

POSSIBILITĂȚI DE UTILIZARE A ENERGIEI SOLARE ÎN AMENAJĂRILE DE ÎMBUNĂTĂȚIRI FUNCiare

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

ing. Iosif Ciprian Balaj

Conducător științific: Prof.univ.emerit dr.ing. Teodor Eugen Man
Referenți științifici: Prof.univ.dr. Marius Paulescu
Prof.univ.dr. ing. Ioan David
Prof.univ.dr.ing. Nicu Cornel Sabau

Ziua susținerii tezei: 08.06.2018

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|---|--|
| 1. Automatică | 10. Știința Calculatoarelor |
| 2. Chimie | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 3. Energetică | 12. Ingineria sistemelor |
| 4. Ingineria Chimică | 13. Inginerie energetică |
| 5. Inginerie Civilă | 14. Calculatoare și tehnologia informației |
| 6. Inginerie Electrică | 15. Ingineria materialelor |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 16. Inginerie și Management |
| 8. Inginerie Industrială | 17. Arhitectură |
| 9. Inginerie Mecanică | 18. Inginerie civilă și instalații |

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, 2018

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 parcursul activității mele în cadrul Departamentului de Hidrotehnică al Facultății de Construcții din cadrul Universității Politehnica Timișoara.

Mulțumiri deosebite se cuvin conducătorului de doctorat Prof. univ.emerit dr. ing. Man Teodor Eugen pentru întreaga activitate de coordonare a lucrării, pentru sfaturile și indicațiile tehnice pe parcursul elaborării tezei, pentru firescul cu care mi-a dezvoltat viziunea sa asupra problemelor luate în studiu și pentru înaltul profesionalism, fără de care finalizarea acestei lucrări nu ar fi fost posibilă.

De asemenea, se cuvin,

Mulțumiri deosebite se cuvin Domnului Prof.dr.Paulescu Marius pentru sprijinul și suportul tehnic experimental în cunoașterea fizicii energiei fotovoltaice, pe care mi le-a acordat în anii de cercetare în cadrul Departamentului de Fizica de la Universitatea de Vest Timișoara unde am efectuat programul experimental de laborator, colegilor doctoranzi și cadrelor didactice de la Departamentul de Hidrotehnică, precum și Filiala Teritorială SOMEȘ – CRIȘ, unde îmi desfășor activitatea profesională.

Mulțumesc, de asemenea, și Comisiei de doctorat formată din: Prof.univ.emerit dr.ing. MIREL Ioan, Conf.dr.GRAVILA Paul, Ș.L.dr.ing. BEILICCI Robert pentru sprijinul și susținerea acordată pe întreaga perioadă de elaborare și în finalizarea tezei de doctorat.

Timișoara, mai 2018

ing.BALAJ Iosif Ciprian

Iosif Ciprian, Balaj

Posibilități de utilizare a energiei solare în amenajările de îmbunătățiri funciare

Teze de doctorat ale UPT, Seria 5, Nr. 142, Editura Politehnica, 2018, 156 pagini, 65 figuri, 18 tabele, 285 titluri bibliografice.

ISSN:1842-581X

ISBN:978-606-35-0214-9

Cuvinte cheie: energie solară, energie fotovoltaică, irigații prin aspersiune, irigații prin picurare, panouri fotovoltaice

Rezumat,

Cercetarile efectuate în cadrul tezei de doctorat sunt interdisciplinare, bazându-se pe cunoașterea problematicii fizicii conversiei energiei solare în energie electrică, modelarea numerică a resurselor de energie solară, evaluarea resurselor solare în regiunea de vest, în vederea utilizării energiei solare în pomparea apei pentru irigații (prin aspersiune sau picurare), efectuarea unor cercetari experimentale prin realizarea unui stand experimental pentru studiul eficienței pompării apei folosind cuplajul direct fotovoltaic – pompa, etc. pentru stabilirea cantității de energie electrică posibil de obținut prin conversie fotovoltaică la pomparea apei de irigații pentru amenajări mici (locale) de irigații. Teza de doctorat se înscrie prevederilor programului de eficientizare a amenajărilor locale de irigații prin folosirea energiei solare pentru obținerea energiei fotovoltaice folosită la pomparea apei în amenajările de irigații. Principalele contribuții personale ale doctorandului sunt: - Prezentarea bazelor teoretice ale conversiei energiei solare în energie electrică; - Evaluarea resurselor solare în regiunea de vest, în vederea utilizării energiei solare în pomparea apei pentru irigații; - Cercetări experimentale pe un stand experimental pentru studiul eficienței pompării apei folosind cuplajul direct fotovoltaic – pompa; - Modelarea numerică a resurselor de energie solară; - Realizarea graficului evoluției radiațiilor solare; - Stabilirea cantității de energie electrică posibil de obținut prin conversie fotovoltaică; - Inventarierea unor realizări pe plan mondial în domeniul energiei fotovoltaice și al folosirii acestora la pomparea apei pentru irigații; - Introducerea unui algoritm pentru calculul necesarului de panouri fotovoltaice, respectiv a suprafeței de panouri necesare pentru diferite culturi și suprafețe irigate.

Teza este oportună, actuală și importantă pentru domeniul îmbunătățirilor funciare și al dezvoltării durabile a infrastructurii spațiului rural românesc cu deficit temporar sau permanent de umiditate rezultat din lipsa precipitațiilor din ultimii ani ca efect al încălzirii globale.

CUPRINS

Cap.1.Introducere si probleme generale ale amenajarilor de îmbunătățiri funciare(cu referire speciala la cele de rigatii)	2
1.1.Amenajările de Îmbunătățiri Funciare din Romania	2
1.1.1. Probleme generale	2
1.1.2. Situatia actuala a amenajarilor de imbunatatiri funciare din Romania (istoric, capacitati amenajate, organizarea actuala, strategia nationala, surse de finantare, legislatia specifica in domeniul imbunatatirilor funciare necesarul de apa, amenajari locale de irigatii etc)	7
1.1.2.1 Situatia actuală amenajărilor de irigații din Banat (Jud. Caras – Severin, Timis, Arad)	15
1.1.3. Posibilitati de finantare a lucrarilor imbunatatiri funciare din Romania..	23
1.1.4. Legislația Specifică lucrărilor de Îmbunătățiri Funciare din Romania....	26
1.1.5. Necesarul de apa in amenajarile de irigatii si desecare – drenaj global si pe un an calendaristic	28
1.1.6. Statiile de pompare din amenajarile de Imbunatatiri Funciare si puterea instalata	29
1.1.7. Programul National de Reabilitare a Infrastructurii Principale de Irigații din România, conform Legii nr.269/2016 si aprobat prin Hotărârii de Guvern nr. 793/2016	30
1.1.8. Analiza SWOT a amenajărilor de irigații din România	31
1.2. Obiectivele tezei de doctorat	34
1.3. Concluzii partiale	35
Cap. 2. Surse de energii regenerabile	36
2.1. Hidroenergia	36
2.1.1. Energia hidroenergetică	37
2.1.1.1. Energia hidroenergetică a valurilor	37

2.1.1.2. Energia hidraulică a mareelor	37
2.1.1.3. Energia hidraulică a curenților marini	38
2.1.2. Energia termică a mărilor și a oceanelor	38
2.1.3. Energia din hydrogen	38
2.2. Energia solară	40
2.3. Energia eoliană	43
2.4. Energia geotermală	46
2.5. Energia din biomasă	50
Cap.3. Realizari pe plan mondial (firme producatoare, panouri fotovoltaice - caracteristici, acumulatori, pompe de apa, amenajari irigatii etc.). Exemple	51
3.1. Firme producatoare, panouri fotovoltaice – caracteristici	51
3.2. Exemple de realizare a unor sisteme de irigatii locale folosind energia solara	55
3.2.1. Sistem de irigatii cu pompe solare	55
3.2.2. Irigatii prin picurare sau prin canale de irigatii	57
a. Dimensionarea sistemelor prin picatura	57
b. Dimensionarea sistemelor prin irigare (inundare)	58
3.3. Aplicatii pentru Sistemele de Irigatii – exemple	59
3.4. Pompele solare de apa in agricultura	61
3.5. Rezultatele unor studii privind sistemele solare fotovoltaice de pompare a apei	62
3.5.1. Principiul de lucru a sistemelor solare fotovoltaice de pompare a apei .	63
3.5.2. Performanța sistemelor solare fotovoltaice de pompare a apei	63
3.5.3. Tipuri de motoare și pompe	69
3.5.3.1. Tipuri de motoare	69
3.5.3.2. Pompe de apă folosite în sistemul de pompare	71

Cap.4. Energia solara sursa de energie fotovoltaica pentru pomparea apei la irigatii	72
4.1. Tipuri de energii regenerabile	72
4.2. Energia solară	77
4.2.1. Componentele radiației solare in atmosferă	79
4.2.1. Măsurarea radiației solare	82
4.2.2. Resurse energetice solare în zona Banatului	87
4.3. Conversia fotovoltaică a energiei solare	93
4.3.1. Efectul Dember	93
4.3.2. Efectul fotovoltaic la joncțiunea p-n. Celule solare semiconductoare	95
4.3.3. Funcționarea sistemelor fotovoltaice în condiții meteorologice reale	99
4.4. Sisteme solare de pompare a apei	106
4.4.1.Principiul defuncționare a sistemelor PV de pompare a apei	106
4.4.2.Tipuri de motoare	110
4.4.3. Pompe de apă folosite în SPVP	111
4.4.4. Răcirea panourilor solare fotovoltaice	111
4.4.5. Dimensionarea optimă a SPVP	112
4.4.6. Controlul SPVP	114
4.4.7. Aspecte economice și de mediu ale SPVP	114
4.4.8. Limitările SPVP	115
4.5. Sisteme fotovoltaice de pompare a apei cuplate direct	116
Cap.5. Cercetări experimentale asupra pompelor cuplate direct cu generatorul fotovoltaic.....	118
5.1. Estimarea producției de energie a unui sistem fotovoltaic	124
5.2. Studiul experimental al unui sistem fotovoltaic de pompare a apei cuplat direct.....	124
5.2.1. Stand experimental	125

5.2.2. Caracterizarea regimului solar radiativ	127
5.2.3. Rezultate experimentale	127
5.3. Modelarea funcționării unui sistem fotovoltaic de pompare a apei cuplat direc.....	130
5.3.1. Baza de date	131
5.3.2. Caracteristica curent tensiune a pompei	132
5.3.3 Debitul de apă	133
5.3.4. Puterea generatorului fotovoltaic	133
5.3.5. Simularea procesului de pompare	134
5.4. Calculul necesarului de panouri fotovoltaice pentru diferite culturi si suprafete	135
5.4.1.Elementele regimului de irigatie	135
5.5. Concluzii	145
6. Concluzii generale si contributi personale	146
6.1. Concluzii generale	146
6.2. Contributii personale	149
6.3 Propunerea unor noi direcții de cercetare privind folosirea energiei solare in amenajarile de imbunatatiri funciare	150
7. Bibliografie	150
8.Cuprins	160

NOTAȚII, ABREVIERI, ACRONIME

CE - Comisia Europeană
UE - Uniunea Europeană
FEDR - Fondul European de Dezvoltare Regională
FEADR - Fondul European Agricol de Dezvoltare Rurală
UAT - Unitate Administrativ Teritorială
POR - Program Operațional Regional
PV-Panou Fotovoltaic
SPVP- Sistemele fotovoltaice de pompare a apei
SSN -Medie zilnică a indicatorului de însorire
SSSN-Valoarea medie zilnică a stabilității indicatorului de însorire
NOCT- Temperatura nominală de funcționare a celulei
STC -standard de funcționare
MPP -punctul de putere maximă
PLC -circuite logic programabile
MPP- Maximum Power Point
ETR – Radiația extraterestră
TSI- Iradianța solară totală
WRDC - Organizația Mondială a Meteorologiei
PV-GIS- Instrument de cercetare pentru evaluarea resurselor solare în Europa
SODA- Server de web unic care furnizează date despre radiația solară și alte informații relevante.
SRMS -stația radiometrică de monitorizare a radiației solare
UVT-Universitatea de Vest din Timisoara
PLC- circuite logic programabile
EPT- recuperare a energiei la sistemele fotovoltaice

LISTA DE TABELE

Tabelul nr.1 Tab.1 Suprafata irigata in perioada 1990 – 2015
Tabelul nr.2 Amenajările de irigații pe care AN.I.F. R.A. – Sucursala Teritoriala Timiș-Mureș Inferior
Tabelul nr.3 Inventar stații pompare irigații – județ Timiș]
Tabelul nr.4 Inventarul stațiilor de pompare electrice în anul 2007 la ANIF Filiala de Îmbunătățiri Funciare Arad
Tabelul nr.5 Statiile de pompare din sistemele de desecare din Jud. Bihor (suprafața deservita și debitul instalat)
Tabelul nr.6 Volumele de apa pompata si energia consumata in amenajarile de irigatii
Tabelul nr.7 Volumele de apa pompata si energia consumata in amanajarile de desecare
Tabelul nr.8 Concluziile sintetice ale investigațiilor sistemele solare fotovoltaice de pompare a apei
Tabelul nr.9 Rezultatele de cercetare (avantaje) pentru motoare pe curent continuu utilizate în sisteme solare fotovoltaice de pompare a apei.
Tabelul nr.10 . Sinteza a indicatorilor statistici pentru media zilnică a iradierii solare globale zilnice
Tabelul nr.11 Media lunară a iradierii solare globale și difuze zilnice, calculată din cate măsurate în 2009 pe Platforma Solară
Tabelul nr.12 Principalele caracteristici ale pompei SHURflo 2088-403-144
Tabelul nr.13 Principalele caracteristici ale modulului PV FVG 90M
Tabelul nr.14 Diferite valori lunare ale mărimilor fizice măsurate
Tabelul nr.15 Norma de udare N (m³/ha) pentru principalele culturi agricole din raionul 60
Tabelul nr.16 Schema udărilor pentru principalele culturi agricole din raionul 60
Tabelul nr.17 Necesarul de panouri fotovoltaice (suprafata si numarul de module fotovoltaice) pentru diferite culturi si suprafete irigate prin aspersiune
Tabelul nr.18 Necesarul de panouri fotovoltaice (suprafata si numarul de module fotovoltaice) pentru diferite culturi si suprafete irigate prin picurare / rampe perforate
Tabelul nr.19 Sintetic pentru 4 tipuri de module fotovoltaice policristaline si monocristaline
Tabelul nr.20 Calculul necesarului de panouri fotovoltaice (suprafata si numarul de module fotovoltaice) pentru diferite culturi si suprafete irigate prin **aspersiune**

Tabelul nr.21 Calculul necesarului de panouri fotovoltaice (suprafata si numarul de module fotovoltaice) pentru diferite culturi si suprafete irigate : **picurare / rampe perforate**

LISTA DE FIGURI

Figura nr.1 Amplasarea amenajarilor de îmbunătățiri funciare din Romania si a celor 12 sucursale teritoriale ale ANIF Bucuresti

Figura nr.2 Hartile cuprinzind distributia zonelor cele mai afectate de secetă de pe teritoriul României

Figura nr.3 Graficul evolutiei temperaturii medii in ultimii 10.000 de ani

Figura nr.4 Amplasarea amenajarilor de irigatii din Romania si a celor 12 Sucursale teritoriale ale ANIF Bucuresti

Figura nr.5 Suprafete amenajate pentru irigații pe trepte de pompare

Figura nr.6 Amplasarea teritoriala a Centrului National si a unitatilor teritoriale de interventie pentru situatii de urgent a ANIF

Figura nr.7 Amplasarea amenajarilor de desecare - drenaj din Romania si a celor 12 Sucursale teritoriale ale ANIF Bucuresti

Figura nr.8 Amplasarea amenajarilor de combaterea eroziunii solului din Romania si a celor 12 Sucursale teritoriale ale ANIF Bucuresti

Figura nr.9 Capacitatea de generare de energie fotovoltaică la nivel mondial

Figura nr.10 Capacitatea de generare a energiei eoliene la nivel mondial

Figura nr. 11 de obținere a energiei dintr-un rezervor geotermic uscat

Figura nr. 12 Producția mondială de energie electrică geotermală, perioada 1950-2000

Figura nr.13 Exemplu de sistem energetic dispersat (Iannucci)

Figura nr.14 Schema si caracteristicile unui sistem solar OFF-Grid cu back – up din generator

Figura nr.15. Exemple de de sisteme solare fotovoltaice produse de firma Schneider electric, oferite pe piata de catre eetim Timisoara

Figura nr.16 Schema de montaj al unui sistem de pompare a apei din foraje folosind energia fotovoltaica de la panourile solare

Figura nr.17 Vedere panou fotovoltaic si retea de irigatii la o plantatie de pomi fructiferi

Figura nr.18 Vedere panou fotovoltaic si generator electric pentru asigurarea pomparii apei de irigatie la o plantatie de vita de vie

Figura nr.19 Detaliu amplasare rampe perforate pentru irigatia prin picurare

Figura nr.20 Detaliu amplasare rampe perforate pentru irigatia prin inundare

Figura nr.21 Sistem pompare adancime PS4000 31 mc/zi de la 160m (tara: Turcia): a) vedere ansamblu frontal ; b) canal irigatii

Figura nr.22 Sistem pompare suprafata PS1200 (tara: Australia)

Figura nr.23 Sistem pompare adancime PS200(tara: Emiratele Arabe)

Figura nr.24 Schema principiala functionala a unui sistem solar fotovoltaic de pomparea apei pentru irigatii

Figura nr.25 Asezarea in plan a sistemelor de pomparea apei folosind panourile fotovoltaice , utilizind pompe submersibile

Figura nr.26 Asezarea schematică a sistemului de irigare fotovoltaic

Figura nr.27 Spectrul solar extraterestru în domeniul lungimilor de undă scurte la rezoluție scăzută.

Figura nr.28 Separarea radiației solare în interacțiune cu atmosfera și solul

Figura nr.29 Coordonate pentru Soare și orientarea unei suprafețe terestre

Figura nr.30 Heligraful Campbell-Stokes

Figura nr.31 Vedere în secțiune a pyranometrului Kipp CM11

Figura nr.32 Pyranometru prevăzut cu disc de limitare a aperturii de intrare la 2π sr; b. Pyranometru umbrit cu o bandă din fibră de sticlă înregistrează radiația difuză.

Figura nr.33 Platforma Solară de la Universitatea de Vest din Timișoara.

Figura nr.34 Harata potențialului energetic în Romania

Figura nr.35 Imagine de ansamblu a Universității de Vest din Timișoara

Figura nr. 36 Media lunară a iradierii solare globale zilnice în Timișoara. Pentru aceeași locație, Timișoara, baze diferite de date furnizează valori diferite ale iradierii solare

Figura nr.37 Secțiune transversală într-un semiconductor iluminat

Figura nr.38 Joncțiunea p-n ideală.

Figura nr.39 Structura tipică a unei celule solare.

Figura nr. 40 Ilustrarea principiului de funcționare a unei celule solare
Figura nr. 41 Caracteristica tensiune – curent a unei celule solare
Figura nr.42 Caracteristica tipică tensiune – curent a unei celule solare.
Figura nr.43 Circuitul electric echivalent al unei celule solare
Figura nr.44. Schema electrică a unui modul PV
Figura nr.45 Circuitul electric echivalent al celulei solare
Figura nr.46 Schiță a unui sistem fotovoltaic de pompare a apei
Figura nr.47 Schiță a sistemului fotovoltaic de pompare a apei folosind o pompă submersibilă
Figura nr.48 Schiță a sistemului de irigare fotovoltaic din Landgridge
Figura nr.49 Schiță a sistemului fotovoltaic de pompare a apei, folosind rezervor de stocare
Figura nr.50 Schema logica de dimensionare panouri solare
Figura nr.51 Schema unui sistem de pompare a apei alimentat fotovoltaic
Figura nr.52 Iradierea solară zilnică, globală și difuză, măsurată pe Platforma Solară, în anul 2009
Figura nr.53 Eficiența modulului fotovoltaic estimată în fiecare oră din intervalul 10AM și 17PM, pe durata lunii aprilie 2011
Figura nr.54 Eficiența estimată a modulului FVG 90M PV în condițiile meteorologice specifice Timișoarei
Figura nr.55 Schema montajului experimental pentru studierea sistemului fotovoltaic de pompare a apei cuplat direct
Figura nr.56 Fotografii ale montajului experimental utilizat pentru studierea unui sistem fotovoltaic cuplat direct la o pompă de apă
Figura nr.57 Volumul cumulat de apă pompat în timpul perioadei de testare.
Figura nr.58 Iradianță solară totală măsurată pe suprafața modulului PV în funcție de timp
Figura nr.59 Circuitul electric simplificat al sistemului de pompare
Figura nr.60 Iradianță solară totală măsurată pe suprafața modulului fotovoltaic în funcție de timp
Figura nr.61 Caracteristica curent-tensiune a pompei măsurată și estimată
Figura nr.62 Debitul de apă în funcție de (a) curentul prin pompă și (b) puterea absorbită de pompă
Figura nr.63 Puterea debitată de generatorul fotovoltaic cuplat la pompă în funcție de iradianța solară totală în planul modulului fotovoltaic.
Figura nr.64 Variația în timp a debitului de apă în zilele de (a) 25 aprilie 2016 și (b) 7 mai 2016
Figura nr.65 Volumul de apă pompat estimat vs. măsurat

CAPITOLUL 1

CAPITOLU 1

INTRODUCERE ȘI PROBLEME GENERALE ALE AMENAJĂRILOR DE ÎMBUNĂTĂȚIRI FUNCJIARE (CU REFERIRE SPECIALĂ LA CELE DE IRIGAȚII)

1.1. Amenajările de Îmbunătățiri Funciare din Romania

1.1.1 Probleme generale

Îmbunătățirile funciare (Fig. 1.1) au reprezentat pentru agricultura României un adevărat scut protector, având în vedere că din cele 14,8 milioane ha teren agricol, 9,3 milioane ha teren arabil, din care potențialul irigabil este de 7,5 milioane ha după unii autori, respectiv 5,5 milioane ha după alții. Secetele de lungă durată în decursul timpului au condus la amenajarea pentru irigații a unor suprafețe de 3,1 milioane ha la irigații la nivelul anului 1989.

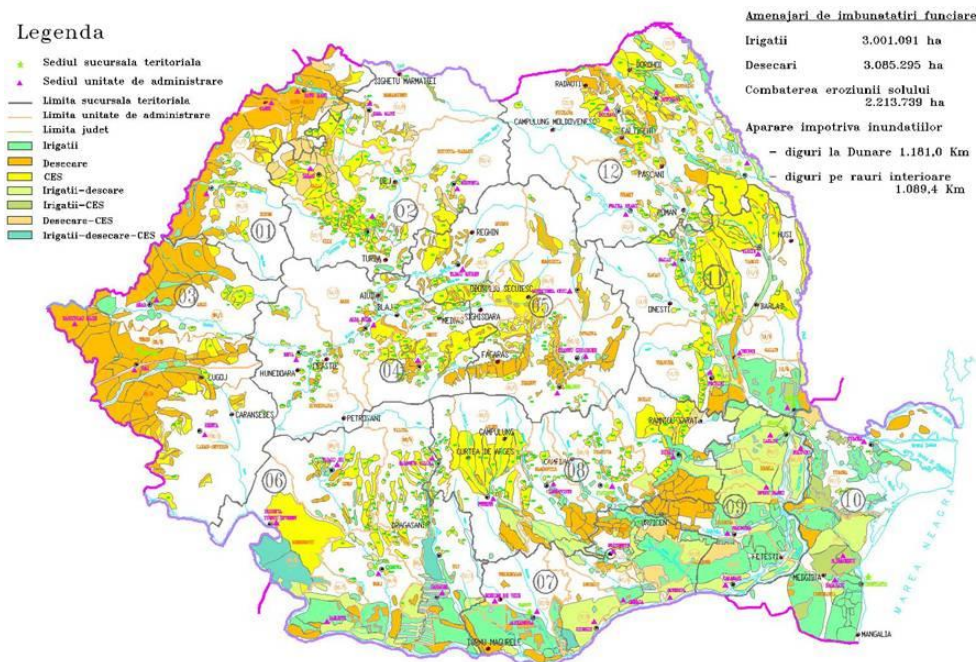


Fig. 1.1 Amplasarea amenajărilor de îmbunătățiri funciare din România și a celor 12 sucursale teritoriale ale ANIF București. [190]

Irigațiile au o importanță strategică pentru agricultura românească, fiind factor de asigurarea unor producții agricole sigure și ridicate în condițiile încălzirii globale, de combatere a procesului de depopulare și de degradare a mediului și, în același timp, de susținere și dezvoltare a zonelor rurale. Amenajările de irigații au

fost realizate în cea mai mare parte în perioada 1970-1989, dintre care unele amenajări au cuprins și terenuri situate la înălțimi mare față de sursa de apă (250 - 300 m), fiind astfel mari consumatoare de energie la pomparea apei și deci neeficiente din punct de vedere economic. Zonele cele mai secetoase din România sunt situate în Dobrogea, Câmpia Română, Podișul Moldovei, iar în ultima perioadă și în Câmpia Banatului (Fig.1.2 a și b).

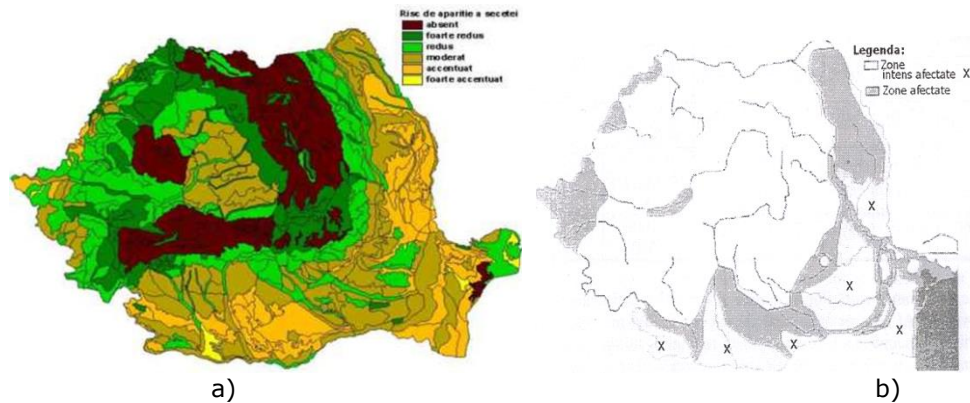


Fig. 1.2. Hărțile cuprinzând distribuția zonelor cele mai afectate de secetă de pe teritoriul României: a) Harta de risc a apariției secetei; b) după Geicu A., 2000. [93]

Graficul evoluției în ultimii 10.000 de ani a temperaturii medii este prezentat în Fig.1.3.

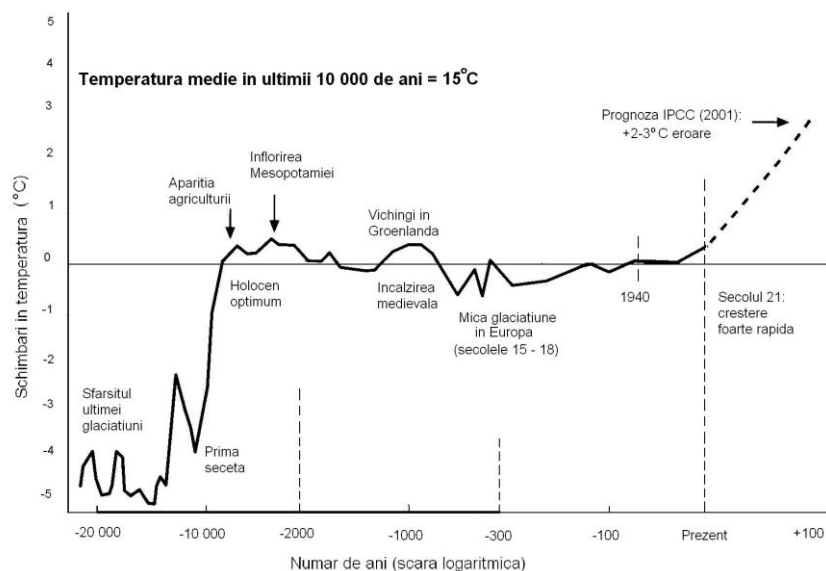


Fig. 1.3. Graficul evoluției temperaturii medii în ultimii 10.000 de ani. [193]

Inundațiile și excesul de umiditate al zonelor joase au impus îndigui și desecări pe suprafețe ce depășesc 3,1 milioane ha din cele 4 milioane ha necesare. Pe cca. 215 mii ha rețeaua de canale de desecare a fost completată și cu o rețea de drenaj închis. Parte din aceste amenajări de desecare – drenaj, în condițiile lipsei sursei de apă au început să fie folosite pentru transportul apei la unele amenajări noi de irigații pe suprafețe mai mici.

Cele 3,1 milioane ha amenate pentru irigații, respectiv 3,1 milioane hectare cu amenajări de desecare-drenaj, 2,2 milioane hectare cu amenajări de combatere a eroziunii solului și a 1180 km diguri de apărare la Dunăre și 1089,4 km la râurile interioare până în anul 1989, au asigurat agriculturii românești producții sigure și stabile indiferent de evoluția condițiilor climatice din perioada respectivă. După 1989 a început declinul acestor amenajări generate de reducerea investițiilor, fărâmițarea proprietăților în parcele mici urmare a aplicării Legii 18/1990 și al interesului proprietarilor.

Procesul de restituire a proprietăților agricole începând cu anul 1990 a condus la o fragmentare excesivă a proprietăților și exploatațiilor agricole, făcând greu de folosit amenajările mari de irigații din țara noastră. Astfel, urmare a Legii 18/1990 situația proprietății asupra terenurilor agricole au fost fărâmițate în parcele mici care îngreunează aplicarea irigațiilor.

Infrastructura ce deservea terenurile agricole (rețeaua de drumuri de acces, amenajările de îmbunătățiri funciare, etc.) concepute în cea mai mare măsură în perioada economiei centralizate nu mai sunt adaptate noilor structuri de exploatare rezultate, motiv pentru care fermierii sunt nevoiți să realizeze amenajări noi de irigații pe suprafețe mai mici să-și găsească sursa de apă și energia electrică în extravilan, unde de obicei nu există infrastructura ENEL, alternativa energiei electrice produse local cu panourile fotovoltaice fiind o alternativă fezabilă.

În procesul de restructurare și reformă o parte importantă din infrastructura existentă fie nu a mai putut fi adaptată și a fost abandonată, fie a rămas fără utilizare ca urmare a neadaptării la noile structuri și în multe situații s-a deteriorat sau a fost vandalizată, iar sistemele de irigații viabile necesită lucrări de reabilitare în vederea îmbunătățirii performanțelor și pentru reducerea costurilor de producție.

În Strategia ANIF anii 1990 – 2000 [190] se arată că, competitivitatea sectorului agricol este în mare măsură afectată de subdezvoltarea infrastructurii astfel că aceasta rămâne vulnerabilă la condițiile climatice (alternarea situațiilor de secetă cu inundațiile frecvente), cu efecte economice însemnate asupra viabilității economice a fermelor. În contextul încălzirii globale această problemă devine mult mai acută.

- amenajările au o vechime mai mare de 30 de ani, iar unele dintre acestea sunt amplasate pe terase cu înălțimi de pompare cu mult peste 70 de m, înălțimi apreciate ca fiind neeconomice pentru irigații;
- canalele de aducțiune și transport ale apei sunt neimpermeabilizate, înregistrându-se pierderi mari de apă;
- stațiile de pompare de alimentare sunt echipate cu agregate cu randamente scăzute și consumuri energetice mari;
- lipsa de interes pentru irigații din partea beneficiarilor de apă în condițiile practicării unei agriculturi de subzistență;
- Organizațiile Utilizatorilor de Apă pentru Irigații (OUAI/FOUAI) care au preluat de la SNIF/ANIF în proprietate infrastructura de irigații nu o exploatează în regim irigat;
- scăderea dramatică a suprafețelor contractate pentru irigare;

- nivelul scăzut al investițiilor pentru reabilitarea și modernizarea infrastructurii de irigații.

În aceste condiții a fost făcută o Reforma a sectorului de Îmbunătățiri Funciare din România care a fost determinată de:

- Impactul negativ al agriculturii necompetitive practică de cei 4,5 milioane de fermieri privați cărora li s-a restituit pământul la începutul anilor '90, din care 60% au mai puțin de 5 ha, asupra sectorului de îmbunătățiri funciare.
- Prăbușirea piețelor de desfacere, proprietățile cu suprafețe mici fragmentate, creșterea costului pomparei apei au redus interesul pentru irigații.
- Nevoia de gestionare mai ușoară și mai eficientă a subvențiilor de la bugetul de stat.
- Nevoia de transparentă a procesului decizional.
- Restructurarea agriculturii irigate se impune cu necesitate pentru a o face competitivă în cadrul piețelor UE.
- Nevoia de reabilitare a infrastructurii de îmbunătățiri funciare
- Nevoia de a găsi o strategie de renunțare la unele amenajări de irigații neeconomice și de încurajare a irigațiilor economice.
- Nevoia de a stabili noi standarde de calitate pentru serviciile de îmbunătățiri funciare.
- Nevoia de schimbare majoră în structura organizațională și de management pentru funcționarea eficientă a Administrației
- Deteriorarea infrastructurii de îmbunătățiri funciare datorată subfinanțării sectorului, dar și furturilor și distrugerilor. [190]

În pofida existenței unui potențial important în agricultură, oportunitățile sunt limitate. Lipsa unei infrastructuri adecvate contribuie la această limitare. Secetele, inundațiile și alte probleme legate de climă au un impact semnificativ asupra stabilității producției și a securității alimentare naționale. Astfel, în România, datorită condițiilor climatice, irigațiile reprezintă o completare absolut necesară precipitațiilor în vederea diminuării deficitului de apă din sol pentru a asigura condiții optime de dezvoltare a culturilor, reprezentând, de asemenea, o verigă tehnologică în creșterea plantelor.

Irigațiile reprezintă un input pentru producția agricolă, iar prin practicarea irigațiilor producătorul agricol își îmbunătățește competitivitatea și are siguranța unei producții ridicate și relativ stabile de la an la an.

Investițiile în infrastructura de irigație, pe lângă impactul favorabil asupra mediului (reducerea riscului la secetă, combaterea aridizării, reducerea pierderilor de apă prin infiltrații - cu consecințe negative asupra apei freactice și solului) conduc la reducerea consumului de resurse energetice și de apă.

Procesul de reformă a sectorului de îmbunătățiri funciare a inclus și măsuri de restructurare a modului de administrare și utilizare a infrastructurii existente, astfel:

- infrastructura de îmbunătățiri funciare a fost păstrată în proprietatea și administrarea statului până la un anumit nivel.
- infrastructura de irigații, constând în stații de punere sub presiune și rețeaua de conducte îngropate, a fost transferată în proprietatea utilizatorilor finali (fermierilor) organizați în structuri asociative denumite Organizații de Utilizatori de Apă pentru Irigații – OUAI și Federații de Organizații de Utilizatori de Apă pentru Irigații (FOUAI), care în ultimii ani a început reabilitarea lor folosind fondurile structurale din programul

FEDER (Masura 1.2.5 până în anul 2017 când a intrat în vigoare măsura 4.3 și, respectiv, măsura 4.1).

- infrastructura de utilitate publică (acumularile de apă, canalele de aducțiune și transport al apei, stațiile de pompare de bază și de repompare, etc.) au rămas în proprietatea statului, fiind administrate de către Administrația Națională de Îmbunătățiri Funciare.

