15	0	19,2	122,9	241,8	380,7	492,5	592,5	627,2	514,4	501,5	404,4	263,7	109,8	20,2	0
16	0	26,3	145,5	302,8	451,7	566,5	640,7	665,8	626,3	549,3	426	274,7	121,4	18,7	0
17	0	21	112,4	309	463,1	577,1	654,7	678,1	641,2	553,8	431,6	281,8	125,4	17	0
18	0	23	129,4	271,3	389,7	489,4	568,3	536,4	536,1	462,2	261,5	138,7	118,7	18,6	0
19	0	12,9	115,8	278,7	428,6	546,8	625,8	646,8	614,8	527	395,8	218,6	80,2	12,3	0
20	0	6	18,9	30,4	57,4	61,1	52,5	84,7	69,7	327,5	173,7	108,3	46,6	9,3	0
22	0	18,7	25,2	93,8	137,2	239,7	477,7	581,8	588,5	454,8	403	240,1	87,8	37,9	0
23	0	13,6	96,9	257,1	424,7	548	613,1	610	534,3	427,8	365,4	237,2	90,1	10,1	0
24	0	13,8	101,5	245,7	391,2	514,2	584,4	599,3	573,3	521,4	385,9	195,8	62,7	6,5	0
25	0	10,4	60,5	249	390,7	498,2	555,2	579,6	562,6	484,3	351,1	204,4	73,5	6,4	0
26	0	11,9	98,6	244,5	384,4	500	567,9	536,3	425,5	467,9	338,8	198,5	66,4	5,1	0
27	0	10,6	86,6	222	363,3	477,9	551,7	569,6	538	462,5	329,6	170,5	64,1	5	0
28	0	10,5	104,9	260,5	407,1	521,8	593,4	609,8	568,6	479,4	360,8	215	71,2	4,7	0
29	0	10,3	114,9	278,7	428	549,4	621,4	617,1	578,7	500,8	381	177,3	67,5	5,2	0
30	0	9	89,9	260,4	397,8	510,9	580,9	602,2	564,6	482,3	363,7	214,9	67,6	4,1	0
	0,16	22,69	117,2	256,1	405,1	515,4	586,4	615,2	588,6	526,6	406,5	248,1	115,4	23,1	0,1

ora/ oct	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	8,4	98,9	254	400,5	517	589,9	607,6	563,9	486,6	360,5	210,2	65,2	3,4	0
2	0	8,3	101,7	258	406,4	519,3	591,7	605,1	569,7	486,7	355,5	210	64,3	3,6	0
3	0	8,5	97	255,7	403	511,6	574	602,9	563,5	480,5	345,9	191,5	54,3	0	0
4	0	8,3	92,6	239,1	384,8	498,1	559,9	572,5	538,8	443,7	337,1	191,2	52,9	0	0
5	0	7,8	83,6	225,1	370,5	478,3	534,4	551,4	520,3	392,9	222,9	168,9	46,8	0	0
6	0	7	86,7	235,4	341,4	458,4	545,6	528,1	500,7	425,4	310,5	167,7	41,3	0	0
7	0	6,4	68,6	181,2	323,6	472,9	546,5	569,9	528,1	430,3	254,8	93	31,2	0	0
8	0	6,5	32	96,4	121,5	175,9	332,7	271,7	168,8	329,3	203,1	154,7	44,7	4,2	0
9	0	5,4	38,8	110	217,7	395	417,8	446,9	307,3	161,7	28,5	98,1	31,9	0	0
10	0	6,1	79,1	224,8	377	493	565,9	567	544,9	431,9	323,9	170,3	38,2	0	0
11	0	6,1	31,9	89,5	99,4	219,2	151,2	147,5	77,3	72,6	55,5	23,7	21,2	0	0
12	0	4,1	15,4	60,5	219,3	444,2	531,2	400,8	234,4	181,2	144,5	24,7	6,1	0	0
13	0	0	20,7	52,9	133,3	159,9	295	412,2	307,4	305,9	285,3	160,2	29,7	0	0
14	0	4,3	50,2	195,2	368,5	478,5	549,8	553,9	519,3	420,5	288,1	154	29,1	0	0
15	0	4	67,9	221,9	368,8	481,6	546	539	433	352	139,9	66,6	19,3	0	0
16	0	4,2	68,9	223,6	373,1	487,8	556,1	567,1	525,7	435,3	304,2	151,7	24,7	0	0
17	0	0	65	216,6	364,8	479	547,3	561,2	518,9	427,2	296,3	143,2	22,3	0	0
18	0	0	58,7	204,5	350	461,8	527,9	541,4	503,1	413,6	281,8	128,9	18,8	0	0
19	0	4,5	53	187,7	325,3	317,9	294,7	425,9	362,5	374,6	238,6	95,8	14,8	0	0
20	0	3,8	48,6	238,3	288,1	171	334,8	193,8	363,8	402,4	202,7	101,8	10,7	0	0
21	0	0	9,4	25,8	38	51,4	77,5	61,2	55	47,8	48,9	25,9	8,5	0	0
22	0	0	7,6	14,1	37,4	47,2	88,5	79	47,1	48,5	43,1	16,4	0	0	0
23	0	0	6,8	21,2	69,7	237,6	219,5	152,9	191	111,9	68,6	21,4	7,8	0	0
24	0	0	14,1	41,4	77,8	114,2	170,4	145,3	85,9	33,3	22,3	15,7	4,4	0	0
25	0	0	20,8	105,6	194	291,8	370,2	415,5	252,7	287,1	131,4	58,3	10,5	0	0
26	0	0	35	155,8	294,3	404,3	493,7	449,7	440,8	348,1	148,3	49,9	7,6	0	0
27	0	0	34,8	169,4	275,4	417,6	475,8	519,3	291,7	236	232,6	81,5	8,1	0	0
28	0	0	33,5	156,6	292,3	399,8	462,5	479,2	437,6	349,1	221,6	84	6	0	0
29	0	0	29,6	144,4	279	380,9	442,1	456,1	423,7	336,6	214,1	87,7	7,4	0	0
30	0	0	21,1	152,2	297,6	410,6	465,9	471,3	429,5	343,8	213,5	74,5	4,5	0	0
31	0	13,8	133,9	269,7	374,9	442,6	476,1	428,3	330,7	155,3	54,2	5,7	0	0	0
	0	3,7	51,8	162,5	273,1	368,3	430,1	429,7	375,3	314,5	205,7	104,1	23,6	0,3	0

Ora/ noi	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	4,2	16,6	90,6	262,9	363,4	423,3	423,5	382,5	307,7	189,8	65,6	4,4	0	0	0
2	0	19,6	118,4	246,9	352,6	424,8	440,9	404,9	314,5	197,6	69	3,7	0	0	0
3	0	21,9	131,5	264,7	369	433,4	447,3	405,6	314,5	191,4	66	0	0	0	0
4	0	19,3	102	181,4	243,5	352,5	416,1	429	299,9	125,5	35,3	4,2	0	0	0
5	0	13,4	76	250	354,9	423	427	393,8	300	180,9	58,8	0	0	0	0
6	0	17,1	117,4	246,1	341,6	379,7	362,9	327,1	233,4	97,7	63,7	3,4	0	0	0
7	0	15,4	104,3	229,6	335,9	293,1	223,7	178,9	67,1	59,8	27,8	4	0	0	0
8	0	14,7	103,9	228,6	334,4	394,6	409,2	366,5	281,9	168,2	47,5	0	0	0	0
9	0	11,3	97,3	218,7	322,8	379	385,2	352,3	273,4	162,5	50,2	0	0	0	0
10	4	8,1	34,3	77,7	124,8	176,5	122	93,8	96,9	73,7	22,4	3,7	0	0	0
11	0	6	28,8	101,5	292,2	341,9	319,2	300,9	259	123	26,9	0	0	0	0
12	0	7,1	43,1	103,3	185,7	327,8	378,3	320,7	245,3	139	44,2	3,3	0	0	0
13	0	10,5	84,9	204,5	300,6	361,3	371,3	324,9	253,3	146,5	39,7	0	0	0	0
14	0	11	91,7	194,9	282	340,4	357,3	323,6	246,1	128,3	36,3	0	0	0	0
15	0	7,6	82,6	217,1	275,8	356,6	360,1	331,1	253,7	147	37,3	0	0	0	0
16	0	7,3	67,3	174,6	273,7	327,2	334,9	318,9	245,4	140,6	40,2	3,9	0	0	0
17	0	7,4	63,8	187,4	305,5	317	323,2	284,8	217,9	120,4	33,6	0	0	0	0
18	0	7	77,4	210,2	282,5	327,1	339,5	308,2	235,5	133,7	33,9	0	0	0	0
19	0	6,1	25,1	62,1	104,2	120,6	141,5	133,5	93,3	49,7	15,1	4,1	0	0	0
20	0	4,5	10,9	22,9	35,1	48,1	52,9	47,9	38,8	22,5	8,3	0	0	0	0
21	0	4,3	10	20,8	28,9	41,8	48	51,9	46,5	31,3	12,4	4	0	0	0
22	0	5,3	18,4	38,7	74,3	77,4	74,8	74,3	59,7	38,6	13,5	4,4	0	0	0
23	0	6	21	43,2	86,1	96,8	89,2	86,7	59,7	29,7	15,9	0	0	0	0
24	0	4,9	23,8	75,5	91,6	103,4	127,1	106,3	74,3	58,8	20,8	0	0	0	0
25	0	5,3	47,4	147,7	245,8	312,5	328,7	296,3	219,4	116,5	29,1	4,9	0	0	0
26	0	5,1	15,5	30,8	38,8	43,1	40,2	32,9	28,2	19,3	8,7	0	0	0	0
27	0	4,3	11,5	33,4	44,3	68	99,1	74,9	73,3	46,5	16	3,8	3,7	0	0
28	0	3,9	50	94,8	162,6	134,5	124,5	119,1	140,7	77,7	17,8	4	0	0	0
29	0	4,9	22,6	86,3	213	323,2	338,8	307,8	230,7	108,7	21,6	0	0	0	0
30	0	4,2	47,4	154,5	253,7	315,6	324,8	293,8	215,8	97	17,1	4,3	0	0	0
	0,2	9,3	60,6	147,0	223,9	268,8	274,3	249,0	190,8	107,3	33,1	2,0	0,1	0	0

ora/ dec	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	0	7,3	15	28,1	41,1	43,4	44,7	32	20,4	7,6	4	0	0	0
2	0	0	12,2	29,6	54,9	136,3	150,9	163,4	202	109,3	21,9	3,5	0	0	0
3	0	0	12,3	44,6	114,4	122,1	97,3	105,8	86,2	50,3	13,6	0	0	0	0
4	0	0	22,7	76,3	40,6	94,4	70,4	93,4	35,4	15,3	5	0	0	0	0
5	0	0	20	59,2	142,8	87,1	47,4	43,7	14,4	10,3	3,5	0	0	0	0
6	0	0	17,7	140,6	196,2	282,8	299,6	176,2	113,1	81,6	19,2	0	0	0	0
7	0	0	49,4	189,4	303,2	335	293,6	309,8	244	141	30,9	0	0	0	0
8	0	0	12,6	52,4	245,8	334,1	362,6	334,1	41,6	16,9	5,4	0	0	0	0
9	0	4	31,1	95,5	233	328,6	227,6	261,6	121,8	83,1	26,5	0	0	0	0
10	0	0	6,5	20,7	55,5	88,2	114,2	80,3	66,6	28,8	10,1	0	0	0	0
11	0	0	10,8	25,8	73,7	122,9	145,3	145,8	62,1	43,9	11,5	0	0	0	0
12	0	0	21,1	118,2	185,3	400,8	149,8	51,2	116,5	65,3	12,2	0	0	0	0
13	0	0	20,9	72,7	147,1	108,7	71,7	99,9	69,7	28,4	7,1	0	0	0	0
14	0	0	8,7	20,7	59,1	74,9	79,4	84,8	97,4	105,1	25,4	0	0	0	0
15	0	0	10,3	35,8	37,7	71,4	59,9	49,9	32,2	16,1	4,6	0	0	0	0
16	0	0	18,3	52	127,7	155,9	117,5	206,6	133,8	121,7	19,5	0	0	0	0
17	0	0	5,8	20,4	39	53,7	52,5	45,5	28	19,5	6,6	0	0	0	0
18	0	0	12,7	96,1	237,7	239,6	322,8	176,5	200,5	117,2	29	0	0	0	0
19	0	0	6,6	46,4	89,1	104	77,9	49	40,9	19,4	6,7	0	0	0	0
20	0	0	9	49,6	76,9	88,8	50,1	45,3	32	15,7	11,5	0	0	0	0
21	0	0	20,4	124,9	231,7	308,9	338,9	315,7	245,5	144	25,9	0	0	0	0
22	0	0	9,8	47,8	100,5	220	303,6	283,7	213,5	128,1	30,1	0	0	0	0
23	0	0	8,2	24,6	41,5	52,5	44,4	56,4	40,8	20,4	8,4	0	0	0	0

166 Anexa 2

ora/ dec	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
24	0	0	10,6	35,4	84,6	128,7	152,9	159,9	116,8	91	21,2	0	0	0	0
25	0	0	7,1	20,7	58,4	37,6	33,9	23,6	23,7	30,4	14	0	0	0	0
26	0	0	12,1	46,5	77,4	92,3	101,4	96,3	72,9	40,6	13,7	0	0	0	0
27	0	0	9,3	37,9	91,8	95,7	91,1	70,7	57,2	28,5	9,7	0	0	0	0
28	0	0	7,5	42,1	65	97,4	106,1	87,1	54,5	24	7,4	0	0	0	0
29	0	0	11,4	59,4	112,9	77,8	100,1	73,4	101,1	36	8	0	0	0	0
30	0	0	6,6	23,1	35,9	40,5	42,5	55,1	50,1	43,4	10,4	0	0	0	0
31	0	0	9,6	30,1	42,5	85,6	123,1	79,9	100,8	63,7	15,4	0	0	0	0
0	0,12	13,8	90,8	164,4	145,4	137,8	124,8	91,5	56,7	14,25	0,24	0	0	0	0