Atribuțiile Administrației Naționale a Îmbunătățirilor Funciare:

- administrarea proprietății statului, prin care asigură exploatarea, întreținerea, repararea, paza și integritatea a amenajărilor de îmbunătățiri funciare din domeniul public și privat al statului;
- îndrumare, verificare și controlul punerii în aplicare a programelor de îmbunătățiri funciare, utilizării corecte a fondurilor alocate de la bugetul de stat și respectării reglementărilor în domeniu;
- elaborare strategie prin care se asigură definirea obiectivelor, identificarea elementelor de implementare a Programului de guvernare cu privire la sectorul de îmbunătățiri funciare, în concordanță cu cerințele tehnico-economice, sociale, condițiile naturale și posibilitățile reale de finanțare;
- reglementare prin care participă la elaborarea propunerilor legislative și a altor acte normative necesare pentru buna desfășurare a activităților de îmbunătățiri funciare;
- reprezentare prin care asigură, în numele Ministerului Agriculturii, Pădurilor și Dezvoltării Rurale, reprezentarea pe plan intern și pe plan extern în domeniul îmbunătățirilor funciare.

Administrația Națională a Îmbunătățirilor Funciare are statut de regie autonomă, este persoană juridică română de interes public național în sectorul îmbunătățirilor funciare și funcționează sub autoritatea Ministerului Agriculturii, Pădurilor și Dezvoltării Rurale, pe bază de gestiune economică și autonomie financiară. Administrația Națională a Îmbunătățirilor Funciare este principalul administrator al amenajărilor de îmbunătățiri funciare de interes național din România, înființată prin legea nr. 138 /2004.

1.1.2. Situația actuală a amenajărilor de îmbunătățiri funciare din România

Amenajările de îmbunătățiri funciare sunt lucrări de construcții complexe și pedoameliorative care au drept scop să promoveze dezvoltarea integrală și durabilă a agriculturii, precum și a zonelor rurale, din acest motiv protejarea zonelor rurale și agricole împotriva inundației devine o prioritate pentru Agenția Națională de Îmbunătățiri Funciare.

În acest scop există o serie de măsuri ce vizează activitatea de întreținere, reparare și exploatare a amenajărilor de desecare-drenaj, combaterea eroziunii solului și apărare împotriva inundațiilor, precum:

- îndigui și regularizări ale cursurilor de apă de interes local prin care se asigură, în principal, protecția terenurilor și a oricăror categorii de construcții împotriva inundațiilor, surse locale de apă și emisari pentru scurgerea apelor.
- amenajări de desecare și drenaj, care au drept scop prevenirea și înlăturarea excesului de umiditate de la suprafața terenului și din sol, în vederea asigurării condițiilor favorabile de utilizare a

terenurilor. Aceste amenajări cuprind lucrări de colectare, de transport și de evacuare în emisar a apei în exces.

- lucrări de combatere a eroziunii solului și de ameliorare a terenurilor afectate de alunecări, prin care se previn, se diminuează sau se opresc procesele de degradare a terenurilor. Aceste amenajări cuprind lucrări pentru protecția solului, regularizarea scurgerii apei pe versanți, stingerea formațiunilor torențiale, stabilizarea nisipurilor mișcătoare.
- menținerea în stare de funcționare prin efectuarea de lucrări de întreținere, reparații și exploatare a suprafeței de 3,1 milioane hectare cu amenajări de desecare-drenaj, 2,2 milioane hectare cu amenajări de combatere a eroziunii solului și a 1180 km diguri de apărare la Dunare și 1089,4 km la râurile interioare.
- refacerea capacități de transport a rețelei de canale din amenajările de desecare prin decolmatarea și distrugerea vegetației ierboase și lemnoase.
- înființarea Centrului Național de intervenții pentru situații de urgență și a centrelor teritoriale.
- sporirea exigenței și controlul calității execuției lucrărilor de întreținere și reparații în amenajările de îmbunătățiri funciare realizate cu terți prestatori.

Infrastructura amenajărilor de îmbunătățiri funciare se compune din:

- canale de transport, aducțiune și distribuție a apei de irigații 10.965 km
- rețele de conducte îngropate 31.682 km
- stații de pompare de bază, repompare și de punere:
 - sub presiune pentru irigații 3.087 buc
 - echipate cu agregate de pompare 20.336 buc
 - canale de evacuare a apei în exces principale și colectoare 56.659 km
- stații de pompare de desecare 739 buc
- baraje, praguri, căderi, traverse din beton, zidărie din piatră și gabioane, în amenajările de combatere a eroziunii solului 69,833 buc.

Pentru a diminua efectele unei inundații și chiar prevenirea unei astfel de calamități, Administrația Națională de Îmbunătățiri Funciare a avut ca obiective în activitatea de întreținere, reparare și exploatare a amenajărilor de irigații:

- creșterea suprafețelor irigate pe toată suprafața viabilă de 1.300.000 ha până în anul 2012;
- menținerea în stare de funcțiune a infrastructurii de irigații de utilitate publică prin contractarea de către OUAI (Organizațiile utilizatorilor de ape pentru irigații) a întregii suprafețe de 676.000 ha preluată în proprietate, prin încheierea cu ANIF de contracte multianuale;
- continuarea subvenționării irigațiilor pentru încurajarea exploatării amenajărilor de irigații economice;
- încurajarea și stimularea constituirii organizațiilor utilizatorilor de apă pentru irigații (OUAI) prin acordarea de către stat a unor facilități în achiziționarea echipamentelor de udare;

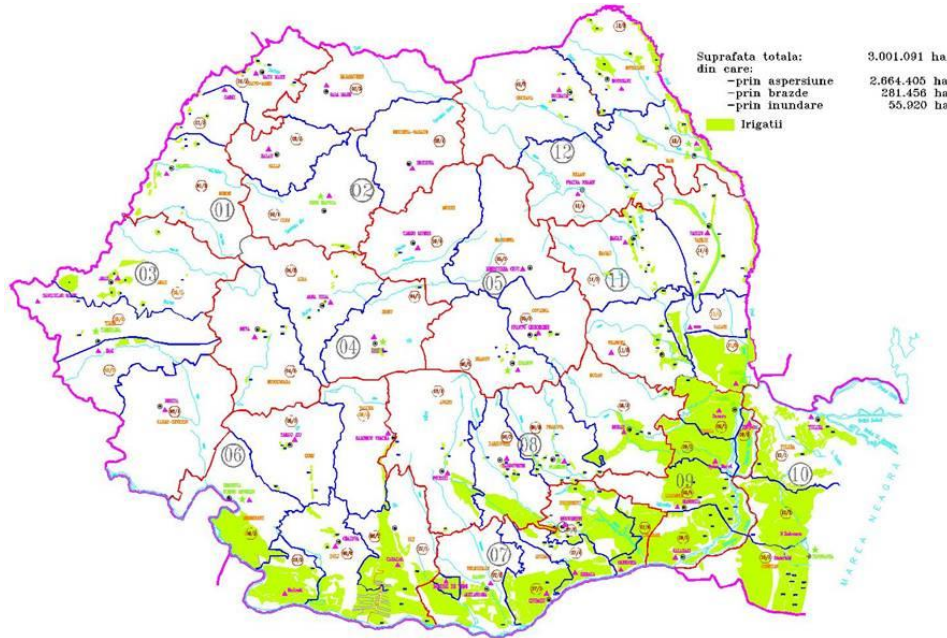


Fig. 1.4. Amplasarea amenajărilor de irigații din România și a celor 12 Sucursale teritoriale ale ANIF București. [93]

Suprafețele amenajate pentru irigații repartizate pe trepte de pompare sunt prezentate pe înălțimi de pompare necesare în graficul din Fig. 1.5.

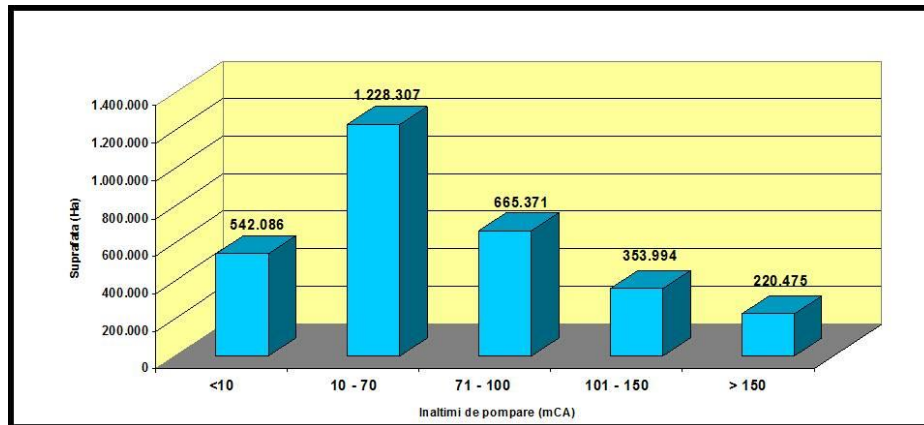


Fig. 1.5. Suprafețe amenajate pentru irigații pe trepte de pompare

În plan organizatoric, Administrația Națională de Îmbunătățiri Funciare are ca scop organizarea de activități de administrare, întreținere, reparare și exploatare în perimetre zonale coordonate de inspectori zonali, pentru sporirea eficienței acestora, creșterea responsabilizării personalului și a vitezei de intervenție în situațiile de urgență provocate de calamități, în special de inundații.

Amenajările de îmbunătățiri funciare pot prelua din surse de apă autorizate necesarul pentru irigarea culturilor agricole și alimentarea cu apă a unor localități, amenajări piscicole, incinte agricole și industriale și asigură protecția localităților și a oricăror categorii de construcții împotriva alunecărilor de teren și a inundațiilor.

Totodată, ANIF realizează administrarea amenajărilor și îmbunătățirilor funciare, compuse din:

- Lucrările din amenajările de irigații formate din prize, stații de pompare de bază, inclusiv cele reversibile, stații de pompare, canale și conducte de aducțiune și distribuție a apei de irigații până la stațiile de pompare de punere sub presiune.
- Lucrările din amenajările de irigații și din orezării formate din stații de pompare de punere sub presiune, rețele interioare de irigații formate din conducte și canale, echipamentul mobil de udare.
- Lucrările din amenajările de desecare prin pompare și gravitaționale formate din canale colectoare principale cu stațiile de pompare aferente, canale de desecare de ordin inferior, drenuri și colectoare de drenaj.
- Lucrări din amenajările pentru combaterea eroziunii solului.
- Baraje și diguri de apărare împotriva inundațiilor la Dunare și râurile interioare.
- Clădiri de producție și administrative.

Principalul obiectiv al Agenției Naționale de Îmbunătățiri Funciare este de a asigura protecția terenurilor de orice fel și a oricăror categorii de construcții față de inundații, alunecări de teren și eroziuni, precum și protecției lacurilor de acumulare aflate în patrimoniul propriu împotriva colmatării și regularizarea cursurilor de apă.

Strategia ANIF presupune reabilitarea infrastructurii de îmbunătățiri funciare, în condiții de calitate și eficiență, precum și de asigurare a unor standarde de calitate a serviciilor prin execuția unor lucrări de reabilitare în complexe patrimoniale, astfel încât să nu mai fie necesare intervenții în următorii 4-5 ani.

O realizare importantă o reprezintă înființarea, la nivel național, precum și la nivel local, a centrelor de intervenție rapidă pentru situații de urgență (Fig. 1.6.).

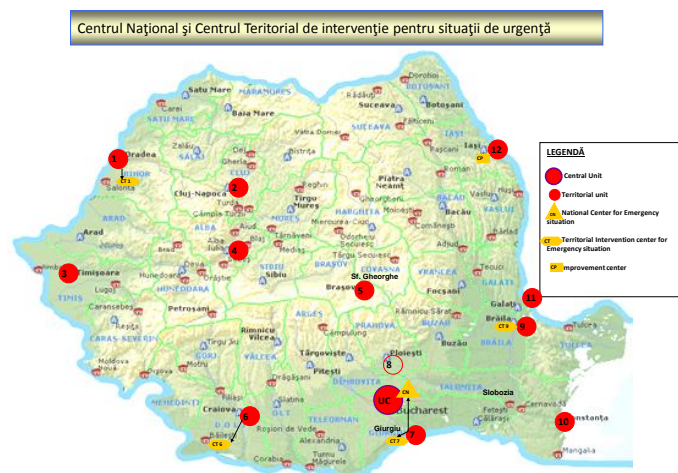


Fig. 1.6. Amplasarea teritorială a Centrului Național și a unităților teritoriale de intervenție pentru situații de urgență a ANIF. [93]

Această măsură a fost luată datorită inundațiilor și alunecărilor de teren din anii precedenți, care au afectat infrastructura de îmbunătățiri funciare. Centrul național amplasat la București, la sediul ANIF, are o capacitate de pompare de 10.000 m.c. pe oră, iar cele teritoriale, de câte 4.000 m.c. pe oră, fiind dotate corespunzător pentru a acționa rapid în combaterea dezastrelor și pentru asigurarea resurselor de apă necesare pentru irigații.

Amenajările de îmbunătățiri funciare cuprind o serie de categorii de lucrări realizate cu ajutorul resurselor materiale aflate în patrimoniul acestora:

Îndiguiți și regularizări ale cursurilor de apă de interes local prin care se asigură, în principal, protecția terenurilor și a oricăror categorii de construcții împotriva inundațiilor, surse locale de apă și emisari pentru scurgerea apelor. Suprafața apărută împotriva inundațiilor prin diguri de apărare din administrarea ANIF – 963.823 ha;

Diguri de apărare – 2.261 km, dintre care 1.181 km la fluviul Dunarea și 1.080 km la râurile interioare, care au fost trecute la ANAR;

Suprafața apărută împotriva inundațiilor prin baraje – 188.075 ha;

Baraje și acumulări pentru atenuarea viiturilor – 113 buc.

Amenajări de desecare și drenaj, care au drept scop prevenirea și înlăturarea excesului de umiditate de la suprafața terenului și din sol, în vederea asigurării condițiilor favorabile de utilizare a terenurilor. Aceste amenajări cuprind lucrări de colectare, de transport și de evacuare în emisar a apei în exces (Fig. 1.7).

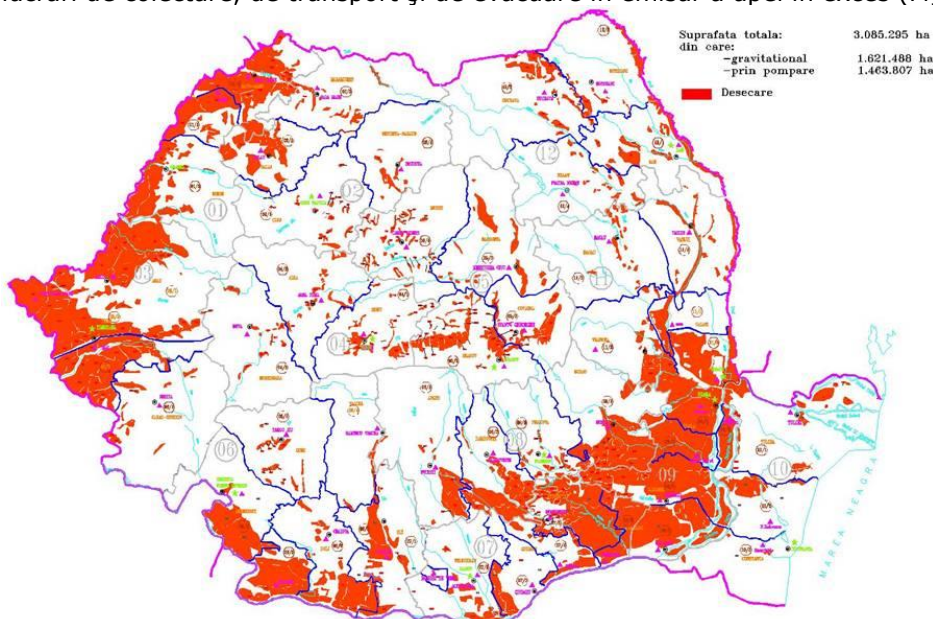


Fig. 1.7. Amplasarea amenajărilor de desecare - drenaj din România și a celor 12 Sucursale teritoriale ale ANIF București. [93]

Suprafața amenajată cu lucrări de desecare din administrarea ANIF - 3.085.245 ha;

Numar de amenajări de desecare din administrația ANIF – 443;

Sucursale ANIF care au amenajări de desecare – 12;

Metode de evacuare a apelor în exces:

- evacuarea apei prin pompare - 1.463.927 ha;

- evacuarea apei gravitațională - 1.621.318 ha.
- Construcții principale în amenajări de desecare:
- canale de evacuare – 56.565 km
 - colectoare și principale – 25.695 km
 - secundare – 27.662 km
 - stații de pompare de evacuare – 735 buc
 - poduri și podețe – 33.477 buc
 - stavilare – 976 buc
 - drenuri colectoare și absorbante – 39.645 km

Lucrări de combatere a eroziunii solului și de ameliorare a terenurilor afectate de inundații, prin care se previn, se diminuează sau se opresc procesele de degradare a terenurilor. Aceste amenajări cuprind lucrări pentru protecția solului, regularizarea scurgerii apei pe versanți, stingerea formațiunilor torențiale, stabilizarea nisipurilor mișcătoare (Fig. 1.8).

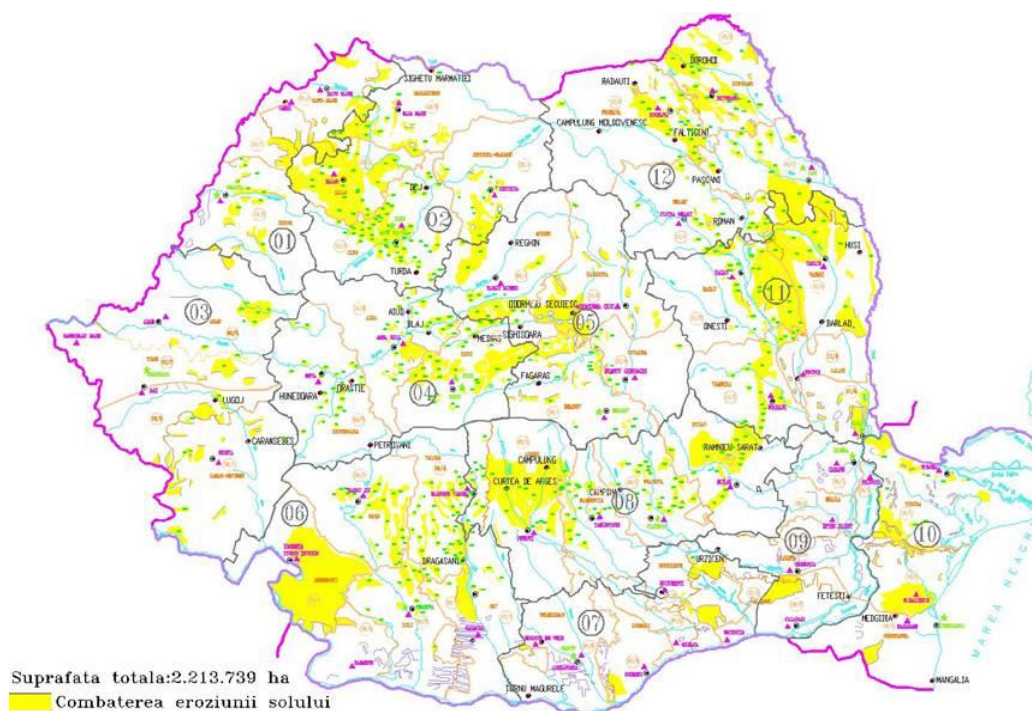


Fig. 1.8. Amplasarea amenajărilor de combaterea eroziunii solului din România și a celor 12 Sucursale teritoriale ale ANIF București. [93]

- Suprafața amenajată cu lucrări pentru combaterea eroziunii solului - 2.213.079 ha;
- Număr de amenajări de combatere a eroziunii solului din administrarea ANIF – 650 ha;
- Sucursale ANIF care au amenajări de combaterea eroziunii solului – 12 ha.

22 Introducere și probleme generale ale amenajărilor de îmbunătățiri funciare - 1

Construcții principale în amenajările de combatere a eroziunii solului:

- canale de evacuare de coastă – 13.116 km
- drumuri antierozionale 27.863 km
- amenajări ravene și torenți – 7.898 km
- baraje și praguri – 16.084 buc
- căderi – 40.922 buc
- ziduri de sprijin și traverse – 20.826 m
- plantații silvice antierozionale 23.535 ha
- drenuri colectoare și absorbante 67.927 km.

În activitatea sa, Administrația ANIF are obligația să exploateze, întrețină și să repare amenajările de îmbunătățiri funciare declarate de utilitate publică; să realizeze investiții privind reabilitarea amenajărilor de îmbunătățiri funciare existente și construcția de noi amenajări; să realizeze și să asigure funcționarea sistemului național de supraveghere, evaluare, prognoză și avertizare privind efectele economice și ecologice ale activităților de îmbunătățiri funciare;

Tabelul 1.1. Suprafața irigată în perioada 1990 – 2015 [161]

Anul	Suprafața irigată – ha			
	Total	din care OUI(AUI)	Udarea I-a	din care OUI(AUI)
0	2	3	4	5
2007	644.680,0	533.192,9	315.502,0	265.645,6
2006	156.180,4	118.310,5	96.223,5	81.982,7
2005	74.231,8	46.810,7	45.718,7	35.764,7
2004	435.574,9	177.111,7	327.349,0	124.988,2
2003	998.404,5	220.529,5	569.076,9	119.258,5
2002	754.497,7	111.995,1	488.112,0	62.882,6
2001	497.667,5		327.701,8	
2000	423.698,0		216.056,3	
1999	158.178,0		85.039,0	
1998	429.184,0		234.391,0	

Folosirea energiei solare în diferite aplicații a căpătat amploare din ce în ce mai mare, sectorul irigațiilor reprezintă una dintre cele mai potrivite utilizări a sa, tot mai mulți producători agricoli orientându-se spre această soluție, atrași de faptul că nu mai au cheltuieli ulterioare legate de energie sau combustibili, iar cantitatea maximă de apă se livrează tocmai în momentele în care este cea mai mare nevoie de ea.

În plus, pe durata sezonului rece, după întreruperea irigațiilor, energia electrică obținută de la panourile fotovoltaice poate fi folosită în continuare pentru alimentarea cu electricitate a locației care deservește ferma, sau chiar la încălzirea acesteia.

România are un potențial agricol printre cele mai mari din Europa. Dincolo de faptul că poluarea unor terenuri agricole este încă la un nivel redus având un avantaj major pentru agricultura ecologică avem, de asemenea, un potențial hidrologic ridicat. Din păcate, din cauza distrugerii vechiului sistem de irigații și în lipsa unei coerențe sau a unor soluții viabile, o bună parte din suprafața agricolă s-a deșertizat.

De asemenea, Sistemul Energetic Național (SEN) este cel care înglobează toate rețelele și stațiile electrice din țară și, chiar dacă poate părea extins, este în realitate destul de limitat, mai ales atunci când vorbim de agricultură. În aceeași măsură costurile de racordare, precum și birocrăția implicită descurajează de multe ori agricultorii să facă astfel de racorduri, privându-i de energia electrică necesară pentru a pune în funcțiune pompele pentru extragerea apei.

1.1.2.1. Situația actuală a amenajărilor de irigații din Banat (Jud. Caraș – Severin, Timiș, Arad)

Dinamica suprafețelor amenajate cu lucrări de irigații din Banat (Jud. Caraș – Severin, Timiș, Arad) până în anul 2000 este prezentată în tabelele 1.2, 1.4, 1.5.

Au o pondere mică în suprafața arabilă, însă evoluția climatică a ultimilor 40 de ani arată necesitatea tot mai stringentă a acestora și în Câmpia Banatului.

Amenajările de irigații pe care AN.I.F. R.A. – Sucursala Teritorială Timiș-Mureș Inferior le-a avut în administrare sunt în sisteme mari în suprafață totală de 9.929 ha – brut, respectiv 9.745 ha – agricol repartizate numai pe județul Timiș, astfel:

Tabelul 1.2. Amenajările de irigații pe care AN.I.F. R.A. – Sucursala Teritorială Timiș-Mureș Inferior (2008) [98, 161]

Sistemul hidrotehnic	Suprafața (ha)		din care pe sisteme hidroameliorative (SNIF Timiș anul 2004):							
	Totală	din care agricol	Periam		Cărpiniș		Timișoara		Lugoj	
			total	d.c. agricol	total	d.c. agricol	total	d.c. agricol	total	d.c. agricol
Șag - Topolovăț	8747	8614	-	-	-	-	6927	6861	1820	1753
Beregsău	542	542	-	-	542	542	-	-	-	-
Periam	640	589	640	589	-	-	-	-	-	-
Tota	9929	9745	640	589	542	542	6927	6861	1820	1753

Pe teritoriul județului Timiș mai există și amenajări locale de irigații în suprafață totală de 5.941 ha, astfel că suprafață totală cu lucrări de irigații la nivelul județului Timiș în evidență la această data este de 15.870 ha.

AN.I.F. R.A. – Sucursala Teritorială Timiș-Mureș Inferior a furnizat apă prin stațiile de pompare de irigații și prin canalele de aducțiune pentru irigații impermeabilizate cu dale de beton sau prin canalele cu rol mixt de irigații și desecare pentru suprafață totală de 11.996 ha, respectiv 11.841 ha agricol.

Potențialul irigabil al județului Timiș este mai mare, astfel că dacă analizăm suprafețele vehiculate înainte de anul 1989 corelate cu cele de astăzi rezultă ca necesar de irigat o suprafață totală de 43.526 ha, din care:

- în sisteme mari: 9.929 ha;
- în amenajări locale: 19.652 ha;
- direct din sursa: 13.945 ha.

24 Introducere și probleme generale ale amenajărilor de îmbunătățiri funciare - 1

În plus, suprafața interesată de lucrări de irigații ar mai putea fi extinsă prin completările amenajărilor de irigații din sisteme mari, proiecte existente în execuție dinainte de 1989 în sistemul de irigații Șag - Topolovăț și necontinuate, nefinalizate din lipsa surselor financiare.

În tabelul 1.3 se prezintă inventarul stațiilor de pompare pentru irigații din județul Timiș.

Tabelul 1.3. Inventar stații pompare irigații – județ Timiș [98, 161]

Sistemul hidro	Total buc	din care			Nr. agregate (buc)	Putere instalată (kw)	Debit instalat (mc/s)	Suprafața rețea canale (km)
		SPB	SPP	SRP				
Cărpiniș	2	-	2	-	6	600	0,44	0,6
Timișoara	6	-	6	-	44	6365	5,6	16,7
Lugoj	2	-	2		12	1874	1,64	6,8
Periam	3	1	1	1	20	1278	2,82	3,9
Total	13	1	11	1	82	10117	10,5	28,0

Pentru îmbunătățirea umidității solului în anumite zone din județul Timiș unde condițiile tehnice permit se pot folosi în perioadele secetoase lucrările de desecare respectiv rețeaua de canale, construcții hidrotehnice aferente și stații de pompare de desecare pentru introducerea apei pe canale de desecare și crearea unui microclimat adecvat subirigării. De această situație poate beneficia o suprafață agricolă de 50.000-100.000 ha, ceea ce presupune și anumite cheltuieli care nu sunt chiar de neglijat materializate în:

- execuția a cca 220 stăvilare pe timpanele podurilor și podețelor de pe rețeaua de canale în cauză pentru dirijarea apei și biefarea canalelor în vederea menținerii nivelului apei în canale în vederea influențării stratului freatic sau chiar și pentru folosirea echipamentelor proprii de pompare ale beneficiarilor;
- cheltuieli lunare cu energia de pompare de cca 500-700 Mwk;
- cheltuieli lunare cu salariile electromecanicilor și agenților hidro;
- valoarea apei prelevate din sursă (cca 35-50 milioane mc lunar).

Tabelul 1.4. Inventarul stațiilor de pompare electrice în anul 2007 la ANIF, Filiala de Îmbunătățiri Funciare Arad [98, 161]

Nr. crt.	Denumire sistem hidroameliorativ	Sistem	Denumire SP	Anul pun. func	Qi mc/s	Pi kw	H mca	NR. AG R	TIP POMP A	Qp mc /
A. Irigații										
1	Semlac Pereg	Pecica	Sp.Semlac	1962	6	2050	21	3	2SF-800	3600
							24	2	S-900	5400
2	Semlac Pereg	Pecica	Spp.Semlac1	1964	0.34	420	70	4	6 NDS	306
3	Semlac Pereg	Pecica	Spp.Semlac2	1976	0.95	1055	70	2	VDF200	360

Nr. crt.	Denumire sistem hidroameliorativ	Sistem	Denumire SP	Anul pun. func	Qi mc/s	Pi kw	H mca	NR. AGR	TIP POMP A	Qp mc /
								5	VDF300	540
								1	S-80X3	30
4	Semlac Pereg	Pecica	Spp.Pereg	1964	2.5	2615	72	4	14 NDS	1960
								1	8 NDS	860
								1	6 NDS	306
	Total				9.79	6140		23		
1	Fântânele Șagu	Arad	Sp.Plutitoare	1968	6.66	2600	26	4	S-900	6000
2	Fântânele Șagu	Arad	Sp.Repompare	1969	6	2000	20	3	S-900	7200
3	Fântânele Șagu	Arad	Spp.Presiune	1969	1.51	1710	69	5	12NDS	1045
							70	1	CF-125	220
4	Fântânele Șagu	Arad	Spp.Sagu 2	1969	2.4	2190	65	5	14NDS	1650
							20	1	6NDS	306
5	Fântânele Șagu	Arad	Spp.Sagu 1	1969	0.42	440	55	7	Cr-125	210
							60	1	S-80X2	30
6	Fântânele Șagu	Arad	Spp.Aradul Nou	1969	0.2	260	70	3	Cr-125	230
							60	1	S-80X3	30
7	Fântânele Șagu	Arad	Spp.Cercetare	1969	0.11	105	50	2	L-125	180
								1	S-80X2	30
	Total				17.3	9305		34		
1	Neudorf	Arad	Sp.Neudorf	1967	1.125	210	10	3	Br-250	600
								1	Br-600	2150
2	Neudorf	Arad	Spp.Neudorf	1967	0.197	300	72	3	Cr-125	220
							100	1	S-100X2	50
	Total				1.322	510		8		
1	Păuliș Matca	Arad	Sp.Paulis	1953	4	350	6	8	D-450	1800
2	Păuliș Matca	Arad	Sp.Cuvin	1964	0.5	60	20	2	Br-	900

Nr. crt.	Denumire sistem hidroameliorativ	Sistem	Denumire SP	Anul pun. func	Qi mc/s	Pi kw	H mca	NR. AGR	TIP POMP A	Qp mc /
									350	
	Total				4.5	410		10		
1	Mureșel Ier	Arad	Sp.Muresel	1974	2.7	340	8	4	Br-400	1440
				1890			6	1	D-450	3240
				1890			8	1	DT-350	720
2	Mureșel Ier	Arad	Sp.Ceala	1967	0.278	33	8	1	Br-350	1000
3	Mureșel Ier	Arad	Sp.Cearda	1967	0.194	33	8	1	Br-250	700
4	Mureșel Ier	Arad	Sp.Dumbrava	1967	0.667	100	7	1	Br-350	1000
							10	2	Br-250	700
5	Mureșel Ier	Arad	Sp.Sanpaul	1958	0.805	135	7	1	Br-350	1000
								2	Br-250	700
								1	Br-250	500
6	Mureșel Ier	Pecica	Sp.Servitute	1991	1.318	135	6	3	Br-400	1450
								1	Br-250	394
7	Mureșel Ier	Pecica	Spap-2	1994	0.3	130	28	2	6NDS	540
	Total				6.262	906		21		
1	Cermei	Misca	Spp.Cermei	1984	0.02	80	28	3	EPEG-80	72
1	Sicula	Ineu	Spp.Sicula	1984	0.02	80	28	3	EPEG-80	72
1	Buteni	Ineu	Spp.Buteni	1985	0.09	106	70	1	6NDS	306
B. Desecare										
1	Ier Arad Frontieră	Pecica	Sp.Macea	1973	0.323	80	4.4	3	Br-250	388
2	Ier Arad Frontieră	Pecica	Sp.Cutas	1970	1.167	162	6	3	Br-400	1400
3	Ier Arad Frontieră	Pecica	Sp.Dorobanti	1971	3.472	415	6	5	Br-500	2500
4	Ier Arad Frontieră	Pecica	Sp.Iratos	1971	3.889	520	6	4	Br-600	3500
5	Ier Arad Frontieră	Pecica	Sp.Hathaz	1971	1.792	170	4.4	3	Br-500	2150
6	Ier Arad	Pecica	Sp.Turnu	1971	0.77	115	6	2	Br-	140

Nr. crt.	Denumire sistem hidroameliorativ	Sistem	Denumire SP	Anul pun. func	Qi mc/s	Pi kw	H mc a	NR. AGR	TIP POMP A	Qp mc /
	Frontieră				8				400	0
7	Ier Arad Frontieră	Pecica	Sp.Pecica	1971	13.361	1315	7	2	D-750 V	7560
								4	WORT	7560
								1	Br-500	2500
8	Ier Arad Frontieră	Pecica	Sp.Infiltrații	1971	0.512	75	6.5	1	Br-400	1450
								1	Br-250	394
9	Ier Arad Frontieră	Arad	Sp.Forgacea	1971	1.333	200	7.2	4	Br-400	1200
10	Ier Arad Frontieră	Arad	Sp.Gai	1970	0.545	70	3.6	2	Br-350	980
11	Ier Arad Frontieră	Arad	Sp.Mures Mort	1971	0.303	50	5.5	1	Br-350	815
								1	Br-250	275
	Total Sistem				27.475	3172		37		
1	Crac Nădlac	Pecica	Sp.Nadlac 1	1961	2.5	185	4	4	D-450	2250
2	Crac Nădlac	Pecica	Sp.Nadlac 2	1995	7.93	1010	7	11	Br-500	2650
	Total Sistem				10.43	1195		15		
1	Pil Gyula	Cris	Sp.Pil-Derivatie	1968	0.889	110	5.5	2	Br-400	1600
2		CRIS	SP.PIL-CIOHOS	1988	2.666	380	9	4	Br-600	2400
	Total Sistem				3.555	490		6		
1	Mureș Mal Drept	Arad	Sp.Micalaca	1978	6	725	7.3	6	Br-600	3610
2	Mureș Mal Drept	Arad	Sp.Sanleani	1978	5.5	600	7.27	6	Br-600	3330
	Total Sistem				11.5	1325		12		
1	Hanios Vârșand	Cris	Sp.Vârșand	1976	4.622	876	9.4	8	DV5-35	2080
2	Hanios Vârșand	Cris	Sp.Becheni	1976	5.644	1100	10.2	4	DV5-35	1980
								2	DV2-87	6200
3	Hanios Vârșand	Misca	Sp.Iermata	1976	3	520	10.	6	DV5-	180

Nr. crt.	Denumire sistem hidroameliorativ	Sistem	Denumire SP	Anul pun. func	Qi mc/s	Pi kw	H mc a	NR. AGR	TIP POMP A	Qp mc /
			Neagra				2		35	0
4	Hanios Vârșand	Misca	Sp.Tamasda	1976	4.23 9	595	8.4	7	DV5- 35	218 0
5	Hanios Vârșand	Cris	Sp.Somos	1976	3.9	517	8	6	DV5- 47	240 0
	Total Sistem				21.4 05	3608		33		
1	Teuz	Misca	Sp.Frunzis	1974	6.75	756	7	9	FLYGT	277 0
2	Teuz	Misca	Sp.Sartis	1974	7.5	675	5.3	6	DV6- 70	490 0
3	Teuz	Cris	Sp.Rachitas	1975	6	460	4.7	4	DV6- 70	540 0
4	Teuz	Misca	Sp.Crișul Negru	1971	9.11 1	1350	9	4	DV2- 87	820 0
	Total Sistem				29.3 61	3241		23		
1	Cermei Taut	Ineu	SP.Avram Iancu	1977	0.78	130	6.8	2	Br- 350	720
								1	Br-40 0	138 0
2	Cermei Taut	Ineu	SP.Lunca Teuz	1977	0.78	130	6.8	2	Br- 350	720
					1.56	260		1	Br-40 0	138 0
	Total Sistem				0.8	140		6		
1	Cigher	Ineu	SP.Cigher 2	1974	1.53 3	260	5.5	3	Br- 500	184 0
2	Cigher	Ineu	SP.Cigher 3	1974	0.32 5	57	4.3 5	3	Br- 250	388
3	Cigher	Ineu	SP.Cigher 4	1974	0.5	70	4.9	2	Br- 350	900
4	Cigher	Cris	SP.Cigher 5	1974	1.59 2	260	7.4	3	Br- 500	191 0
	Total Sistem				3.95	647		11		
1	Budier	Cris	SP.Budier	1978	6.3	550	5.5	3	DV6- 70	480 0
								3	DV5- 47	286 0
2	Budier	Cris	SP.Socodor	1979	6	725	7.3	6	Br- 600	390 0
	Total Sistem				12.3	1275		12		
1	Chiser Pogancier	Cris	SP.Pogancier	1977	3.97 2	430	6	5	DV5- 47	286 0
2	Chiser Pogancier	Cris	SP.Domnesc	1977	4.12	605	9	5	DV5-	297

Nr. crt.	Denumire sistem hidroameliorativ	Sistem	Denumire SP	Anul pun. func	Qi mc/s	Pi kw	H mc a	NR. AGR	TIP POMP A	Qp mc /
					5				47	0
3	Chiser Poganiér	Cris	SP.Dohangia	1979	3.972	615	6	5	DV5-47	2860
4	Chiser Poganiér	Cris	SP.Zarand	1979	0.7	125	6.55	2	Br-400	1260
5	Chiser Poganiér	Cris	SP.Cintei	1979	1.8	265	7.6	3	Br-500	2400
	Total Sistem				14.569	2040		20		
1	Aranca	Pecica	SP.Satu Mare	1996	2.5	375	5.1	4	Br-500	2250
	Total Sistem				2.5	375		4		
1	Seitin Nădlac	Pecica	SP.1 Seitin	2003	1.6	189	8	4	FLYGT	1440
2	Seitin Nădlac	Pecica	SP.2 Seitin	2003	1.44	190	6.7	4	Br-400	1300
	Total Sistem				3.04	379		8		
	Total Desecare				140.89	17512		187		

Tabelul 1.5. Stațiile de pompare din sistemele de desecare din Jud. Bihor (suprafața deservită și debitul instalat) [98, 161]

Nr. Crt.	Sistemul Stația	Suprafața Deservită (Ha)	Debit Stație (Mc/S)
Amenajarea Canal Colector Mal Stâng Inand			
1	SP Roit +	1.154	0,915
2	SP Cefa +	2.572	2,1
3	SP Ciur +	842	0,86
4	SP Homorog +	603	0,815
5	SP Culișer +	500	0,635
6	SP Arpășel +	2.135	1,62
7	SP Boiu +	1.884	1,4
Amenajarea Canal Colector Mal Drept Cefa			
1	SP Ant +	42.653	28,89
2	SPR 1- Casat	1.020	1,2
3	SPR 2 - Casat	690	0,8
4	SPR 3 - Casat	340	0,54
5	SPR 4 - Casat	340	0,54
6	SP Barmod +	8.000	3
7	Sp Iraghioș +	5.503	2,92
8	Sp Corhana +	8.603	0,6
9	Sp Botean +	1.965	1,25

Amenajarea Barcău Mal Drept Sălard			
1	SP 2 Barcău	1.200	1,5
2	SP 3 Barcău	1.412	1
Amenajarea Criș Repede Aval Oradea			
1	SP Cheresig +	8.036	1,8
2	SP Santău +	4.290	2,4
Amenajarea Valea Ierului			
1	SP 1 - Diosig	851	0,103
2	SP 3 - Diosig	1.207	0,106
3	SP 6 - Ciocaia	678	0,083
4	SP 8 - Săcuieni +	1.127	0,143
5	SP 13 - Tarcea	50	0,3
6	SP 16 - Sălacea	57	0,425
7	SP 2 - Diosig	1.083	0,106
8	SP 5 - Diosig +	1.603	0,107
9	SP 7 - Ciocaia	1.127	0,143
10	SP 9 - Săcuieni	862	0,106
11	SP 10 - Săcuieni	1.143	0,117

Cele mai extinse zone irigate ale lumii, în anul 2000 se afla în India (54 800 mii ha), China (5402 mii ha), SUA (22 400 mii ha) și Pakistan (18 090 mii ha), Iran (7 500 mii ha), Mexic (7 500 mii ha).