Anexa 3. Valorile ale radiației solare de la Stația de Monitorizare a Radiației Solare, pentru anul 2012

ora/ ianuar	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	0	10,9	55,8	76,7	107,5	113,5	115,5	150,6	80,9	22,2	0	0	0	0
2	0	0	25,5	111,9	224,3	297,3	337,7	323,3	262,1	159,7	41,8	0	0	0	0
3	0	0	18,7	113,7	199	295,5	269,7	157,6	224,5	94,1	18,4	0	0	0	0
4	0	0	18	111,9	208,1	297,9	348	293,5	278,2	81,3	19,8	0	0	0	0
5	0	0	9,9	78,3	94,8	123,6	91,4	92,7	135,6	79,4	19,6	0	0	0	0
6	0	0	10,7	58,6	122,7	141,1	171,3	154,2	114,1	50,6	17,1	0	0	0	0
7	0	0	10,3	113,8	240	323,4	364,3	349,4	283,6	182,9	58,5	0	0	0	0
8	0	3,3	6,4	28,3	52,4	80,7	95,4	77,1	70,1	55,6	20,7	3,3	0	0	0
9	0	0	193,7	185,3	503,3	162,9	101,7	82,5	73	41,4	15,5	3,6	0	0	0
10	0	0	0	18,3	50,3	16,9	10,7	15,5	63	50,7	33,3	6,1	0	0	0
11	0	0	6,7	32,9	79,7	114	111,5	183,9	179	102,4	40,7	0	0	0	0
12	0	0	27,6	123,2	116,4	123,1	144,7	179,5	62,8	81,7	24,1	0	0	0	0
13	0	0	11,1	58,5	174,7	66,8	99,5	119,6	100	64,4	43	0	0	0	0
14	0	0	21,7	126,5	227,2	272,1	329,9	300,3	146	147	65,8	0	0	0	0
15	0	0	13,8	123,5	243,5	330,3	245,2	318,4	290,2	185,3	62,6	0	0	0	0
16	0	0	40,3	209,9	322,1	356	367,8	353,5	266,4	139,8	40,6	3,2	0	0	0
17	0	0	23,6	83	131,2	84,4	103,2	113,3	103,5	55,5	9,5	3,3	0	0	0
18	0	0	13	61,9	106,6	178,7	233,9	152	126,4	101,6	29,4	3,7	0	0	0
19	0	0	13,3	58,6	131,2	153,1	304,5	264,7	191,2	98,2	53,3	4,7	0	0	0
20	0	0	4,3	11,1	18,5	25,6	22,8	37,7	24,8	27,9	14,1	0	0	0	0
21	0	0	20,9	137,8	251,1	351,5	348,5	167,7	271,4	162,4	76,7	3,8	0	0	0
22	0	0	3,3	22,5	179,7	311	310,1	280,4	251,4	149,2	51,7	4,6	0	0	0
23	0	0	15,5	102,8	266,1	359	389,6	380,5	295	212,7	91,9	5,6	0	0	0
24	0	0	5,3	16,7	24,6	52,1	62,8	48,1	41,1	26,1	16,5	3,8	0	0	0
25	0	0	19,9	57,4	99	120,6	97,9	72,2	81,8	52,9	19,9	4,8	0	0	0
26	0	0	11,6	49,6	111,2	98,3	132	143,6	116,3	77	37,5	8,2	0	0	0
27	0	0	17,6	72	227,7	342,7	377,8	316,7	190,8	130,2	45	8,8	0	0	0
28	0	0	31,1	143,5	259,5	337	351,2	253,5	162,4	71,5	19,6	4,3	0	0	0
29	0	0	43	154,3	234	300,5	382,4	368,8	326,9	226,7	101,5	10,2	0	0	0
30	0	0	42,7	161,1	276,7	355,8	396	397,2	337,6	230,9	107,6	15,2	0	0	0
31	0	0	53,6	185,9	300,3	387,5	433	417,6	358,6	250,8	111,5	12,5	0	0	0
0	0	0,106	24	92,5	179,1	211,8	230,5	210,6	179,9	111,9	42,88	3,538	0	0	0

ora/ februar	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	3,3	46,7	176	300,7	395,9	419,2	426,6	366,7	257,6	120,5	9,6	0	0	0
2	0	0	30,6	117,9	198,6	262,9	375,6	241	231,3	213,5	121,5	18,4	0	0	0
3	0	4,6	16,9	49,3	67,9	61,4	60,7	58,4	96	60,4	36,8	8,3	0	0	0
4	0	4	5,9	9,5	16,6	20,6	24,4	31,7	23	13,5	11	4,8	0	0	0
5	0	3,9	7	13,8	21,3	29,9	30,4	36,5	33,4	24,3	14	5,7	0	0	0
16	0	4,8	21	72,5	184,4	250,5	413,8	343,1	149,3	150,8	79,8	26,1	0	0	0
17	0	6,2	27,6	56,8	104,9	256,1	327,9	413,3	217,7	310,8	243,5	78	0	0	0
18	0	14,9	63,5	181,4	359,5	280,7	282,3	287,3	178,2	102,5	49,5	17	0	0	0
19	0	6,1	51,2	110,1	132,4	165,3	269,4	190,2	140,7	60,9	42,7	13,8	0	0	0
20	0	5,7	26,8	72,2	116,2	143,2	240,6	216	169,7	120,3	58,7	18,1	0	0	0

168 Anexa 3

ora/ februar	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	0	9,8	111,7	269,5	408,5	507,2	555,8	546,3	479	363,4	203,9	37,6	3,8	0	0
22	0	6,4	34,5	79	136,5	143,7	156,2	140,4	103,8	72,3	46	16,7	0	0	0
23	0	9,3	52,1	178,1	306,3	159,6	81,6	87,2	115,3	58,8	43,6	17,3	3,3	0	0
24	0	9,6	84,3	283,1	428,1	535,8	581,2	570,6	518,6	341,8	198,4	49,3	0	0	0
25	0	8,8	62	153,3	325,3	408,2	362,2	486,4	419,1	366,1	207,8	89,6	0	0	0
26	0	24,1	136,4	247,4	307,6	546,7	605,9	572,6	544	330,5	159,8	53,2	4,1	0	0
27	0	29,3	182,1	341,3	457,1	550,8	606	582,3	465,8	349,8	197,7	51,6	5,3	0	0
28	0	6,2	45,8	157,8	247,6	535,8	595,6	589,3	524	316,4	258,5	101,3	5,7	0	0
	0	279,8	320,8	265,0	209,6	169,1	142,9	148,9	186,2	231,2	282,0	334,7	0,79	0	0

ora/ martie	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	23,4	149,1	311,6	453	552,9	604,5	593	519,2	396,8	259,8	71,6	5,7	0	0
2	0	3,9	9,9	75,2	98,5	266,1	221,6	152,7	92,6	62,2	24,7	39,5	5,6	0	0
3	0	9,9	47,7	96,4	297,2	542,9	593,6	593,1	532,2	414	235,1	81,9	6,2	0	0
4	0	28,5	148,6	313,4	460,4	567	619,6	614	550,9	429,8	254,1	95,9	5,7	0	0
5	0	31,7	160,6	325,3	467,4	567,8	615,6	611,7	553,3	438,4	286,7	121,3	10,5	0	0
6	0	32	156,1	304,4	422,4	350,3	264,6	243,5	170,3	177,6	110,4	89,6	9,4	0	0
7	0	38,1	174,7	345,7	485,4	582,7	629,9	616	546,6	420,3	266,6	115,9	11,7	0	0
8	0	45,8	164,7	337,6	459,4	523,3	578,7	558,9	493,5	430,1	244,9	77,7	6,2	0	0
9	0	38,4	158,4	263,1	393,2	536,2	519,4	561,1	496,5	377,1	234,6	95,9	9,9	0	0
10	0	43,6	169,8	372,2	442,9	544,6	587,3	550,5	521,3	421,7	261,6	112,9	12,6	0	0
11	0	34,1	122,8	305,1	261,3	276,3	242,7	103,2	45,5	22,1	27,3	8,1	0	0	0
12	0	51	200	367,9	512,4	561,5	594,4	461,7	460,8	408,5	310	161,8	20,8	0	0
14	0	0	43	131,5	181,2	337,4	156,6	264,9	218,5	244,9	75,7	37,7	12,3	0	0
15	3,6	26,7	73,6	147,7	422,5	356,8	279,5	328,5	429	382,2	281,3	135,7	19	0	0
16	3,7	57,3	215,3	302,7	389,4	532	622,1	653,4	619,5	531,6	386,3	228	76,3	3,3	0
17	4,5	67,4	218,4	381,3	522,5	620	660,6	647,7	578,1	457,7	303,5	138,1	18,8	0	0
18	5	69,6	214,5	379,2	520,4	611,4	652,9	649,4	578,1	454,2	277,2	115,2	20,8	0	0
19	4,6	42	82,3	160,8	362,6	590,5	593,4	446,4	263,8	406,5	203,1	97,3	22,7	0	0
20	4,3	29,5	78,6	383,3	512,5	609,6	652,9	652,3	579,5	466,5	312,1	153,7	26,8	0	0
21	6,9	83,8	237,2	409	558,5	652,4	690,6	674,2	606,6	488,1	328,9	162,3	28,4	0	0
22	7,9	88,8	241,5	401,1	535,6	628,2	667,3	652,1	589	467,3	317,7	157,4	27,3	0	0
23	8,7	87	227,7	388,1	523	600,2	650,7	632	561,2	448,5	291,8	136,1	24,4	0	0
24	11,3	99,1	244,6	377,7	508,4	641,5	693,1	652,3	417,7	480,6	305,5	152,2	30	0	0
25	0	9,8	89,4	240,3	386,6	504,4	597,3	643,2	603,2	546,6	485,7	327	105	35,4	0
26	0	12,8	111,5	286,8	458,8	598,2	693,4	733,7	712,2	636,2	525	360,5	191,7	44,3	0
27	0	13	123,1	264,5	435,2	570,4	663,9	689,2	686,3	585,3	418,5	271,4	152,5	21,8	0
28	0	15,1	122,7	291,6	452	592,8	689,1	729,8	661,5	653,5	526,4	366,1	175,9	48,8	0
29	0	19,2	165,3	235,9	250,7	230,3	199,4	209,4	153,8	182,8	195,3	118,9	75,5	13,1	0
30	0	7,9	40,5	111,7	203,4	276,5	299,8	411,5	362,3	300,3	295,2	194,5	75,3	33,4	0
31	0	9,9	46,9	255,4	398,1	501,1	526,9	361,3	346,6	171,6	194,4	175,5	118,2	36,6	0
	2,01	37,3	141,2	285,5	412,4	510,8	535,3	523,0	464,9	396,7	274,6	146,6	43,50	7,89	0

ora/ aprilie	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	11	72,3	178,3	309	562,4	696	799,8	696	342,7	407,4	221,6	168,1	36,5	0
2	0	23,8	146	315,7	482,7	621,9	717,5	754,4	737,2	668,2	542,4	379,2	211,4	54,6	0
3	0	27,2	71	259,4	357,9	476,6	553,9	525,4	622,5	601,9	489,6	472,6	166,1	87,7	17,7
4	0	8,4	87,4	227,7	365	506,2	616,7	731,3	559,2	522,7	464	378,7	203,4	56,3	3,4
5	0	23,7	131,5	294,4	452,5	584,9	668,4	706,5	683,9	619,1	495,9	346,3	173,4	39,5	0
6	0	39	129,5	283,3	375,9	583,4	409,2	570,5	399,7	393,5	370,2	292	91,2	27,4	0
7	4,4	35,6	107,5	178,8	150,7	239,9	318,5	485,4	616,3	473,4	309,3	326,2	146,4	35,8	0
8	0	13,1	35,4	76,9	148,2	166,2	143,4	112,9	81,7	106,1	152,2	279,5	107,1	33,3	0
9	0	44,1	177,4	387,7	523,4	646,2	728	797,6	778,7	492,7	384,7	326	236,2	83,7	6
10	0	39,8	178,1	353,3	522,6	654,3	749,5	791,5	773,6	700,8	571,3	416,8	246,6	78,5	0
11	0	35,8	176,1	343,5	519,2	658,4	672	523,2	575,3	612	449,8	293,4	137,2	44,2	4,9
12	0	13,7	73,8	73,6	180,1	453,1	629,7	692,3	579,8	271,2	404	233,7	89,7	66	5,6

ora/ aprilie	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
13	0	46,8	192,4	365,8	528,2	623,6	580,1	549,3	467,8	326,3	208,2	115,2	74,5	15,2	4,4
14	0	14,9	45,9	103,7	93,1	191,1	171,4	73,7	119,3	57,7	113,5	132,9	69,3	22,7	4,7
15	0	10	31,6	63,5	107,8	100,5	130,7	183,9	267,7	85,1	163,5	71,8	83,2	44,7	4,6
16	0	27,1	105,2	137,3	283,5	361,8	672,7	561,4	677,1	645,5	441,5	323,8	187,7	60,1	5,8
17	4,4	10,8	63,3	122,3	161,2	258,8	112,9	274,7	285,1	94,6	60,9	37,8	46,3	11,8	4,2
18	4,1	13,8	36,7	59,5	120	125,5	101,2	107,8	91,2	101,3	87,4	55,8	31,1	15,6	4,5
19	4,3	18,9	66,4	167,1	306,5	303,6	636,8	619,9	621,8	511,7	328,2	156	147,6	30,4	3,3
20	5,7	60,4	176,4	313,9	482,3	644,8	753,8	645,6	670,3	695,2	473,7	462,3	248,8	27,4	4,4
21	5,2	41,5	103	208	434,9	505,9	503	560,1	704	493,2	451,1	272,5	115,1	109,4	6,3
22	5,1	63,7	204,8	141,7	229,4	453,9	700,1	782,6	497	340,9	465,2	420,3	42	23,8	4,3
23	4,7	33,6	54,9	108,6	200,1	295,9	331	494,3	764,4	566,2	424,4	230,9	153,7	14,9	0
24	6,3	47,9	144,4	311	518,8	702,9	789	820,3	743,5	621,6	540,6	278,3	117,8	47,1	8,3
25	4,4	44,9	228	294,7	180,8	270,8	158,9	312,6	559,7	209,7	84,7	167,1	163,8	115,5	13,4
26	8,4	78	213,2	423,4	580,8	706,7	791	822,6	799,8	726,4	611,4	458	288,1	120,2	10,2
27	7,6	81,4	252,6	417,3	582,6	707,4	790,8	821,8	797,4	725,3	608,8	455,8	286,2	118,7	7,8
28	8,2	77,5	240,5	409,8	566,2	690,6	769,8	800,3	779,1	706,7	596,9	443,2	277,5	113,3	11,8
29	9	77,7	247,2	418,4	577,4	704,2	790,4	823,2	802,9	736,9	619,3	467,3	293,3	126,8	15,3
30	10	81,6	253,4	424,4	580,8	707,7	787,7	817,1	788,8	720,6	602,9	448,3	278,5	114,8	13,8
	3,06	38,1	134,8	248,7	364,0	483,6	549,1	585,4	584,6	472,3	397,4	298,7	162,7	59,19	5,49

ora/ mai	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	10,9	83,7	247,8	417,3	574,2	697,7	779,3	812	788,8	719,7	601,4	445,9	279,3	119,5	16,2
2	12,1	86,5	251,2	418,4	549,7	671,1	753	799,3	816,1	760,7	608,2	456,4	284,7	122,3	15
3	14	64,6	178,6	402	482,5	665,9	757,2	778,5	777,8	708,9	594,5	447,7	281,2	142,4	19,3
4	12,4	70,2	207,7	278,9	421,2	391	435,2	575	540,3	716,9	421,6	106,4	56	117,7	25,3
5	15,7	103	263,9	432,1	573,9	699,9	781,7	764,5	682	600,5	589,1	402,2	109,2	98,4	21,5
6	12,7	78,5	263,2	444,8	600	722,5	825,3	489,5	795,5	566,8	346,5	428,7	304,5	128,7	17,9
7	8,4	55,6	127,2	144,1	236,1	246,2	170,1	168,3	504,4	375,9	343,9	410,6	307	101	23,7
8	13,7	22,9	54,3	111,8	217	158,8	350,4	198,6	380,3	230,9	398,7	303,9	227,6	153,4	26,8
9	17,6	113,3	278,1	447,6	544,8	692,7	831,6	830,4	783	758,5	676,9	415,9	315	150,6	26,4
10	14,7	111,9	282,8	449,5	601,2	721,5	808,8	820,9	742,8	526,5	606,7	396,6	320,2	147,6	29,4
11	16,9	110,1	271,5	422,1	581,9	688,1	749,7	764,2	743,6	744,1	664,3	486,3	312,2	148,9	25
12	16,7	114,9	281,9	449,1	602,1	716,6	804,8	801,8	784,2	738,9	618,5	483,1	306,6	165,5	41,1
13	13	29,3	39	44,1	65,6	65,8	99,4	132,5	187,5	143,3	137	110,7	76,5	30,8	10,7
14	10,2	23,7	34,2	102,5	103,3	134,7	165,4	117,7	138,2	92,5	87,4	81,4	49,9	24,1	10,6
15	6,5	22,8	60,1	100,5	142,5	111,7	212,6	153,3	209,4	197,4	135	69	64,7	59,1	15,2
16	5	15,6	26,9	52,2	79,8	86,9	161	271,5	377,8	415,9	470,4	122,2	73,5	38,6	17,5
17	19,9	57,3	59,3	71,4	120	104,1	106,7	100,4	373,3	287,4	484,4	307	339,5	90,5	22,6
18	24,6	115,1	270,6	328,4	370,3	548,9	750,7	472,4	454,5	305,6	291,6	290,8	123,7	138,3	39,1
19	23	135,8	289,7	455,6	605,5	722,6	815,3	848	834,4	773,3	639,8	499,1	335,1	180,7	54,7
20	25,3	152,7	296,8	459,8	610,8	730,3	810,4	840,3	824,3	527,9	322,4	321,1	329,3	168,5	42,3
21	23,4	141,3	316,2	474,6	569,9	613,8	616	755,4	495,7	502,4	686	490,6	269,1	160,6	24,6
22	11,1	33	92,8	69,1	50,8	97,3	101,5	87	51,5	52,4	75,9	83,1	116	36	7
23	7,9	48,8	63,3	147,8	213,6	400,4	358,6	468,4	681,4	525,9	546,2	457,8	307,2	172,8	45,5
24	14,2	61,9	161,4	380,3	410,6	569,2	383,6	795,8	775,9	677,6	663,5	510,5	341,5	157	47,8
25	21	63,6	152,8	400,9	584,3	687,6	771,4	671,7	573,8	673,8	457,8	470	130,6	44,9	11,2
26	29,1	138,1	271,3	509,6	566,2	751,7	633	723,5	827,5	531,6	490,7	355,8	298,5	130,4	47,1
27	12,5	55,9	202,4	345,7	381,2	690,8	755,9	771,9	707,1	655	578,1	541,4	322,7	181,1	63,6
28	20,8	136,5	305	471,4	610,9	718,8	802,5	691,2	694,1	695,5	488,4	452,4	328,3	171,8	48,6
29	33,3	161,7	270	496	669	599,8	605,7	657,3	504,6	376,7	308,1	155,2	235,4	160,3	65,8
30	31,3	146,1	319,2	473,1	605,3	714,5	824,8	806,4	850,9	704,7	612,6	146,9	348,8	136,5	47,5
31	32,3	147,8	299,1	466,5	654,3	758	754,6	715,1	629,2	412,1	599,6	538,4	306,9	122,7	26,9
	17,1	87,1	201,2	331,2	432,2	521,9	573,4	576,8	597,2	516,1	469,2	347,9	241,9	122,6	30,19

ora/ iunie	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	39,6	125,6	241,8	281,7	291,4	382,3	519,2	339,4	317,9	176,9	307,2	399,3	147	113,8	60,1

170 Anexa 3

ora/ iunie	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2	16,6	64,3	169,1	239,9	359,7	305,5	384,3	655,5	759	758,7	682,7	542,1	368,6	197,5	60,6
3	22,9	97,2	209,6	457,9	589,9	737,5	753,1	743,6	694	635,4	602,2	474,2	301,3	161,7	47,9
4	33,6	137,6	297,6	402,8	552,1	734,9	816,8	842,1	749,3	721,4	643,2	440,6	279,3	173	50,8
5	34,9	189,2	243,1	459,4	412,8	356,7	214,1	426	452,5	210,6	198,2	227,2	100	64,2	31,6
6	15,9	34	89,4	108,8	156	509,8	612,3	496,3	380,5	271,1	365,5	264	266,5	179,3	55,8
7	37,1	172,5	338,6	498,7	627	740	793,1	805,1	817,2	669,8	489	476,3	355,4	185,1	56,9
8	16,9	108,8	302,5	435,6	623,8	650	505,7	699,9	706,5	601,6	607,7	493,8	334,4	178,5	52,2
9	34,7	162,1	313,2	472,9	616,9	729,7	756,9	801,2	798,1	725,9	554,8	454,7	316,6	151,9	42,9
10	24,9	140	284,1	461,1	590,9	702,3	796,3	528,6	630,2	594,1	589,3	450,9	335,1	159,2	40,9
11	58,2	141,3	223,6	230,7	130,5	157,2	317,9	519,7	696,2	701,4	381,8	258,1	287,9	153,2	60,2
12	18,9	33,5	245,7	488,3	635,5	762,2	651,5	628,5	801,5	392,3	503,8	397,2	139,4	182,3	41,7
13	26,5	116,1	354,6	515,5	665,8	801,3	585,5	858,1	790,3	674,3	575,6	407,3	356,3	200	63
14	25,8	182	347,4	509,5	658,8	779,4	760,8	676,6	790,3	774,8	365,1	270,8	345,5	205,8	72,3
15	26,6	183,8	348,8	510,5	658,5	751,5	727,7	899,8	874,5	808,1	677,4	519,8	360,2	193,7	65,2
16	24,1	187	350,8	513,1	657,4	775,5	844,8	867,9	847,1	789,6	664,8	518,3	358,8	196,8	62,3
17	27,1	176,4	339,4	501,2	647,7	761,6	836,1	860,9	835,2	767,6	650,6	507,6	345,1	189,7	59,9
18	26,4	177,4	339,1	497,6	634,9	746,2	820,7	842,5	820,6	758,8	605,8	462	354,2	196,3	63,6
19	26,3	176,6	336,8	497,6	639,8	753,3	827,3	850	817,4	757,4	645,9	492,1	342,9	186,2	59,2
20	26,9	176,8	339,8	502,8	648,1	760,1	835,1	853,2	824,3	751,2	655,8	522,2	361,9	195	68,1
21	26,6	177,8	336,6	499,5	644,5	763,3	829,7	848,2	813,8	743,8	641,3	502,6	338,5	186,4	61,9
22	52,3	70,7	151,7	338,4	363,5	309,8	527,7	256,2	55,1	42,3	139,7	356,2	397,9	185,2	56,1
23	29,9	157,4	317,6	490,3	633,7	742	816,1	843,1	821,9	758,7	647,2	511,8	357,1	198	65,5
24	29,2	179,2	336,3	503,2	638	743,5	818	848,5	822,5	755,6	648,4	513,2	358,5	197,6	63,3
25	30,6	153,2	303,5	473,7	606,6	726,7	802,3	746	676,5	509,1	414,4	467,6	237,6	46	75,3
26	20,1	44,3	146,5	394	643,2	718,9	485,2	686,3	819,9	565,7	468,4	334,4	250,9	184,9	67,2
27	26,5	181,1	382,3	496,2	644,8	587,8	727,5	753,3	700,1	660,7	502	590,5	360,3	212,5	66,8
28	29,5	167	327,2	490,9	635,4	750,6	821,4	849,3	722,3	734,4	596,8	523,1	220,2	152,7	42,3
29	28,7	157,1	314,4	479,9	621	726,2	795,4	810,6	798,4	732,4	535,3	510,2	334,9	195,3	59
30	40,8	150,2	295,9	460,4	603,9	719,2	795,9	824,8	805,6	744,3	589,6	441,6	264,6	154,9	58,9
	29,27	140,6	287,5	440,4	561,0	656,1	692,6	722,0	714,6	626,2	531,6	444,3	305,8	172,5	57,71

ora/ iulie	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	30,3	149,9	303,8	464,3	607	721,1	791,5	830,8	816,8	747,5	634,6	497,6	339,1	181,6	60,2
2	30,3	149,1	298,9	458,3	603,3	715,5	712,2	753	633,7	515,1	489,6	426,4	341,3	174	61,9
3	27,7	159,3	316,1	473,7	620,3	731,9	805,9	831,4	807,1	737,1	627	459	334,2	184,4	62,8
4	32	154,4	310	467,1	613,8	727,1	805	838	816,7	746,1	640,5	495,4	339,3	183,8	57,7
5	30,6	148,9	302,7	460,5	602	716,7	792,8	821,9	796	733	625,1	483,7	336,8	184,2	58,7
6	30,2	135,5	284,2	444,5	588,4	703,2	785,5	819,5	804,8	749,7	546,3	374,8	184,9	174,4	69,1
7	21,1	75,4	185,8	402,3	555,7	616,5	770	797,6	780,1	715,7	610,2	475	325,1	173,3	57,8
8	29	139,8	289,9	452,8	595,3	706,6	778,2	739,9	409,2	768,9	671,9	492,1	356,4	179,6	56,5
9	25	156	316,1	481,5	630,4	742,2	812,9	833,7	827	730,6	603,6	479,5	321,4	191,4	56,6
10	28,4	131	268,7	466,2	606,6	737,4	316,8	240,7	528,7	728,6	613,8	453,8	349	59,4	62,8
11	23,5	150,2	305,9	470,4	613,9	728,2	798,1	482,4	633,7	720,1	628,8	488,7	339	184,1	56
12	21,6	103,4	202,7	433,7	604,9	731,6	810,1	727,7	697,2	633,1	541,6	525,3	323,3	162,2	65
13	22,2	155,9	314,5	478,2	626,3	741,9	814,2	840	821,5	733,7	578,4	376,5	215,6	128,7	47,9
14	23,2	126,5	291,8	446,8	600,2	720,9	799,1	831,2	812,6	747,5	639,4	501,6	341,1	184,1	54,4
15	25,5	123,8	283,5	440,5	581,8	524,9	442,9	354,9	590,8	541,5	467,5	380,1	275,7	166	51,7
16	19,7	151,7	315,4	488,2	544,3	757	804,2	871,5	770,3	678,6	395,7	476,9	351,7	147,5	70,3
17	19,5	147,4	311,2	480	628,4	747,3	829,9	853,3	831,6	771,2	613,7	505,5	340,3	183	58,7
18	17,6	145,9	310	463,1	580,9	641,4	677,8	719,5	594,7	563,1	539,8	327,9	340,9	65,6	50,2
19	21,2	138,4	295,2	459,1	614,2	730,5	805,6	832,4	811,7	745,2	639,4	497,1	342,7	180,5	53,7
20	20,1	128,2	278,4	438	589,6	707,2	779,6	803	793,5	726,6	622,4	484,5	331,3	158,4	52,5
21	18	113,5	265,2	434,5	599,6	720,8	792,4	815,7	792,8	665,7	618,4	476,6	306,4	172,4	43,9
22	21	96,8	245	323,4	398,5	441,2	457	638,5	659,7	590,6	545,6	407,6	351,9	185,4	69,7
23	16,4	61	203,7	401,9	500,4	524,2	532,7	472,7	486,5	715,7	612,2	452	307,9	178,5	37,1
24	22,5	74,6	190,5	374	272,1	69,7	78,6	118,4	92,9	143,9	86,9	165,8	101,2	78,1	27,8
25	0	11,5	13,9	19,8	53,2	50,9	255,8	710,9	366,3	601,1	142,8	156,9	42,1	39,4	24,3

ora/ iulie	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
26	11,2	41,1	260,5	416,5	523,5	570,2	455,6	559,7	504,7	450,9	288,7	221,1	265	153,2	25,1
27	6,6	20,1	68,3	220,3	233	547,8	745,5	692,7	756,5	705,6	471	247,6	49,2	102,6	34,9
28	14,2	102,2	262,3	424,9	570,9	689,8	766,4	792,6	764,4	688,3	582,9	454,2	302,2	152	37,4
29	15,2	98,9	255,2	420,8	566,7	681,5	753,6	787,1	766,5	693,1	583,9	451,1	123,6	32,2	5,4
30	9,4	70,8	262,3	417,2	581,6	587,2	555,4	685,4	775,4	762,9	571,6	369,9	281,2	172,4	35,4
31	12,3	96,3	268,7	429,6	578,3	695,8	770,6	747,3	774,5	709,8	538,4	479,1	309,6	132,4	31,8
	20,2	114,4	260,6	421,0	544,6	636,3	680,5	704,6	687,6	669,6	541,0	422,0	286,1	149,8	49,59