În **Banat** (Câmpia de Vest) au fost proiectate/parțial (realizate) următoarele amenajări de irigații :

1. Amenajare de irigații cu pivoți centrali în sistemul de desecare Mureșan, localitatea Sânnicolau Mare, județul Timiș: Trupul 1 și Trupul 2 lucrări de irigații pe o suprafață de 593,23 ha; Trupul 3 lucrări de irigații pe o suprafață de 490,94 ha.

Alimentarea cu apă din canale existente reprofileate prin intermediul unor agregate de pompare. Canalele existente și cele proiectate îndeplinesc dublu rol, de desecare – irigație.

2. Amenajare de irigații în unitatea de desecare Nord Lanca Birda, localitatea Birda, județul Timiș - suprafața totală studiată este de 1650,00 ha, cu suprafață teren propusă pentru amenajarea cu lucrării de irigații de 1031,00 ha și cu o suprafață de teren pentru extinderea ulterioară a amenajării cu lucrării de irigații de 195,50 ha.

Sistemul de irigații propus a se realiza va fi alcătuit din 4 agregate termice de pompare care vor prelua apa din bazinele de acumulare și o vor refuza în conductele subterane denumite antene care pot fi în funcție de ordinul de mărime: principale și secundare, conducte de distribuție a apei. Din antene prin intermediul hidranților apa este preluată de către instalațiile de irigat și distribuită plantelor. Instalațiile de irigat utilizate vor fi: IATF (instalații de irigat prin aspersiune cu tambur și furtun), IADF (instalații de irigat prin aspersiune cu deplasare frontală) și instalații de irigat prin aspersiune cu pivot central.

3. Amenajare de irigații în sistemul de desecare Răuți – Sânmihaiul German, localitatea Cenei, județul Timiș: - Suprafața totală a terenurilor este de 872,49 ha, iar suprafața terenuri în perimetrul analizat este de 500,00 ha cu suprafața de teren pentru amenajare cu lucrări de irigații de 290,00 ha. Pentru efectuarea lucrărilor de irigație se va pompa apă din râul Bega Veche printr-o stație de pompare (SP) amplasată pe o platformă betonată în albia majoră a râului, în bazinele de stocare existente prin intermediul unei conducte de aducțiune (CA). Conducta de alimentare

(CA) se va poza îngropată sub drumurile de exploatare la o adâncime sub limita de îngheț.

4. Amenajare de irigații în sistemul de desecare Țeba – Timiș, localitatea Otelec, județul Timiș: - sursa de apă va fi cursul de apă Bega, prin intermediul unei prize de captare existentă și suplimentar printr-o stație de pompare dotată cu agregate termice de pompare și conductă de refulare. Suprafața de teren luată în studiu pentru realizarea amenajării de irigații este de 900 ha.

5. Amenajare de irigații în sistemele de desecare Rudna – Giulvăz și Țeba – Timiș, localitățile Foeni și Giulvăz, județul Timiș: - pentru realizarea proiectului de irigații s-a luat în studiu o suprafață totală de 703,88 ha cu o suprafață luată în studiu aflată în administrarea beneficiarului de 587,29 ha și suprafața interioară a celor 4 Pivoți centrali de 437,86 ha. Suprafața efectiv irigată de cei 4 Pivoți centrali de 471,60 ha. Stație de pompare din râul Timiș este amplasată la km 5+000 pe malul drept în apropiere de stația de pompare pentru desecare SP Rudna.

6. Amenajare de irigații în sistemul de desecare Țeba – Timiș, localitățile Otelec și Giulvăz, județul Timiș: - amenajarea de irigații prin aspersiune are suprafața de 800 ha din care un trup de 450 ha din care efectiv irigate 400ha în etapa 1, proprietate pe raza comunei Otelec, localitatea Iohanesfeld și un alt trup de 400 ha în etapa 2 aducțiunea apei din canalul Bega km 8, prin priza existentă pe canalul Bega, reprofilarea traseului canalelor de desecare existente în cadrul amenajării de desecare Țeba - Timiș, bazinul de acumulare al apei în suprafață de 3,1 ha, cu posibilitatea acumulării unui volum de apă de 120000 mc, respectiv rețeaua de conducte subterane pentru trupul I de 400 ha la Iohanesfeld, stația de pompare și echipamentul mobil de irigat prin aspersiune.

7. Amenajare de irigații în sistemul de desecare Răuți – Sânmihaiul German, localitatea Uivar, județul Timiș: - alimentarea amenajării locale de irigații este râul Bega, apa fiind captată prin intermediul unei prize de captare existentă propusă spre reabilitare și prin intermediul unei stații de pompare cu agregate termice mobile amplasate pe o platformă betonată. Instalațiile de irigat prin aspersiune vor fi de tipul pivot central fix – 2 bucăți, instalație cu deplasare liniară – 4 bucăți și instalație cu tambur și furtun – 3 bucăți. Suprafața totală afectată de lucrări (aproximată) este de 120.250 mp. Suprafața de teren luată în studiu pentru realizarea amenajării de irigații este de 923,84 ha.

1.1.3. Posibilitati de finanțare a lucrărilor de îmbunătățiri funciare din România

Finanțarea externă de preaderare acordată ANIF s-a realizat prin Programul SAPARD – Special Accession Programme for Agriculture and Rural Development [96].

Principalele finanțări externe post aderare sunt cuprinse în programele [96,220] :

- FEDR – Fondul European de Dezvoltare Regională.
- FEADR – Fondul European pentru Agricultură și Dezvoltare Rurală.
- FSE – Fondul Social European.

În cadrul programului FEADR – Fondul European pentru Agricultură și Dezvoltare Rurală, au existat fonduri la :

- **Măsura 2.1.** - Submăsura "Infrastructura de prevenire și protecție împotriva inundațiilor H.G. nr. 1512/2005,
- Submasura 1.2.5 a "Îmbunătățirea și dezvoltarea infrastructurii legate de dezvoltarea și adaptarea agriculturii",

- **Submăsura 4.3** (din 2015) urmând a putea folosi : - Investiții pentru dezvoltarea, modernizarea sau adaptarea infrastructurii agricole și silvice, având scopul investițiilor de restructurare a modului de administrare și utilizare a infrastructurii de acces și de adaptare a infrastructurii de acces la noua structură agricolă și forestieră, precum și folosirea eficientă a infrastructurii utilizabile, cu următoarele **obiective**:
 - Înființarea, extinderea și modernizarea infrastructurii agricole de acces către ferme;
 - Înființarea, extinderea și modernizarea căilor de acces în cadrul fondului forestier;
 - Modernizarea infrastructurii de irigații.

Beneficiarii acestei submăsuri 4.3 fiind: Sprijinul nerambursabil de 100% din totalul cheltuielilor eligibile, și nu va depăși:

- 1.000.000 Euro/proiect pentru sistemele de irigații aferente stațiilor de punere sub presiune și drumurile agricole de acces;

- 1.500.000 Euro/proiect pentru amenajarea sistemelor de irigații aferente stațiilor de pompare și repompare precum și drumurilor forestiere.

Submăsura 4.3.I - Investiții pentru dezvoltarea, modernizarea sau adaptarea infrastructurii agricole și silvice - Componenta infrastructura de IRIGAȚII pentru

restructurarea modului de administrare și utilizare a infrastructurii de acces și de adaptare a infrastructurii de acces la noua structură agricolă și forestieră, precum și folosirea eficientă a infrastructurii utilizabile.

Obiectivele submăsurii 4.3.I: Modernizarea infrastructurii de irigații;

Beneficiarii: Organizații/ federații ale utilizatorilor de apă, constituite din proprietari/utilizatori de terenuri agricole în conformitate cu legislația în vigoare. Sprijinul nerambursabil va fi de 100% din totalul cheltuielilor eligibile, și nu va depăși:

1.000.000 Euro/ proiect pentru sistemele de irigații aferente stațiilor de punere sub presiune;

1.500.000 Euro/ proiect pentru amenajarea sistemelor de irigații aferente stațiilor de pompare și repompare.

Submăsura 4.1 - Investiții în exploatații agricole - Scopul investițiilor sprijinite în cadrul acestei submăsuri este sprijinirea investițiilor pentru creșterea competitivității exploataților agricole prin dotarea cu utilaje și echipamente performante în raport cu structura agricolă actuală, precum și investițiile pentru modernizarea fermei (în special cele de dimensiuni medii și asocieri de ferme mici și medii) și îmbunătățirea calității activelor fixe.

Obiective:

Îmbunătățirea performanțelor generale ale exploatațiilor agricole prin creșterea competitivității activității agricole, a diversificării producției agricole și a calității produselor obținute;

Restructurarea exploatațiilor de dimensiuni mici și medii și transformarea acestora în exploatații comerciale;

Respectarea standardelor comunitare aplicabile tuturor tipurilor de investiții;

Creșterea valorii adăugate a produselor agricole prin procesarea produselor la nivelul fermei și comercializarea directă a acestora în vederea creării și promovării lanțurilor alimentare integrate.

Beneficiarii:

Fermierii, cu excepția persoanelor fizice neautorizate;

Cooperativele (cooperativele agricole și societățile cooperative agricole), grupuri

de producători, constituite în baza legislației naționale în vigoare care deservește interesele membrilor;

Sprrijinul nerambursabil:

În cazul fermelor având dimensiunea economică până la 500.000 SO (valoare producție standard) sprijinul public nerambursabil va fi de 50% din totalul cheltuielilor eligibile și nu va depăși:

- pentru proiectele care prevăd achiziții simple: – maximum 500.000 euro, respectiv 100.000 euro pentru fermele mici;
- pentru proiectele care prevăd construcții-montaj:– maximum 1.000.000 euro pentru sectorul vegetal, respectiv 200.000 euro pentru fermele mici din sectorul vegetal;– maximum 1.500.000 euro pentru legume în spații protejate (sere) și sectorul zootehnic, respectiv 300.000 euro pentru fermele mici din sectorul zootehnic;
- pentru proiectele care prevăd crearea de lanțuri alimentare integrate:– maximum 2.000.000 euro, respectiv 400.000 euro pentru fermele mici.

În cazul fermelor având dimensiunea economică peste 500.000 SO sprijinul public nerambursabil va fi de 30% și nu va depăși:

- pentru proiectele care prevăd achiziții simple: – maximum 500.000 euro;

pentru proiectele care prevăd construcții- montaj: – maximum 1.000.000 euro pentru sectorul vegetal, respectiv maximum 1.500.000 euro pentru legume în spații protejate (sere) și sectorul zootehnic;

- pentru proiectele care prevăd crearea de lanțuri alimentare integrate:– maximum 2.000.000 euro;

În cazul cooperativelor și a grupurilor de producători sprijinul va fi 50% fără a depăși maximum 2.000.000 euro indiferent de tipul investiției.

Pragurile de calitate lunare pentru sesiunea 2016 – 2017 sunt următoarele;

- 60 de puncte pentru perioada 15.12.2016 – 12.01.2017
- 45 de puncte pentru perioada 13.01.2017 – 12.02.2017
- 25 de puncte pentru perioada 13.02.2017 – 28.02.2017

1.1.4. Legislația Specifică lucrărilor de Îmbunătățiri Funciare din România

Legislația națională specifică lucrărilor de Îmbunătățiri Funciare cuprinde :

- Legea îmbunătățirilor funciare nr. 138/2004, republicată, modificată și completată ulterior, publicată în Monitorul Oficial nr. 88 din 13 februarie 2009.
- O.U.G. nr. 82/2011 privind unele măsuri de organizare a activității de îmbunătățiri funciare, publicată în Monitorul Oficial nr. 694 din 30 septembrie 2011.
- H.G. nr. 1223/2011 pentru aprobarea Regulamentului de organizare și funcționare a Agenției Naționale de Îmbunătățiri Funciare, publicată în MONITORUL OFICIAL nr. 904 din 20 Decembrie 2011.
- H.G. nr. 1872/2005 pentru aprobarea Normelor metodologice de aplicare a Legii îmbunătățirilor funciare nr. 138/2004, modificată și completată ulterior, publicată în Monitorul Oficial nr. 109 din 6 februarie 2006.

Legislația europeană în domeniu cuprinde:

- Regulamentul (CE) Nr. 1080/2006 al Parlamentului European și al Consiliului din 5 iulie 2006 privind Fondul European de Dezvoltare Regională și de abrogare a Regulamentului (CE) nr. 1783/1999.

- Regulamentul (CE) Nr. 1083/2006 al Consiliului din 11 iulie 2006 de stabilire a anumitor dispoziții generale privind Fondul European de Dezvoltare Regională, Fondul Social European și Fondul de coeziune și de abrogare a Regulamentului (CE) nr. 1260/1999.
- Regulamentul Comisiei (CE) Nr. 1828/2006 din decembrie 2006, stabilind regulile pentru implementarea Regulamentului Consiliului (CE) nr. 1083/2006, în care se stabilesc prevederile generale cu privire la Fondul European de Dezvoltare Regională, Fondul Social European și Fondul de Coeziune și pentru implementarea Regulamentului (CE) nr. 1080/2006 al Parlamentului European și al Consiliului pentru Fondul European de Dezvoltare Regională.
- Regulamentul Comisiei Europene (CE) nr. 885/2006 din 21 iunie 2006 de stabilire a normelor comunitare detaliate pentru aplicarea Regulamentului Consiliului nr. 1290/2005 privind acreditarea agențiilor de plăți și a altor organisme și lichidarea conturilor FEAGA și FEADR.

Conform Legii 138/2004 – Legea îmbunătățirilor funciare – cu modificările ulterioare prin HG-uri sau Ordine ministeriale, se prezintă în continuare următoarele definiții întâlnite în cadrul tezei de doctorat:

Amenajare de irigații – o rețea la scară mare de structuri, pompe, canale și conducte care poate fi folosită pentru a preleva apa din resursele autorizate de apă și a o distribui pentru irigații unuia sau mai multor sisteme de irigații și care cuprinde terenul, clădirile, echipamentul, drumurile de acces și infrastructura aferente, necesare pentru a exploata, întreține și repara amenajarea.

Sistem de irigații – o rețea hidraulică distinctă de structuri, pompe, canale, conducte care pot fi folosite pentru a preleva și/sau a transporta apa, a distribui și a aplica apa pentru irigații pe o suprafață de teren definită și care cuprinde terenul, clădirile, echipamentul fix sau mobil, drumurile de acces și infrastructura aferente, necesare pentru a exploata, a întreține și a repara sistemul.

Amenajare de îmbunătățiri funciare – o rețea de sisteme de irigații, sisteme de desecare și drenaj și lucrări de apărare împotriva inundațiilor sau de combatere a eroziunii solului, care deserveste o suprafața de teren definită și care include terenul, clădirile, echipamentul, drumurile de acces și infrastructura aferente, necesare pentru a exploata, întreține și repara amenajarea și sistemele componente.

Amenajare de îmbunătățiri funciare declarată de utilitate publică – o amenajare de îmbunătățiri funciare din domeniul public sau privat al statului, care este exploatată, întreținută și reparată de regia autonomă Administrația Națională de Îmbunătățiri Funciare (ANIF R.A.)

Activități de îmbunătățiri funciare - exploatarea, întreținerea, reparațiile, proiectarea și construirea sistemelor și amenajărilor de irigații sau desecare și drenaj, a lucrărilor de apărare împotriva inundațiilor sau combatere a eroziunii solului, precum și reabilitarea și consolidarea acestora.

Administrarea amenajărilor de îmbunătățiri funciare – totalitatea activităților desfășurate de către Administrație în vederea realizării condițiilor necesare exploatării, întreținerii și reparațiilor infrastructurii de îmbunătățiri funciare din cadrul amenajărilor de îmbunătățiri funciare declarate de utilitate publică, inclusiv asigurarea pazei și protecției infrastructurii de îmbunătățiri funciare.

1.1.5. Necesarul de apă în amenajările de irigații și desecare – drenaj global și pe un an calendaristic

Pentru amenajările de îmbunătățiri funciare existente (irigații și desecări) volumele de apă pompată și energia consumată sunt prezentate în tabelele 1.6 și 1.7.

Tabelul 1.6. Volumele de apă pompată și energia consumată în amenajările de irigații în perioada 1998 – 2007 [161]

Anii	IRIGATII	
	Vol. apă pompată (mii mc)	Energie consumată (Mwh)
1998	705.201	260.562
1999	315.702	101.691
2000	760.497	263.658
2001	903.539	398.384
2002	1.118.415	463.1
2003	1.291.416	525.765
2004	699.942	238.626
2005	96.277	21.062
2006	315.8	32.708
2007	1.300.416	199.78

Tabelul 1.7. Volumele de apă pompată și energia consumată în amenajările de desecare - drenaj perioada 1998 – 2007 [161]

Anii	DESECARE	
	Vol. apă pompată (mii mc)	Energie consumată (Mwh)
1988	1.447.697	48.805
1999	1.447.697	64.036
2000	1.527.188	48.865
2001	511.127	17.042
2002	539.363	18.562
2003	888.578	30.279
2004	857.438	29.11

2005	2.537.211	84.845
2006	2.550.857	85.176
2007	522	18.7

1.1.6. Stațiile de pompare din amenajările de Îmbunătățiri Funciare și puterea instalată – sunt prezentate mai jos:

- Sucursale ANIF care au amenajări de irigații: 12
- Construcții principale în amenajări de irigații:
 - canale de transport, aducțiuni și distribuție a apei de irigații 10.996km
 - rețele de conducte îngropate 33.550 km
 - stații de pompare plutitoare și fixe 3.862 buc
 - o stații de baza fixe și plutitoare 244 buc
 - o stații de repompare 354 buc
 - o stații de punere sub presiune 3.264 buc
 - o agregate de pompare în stații 20.336 buc
 - construcții hidrotehnice (stăvilare, podețe, sifoane, dispozitive antișoc) 4.290 buc
- Puterea instalată a stațiilor de pompare 4.134 MW

1.1.7. Programul Național de Reabilitare a Infrastructurii Principale de Irigații din România, conform Legii nr.269/2016 și aprobat prin Hotărâri de Guvern nr. 793/2016 - Valoarea investiției - 1,015 miliarde euro.

Conform acestui program se vor reabilita obiective din o suprafață de 2.006.941 ha, din 86 amenajări de irigații viabile care includ următoarele obiective:

- 110 stații de pompare de bază, 137 stații de repompare,
- 2.525 m conducte de refulare,
- 1.997.481 m canale de aducțiune,
- 2.885.073 m canale de distribuție
- 4.995 construcții hidrotehnice

Efectele scontate sunt: randamentul stațiilor de pompare crește de la 40% la 80%, iar pierderile de apă din canale scad de la 60% la 28% și se vor datora în exclusivitate evaportranspirației.

Acest program cuprinde 3 **etape**:

Etapa 1: 40 amenajări de irigații cu suprafața de 1.317.042 ha pe care s-au constituit Organizații și Federații ale Organizațiilor de Îmbunătățiri Funciare, care au accesat Măsura 125.a din cadrul PNDR 2007-2013.

Obiective ce se vor reabilita:

- 69 stații de pompare de bază,
- 87 de stații de repompare,
- 2.525 m conducte de refulare,
- 1.226.505 m canale de aducțiune,
- 1.965.488 m canale de distribuție, și
- 3.125 construcții hidrotehnice în 40 de amenajări de irigații

Etapa 2: 37 amenajări de irigații viabile cu suprafața de 490.089 ha pe care s-au constituit Organizații și Federații ale Organizațiilor de Îmbunătățiri Funciare care vor putea accesa sub-măsura 4.3 din cadrul PNDR 2014-2020.

Obiective ce se vor reabilita.

- 32 stații de pompare de bază,

- 37 stații de repompare,
- 678.389 m canale de aducțiune,
- 494.478 m canale de distribuție și
- 1.345 construcții hidrotehnice din pe care s-au constituit Organizații și Federații ale Organizațiilor de Îmbunătățiri Funciare care vor putea accesa sub-măsura 4.3 din cadrul PNDR 2014-2020

Etapa 3: 9 amenajări viabile de irigații, în suprafață de 199.810 ha pe care nu sunt constituite actualmente OUAI –uri. În cazul în care se vor constitui, acestea vor trece în etapa a II a de reabilitare.

Obiective ce se vor reabilita

- 9 stații de pompare de bază,
- 13 stații de repompare,
- 92.587 m canale de aducțiune, 425.107 m canale de distribuție și 525 construcții hidrotehnice.

1.1.8. Analiza SWOT a amenajărilor de irigații din România [281]

Din analiza SWOT efectuată asupra amenajărilor de irigații din România a rezultat următoarele aspecte:

A. Puncte tari

- Funcționarea OUAI-urilor - până la această dată au fost înființate 475 OUAI-uri, pe o suprafață de 1.085.053 ha.
- Utilizarea irigațiilor preponderent de fermele comerciale - Utilizarea irigațiilor reprezintă o etapă ce apare pe parcurs în dezvoltarea fermei și nu o etapă cu care se începe dezvoltarea fermei.
- Experiența fermierilor în irigații - dobândită în bună măsură și în perioada ulterioară anului 2000, când prin înființarea OUAI au fost determinați să administreze singuri sistemele de irigații la nivel de fermă. Acest rezultat a fost obținut cu sprijin major al subvențiilor acordate, ce au condus la formarea unui nucleu de OUAI-uri care să irige și unde să se practice o agricultură cu profituri ridicate.
- Prețul apei în amenajările viabile - Furnizorul principal de apă, ANIF, a avut în anul 2015 un tarif mediu de 155,40 lei/1000 m³ pentru OUAI-urile care au irigat, iar maximul a atins și 510 lei/1000 m³.
- Pentru comparație, în Franța prețul apei pentru irigații variază între 248 lei/1000 m³ și 1228.
- lei/1000 m³ iar în Cipru atinge valoarea de 490 lei/1000 m³.
- Din aceste informații rezultă că în România prețul apei nu este exagerat pentru amenajările aflate în zonele viabile și marginal viabile.
 - Investițiile realizate în ultimii ani - Proiectul de Reabilitare și Reformă a Sectorului de Irigații a adus în perioada 2004 – 2012 sectorului de irigații investiții în valoare de cca. 80 milioane dolari. Suportul oferit de Legea nr. 269/6.11.2015 privind aprobarea Ordonanței de urgență a Guvernului nr.4/2015 pentru modificarea Ordonanței de urgență a Guvernului nr.82/2011 privind unele măsuri de organizare a activității de îmbunătățiri funciare, referitoare la următoarele aspecte: predarea infrastructurii secundare de irigații către organizațiile utilizatorilor de apă pentru irigații precum și

crearea posibilității de revenire a infrastructurii secundare de irigații predate către organizații la ANIF, în cazul nerespectării protocolului de transfer al infrastructurii.

B. Puncte slabe

Economice:

- Structura culturilor;
- Lipsa capacității economice a fermelor;
- Proiectarea sistemelor pentru exploatații mari;
- Utilizarea redusă a amenajărilor viabile.

Tehnice:

- Infrastructura învechită și neadaptată la cerințele noi;
- Pierderile semnificative de apă pe infrastructura principală de irigații;
- Consumul de energie;
- Lipsa perdelelor de protecție;
- Neintabularea terenurilor ocupate cu amenajări de îmbunătățiri funciare.

Organizatorice:

- Colaborare dificilă OUAI - ANIF;
- Neimplicarea utilizatorilor în conducerea și monitorizarea activității OUAI;
- Lipsa cooperării între fermieri;
- Numărul redus de federații;
- Lipsa unor consilieri de teren în dezvoltarea și înființarea OUAI.

De percepție:

- Prețul ridicat al energiei – nu se confirmă. Conform datelor Eurostat privind prețul energiei la consumatorii industriali, România ocupă un loc relativ favorabil, locul 9 din 30 de state ale Europei¹, cu 20% sub media UE.
- Mentalitatea colectivă asupra sectorului - Există o percepție nostalgică asupra irigațiilor vis-à-vis de rezultatele anterioare anului 1989. Lipsesc trepte în dezvoltarea fermelor până la irigații: management, orientarea spre piață, asigurarea distribuției, rentabilizarea activității, accesul la finanțare, cunoștințe tehnologice. Acesta este unul din motivele principale ale lipsei cererii pentru acest serviciu. Rezultatele se văd: irigațiile sunt utilizate în special de fermele comerciale, fiind cele ce dispun de factorii amintiți mai sus. Investițiile în zone unde cererea de apă nu este consolidată, iar fermierilor le lipsește organizarea nu au condus la rezultatele așteptate.

C. Oportunități

- Fermierii cu loturi semincere.
- Fondurile pentru investiții existente prin PNDR permit derularea unor proiecte de investiții în infrastructura de irigații sau de achiziționare a echipamentelor de udare.

- În perioada 2007 - 2013 un număr de 134 OIF au accesat Măsura 125a din cadrul PNDR 2007- 2013, valoarea fondurilor accesate fiind de cca. 118 milioane euro.

- Consolidarea poziției OUAI prin extinderea obiectului de activitate. Organizațiile și federațiile pot deveni o platformă de continuare a reformei sectorului agricol românesc prin oportunitatea pe care o reprezintă aceste organizații în vederea structurării unui proces real de colaborare între fermieri. Prin funcționarea de aproape 10 ani se pot constitui într-o prima etapă a unui proces de introducere și consolidare a colaborării între fermieri. Perimarea ideii de asociere și cooperare nu este cauzată numai de perioada comunistă, ci într-o mai mare măsură de cea post 1990, când asocierea și cooperarea au însemnat de fapt, îmbogățirea unor lideri de „asociații” în dauna celorlalți membri și prin intermediul factorilor de producție ce aparțineau tuturor membrilor „asociațiilor”. Aceste experiențe negative au contribuit considerabil la absența acestei metode în desfășurarea activității agricole în România. Extinderea activităților pe care le pot desfășura organizațiile și federațiile utilizatorilor de apă pentru irigații ar conduce la consolidarea organizațiilor prin preluarea achiziției de input-uri pentru toți membrii și mai ales, prin asigurarea unei desfaceri comune a produselor.

D. Riscuri

- În țările dezvoltate se manifestă tendința de descurajare a irigațiilor;
- Utilizatorii nu vor sau nu își permit să contribuie la programe de investiții;
- Scăderea semnificativă a suprafeței irigate după eliminarea subvențiilor operaționale pentru irigații;
- Degradarea sau predarea infrastructurii OUAI-urilor inactive. Pe măsură ce vor deveni inactive și utilizatorii vor pierde interesul asupra irigațiilor, o parte a OUAI-urilor inactive vor acționa în două direcții:
 - vor intenționa să predea infrastructura preluată;
 - o vor lăsa să se degradeze.
 - Apariția fenomenului de insolvență a organizațiilor.

1.2. Obiectivele tezei de doctorat

Obiectivele tezei de doctorat propuse în cadrul prezentei teze de doctorat pentru realizarea unor amenajări mici (locale) de irigații prin aspersiune sau picurare, sunt următoarele:

- Realizarea unei sinteze bibliografice complexe, actuale și de perspectivă în domeniul amenajărilor de Îmbunătățiri Funciare (istoric, capacități amenajate, organizarea actuală, strategia națională, surse de finanțare, legislația specifică în domeniul îmbunătățirilor funciare necesarul de apă, amenajări locale de irigații etc.).
- Realizarea unei sinteze bibliografice în domeniul energiei solare.
- Prezentarea bazelor teoretice ale conversiei energiei solare în energie electrică.
- Evaluarea resurselor solare în regiunea de vest, în vederea utilizării energiei solare în pomparea apei pentru irigații.

- Efectuarea unor cercetări experimentale prin realizarea unui stand experimental pentru studiul eficienței pomparii apei folosind cuplajul direct fotovoltaic – pompă.
- Modelarea numerică a resurselor de energie solară.
- Modelarea cuplajului direct pompă – modul fotovoltaic.
- Graficul evoluției radiațiilor solare.
- Stabilirea cantității de energie electrică posibil de obținut prin conversie fotovoltaică
- Realizarea unei baze de date privind realizări pe plan mondial și în țara noastră de folosire a energiei solare la pomparea apei de irigații.
- Inventarierea principalor firme producătoare de panouri fotovoltaice și a unor amenajări realizate în lume.
- Trasarea unor noi direcții de cercetare privind folosirea energiei solare în amenajările de îmbunătățiri funciare.

1.3. Concluzii parțiale

1. Pentru suprafețele agricole deținute de FOUAI/OUAI în prezent există mecanisme de finanțare (măsura 4.3 și măsura 4.1) pentru reabilitarea și modernizarea amenajărilor de irigații existente pe suprafețele lor (stații de pompare, rețele de canale, rețele de conducte, lucrări de artă: stăvilare, podețe, echipament mobil de udare etc.).

2. Pentru infrastructura principală de irigații (stații de pompare de bază, stații de repompare, canale de aducțiune, noduri hidrotehnice, lucrări de artă: stăvilare, poduri și podețe etc.) pentru reabilitarea și modernizarea lor în prezent există mecanisme de finanțare cu fonduri guvernamentale.

3. Pentru beneficiarii/fermierii, cu excepția persoanelor fizice neautorizate; Cooperativele (cooperativele agricole și societățile cooperative agricole), grupuri de producători, constituite în baza legislației naționale în vigoare care deservesc interesele membrilor; în prezent se asigură un sprijin nerambursabil astfel:

- în cazul fermelor având dimensiunea economică până la 500.000 SO (valoare producție standard) sprijinul public nerambursabil va fi de 50% din totalul cheltuielilor eligibile și nu va depăși pentru proiectele care prevăd achiziții simple:

- maximum 500.000 euro, respectiv 100.000 euro pentru fermele mici;

- pentru proiectele care prevăd construcții-montaj:

-maximum 1.000.000 euro pentru sectorul vegetal, respectiv 200.000 euro pentru fermele mici din sectorul vegetal;

- maximum 1.500.000 euro pentru legume în spații protejate (sere) și sectorul zootehnic, respectiv 300.000 euro pentru fermele mici din sectorul zootehnic; pentru proiectele care prevăd crearea de lanțuri alimentare integrate:

- maximum 2.000.000 euro, respectiv 400.000 euro pentru fermele mici.

4. În aceste condiții, este oportună și necesară pentru beneficiarii/fermierii mici care au suprafețe până la 1 - 10 ha amplasate în zone fără rețea electrică să folosească posibilitățile de finanțare pentru achiziționarea echipamentelor mobile de udare (prin picurare sau prin aspersiune), iar pentru asigurarea energiei electrice pentru asigurarea pomparii apei să folosească panourile fotovoltaice.

5. Scopul principal al tezei de doctorat fiind astfel de implementare a utilizării în viitor a energiei fotovoltaice produse prin utilizarea sistemelor

fotovoltaice în vederea pomparei apei pentru irigații la amenajările mici, locale pentru plantațiile de viță de vie, alun, afine, de pomi fructiferi și la culturile agricole, în special legume cultivate în câmp sau în spații protejate (sere și solarii).

6. În acest context vor fi efectuate cercetări experimentale privind: estimarea producției de energie a unui sistem fotovoltaic, studiul experimental al unui sistem fotovoltaic de pompare a apei cuplat direct (panouri fotovoltaice, celule solare, eficiența celulelor solare, panourile solare, stabilirea cantității de energie electrică posibil de obținut prin conversie fotovoltaică, graficul evoluției radiațiilor solare, radiația solară, orientarea, unghiul de înclinare etc.).