Ora/ august	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	10,5	94,7	263	427,8	574,3	691,9	719,2	696,8	641,8	731,2	641,8	260,9	101,3	123,8	36,7
2	11,6	93,4	264,4	427	570,9	689,1	768,8	800,1	796,3	719	610,8	465,2	271,6	138	24,2
3	11,5	90,4	253,9	412,3	559,4	676,6	755,5	790,5	777,7	696,6	532	420	246,6	94,7	27,5
4	12	84,8	241,4	400,3	543,1	654,4	738,9	775,3	750	684,7	568	440,6	278,7	130,2	24,7
5	10,6	84,4	249,4	412	559,8	678,8	756,7	791,4	776,3	707,2	587,2	447,5	285,3	134,7	24,9
6	11,6	76,3	230,1	378,1	435,2	577,5	741,9	771,4	742,4	667,5	562,9	425,1	269,4	128,4	25,9
7	11,3	80,9	238,6	407,9	558,7	673,7	757,9	796,7	779,6	711,3	597,1	455,6	296,5	142,5	26,9
8	10,3	82,3	260,8	430,7	581,6	698,8	780,8	810,1	784,2	610,4	467,9	440,6	297,8	138,2	24,6
9	9,5	78,8	249,7	415,3	567	687	768,1	800,1	768,9	708,2	587,8	449,5	283,7	113	22,7
10	9,4	65,6	169,6	406,1	566,2	646,7	776,3	754,6	751,1	749,9	586	463,9	302,1	115,4	20,3
11	9,5	73	220,2	343,1	506,7	511,1	539,4	803,5	748,8	576,2	558,8	326,4	259,2	94,2	18,1
12	9,2	70,7	256,7	429,1	536,4	530,9	703,9	808,2	479,3	309,5	76,9	195,1	65,4	44	7,9
13	8,7	68,6	242,4	410,2	564,4	691,1	769,2	721,7	579,2	650	350,1	250,1	211,4	107,4	17,1
14	7,8	66	229,6	360	590,4	667,1	783,9	796,4	760,5	642,1	496,9	320,9	273,9	124,5	28,6
15	7,5	70	242,4	413,3	564,3	651,8	754,2	644,4	761,3	697	583,9	439,6	256,9	81,1	17,5
16	7,7	67,9	236,5	404,9	557,1	676,3	760,8	784,2	743,9	595,3	513,6	426,3	256,3	111,7	16,4
17	7,8	60,7	208	346,6	425,3	666,7	742,2	772	744,1	671	548,5	409,9	265,1	108,7	15,1
18	6,1	42,3	194,7	313,7	538,7	668	753,7	782,9	733,1	688,5	565,4	415,6	251,7	114,9	20,3
19	6,1	62,2	235,5	408	561,4	680,8	757,6	788,6	762,1	689,2	571	423,8	259,6	102,5	9,8
20	6	59	234	399,3	551,8	670,9	743,4	768,1	743	665,9	547,7	407,7	246,3	95	7,9
21	6	56,5	223,8	388,5	540,6	659,1	733,9	759,6	731,3	653,4	546,2	396,6	239,9	88,6	6,5
22	6,1	56,6	214	365	531,8	647,4	712,8	734,5	707,1	630,3	519,7	372,7	216,3	77,2	8,1
23	0	53	196,7	358,6	499,5	610,4	680,6	705,5	676,7	616,3	512,5	360,5	201,8	73,1	6,8
24	5,9	52,1	188,3	348,6	493,5	612,9	688,3	708,2	671,5	595,5	484,8	357,6	204,1	68,9	6,4
25	5	45,2	163,7	316,9	474,5	603,5	688,2	725,9	707,7	632,9	520,6	376	214	70,4	5,3
26	5,1	44,6	122,6	214,9	331,3	523,3	617,7	669,5	642	599,8	504	369,6	206,6	70,1	6,3
27	0	9,4	37,8	129	267,4	198,8	176,8	391,9	308,7	414,7	66,9	152	110,1	40,5	9
28	5,7	56,6	214,9	389	545,9	669,2	751	780,1	751,7	675,6	553,6	400,7	230,5	71	3,9
29	5,2	61,3	213,3	313,3	409,1	561,4	666,3	718,8	765,4	731	646,3	518,6	370	194,5	38,5
30	0	49,4	192,8	358,8	508,3	620,8	708,3	735	711,4	635,5	516,6	366,3	204,5	55,3	0
31	0	47,3	194,9	362,9	513,7	634,6	702,8	736,6	709,1	637,5	495,5	341,6	139,7	53,8	0
	7,2	64,6	215,6	370,6	517,0	626,7	709,6	745,8	709,8	644,9	513,5	383,7	236,0	100,2	16,38

ora/ septem	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	4,3	39,7	139,5	279,9	432,5	538,1	626,5	654,2	634,7	575,6	470,2	324,4	178,6	50,6	0
2	0	42,9	177,7	340,2	489,9	611	687,9	711,9	687,7	615,3	502	353,4	188,9	47,3	0
3	0	44	183,1	346,3	496,1	616,8	697,2	726,6	702,8	607,5	493,4	356,7	183,7	40,5	0
4	4,5	55,2	139,5	213,5	45,7	120,8	680,9	722,2	691,7	615,5	497,6	338	174,1	42,2	0
5	0	42,1	169,9	328,1	477,7	602,2	676,6	691,1	652,1	550,4	440,2	223,6	114,2	34,1	0
6	4,8	14,8	57,6	213,5	356,2	205,1	265,3	384,5	191,2	148,6	180,2	135,1	32,1	25,2	0
7	0	40,6	182	356	503,3	626,1	709,2	733,6	703,1	622,5	495,3	341,2	176,1	38,6	0
8	0	39,9	171,1	338,4	486,5	608,4	683,1	707,4	682	604,5	484,7	327,9	172,1	33,9	0
9	0	33,2	162	328,8	479,5	453,8	688,6	719,1	680,6	602,6	479,8	327,8	167,6	33,4	0
10	0	33,3	165,9	330,4	481,1	603,1	677,4	697,5	669	586,9	452,7	303,8	85,9	27,3	0
11	0	26	115,9	284,8	465,4	596,9	666,5	681,6	681,2	567,2	390,1	296	153,8	30,2	0
12	0	28,9	156,1	316,5	468,5	594,2	674,5	696,4	666,6	589,4	431,1	267,2	115	25,6	0
13	4,5	48,5	107,4	261,5	439,5	536,5	590,6	546,9	471,1	407,5	437,9	154,2	56,8	16,9	0

172 Anexa 3

ora/ septem	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
14	5,1	13,6	52,9	114,7	222,6	378,8	367,4	520,2	161,1	187,4	113,9	111,9	72,1	15	0
15	5,5	8,2	11,5	20,1	45,7	40,1	47,5	83,2	116,3	189,5	333,5	257,2	123,3	20,3	0
16	4,6	18,7	71,8	203,2	434,2	490,6	314,5	335,7	194,9	288,3	224,6	97,4	17,8	6,3	0
17	0	9,5	56,3	149,6	239,5	251,1	311,1	374,5	497	304,7	187,4	155,1	66,8	11	0
18	0	12,8	58,8	156,4	254,1	386,1	595,6	654	571	448,1	344,9	260,9	101,3	14,1	0
19	0	15,7	103,6	264,3	473,1	562,5	609,2	570,8	581,8	396,6	284,8	177,6	98,1	15,6	0
20	0	7,5	13	18,8	35,6	51,3	44,8	72,4	83,6	69,5	71,1	44,2	53,2	8,7	0
21	0	13,9	141,1	308,4	460,5	541,5	454,2	533,6	474	359	244,5	158,5	118,5	13,1	0
22	0	21,5	129,7	299,4	462,4	583,6	664	654,1	609,7	553,8	382,3	245,6	110,4	12,3	0
23	0	14,6	126,4	285,1	432,2	547,6	617,6	633,6	485	314,5	184,5	200,5	52,9	7,9	0
24	0	13,6	99,5	261	344,6	533,5	604,4	626,1	590,7	507,7	380,2	233,5	82,2	0	0
25	0	9,1	88,5	182,3	412,4	529,4	618,8	648,1	618,4	531,7	396,1	253,7	97,6	5,2	0
26	0	10,6	105,4	255,3	406,7	530,8	610,2	631,6	603,4	506,6	393,5	242,5	88,2	4	0
27	0	9,6	97	249,5	399	515,6	588,7	612,7	529,7	476,9	333,1	157,7	56,1	0	0
28	0	6,2	70,8	156,4	291,2	304,5	272,9	235,6	290,9	335,1	316,2	214,4	65,1	5,5	0
29	0	8,9	64,6	232,6	265,5	329,4	372,2	475,1	288,8	321,4	340,5	186,3	38,8	0	0
30	0	5,6	33	85,4	279,4	356,7	367,1	573,8	384,4	239,6	309,6	185,5	59,5	0	0
	1,11	22,9	108,3	239,3	369,3	454,8	526,1	563,6	506,4	437,4	353,1	231,0	103,3	19,4	0

ora/ octomb	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	7,5	73,3	131,8	373,5	286,4	432,7	576	508,4	451,1	350	178,8	27,8	0	0
2	0	5	16,6	29,4	62,9	50,5	263,7	538,3	511,8	213,6	167,9	81,8	26,4	4,6	0
3	0	6,2	36,1	88,1	276,4	503,6	386,2	542,9	588,3	483,3	357,6	200,2	61,1	0	0
4	0	7,4	81	228,4	372,5	497,2	557,8	574,3	549,4	478,1	352	201,1	53,7	0	0
5	0	7	35,5	133,8	280,4	485,7	515,8	603,7	537,6	430,8	324,6	203,6	54	0	0
6	0	6,5	65,7	205,6	360,2	477,8	554,8	579,6	547	460,8	332,3	180,4	41	0	0
7	0	6,6	71,2	146,9	308,6	452	259,1	228	205,2	147,2	80,5	114,3	30,2	0	0
8	0	5,9	78,9	223	349,3	445,3	538,5	443	342,3	451,3	388,4	224,2	47,1	0	0
9	0	6,1	59,4	214,9	371,2	488,2	567,2	596,1	559,4	478,3	349,4	183,5	41,1	0	0
10	0	5,9	62,2	126,1	217,6	405	523,5	543,9	500,5	319,9	239,5	88,9	26,2	0	0
11	4,1	4,3	8,2	63,2	161,7	319,1	537,9	575,6	527,8	472	327,5	167,6	35,8	0	0
12	0	4,6	44,5	95,5	148,9	277,5	478,8	549,4	503,3	344,8	205,5	65,7	15,5	0	0
13	0	0	13,8	29,5	39,3	79,2	80,5	70,1	81,5	103,1	51,8	18,8	6,6	0	0
14	0	0	11,9	31,1	68,8	53,6	93,1	180,6	104,6	122,5	76,3	55,3	15,9	0	0
15	0	4,1	37	73,1	314,4	244,1	319	370,1	253,3	313,1	230,7	174	26,3	0	0
16	0	0	24,9	85	157,1	80,8	122,6	103,4	191,7	354,4	177,6	44,6	5,4	0	0
17	0	0	26,6	81,2	137,7	228,4	339,8	442,8	444,3	323,1	236,7	146,1	23	0	0
18	0	0	54,6	184,7	339,4	454	524,7	533,7	506,5	424	296,5	147,4	20,9	0	0
19	0	0	49,2	187	325,7	442,2	518,9	503,9	457,6	410,8	289,8	133,8	16,7	0	0
20	0	0	46,2	183,3	324,8	440,1	510	527,2	492,2	405,3	277,5	127,6	14,5	0	0
21	0	0	37,2	173	305	418	487,3	505,9	474,1	390,9	263,4	120,5	14	0	0
22	0	0	36,8	161,3	301	413,8	480,9	496,6	462,2	380,1	256,1	120,1	13,8	0	0
23	0	0	34,1	153,2	289,2	404,1	468,1	477,3	441	369,1	244,3	104,3	10,8	0	0
24	4	4,1	14	41,5	78,2	106,6	120,9	136,8	129,5	122,8	82,1	35,5	7,8	0	0
25	0	0	11	48,1	73,5	94,9	76,8	61,5	47,4	30,6	25,1	13,4	5,6	0	0
26	0	0	25,8	122	236,6	236,2	245,9	223,2	312,5	328,9	209,2	63,3	7,6	0	0
27	0	0	9,3	29,4	67,8	58,6	108,5	168,1	341,8	139,7	59	29,6	0	0	0
28	0	0	5,1	13,1	30,4	53,7	61,4	44,8	48,6	30,3	24,8	10,4	0	0	0
29	0	6,3	23,4	42,9	65,3	106,6	92,2	56	55,8	53,7	17	0	0	0	0
30	0	7,4	31,2	134,8	185,4	209,9	295,1	261,3	124,1	112,7	43,8	5,9	0	0	0
31	0	46,8	234	297,9	392,7	441,1	473,9	403,6	339,2	147	78,2	7,9	0	0	0
	0,26	4,57	43,8	121,2	226,3	298,5	355,9	384,4	360,9	299,7	206,9	104,7	20,9	0,14	0

ora/ noiemb	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	7,5	23,2	41,2	157,3	117,8	73,1	59,7	41,4	133,5	100,3	4,7	0	0	0
2	0	13,3	90,1	148,4	254,3	298,3	266,5	398,3	334,4	230,6	76,8	0	0	0	0

ora/ noiemb	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
3	0	11,8	54,3	102,2	204,5	427	365,1	381,1	206	124,8	40,3	0	0	0	0
4	0	11,7	88,9	242,3	363,4	417,7	371,7	394,7	322	179,4	62,3	0	0	0	0
5	0	18,2	42,6	105,8	121,9	238,8	139,6	172,2	188	105	59,7	0	0	0	0
6	0	12,8	135,8	221,7	282,4	384,7	341,2	338,8	318	204,2	62,2	0	0	0	0
7	0	12,3	114,4	247,6	359,6	427,2	445,8	410,8	324	196	51	0	0	0	0
8	0	9,7	90,7	209,9	318,9	437	374,9	390,2	290,5	190,7	55,5	0	0	0	0
9	0	6,1	28,7	72,7	131,4	229	322,8	194,5	155,9	101	52,6	0	0	0	0
10	0	7,7	29,3	79,2	140,5	149,2	162,2	140,7	194,5	156,1	33,5	0	0	0	0
11	0	10,4	57,8	134,9	288,1	375,3	388,7	339,1	224,3	92,7	31,4	0	0	0	0
12	0	6,5	77,1	170,6	306,6	301,4	297,6	252,8	179,1	88,1	23,7	0	0	0	0
13	0	5,9	53,8	81,7	28,5	35	45,4	36,5	48,2	22,5	9,8	0	0	0	0
14	0	7,4	49,1	102,6	138	149	209	198,2	120	73,2	8,8	0	0	0	0
15	0	5,2	30,1	152	155,6	169,6	207,1	188,3	148,6	126	42,7	0	0	0	0
16	0	6,6	73,1	190,4	294,4	360,2	374,1	247,1	149,7	131,5	23,4	0	0	0	0
17	0	6,7	87,5	179,7	278,9	346,6	364,1	335,7	257,7	147,2	37,5	0	0	0	0
18	0	5,5	68,9	185,8	289,3	355,1	374,1	342,3	267,7	154,8	39,2	0	0	0	0
19	0	5,2	59,8	137,9	209,9	318,8	355,5	287,3	247,6	149,9	33,5	0	0	0	0
20	0	5,1	43,8	110,9	157,7	266,1	217,9	227,6	198,8	73,4	24,7	0	0	0	0
21	0	4,3	17,9	47,3	79,4	114,4	144,3	163,6	93,6	56,2	15,6	0	0	0	0
22	0	0	14,6	57	111,8	144,9	162,5	175,8	123,3	66,7	15,6	0	0	0	0
23	0	0	15,5	35,7	69,9	108,3	129,4	145,7	115,3	69,3	17,2	0	0	0	0
24	0	0	12,3	36	63,8	65,1	89,1	91,9	81,8	47,6	12,6	0	0	0	0
25	0	0	33,6	85,7	136,6	207	148,4	167,5	217,4	118,9	28,1	0	0	0	0
26	0	0	31,7	152,2	124,8	251,6	238,3	167,9	112,4	55,5	23,5	0	0	0	0
27	0	4	21,8	60,9	86,2	124,2	133,1	245,7	222,8	111,9	22,8	0	0	0	0
28	0	0	43,9	145,1	148,6	242,2	329,2	227,8	147,9	67,4	14,8	0	0	0	0
29	0	0	17,3	104	92	67,1	143,6	189,3	216,2	91,6	18	0	0	0	0
30	0	0	12,2	59,3	132,7	239,4	150,1	102	88,5	41,6	11,5	0	0	0	0
	0	6,13	50,6	123,3	184,2	245,6	245,4	233,7	187,8	113,5	34,9	0,15	0	0	0

ora/ decem	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	0	8	17,7	25,1	45,1	81,2	46,5	33,5	26,2	10,3	0	0	0	0
2	0	0	19,9	43,7	62,4	95,6	183,5	202,6	120,4	20,7	0	0	0	0	0
3	0	0	6,2	15,9	28,8	27,3	30,6	22,3	13,8	11,8	5,3	0	0	0	0
4	0	0	48,7	143,2	255,3	312,4	330,6	354,2	257,4	121,5	15,6	0	0	0	0
5	0	0	6,9	17,2	17,2	22,9	37,1	50,4	27,8	18,1	7,1	0	0	0	0
6	0	0	9,3	25,6	80,2	113,1	203,8	146,1	73,6	35,9	9,8	0	0	0	0
7	0	0	23,4	104,9	157	342,6	336,1	328,1	262,7	152,6	35,1	0	0	0	0
8	0	0	8,6	19,8	27,3	26	26,7	20,7	15,6	11,5	4,9	0	0	0	0
9	0	0	7,3	24,3	48,2	98,7	88,3	142,4	65,4	35,7	14,1	0	0	0	0
10	0	0	22,7	60	110,1	187	230	312	257,3	54,7	12,7	0	0	0	0
11	0	0	14	49,3	93,1	112,4	102,7	106,3	63,6	32,2	10,6	0	0	0	0
12	0	0	17,6	73,4	100,2	129,5	134,4	68,5	81,3	57,6	14,8	0	0	0	0
13	0	4	21,8	131,1	247,2	323,5	352,3	334,7	268,6	157,7	32,2	0	0	0	0
14	0	0	14,3	50,5	121,2	179,6	198,9	200,8	172,3	116,8	30,6	0	0	0	0
15	0	0	25,9	108,6	159	239,7	185	156,8	92,5	41,1	9,7	0	0	0	0
16	0	0	7,9	33,1	65,9	97,7	106,4	84,3	105,5	64	20,2	0	0	0	0
17	0	0	14,8	88,5	145,8	137,7	281,6	217,8	119,2	81	27,4	0	0	0	0
18	0	0	16,4	68,7	133,3	167,7	213,3	199,7	199,1	61,2	15,8	0	0	0	0
19	0	0	9,8	26,6	39	52,3	65,9	29,5	26,3	26,9	9,2	0	0	0	0
20	0	0	11,6	50,5	130,4	124,8	176,8	156,9	110,7	77,8	20,1	0	0	0	0
21	0	0	10,4	37,3	73,3	82,1	93,1	101,9	84,5	36,1	10,7	0	0	0	0
22	0	0	13,8	57,7	78,2	95,5	100,6	80,4	55,3	33,3	9,9	0	0	0	0
23	0	0	11,2	47,9	108,6	168,9	223,9	200,9	114,5	35,7	16,9	0	0	0	0
24	0	0	5,9	25,9	72,1	157,6	213,9	228,5	172,4	109,7	30,5	0	0	0	0
25	0	0	19,9	122	200,5	198	284,1	207,4	164,1	69,4	16,4	0	0	0	0
26	0	0	9,9	41,8	108,3	228,1	206	186,8	86	39,2	11,7	0	0	0	0

174 Anexa 3

ora/ decem	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
27	0	0	14	76,8	149,4	294	262,4	254,1	140,1	66,8	15,1	0	0	0	0
28	0	0	15,9	65,9	204,6	292,3	275,3	174,2	107,8	30,6	8,4	0	0	0	0
29	0	0	16,3	95,4	144,3	162,1	199,8	119,8	75,2	30,1	9,5	0	0	0	0
30	0	0	16,8	169	288,2	307,6	336,9	317,1	248,3	148,8	39,5	0	0	0	0
31	0	0	7,5	24,9	45,3	59,2	59	50,8	40,9	24,1	10,1	0	0	0	0
	0	0,12	14,7	61,3	113,5	157,4	181,2	164,6	117,9	58,9	15,6	0	0	0	0

Anexa 4. Program realizat în Matlab privind determinarea diagramelor P-V a motorului Stirling tip Beta

```
%Beta Stirling engine: BFI Simona Ilie
%exemplu cu datele din fisierul Excel
%atentie la temperaturi, trebuie date în K
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%input data
ntur=500/60;
Pmean=100000; %(Pa) engine pressure
VSE=6597e-9; %(m^3) swept volume of expansion piston or displacer piston
VSC=6853.51e-9; %(m^3) swept volume of expansion piston or power piston
VDE=942.48e-9; %(m^3) dead volume of expansion space
VR=2566.68e-9; %(m^3) regenerator volume
VDC=0.628e-6; %(m^3) dead volume of compression space
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

x=linspace(0,2*pi,100); %(rad) crank angle

VE=VSE/2*(1-cos(x))+VDE; %volumul în zona de expansiune

dx=pi/2; %(rad) phase angle

VB=(VSE+VSC)/2-sqrt((VSE^2+VSC^2)/4-(VSE*VSC)/2)*cos(dx);%(m^3)
volumul comun

VC=VSE/2*(1-cos(x))+VSC/2*(1-cos(x-dx))+VDC-VB;%(m^3) volumul în zona de
compresie

V=VE+VR+VB; %volumul total

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%temperaturi
R=287.68; %(J/kgK) constanta gazului
TE=300+273; %(K) temperatura gazului la expansiune
TC=150+273; %(K) temperatura gazului la compresie
TR=(TE+TC)/2; %(K) temperatura gazului în regenerator
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

m=Pmean/R*(VE/TE+VR/TR+VC/TC); %(kg) total mass in engine

t=TC/TE; %temperature ratio
```

```

v=VSC/VSE; %swept volume ratio
XB=VB/VSE; %dead volume ratio 0
XDE=VDE/VSE; %dead volume ratio 1
XDC=VDC/VSE; %dead volume ratio 2
XR=VR/VSE; %dead volume ratio 3

%parameters
a=atan(v*sin(dx)/(t+cos(dx)+1));
S=t+2*t*XDE+(4*t*XR)/(1+t)+v+2*XDC+1-2*XB;
B=sqrt(t^2+2*(t-1)*v*cos(dx)+v^2-2*t+1);
c=B/S;

P3=((Pmean*sqrt(1-c^2))./(1-c*cos(x-a)));
figure(1)
plot(V,P3,'LineWidth',2)
set(gca,'FontName','Times New Roman','FontSize',14)
xlabel('Volum (m^3)')
ylabel('Presiune (N/m^2)')
grid

figure(2)
plot(x,m,'LineWidth',2)
set(gca,'FontName','Times New Roman','FontSize',14)
xlabel('Crank Angle (rad)')
ylabel('Mass(kg)')
grid

%Energia
Pmax=max(P3); %Puterea maxima
Pmax1=Pmean*sqrt((1+c)/(1-c));
Pmin=min(P3);
Pmin1=Pmean*sqrt((1-c)/(1+c));
WE=Pmax*VSE*pi*c*sin(a)*sqrt((1-c)/(1+c))/(1+sqrt(1-c^2)); %(J) energia
indicata în zona de expansiune
WC=-t*WE; %(J) energia indicata în zona de compresie
WI=WE+WC; %(J)energia indicata per ciclu al motorului
LE=WE*ntur; %(W) puterea indicata în zona de expansiune
LC=WC*ntur; %(W) puterea indicata în zona de compresie
LI=WI*ntur; %(W) puterea motorului
e=WI/WE; %randament termic
BN=WI/Pmean*VSC*ntur; %numarul lui Beale
WN=BN*(TE+TC)/(TE-TC); % West number

```


Anexa 5. Valori măsurate, în condiții de laborator, pentru centrala termosolară cu motor Stirling tip Beta fără pâlnie

R _i [Ω]	Timp [s]	P sursă [W]	R [Ω]	N [rpm]	T1 [C]	T2 [C]	T3 [C]	U [V]	I [mA]	P [mW]
40	0	526	1100	442	145	61	34	8,84	8,3	73,37
	1			442	182	61	31	9,10	8,40	76,44
	2			446	183	61	30	9,15	8,30	75,95
	3			448	185	61	30	9,19	8,40	77,2
	4			452	188	62	31	9,26	8,50	78,71
	5			453	189	61	30	9,27	8,50	78,8
	6			455	191	61	30	9,30	8,60	79,98
	7			457	193	61	30	9,31	8,50	79,14
	8			456	193	61	31	9,34	8,60	80,32
	9			456	195	61	31	9,34	8,60	80,32
40	10	526	1000	456	196	61	30	9,32	9,40	87,61
	11			452	196	62	30	9,24	9,30	85,93
	12			452	196	62	30	9,22	9,20	84,82
	13			449	197	62	30	9,17	9,20	84,36
	14			448	197	62	30	9,17	9,20	84,36
	15			447	198	62	30	9,14	9,20	84,09
	16			446	201	63	30	9,11	9,20	83,81
	17			445	204	62	29	9,10	9,20	83,72
	18			445	204	63	30	9,10	9,20	83,72
	19			445	207	63	30	9,10	9,20	83,72
	20			446	206	63	30	9,03	10,00	90,3
40	21	526	900	437	206	63	31	8,60	9,60	82,56
	22			413	207	63	31	8,38	9,40	78,77
	23			410	207	63	29	8,39	9,40	78,87
	24			422	208	63	30	8,69	9,70	84,29
	25			429	208	64	30	8,78	9,80	86,04
	26			429	209	63	30	8,72	9,80	85,46
	27			431	210	64	29	8,79	9,80	86,14
	28			436	211	64	29	8,95	9,90	88,61
40	29	526	800	440	211	64	30	9,01	11,30	101,8
	30			440	212	64	30	8,96	11,30	101,2
	31			442	213	64	30	8,96	11,30	101,2
	32			441	213	65	30	8,98	11,30	101,5
	33			443	214	64	30	9,04	11,30	102,2
	34			442	215	64	30	9,00	11,30	101,7
	35			443	214	64	31	9,02	11,40	102,8
	36			446	213	65	30	9,05	11,40	103,2
	37			446	213	65	31	9,07	11,40	103,4
40	38	526	700	446	216	65	30	9,00	12,80	115,2
	39			441	216	65	30	8,89	12,70	112,9
	40			439	217	65	31	8,85	12,80	113,3
	41			438	218	65	30	8,85	12,70	112,4
	42			434	219	65	29	8,78	12,60	110,6
	43			434	219	65	30	8,69	12,50	108,6

178 Anexa 5

R _i [Ω]	Timp [s]	P sursă [W]	R [Ω]	N [rpm]	T1 [C]	T2 [C]	T3 [C]	U [V]	I [mA]	P [mW]
	44			429	221	65	30	8,62	12,40	106,9
	45			426	221	65	31	8,60	12,30	105,8
	46			426	221	65	31	8,68	12,50	108,5
	47			429	221	66	30	8,74	12,60	110,1
40	48	526	600	421	223	66	31	8,26	13,80	114
	49			396	222	66	30	7,91	13,30	105,2
	50			390	223	66	30	7,87	13,20	103,9
	51			387	225	66	30	7,81	13,10	102,3
	52			385	225	66	30	7,80	13,00	101,4
	53			391	227	66	30	7,99	13,40	107,1
	54			400	228	67	30	8,12	13,60	110,4
40	55	526	500	400	228	67	30	8,01	13,40	107,3
	56			397	228	67	30	8,01	14,00	112,1
	57			387	229	67	30	7,81	15,60	121,8
	58			391	228	67	30	7,84	15,80	123,9
	59			392	227	67	30	7,90	15,70	124
	60			392	227	67	30	7,86	15,80	124,2
	61			392	228	67	31	7,93	15,90	126,1
	62			397	231	67	30	8,01	16,10	129
40	63	526	400	401	231	68	30	8,01	16,10	129
	64			389	231	68	30	7,54	18,70	141
	65			371	231	67	30	7,33	18,40	134,9
	66			366	231	68	31	7,19	18,00	129,4
	67			362	231	68	30	7,10	17,80	126,4
	68			362	231	68	30	7,27	18,10	131,6
	69			365	232	68	30	7,31	18,10	132,3
40	70	526	300	364	231	68	31	7,24	18,00	130,3
	71			342	232	68	30	6,57	21,80	143,2
	72			335	232	68	30	6,56	21,80	143
	73			332	232	68	30	6,48	21,70	140,6
	74			325	232	68	30	6,35	21,10	134
	75			322	232	68	30	6,32	20,90	132,1
	76			322	232	68	31	6,25	21,10	131,9
40	77	526	200	322	232	69	31	6,26	20,80	130,2
	78			323	232	69	30	6,31	21,60	136,3
	79			284	233	69	31	5,39	25,70	138,5
	80			279	233	69	30	5,40	26,60	143,6
	81			279	234	69	31	5,43	26,30	142,8
	82			276	238	69	30	5,28	26,40	139,4
	83			275	238	69	30	5,17	25,60	132,4
40	84	526	100	275	237	69	30	4,35	28,50	124
	85			247	237	69	30	3,32	26,50	87,98
	86			164	237	69	30	1,91	25,70	49,09
	87			142	237	70	30	0,21	7,20	1,512
	88			133	236	70	30	0,00	0,00	0
	89			133	234	70	30	0,00	0,00	0
	90			133	233	69	30	0,00	0,00	0