Capitolul 2

SURSE DE ENERGII REGENERABILE

2.1. Hidroenergia

Hidroenergia este reprezentată prin energia hidraulică, energia termică a mărilor și oceanelor și energie din hidrogen.

2.1.1. Energia hidraulică

Energia hidraulică a fost prima formă pe care omul a convertit-o în alte forme de energie, inclusiv în energia electrică. Energia hidraulică a râurilor a devenit o formă convențională de energie, iar celelalte forme (ale valurilor, ale mareelor și ale curenților marini), au început să prezinte interes doar odată cu declanșarea crizei energetice în 1972, deși preocupările sunt mai vechi.

2.1.1.1. Energia hidraulică a valurilor

În anul 1920, M.Fusenot a experimentat în Marea Mediterană, în apropiere de Alger, un dispozitiv care reușea să transforme mișcarea rectilinie a valurilor în mișcare de rotație. În anul 1979, frații francezi Girard au brevetat o mașină care folosea forța valurilor. Pe parcursul anilor s-au făcut progrese tehnice și tehnologice de realizare pe scară industrială a unor instalații eficiente, îndeosebi de către firma japoneză „Mitsui Engineering and Shipbuilding Co”, astfel încât, la ora actuală, Japonia dispune de peste 500 de centrale, care asigură cu energie vasele ancorate în porturi, farurile și balizele luminoase.

2.1.1.2. Energia hidraulică a mareelor

Folosirea acestei forme de energie este limitată numai la anumite zone ale mărilor și oceanelor, unde diferența dintre flux și reflux este de minimum 8 m.

Utilizarea energiei mareelor este menționată încă din secolele IX - XIII, când pe litoralul atlantic al Europei existau mori "purtate" de maree.

Studiile în vederea construirii de centrale maremotrice la nivel industrial au început abia după al doilea război mondial. Primul succes l-a obținut Franța, în anul 1966, prin centrala de la Rance din Golful Saint Malo din Bretania, care are o putere 240 MW. Aici s-a construit un baraj cu lungimea de 750 m, iar centrala are 24 de turbine și utilizează un debit de 18.000 m³/s, la o cădere maximă de 18,2 m (Surd și colab, 1991).

A doua centrală maremotrică din lume, însumând 400 MW, a fost construită de Federația Rusă în 1976, la Kislaiia Guba, pe litoralul peninsulei Kola, unde înălțimea mareelor depășește 14 m, urmată în 1986 de centrala Lumbovka de 320 MW din aceeași zonă. Realizări în valorificarea energiei mareelor a obținut și China, în Marea Chinei de Est, unde funcționează două centrale: una la Jiangxia de 500 MW și una la Tsingang de 165 MW. Canada are instalată în zona Golfului Baya Fundy o centrală maremotrică de 20 MW, SUA au instalate 5 centrale în largul Insulelor Hawaii, iar Regatul Unit are proiecte în acest domeniu în estuarele Severn (golful Bristol), Mersey (Marea Irlandei), Duddon, Wyre (golful Morecambe) și Conwy (Țara Galilor).

Argentina intenționează construirea unor asemenea hidrocentrale în golful San Jose în NW peninsulei Valdes din Patagonia la Santa Cruz în estuarul Chico, în estuarul Rio Gallegos din Patagonia de Sud. Canada are în proiect extinderea de centrale maremotrice în zona golfului Baya Fundy la Codequib, Cumberland și Shepodi iar Mexicul are un proiect în zona golfului California. SUA au în construcției amenajări în golful Passamaquoddy (Maine) și în golful Cook Inlet în Alaska, la Knik Arm și Turnagain Arm.

2.1.1.3. Energia hidraulică a curenților marini

Gradul de cunoaștere a potențialului energetic al curenților marini este relativ scăzut, dar cercetările recente estimează o posibilă valorificare a acestora, studiul lor implicând și o colaborare informațională internațională. Problemele încă nerezolvate în acest domeniu sunt de ordin tehnic privind captarea, transformarea energiei și transportul spre consumatori.

2.1.2. Energia termică a mărilor și a oceanelor

La suprafața mărilor și a oceanelor, în zonele tropicale temperatura apei ajunge la 30-35°C, iar la adâncimea de 500 m scade la 6°C și la 1000 m la 4°C. Diferența de temperatură între suprafață și 100 m este suficientă pentru a pune în funcțiune un motor termic. Pentru aceasta, se folosesc fluide care au punctul de fierbere la temperatura apei de suprafață și condensează la temperatura apei de adâncime, precum: freonul, amoniacul, propanul etc.

Astfel, în SUA la Kennedy Space Center a fost brevetată o instalație modulară de conversie a energiei termice marine cu o capacitate de 100 MW. Iar Japonia a realizat, de asemenea, o instalație, încă din anul 1974 la Eurocean. Alte astfel de centre mai funcționează în Cuba în Golful Matanzas, în Côte d'Ivoire la Abidjan și în Israel la Ein Bokek. Obstacolul care trebuie trecut în vederea valorificării acestei surse de energie îl constituie fondurile financiare.

2.1.3. Energia din hidrogen

Cum deocamdată hidrogenul se obține numai din apă, am inclus și această resursă tot la hidroenergie.

În eco-economie se estimează că hidrogenul va fi combustibilul viitorului care va înlocui petrolul, tot așa cum petrolul a înlocuit cărbunele, după cum cărbunele a înlocuit lemnul. Totuși, deocamdată, folosirea hidrogenului ca resursă energetică prezintă încă multe probleme nerezolvate din punct de vedere economic, tehnic și tehnologic. Probleme se pun și la producerea hidrogenului, depozitarea, transportul și, bineînțeles, la utilizarea lui finală. Desigur, dacă s-ar putea capta hidrogenul din cosmos, unde se află liber în proporție de 70%, s-ar rezolva problema energiei odată pentru totdeauna. Dar, cum deocamdată, singura sursă energetică cosmică accesibilă este energia solară, rămâne să mai așteptăm, dar nu fără speranță. Folosirea hidrogenului ca sursă energetică a suscitât dispute între oamenii de știință, dispute din care au rezultat argumente pro și contra. Dintre argumentele pro menționăm:

- hidrogenul se poate obține din apă, care se găsește în cantități enorme (1 km³ de apă poate înlocui echivalentul energetic al întregii rezerve de petrol a lumii);
- prin ardere în focare sau pile a hidrogenului rezultă tot apă, care nu pune probleme ecologice deosebite, ci, mai mult, se asigură astfel închiderea circuitului apei în natură;
- puterea calorică efectivă (densitatea de căldură pe m³ de gaze arse cu aer stoechinometric) este mai mare decât a metanului (3733 kJ/m³ la metan);

- randamente ridicate în pilele de combustie (până la 70%);
- cantitatea de aer necesară arderii este mai mică (280 g aer pentru megajoul degajat) față de benzină, metan, metanol (340 g aer pentru un megajoul);
- din arderea hidrogenului nu rezultă CO₂, necontribuind astfel la efectul de seră, iar cantitatea de oxizi de azot este mai redusă decât cea rezultată prin arderea altor combustibili, aceasta datorită consumului redus de aer la ar- dere. În plus, din arderea hidrogenului nu rezultă năsele organice.[50] (S. Dunn, 2000)

Argumentele contra sunt:

- puterea calorică de 3,5 ori mai mică decât cea a metanului;
- costuri mari de transport și depozitare în stare gazoasă;
- diametre mari la conducte și utilizarea de compresoare cu putere mare, ceea ce înseamnă consum mare de energie electrică;
- volumul mare al buteliilor de transport pentru depozitare și transport în stare comprimată;
- utilaje complicate pentru păstrarea sub formă lichidă, dată fiind densitatea mică a hidrogenului (0,09 g/m³);
- fragilizarea oțelurilor din butelii și conducte, în anumite condiții de presiune și temperatură;
- pericolul mărit de explozie, date fiind limitele largi de aprindere și temperatură joasă de aprindere a hidrogenului (4500C). [51](S. Dunn, 2001)

Succesul trecerii la o economie bazată pe hidrogen se poate asigura prin includerea costurilor ecologice în cele generate de obținerea energiei din combustibilii fosili și desființarea nenumăratelor subvenții alocate acestora. La acestea se mai adaugă și rezolvarea treptată a celorlalte impedimente menționate și, bineînțeles, găsirea altor tehnologii de obținere a hidrogenului, care să nu mai necesite utilizarea combustibililor fosili poluanți (ex. energia solară, eoliană etc.).

Prima pilă de combustie cu hidrogen a fost realizată în anul 1839 de către fizicianul englez Sir William Grove. Realizarea unei celule de combustie costa mult, iar combustibilul (hidrogenul) era greu de obținut. Astfel, tehnologia celulelor de combustie a fost abandonată. Abia în a doua jumătate a secolului al XX-lea, această tehnologie a fost perfecționată în vederea furnizării energiei electrice pentru navele spațiale.

Astăzi, se realizează celulele de combustie cu hidrogen pentru a înlocui motorul cu ardere internă de la autovehicule, pentru a asigura electricitate în clădirile comerciale și de locuit și pentru alimentarea cu curent electric a unor aparate mici, precum celulele și calculatoarele. Motorul cu hidrogen ar fi ideal și ar putea fi un motor cu explozie ameliorată, cum sunt motoarele rotative cu carburant clasic, sau un motor electric alimentat cu pila de combustie cu hidrogen. Totuși, producerea hidrogenului este o mare problemă, îndeosebi economică, deoarece cheltuielile pentru obținerea hidrogenului prin electroliza apei sunt mai mari decât valoarea energetică a hidrogenului produs. În plus, energia consumată este obținută tot din combustibili fosili poluanți.

Există totuși speranțe de obținere a hidrogenului prin „fotoliza” apei introdusă de profesorul I.M. Lehn din Strasbourg și preluată de profesorul M. Graetzel din Lausanne. Prin fotoliză, hidrogenul este produs prin disocierea apei sub efectul luminii, folosindu-se o serie de produse chimice cu rol de agent catalizator. Dacă această metodă ar deveni rentabilă economic, ar revoluționa total problema carburanților și a energiei [109] (G. Niac și H. Nașcu, 1999).

2.2. Energia solară

Fluxul de radiație solară ce ajunge pe suprafața terestră are un potențial energetic ce corespunde impresionantei sume de 172 mld GW, ceea ce înseamnă de cca 20.000 ori mai mult decât consumul de energie din anul 2000.

Această sursă de energie ar putea să asigure în permanență necesarul pentru un consum în continuă creștere. Privită însă din punct de vedere practic, respectiv al volumului real ce poate fi utilizat, aceasta devine o problemă deosebit de complexă, complexitate care rezidă din 3 direcții:

- repartizarea neuniformă la nivel global și dependența de poziția geografică, inclusiv climatică;
- alternarea zilelor cu nopțile care creează discontinuități;
- densitatea slabă a fluxului energetic (cel mult 1400 W/m²), ceea ce solicită utilizarea unor suprafețe întinse de captare, și care înseamnă scoaterea din altă folosință a terenurilor, inclusiv din cele agricole, precum și costuri ridicate. Energia solară interesează sectoare ca: habitatul pentru încălzirea locuințelor, agricultura pentru încălzirea serelor și industria pentru încălzirea halelor.

Centralele helioelectrice sunt; cu captatori solari parabolici, cu jgheaburi solare și cu celule fotovoltaice (PV).

Centralele cu captatori parabolici sunt echipate cu dispozitive electronice de urmărire a mișcării aparente a Soarelui. Radiația focalizată este transformată cu ajutorul unor tuburi speciale prin care circulă apa sub formă de vapori care acționează turbinele clasice care produc curent electric.

Centralele cu jgheaburi solare au fost realizate în Israel. Sistemul de jgheaburi reflectorizante care urmăresc traiectoria Soarelui concentrează radiația solară asupra unor tuburi în care se află petrol. Prin sisteme de conversie, căldura este preluată de apa din rezervoare speciale. Capacitatea de stocare a energiei termice este de 8 ore, iar prețul energiei electrice este mult mai redus decât cel de la sistemul cu oglinzi parabolice.

Centralele cu celule fotovoltaice (PV) transformă direct energia solară în curent electric și prezintă avantajul că nu necesită întreținere permanentă dar deocamdată prețul este ridicat. Revoluția în domeniul valorificării energiei solare s-a produs în anul 1952 când trei cercetători de la Laboratoarele Bell, din Princeton New Jersey, din SUA, au descoperit că razele de soare care cad pe un material pe bază de siliciu pot produce curent electric. Practic, celulele fotovoltaice convertesc lumina solară în electricitate. Aceste celule sunt foarte scumpe și pentru realizarea lor se folosesc substanțe toxice, precum sulfura de cadmiu și arseniura de galiu, substanțe care rămân în mediu sute de ani, putându-se astfel constitui într-un poluant major.

Recent, în Germania s-a descoperit și experimentat cea mai eficientă și mai puțin poluantă combinație de substanțe folosite la celulele fotovoltaice, Cd-Te, care este de 14 ori mai productivă decât cele cunoscute până în prezent. De remarcat este faptul că România este singura țară din Europa care deține telur în Munții Metaliferi (Săcărâmb, Baia de Arieș, Fața Băii) și în Banat (Oravița).

În Franța, la Targasonne, au fost realizate centrale tip turn, alcătuite din oglinzi heliostate, aranjate astfel încât razele reflectate să fie tot timpul focalizate pe un colector central, amplasat pe turn. Centrala se numește Therminol, este dotată cu 200 de oglinzi ce totalizează 10.000 m² și are o putere de 2,5 MW. În sudul țării, la Font-Romeau Odeillo, funcționează un mic cuptor siderurgic în care se ating 3000-4000°C, iar la Montceaux, este utilizată energia solară pentru topirea substanțelor greu fuzibile. Tot în Franța, în 1980, la Montpellier, o stație de pompare a fost

activată cu ajutorul a 192 de panouri solare, debitul pompelor atingând 180 m³/h, iar curentul dezvoltat a fost de 26 kW.

Experimental, din anul 1981, în Italia funcționează la Adrano (Sicilia) o centrală solară. Alte centrale solare au mai fost construite în Spania (Almeria), Japonia (Nyo și Saizo), SUA (Harper Lake, Solare One, Barstow 10 MW și Eduards 300 MW, ultimele în California).

Multe țări (Israel, Japonia, Australia, Italia, Franța) folosesc energia solară pentru încălzirea locuințelor și a apei menajere.

Japonia este liderul mondial în producția de celule solare în domeniul locuințelor instalațiile depășeau 1000 MW în 2004, această țară având un program ca până în 2010 să producă 4600 MW din energia solară.

Folosirea celulelor solare s-a dovedit rentabilă și în domeniul spațial (majoritatea sateliților fiind dotați cu generatori solari de energie), dar și în regiunile cu insolație bună în zonele rurale din Spania, Australia, Japonia, Pakistan etc. La sfârșitul secolului trecut circa un milion de case erau alimentate cu energie produsă de instalațiile de celule solare, cele mai multe fiind în satele din lumea a treia (Kenya, Zimbabwe, India, R. Dominicană, etc.)

China este de departe liderul mondial în montarea de panouri solare (52 milioane de m²) și are un program de multiplicare de patru ori până în 2025.

Noile clădiri de birouri din Statele Unite, Germania, Spania și Elveția au încorporate în fațadele lor materiale fotoelectrice pentru generarea electricității.

Germania are un program numit „100.000 de acoperișuri” (5,4 milioane m² de panouri solare) pe care intenționează să le monteze până în 2006, realizând o putere de 700 MW din celule solare, iar Italia are un proiect numit „10.000 de acoperișuri solare”. [29](L. Brown, 2006)

Valorificarea energiei solare începută prin anii 1980, în anul 1998 a atins peste 1000 MW, iar în 2003 a depășit 4000 MW la nivel mondial

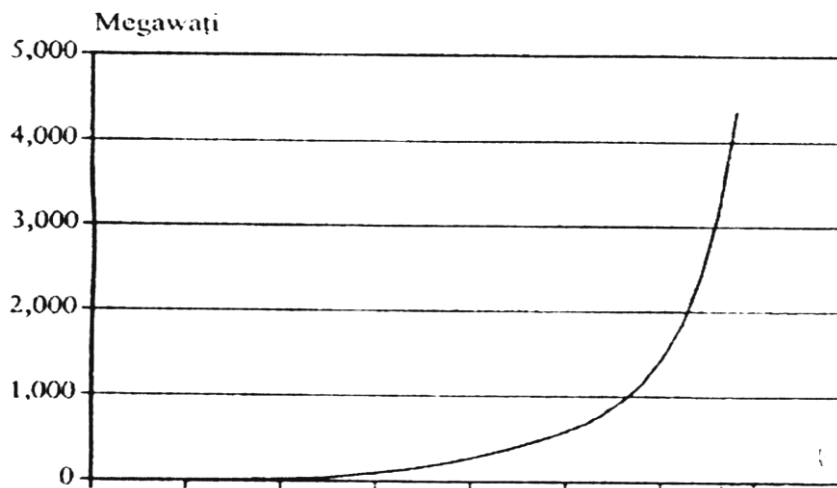


Fig. 2.1. Capacitatea de generare de energie fotovoltaică la nivel mondial, 1971-2004 (Brown, R.L. 2006)

Creșterea vânzărilor de celule solare a avut o medie de 20% din 1990 până în 2000, an în care au crescut cu peste 40%, fapt ce demonstrează preocuparea pentru valorificarea acestei forme de energie. Companii, precum Royal Dutch Shell, Pilkington Glass Anico, Siemens, Sharp, Shell Solar, Kyocera și Mitsubishi Electric au început să investească în acest domeniu, generându-se astfel o anumită competiție. Este remarcabil și faptul că prețul celulelor solare a scăzut de la 70 dolari/Watt în 1970, la mai puțin de 3,50 dolari/watt în 2001. Datorită prețului redus, în statele din Munții Anzi, celulele solare au înlocuit lumânările. [29](L. Brown, 2006)

Fondul Mondial pentru Mediu a subvenționat câteva proiecte de acest gen în Kenya, Zimbabwe, Republica Dominicană și India, astfel încât în 2003 peste un milion de locuințe foloseau curentul electric produs cu celule fotovoltaice.

În România, la Universitatea Politehnică din București există cea mai mare centrală cu panouri fotovoltaice din estul Europei, care are o putere instalată de 30,18 KW și care funcționează din anul 2006, iar la Mangalia și Giurgiu au fost implementate proiecte de utilizare a energiei solare pentru furnizarea de apă caldă menajeră prin utilizarea de colectoare solare.

Cercetarea în domeniu este în plină desfășurare și se intenționează obținerea unor tehnologii performante și eficiente și la prețuri accesibile.

2.3. Energia eoliană

Sunt patru motive pentru care energia vântului merită o atenție deosebită: se găsește din abundență, este ieftină, este nepuizabilă și este curată.

Energia eoliană este utilizată prin intermediul morilor de vânt, care au fost construite încă din evul mediu în Peninsula Iberică și în zona litorală a Mării Nordului. În secolul trecut, au fost construite primele „mori de vânt” uriașe, pentru producerea energiei electrice; eficiența lor maximă fiind de aproximativ 60%, dar media este de 35%. Generatoarele eoliene trebuie amplasate în zonele cu vânturi puternice (minim 5m/s).

Capacitatea mondială instalată a crescut rapid de la 10 MW în 1980 la 6000 MW în 1997 și la peste 40.000 MW în 2004.

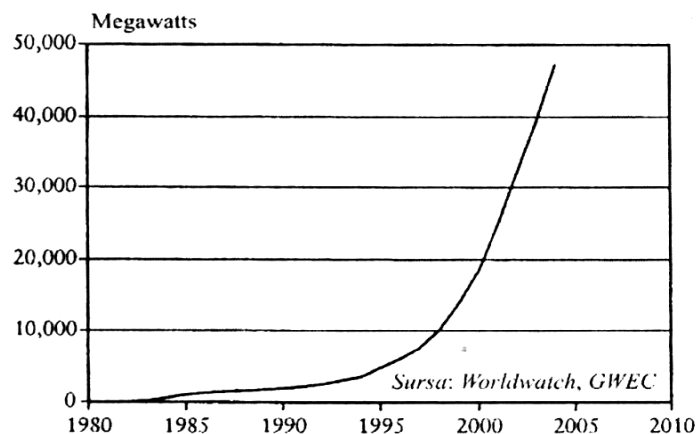


Fig. 2.2. Capacitatea de generare a energiei eoliene la nivel mondial, 1980-2004 (după L. Brown, 2006)

Specialiștii apreciază că în anul 2010, între 5-10% din nevoile energetice ale lumii vor fi satisfăcute de energia eoliană. Problema importantă este variabilitatea vântului – impunându-se stocarea energiei în perioadele de liniște; pentru aceasta se întrebuițează acumulatori care au costuri încă ridicate. Viteza vântului crește cu altitudinea, motiv pentru care elicele trebuie montate cât mai sus, avantajoasă fiind montarea lor pe litoral (datorită brizelor). Impactul ecologic al instalațiilor eoliene este minim.

Industria eoliană modernă a luat naștere în California, la începutul anilor 1980. După un debut rapid, interesul Statelor Unite privind energia eoliană a scăzut până aproape de dispariție la nivelul anilor 1990.

Astăzi, în Danemarca, 20% din energia electrică produsă este realizată de forța vântului (cel mai mare aport procentual din lume), existând regiuni cum sunt Schleswig-Holstein, din nordul țării, unde în anumite zone ponderea energiei produse de vânt a depășit 75%, cu o capacitate de generare de 16.000 MW, în 2004.

Germania, prin compania Siemens, a fost liderul mondial în anul 1997 (16.600 MW), cele mai multe turbine eoliene fiind instalate în landurile Schleswig – Holstein, Brandenburg, Sachsen și Meklenburg - Vorpomern.

În Spania, în statul industrializat Navarra, se realizează 22% din energia electrică din energie eoliană și se construiesc turbine eoliene pe toată coasta atlantică a Spaniei, îndeosebi în Galicia, dar și în Aragon și în Castilia. Producția de energie electrică a Spaniei obținută cu centrale eoelectrice este de peste 8000 MW, care reprezintă 4% din producția națională de energie electrică. În această țară s-a practicat sistemul de subvenție pentru instalațiile eoliene.

Franța, a realizat eoliene gigant la Noigent-le-Roi și la Saint Remy, producția fiecăreia fiind de peste 1000-1200 kW. Franța are ambiția de a realize 5.000 MW din energia eoliană în anul 2010, iar Argentina tinde spre cota de 3000 MW în Patagonia tot în 2010.

În ultimii ani și Statele Unite și-au reluat interesul pentru această formă de energie, astfel încât în ultimii ani au fost montate pe teritoriul SUA 13.000 de turbine. În statul Dakota de Sud este elaborat un proiect pentru realizarea a 4000 MW, proiect numit Rolling Thunder, care va alimenta cu energie electrică zona din jurul orașului Chicago, iar în California se preconizează obținerea a 8% din energia electrică prin valorificarea energiei eoliene. SUA au un program ambițios și în statele Dakota de Nord, Kansas, Texas, Wyoming, Colorado, Iowa, Minesota, Pennsylvania. La granița dintre Oregon și Washington s-a construit o centrală de 300 MW care poate alimenta 105.000 de locuințe. Unii autori susțin că, dacă în SUA ar fi exploatate toate zonele unde bate vântul, s-ar putea furniza peste 20% din necesarul de energie electrică al țării. Și Canada care are un potențial enorm și-a orientat politica energetică spre energia eoliană, în anul 2003 realizând 300 MW în provincia Alberta.

Regatul Unit are instalată cea mai mare centrală eoliană din Europa, la Carno (33 MW) și intenționează realizarea în viitorii ani a circa 2000 MW.

India, care se confruntă cu o criză de energie de durată a început să intaleze centrale eoliene din anul 1995 și produce astăzi peste 100 MW. Această țară are un program ambițios de instalare a turbinelor eoliene atât în zonele montane, cât și în zonele litorale, firma indiană Suzlon fiind una dintre cele mai performante din lume.

În România s-a montat o turbină eoliană de tip Fuhrlander, ce are o putere instalată de 250 KW în Pasul Tihuța (județul Bistrița Năsăud).

Potențial energetic eolian mai dețin: Chile, Peru, Argentina, Mexic, Federația Rusă, Italia, Elveția, Austria, Egipt, India, Arabia Saudită, Maroc, Tunisia, Croația (Dalmația) etc., țări în care s-a și început valorificarea acestei forme de energie.

Pentru fermieri și proprietari de terenuri, energia vântului este o adevărată mană cerească, întrucât este ieftină, inepuizabilă și ecologică. Centralele eoliene prezintă

dezavantajul că necesită suprafețe mari (1000 MW solicită ocuparea unei suprafețe de 80 km²), dar montarea lor pe terenuri neutilizabile pentru agricultură (vârfuri de munți și dealuri, zone litorale), este încurajatoare.

Cu energia electrică ieftină de la vânt se poate realiza electroliza apei și obținerea unui combustibil ieftin, simplu și care nu conține carbon, hidrogenul, combustibil ales pentru alimentarea noilor motoare celulare, la care lucrează companiile Daimler-Crysler, Ford, General Motors, Toyota și Honda.

Compania Toyota a realizat în premieră motoare cu ardere hibridă, benzină și electricitate produsă de turbine eoliene cu design avansat, compania Honda a realizat versiunea hibridă Honda-Civic, iar compania Ford a realizat modelul hibrid Espace SUV.

2.4. Energia geotermală

Energia geotermală este generată de descompunerea radioactivă a unor elemente subcrustale și poate fi utilizată atât în centrale geotermoelectrice cât și pentru încălzit.

Băile calde sau fierbinți au fost folosite de mii de ani, cei mai experimentați în acest domeniu s-au dovedit a fi românii, prin celebrele terme. Astăzi, energia geotermală are diverse folosințe, de la producerea de energie electrică până la încălzirea locuințelor, a spațiilor publice, comerciale și turistice.

O schiță a tehnologiei de exploatare, prin termocentrale electrice, a căldurii geotermice interne a Pământului se regăsește mai jos.

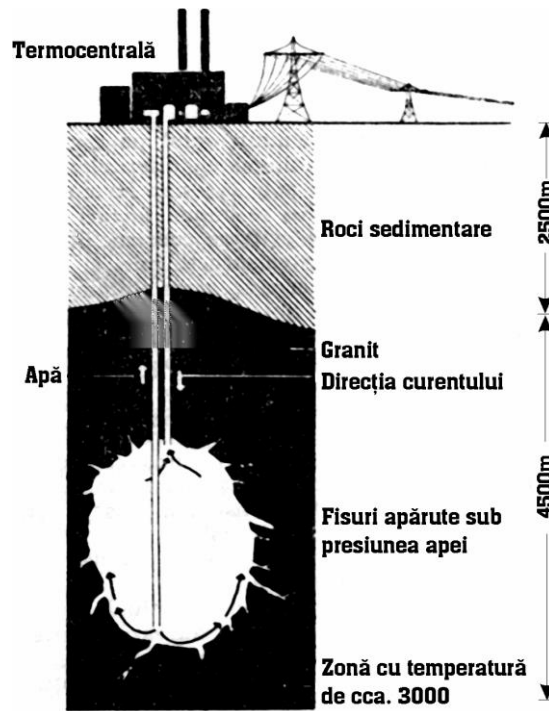


Fig. 2.3. Sistem de obținere a energiei dintr-un rezervor geotermic uscat (după Ahlheim, C. și colab 1975). [3]

Tehnologia utilizată pentru centralele geoelectrice depinde de caracteristile resursei geotermice.

Centralele convenționale utilizează vapori cu temperaturi mari, de cel puțin 175° C, care acționează turbine clasice, după care există două posibilități, degajarea în atmosferă sau trecerea printr-o unitate de condensare. În prima variantă consumul de vapori este dublu, dar prețul instalațiilor este mai redus și durata de construcție mai mică. Astfel de centrale se folosesc pentru stații pilot și pentru valorificarea unor foraje izolate, sau când vaporii au un conținut de gaze necondensabile. Cu aceste centrale se produc 55-60 MW, dar în ultimii ani au fost realizate și capacități de 110 MW.

Centralele binare utilizează resurse geotermale cu potențial termodinamic mediu sau chiar mic. Ele folosesc un fluid colportor, cum este pentanul, care are un punct de fierbere scăzut și care preia energia geotermică prin intermediul unui schimbător de căldură. Vaporii rezultați acționează o turbină după care trec prin unitatea de condensare și se reia ciclul inițial. Asemenea centrale sunt de talie mică de la sute de KW până la câțiva MW și valorifică sistemele geotermale cu temperaturi mai mici de 170° C.

Una din problemele puse de valorificarea energie geotermice este cea a depozitării apelor reziduale cu temperaturi ridicate și conținut de SO₂, amoniac + săruri, care sunt deversate în mare, sau sunt injectate în adânc.

O altă problemă este că, această resursă este repede epuizabilă. Extragerea apelor fierbinți duce la scăderea pânzei freatice, iar reîncărcarea din apele de suprafață este un proces lent. După aproximativ 100 de ani de exploatare apele se răcesc și trebuie săpate alte puțuri. Costurile tehnologice la astfel de instalații sunt mai reduse ca de altfel, și cele de întreținere.

Dinamica producției mondiale de energie electrică geotermală se regăsește în figura de mai jos.

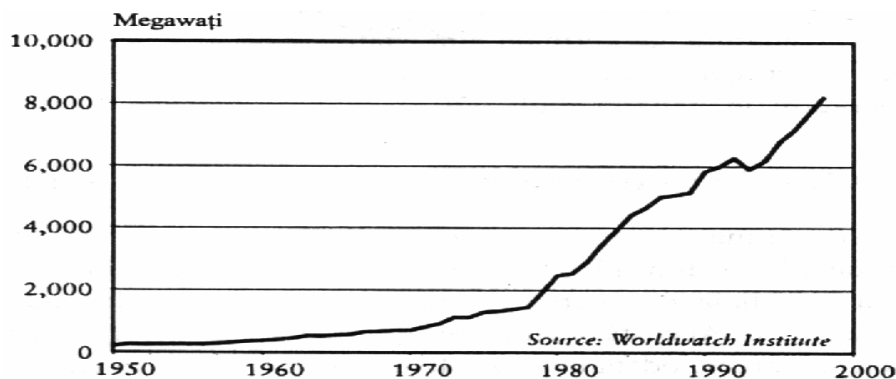


Fig. 2.4. Producția mondială de energie electrică geotermală, perioada 1950-2000. [28]

Prima instalație de exploatare a energiei geotermale a fost cea de la Larderello - Italia (380 MW), din 1904; urmată în 1960 de sistemul Geysers (N de San Francisco - 835 MW) din SUA. Mai există uzine geotermice în Noua Zeelandă (Wairakei - 290MW), Japonia (Matsukawa), Mexic (Cerro Prieto), Hawaii, Filipine, Islanda și Federația Rusă (în Kamchatka).

În primele șapte decenii ale secolului al XX-lea creșterea capacității electrice geotermale a fost modestă, atingând doar 1100 MW în 1973. După

declanșarea crizei energetice, utilizarea energiei geotermale a început să crească, atingând la sfârșitul secolului trecut aproape 8500 MW. Astăzi, puterea totală a centralelor geotermice depășește 10.000 MW.

În 2004 energia geotermică utilizată în întreaga lume în vederea încălzirii a fost apreciată la echivalentul a 12.000 MW.

Lider mondial în acest domeniu sunt S.U.A, care au o capacitate instalată de peste 2800 MW și care au lansat un vast program de valorificare a energiei geotermale din statele vestice, prin care se intenționează producerea a cel puțin 10% din energia necesară a acestor state până în anul 2020 [28](Brown, L.R., 2001). De altfel SUA dețin resurse geotermale de circa 20.000 MW, iar cele posibile sunt de 5 ori mai mari. La Reno (Nevada) și la Klamath Falls (Oregon) locuințele individuale sunt încălzite direct cu apă geotermală, iar apele reziduale tratate de la Santa Rosa sunt transportate către The Geysers (60 km), pentru a fi reinjectate în subteran și a reface volumul rezervorului geotermal.

Alte țări care realizează energie electrică din energia geotermală în pondere semnificativă din totalul producției de energie electrică mai sunt: Filipine, Mexic, Indonezia și Italia.

Filipine, este al doilea producător mondial de energie electrică pe baza resurselor geotermale (după SUA) principalele câmpuri geotermale din această țară sunt Mak-Ban (70 km sud de Manila), Tiwi (în sudul insulei Luzon unde este montată cea mai mare centrală din țară, Tangonan I, II, III (în insula Leyte), Palinpinon I, II în insula Negros, Bac-Man I, II în peninsula Bicol (insula Luzon) și Mindanao I, II în munții Apo (provincia Cotabatao). În această țară centralele geotermale vor produce peste 500 MW, până în anul 2008.

Mexicul, dispune de 3 sisteme geotermale productive: Cerro Prieto cu 9 unități operaționale care produc 800 MW; Los Azufres cu 8 unități de 5 MW fiecare și una de 50 MW și Los Humeros cu 5 unități de 6 MW fiecare. Câmpul geotermal La Primavera (lângă Guadalajara) are o capacitate de instalare de 75 KW.

Indonezia, are 6 câmpuri geotermale mari prin care asigură 5% din energia electrică a țării. În insula Jawa, temperaturile sunt de peste 240°C, aici fiind construite centralele Komojang (140 MW), Salak (330 MW), Darajat (55 MW), și Dieng (60 MW). În insula Sumatra s-a construit centrala Sybaiak, iar în insula Sulawesi centrala Hendong. Rezervele geotermale ale Indoneziei sunt de 20.000 MW iar cele economice de 10.000 MW.

În Italia câmpul geotermic Larderello are o suprafață de 250 km², aici fiind instalate 27 de unități care produc 550 MW. Tot în Toscana se mai găsesc și ariile geotermale Travale-Radicondoli (50 km² cu 5 unități care produc 90 MW). Și Monte-Amiata cu 5 unități care produc 100 MW. În Munții Volsimi, din Lațium, este un câmp geotermal cu temperaturi de 190-240°C, capacitatea de producție fiind de 40 MW.

În Hawaii cea mai mare parte a energiei electrice folosite în industria hotelieră este obținută din centrale geotermale. În Franța sunt exploatate pentru încălzirea locuințelor, geotermalele de la Nogaro care au temperatura de 490C și cele de la Bordeaux, iar în perspectivă și cele din Bazinul Parizian. Franța a construit 70 de centrale geotermale prin care asigură încălzirea și apa caldă pentru aproximativ 200.000 de locuințe. În Japonia apa geotermală fierbinte este folosită pentru încălzirea a 15.600 de hoteluri, 5.500 de băi publice, și 2.800 de unități de tratament. Ungaria încălzește 1.200 de piscine iar Islanda 100 de piscine publice și 93% din locuințe (L. Brown 2005). În România energia apei geotermale este utilizată pentru furnizarea apei calde menajere și pentru încălzirea locuințelor în unele cartiere din Oradea, Beiuș și Satu Mare.

2.5. Energia din biomasă

Conversia biologică a radiației solare, prin fotosinteză, furnizează anual, sub formă de biomasă, o rezervă de energie evaluată la 3×10^{21} j/an.

Actualmente, biomasă furnizează 6-13% din nevoile mondiale de energie, ceea ce înseamnă echivalentul a cca. 8,5 mil. barili de petrol pe zi.

Principalii biocombustibili sunt etanolul și biomotorina, ca și combustibili lichizi, și biogazul. Etanolul se obține din trestie de zahăr, porumb, grâu, orz, sfeclă de zahăr, iarbă de preerie și plop, iar biomotorina se produce din rapiță, din soia și din uleiul de palmier.