**Anexa 6. Valori măsurate, în condiții
de laborator, pentru centrala termosolară cu
motor Stirling tip Beta și pâlnie de cupru**

R_i [Ω]	Timp [s]	P sursă [W]	R [Ω]	N [rpm]	T1 [C]	T2 [C]	T3 [C]	U [V]	I [mA]	P [mW]
40	1	526	1100	450	347	144	47	9,18	8,4	77,112
	2			450	350	143	48	9,23	8,4	77,532
	3			451	352	145	47	9,24	8,4	77,616
	4			455	352	149	47	9,35	8,5	79,475
	5			457	355	147	48	9,41	8,6	80,926
	6			462	354	146	47	9,46	8,7	82,302
	7			466	357	158	47	9,59	8,8	84,392
	8			468	358	148	48	9,59	9,6	92,064
	9			470	360	146	48	9,58	9,6	91,968
40	10	526	1000	471	361	146	47	9,53	9,5	90,535
	11			469	362	144	48	9,55	9,6	91,68
	12			469	363	144	48	9,54	9,6	91,584
	13			469	364	145	48	9,58	9,3	89,094
	14			472	365	144	48	9,66	9,4	90,804
	15			474	365	142	48	9,69	9,4	91,086
	16			472	361	140	48	9,69	9,4	91,086
	17			473	368	139	48	9,48	10	94,8
40	18	526	900	472	368	136	48	9,59	10	95,9
	19			473	370	136	48	9,55	11	105,05
	20			476	370	139	49	9,4	10	94
	21			470	371	140	48	9,59	10,1	96,859
	22			474	372	141	48	9,69	10,1	97,869
	23			480	372	142	48	9,75	10,1	98,475
	24			483	374	142	49	9,68	10,1	97,768
	25			482	375	139	49	9,69	10,1	97,869
	26			476	376	136	49	9,32	10,1	94,132
	27			463	376	132	49	9,23	11,1	102,45
	28			460	377	131	49	9,15	11,1	101,57
40	29	526	800	454	377	132	49	9,08	11,1	100,79
	30			449	378	136	49	9,01	11,3	101,81
	31			445	380	136	49	8,95	11,3	101,14
	32			448	382	135	49	9,13	11,4	104,08
	33			451	381	133	49	9,26	11,4	105,56
	34			456	383	131	49	9,41	11,8	111,04
	35			463	384	130	50	9,5	11,9	113,05
	36			470	385	130	50	9,53	12	114,36
	37			473	384	129	50	9,46	11,8	111,63
	38			474	386	129	50	9,29	13,3	123,56
40	39	526	700	471	387	138	49	9,26	13,3	123,16
	40			460	386	131	50	9,26	13,3	123,16
	41			463	388	132	50	9,32	13,4	124,89
	42			468	388	129	50	9,34	13,4	125,16
	43			469	389	126	50	9,4	13,5	126,9
	44			470	391	125	50	9,42	13,5	127,17
	45			472	391	121	50	9,5	13,6	129,2
	46			474	392	126	50	9,5	13,7	130,15

180 Anexa 6

R _i [Ω]	Timp [s]	P sursă [W]	R [Ω]	N [rpm]	T1 [C]	T2 [C]	T3 [C]	U [V]	I [mA]	P [mW]
	47			472	392	124	50	9,31	15,3	142,44
	48			468	393	125	51	9,24	15,4	142,3
40	49	526	600	464	393	125	51	9,13	15,3	139,69
	50			464	393	128	50	9,19	15,3	140,61
	51			464	396	129	51	9,35	15,6	145,86
	52			471	396	129	51	9,33	15,6	145,55
	53			472	396	127	51	9,37	15,6	146,17
	54			474	397	129	51	9,4	15,5	145,7
	55			475	398	131	51	9,35	15,5	144,93
	56			470	397	129	51	9,12	18,2	165,98
40	57	526	500	465	398	126	51	8,97	17,9	160,56
	58			450	400	117	51	8,66	17,4	150,68
	59			442	400	115	51	8,47	17	143,99
	60			425	400	114	52	8,32	16,7	138,94
	61			417	401	113	51	8,24	16,6	136,78
	62			421	402	110	52	8,41	16,9	142,13
	63			420	402	111	52	8,35	16,8	140,28
	64			413	403	110	52	8,24	16,5	135,96
40	65	526	400	410	404	109	52	8,09	19,9	160,99
	66			409	404	109	52	7,79	19,4	151,13
	67			393	404	110	52	7,76	19,5	151,32
	68			396	409	112	52	7,85	19,5	153,08
	69			398	406	110	52	8,03	20,2	162,21
	70			400	405	111	53	8,15	20,3	165,45
	71			405	406	110	53	8,09	20,3	164,23
	72			409	407	114	53	8,11	20,2	163,82
	73			413	407	114	53	8,21	20,5	168,31
	74			420	407	114	52	8,33	20,8	173,26
	75			424	408	113	53	8,21	20,5	168,31
	76			408	409	112	53	8,13	24,5	199,19
40	77	526	300	408	408	112	53	7,4	24,6	182,04
	78			408	410	112	53	7,23	24,1	174,24
	79			372	411	111	53	7,15	23,5	168,03
	80			368	411	111	53	7,18	23,8	170,88
	81			368	412	111	53	7,16	23,7	169,69
	82			369	413	110	54	7,19	23,9	171,84
	83			365	413	108	54	7,19	23,8	171,12
	84			370	413	110	54	7,19	23,8	171,12
	85			371	413	111	54	7,12	23,6	168,03
	86			368	414	107	54	7,08	23,7	167,8
	87			366	414	106	54	7,07	30,2	213,51
40	88	526	200	360	415	105	54	5,89	29,4	173,17
	89			328	416	105	54	5,89	28,6	168,45
	90			307	415	104	54	5,78	29	167,62
	91			304	416	102	54	5,69	28,3	161,03
	92			305	416	101	54	5,88	28,3	166,4
	93			307	416	108	55	5,82	28,3	164,71
	94			306	417	110	55	5,75	29	166,75
	95			307	419	110	55	5,85	28,9	169,07
	96			307	418	109	55	5,31	34	180,54
40	97	526	100	291	419	111	55	3,62	36,8	133,22
	98			228	422	105	55	3,26	29	94,54
	99			109	420	105	55	2,87	29,1	83,517
	100			180	421	106	55	3,12	30,5	95,16
	101			176	421	105	55	2,75	26,5	72,875
	102			154	422	106	55	2,35	20,2	47,47
	103			156	423	108	55	0,85	9,2	7,82

Anexa 7. Valori măsurate, în condiții de laborator, pentru centrala termosolară cu motor Stirling tip Beta și pâlnie de fier

R _i [Ω]	Timp [s]	P sursă [W]	R [Ω]	n [rpm]	T1 [C]	T2 [C]	T3 [C]	U [V]	I [mA]	P [mW]
40	0	526	1100	501	298	148	48	10,08	9,20	92,736
	1			502	301	150	47	10,2	9,3	94,767
	2			504	301	151	48	10,27	9,40	96,538
	3			505	303	151	48	10,28	9,40	96,632
	4			507	306	155	49	10,10	9,30	93,93
	5			507	306	155	49	9,88	9,00	88,92
	6			507	307	156	49	9,83	9,00	88,47
	7			478	309	158	49	9,68	8,80	85,184
	8			476	310	159	48	9,68	8,80	85,184
	9			476	311	160	49	9,58	8,70	83,346
	10			473	311	160	49	9,58	8,80	84,304
	11			478	315	163	49	9,79	8,90	87,131
	12			483	314	164	49	9,85	9,00	88,65
40	13	526	1000	491	318	165	49	9,94	10,00	99,4
	14			505	316	166	49	10,10	10,10	102,01
	15			501	318	168	49	10,12	10,20	103,224
	16			502	320	169	49	10,12	10,20	103,224
	17			504	320	170	49	10,10	10,10	102,01
	18			505	320	171	50	10,19	10,20	103,938
	19			506	321	172	50	10,21	10,30	105,163
	20			510	323	174	50	10,31	10,30	106,193
	21			511	325	174	49	10,30	10,30	106,09
	22			513	325	175	50	10,35	10,40	107,64
	23			514	326	175	50	10,37	10,40	107,848
	24			515	326	176	50	10,38	10,40	107,952
	25			518	327	177	50	10,46	10,90	114,014
40	26	526	900	521	328	179	50	10,46	11,70	122,382
	27			523	330	179	50	10,42	11,50	119,83
	28			523	331	181	50	10,42	11,60	120,872
	29			523	333	184	50	10,43	11,60	120,988
	30			524	334	184	50	10,45	11,70	122,265
	31			525	335	185	50	10,55	11,70	123,435
	32			526	335	185	50	10,52	11,70	123,084
	33			526	337	190	50	10,48	11,70	122,616
	34			526	338	191	51	10,52	11,80	124,136
40	35	526	800	522	339	194	51	10,18	12,70	129,286
	36			498	339	196	50	9,92	12,40	123,008
	37			494	340	198	51	9,87	12,40	122,388
	38			495	341	199	50	9,89	12,40	122,636
	39			496	341	200	51	9,94	12,40	123,256
	40			497	342	201	51	9,95	12,90	128,355
	41			505	343	201	51	10,01	12,60	126,126
	42			506	345	204	51	10,22	12,80	130,816
	43			508	345	206	51	10,15	14,20	144,13
40	44	526	700	509	345	209	51	10,00	14,30	143
	45			506	346	210	52	10,01	14,30	143,143
	46			506	347	209	51	10,07	14,40	145,008
	47			507	348	209	52	10,11	14,40	145,584
	48			508	348	208	52	10,14	14,50	147,03
	49			510	348	207	52	10,11	14,40	145,584
	50			512	349	207	52	10,24	14,60	149,504
	51			514	349	206	52	10,15	14,50	147,175
40	52	526	600	514	349	206	52	10,12	14,50	146,74
	53			512	350	205	52	10,01	16,60	166,166
	54			508	350	205	52	9,92	16,50	163,68

182 Anexa 7

R _i [Ω]	Timp [s]	P sursă [W]	R [Ω]	n [rpm]	T1 [C]	T2 [C]	T3 [C]	U [V]	I [mA]	P [mW]
	55			507	352	205	52	10,03	16,70	167,501
	56			507	352	204	52	9,95	16,60	165,17
	57			508	353	207	52	10,00	16,70	167
	58			509	354	208	52	10,04	16,70	167,668
	59			509	353	210	53	10,07	16,80	169,176
	60			511	355	212	52	10,07	16,70	168,169
	61			510	354	214	53	10,03	16,60	166,498
	62			493	357	218	53	9,72	16,70	162,324
40	63	526	500	475	357	220	53	9,27	18,50	171,495
	64			468	358	222	53	9,18	18,30	167,994
	65			465	358	222	53	9,24	18,50	170,94
	66			468	359	224	53	9,26	18,50	171,31
	67			470	358	226	53	9,24	18,50	170,94
	68			472	359	226	53	9,28	18,60	172,608
	69			475	360	225	53	9,33	18,70	174,471
	70			478	360	224	53	9,39	18,70	175,593
	71			478	359	221	53	9,39	18,80	176,532
	72			479	361	220	54	9,39	18,80	176,532
40	73	526	400	476	362	219	54	9,12	22,40	204,288
	74			462	362	219	54	8,95	22,00	196,9
	75			455	339	219	54	8,84	22,00	194,48
	76			456	364	220	54	8,84	21,80	192,712
	77			457	358	219	54	8,93	22,30	199,139
	78			461	358	219	55	8,98	22,20	199,356
	79			464	358	220	54	9,04	22,40	202,496
	80			468	349	219	54	9,10	22,70	206,57
	81			469	349	219	55	9,15	22,70	207,705
	82			474	349	219	54	9,18	22,80	209,304
40	83	526	300	463	349	220	54	8,79	28,10	246,999
	84			444	338	221	55	8,36	27,40	229,064
	85			437	335	224	55	8,42	27,60	232,392
	86			439	336	223	55	8,44	27,70	233,788
	87			441	339	223	55	8,37	27,70	231,849
	88			443	336	222	55	8,50	27,80	236,3
	89			444	336	222	55	8,49	27,70	235,173
	90			445	338	222	55	8,51	28,00	238,28
	91			443	349	222	55	8,42	27,60	232,392
40	92	526	200	425	345	223	55	7,45	36,30	270,435
	93			377	348	224	55	6,97	33,80	235,586
	94			373	346	226	55	6,95	33,20	230,74
	95			358	352	227	56	6,64	32,50	215,8
	96			354	358	227	56	6,53	32,00	208,96
	97			344	351	227	56	6,46	31,00	200,26
	98			344	352	227	56	6,37	30,80	196,196
	99			346	347	227	56	6,58	31,60	207,928
	100			349	348	227	56	6,58	31,60	207,928
	101			349	348	227	56	6,54	31,90	208,626
40	102	526	100	342	348	226	56	5,10	46,70	238,17
	103			241	343	226	56	4,05	37,20	150,66
	104			240	344	227	56	4,26	37,70	160,602
	105			242	348	227	56	4,13	39,50	163,135
	106			244	338	228	57	4,20	38,90	163,38
	107			242	333	227	57	4,19	38,80	162,572
	108			241	333	228	57	4,25	37,30	158,525
	109			223	336	227	57	4,11	37,20	152,892
	110			226	337	226	57	4,06	35,50	144,13
	111			224	336	227	57	3,90	36,60	142,74
	112			220	336	227	57	3,84	35,90	137,856

Anexa 8. Valori măsurate, în condiții de laborator, pentru centrala termosolară cu motor Stirling tip Beta și pâlnie de aluminiu

Ri [Ω]	Timp [s]	P sursă [W]	R [Ω]	n [rpm]	T1 [C]	T2 [C]	T3 [C]	U [V]	I [mA]	P [mW]
40	1	526	1100	492	483	339	164	9,93	9,1	90,363
	2			493	484	340	165	9,92	9,1	90,272
	3			494	485	341	167	9,93	9,1	90,363
	4			495	486	342	173	9,91	9,1	90,181
	5			497	488	343	174	9,96	9,2	91,632
	6			497	488	345	174	10,06	9,2	92,552
	7			498	488	346	52	9,97	9,1	90,727
40	8	526	1000	499	490	346	51	10	9,2	92
	9			523	490	347	51	9,97	10	99,7
	10			497	491	348	53	9,98	10	99,8
	11			496	491	348	53	9,95	10	99,5
	12			495	492	349	53	9,94	10	99,4
	13			496	493	350	56	9,85	10,1	99,485
	14			497	494	351	189	9,99	10,1	100,899
	15			523	495	351	191	9,99	10	99,9
	16			506	496	352	192	10,03	10,1	101,303
	17			504	496	353	196	9,98	10,1	100,798
	18			480	497	359	197	10,1	10,1	102,01
40	19	526	900	463	498	357	200	9,93	11,1	110,223
	20			463	499	358	201	9,92	11,1	110,112
	21			449	500	359	201	9,92	11,1	110,112
	22			495	500	361	202	9,89	11,1	109,779
	23			495	500	362	202	9,93	11,1	110,223
	24			493	502	363	203	9,89	11	108,79
40	25	526	800	493	503	364	202	9,84	11,1	109,224
	26			495	502	365	201	9,9	11,1	109,89
	27			496	509	365	201	9,95	11,1	110,445
	28			489	504	366	197	9,81	12,4	121,644
	29			489	505	366	197	9,75	12,3	119,925
	30			489	505	366	197	9,81	12,3	120,663
	31			491	506	366	188	9,78	12,3	120,294
	32			492	506	366	188	9,85	12,4	122,14
	33			492	507	368	189	9,84	12,4	122,016
	34			491	508	368	190	9,8	12,3	120,54
	35			491	508	369	191	9,77	12,3	120,171
	36			491	509	369	193	9,81	12,3	120,663
	37			493	510	369	195	9,81	12,4	121,644
	38			493	510	370	194	9,7	13,9	134,83
40	39	526	700	491	511	370	196	9,61	13,8	132,618
	40			474	511	372	197	9,63	13,8	132,894
	41			484	512	372	198	9,64	13,9	133,996
	42			483	513	373	198	9,66	13,9	134,274
	43			486	512	379	196	9,7	14	135,8
	44			485	514	375	198	9,63	13,8	132,894
	45			484	514	376	197	9,63	13,9	133,857
	46			484	514	338	198	9,61	13,9	133,579
	47			483	515	379	197	9,64	13,9	133,996
40	48	526	600	483	516	379	200	9,57	15,9	152,163
	49			477	516	379	201	9,44	15,8	149,152
	50			475	517	380	202	9,37	15,8	148,046
	51			475	518	380	203	9,38	15,7	147,266
	52			477	518	381	204	9,43	15,8	148,994
	53			477	518	381	205	9,4	15,8	148,52
	54			477	518	382	205	9,48	15,8	149,784
	55			477	519	382	206	9,42	15,9	149,778

Ri [Ω]	Timp [s]	P sursă [W]	R [Ω]	n [rpm]	T1 [C]	T2 [C]	T3 [C]	U [V]	I [mA]	P [mW]
	56			479	520	382	206	9,42	15,8	148,836
	57			480	520	382	207	9,47	15,8	149,626
40	58	526	500	477	521	383	208	9,45	15,8	149,31
	59			472	520	384	210	9,47	15,8	149,626
	60			472	521	384	211	9,08	18,3	166,164
	61			462	522	384	218	9,04	18,1	163,624
	62			461	522	386	214	9,05	18,3	165,615
	63			461	522	387	217	8,96	18	161,28
	64			460	523	388	218	9,04	18,2	164,528
	65			461	523	388	218	9,07	18,2	165,074
40	66	526	400	461	524	389	218	9,03	18,2	164,346
	67			462	524	390	217	9,04	18,2	164,528
	68			435	525	390	218	8,85	22,7	200,895
	69			436	525	390	219	8,53	21,2	180,836
	70			436	526	390	220	8,46	21,2	179,352
	71			436	526	390	219	8,54	21,4	182,756
	72			437	527	390	220	8,38	21,2	177,656
	73			433	527	391	220	8,5	21,3	181,05
	74			438	527	391	220	8,57	21,4	183,398
	75			437	527	392	222	8,5	21,2	180,2
40	76	526	300	437	528	393	222	8,53	21,3	181,689
	77			436	528	399	222	8,27	26,1	215,847
	78			402	529	395	224	7,79	25,1	195,529
	79			396	529	396	224	7,61	25,3	192,533
	80			395	530	397	223	7,5	25,1	188,25
	81			395	530	397	220	7,69	25,1	193,019
	82			396	530	397	221	7,67	25,1	192,517
	83			392	530	399	221	7,49	24,1	180,509
	84			394	531	399	221	7,61	25,1	191,011
	85			392	532	399	225	7,58	25,1	190,258
40	86	526	200	396	532	400	223	7,69	25,6	196,864
	87			398	532	400	223	6,54	32,1	209,934
	88			374	533	400	224	6,26	30,1	188,426
	89			343	534	401	224	6,21	30,1	186,921
	90			334	534	401	224	6,23	30,1	187,523
	91			329	534	401	226	6,2	30,1	186,62
	92			330	534	401	226	6,21	30,1	186,921
	93			330	535	401	228	6,15	30,1	185,115
	94			330	535	402	229	6,16	30,1	185,416
	95			331	536	403	229	6,18	30,5	188,49
	96			331	536	403	229	6,22	30,5	189,71
40	97	526	100	330	536	403	229	6,17	30,8	190,036
	98			248	537	403	229	4,3	42,2	181,46
	99			221	537	402	238	3,7	35,4	130,98
	100			218	537	403	231	3,78	38,7	146,286
	101			220	538	404	337	3,88	36	139,68
	102			223	539	404	305	3,87	36,5	141,255
	103			224	539	404	293	3,96	36,7	145,332
	104			225	540	404	225	3,98	38,8	154,424
	105			225	540	404	227	3,84	37,9	145,536
	106			219	540	404	254	3,87	36,2	140,094
	107			219	540	404	246	3,87	35,4	136,998

Anexa 9. Valori măsurate, în condiții reale, pentru centrala termosolară cu motor Stirling tip Beta fără pâlnie

Timp [s]	R [Ω]	Radiatie [W/m^2]	n rpm]	T1 [C]	T2 [C]	T3 [C]	U (V)	I [mA]	P [mW]
0	1100	847	318	267	90	31	7,8726	0,0153	0,1206
1		848	332	281	89	31	7,9517	0,0113	0,0899
2		848	337	286	89	30	7,4661	0,0040	0,0302
3		848	344	293	89	30	7,1848	0,0113	0,0812
9		848	350	299	90	31	7,5935	0,00672	0,0510
10		848	350	299	90	31	7,8203	0,0111	0,0868
11		848	349	298	92	30	7,7642	0,0010	0,0074
12		848	368	317	91	31	8,1459	0,0016	0,0132
13		849	374	323	90	30	8,3987	0,0109	0,0915
14		849	367	316	87	30	9,0254	0,0117	0,1057
15		848	356	305	86	30	8,6948	0,0043	0,0378
16		847	350	299	84	30	8,3239	0,0010	0,0079
17		849	338	287	85	30	7,8798	0,0102	0,0801
18		848	333	282	84	30	7,4069	0,0136	0,1009
19		848	327	276	85	30	6,9483	0,0041	0,0288
20		848	311	260	85	30	6,7431	0,0007	0,0050
26	1000	848	326	275	92	30	4,9519	0,0079	0,0391
27		848	332	281	92	31	5,0479	0,0039	0,0199
28		849	322	271	92	31	5,8148	0,0009	0,0053
29		849	317	266	95	31	6,7874	0,0146	0,0991
30		848	313	262	92	31	7,1645	0,0066	0,0470
31		849	311	260	94	31	7,8520	0,0037	0,0293
32		848	305	254	95	31	7,4444	0,0097	0,0719
33	900	848	318	267	97	30	7,0892	0,0074	0,0527
34		848	320	269	97	31	7,1836	0,0078	0,0560
35		849	324	273	94	31	6,7224	0,0010	0,0064
36		850	315	264	96	31	6,4409	0,0048	0,0310
37		849	331	280	98	31	6,1170	0,0058	0,0354
38		850	329	278	95	32	6,0243	0,0058	0,0349
39		850	330	279	96	32	6,8881	0,0134	0,0924
40		849	325	274	96	32	7,5887	0,0080	0,0604
41		849	316	265	97	31	7,5717	0,0058	0,0439
42		849	299	248	96	31	7,3412	0,0063	0,0463
43		849	283	232	92	32	7,3143	0,0118	0,0864
44		851	245	194	92	32	6,9432	0,0114	0,0792
61		853	349	298	97	31	6,6870	0,0049	0,0329
62		853	365	314	97	31	7,8970	0,0116	0,0917
63	700	854	427	376	97	31	6,9999	0,0063	0,0438
64		853	534	483	100	31	5,5543	0,0146	0,0811
65		859	617	566	101	31	6,6108	0,0013	0,0083
66		854	673	622	104	31	7,1880	0,0142	0,1023
67		854	679	628	106	31	7,6673	0,0119	0,0914
68		854	674	623	107	32	8,2282	0,0159	0,1307
69		854	671	620	107	32	8,6793	0,0137	0,1186
70		854	679	628	107	31	9,1891	0,0151	0,1389

186 Anexa 9

Timp [s]	R [Ω]	Radiatie [W/m^2]	n rpm]	T1 [C]	T2 [C]	T3 [C]	U (V)	I [mA]	P [mW]
71		854	641	590	107	31	9,4311	0,0071	0,0673
72		854	591	540	106	31	9,1625	0,0114	0,1045
73		854	607	556	109	31	8,9193	0,0119	0,1059
74		854	599	548	108	31	8,7779	0,0114	0,1001
75		854	551	500	110	30	9,0404	0,0151	0,1361
76		854	471	420	112	30	9,1507	0,0010	0,0087
77		854	449	402	114	31	9,0347	0,0198	0,1793
78	500	854	398	347	114	31	9,2050	0,0115	0,1059
79		854	386	335	114	31	9,3015	0,0133	0,1233
80		854	345	294	114	31	8,9604	0,0179	0,1603
81		854	325	274	116	31	9,0413	0,0129	0,1166
82		855	308	257	115	31	8,7615	0,0232	0,2032
83		854	304	253	119	31	8,8999	0,0119	0,1056
84		854	306	255	121	31	8,7707	0,0281	0,2468
85		853	309	258	123	31	8,9658	0,0165	0,1479
86		853	318	267	123	31	9,1130	0,0077	0,0702
87		854	329	278	125	31	9,1202	0,0224	0,2045
88		854	325	274	127	32	9,1793	0,0194	0,1779
89		854	323	272	128	32	9,3229	0,0155	0,1447
90		853	324	273	128	32	9,3150	0,0242	0,2256
91		851	292	241	126	32	9,1530	0,0257	0,2354
92		851	305	254	127	32	9,1685	0,0158	0,1451
93		851	326	275	130	32	9,1049	0,0164	0,1498
94		851	340	289	130	32	9,1857	0,0123	0,1133
95	300	851	399	348	133	32	8,9665	0,0152	0,1364
96		850	441	390	136	31	8,5294	0,0221	0,1882
97		850	532	481	135	32	8,0969	0,0233	0,1890
98		850	551	500	133	32	7,9283	0,0318	0,2520
99		851	567	516	134	30	8,1404	0,0227	0,1846
100		851	571	520	136	31	8,2347	0,0263	0,2164
101		851	573	522	134	31	8,6394	0,0247	0,2137
102		851	577	526	136	30	8,9012	0,0273	0,2426
103		851	581	530	135	30	9,0250	0,0329	0,2971
104		850	582	531	136	30	9,0407	0,0316	0,2855
105		851	567	516	137	30	8,9813	0,0346	0,3105
106		851	553	502	137	30	9,0474	0,0288	0,2606
107	100	851	479	428	140	30	8,8741	0,0377	0,3346
108		850	465	414	140	31	8,6306	0,0204	0,1762
109		851	416	365	132	30	4,7808	0,0457	0,2187
110		851	402	351	131	30	3,9455	0,0346	0,1364
111		852	375	324	131	31	3,2247	0,0321	0,1035
112		851	372	321	132	31	3,7740	0,0336	0,1270
113		851	344	293	132	31	3,2593	0,0323	0,1051
114		851	343	292	132	31	3,6741	0,0309	0,1134
115		851	406	355	130	31	3,8637	0,0279	0,1077
116		851	440	389	129	31	2,6075	0,0225	0,0586
117		851	398	347	129	31	3,1105	0,0355	0,1106

**Anexa 10. Valori măsurate, în condiții
reale, pentru centrala termosolară cu motor
Stirling tip Beta și pâlnie de cupru**