Realizări deosebite în producerea și utilizarea biocombustibililor lichizi au: Brazilia, SUA, Europa Vestică, Canada, India, China, Columbia, Mexic etc.

Brazilia, utilizează trestie de zahăr ca materie primă și producea în 2004 circa 4 miliarde de galoane de etanol prin care și asigură 40% din necesarul de combustibil auto. În statul Sao Paulo aproape toate autovehiculele utilizează etanol, iar la Cacoes din statul Bahia funcționează o centrală electrică pe biomasă, de 55 kW și care are ca subprodus îngrășămintă.

SUA, folosesc ca materie primă porumbul și au realizat în 2004 o producție de peste 3,4 miliarde galoane de etanol, dar care reprezintă doar 2% din consumul de combustibil auto.

În Europa Vestică se remarcă Franța, Regatul Unit și Spania care produc etanol din trestie de zahăr, sfeclă de zahăr, grâu și orz.

Canada, produce etanol din iarbă de preerie și din hibridi de plop, prin utilizarea unor enzime pentru descompunerea celulozei.

În producerea de biomotorină din rapiță se remarcă Germania, care în 2004 a realizat 326 milioane de galoane, pe care o folosește la motoarele Diesel. Tot din rapiță produce biomotorină și Franța (150 milioane de galoane în 2004), iar SUA a realizat 280 milioane galoane de biomotorină din soia în același an. Țări, precum Malaezia, Indonezia și Brazilia obțin biomotorina din ulei de palmier [29] (L. Brown, 2006).

Producerea de biocombustibili lichizi va intra în curând în competiție cu domeniul alimentar și va exercita presiuni asupra pădurilor și a plantațiilor, constituindu-se într-o amenințare la adresa biodiversității.

Realizări deosebite în domeniu aparțin SUA, care au și un program de obținere a biomasei prin silvicultură intensivă, orientată pentru producerea de specii de arbori cu frunze căzătoare și cu creștere rapidă, inclusiv a speciilor care fixează azotul sub formă de amoniac.

Biogazul reprezintă sursa de energie folosită și în regiunile rurale din țările în curs de dezvoltare, unde locuiește 1/2 din populația Globului. La acestea se adaugă și teritorii din țările medii și puternic dezvoltate. Combustibilul gazos cel mai frecvent este obținut din conversia deșeurilor (gunoi de gospodărie, paie și frunze, alte resturi și substanțe organice) care sunt supuse unui proces de fermentație în mediu anaerob. Amestecul gazos conține 65-70% metan, 25-30% dioxid de carbon, 5% azot, hidrogen sulfurat etc.

În Filipine, un hectar cultivat cu „Ceucaena” produce anual o biomasă lemnoasă echivalentă energetic cu 25 barili de petrol, la un preț de 4 ori mai mic și care este utilizată în obținerea de biogaz.

În China, încă din 1970, în multe dintre zonele rurale se utilizează biogazul în uzul casnic și gospodăresc, numărul total al stațiilor de biogaz depășind 7 milioane, iar centralele electrice pe biogaz înregistrează peste 10.000 kW.

În Africa, biogazul este utilizat încă din 1954 în Kenya la Fort Ternan, iar astăzi este utilizat și în alte state ca: Tanzania, Camerun, Senegal, Zair, Rwanda, Zambia, Burkina Faso etc.

În România, prin proiectul Rumeș 2000 s-au construit sisteme de încălzire centralizată pe bază de rumeguș în 4 orașe (Vatra Dornei, Gheorghieni, Vlăhița și Întorsura Buzăului). În ultimii ani și la noi se cultivă tot mai mult rapiță pentru producerea de biomotorină..

În domeniul energiei electrice, cercetările recente au demonstrat viabilitatea și eficiența generatoarelor la scară mică, inclusiv a celor cu energie neconvențională, care sunt mai apropiate ca putere și ca distanță de consumatori.

Inovațiile din electronică, cele ale tehnologiei informaționale, dar și soluționarea stocării energiei permit constituirea unor sisteme energetice dispersate, bazate pe surse neconvenționale, precum cele de mai jos.

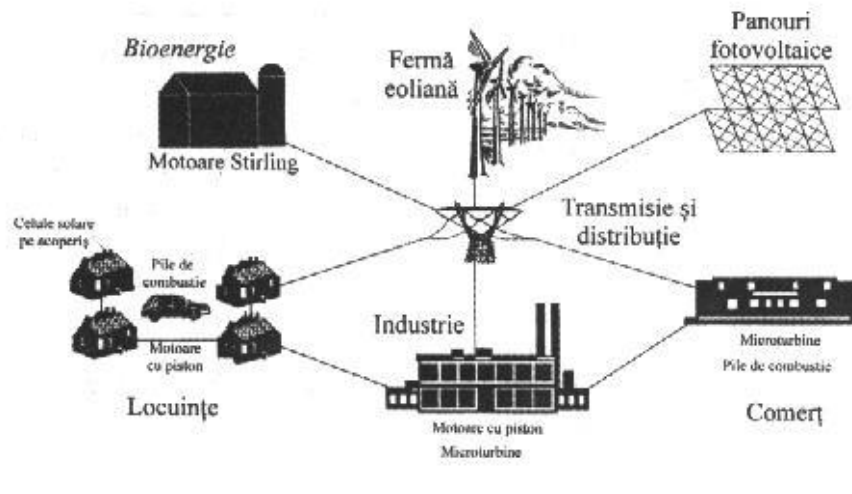


Fig. 2.5. Exemplu de sistem energetic dispersat (Iannucci). [76]

Costurile ridicate, specificul aleator și intermitent al unora dintre aceste surse de energie, fac ca unele să fie o alternativă de viitor îndepărtat, sau, altfel spus, pentru atunci când nu mai există alternativă, iar tehnologiile de valorificare vor fi mult mai avansate față de cele actuale și, bineînțeles, mai ieftine. Cu toate acestea, perspectiva valorificării altor forme de energie (energii neconvenționale) este foarte apropiată, ele fiind de altfel și speranța de energie a omenirii [214, 228].

CAPITOLUL 3 REALIZĂRI PE PLAN MONDIAL (FIRME PRODUCĂTOARE, PANOURI FOTOVOLTAICE - CARACTERISTICI, ACUMULATOARE, POMPE DE APĂ, AMENAJĂRI IRIGAȚII ETC.). EXEMPLE

3.1. Firme producătoare panouri fotovoltaice – caracteristici

În 2010, ponderea companiilor chineze și taiwaneze în Top 10 al principalilor producători mondiali de celule fotovoltaice este impresionantă, potrivit Barometrului fotovoltaic 2010 al Observatorului Energiilor Regenerabile (Observ Er), singurul producător european din clasament fiind o firmă germană.

Numarul 1 în Top 10 este Suntech Power, o companie chineză care se situa, în 2009, pe locul al 2-lea, capacitatea sa de producție dublându-se de la un an la altul, scrie cotidianul „La Tribune”.

Suntech Power este urmată de JA Solar, un alt producător chinez de panouri solare, care a urcat vertiginos în Top, în 2009 aflându-se pe locul 6.

Cea de-a treia poziție o ocupă, în sfârșit, o firmă americană, și anume First Solar. Lider al clasamentului până în 2009, fabricantul american de module solare rămâne totuși cel mai rentabil din lume, cu o cifră de afaceri de 1,76 milioane de euro.

Locurile 5 și 6 sunt ocupate de 2 societăți chineze, iar pe poziția a 6-a se clasează, în sfârșit, și un grup european, și anume firma germană Q-Cells, care și-a dublat producția între 2009 și 2010.

Cea de-a 7-a poziție în Top este ocupată de prima societate taiwaneză, Motech Industries, urmată de japonezii de la Sharp.

Societățile Grintech, Taiwan și Kyocera, Japonia, încheie clasamentul primilor 10 producători de panouri fotovoltaice din lume.

Producători de echipamente instalații fotovoltaice:

1. World Key Energy – producător de module fotovoltaice, oferă experiență de marketing și experiență comercială în vânzarea modulelor și a soluțiilor complete de alimentare cu energie produsă de panouri fotovoltaice. www.worldkeyenergy.com.

2. Games Electric – producător de invertoare, adresa firma în România: 169A Calea Floreasca, clădirea A, etaj 4, sector 1, București, tel. 03182124, fax 0318602100, www.gamesaelectric.com.

3. HIS- producător de cabluri, conectori, cutii de conexiune, oferă servicii de consultanță, proiectare, planificare, monitorizare. www.his-solar.com.

4. Haticon – producător de sisteme de fixare pentru panouri fotovoltaice. www.haticon.com.

5. CSUN- producător de panouri fotovoltaice. www.chinasunenergy.com.

6. AEGP POWER SOLUTIONS – producător de invertoare. www.aegps.com.

7. TECH INTER – producător de posturi de transformare și celule de medie tensiune. www.techinter.fr.

8. Hymon - producător de panouri fotovoltaice. www.hymon.pl.

9. REFUSol – producător de invertoare. Info@refusol.com.
 10. KRINNER – producător de șuruburi pentru sistem de fixare instalație panouri forovoltaice. www.krinner-pv.ro.
 11. IdeemaSun – planifică, fabrică și vând produse și instalații fotovoltaice. www.ideemasun.com.
 12. Jinko Solar – producător de panouri fotovoltaice. www.jinkosolar.com.
 13. MAT – producător de sisteme de fixare pentru panouri fotovoltaice. www.mat-ood.com.
 14. Beyondsun - producător de panouri fotovoltaice. www.beyondsun.com sau www.trunsunsolar.com.
 15. Alumil Solar – producător de sisteme de fixare pentru panouri fotovoltaice. www.alumilsolar.gr.
 16. Woodward – producător de invertoare (în documentația primită avem fișe tehnice pentru invertoare). www.woodward.com.
 17. Intrepid – producător de sisteme perimetrare de detecție, str. Mareșal Averescu, nr. 12, Ploiești, tel 0244591812, fax 0244517183, e-mail: office@technosys.ro.
 18. Unimec – producător sisteme de fixare pentru panouri fotovoltaice. www.unimec.ro.
 19. Pavel and Sons electric Ltd. – producător posturi de transformare. www.pavel-sons.com.
 20. Hormann – sisteme de montaj panouri fotovoltaice pe hale. www.hoermann-info.at.
 21. Greencells – planificare și montare parcuri cu sisteme fotovoltaice. www.greencells.eu..
 22. ET Module – producător de panouri fotovoltaice. www.etsolar.com.
 23. Canadian Solar – producător de panouri fotovoltaice. www.canadiansolar.com.
 24. Electro Sistem – producător de posturi de transformare și celule de medie tensiune. www.electro-sistem.com.
 25. Emersor Solar – producător de invertoare. www.emersonsolutions.com.
 26. Proinstal S.R.L. – instalații de irigații - Str. Dr. Vasile Saftu, Nr.45, Localitate:Brașov, Judet:Brașov, telefon:0745048465, fax:0268540883.
 27. Renovatio Solar 2015 – instalații de irigații - București Nord Streed, No 15-23, Henley Building, Voluntari City Country, 077190, România.
 28. S.C. HABITAT ENERGY srl, – instalații de irigații - web: www.solarZONE.ro, email: office@solarZONE.ro, tel: +04 0749 045 444, fax : +04 031 816 83 09.
 29. ECOVOLT Romania & LP ELECTRIC Systems – panouri fotovoltaice - Str: Petrești Nr:17, 510184 Alba Iulia, România.
 30. ROMSIR – panouri fotovoltaice - Str. N. Titulescu, Nr. 15 Balș Olt 235100 România, Email: office@energie-verde.ro, Phone: 0249-45 23 54, Fax: 0249452353, Mobile: 0785260415, 0740072942, 0744659548, http://www.energie-verde.ro.
 31. SC Inttech Industry SRL – distribuitor - Sediul Pipera, Sos. Pipera-Tunari, nr.49, Voluntari, ILFOV, Telefon: +031.102.18.46, Fax: +031.102.18.46.
- Firma „eetim” Timișoara oferă sisteme fotovoltaice, tablouri electrice și echipamente de automatizare de la Schneider electric, respectiv soluții pentru folosirea energiei solare la pomparea apei pentru irigații. În Fig. 3.1 și 3.2 se prezintă schema și caracteristicile unui sistem solar OFF-Grid cu back – up din generator și respectiv câteva tipodimensiuni de sisteme solare fotovoltaice pe care le oferă [279].

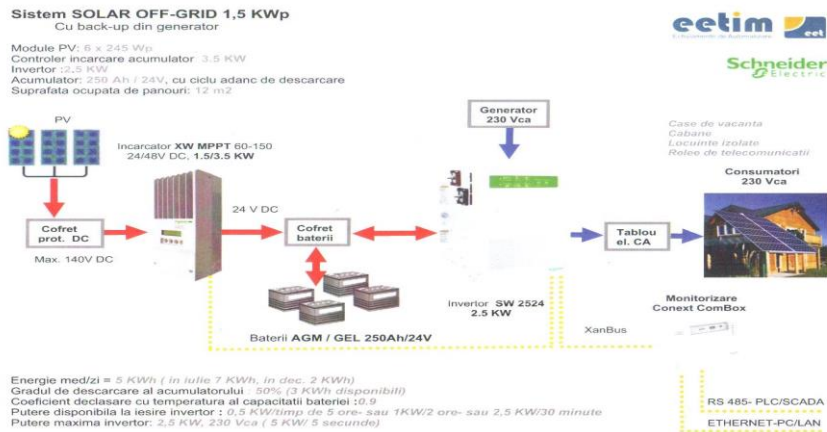


Fig. 3.1. Schema și caracteristicile unui sistem solar OFF-Grid cu back – up din generator [279]

Sistem solar fotovoltaic OFF-GRID 25KWp
cu back-up din rețeaua publică

- Sistemul asigură alimentarea cu energie electrică a unei instalații complexe de control și monitorizare trafic auto
- Putere instalată: 25 KWp
- 102 panouri fotovoltaice policristaline SILIKEN
- Invertoare CN-Grid: 2x15 KW
- Invertoare hibride: 3x5 KW
- SMA SUNNY ISLAND 6KW
- Capacitate baterii: 38.880 Wh (810 Ah/48V)
- Baterii cu GEL: 100PE/200-8KW
- Energia produsă: 28.000 KWh/an

Monitorizare locală radio prin Blue-tooth
SMA SUNNY BEAM

Monitorizare de la distanță prin ethernet și comunicație serială RS 485
SMA WEB-BOX cu IP și server WEB Integrat

Sistem solar fotovoltaic OFF-GRID 2.7KWp

- Sistemul asigură alimentarea cu energie electrică a unei manastiri
- Putere instalată: 2.7 KWp
- Incarcator baterii: 3.5 KW XW-XANTREX
- Invertor: 4 KW XW-XANTREX
- Capacitate baterii: 19200 Wh (800 Ah/24V)
- Energia produsă: 3400 KWh/an

Fig. 3.2 Exemple de de sisteme solare fotovoltaice produse de firma Schneider electric, oferite pe piață de către eetim Timișoara [279]

3.2. Exemple de realizare a unor sisteme de irigații locale folosind energia solară

3.2.1. Sistem de irigații cu pompe solare

Din punctul de vedere al performanțelor agricole, stadiul actual al agriculturii românești este similar cu cel al țărilor UE în anii 1970. Principalul factor natural limitativ al recoltelor României îl reprezintă apa și cantitățile de precipitații care prezintă diferențe notabile între regiuni, dar și în timp. Astfel, lipsa sistemelor de irigații afectează direct cele peste 3,8 milioane ferme mici existente ale căror producții sunt dependente de condițiile meteo. Renovatio Solar vrea să abordeze această problemă printr-un nou concept de irigații care folosește energia produsă de panourile solare pentru a pompa apa din subteran și a iriga culturile.

Principiul de funcționare al unui astfel de sistem de irigare este simplu. Panourile solare alimentează pompa care scoate apa din subteran sau dintr-o sursă din proximitate, aflată la suprafață, care este stocată într-un bazin de colectare. O a doua pompă, alimentată tot cu energie solară, împinge apa stocată înspre culturi.

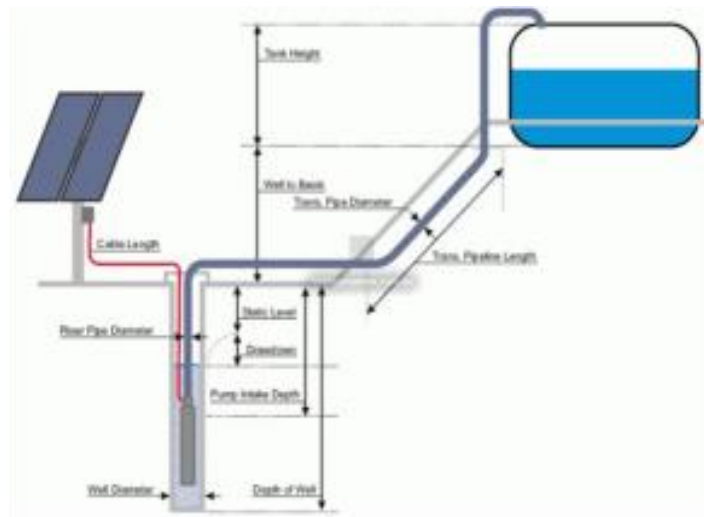


Fig. 3.3 Schema de montaj al unui sistem de pompare a apei din foraje folosind energia fotovoltaică de la panourile solare în zonele unde nu există rețea electrică [239, 241]

Sistem de pompare a apei provenită din foraje (Fig.3.4, 3.5), captări pe râuri, lacuri etc, destinate alimentării cu apă a fermelor, sistemelor de irigații, amenajărilor piscicole sau oricăror aplicații care necesită pomparea apei în zone unde nu există rețea electrică.



Fig. 3.4. Vedere panou fotovoltaic și rețea de irigații la o plantație de pomi fructiferi [203, 204]

Atingând puteri până la 21 Kw, aceste pompe pot asigura debite până la 305 metri cubi de apă pe ora (3450 metri cubi/zi) sau, în anumite condiții, presiuni până la 45 bari, acoperă un domeniu larg de aplicații.



Fig. 3.5. Vedere panou fotovoltaic și generator electric pentru asigurarea pompării apei de irigație la o plantație de viță de vie. [203, 204]

Provenind de la soare, energia necesară acționării pompelor este complet gratuită, iar sistemul nu necesită acumulatori pentru a funcționa. Dacă totuși se dorește, pentru puteri până la 1,8 Kw instalațiile pot fi echipate și cu acumulatori pentru utilizarea pompei și pe durata nopții. Opțional se poate livra și un echipament cu ajutorul căruia orice sistem mai mic de 9 Kw poate funcționa cu energie electrică de la rețea, generator electric sau orice altă sursă de curent electric de putere corespunzătoare, indiferent de tensiunea pe care o poate furniza.

Ținând cont de durata de viață de peste 25 de ani a panourilor solare care le furnizează energia electrică, aceste sisteme sunt echipate cu pompe cu motoare electrice fără perii, având garanție 2 ani și durata medie de viață 10 ani, perioadă în care practic nu necesită niciun fel de întreținere.

În funcție de domeniul de utilizare, amortizarea investiției poate dura între 1 și 5 ani, iar fiabilitatea ridicată a produselor are la bază o experiență de peste 20 de ani în domeniu a fabricantului german.

Realizarea parametrilor de funcționare solicitați ai instalațiilor se garantează prin contract, aceștia putând fi monitorizați printr-o aplicație instalată pe telefonul mobil sau opțional din orice alt loc acolo unde există comunicare prin rețea GSM.

3.2.2. Irigații prin picurare sau prin canale de irigații

Sistemele moderne de irigații folosesc presiunea pentru aducerea apei și distribuția ei prin conducte direct la rădăcina culturilor. Combinația sistemelor fotovoltaice cu pompe submersibile este folosită în zonele izolate fără conectarea la rețeaua electrică. Apa este distribuită direct din pompă sau dintr-un bazin de retenție gravitațional. În cazul sistemelor diurne (care operează fără baterii, sistemul funcționează doar ziua) randamentul poate fi crescut prin folosirea sistemului de tracker la panourile fotovoltaice.

Apa este distribuită cu presiunea de 1 bar prin conducte către duze (1 până la 4 găuri în cazul plantelor mari) astfel încât să acopere 50% zona rădăcinii. Deși are o eficiență de peste 90% irigațiile prin picatură sunt aplicate doar pe zone reduse datorită costului ridicat al instalației și mentenanței.

În multe cazuri sunt folosite generatoare diesel pentru furnizarea energiei electrice de pompare.

Sistemele fotovoltaice au avantajul că pot fi folosite oriunde deoarece nu necesită acces permanent (pentru generator ai nevoie de un acces facil pentru alimentare, întreținere, paza echipamentului și al combustibilului, zgomot, poluare etc).

Seara sistemul poate fi funcțional prin folosirea unui bazin de retenție pentru stocarea necesarului de apă.

a) Dimensionare sistemelor prin picătură:

Pentru o suprafață de 1ha de cultură este necesară o cantitate de 25-50mc/zi. Înălțimea bazinului ar trebui să fie de 5m iar lungimea tubului nu trebuie să depășească 50m. Dacă folosim pompa Lorentz PS1200 cu 8,5mc/zi, panouri fotovoltaice de 660W cu distanța între tuburi de 0,5m vom avea o suprafață irigată de 1000 mp, 2 sere de 500 mp. Dacă distanța între rânduri e de 1m atunci avem 2000 mp. COST Investiție 3600EUR+tva. În cazul unei pompe PS1800 vom avea 4000 mp (8 sere de 500 mp) în cazul distanței 0,5m între rânduri și o distanță de 8000 mp dacă distanța e de 1m.



Fig. 3.6. Detaliu amplasare rampe perforate pentru irigația prin picurare. [206, 214]

b) Dimensionarea sistemelor prin irigare (inundare)

Pentru canalele de irigații avem nevoie de o pompă cu debit mare și presiune mică. PS9K cu 600 mc/zi ar fi indicată, 8400 W și în cazul unei eficiențe de 65% cu evaporare 5mm/zi vom avea 7 ha, iar la o eficiență de 50% cu evaporare 7mm/zi vom avea 4,3 ha.



Fig. 3.7. Detaliu amplasare rampe perforate pentru irigația prin inundare. [206, 214]

Prin experiența de peste 20 de ani în fabricarea pompelor solare, producătorul german Lorentz se situează ca lider în domeniu, ajungând până la puteri de 28 kW, pompele sale sunt apreciate atât datorită faptului că sunt cele mai mari din gamă, cât și pentru avantajele pe care le prezintă față de soluțiile clasice, cum ar fi :

- energia necesară funcționării pompei fiind gratuită, în agricultură întreaga investiție se amortizează în totalitate (sau cel puțin jumătate) încă din primul an de funcționare, doar din surplusul producției agricole realizate;
- pot extrage apă din foraje situate în zone în care nu există rețea electrică, de la adâncimi mai mari de 40 m, limită la care motopompele nu mai funcționează;
- pot asigura debite de până la 3450 mc/zi sau înălțimi de pompare de 450 mca;
- nu necesită supraveghere sau întreținere și conferă simplitate în exploatare;
- cantitatea de apă furnizată crește odată cu intensificarea radiației solare;
- pompele pot funcționa cu sau fără baterii, iar la nevoie și cu curent electric de la rețea sau generator electric (în cazul utilizării lor și pe timpul nopții);
- există posibilitatea echipării lor cu senzori de presiune, nivel, lipsă apă, etc;
- dimensionarea instalației se face prin softul producătorului, care ține seama de toți parametrii (electrici, termici, hidraulici, mecanici, etc) și calculează cu exactitate cantitatea de apă furnizată de către pompă pe toată durata funcționării ei;
- prin implementarea acestor soluții în cadrul proiectelor cu finanțare europeană se obține un punctaj suplimentar la evaluarea finală a dosarului;
- garanția pompei este de 2 ani, durata medie de exploatare este de 10 ani, iar panourile fotovoltaice sunt garantate 25 de ani .
- prin instalarea echipamentelor pe o remorcă, întregul sistem poate deveni transportabil.

3.3. Aplicații pentru Sistemele de Irigații – exemple



a



b

Fig.3.8. Sistem pompare adâncime PS4000 31 mc/zi de la 160m (țara: Turcia):
a) vedere ansamblu frontal ; b) canal irigații.



Fig. 3.9. Sistem pompare suprafață PS1200 (țara: Australia).



Fig. 3.10. Sistem pompare adâncime PS200(țara: Emiratele Arabe).

Notă: aceste instalații de irigații se folosesc la : cultivarea plantelor (cereale; legume; ciuperci; fructe; struguri/viță de vie; pomi și arbuști fructiferi; plante tehnice; plante furajere; plante medicinale & aromatice; silvicultură; grădinărit; material săditor; aplicarea de îngrășăminte/fertilizanți și protecția plantelor); asigurându-se astfel hrana pentru creșterea animalelor (bovine, porcine,

ovine/caprine, cabaline, păsări, animale de blană, pești, albine, melci, furaje/hrană animale).

3.4. Pompe solare de apă în agricultura [277]

Pompele de apă solare reprezintă o soluție fiabilă la problemele cu care se confruntă agricultorii pentru asigurarea pomparei apei de irigații ele putând fi folosite și în zootehnie, piscicultură sau alte domenii. Pompele de apă solare sunt alimentate direct din panourile fotovoltaice sau, la nevoie, de la un generator sau rețea electrică de la 220V sau 380V, ele putând fi submersibile sau de suprafață.

Principalele tipuri de pompe de apă solare sunt :

1. **Pompele de apă solare submersibile** - se folosesc la extragerea apei din puțuri forate de la adâncimi mici-medii.
2. **Pompele de apă solare-mixte submersibile** - se folosesc la extragerea apei din puțuri forate de la adâncimi medii-mari. Acest tip de pompe au în plus față de prima categorie un dispozitiv special cu funcțiune de invertor, reglator de presiune și alte funcții. Aceste pompe au un diametru mai mare decât celelalte. Au, de asemenea, o adâncime maximă de extragere ap de la 180 m cu 20 mc/h sau o adâncime mică de 20 m cu un volum extrem de mare de apă de circa 200-220 mc/h.
3. **Pompele de apă solare de suprafață** - se folosesc la recircularea apei în bazinele piscicole, la aerarea bazinelor sau lacurilor cu pești, sau la irigarea suprafețelor agricole din bazine cu apă amenajate la suprafață.

Avantaje ale pompelor de apă solare:

- Pot fi instalate oriunde, nu necesită existența rețelei electrice.
- Sunt ușor de configurat și instalat.
- Oferă o plajă largă de modele în funcție de adâncimea puțului forat și cantitatea de apă necesară.
- Sunt folosite materiale de calitate: oțel inoxidabil, motor cu magneți permanenți din Neodin acoperiți cu un strat de cupru și nichel.
- Sunt dotate cu protecție la mers în gol, lucru extrem de important când se scot cantități mari de apă sau când pânza freatică prezintă modificări de volum.

Dezavantaje ale pompelor de apă solare:

- Atunci când sunt alimentate doar de panourile fotovoltaice, pompele funcționează doar pe perioada zilei, când panourile fotovoltaice produc energie electrică, astfel că volumul total de apă pe 24 h trebuie calculat pentru a fi extras în perioada de zi (soare-lumină).
- De asemenea, în zilele cu nori groși de ploaie performanțele pompelor sunt reduse.

Notă: Instalațiile fotovoltaice cu pompe de apă solare au în general doar două componente: panourile fotovoltaice și pompa submersibilă, având o durată de viață de circa 25-30 de ani. Durata de viață a pompei este dată atât de condițiile de funcționare (calitatea puțului forat, a apei și nivelul impurităților, calitatea apei), cât și de materialele din care este construită pompa.

Pompa este construită în așa fel încât componentele să fie ușor de schimbat și de întreținut.

O altă caracteristică importantă a pompelor de apă solare este aceea de a avea viteza variabilă, astfel în momentul apariției norilor și scăderea energiei electrice disponibile, pompa de apă solara nu se oprește, ci își micșorează turațiile

de funcționare aducând la suprafață o cantitate mai mică de apă decât cea standard, dar funcționând în continuare.

Deoarece aceste pompe acceptă alimentarea și de la panourile fotovoltaice, dar și de la un generator sau rețea, se poate ca în zilele în care se dorește suplimentarea orelor de funcționare să se cupleze un generator la pompă și astfel pompa poate funcționa și pe timpul nopții, conectând practic un cablu cu stecher și acționând un comutator. Deoarece pompele de apă solare au puteri mai mici decât cele de 220V nu necesită un generator de mare putere, ducând astfel și la un consum scăzut de combustibil. Investiția în pompe de apă solare se amortizează în maxim 2 ani de activitate, deși în general investițiile în agricultură sunt investiții pe termen mediu și lung. Astfel, în cazul unei plantații de pomi fructiferi sau a unor culturi permanente rezultatele economice pozitive sunt așteptate peste câțiva ani, când pomii încep să rodească și cultura să ajungă la maturitate. În acest caz, pompele solare de apă își arată adevărata valoare pentru ca după amortizarea investiției în aceste pompe (1 an – 2 ani) costurile de funcționare devin zero. Astfel, firma Soarest, cu o îndelungată experiență în domeniul fotovoltaic, cu peste 300 de instalații executate, traduse în peste 80 MW, oferă o gamă largă de produse solare și produse conexe destinate diverselor ramuri ale agriculturii, www.soarest.com [277].

3.5. Rezultatele unor studii privind sistemele solare fotovoltaice de pompare a apei.

Mulți cercetători din întreaga lume au investigat performanța de sistemele solare fotovoltaice de pompare a apei știut fiind faptul ca, conversia energiei fotovoltaice este una dintre cele mai bune moduri de a fructifica energia solară [14,15]. Rezumatul cercetărilor efectuate în diferite regiuni este prezentat în continuare.

3.5.1. Principiul de lucru a sistemelor solare fotovoltaice de pompare a apei pentru irigații

Acstea constau din panouri solare fotovoltaice, un motor și o pompă, care sunt reprezentate în fig.3.11.

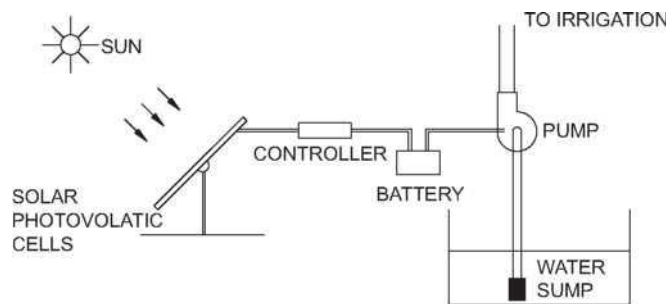


Fig. 1. Layout of SPWPSS.

Fig. 3.11. Schema principală funcțională a unui sistem solar fotovoltaic de pomparea apei pentru irigații

Funcție de modul de proiectare al sistemului, este nevoie de baterii de stocare și de un regulator de încărcare. Motorul este ales în funcție de necesarul de putere și de tipul de curent rezultat din sistem. Dacă motorul folosește curent alternativ, este necesar să se instaleze un curent continuu convertorului de curent alternativ. Sistemele solare fotovoltaice de pompare a apei fără baterie sunt mai economice, necesită mai puțină întreținere în comparație cu sistemele cu baterii, bateriile de stocare au avantajul de a furniza performanță consistentă în timpul orelor cu soare slabă sau lipsa. Este de menționat faptul că adăugarea unui rezervor de stocare a apei în sistemele solare fotovoltaice de pompare a apei este mai economic decât o rezervă de stocare a acumulatorului. Utilizarea energiei solare fotovoltaice este considerată a fi o resursă importantă și facilă pentru țările situate în regiunile tropicale, unde radiația solară directă poate ajunge de până la 1000 W/m².

3.5.2 . Performanța sistemelor solare fotovoltaice de pompare a apei

În tabelul 1 se prezintă sintetic concluziile investigațiilor făcute până în prezent cu privire la performanța sistemelor solare fotovoltaice de pompare a apei. Astfel, Pande și colab. [114] au proiectat, dezvoltat și testat performanța sistemelor solare fotovoltaice de pompare a apei de irigare prin picurare, în condițiile meteorologice indiene, la care s-au folosit: 900 W suprafața fotovoltaică și o pompă monobloc de 800W.

Tabelul 3.1. Concluziile sintetice ale investigațiilor sistemelor solare fotovoltaice de pompare a apei [114]

Autori(Bibliografie)	Iordania	Aplicatii	Concluzii
Pande și colab. [114]	India	Irigații	S-a raportat o perioadă de recuperare de 6 ani
Bhave [19]	India	Irigații	Sistemele de pompare fotovoltaice solare sunt potrivite pentru aplicații domestice de pompare a apei de înălțime medie
Mahmound și Nather [87]	Egipt	Irigații prin picurare	Pompele de apă fotovoltaice solare operează mai eficient decât alte sisteme tradiționale de pompare a apei
Hamrouni și colab.		Pompare a apei casnice	Performanța sistemului este intens afectată de parametrii ambientali, precum intensitatea solară, temperatura aerului, intensitatea vântului
Meah și colab. [103]	USA	Pompare a apei casnice	Sistemele de pompare a apei PV ar putea reduce considerabil emisiile CO ₂ pe o durată de viață de 25
Chandratilleke și Ho [40]	Singapore	Pompare a apei casnice	S-a concluzionat că eficiența generală a sistemului de pompare a apei PV a fost îmbunătățit de design

Badescu [8]	Irigații		S-a concluzionat că eficiența generală a sistemului performanța sistemelor de pompare PV mai potrivită pentru păstrarea terenurilor cu iarbă
Yu și colab.	China	Irigații	
Hrayshat și Al-Soud [32]	Iordania	Pompare a apei casnice	Identifică potențialul energiei solare pt. pomparea apei
Al Ali și colab [2]	Arabia Saudita	Irigații	Autorii au dezvoltat un sistem de irigare automat, care optimizează cantitatea de apă necesară pentru irigații
Mokeddem [106]	Algeria	Irigații	Sistemele de pompare a apei PV cuplate direct sunt mai potrivite pentru irigații la înalțimi mici
Hamidat [69]	Algeria	Irigații	Sistemul de pompare a apei PV este potrivit pentru irigații pe scară restransă

Alte concluzii arata că sistemele solare fotovoltaice de pompare a apei poate furniza apa la presiune de 70-100 kPa la partea de livrare cu o descărcare de 3,4-3,8 l / h prin fiecare picurator pe parcursul a diferite ore ale zilei, rezultind o perioadă de recuperare de aproximativ 6 ani. Sistemele solare fotovoltaice de pompare a apei inovatoare similare, folosind o pompă centrifugă modulară cu viteză variabilă și etape cu activari multiple au fost dezvoltate și testate în condițiile meteorologice indiene [19] menționindu-se faptul ca sunt mai potrivite pentru pomparea apei la înalțimi mici și medii în zonele în care energia electrică de la rețea nu este disponibilă imediat, acestea fiind mai economice în operare doar în timpul orelor cu mult soare.

Chaurey și colab. [39] au discutat experiențele din teren a sistemelor solare fotovoltaice de pompare a apei în India. Sistemul cercetat în lucrarea lor a fost operat în mod continuu, cu excepția câtorva legături electrice libere, pentru mai mult de 2 ani, fără o defectiune tehnică majoră. Sistemele solare fotovoltaice de pompare a apei au fost propuse ca un înlocuitor pentru pompele manuale existente. Producția medie zilnică de apă a sistemelor solare fotovoltaice de pompare a apei pe parcursul unei luni este potrivită pentru rezerva de apă din mediul rural într-un sat tipic indian. Ei au sugerat ca sistemele solare fotovoltaice de pompare a apei sunt fezabile pentru o comunitate de 500 de persoane în cazul în care pompele manuale sunt furnizate ca un sistem de sprijin. În mod similar, impactul asupra mediului a sistemelor solare fotovoltaice de pompare a apei sunt investigate în ceea ce privește mecanismul de dezvoltare curată [19], contribuind în același timp la dezvoltarea rurală durabilă prin reducerea emisiilor de CO₂.