Ri [Ω]	t [s]	R [Ω]	Rad. Solară [W/m ²]	n [rpm]	T1 [C]	T2 [C]	T3 [C]	U [V]	I [mA]	P [mW]
40	1	1100	849	384	307	202	76	10,351531	0,006823	0,070628
	2		850	391	316	202	77	10,301438	0,010323	0,106342
	3		850	394	319	203	77	10,303755	0,013103	0,13501
	4		850	400	323	206	80	10,321156	0,011301	0,116639
	5		850	399	322	205	81	10,281205	0,012434	0,127837
	6		850	404	325	206	81	10,115225	0,010632	0,107545
	7		850	407	327	212	60	10,101428	0,006051	0,061124
	8		850	419	338	207	60	10,122072	0,001572	0,015912
	9		849	409	328	207	60	10,033213	0,004815	0,04831
	10		850	411	330	207	60	10,020497	0,01753	0,175659
40	11	900	850	410	331	206	61	9,87825	0,005072	0,050102
	12		850	409	331	207	61	9,624131	0,004043	0,03891
	13		850	419	341	208	62	9,436631	0,012228	0,115391
	14		851	423	344	208	89	9,463557	0,013721	0,129849
	15		851	421	341	207	90	9,418921	0,013772	0,129717
	16		850	414	333	206	90	9,191728	0,008367	0,076907
40	17	700	849	412	334	206	92	8,903527	0,018611	0,165704
	18		851	405	328	208	93	8,773379	0,006977	0,061212
	19		850	403	326	207	94	8,585776	0,001057	0,009075
	20		850	402	323	209	95	8,570949	0,016295	0,139664
	21		850	391	316	210	95	8,410426	0,014441	0,121455
	22		850	392	315	211	95	8,127683	0,008727	0,07093
	23		850	394	315	212	95	8,061321	0,015883	0,128038
	24		851	390	310	213	96	8,066418	0,012794	0,103202
40	25	500	853	395	316	212	96	7,809519	0,012537	0,097908
	26		851	392	317	211	95	7,056996	0,012846	0,090654
	27		850	395	326	209	95	6,886228	0,013566	0,093419
	28		850	396	329	209	93	6,910013	0,005742	0,039677
	29		851	388	324	209	93	7,161661	0,011147	0,079831
	30		851	383	322	211	93	6,849624	0,016295	0,111615
	31		850	379	321	211	89	6,517354	0,009139	0,059562
	32		851	380	321	211	89	6,708149	0,010992	0,073736
	33		850	378	318	211	89	6,198728	0,01403	0,086968
	34		850	387	325	210	90	6,414852	0,007698	0,049382
	35		850	392	327	210	91	6,181481	0,015471	0,095634
	36		851	397	329	210	92	6,32831	0,004815	0,030471
40	37	300	852	394	324	209	93	5,743003	0,023038	0,132307
	38		851	403	333	210	92	5,566623	0,01336	0,07437
	39		852	400	333	214	93	5,40332	0,012228	0,066072
	40		852	395	333	212	94	5,320175	0,007904	0,042051
	41		851	394	331	212	94	5,582068	0,011765	0,065673
	42		851	392	327	211	94	5,075581	0,018096	0,091848
	43		851	384	319	213	93	4,618568	0,011044	0,051007
	44		851	377	312	210	94	4,258189	0,014236	0,06062
	45		853	359	293	209	94	4,318321	0,010581	0,045692
40	46	200	852	344	277	192	94	3,246554	0,009242	0,030005

188 Anexa 10

Ri [Ω]	t [s]	R [Ω]	Rad. Solară [W/m ²]	n [rpm]	T1 [C]	T2 [C]	T3 [C]	U [V]	I [mA]	P [mW]
	48		852	335	269	212	94	3,248561	0,025355	0,082367
	47		853	324	261	212	96	2,803339	0,006771	0,018981
	49		853	317	256	212	96	0,0035	0,001263	4,42E-06
	50		852	315	254	214	96	0,00031	0,001259	3,9E-07

Anexa 11. Valori măsurate, în condiții reale, pentru centrala termosolară cu motor Stirling tip Beta și pâlnie de fier

t [s]	R [Ω]	Rad. Solara [W/m ²]	n [rpm]	T1 [C]	T2 [C]	T3 [C]	U [V]	I [mA]	P [mW]
1	1100	851	484	278	111	71	6,2108	0,0061	0,0039
2		852	480	287	182	72	6,1117	0,00492	0,03006
3		852	483	290	113	72	5,5974	0,0059	0,03302
4		852	489	294	116	75	5,6476	0,0068	0,0384
5		852	488	293	185	76	5,0349	0,00698	0,03513
6		852	489	296	116	76	5,1673	0,00955	0,04935
7		852	489	298	180	45	5,1971	0,00075	0,00389
8		852	491	309	117	45	5,3311	0,00363	0,01936
9		851	490	299	117	45	5,2431	0,0027	0,01418
10		852	482	301	117	45	5,3681	0,00281	0,01507
11	900	852	491	302	116	46	5,5841	0,00646	0,03608
12		852	490	302	117	46	5,4691	0,0027	0,01479
13		852	491	312	118	47	6,0388	0,01125	0,06794
14		853	490	315	118	84	6,1019	0,00518	0,03158
15		853	488	312	117	85	5,9163	0,00168	0,00991
16		852	480	304	116	85	6,0930	0,00095	0,00581
17	700	851	490	305	116	87	6,1223	0,00507	0,03105
18		853	470	299	118	88	6,1903	0,00718	0,04446
19		852	480	297	117	89	6,3651	0,0025	0,0159
20		852	472	294	119	90	6,3156	0,00744	0,04699
21		852	489	287	178	90	6,4378	0,00984	0,06335
22		852	480	286	179	90	6,1408	0,01491	0,09153
23		852	483	286	180	90	6,0503	0,0152	0,09196
24		853	488	281	181	91	6,1632	0,00919	0,05665
25	500	855	484	287	180	91	6,0782	0,00806	0,04898
26		853	481	288	179	90	6,1254	0,00986	0,0604
28		852	485	300	119	88	6,2752	0,00389	0,0244
29		853	450	295	119	88	6,4430	0,01177	0,0758
30		853	490	293	179	88	6,3841	0,00554	0,03534
31		852	486	292	179	84	6,2561	0,00188	0,01177
32		853	486	292	179	84	6,1638	0,00729	0,04491
35		852	480	298	178	86	6,5605	0,00198	0,01302
37	300	854	483	295	119	88	6,7569	0,0094	0,06351
38		853	480	304	178	87	6,7019	0,0085	0,05697
39		854	490	304	182	88	6,7149	0,00819	0,055
40		854	484	304	180	89	6,7802	0,00724	0,04905
41		853	483	302	180	89	6,8662	0,0069	0,04738
42		853	481	298	179	89	6,7528	0,0056	0,03782
43		853	484	290	181	88	6,5320	0,00523	0,03414
44		853	483	283	178	89	6,5940	0,00621	0,04092
45		855	462	264	119	89	6,6340	0,0042	0,02784
46	200	854	445	248	102	89	6,3995	0,00909	0,05816
47		854	435	240	180	89	6,4545	0,00646	0,04171
48		855	422	232	180	91	6,4388	0,00971	0,06249
49		855	415	227	180	91	6,2457	0,01038	0,0648
51		857	317	225	183	71	5,8644	0,00862	0,05057
53		857	321	227	182	72	5,8632	0,00435	0,02552
54		857	323	229	184	75	5,9221	0,00451	0,02668
58		857	309	241	178	45	6,1176	0,00234	0,01434
59		857	304	287	178	45	6,0437	0,00065	0,0039
60		857	294	307	119	45	6,2111	0,00399	0,02479
61		857	290	306	119	46	6,2255	0,00049	0,00306
62		857	292	321	118	46	6,1823	0,00312	0,01926
65		857	286	291	119	85	5,9727	0,00204	0,01215
66		863	285	332	119	85	5,8541	0,00451	0,02638

190 Anexa 11

t [s]	R [Ω]	Rad. Solara [W/m²]	n [rpm]	T1 [C]	T2 [C]	T3 [C]	U [V]	I [mA]	P [mW]
67		858	276	318	178	87	5,8067	0,00204	0,01182
68		858	278	324	179	88	5,9837	0,00693	0,04144
69		858	279	320	178	89	5,8511	0,00106	0,00618
71		858	283	320	178	90	5,7614	0,00497	0,02863
72		858	285	304	180	90	5,8788	0,00857	0,0504
73		858	287	321	181	90	5,6573	0,00646	0,03656
74		858	292	309	181	91	5,7440	0,00353	0,02026
75		858	294	325	181	91	5,8014	0,01161	0,06735
77		858	285	385	184	90	5,0358	0,00353	0,01777
79		858	264	350	182	88	5,1639	0,0076	0,03922
80		858	262	344	182	88	5,3723	0,0025	0,01342
81		858	262	324	182	84	5,2694	0,00554	0,02917
82		858	262	315	182	84	5,3623	0,00173	0,00926
83		859	260	306	182	84	5,5647	0,00785	0,04369
88		858	257	318	181	87	5,5931	0,00852	0,04766
89		858	239	316	181	88	5,3971	0,00157	0,00848
90		858	227	315	181	89	5,4594	0,01048	0,0572

Anexa 12. Valori măsurate, în condiții reale, pentru centrala termosolară cu motor Stirling tip Beta și pâlnie de aluminiu

t [s]	R [Ω]	Rad. Solara [W/m ²]	n [rpm]	T1 [C]	T2 [C]	T3 [C]	U [V]	I [mA]	P [mW]
1	1100	850	442	432	242	156	6,8004	0,0093	0,0632
2		851	450	441	302	157	6,6030	0,0112	0,0739
3		851	453	444	243	157	6,7067	0,0063	0,0419
4		851	459	448	246	160	6,4882	0,0072	0,0469
5		851	458	447	305	161	6,3632	0,0035	0,0221
6		851	465	450	246	161	6,3980	0,0021	0,0137
7		851	467	452	312	100	6,3124	0,0016	0,0102
8		851	481	463	247	100	6,0468	0,0009	0,0054
9	1000	850	470	453	247	100	6,0201	0,0104	0,0624
10		851	472	455	247	100	5,7319	0,0142	0,0813
11		851	471	456	246	101	5,3004	0,0012	0,0064
12		851	470	456	247	101	4,8487	0,0036	0,0174
13		851	481	466	248	102	4,8798	0,0000	0,0001
14		852	486	469	248	169	4,0036	0,0092	0,0368
15	900	852	484	466	247	170	3,7646	0,0012	0,0046
16		851	476	458	246	170	4,5657	0,0062	0,0281
17		850	473	459	246	172	3,9249	0,0062	0,0242
18		852	466	453	248	173	4,0403	0,0046	0,0186
19		851	463	451	247	174	4,3507	0,0079	0,0342
20		851	462	448	249	175	3,5691	0,0132	0,0470
21	800	851	449	441	310	175	4,9543	0,0015	0,0073
22		851	450	440	311	175	5,1234	0,0062	0,0318
23		851	453	440	312	175	5,6590	0,0033	0,0188
24		852	448	435	313	176	5,9547	0,0020	0,0118
25		854	454	441	312	176	6,6589	0,0110	0,0735
26		852	451	442	311	175	6,9896	0,0022	0,0157
27		851	454	451	249	175	7,3260	0,0041	0,0303
28	700	851	455	454	249	173	6,3259	0,0055	0,0350
29		852	446	449	249	173	6,5698	0,0038	0,0252
30		852	440	447	311	173	5,3259	0,0037	0,0199
31		851	436	446	311	169	5,3698	0,0045	0,0242
32		852	436	446	311	169	4,9878	0,0037	0,0186
33		851	435	443	311	169	5,6321	0,0102	0,0573
34		851	445	450	310	170	5,6989	0,0017	0,0098
35		851	450	452	310	171	5,6589	0,0102	0,0575
36	600	852	457	454	310	172	4,9878	0,0058	0,0291
37		853	453	449	249	173	5,6599	0,0005	0,0028
38		852	463	458	310	172	5,1509	0,0025	0,0131
39		853	460	458	314	173	6,2217	0,0111	0,0690
40		853	454	458	312	174	7,0850	0,0152	0,1074
41		852	453	456	312	174	4,2597	0,0038	0,0163
42		852	451	452	311	174	5,6365	0,0028	0,0155
43		852	442	444	313	173	5,6598	0,0037	0,0208
44	500	852	433	437	310	174	3,6589	0,0020	0,0072
45		854	412	418	249	174	4,2525	0,0020	0,0086
46		853	395	402	232	174	3,5690	0,0039	0,0140
47		853	385	394	312	174	4,5987	0,0019	0,0089
48		854	372	386	312	176	4,5698	0,0036	0,0164
49		854	365	381	312	176	5,6578	0,0056	0,0319
50		853	362	379	314	176	6,3258	0,0075	0,0474
51		856	267	379	315	177	6,3599	0,0069	0,0440
52		857	271	379	315	178	5,3256	0,0022	0,0116
53	400	856	271	381	314	178	4,5988	0,0024	0,0110
54		856	273	383	316	178	3,6589	0,0048	0,0176

192 Anexa 12

t [s]	R [Ω]	Rad. Solara [W/m ²]	n [rpm]	T1 [C]	T2 [C]	T3 [C]	U [V]	I [mA]	P [mW]
55		856	273	382	317	179	3,8756	0,0054	0,0209
56		856	270	382	316	179	3,9896	0,0069	0,0276
57		857	267	388	314	179	4,9898	0,0046	0,0230
58		856	259	395	310	180	4,3657	0,0070	0,0307
59		856	254	441	310	171	4,3658	0,0076	0,0334
60		856	244	461	249	176	5,4580	0,0018	0,0100
61	300	856	240	460	249	174	5,6598	0,0003	0,0016
62		856	242	475	248	172	6,3177	0,0056	0,0353
63		856	242	483	249	180	7,0188	0,0062	0,0436
64		857	237	515	249	180	7,5597	0,0064	0,0481
65		856	236	569	249	180	7,8225	0,0029	0,0228
66		862	235	585	249	180	8,1484	0,0194	0,1579
67		857	226	563	310	180	8,1817	0,0188	0,1535
68		857	228	569	311	180	8,1826	0,0099	0,0807
69		857	229	565	310	176	8,2945	0,0070	0,0579
70		857	230	563	311	178	7,9488	0,0169	0,1344
71		857	233	567	310	176	7,9044	0,0064	0,0507
72		857	235	599	312	178	7,8423	0,0031	0,0240
73		857	237	599	313	178	7,7352	0,0203	0,1567
74		857	242	582	313	176	7,2370	0,0127	0,0918
78	200	857	235	330	314	179	6,5153	0,0133	0,0864
79		857	214	504	314	179	6,5305	0,0063	0,0409
80		857	212	498	314	179	6,3229	0,0094	0,0597
81		857	212	478	314	178	6,4176	0,0141	0,0904
82		857	212	469	314	179	6,2071	0,0112	0,0695
83		858	210	460	314	179	5,8585	0,0120	0,0701
84		857	213	458	315	179	5,6362	0,0111	0,0625
85		857	213	459	315	180	5,6356	0,0129	0,0727
86		856	212	461	314	179	5,6022	0,0221	0,1239
87		856	210	466	313	179	4,9503	0,0151	0,0745
88		857	207	472	313	179	4,2974	0,0108	0,0466
89		857	189	470	313	179	3,8900	0,0126	0,0490
90		857	177	469	313	179	4,2098	0,0124	0,0521