Mahmoud și Nather [87] în Egipt au investigat performanța sistemelor solare fotovoltaice de pompare a apei utilizând baterii pentru sisteme de irigare prin stropire și picurare, ajungind la concluzia că sistemele solare fotovoltaice de pompare a apei pot fi utilizate în mod eficient pentru pomparea apei în agricultură.

Costul apei pompate prin sisteme fotovoltaice este mult mai mic decât cel al apei pompate prin metode de pompare convenționale conectate la rețea și diesel. O altă concluzie a lor arată că acestea pot opera mai eficient în comparație cu alte sisteme tradiționale de irigații în timpul orelor cu potențial de radiații soare, ele îmbunătățind, de asemenea, calitatea vieții și promovează dezvoltarea socio-economică în mediul rural.

Mankbadi și Ayad [99] au discutat despre performanța sistemelor solare fotovoltaice de pompare a apei directe de capacitate mică în condițiile meteorologice din Egipt și au arătat că sistemele solare fotovoltaice de pompare a apei directe de capacitate mică sunt cele mai potrivite pentru aplicații de pompare a apei casnice.

Qoaidar și Steinbrecht au investigat fezabilitatea tehnică a sistemelor solare fotovoltaice de pompare a apei în localitatea New Kalabsha în regiunea lacului Nasser din sudul Egiptului, fiind calculate proiectul tehnic și costurile legate de ciclul de viață al sistemelor solare fotovoltaice de pompare a apei. Sistemul de pompare a fost conceput pentru a pompa 111.000 m^3 de apă pe zi pentru a iriga 1260 ha și, de asemenea, pentru a alimenta gospodăriile adiacente. Studiile lor au ajuns la concluzia că sistemele solare fotovoltaice de pompare a apei sunt o opțiune competitivă din punct de vedere economic pentru furnizarea de energie la comunitățile din afara rețelei în regiunile aride, comparativ cu sistemele de generare diesel.

Kou și colab. [80] au dezvoltat un model analitic pentru estimarea performanței pe termen lung a unui sistem de pompare cuplat direct pentru șase locații diferite din SUA (Albuquerque, New Mexico, Madison, Wisconsin, Seattle și Washington), și au comparat-o cu modelul TRNSYS. A rezultat faptul că modelul prezice performanța cu o rădăcină pătrată medie diferență de 3-6% față de programul TRNSYS folosind datele de vreme TMY, arătându-se că noul model propus în lucrarea lor poate fi utilizat pentru proiectarea și prognozarea performanței pe termen lung a sistemelor solare fotovoltaice de pompare a apei pe perioade lunare sau anuale, în conformitate cu un climat tipic american, prezentând și o investigație de performanță similară pentru locații îndepărtate ale Statelor Unite [25]. Schema experimentală folosită în lucrarea lor este ilustrată în Fig. 3.12.

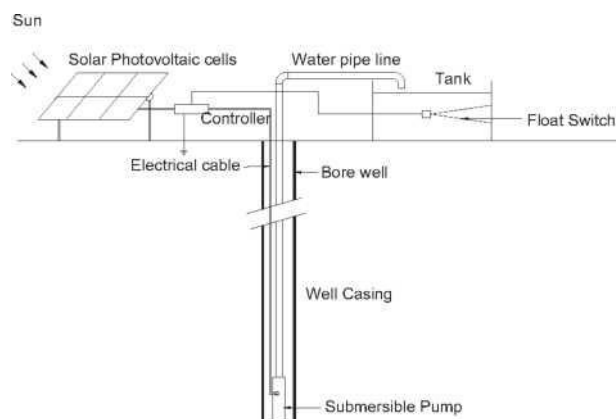


Fig. 3.12. Așezarea în plan a sistemelor de pompare a apei folosind panourile fotovoltaice, utilizând pompe submersibile. [277]

O altă concluzie arată faptul că sistemele solare fotovoltaice de pompare a apei are o performanță bună în termeni de productivitate, fiabilitate, și rentabilitate, putând reduce considerabil emisiile de CO₂ pe durata de viață de 25 de ani, comparativ cu sistemele conventionale conectate la rețea sau cu motorizare diesel.

Meah și colab. [103] au prezentat oportunitățile și provocările sistemele solare fotovoltaice de pompare a apei, sugerind ca economia și fiabilitatea sistemele solare fotovoltaice de pompare a apei le face mai fezabile și economice în zonele rurale care se confruntă cu un deficit de energie electrică. acestea s-au dovedit a fi o opțiune fezabilă din punct de vedere tehnic și economic, în țările dezvoltate, cum ar fi SUA, Germania, Australia, etc.

Chandratilleke și Ho [30] au studiat experimental performanța unui sistem de pompare de 1,14 kW folosind o pompă centrifugă de 860 W. De asemenea, ei au dezvoltat un model de simulare pentru validarea rezultatelor experimentale. Din experimetarile efectuate a rezultat ca eficiența globală a sistemelor solare fotovoltaice de pompare a apei este de 1,6%, care s-a dovedit a fi mai mica din cauza eficienței scăzute de conversie a energiei cu sisteme fotovoltaice. Rezultatele simulării au fost raportate ca fiind mai apropiate de rezultatele experimentale având abateri acceptabile, sugerind de asemenea că eficiența globală a sistemului de pompare poate fi îmbunătățită printr-o proiectare mai buna a sistemului și prin potrivire de sarcină. Rezervorul de stocare a fost introdus pentru a îmbunătăți stabilitatea sistemului de pompare.

Badescu [8] prezintă un model al sistemului de pompare dependent de timp constând dintr-o matrice fotovoltaica, o baterie, un rezervor de stocare a apei, un motor de curent continuu și o pompă centrifugă, rezultind că rezervorul de stocare a apei îmbunătățește stabilitatea operației de pompare. Frațiunea de curent furnizat de baterie este depozitată sub formă de energie gravitațională a apei, ceea ce demonstrează că atât bateria cât și rezervorul de stocare a apei cresc stabilitatea funcționării sistemelor solare fotovoltaice de pompare a apei. În mod similar, performanța unui sistem de irigare alimentat solar a fost evaluată pentru susținerea de pășuni în regiunile aride din Nord-Vest din China, rezultind că sistemele solare fotovoltaice de pompare a apei pentru aplicații de irigații sunt un sistem eficient ca și cost, care contribuie la conservarea pășunilor, putând crea oportunități considerabile în promovarea dezvoltării locale.

Caracteristicile de performanță ale sistemelor solare fotovoltaice de pompare a apei în treisprezece fântâni în condițiile meteorologice din Iordania au fost investigate de către Hammad [72]. A fost dezvoltat un laborator sistemului de pompare, și pe tot parcursul unui an s-au analizat parametrii de performanță, cum ar fi capacitatea de pompare zilnică și eficiența, evidențiind faptul ca valorile lunare ale factorului de pompare au fost calculate prin rezultatele experimentale. Un model de proiectare a fost stabilit pe baza factorului de pompare în funcție de caracteristicile solare.

Într-o lucrare similară, un sistem de pompare folosind o pompă cu motor pe inducție, care este capabil să furnizeze o medie zilnică de 50 m³ la o înălțime de 37 m, a fost dezvoltat de Daud și Mahmoud, care a fost instalat într-un put în deșert în Iordania, unde radiația solară medie disponibilă este de 5,5 kW h/m³/zi. Testarea în teren pe termen lung a sistemului a arătat că sistemul este sigur și are o eficiență generală care depășește 3 %, rezultat comparabil cu alte studii raportate cu cea mai mare eficiență pentru sisteme solare fotovoltaice de pompare a apei.

Hrayshat și Al-Soud au studiat oportunitatea de sisteme solare fotovoltaice de pompare a apei la zece locații diferite din Iordania. Ei au identificat patru locații (Queira, H-4, H-5, și Taffieleh), unde disponibilitatea de intensitate solară este

adecvata pentru aplicații de pompare a apei. Alte trei regiuni (inclusiv Ras Muneef, Mafraq și Hasa) au o sursă moderată de energie solară. Cele trei locații ramase (Deir Alla, Baqura și Wadi Yabis) au intensitate solară slabă, caz în care sistemele solare fotovoltaice de pompare a apei nu sunt potrivite.

În Arabia Saudită, Al Ali și colab. [2] au dezvoltat un sistem automat de irigare bazat pe surse fotovoltaice solare și i-au testat performanțele. Sistemul lor este format din controlor, valve de control, panouri fotovoltaice, baterii pentru sprijin și senzori. Sistemul dezvoltat de ei este capabil să irige terenuri la un moment prestabilit, zi a săptămânii și durata. De asemenea, poate iriga automat terenul dacă solul este uscat sub un anumit nivel de umiditate. Acest tip de sistem automatizat va optimiza cantitatea de apă necesară pentru o anumită cultură și pentru o anumită zonă.

O investigație de performanță similară pe sisteme solare fotovoltaice de pompare a apei folosind o pompă elicoidală pentru un put adânc a fost făcută în condițiile meteorologice din Arabia Saudită [34]. Patru configurații fotovoltaice diferite, cum ar fi 6 module în serie x 3 rânduri paralele, 12 module în serie x 2 rânduri paralele, 8 module în serie x 3 rânduri paralele, și 6 module în serie x 4 rânduri paralele au fost investigate în lucrarea lor. Rezultatele lor au raportat că cele 8 module în serie x 3 paralele este configurația care furnizează energia optimă cu un debit maxim de apă de 22 m³/zi.

Mokeddem și colab. [35] au studiat performanțele unui sistem solar fotovoltaic de pompare a apei cuplat direct, în condițiile meteorologice din Algeria pe o perioadă de patru luni. Performanța sistemului a fost monitorizată în condiții climatice diferite, cu două configurații de înălțime statică. Sistemul lor este compus dintr-o matrice fotovoltaică de 1,5 kWp, un motor pe curent continuu și o pompă centrifugă. A fost raportat că sistemele solare fotovoltaice de pompare a apei cuplate direct sunt potrivite pentru irigare la înălțime scăzută în zone îndepărtate, care nu sunt conectate la rețeaua națională și unde accesul la apă e o problemă prioritară. Sistemul lor funcționează cu întreținere redusă din cauza lipsei de baterii și control electronic. De asemenea, ei au raportat că sistemele solare fotovoltaice de pompare a apei cuplat direct atinge repede starea de echilibru.

Anchete similare asupra performanței electrice și hidraulice ale unui sistem de irigare acționat fotovoltaic de dimensiune mică au fost efectuate în condițiile meteorologice din regiunea Sahara Algeriană [71]. Sistemele solare fotovoltaice de pompare a apei utilizate pentru aplicații de irigare sunt prezentate în Fig.3.13. Aproximativ șaiszeci de sisteme solare fotovoltaice de pompare a apei au fost instalate în regiunile îndepărtate pentru a furniza apă pentru uz casnic și irigarea a patru culturi, și anume, grâu, cartofi, roșii și floarea soarelui. A fost raportat că sistemele solare fotovoltaice de pompare a apei sunt potrivite pentru irigare la scară mică în regiunile Saharei Algeriene. Sistemele solare fotovoltaice de pompare a apei ar putea acoperi cu ușurință nevoia de norme de apă zilnice de irigare la scară mică, pe o suprafață mai mică de 2 ha.

Boutelhig și colab. au studiat performanța sistemelor solare fotovoltaice de pompare a apei cu patru configurații diferite (2 paralel (P) x 2 în serie (S), 2P x 1S, 1P x 2S și 1 modul) la diferite înălțimi între 10 m și 40 m, în condițiile meteorologice ale zonei de deșert algerian. Sa raportat că o combinație de două configurații ale modulelor fotovoltaice (2P x 1S) și (2S x 1P) este adecvata pentru a furniza energia optimă. Configurația fotovoltaică selectată a pompat un volum maxim de apă.

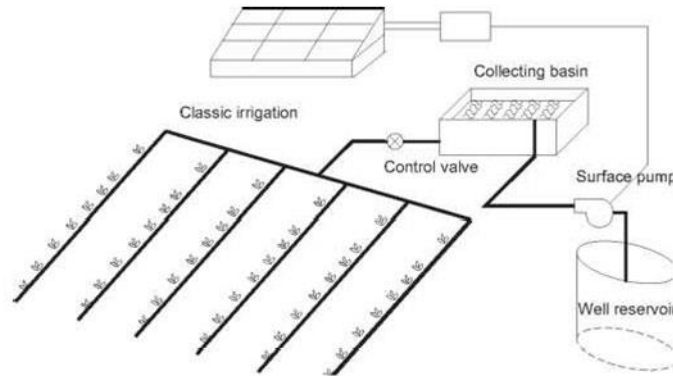


Fig. 3.13. Așezarea schematică a sistemului de irigare fotovoltaic. [83]

3.5.3. Tipuri de motoare și pompe

Rezultatele studiilor efectuate pe diferite tipuri de motoare și pompe utilizate în sisteme solare fotovoltaice de pompare a apei sunt prezentate centralizat în tabelele 3.2 și respectiv 3.3.

3.5.3.1. Tipuri de motoare

Pe plan mondial există mai multe tipuri de motoare de curent continuu (de exemplu, periat și cu magnet fara perii permanent, comutator cu rezistenta variabila) și motoare de curent alternativ (sincron și asincron) sunt disponibile pentru sisteme solare fotovoltaice de pompare a apei [Short TD, Oldach R.2003]. Selecția motorului depinde de mărimea, cerințele de eficiență, prețul, fiabilitate și disponibilitate. Motoarele pe curent continuu sunt atractive, deoarece acestea se pot conecta direct la matricele fotovoltaice. Motoarele de curent continuu nu sunt potrivite pentru aplicații de mare putere (peste 7 kW), în cazul în care este necesar un motor de inducție pe curent alternativ, cu un invertor DC-AC. Utilizarea unui invertor va duce la costuri suplimentare și pierderi de energie. Pentru pompe de apă DC cufundate, întreținerea și înlocuirea periiilor motoarelor de curent continuu necesită ca pompa să fie scoasă din puțul adânc, ceea ce mărește costurile de funcționare și întreținere și, de asemenea, reduce fiabilitatea și durata de viață. Motoarele pe curent continuu fără perii au fost introduse pentru a depăși aceste inconveniente [83]. Motoare fără perii pe curent continuu au fost folosite pentru sisteme solare fotovoltaice de pompare a apei folosind pompe elicoidale, și performanța lor a fost testată în condițiile meteorologice din Australia. A fost raportat că eficiența sistemului, folosind motor fără perii pe curent continuu și pompe elicoidale variază între 30% și 50%, fiind mai bună decât convenționalul sisteme solare fotovoltaice de pompare a apei.

Metwally și Anis [105] au testat un motor având comutator cu siguranța (SRM) pentru sisteme solare fotovoltaice de pompare a apei. Motorul este alimentat cu o tensiune de curent continuu printr-un circuit de comutare. Eficiența SRMs s-a constatat a fi mai mare decât cea a DC sau a motoarelor cu inducție. SRM este mai ieftin decât motoarele pe curent continuu și cu inducție, care este avantajul raportat în lucrarea lor. De asemenea, au concluzionat că eficiența de funcționare a SRM este de aproximativ 85 % în cea mai mare parte din timpul său de lucru. Eficiența potrivirii între câmpul fotovoltaic și sistemul propus se apropie de 95 %.

Singh și colab. [143] au dezvoltat un motor cu magnet permanent de curent continuu fără perii alimentat de la un camp solar fotovoltaic cuplat cu sisteme solare fotovoltaice de pompare a apei. Prototipul dezvoltat funcționează satisfăcător cu diferite tensiuni DC. Eliminarea senzorului de poziție a rotorului și a senzorilor de curent face sistemul mai simplu și reduce costul total al sistemului de acționare. Sistemul de antrenare s-a dovedit a fi adecvat pentru a pompa apa chiar și în timpul orelor de soare slab.

Tabelul 3.2 Rezultatele de cercetare (avantaje) pentru motoare pe curent continuu utilizate în sisteme solare fotovoltaice de pompare a apei.

Tipuri de motoare DC folosite în sisteme solare fotovoltaice de pompare a apei. Autori [Bibliografie]	Tip de motor DC	Avantaje
<u>Langridge și colab. [83]</u>	Motoare DC fără perii	Performanța motoarelor DC fără perii s-a dovedit a fi mai bună decât cea a motoarelor convenționale
<u>Metwally și Anis [105]</u>	SRM	SRM au costuri mai scăzute decât motoarele DC și de asemenea o eficiență mai ridicată decât motoarele DC
<u>Singh și colab. [143]</u>	Motor DC cu magnet permanent fără perii	Acest tip de motoare este potrivit chiar în timpul puterii scăzute cauzată de orele în care soarele nu are putere

Tabelul 3.3. Tipuri de pompe de apă folosite în SPWPSs.

Autori [Bibliografie]	Tip de pompă	Rezultat
<u>Vick și Clark [154]</u>	Diafragma și pompe elicoidale	Diafragma funcționează mai bine decât pompele elicoidale
<u>Fiaschi și colab. [54]</u>	Pompa cu arbore divizat și pompe centrifuge standard	Pompele cu arbore divizat funcționează mai bine decât pompele centrifuge standard

<p style="text-align: center;"><u>Hamidat și Benyoucef [71]</u></p>	<p style="text-align: center;">Pompe centrifuge și cu decalare pozitivă (volumetrice)</p>	<p>Eficiența pompelor cu decalare pozitivă este mai ridicată în comparație cu cele centrifuge Pierderile de energie la pompele cu decalare pozitivă sunt mai reduse decât la cele centrifuge</p>
---	---	--

3.5.3.2. Pompe de apă folosite în sistemul de pompare al apei pentru irigații

Vick și Clark [154] au comparat performanța unui sistem de pompare folosind o diafragmă și pompe elicoidale, în termeni de performanță și fiabilitate. Puterea nominală a câmpurilor fotovoltaice pentru sistemele tipice de pompe tip diafragma variază de la 75 W la 150 W, în timp ce puterea nominală fotovoltaică pentru sisteme de pompe elicoidale variază între 200 W și 1000 W. Fiabilitatea sistemelor fotovoltaice solare cu pompa acționată elicoidal este mai bună decât cea a sistemelor solare fotovoltaice cu pompare cu membrană pentru adâncimi de pompare mai mari de 30 m.

Arab și colab. [6] au prezentat două modele matematice motor - pompa pentru a prezice punctul de operare optimă pentru sisteme solare fotovoltaice de pompare a apei bazat pe experimente. Modelele sunt stabilite pentru pompe centrifuge și cu decalare pozitivă cuplate la motoare de curent continuu. Datele experimentale au fost obținute într-o instalație de testare a pompelor. Aceste modele vor prezice punctul optim de operare cu matrice fotovoltaice și debitul de volum de apă. O metodă simplificată a fost propusă în lucrarea lor pentru a obține parametrii modelelor pentru a reduce numărul de măsurători experimentale.

Fiaschi și colab. [54], în mod similar, au îmbunătățit eficiența sistemelor de pompe solare de adâncime, cu ajutorul pompelor centrifuge cu o viteză variabilă și un număr modular de etape de lucru (pompa cu arbore divizat) și le-au comparat cu pompele tradiționale, dotate cu un număr fix de etape (pompa centrifuga standard). Rezultatele analizei economice au arătat avantajul soluției de pompare cu arbore divizat în ceea ce privește perioada de recuperare. Posibilitatea de a aplica un arbore divizat la o pompă centrifugă tradițională, cuplat cu o viteză de rotație variabilă, conduce la o utilizare mai eficientă a energiei solare zilnice disponibile pentru a alimenta un sistem de pompare a apei.

Hamidat [69] a simulat performanțele și a calculat costul de pompare a unui sistem solar fotovoltaic de pompare a apei folosind pompe de suprafață în condițiile meteorologice din Algeria și a raportat că pompele de suprafață sunt rentabile pentru totalul cererilor dinamice de înalțimi mici.

Hamidat și Benyoucef [71] au prezentat două modele matematice pentru a simula performanțele pe termen lung atât electrice cât și hidraulice ale pompei centrifuge și pompei cu decalare pozitivă în condițiile meteorologice din Algeria. Performanța a fost calculată pe baza datelor meteorologice măsurate la diferite locații situate în Sahara și în regiunile de coastă din Algeria. S-a raportat că pomparea medie și eficiența totală a pompei volumetrică (cu decalare pozitivă) sunt mai mari pentru o gamă largă de înalțimi totale față de pompele centrifuge. Pierderile medii de energie ale pompelor volumetrică sunt mai mici decât ale pompelor centrifuge, în special pentru înalțimi totale mari. Volumul mediu de apă pompată de pompe volumetrică este mai mare.

CAPITOLUL 4

ENERGIA SOLARĂ, SURSĂ DE ENERGIE FOTVOLTAICĂ PENTRU POMPAREA APEI LA IRIGAȚII

4.1. Tipuri de energii regenerabile

În prima parte a existenței omenirii consumul de energie s-a bazat în principal pe fluxul energetic continuu (resurse energetice nepuizabile) și numai în ultimii 150-200 de ani au început să fie folosite instalații de ardere care utilizează combustibilii fosili (resurse energetice epuizabile).

Prima criză energetică mondială, ale cărei efecte majore s-au făcut simțite în perioada 1970 - 1980, a constituit și primul semnal serios de alarmă, demonstrând odată în plus, că sursele de energie fosile epuizabile. În această categorie sunt cuprinși combustibilii precum cărbunele, petrolul, gazele naturale, șisturile bituminoase, etc. - precum și combustibilii nucleari fisionabili. De asemenea este cunoscut faptul că, pe lângă costurile directe substanțiale - economice și de securitate - asociate cu energia convențională există costuri ecologice suplimentare ale producerii și utilizării acesteia care includ: distrugerii cauzate de extragerea resurselor, poluarea aerului, a solului, a apei și pierderea biodiversității. Energia convențională pretinde cantități considerabile de apă proaspătă, mineritul și forajele afectează modul de viață și însăși existența unor populații din întreaga lume.

Comisia Interguvernamentală privind Schimbările Climatice, formată din 2000 de oameni de știință și economiști din întreaga lume, are rolul de consiliere a Națiunilor Unite în problema schimbărilor climatice. Comisia a ajuns la concluzia că, emisiile de dioxid de carbon vor trebui reduse cu cel puțin 70 % în următorii 100 de ani pentru a se putea stabili concentrația de dioxid de carbon în atmosferă la 450 ppm, adică la o valoare cu 60% mai mare decât cea existentă în epoca preindustrială.

Peste 80% din emisiile de CO₂ sunt de origine antropogenă, rezultând din arderea combustibililor fosili. Reducerile preconizate nu se vor putea realiza numai prin îmbunătățirea semnificativă și rapidă a eficienței energetice ci mai este necesară o comutare masivă către sursele regenerabile de energie.

Sursele de energie regenerabile, cunoscute și cu denumirea de surse neconvenționale, prin comparație cu cele fosile sau convenționale, sunt practic nepuizabile și mult mai *curate*, fiind deloc, sau mult mai puțin poluante decât cele clasice. În această categorie sunt plasate uzual energia solară, energia hidroelectrică (ape curgătoare, valuri, maree, curenți), energia vântului, biomasa și energia geotermică.

Specialiștii consideră că în prezent trăim o etapă de tranziție, caracterizată generic de cei trei I: Instabilitate energetică - Inegalitate - Incertitudine. Agenția Internațională pentru energie consideră că lumea se află în primele faze ale unei tranziții inevitabile spre un sistem energetic durabil, care va fi în mare măsură dependent de surse regenerabile. Această declarație este cu atât mai îndrăzneată cu cât organizația arată că unele regiuni ale globului precum America de Nord,

Europa și Japonia sunt dependente de combustibilii fosili. După un studiu de un deceniu, cercetătorii americani și europeni au calculat că, numai costurile ecologice și de sănătate (denumite generic și costuri externe) asociate cu energia convențională, sunt echivalente cu 1-2% din PIB-ul Uniunii Europene, prețul plătit pentru energia convențională fiind semnificativ mai mic decât costurile sale totale.

Datorită potențialului energetic important pe care-l dețin, sursele de energie regenerabile oferă disponibilități nelimitate de utilizare atât pe plan local cât și național. Se poate obține astfel creșterea semnificativă a siguranței în alimentarea cu energie a consumatorilor, în condițiile integrării rețelelor electrice Europene, cu asigurarea unei dezvoltări economice durabile. Sursele de energie regenerabilă pot să contribuie prioritar la satisfacerea nevoilor curente de energie electrică și termică într-o serie de zone îndepărtate de rețeaua electrică și, de asemenea, pot fi valorificate pe piața de energie prin adoptarea și punerea în practică a unor politici și instrumente specifice.

În condițiile geografice și climatice specifice României, în balanța energetică pe termen mediu și lung pot fi luate în considerare următoarele tipuri de surse regenerabile: energia solară, energia eoliană, energia hidro, biomasa și energia geotermală. În prezent, România obține cea mai mare parte a energiei provenite din surse regenerabile, din resurse hidroenergetice, vânt și solar. Programul de utilizare a surselor de energie regenerabile se înscrie în cerințele de mediu asumate prin Protocolul de la Kyoto la Convenția-Cadru a Națiunilor Unite asupra schimbărilor climatice, adoptat la 11 decembrie 1997, ratificat și de România prin Legea nr. 3/2001, respectiv de Uniunea Europeană în baza Documentului 2002/358/CE. Siguranța alimentării cu energie a consumatorilor din statele membre ale Uniunii Europene este susținută în condițiile liberalizării pieței de energie și în conformitate cu cerința imperativă de atenuare a impactului creșterii consumului de energie asupra mediului înconjurător.

Energia hidroelectrică (grupuri de mică și mare putere). În România, conform studiilor efectuate la nivelul anului 1998 de către institutul de specialitate (ISPH), potențialul tehnic amenajabil al râurilor este de circa 36.5 TWh/an (la care s-ar adăuga potențialul micro-hidro, evaluat la cca 4,0 TWh/an). Din acesta, circa 11.6 TWh/an reprezintă potențialul ce revine Dunării și 24.9 TWh/an râurilor interioare, fiind considerat potențial amenajabil în proporție de 96% (35.1 TWh/an), în centrale cu puteri instalate de peste 3.6 MW.

Astăzi, potențialul economic amenajat este de 34.5 GWh/an, corespunzător unei puteri instalate de aproape 11400 MW. Totodată, energia produsă în microhidrocentrale (MHC), având puteri de max. 10 MW/unitate, este estimată la 3000 GWh/an.

Energia eoliană. În sectorul eolian din România au investit CEZ (Cehia), ENEL (Italia), Energias de Portugal (Portugalia) și Iberdrola Renovables (Spania). CEZ a instalat 115 turbine la Fântânele, județul Constanța, 90 dintre ele fiind deja legate la rețeaua națională de energie electrică. Eolienele au cca 100 m înălțime. Turbinele pentru parcul eolian construit de CEZ sunt livrate de către gigantul industrial american General Electric. Energias de Portugal (Portugalia), al treilea cel mai mare investitor în energie eoliană la nivel mondial, a terminat construcția unui parc eolian de 69 MW la Cernavodă, în mai 2011. Energia poate alimenta 70 000 de gospodării și a costat 200 milioane de dolari. La această dată în Dobrogea sunt construite deja parcuri eoliene care însumează 600MW.

Dacă în 2009 resursa eoliană însuma o capacitate de numai 14 MW instalați, în 2010 capacitatea centralelor eoliene au ajuns la 462 MW. România a ajuns în 2011 la 850 MW instalați (adică o putere mai mare decât cea a unui reactor nuclear

de la Cernavodă). În România, la începutul anului 2012, există peste 1000 de turbine eoliene care produc 3% din totalul de energie. Eolienele din România produc, în medie 150 - 200 de megawați-oră. Costul energie eoliene este de 170 de euro pe megawatt/oră, de aproape trei ori mai mult față de energia produsă de hidrocentrale.

Pe baza evaluării și interpretării datelor înregistrate, în România se pot monta instalații eoliene cu o capacitate de până la 14 000 MW, ceea ce înseamnă un aport de energie electrică de aproape 23 000 GWh/an. Potrivit unui studiu al Erste Group, potențialul eolian al țării, estimat la 14.000 de MW, este cel mai mare din sud-estul Europei și al doilea din Europa

Biomasa. Se apreciază că România deține un potențial energetic ridicat de biomasă evaluat la nivelul anului 2000 ca reprezentând 19 - 20% din consumul total de resurse primare. Acest potențial de biomasă se repartizează pe diverse categorii de combustibil, după cum urmează: (a) reziduuri din exploatarea forestieră și lemn de foc 1175 mii tep (49,2x10⁹ MJ/an); (b) deșeuri de lemn, rumeguș și alteresturi de lemn 487 mii tep (20,4x10⁹ MJ/an); (c) deșeuri agricole rezultate din cereale, tulpini de porumb, resturi vegetale de viță de vie și altele 4799 mii tep (201x10⁹ MJ/an); (d) biogaz 588 mii tep (24,6x10⁹ MJ/an); (e) deșeuri și reziduuri menajere urbane 545 mii tep (22,8x10⁹ MJ/an). Energia rezultată din valorificarea biomasei deține ponderi diferite în balanța resurselor primare în funcție de tipul de deșeuri utilizate sau de destinația consumului final.

Energia geotermală. Termenul de energie geotermală desemnează, în sens larg, căldura naturală a pământului, înmagazinată în primii 10 km ai scoarței terestre. Existența energiei acumulate în scoarța terestră este pusă în evidență prin creșterea progresivă a temperaturii solului cu adâncimea. Fenomenul este denumit gradient geotermic vertical (*Gt*). Valoarea medie pe glob a gradientului geotermic a fost estimată de specialiști la circa 3°C/100 m. Inversa gradientului geotermic (1/*Gt*) este denumită treaptă geotermică semnifică, reprezentând intervalul de adâncime din interiorul scoarței terestre pentru care temperatura solului (și a fluidelor care îl străbat) crește cu un grad. Treapta geotermică se exprimă prin urmare în m/°C. Valoarea treptei geotermice medii este prin urmare de 33 m/°C, corespunzătoare gradientului mediu de 3°C/100 m.

Originea energiei geotermice se află atât în sursele interne ale scoarței terestre precum: radioactivitatea naturală a rocilor, reacții chimice însoțite de degajări de căldură, dar și în alte surse externe: radiația solară acumulată în mantaua terestră, mările, radiația cosmică.

Geotermia este un termen format prin asocierea cuvintelor grecești "ge"-pământ și respectiv "therme"- căldură și desemnează domeniul științific care se ocupă cu studiul posibilităților de captare și utilizare practică a căldurii pământului, distribuția geografică a resurselor de energie geotermală, mai exact a acelei părți din căldura pământului care poate fi exploatată de către om. Printre primele documente oficiale elaborate în UE (la nivelul anului 1997) vizând direct problematica utilizării resurselor geotermale atât în țările UE este studiul intitulat „Blue book” on Geothermal resources. În cadrul studiului specialiștii europeni în energii regenerabile au arătat că producerea energiei termice din surse geotermale este cu mult mai eficientă decât energia produsă din orice altă sursă regenerabilă, datorită faptului că energia geotermală nu are impact negativ asupra mediului, fiind mult mai ieftină în comparație cu alte surse.

Energia solară. Potențialul energetic solar rezultă din cantitatea medie de energie provenită din radiația solară incidentă (în plan orizontal) care, în România, este de aproximativ 1100 kWh/m²/an. Pe baza datelor medii multianuale înregistrate

și corelate cu observații și măsurători fizice efectuate pe teren de instituții specializate, în România s-au identificat cinci zone geografice, diferențiate în funcție de nivelul fluxului energetic măsurat:

Zona	Potențial energetic solar înregistrat:
0	peste 1250 kWh/m ² /an
I	1250 kWh/m ² -an - 1150 kWh/m ² /an
II	1150 kWh/m ² -an - 1050 kWh/m ² /an
III	1050 kWh/m ² -an - 950 kWh/m ² /an
IV	sub 950 kWh/m ² /an

Distribuția geografică a potențialului energetic solar relevă cămăimult de jumătate din suprafața României beneficiază de un flux cuprins între 1000 kWh/m²/an și 1300 kWh/m²/an.

Aportul energetic al sistemelor termo-solare la necesarul de căldură și apă caldă menajeră din România este evaluat la circa 1400-1500 mii tep (60 PJ/an), ceea ce ar putea substitui aproximativ 50% din volumul de apă caldă menajeră sau 15% din cota de energie termică pentru încălzirea curentă. Utilitatea sistemelor solare - termice s-a probat în primul rând în aplicații orientate pentru prepararea apei calde menajere din locuințe individuale. Captatoarele solare termice, pot să funcționeze cu eficiență ridicată, în regim hibrid cu alte sisteme termice convenționale sau neconvenționale. Sistemele solare pasive sunt încorporate, de regulă, în anvelopa clădirii, iar cea mai mare parte a materialelor de construcție folosite sunt de tip convențional.

Cea mai importantă formă de utilizare a energiei solare este conversia fotovoltaică, fenomen prin care energia luminii este convertită în energie electrică. Este un fenomen asemănător fotosintezei prin care plantele convertesc energia luminii în energie chimică stocată sub formă de glucoză. În prezent centralele fotovoltaice, în acestea au cunoscut o dezvoltare semnificativă în România, în ultimii ani, ajungându-se de la o capacitate totală instalată de 2MW la începutul anului 2012 [75], (Iacobescu și Bădescu, 2012), la o capacitate totală de 1300 MW la începutul anului 2016 (Transelectrica 2016). Așadar, capacitatea totală a centralelor fotovoltaice puse în funcțiune în România egalează capacitatea totală instalată a centralei nucleare de la Cernavodă. Astfel centralele fotovoltaice au asigurat în anul 2015 aproximativ 3.5% din consumul de energie electrică din România.

Următoarele două secțiuni ale tezei sunt dedicate introducerii noțiunilor de energie solară și conversie fotovoltaică.

4.2. Energia solară

Radiația solară este o radiație electromagnetică emisă de Soare, plasată în domeniul spectral cuprins între cel a razelor X și cel a undelor radio. Aplicațiile terestre ale energiei obținute utilizând radiația solară se bazează, pe radiația denumită generic "radiație optică", cu un domeniu spectral cuprins între 0.3 și 4 μm. Măsurătorile de bandă largă în acest domeniu sunt cele mai des întâlnite și, în cele ce urmează, discuția va fi focalizată asupra lor. În figura 4.1 este reprezentat spectrul solar extraterestru la mijlocul distanței Pământ – Soare, cu detalii suplimentare pentru radiațiile din domeniul ultraviolet, cu lungimea de undă sub 0.4 μm.

Determinarea spectrului solar extraterestru a evoluat de-a lungul timpului [66] (Gueymard and Myers 2008), având la bază măsurătorile provenite de la stațiile terestre, sateliții și modelarea matematică. Spectrul solar extraterestru reprezentat la rezoluție scăzută în figura 2.1. este suficient pentru cele mai multe dintre aplicațiile energiei solare. Este un spectru complex, ridicat cu date provenite

din toate tipurile de surse menționate mai sus, fiecare cu importanța sa. Colecția de date este disponibilă online: <http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am0/>.

Integrarea după lungimea de undă a spectrului solar extraterestru (de la 0 la ∞) este cunoscută ca și *constanta solară* sau spectrul AM0. Asupra acestor noțiuni se va reveni cu detalii în capitolul §5, atunci când sunt discutate metode de estimare a radiației solare. Întrucât fluxul solar nu este constant ci variază ușor pe perioade scurte (zilnic) sau lungi (ani) (Frölich, 1998), în ultimii ani, pentru constanta solară a fost introdus un nume mult mai potrivit și anume *iradianța solară totală* (Total Solar Irradiance- TSI). Începând cu anul 1978, variațiile TSI au fost monitorizate din spațiu cu radiometre de bandă largă. Precizia acestor instrumente este cu cel puțin un ordin de mărime mai mare decât cea a instrumentelor folosite la măsurarea distribuției spectrale a radiației solare extraterestre. Din acest motiv, iradierea solară totală este mai precis cunoscută decât detaliile sale spectrale, reprezentate în figura 4.1.

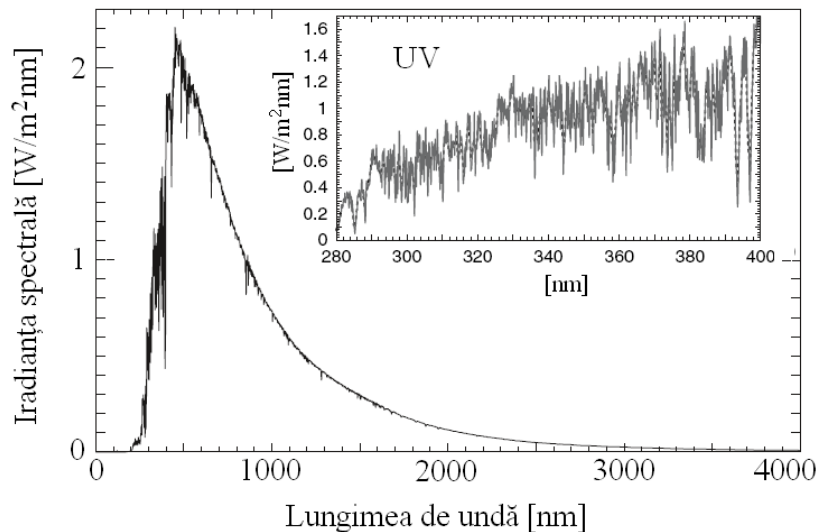


Fig. 4.1 Spectrul solar extraterestru în domeniul lungimilor de undă scurte la rezoluție scăzută. Structura fină a spectrului în UV este prezentată în detaliul inclus [66] (după Gueymard and Myers, 2008).

Într-un ciclu caracteristic solar de 11 ani, se constată o variație de aproximativ $\pm 1 \text{ W/m}^2$ a constantei solare. Au fost observate variații pe termen scurt mai mari, de aproximativ $\pm 4 \text{ W/m}^2$. Aceste variații sunt datorate petelor solare, exploziilor solare și altor fenomene. Cea mai bună estimare actuală a mediei iradianței solare totale, bazată pe date obținute timp de 25 de ani, este de 1366.1 W/m^2 [67] (Gueymard, 2004). Abaterile zilnice sau anuale cuprinse între și $0.1 \div 0.2 \%$ sunt mici comparativ cu celelalte incertitudini legate de măsurarea sau modelarea radiației solare și prin urmare, în general nu sunt luate în considerare în aplicațiile terestre.

Distribuția spectrală a iradianței solare extraterestre reprezentată grafic în figura 3.1 este modificată și separată într-o varietate de componente la trecerea prin diferitele straturi ale atmosferei Pământului.

Știința care se ocupă cu măsurarea radiației electromagnetice provenite de la Soare poartă numele de radiometrie. Din punct de vedere istoric, aparate simple au fost folosite vreme îndelungată pentru a evalua durata de strălucire a soarelui pe cer în raport cu durata zilei. Mai târziu au fost proiectate și realizate diferite instrumente radiometrice pentru a măsura componentele specifice radiației solare terestre, așa cum se va arăta în acest capitol.

Radiometrele sunt constituite din: detectorul de radiație și circuitele electronice asamblate în așa numitul corp al instrumentului. Pentru instrumentele al căror scop principal este de a măsura radiații cu lungimi de undă scurte, detectorii sunt de trei tipuri: termopile, materiale absorbante *perfecte* și materiale semiconductoare. Detectoarele au un răspuns spectral cunoscut la radiația incidentă.

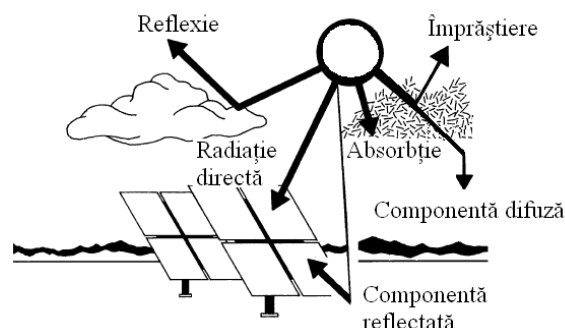


Fig. 4.2. Separarea radiației solare în interacțiune cu atmosfera și solul

În general, detectorul este protejat de acțiunile mediului înconjurător cu diferite tipuri de *ferestre optice*, care pot fi transparente (sticlă, cuarț), colorate (filtre de interferență) sau translucide (sticla mată). Selectivitatea spectrală a ferestrei optice determină domeniul spectral în care măsoară instrumentul.

4.2.1. Componentele radiației solare în atmosferă

De pe Pământ discul solar se vede sub un unghi solid cu valoarea medie de 0.5° . Datorită faptului că orbita pământului este eliptică, distanța de la pământ la soare variază de-a lungul unui an cu 1.7%, rezultând o variație de 3.4% în intensitatea radiației solare la limita superioară a atmosferei. Așadar, Soarele se comportă ca o sursă aproape punctuală, iluminând Pământul cu raze aproape paralele. Acest fascicol cvasi-colimat constituie radiația solară extraterestră directă sau, pe scurt, radiația extraterestră (ETR – Extraterrestrial Radiation).

În timp ce fascicolul ETR traversează atmosfera, interacțiunea fotonilor cu gazul atmosferic are loc prin două procese: absorbția și împrăștierea fotonilor în afara fascicolului în direcții aleatoare. Fotonii împrăștiați (cei mai mulți cu lungimi de undă scurte) produc radiația difuză. Fotonii rămași în fascicol, fără a suferi împrăștiere, încă aproape colimați, constituie fasciculul de radiație directă, printre altele, responsabilă de formarea umbrelor. Fluxul total de radiație incident pe o suprafață orizontală rezultat din *însurarea* radiației difuze și directe este denumit *radiație globală*. Termenul global provine din faptul că radiația incidentă pe o suprafață orizontală provine de la întreaga boltă, adică dintr-un unghi solid egal cu 2π . Diferența dintre radiația globală la nivelul solului și radiația la limita superioară a

atmosferei constă în cantitățile absorbite și reflectate de atmosferă. În medie, Pământul reflectă înapoi în spațiu, aproximativ 29% din radiația solară incidentă.

Radiația solară totală incidentă pe o suprafață care nu este amplasată orizontal, este *suma* dintre radiația directă, difuză și radiația reflectată de sol. Figura 3.2 ilustrează diferitele componente ale radiației solare. Întrucât înălțarea soarelui pe cer se modifică continuu pe parcursul unei zile, unghiul de incidență a razelor solare din fasciculul direct se modifică, de asemenea, continuu. Legea cosinusului al lui Lambert spune că fluxul determinat de un fascicol de raze colimate pe o suprafață plană este direct proporțional cu cosinusul unghiului de incidență al fasciculului în raport cu suprafața respectivă. Astfel, apare necesitatea de a exprima mai precis componentele radiației solare și relația dintre ele.

În energia solară, la nivelul solului principalele mărimi ce caracterizează radiația solară sunt definite astfel:

- G [W/m^2] -Iradianța solară globală, reprezintă energia solară totală incidentă într-o secundă pe o suprafață unitară, orizontală.
- G_b [W/m^2] -Iradianța solară direct-normală, reprezintă energia solară provenind din unghiul solid sub care se vede discul solar, incidentă în unitatea de timp pe o suprafață unitară normală la direcția soarelui.
- G_d [W/m^2] -Iradianța solară difuză, reprezintă energia solară difuzată de întreaga suprafață vizibilă a cerului, receptată la nivelul solului pe o suprafață orizontală, unitară, în unitatea de timp.

În figura 4.3 sunt reprezentate principalele unghiuri folosite pentru a indica poziția soarelui pe cer și orientarea unei suprafețe colectoare de energie solară.

Pentru un unghi de înălțare a soarelui pe cer h , între componentele iradianței solare există următoarea legătură:

$$G = G_D \sin h + G_d \quad (2.1)$$

Ecuția (2.1) este fundamentală pentru calibrarea instrumentelor de măsurare a radiației solare. Pentru o suprafață orientată într-o direcție oarecare, alta decât cea orizontală, ecuația (2.1) se rescrie astfel :

$$G_t = G_b \cos \theta + G_d + G_R \quad (2.2)$$

θ este unghiul de incidență a fasciculului direct pe suprafața colectoare, iar G_R componenta reflectată de sol.

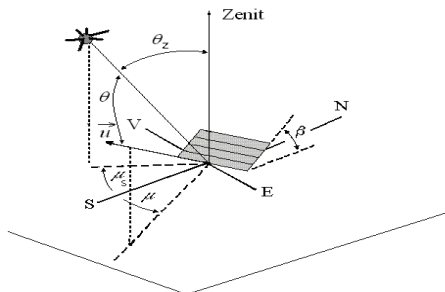


Fig. 4.3. Coordonate pentru Soare și orientarea unei suprafețe terestre.

N - S indică direcția nord-sud. Unghiul zenital, θ_z , este unghiul dintre direcția razelor Soarelui și zenit. Complementul său, unghiul de înălțarea a Soarelui h este unghiul dintre direcția razelor soarelui și planul orizontal. Unghiul azimutul μ_S este unghiul dintre planul meridian al punctului de observație și planul vertical ce conține direcția zenitală, traversat de Soare. Se măsoară în sens retrograd față de direcția N - S. Cu β este notat unghiul de înclinare a suprafeței colectoare în raport cu planul orizontal iar μ_i tot un unghi azimutal, indică orientarea suprafeței în raport cu axa N - S. θ este unghiul de incidență a fasciculului de radiație solară directă pe suprafața colectoare, adică unghiul dintre direcția soarelui și normala \vec{u} la suprafața colectoare [122] (după Paulescu et al. 2013)

Dacă în locul unității de timp se consideră o perioadă determinată - oră, zi, lună sau an - în care se calculează energia solară incidentă pe o suprafață unitară a Pământului, componentele iradierii solare se definesc la fel. Păstrând notațiile pentru indici, se notează cu H_D componenta directă, cu H_d componenta difuză iar suma $H = H_D + H_d$ va reprezenta iradierea solară globală. Matematic, iradierea solară se definește ca suma după timp a valorilor iradianței solare înregistrate în intervalul (t_1 , t_2), adică:

$$H = \int_{t_1}^{t_2} G(t) dt \quad (2.3)$$

unde t_1 și t_2 reprezintă reperele intervalului temporal considerat. În SI iradierea solară se măsoară în J/m^2 , iar uzual în KWh/m^2 .

Pentru cunoașterea completă a energiei solare care poate fi colectată într-o locație geografică, pe lângă mărimile caracteristice radiației solare definite mai sus, componentele iradianței și iradierii, în plus se măsoară și durata de insolație. Fiecare dintre aceste mărimi se măsoară cu metode și aparate specifice. Metodele de măsurare sunt numai aparent simple, implementarea lor tehnică întâmpină adesea numeroase dificultăți. Temperatura ambiantă (senzorii sunt plasați în exterior, unde temperatura lor poate varia între $-30^\circ C$ și $+80^\circ C$), vântul, ploaia, nebulozitatea sunt factori care influențează măsurătorile. Eliminarea acestor perturbații face proiectarea și construcția instrumentelor dificilă.

4.2.1. Măsurarea radiației solare

Întrucât bazele de date rezultate din monitorizarea radiației solare sunt folosite pentru perfecționarea modelelor de radiație solară, vor fi luate în discuție aspectele esențiale ale radiației solare, componentele radiației solare în atmosfera terestră și aparatele folosite pentru măsurarea acestor componente. Precizia acestor măsurători depinde de cât de performante sunt instrumentele, de tehnicile de calibrare și de verificarea periodică a acestora.

Măsurarea duratei de strălucire a soarelui pe cer. Modul cel mai obiectiv de definire a duratei efective de strălucire a Soarelui pe cer, constă în determinarea timpului în care densitatea fluxului solar direct este superioară unei anumite valori, unice, stabilită prin convenție internațională. Constanta acceptată astăzi pe plan internațional a fost fixată în 1982 de către Organizația Mondială a Meteorologiei, la $120 W/m^2$ (WMO, 1983).

Aparatele cu care se măsoară durata efectivă de strălucire a soarelui se numesc heliografe. Există două părți comune tuturor heliografelor: traductorul care are rol de a sesiza pragul radiației directe la $120 W/m^2$ și sistemul de înregistrare a

timpului. Principiile care stau la baza construcției și funcționării acestora sunt foarte variate.

Heligraful Campbell-Stokes reprezentat în figura 4.4, echipează majoritatea stațiilor meteorologice care fac măsurători ale duratei efective de strălucire a soarelui pe cer. Principiul de funcționare a heliografului Campbell-Stokes constă în concentrarea radiației solare directe cu o sferă de sticlă pe un carton special. Rezultatul este o arsură, o înnegrire sau o decolorare a cartonului în funcție de substanța activă cu care este impregnat. Lungimea urmei lăsată este proporțională cu durata efectivă de strălucire a Soarelui.

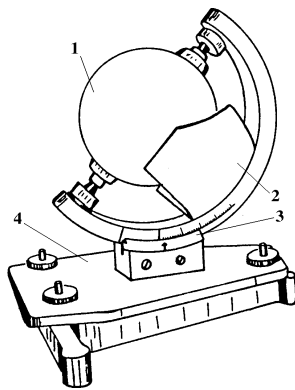


Fig. 4.4 (a) Heliograf Campbell-Stokes: (1) Sferă de sticlă.; (2) Suport pentru hârtia de înregistrare; (3) Suport cu mecanism de orientare după traiectoria Soarelui pe cer; (4) Suport cu reglaj al orizontalității; b. Fotografie a unui heliograf Campbell-Stokes [119] (după Paulescu et al. 2008)

Neajunsurile metodei Campbell-Stokes sunt: diametrul deloc de neglijat al urmei lăsată de spotul luminos, inerția mare (mai mult de un minut), subiectivitatea factorului uman în decriptarea benzii, factori care determină erori în valoare absolută de ordinul minutelor sau chiar mai mult. În figura 4.4.b. este prezentată fotografia unui heliograf Campbell-Stokes modern.

O altă metodă de măsurare a duratei de strălucire a soarelui pe cer este metoda pyranometrică. În această metodă se sumează timpul cât iradianța solară direct-normală este mai mare de 120W/m^2 . Iradianța direct-normală poate fi măsurată direct sau calculată din măsurători ale iradianțelor globale și difuză (relația 2.1). În această lucrare durata de strălucire a soarelui pe cer a fost calculată folosind metoda pyranometrică și măsurători ale iradianțelor globale și difuză.

Măsurarea iradianței solare. Detectarea radiației optice se face cel mai des prin conversia fluxului optic într-un semnal electric ce poate fi măsurat prin tehnici convenționale. Principalele fenomene fizice implicate în conversia fluxului optic în semnal electric sunt: efectul termic (variația temperaturii elementului de detectare pe seama absorbției radiației incidente) și efectul fotoelectric (generarea de purtători de sarcină mobili într-un semiconductor în urma absorbției fotonilor).

Instrumentele de măsură a fluxului solar bazate pe fotodectoare cu semiconductoare, sunt mai rar folosite datorită limitărilor introduse de caracterul spectral al absorbției materialelor semiconductoare. De aceea, în cele ce urmează este tratată numai metoda receptorului termic, metodă pe care se bazează majoritatea instrumentelor actuale de măsură.

Principiul de măsurare a irradiației solare este următorul [119] Paulescu et al. 2008. Numim receptor termic un corp de masă m și căldură specifică C , a cărui suprafață expusă radiației optice este S . Fie α coeficientul de absorbție al acestui corp. Dacă notăm $G(\lambda)$ densitatea fluxului incident, energia incidentă pe suprafața receptorului în intervalul de timp dt , este egală cu:

$$\left[\int_0^{\infty} G(\lambda) d\lambda \right] S dt = GS dt \quad (2.4)$$

iar energia captată de corp este: $\alpha GS dt$. O parte din această energie servește la ridicarea temperaturii receptorului, în timp ce restul de energie este disipată în mediul ambiant prin conducție, convecție și radiație.

În intervalul de timp dt , în urma schimbului de căldură $mCdT$, variația temperaturii receptorului este egală cu dT .

Dacă T_a este temperatura ambiantă și diferența $T - T_a$ nu este prea mare, în intervalul de timp dt energia cedată mediului exterior prin convecție va fi $k(T - T_a)dt$. Constanta k depinde de forma receptorului și de mediul ambiant în care este așezat. Studii detaliate au arătat că, în realitate, k este o funcție complicată de T și T_a , dar, de cele mai multe ori, se consideră că relația este suficient de precisă dacă se consideră k constant. Pierderile termice prin radiație sunt exprimate prin ecuația $\varepsilon S \sigma_{ST} (T^4 - \gamma T_a^4) dt$, unde ε este emisivitatea receptorului, σ_{ST} este constanta Stefan-Boltzmann, iar γ un coeficient care modelează energia radiată de corp și care, datorită reflexiilor fotonilor pe suprafețe ale mediului exterior, revine pe suprafața receptorului. Valoarea lui γ depinde de geometria receptorului și de mediul în care se află acesta. Pierderile prin radiație termică sunt însă foarte mici și, în primă aproximație, pot fi neglijate în expresia de bilanț termic:

$$GS\alpha dt = mC dT + k(T - T_a) dt \quad (2.5)$$

care integrată prin metoda separării variabilelor, admite o soluție de forma:

$$GS\alpha - k(T - T_a) = A e^{-\frac{kt}{mC}} \quad (2.6)$$

Din condiția inițială, la momentul $t = 0$, când receptorul este la temperatura ambiantă $T = T_a$, se determină constanta de integrare: $A = GS\alpha$. Se obține, astfel, ecuația care descrie temperatura receptorului în funcție de timp:

$$T = T_a + \frac{GS\alpha}{k} \left[1 - e^{-\frac{kt}{mC}} \right] \quad (2.7)$$

Pentru un flux de radiație incident constant, temperatura de echilibru a receptorului va fi atinsă după un timp suficient de lung ($t \rightarrow \infty$) și va fi egală cu:

$$T_m = T_a + \frac{GS\alpha}{k} \quad (2.8)$$

Aparent relația (2.8) arată că temperatura de echilibru T_m este cu atât mai mare cu cât suprafața receptorului, S , este mai mare. Experiența arată că pentru o placă metalică subțire $k(S)$ este o funcție liniară. Durata de stabilire a echilibrului termic $\tau = mC/k$ trebuie să fie cât mai mică pentru a putea face cât mai multe măsurători într-un interval de timp dat. Pentru a diminua timpul de atingere a echilibrului, trebuie redusă valoarea produsului mC , deoarece o creștere a constantei k nu este potrivită pentru îmbunătățirea timpului în care sistemul atinge starea staționară, deoarece reduce diferența $T_m - T_a$.

După atingerea stării de echilibru, caracterizată de temperatura T_m , să presupunem că se suprimă fluxul direct. Ecuația de bilanț termic (2.4) devine:

$$0 = mC dT + k(T - T_a)dt \quad (2.9)$$

cu o soluție de forma:

$$T = T_a + A'e^{-\frac{kt}{mC}} \quad (2.10)$$

Constanta A' se calculează din condiția inițială: la $t = 0$, $T = T_m$ și rezultă:

$$T = T_a + \frac{GS\alpha}{k} e^{-\frac{kt}{mC}} \quad (2.11)$$

Rezultatul arată că sistemul revine în aceeași stare inițială $T = T_a$ după un timp suficient de lung de la încetarea iluminării.

Studiul curbei de răcire a receptorului în coordonate semilogaritmice, permite determinarea raportului k/mC . Calculând C din măsurători de calorimetrie se poate determina constanta k .

Relația de echilibru (2.8) arată o legătură liniară între temperatura de echilibru a receptorului și densitatea fluxului optic, G . Aceasta este o ecuație de principiu pentru măsurarea densității fluxului de radiație solară.

Pyranometre. Pyranometrele sunt instrumente care măsoară densitatea fluxului solar global. Spre deosebire de pyrholiometre, unghiul solid de incidență a radiației solare este extins la 2π , principiul de măsură rămânând neschimbat. Cuvântul pyranometru provine din limba gracă: *pyr-foc, ana-desupra, metron-măsură*: măsura focului de deasupra.

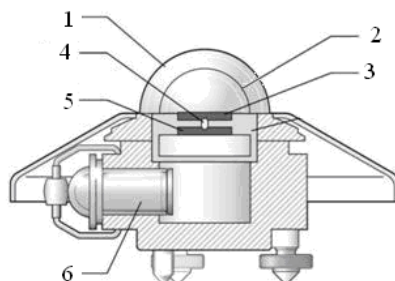


Fig. 4.5 Vedere în secțiune a pyranometrului Kipp CM11 (<http://www.kippzonen.com>): (1), (2) Cupole de sticlă; (3) Traductor; (4) Termistor; (5) Element de compensare; (6) Silicagel. [119] (Paulescu et al. 2008a)



a.



b.

Fig. 4.6 a. Pyranometru prevăzut cu disc de limitare a aperturii de intrare la 2π sr; b. Pyranometru umbrit cu o bandă din fibră de sticlă înregistrează radiația difuză.



Fig. 4.7. Platforma Solară de la Universitatea de Vest din Timișoara. (a) Pyranometru orientat spre sud-vest și înclinat cu 45° față de planul orizontal; (b) Dublu pyranometru pentru măsurarea radiației globale și reflectate (<http://solar.physics.uvt.ro>)

Pyranometrele actuale care echipează majoritatea stațiilor meteorologice sunt diferite variante constructive ale pyranometrului Kipp prezentat în figura 4.5. În esență, acesta constă dintr-un ansamblu de termocuple, amplasate orizontal pe un suport metalic sub două cupole semisferice fabricate dintr-un material

transparent în domeniul spectral al radiației solare, de cele mai multe ori sticlă optică.

Pentru a delimita unghiul solid de 2π steradiani sub care este măsurată radiația, în jurul cupolelor este plasat un ecran orizontal ca în figura 4.6a. Cu acest instrument se poate măsura și componenta difuză, dacă suprafața sensibilă a aparatului este umbrită cu o bandă metalică orientată în planul traiectoriei aparente a soarelui pe cer, ca în figura 4.6b. Este clar că orientarea benzii trebuie ajustată zilnic în funcție de înălțarea traiectoriei Soarelui pe cer.

De obicei, stațiile meteorologice folosesc două pyranometre, unul care măsoară iradianța solară globală și altul pentru iradianța solară difuză, racordate la un sistem de înregistrare automat. De asemenea, pentru măsurarea componentei reflectate a radiației se utilizează un pyranometru orientat spre sol. În figura 4.7 sunt prezentate imagini ale pyranometrelor care echipează Platforma Solară a Universității de Vest din Timișoara.

4.2.2. Resurse energetice solare în zona Banatului

O condiție imperativă pentru dimensionarea corectă a sistemelor solare fotovoltaice, inclusive cele de pompare a apei, este cunoașterea cantității de energie solară colectabilă [122] (Paulescu et al. 2013). O cunoaștere completă a energiei solare disponibile într-o locație nu înseamnă numai caracterizarea sa prin valoarea totală, dar, de asemenea, cunoașterea repartiției temporal și a naturii acesteia (directă sau difuză). Cele mai multe țări au creat rețele de măsurare a radiațiilor solare, dar investițiile și costurile de întreținere pentru fiecare stație radiometrică nu sunt deloc neglijabile. De cele mai multe ori, o rețea națională este formată dintr-un număr relativ mic de stații radiometrice, chiar și în țările industrializate. Desigur, numărul de stații cuprinse în fiecare rețea și calitatea măsurătorilor variază de la o rețea la alta. În general, iradierea solară globală și durata de strălucire a soarelui sunt disponibile în sume zilnice sau ca valori medii lunare.

În prezent există mai multe deficiențe asociate bazelor de date radiometrice [68] (Gueymard 2014). Numărul de stații radiometrice este prea mic pentru a realiza o acoperire globală corectă. În consecință, interpolarea și extrapolarea datelor disponibile sunt metodele utilizate pentru estimarea radiației solare în fiecare punct de pe glob [9] (Bădescu et al. 2012). Bazele de date stochează date în diverse formate și cu eșantionări temporal diferite. Astfel, uneori chiar accesarea datelor și interpretarea lor corectă este o sarcină dificilă. Diferite baze de date dau valori diferite pentru aceeași cantitate radiometrică măsurată în același loc și în același timp. Incertitudinea prezentă în datele radiometrice disponibile pentru Câmpia Banatului este analizată în continuare. Cele douăsprezece valorile medii lunare ale iradierii solare globale reprezintă cele mai accesibile informații, fiind disponibile pe scară largă și, în următorii ani este posibil ca situația să nu se schimbe. Scopul studiului prezentat în acest capitol este de a evalua fiabilitatea seturilor de date furnizate de diferite surse pentru regiunea de câmpie a Banatului. Pentru aceasta, valorile medii lunare ale iradierii solare globale furnizate de către cinci baze de date internaționale pentru Timișoara sunt evaluate și comparate:

1. *World Radiation Data Center (WRDC)* (<http://wrdc.mgo.rssi.ru/>). WRDC colectează date de la cea mai mare rețea de monitorizare a radiației solare, dezvoltată în interiorul Organizației Mondiale de Meteorologie; Centrul WRDC este situat la Main Geophysical Observatory Sankt-Petersburg, Rusia și servește drept depozit central pentru datele de radiație solară colectate de la peste 1000 de stații terestre de măsurare din întreaga lume. WRDC colectează valori măsurate zilnic ale componentelor iradierii solare și duratei de strălucire a soarelui pe cer cu

control al calității efectuat. WRDC efectuează un control al calității suplimentar și, dacă este cazul, solicită de la stații informații în vederea asigurării calității globale a seturilor de date furnizate către public.

2. *Photovoltaic Geographical Information System (PV-GIS):* <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>. PV-GIS este un instrument de cercetare pentru evaluarea resurselor solare în Europa. Este operat de către Joint Research Centre of the European Commission. PVGIS oferă hărți cu resursa solară în Europa și Africa de Nord [144] (Suri et al. 2005). Pentru Europa, baza de date se bazează pe o interpolare a măsurătorilor din satelit (grid 1 km x 1km, perioada 1981-1990). Un exemplu de hărți PVGIS este prezentat în figura 4.8.

3. *Solar Database (SODA):* <http://www.soda-is.com/>. SODA este un serviciu furnizat de MINES ParisTech – ARMINES. SODA este rezultatul unui efort de a conecta diferite baze de date satelitare la un server de web unic care să furnizeze date despre radiația solară și alte informații relevante. Datele sunt difuzate de către site-ul SODA prin intermediul serviciilor SODA. Un serviciu poate fi o bază de date (de exemplu, baza de date cu radiație solară) sau un algoritm care efectuează operații pe date pentru a crea noi informații. Evaluarea calității datelor SODA se face prin compararea valorilor estimate cu măsurătorile efectuate la sol.



Fig. 4.8. Harta potențialului energetic în România (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>)

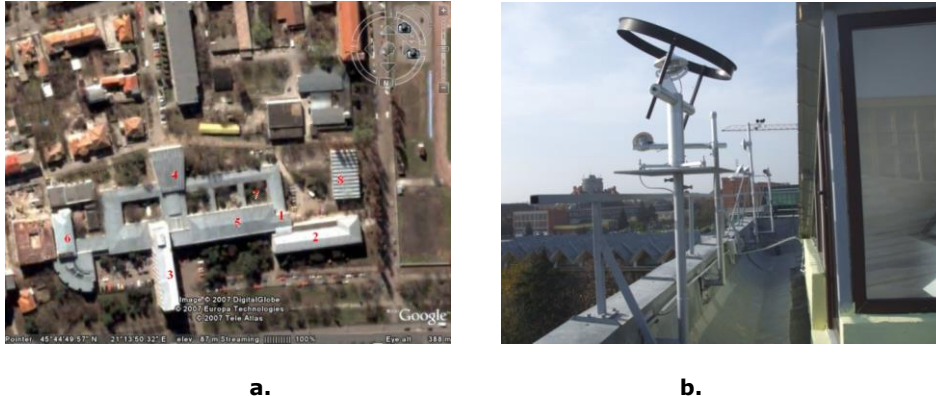


Fig. 4.9. (a) Imagine de ansamblu a Universității de Vest din Timișoara. La poziția 1 se află stația radiometrică SRMS (Paulescu et al. 2008). (b) Fotografie a stației radiometrice SRMS.

4. *NASA Surface Meteorology and Solar Energy (SSE):* <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>. SSE este o bază mare de date cu peste 200 de parametri meteorologici și radiometrici derivați din observații satelitare. Datele sunt disponibile cu o eșantionare de 1° longitudine \times 1° latitudine, acoperind întregul glob (64 800 regions). Datele sunt calculate folosind observațiile primare de la rețeaua de sateliți GEOS.

5. *The Solar Radiation Monitoring Station (SRMS):* <http://solar.physics.uvt.ro/srms>. SRMS este parte a Platformei Solare de la Universitatea de Vest din Timișoara. Aceasta este localizată la coordonatele geografice: $45^\circ44'49.57''$ N, $21^\circ13'50.32''$ E și 87 m altitudine.

Platforma de măsurare a radiației este amplasată pe clădirea UVT la o înălțime de aproximativ 15 metri de sol. O localizare precisă este arătată în figura 3.9.a, unde prezentăm o imagine Google Earth (<http://earth.google.com/>) luată de la înălțimea de 388 m în care se poate observa Universitatea de Vest din Timișoara; în punctul 1 este localizată platforma SRMS. Toate instrumentele de măsură care echipază platforma SRMS-UVT sunt calificate ca *first class precision* conform ISO 9060 (Specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation). Irradianța solară este măsurată cu instrumente fabricate de compania italiană Delta OHM (www.deltaohm.com).

Mărimile meteorologice auxiliare temperatură, presiune, umiditate, sunt măsurate cu o stație meteorologică standard. O fotografie a stației radiometrice este prezentată în figura 2.9b. Sistemul de achiziție a datelor este bazat pe o platformă PXI National Instruments (www.ni.com) și se compune din Controller NI PXI-8105 Core Duo 2GHz Controller, și placa achiziție date NI PXI-6259, 32. Achiziția datelor se face cu o frecvență de 15 secunde, înregistrările fiind stocate în baza primară de date. Cercetarea experimentală din această teză a fost realizată pe Platforma Solară.

Energia solară disponibilă în Câmpia Banatului. Folosind date disponibile online (cele care sunt practice accesibile oricărui inginer angajat în proiecte solare) au fost calculate mediile lunare ale iradierii solare globale zilnice furnizate de fiecare dintre cele cinci baze de date. Rezultatele sunt prezentate în figura 4.10. Analiza figurii arată diferențe semnificative între valorile furnizate de către cele cinci baze. Ca urmare, putem concluziona că evaluarea resursei solare reprezintă o sursă importantă de incertitudine în dimensionarea sistemelor de pompare a apei. Rezultatele din figura 4.10 sunt detaliate în tabelul 4.1., care prezintă în rezumat indicatorii statistici pentru mediile lunare ale iradierii solare globale zilnice furnizate

de către cele cinci stații. Sunt prezentate următoarele măsuri (N este numărul total de date luate în considerare iar z o variabilă generică):

- Media ca măsură a tendinței centrale în date:

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_i \quad (4.12)$$

- Deviația standard ca măsură a dispersării datelor în jurul mediei:

$$SD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (z_i - \mu)^2} \quad (4.13)$$

- Coeficientul de variație măsoară procentual raportul dintre deviația standard și medie:

$$CV = 100 \frac{SD}{\mu} [\%] \quad (4.14)$$

- Skewnessca măsură a asimetriei distribuției:

$$Skew = \frac{N \sum_{i=1}^N (z_i - \mu)^3}{(N-1)(N-2)SD^3} \quad (4.15)$$

O valoare apropiată de zero corespunde la o distribuție simetrică. Un skewness pozitiv indică o alunecare a distribuției spre valori mai mari a datelor iar un skewness negativ indică o alunecare a distribuției spre valori mai mici.

- Kurtosis este o măsură a amplitudinii distribuției în comparație cu distribuția normală:

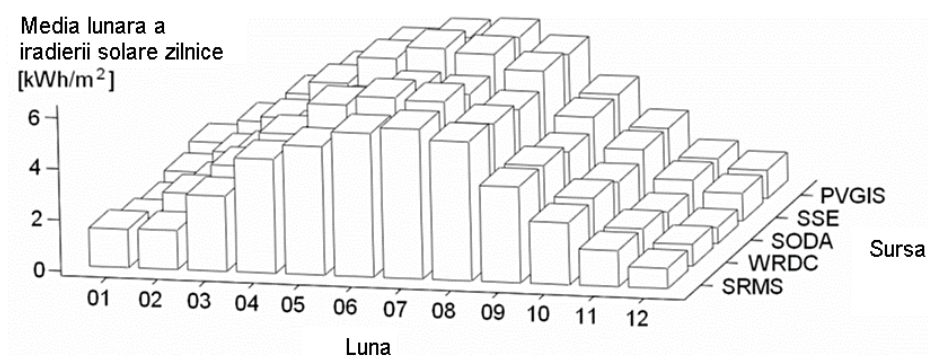


Fig. 4.10. Media lunară a iradierii solare globale zilnice în Timișoara. Pentru aceeași locație, Timișoara, baze diferite de date furnizează valori diferite ale iradierii solare. [152] (după Turi et al. 2015)

Tabelul 4.1. Sintează a indicatorilor statistici pentru media zilnică a iradierii solare globale zilnice. Sunt prezentați indicatori referitori la tendința centrală, măsuri ale variabilității în date și formei distribuției [152] (după Turi et al. 2015).

Luna	Medie [kWh/m ²]	Std.dev [kWh/m ²]	CV [%]	Min [kWh/m ²]	Max [kWh/m ²]	Domeniu [kWh/m ²]	Skew	Kurt
01	1.160	0.267	23.02	0.816	1.498	0.681	0.064	-0.468
02	1.890	0.289	15.29	1.529	2.24	0.711	-0.105	-0.773
03	3.180	0.207	6.537	2.947	3.39	0.443	-0.299	-1.356
04	4.412	0.352	7.998	3.839	4.79	0.951	-1.129	1.089
05	5.394	0.423	7.842	4.897	5.83	0.933	-0.127	-1.224
06	5.898	0.317	5.379	5.567	6.3	0.733	0.286	-1.033
07	5.896	0.261	4.431	5.472	6.15	0.678	-1.185	0.908
08	5.315	0.236	4.441	4.944	5.57	0.626	-0.936	0.674
09	3.703	0.200	5.402	3.361	3.85	0.489	-1.625	1.525
10	2.484	0.150	6.072	2.256	2.64	0.384	-0.778	0.127
11	1.389	0.142	10.28	1.153	1.52	0.367	-1.344	1.127
12	0.889	0.201	22.61	0.625	1.1	0.475	-0.143	-0.768
An	3.467	0.211	6.092	3.132	3.672	0.54	-1.107	0.540

$$Kurt = \frac{N(N+1) \sum_{i=1}^N (z - \mu)^4}{(N-1)(N-2)(N-3)SD} - \frac{3(N-1)^2}{(N-2)(N-3)} \quad (4.16)$$

O valoare apropiată de zero corespunde unei distribuții de formă asemănătoare cu cea normală. Kurtosis pozitiv indică o distribuție cu în vârf mai înalt în timp ce un kurtosis negativ indică o distribuție mai aplatizată decât cea normală.

Din tabelul 4.1 se poate vedea că incertitudinea în date este mai mare în iarnă ($CV = 23.02\%$ în ianuarie) decât în iarnă ($CV = 4.43\%$ în iulie). Aceasta se datorează faptului că regimul solar radiativ este dominat în vară de zile cu cer mai mult senin, în timp ce în iarnă regimul solar radiativ este puternic influențat de nebulozitatea sporită (guvernată de fenomene aleatoare). Incertitudinea devine substanțial mai mică când se consideră iradierea totală dintr-un an. Confidența cu care valorile medii (calculate pe baza observațiilor din trecut) reprezintă o estimare corectă a valorilor viitoare ale iradierii solare globale medii zilnice în Timișoara sunt:

- 95.0% interval de confidență pentru medie: 3.467 kWh/m² +/- 0.262, [3.205, 3.729]
- 95.0% interval de confidență pentru deviația standard: [0.126, 0.607]

Intervalul de confidență este reus cu un factor $1/\sqrt{M}$, M fiind numărul de ani pentru care se face predicția.

Ansamblul rezultatelor arată că diferite baze de date radiometrice furnizează pentru Timișoara valori diferite ale mediei lunare ale iradierii solare globale zilnice. Proiectarea unui sistem solar de pompare a apei se confruntă inevitabil cu un asemenea grad ridicat de incertitudine în evaluarea resursei solare disponibile pe durata de viață a sistemului.

4.3. Conversia fotovoltaică a energiei solare

În general, prin efect fotoelectric intern se înțelege generarea de purtători mobili de sarcină într-un semiconductor sub influența luminii. Termenul *fotovoltaic* restrânge definiția efectului fotoelectric intern la acea clasă de fenomene fotoelectrice în care energia luminoasă este transformată DIRECT în energie electrică. Mai precis, efectul fotovoltaic constă în generarea purtătorilor de sarcină (electroni și goluri) într-un semiconductor în urma absorbției luminii și separarea acestora în două regiuni spațiale distincte. Între cele două regiuni apare o diferență de potențial. Separarea purtătorilor se poate face sub acțiunea câmpurilor electrice interne datorate neomogenității semiconductorului (joncțiunea p-n este un bun exemplu).

Sintagmele *celulă solară* sau *celulă fotovoltaică* au același înțeles: un dispozitiv semiconductor a cărui funcționare se bazează pe un efect fotovoltaic.

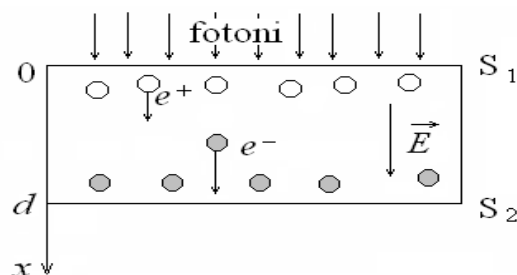


Fig. 4.11. Secțiune transversală într-un semiconductor iluminat.

4.3.1. Efectul Dember

Considerăm o lamă semiconductoră omogenă pe care cade un fascicul de lumină -figura 4.11. În vecinătatea suprafeței iluminate S_1 , sunt generate perechi electron-gol și, ca urmare, în această zonă concentrația purtătorilor de sarcină va crește. Astfel, va apare un gradient de concentrație pe direcția x , care va antrena difuzia purtătorilor spre fața neiluminată. Deoarece mobilitatea electronilor este mai mare decât a golurilor ($\mu_n > \mu_p$) electronii vor difuza mai rapid spre fața întunecată, încăcând-o negativ, iar zona adiacentă suprafeței iluminate se va încărca pozitiv. Rezultatul este apariția unui câmp electric intern \vec{E} , denumit câmp electric Dember, și corespunzător, a unei tensiuni electromotoare V , tensiune Dember, între cele două suprafețe iluminate și neiluminată.

Câmpul electric Dember, orientat în sensul axei x în figura 4.11 se opune difuziei purtătorilor, dând naștere unor curenți de drift care, în stare staționară

compensează curenții de difuzie. Presupunând că sarcinile difuzează numai în direcția x , componentele curenților de electroni și goluri se scriu:

$$\begin{aligned} j_n(x) &= en\mu_n E_D + eD_n \frac{\partial n}{\partial x} \\ j_p(x) &= ep\mu_p E_D - eD_p \frac{\partial p}{\partial x} \end{aligned} \quad (4.17)$$

În stare staționară, condiția de circuit deschis impune ca densitatea totală de curent să fie zero: $j = j_n + j_p = 0$. Ținând cont de relațiile lui Einstein dintre mobilitate și constanta de difuzie $D_n/\mu_n = D_p/\mu_p = kT/e$ se obține expresia câmpului Dember:

$$E = -\frac{kT}{e} \frac{\mu_n \frac{\partial n}{\partial x} - \mu_p \frac{\partial p}{\partial x}}{n\mu_n + p\mu_p} \quad (4.18)$$

În condiții normale de iluminare excesul de purtători de sarcină este mic $\Delta n = \Delta p \ll n_0, p_0$ și atunci:

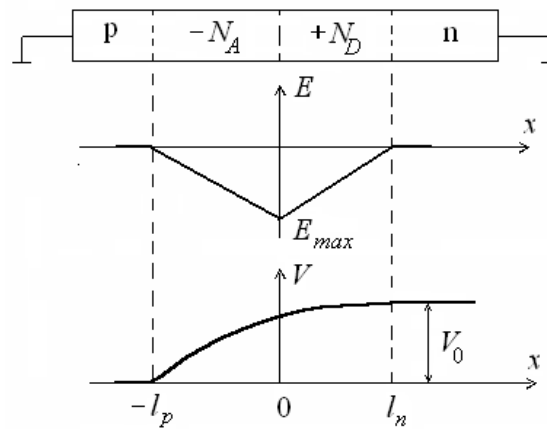


Fig. 4.12. Joncțiunea p-n ideală. N_A și N_D sunt concentrațiile de atomi acceptori, respectiv, donori.

Variația câmpului electric E și a potențialului electric V în funcție de distanța x față de interfață:

$$E = \frac{kT}{e} \frac{\mu_n - \mu_p}{n_0\mu_n + p_0\mu_p} \frac{\partial(\Delta n)}{\partial x} \quad (4.19)$$

Din relația (4.19) se calculează diferența de potențial dintre fața iluminată și cea neiluminată:

$$V = -\int_0^d E(x)dx = -\frac{kT}{e} \frac{\mu_n - \mu_p}{n_0\mu_n + p_0\mu_p} \int_0^d \Delta n(x)dx \quad (4.20)$$

Se observă că tensiunea Demper depinde de natura semiconductorului, temperatură și, în general poate fi calculată dacă se cunoaște distribuția purtătorilor de sarcină de neechilibru în volumul semiconductorului. Rezolvarea ecuației de continuitate, a cărei soluție este distribuția $\Delta n(x)$ nu este dificilă dar laborioasă și soluția are o formă destul de complicată chiar în caz unidimensional. Astfel, principal, am demonstrat că folosind o plachetă semiconductoare energia luminii poate fi transformată în energie electrică.

4.3.2. Efectul fotovoltaic la joncțiunea p-n. Celule solare semiconductoare

Într-un cristal semiconductor, o joncțiune p-n se formează dacă există o regiune dopată cu atomi acceptori -de tip p- și o regiune dopată cu atomi donori -de tip n- aflate în contact. În vecinătatea interfeței, apare o regiune de sarcină spațială care conferă proprietăți remarcabile joncțiunii în ansamblu.

În cele ce urmează vom considera modelul unidimensional Shockley, în care impurificarea regiunilor n și p este uniformă și interfața plană (figura 4.12).

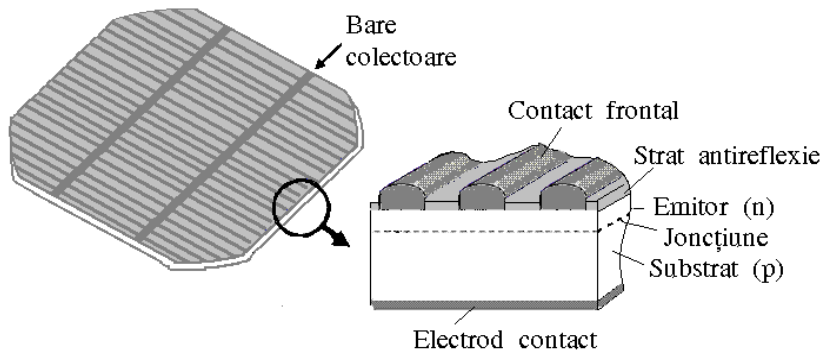


Fig. 4.13. Structura tipică a unei celule solare.

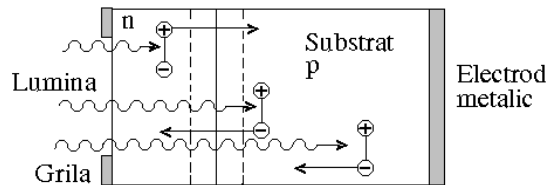


Fig. 4.14. Ilustrarea principiului de funcționare a unei celule solare.

În modelul Shockley [120] (Paulescu 2008b) se deduce următoarea dependență a curentului i_A prin joncțiune de tensiunea v_A aplicată din exterior:

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{k_B T}\right) - 1 \right] \quad (4.2.1)$$

unde curentul de saturație I_0 depinde de material și temperatură.

La majoritatea celulelor solare separarea purtătorilor de sarcină se bazează pe câmpul electric intern al unei joncțiuni p-n. În esență, o celulă solară este o fotodiodă de arie mare, cu structura tipică reprezentată în figura 3.13. Cristalul de siliciu masiv pur, produs sub forma unor bare cilindrice este feliat în plachete de aproximativ 0.2 mm grosime. Aceste plachete sunt dopate n -cu atomi de fosfor- pe fața expusă la lumină, și p -cu atomi de bor - pe revers. Se obține o joncțiune p-n, al cărei câmp electric intern are rol de a separa după semn purtătorii de sarcină generați sub acțiunea luminii. Cu scopul de a-i colecta cele două fețe sunt acoperite cu contacte metalice. Electrodele de pe fața regiunii n, iluminată, este depus sub forma unei grile iar cel de pe fața regiunii p este depus ca strat metalic continuu. Regiunea n, se realizează îngustă pentru a facilita absorbția fotonilor în imediata vecinătate a regiunii de sarcină spațială.

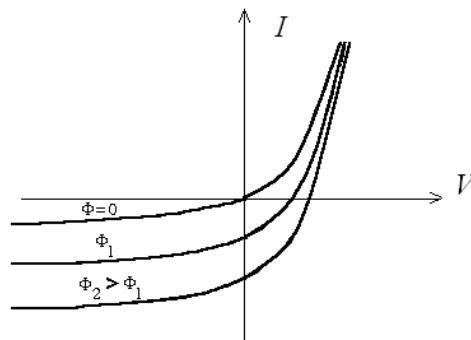


Fig. 4.15. Caracteristica tensiune – curent a unei celule solare

Principiul de funcționare al unei celule solare este ilustrat în figura 4.14. Sub acțiunea radiației optice se generează perechi de electron-gol, a căror concentrație scade treptat, de la suprafața iluminată spre interfață. Datorită difuziei, o parte din purtătorii de sarcină în exces ajung la limita regiunii golite, unde sunt separați de câmpul electric intern: electronii rămân în regiunea n, iar golurile minoritare sunt antrenate în p. De asemenea, electronii generați în regiunea p sunt transferați de câmpul intern în regiunea n. În felul acesta, în regiunea n și p apar sarcini negative, respectiv, pozitive suplimentare, ce conduc la scăderea diferenței interne de potențial. La terminale, aceasta se manifestă prin apariția a unei tensiuni electromotoare.

Astfel, la o celulă solară transformarea energiei fotonilor în electricitate se realizează în două etape: (i) absorbția fotonilor cu energie mai mare decât lărgimea benzii interzise a materialului semiconductor și generarea de perechi electron-gol; (ii) separarea spațială a purtătorilor de sarcină de semne diferite, în condiții care să ducă la apariția unei diferențe de potențial între două regiuni distincte ale

semiconductorului. Aceasta este o analiză sumară a mecanismului prin care apare efectul fotovoltaic la joncțiunea p-n.

Expresia curentului total prin joncțiunea p-n iluminată se scrie [115] (Paulescu și Schlett 2001):

$$i = I_S \left(\exp\left(\frac{eV}{k_B T}\right) - 1 \right) - I_L \quad (4.2.2)$$

Primul termen din (4.22) numit curent de întuneric reprezintă curentul obișnuit printr-o diodă, iar al doilea termen, fotocurentul, depinde de densitatea fluxului de lumină incident, natura semiconductorului, forma, dimensiunile și ansamblul proprietăților fizice ale joncțiunii.

Caracteristica curent-tensiune (4.22) este reprezentată în figura 4.15. În cadranul IV puterea este negativă, ceea ce dovedește că o celulă solară reprezintă o sursă de energie pentru circuitul extern. În general, când se analizează o celulă solară caracteristica acesteia se transpune în cadranul I, corespunzător curentului și tensiunii pozitive (figura 4.16).

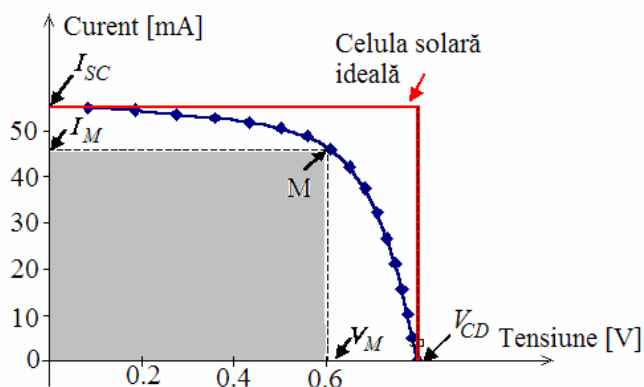


Fig. 4.16. Caracteristica tipică tensiune – curent a unei celule solare. În punctul M puterea debitată este maximă.

Așa cum se vede din ecuația (4.2.2) celulele solare sunt *generatoare de curent* a căror caracteristică electrică este determinată de suprapunerea fotocurentului și curentului de întuneric al diodei. În figura 4.16 este reprezentată caracteristica tipică tensiune – curent a unei celule solare. Punctul de intersecție al caracteristicii cu axa tensiunilor corespunde funcționării în gol și la bornele celulei se măsoară tensiunea în circuit deschis V_{CD} . Punctul I_{SC} de pe axa curentului corespunde ieșirii în scurtcircuit și reprezintă curentul maxim ce poate fi injectat în sarcina externă. Fiecare punct de pe caracteristica curent-tensiune delimitează în raport cu axele un dreptunghi, a cărui arie este numeric egală cu puterea debitată de celulă în sarcină. Există un punct optim de funcționare, $M(V_M, I_M)$, în care această arie este maximă. Punctul M de pe caracteristică este notat uneori MPP, Maximum Power Point. Puterea maximă debitată de celulă, $V_M I_M$, este corelată cu doi dintre cei mai importanți parametri care apreciază calitatea unei celule solare: factorul de formă și randamentul de conversie.

Tensiunea la bornele celulei solare este mai mică decât valoarea teoretică, fiind redusă de rezistența materialului semiconductor și rezistența contactelor metalice. Tensiunea efectivă pe joncțiune se obține din tensiunea măsurată la contacte plus căderea de tensiune pe rezistențele serie parazite. La evaluarea curentului în circuitul electric exterior trebuie ținut cont de pierderile pe rezistențele șunt parazite.

Puterea electrică P furnizată de o celulă solară unei sarcini rezistive se calculează ca produsul dintre curentul prin sarcină și tensiunea la borne:

$$P = I \cdot V \quad (4.2.3)$$

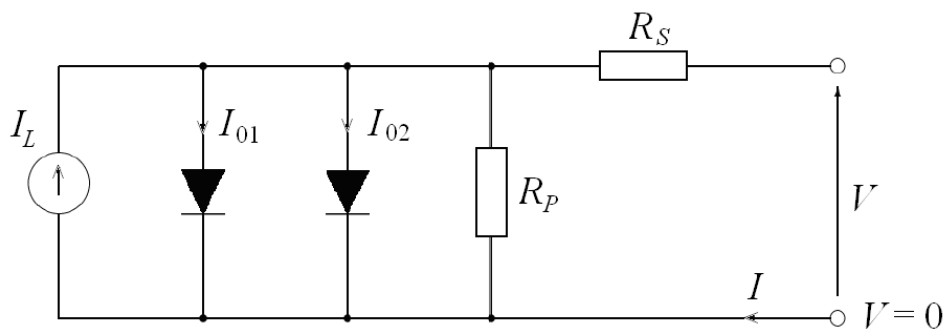


Fig. 4.17. Circuitul electric echivalent al unei celule solare.

Randamentul de conversie (sau eficiența) unei celule solare este calculat ca raportul dintre puterea P_{MPP} produsă în punctul MPP și iradianța solară, G , incidentă pe suprafața celulei, A , în condiții standard de testare:

$$\eta = \frac{P_{MPP}}{G \cdot A} \quad (4.2.4)$$

Un alt parametru care apreciază calitatea unei celule solare este factorul de formă definit ca raportul:

$$FF = \frac{P_{MPP}}{V_{CD} I_{SC}} \quad (4.2.5)$$

Modelarea caracteristicii curent - tensiune a unei celule solare. Pentru o celulă solară cristalină, modelul teoretic care se apropie cel mai bine de curbele curent - tensiune măsurate se obține din descrierea matematică a unui circuit electric care conține două diode conectate în paralel cu curentii de saturație I_{01} și I_{02} și factorii de idealitate m_1 și, respectiv, m_2 . Practic, celula solară este înlocuită cu un circuit electric echivalent (figura 4.17) în care fotocurentul I_L este produs de o sursă de curent dependentă de iradianța solară; Cele două diode în paralel modelează pierderile datorate curentului de întuneric (D_1) și efectului de generare - recombinare în regiunea de sarcină spațială (D_2). Pierderea de curent cauzată de creșterea conductivității joncțiunii la marginile celulei, este modelată de rezistența

sunt R_p . Dacă notăm cu V tensiunea la bornele celulei solare, adică tensiunea pe consumator, atunci tensiunea efectivă pe grupul de componente în paralel este mai mare, fiind egală cu $V + IR_S$. Rezistența serie R_S traduce pierderile rezistive din celulă, cum ar fi rezistența contactelor, rezistența regiunilor neutre și altele asemenea.

Circuitul electric echivalent al celulei solare este modelat de o ecuație implicită pentru curent, care poate fi rezolvată numai iterativ [122] (Paulescu et al. 2013):

$$I = I_L - I_{01} \left[\exp \frac{e(V + IR_S)}{m_1 k_B T} - 1 \right] - I_{02} \left[\exp \frac{e(V + IR_S)}{m_2 k_B T} - 1 \right] - \frac{V + IR_S}{R_p} \quad (4.2.6)$$

unde :

- m_1, m_2 - factorii de idealitate ai diodelor D_1 și D_2 ;
- I_{01}, I_{02} - curenții de saturație ai diodelor D_1 și D_2 [A];
- I_L - fotocurentul [A];
- R_S - rezistența serie [Ω];
- R_p - rezistență paralel [Ω];
- k_B - constanta Boltzmann [$1.38 \cdot 10^{-23}$ [J/K];
- e - sarcina elementară [$1.6 \cdot 10^{-19}$ C];
- T - temperatura [K].

4.3.3. Funcționarea sistemelor fotovoltaice în condiții meteorologice reale

Celula solară transformă lumina în electricitate, fiind *elementul fundamental* al oricărui sistem PV. Datorită puterii mici și lipsei de protecție față de intemperii, ea poate fi folosită direct numai în câteva aplicații minore. Modulul fotovoltaic este cel mai mic convertor solar-electric disponibil comercial. Monolitic prin construcție, el constă din mai multe celule solare identice conectate în serie/paralel și protejate față de mediu. Astfel, un modul PV este un dispozitiv de putere mare (zeci, sute de Watt) constituind *elementul primar* al oricărui sistem PV (fie și o centrală electrică solară).

În figura 4.18 este reprezentat un modul PV constând din n_p șiruri conectate în paralel, fiecare constând din n_s celule identice conectate în serie. Notăm tensiunea și intensitatea curentului la bornele unui modul cu V^m și, respectiv, I^m . În ipoteza că toate celulele sunt identice și identic iluminate, pe fiecare celulă va fi măsurat același curent I și, de asemenea, va fi măsurată aceeași tensiune V . Pe baza figurii 1 se poate scrie:

$$I = I^m / n_p, \quad V = V^m / n_s \quad (4.2.7)$$

Ecuțiile (4.27) sunt folosite pentru a lega caracteristica tensiune-curent a celulei solare de parametri de catalog ai modului din care face parte celula.

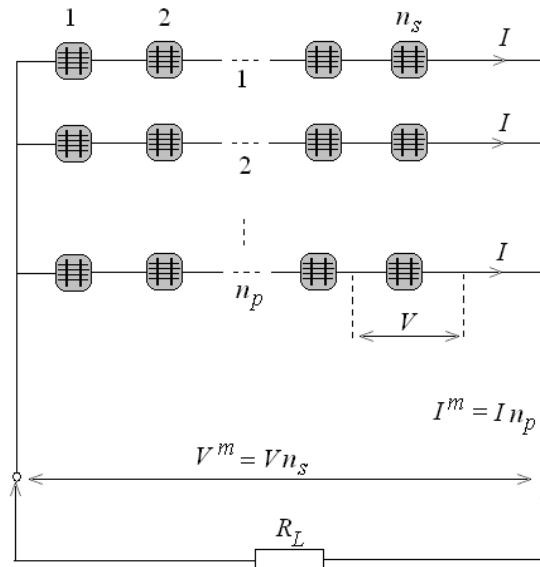


Fig. 4.18. Schema electrică a unui modul PV conținând n_p șiruri de conectate în paralel, fiecare șir constând din n_s celule solare conectate în serie. R_L este rezistența de sarcină.
[122] (după Paulescu et al. 2013)

Parametri de catalog. Randamentul unui modul PV este condiționat de randamentul celulelor solare care îl compun. Celulele solare și ca urmare modulele PV, produc energie în relație cu nivelul irradianței solare și temperaturii dispozitivului. Ca urmare, condițiile de testare sunt standardizate. Standardele de performanță IEC 61215/2005 și IEC 61646/2008 specifică procedurile și condițiile în care se testează modulele PV. Astfel, modulele PV sunt furnizate de producători însoțite de o foaie de catalog care listează parametrii măsurați în condiții standard de testare (STC). STC specifică iradianța solară globală incidentă normal pe suprafața modulelor $G_{STC} = 1000\text{W/m}^2$, distribuția spectrală a acesteia AM1.5G și temperatura celulei $T_{STC} = 25^\circ\text{C}$. În cazul celulelor solare folosite în spațiul extraterrestru, testarea se face sub spectru AM0.

Majoritatea producătorilor de module fotovoltaice listează în catalog următorii parametri:

- Suprafața celulei, A
- Suprafața modului, A^m
- Numărul de celule conectate în serie, n_s
- Numărul de celule conectate în paralel, n_p
- Tensiunea în circuit deschis la STC, $V_{OC,STC}^m$
- Curentul de scurtcircuit la STC, $I_{SC,STC}^m$
- Curentul și tensiunea în MPP la STC, $I_{M,STC}^m$, $V_{M,STC}^m$
- Temperatura nominală de funcționare a celulei solare, NOCT
- Coeficientul termic al tensiunii în circuit deschis la STC, $\alpha_V = \left. \frac{dV_{OC}}{dT} \right|_{T=T_{STC}}$

- Coeficientul termic al fotocurentului la STC, $\alpha_I = \left. \frac{dI_L}{dT} \right|_{T=T_{STC}}$

Caracteristica V-I la STC. Calculul parametrilor. O temă centrală în modelarea puterii de ieșire a unui sistem PV constă în estimarea parametrilor de funcționare ai celulei solare în condiții ambientale concrete. Aceste condiții sunt specificate de parametri precum iradianța solară, temperatura celulei solare, gradul de curățenie al suprafeței celulei, unghiul de incidență al radiației solare. În principiu, modelarea unui modul PV înseamnă stabilirea unei relații între datele furnizate de producător în foaia de catalog și parametrii caracteristicii V-I ai celulei solare în condiții meteorologice reale de funcționare.

În continuare este descrisă modelarea caracteristicii V-I a unei celule solare. Metodele de modelare a caracteristicii unei celule solare sunt ierarhizate după numărul de parametri implicați în descrierea matematică. Modelele care includ 5 parametri (I_L -fotocurentul I_0 -curentul de saturație al diodei, R_S -rezistența serie, m -factorul de idealitate al diodei și R_p -rezistența paralel) sunt cele mai complexe. Cele mai simple includ numai trei parametri (I_L , I_0 și m). Având în vedere că în prezent celulele soare sunt fabricate cu R_p foarte mare, cu bună aproximație se poate considera $R_p = \infty$, obținându-se un model cu 4 parametri, un compromis fezabil între acuratețe și simplitate [123] (Paulescu et al. 2014).

Circuitul echivalent al celulei solare reprezentat în figura 3.19, este dedus din modelul standard în ipoteza $R_p = \infty$. Caracteristica V-I a celulei solare în modelul cu patru parametri este dată de relația:

$$I = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{e(V + IR_S)}{mk_B T}\right) - 1 \right] \quad (4.2.8)$$

Cei patru parametri specifici (I_L , I_0 , m , R_S) din ecuația (2) pot fi determinați din datele furnizate de producător *fără a fi necesare ipoteze suplimentare*. Foaia de catalog a unui modul conține trei puncte de funcționare de pe caracteristica V-I, din care se calculează curenții și căderile de tensiune pe fiecare celulă care compune modulul în cele trei puncte specificate. Aceste puncte sunt: (1) Scurtcircuit ($V = 0$, $I = I_{SC,STC}$), (2) Circuit deschis ($V = V_{OC,STC}$, $I = 0$) și (3) MPP ($V = V_{M,STC}$, $I = I_{M,STC}$).

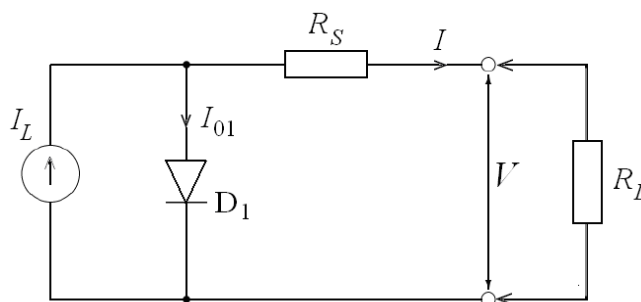


Fig. 4.19. Circuitul electric echivalent al celulei solare în cazul modelării cu patru parametri (I_L - fotocurent, R_S - rezistența serie, D_1 - modelează joncțiunea p-n, R_L - rezistența de sarcină).

Înlocuind în relația (2.28) rezultă următorul sistem de trei ecuații:

$$-I_{SC,STC} + I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{eR_S I_{SC,STC}}{mk_B T_{STC}}\right) - 1 \right] = 0 \quad (4.2.9.a)$$

$$I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{eV_{OC,STC}}{mk_B T_{STC}}\right) - 1 \right] = 0 \quad (4.2.9.b)$$

$$-I_{M,STC} + I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{e(V_{M,STC} + R_S I_{M,STC})}{mk_B T_{STC}}\right) - 1 \right] = 0 \quad (4.2.9.c)$$

unde indicele "STC" arată că mărimea este măsurată în condiții STC. A patra ecuație necesară pentru a forma un sistem de 4 ecuații cu 4 necunoscute se obține impunând condiția ca în punctul (V_M, I_M) dispozitivul să funcționeze în MPP.

Ecuția se deduce exprimând puterea furnizată de celulă astfel $P(V) = I(V) \cdot V$ și impunând condiția:

$$\left. \frac{dP(V)}{dV} \right|_M = \left. \frac{\partial I(V)}{\partial V} \right|_M \cdot V_M + I(V_M) = 0 \quad (4.3.0)$$

Înlocuind (2.28) în (2.30) și efectuând calculele se obține a patra ecuație din sistem:

$$I_L + \frac{-I_0 \frac{e}{mk_B T} \exp\left(\frac{V_{M,STC} + R_S I_{M,STC}}{mV_T}\right)}{1 + R_S I_0 \frac{e}{mk_B T} \exp\left(\frac{V_{M,STC} + I_{M,STC} R_S}{mV_T}\right)} V_{M,STC} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V_{M,STC} + R_S I_{M,STC}}{mV_T}\right) - 1 \right] = 0 \quad (4.3.1)$$

unde $V_T = k_B T / e$ reprezintă tensiunea termică.

Ecuțiile (4.2.9.a-c) și (4.3.1) sunt independente și suficiente pentru a rezolva sistemul cu necunoscutele I_L, I_0, m, R_S . Sistemul de ecuații poate fi rezolvat numeric folosind un soft utilitar precum MathCAD implementând o metodă numerică. Pentru a rula o metodă numerică de rezolvare a unui sistem de ecuații, în general sunt necesare valori de start pentru necunoscute. Am calculat aceste valori pornind de la următoarele ipoteze simplificatoare:

$$(1) \text{ In Eq. (4.2.9.a) termenul } I_0 \left[\exp\left(\frac{eR_S I_{SC,STC}}{mk_B T_{STC}}\right) - 1 \right] \text{ reprezintă curentul}$$

de întineric al unei celule solare care funcționează în condiții de scurtcircuit, care

este cel mult de ordinul microamperilor chiar pentru celule mai puțin performante. Ca urmare, cu bună aproximație se poate scrie:

$$-I_{SC,STC} + I_L^{(0)} \cong 0 \quad (4.3.2.a)$$

(2) Ecuația (4.2.9.b) descrie funcționarea celulei în gol. Întrucât tensiunea în gol V_{OC} (de ordinul 0.65 V pentru Si) este mult mai mare decât tensiunea termică ($V_T \approx 0.026$ V la temperatura de 25°C) și factorul de idealitate al diodei este apropiat de unitate, rezultă că $\exp\left(\frac{eV_{OC,STC}}{mk_B T_{STC}}\right) \gg 1$ (e vorba de cateva ordine de mărime).

Deci, a doua ecuație se poate scrie:

$$I_L^{(0)} - I_0 \exp\left(\frac{eV_{OC,STC}}{m^{(0)}k_B T_{STC}}\right) \cong 0 \quad (4.3.2.b)$$

(3) Din aceleași motive ca la punctul (2) în Eq. (2.29c)

$$\exp\left(\frac{e(V_{M,STC} + R_S I_{M,STC})}{mk_B T_{STC}}\right) \gg 1 \text{ și:}$$

$$-I_{M,STC} + I_L^{(0)} - I_0^{(0)} \exp\left(\frac{e(V_{M,STC} + R_S^{(0)} I_{M,STC})}{m^{(0)}k_B T_{STC}}\right) \cong 0 \quad (4.3.2.c)$$

(4) Și, în sfârșit, ultima simplificare posibilă apare în al doilea termen din Eq. (4.3.2) unde exponențiala este mult mai mare decât unitatea.

$$I_L^{(0)} + \frac{-I_0^{(0)} \frac{1}{m^{(0)}V_T} \exp\left(\frac{V_{M,STC} + R_S^{(0)} I_{M,STC}}{m^{(0)}V_T}\right)}{1 + R_S^{(0)} I_0^{(0)} \frac{1}{m^{(0)}V_T} \exp\left(\frac{V_{M,STC} + I_{M,STC} R_S}{m^{(0)}V_T}\right)} V_{M,STC} - I_0 \exp\left(\frac{V_{M,STC} + R_S^{(0)} I_{M,STC}}{m^{(0)}V_T}\right) \cong 0 \quad (4.3.2.d)$$

Sistemul de ecuații (2.32a-d) poate fi rezolvat analitic și are soluțiile:

$$I_L^{(0)} = I_{SC,STC} \quad (4.3.3.a)$$

$$m^{(0)} = \frac{1}{V_T} \cdot \frac{(2V_{M,STC} - V_{OC,STC})(I_{SC,STC} - I_{M,STC})}{I_{M,STC} + (I_{SC,STC} - I_{M,STC}) \ln\left(1 - \frac{I_{M,STC}}{I_{SC,STC}}\right)} \quad (4.33b)$$

$$R_S^{(0)} = \frac{V_M \left(\frac{I_{SC,STC}}{I_{M,STC}} - 1 \right) + \frac{V_{OC,STC} - V_{M,STC}}{\ln \left(1 - \frac{I_{M,STC}}{I_{SC,STC}} \right)}}{I_{SC,STC} - I_{M,STC} + \frac{I_M}{\ln \left(1 - \frac{I_{M,STC}}{I_{SC,STC}} \right)}} \quad (4.33c)$$

$$I_0^{(0)} = I_{SC} \exp \left(\frac{V_{OC,STC}}{\frac{(2V_{M,STC} - V_{OC,STC})(I_{SC,STC} - I_{M,STC})}{I_{M,STC} + (I_{SC,STC} - I_{M,STC}) \ln \left(1 - \frac{I_{M,STC}}{I_{SC,STC}} \right)}}} \right) \quad (4.3.3.d)$$

Având valorile inițiale (4.3.3.a-d) se poate rezolva sistemul de ecuații (4.2.9.a-c, 4.3.1.) și se obțin parametrii I_L , I_0 , m , R_S , care înlocuiți în Eq. (4.2.8) ne dau caracteristica curent-tensiune a celulei solare (și implicit a modulului) la STC.

Aplicarea modelului în condiții diferite de STC. De notat că Eq. (4.2.8) reprezintă ecuația caracteristicii în STC. Aplicarea ecuației în alte condiții de funcționare se poate face pe baza unor ipoteze suplimentare. Acestea sunt:

- (1) Se consideră o legătură liniară între iradianță și fotocurent (fapt demonstrat experimental pentru toate celulele cristaline)
- (2) Se includ în ecuații coeficienții de temperatură ai tensiunii în circuit deschis (α_V) și curentului de scurtcircuit (α_I), care nu întotdeauna sunt listați în catalog (uneori sunt listați ambii, alții unul sau niciunul). În general, se consideră că numai fotocurentul și curentul de întuneric sunt influențați de factori exteriori (iradianță și temperatură). Cu alte cuvinte: ($m = m_{STC}$ și $R_S = R_{S,STC}$)
- (3) Se ia în considerare gradul de curățenie al modulelor. Întrucât pe Platforma Solară se măsoară componenta iradianței solare în planul modulului test, am luat în considerare cea mai simplă situație în care am redus iradianța cu un coeficient τ_C , listat în tabelul de mai jos:

Grad de curățenie	τ_C
Perfect curat	1
Curat	0.98
Mediu	0.97
Murdar	0.92

- (4)
- (5) Se ia în considerare gradul de îmbătrânire (γ) al modulelor (dacă e cazul).

Algoritm de calcul a caracteristicii curent-tensiune a unei celule în condiții specifice de funcționare este următorul:

- (1) Se calculează parametrii specifici celulei solare la STC folosind procedura descrisă în Sec. 2 a prezentului raport.
- (2) Se calculează temperatura de funcționare a celulei solare considerând aproximația standard de proporționalitate cu densitatea fluxului solar incident:

$$T = T_a + C_t G \quad (4.3.4)$$

unde constanta C_t are valoarea

$$C_t = \frac{NOCT(^{\circ}C) - 20}{800 \text{ W/m}^2} \quad (4.3.5)$$

- (3) Se apreciază gradul de curățenie al modului și se ia în considerare gradul de îmbătrânire. Se calculează iradianța efectivă G_{ef} în planul modului.

$$G_{ef} = \tau \gamma G \quad (4.3.6)$$

- (4) Se calculează fotocurentul făcând ipoteza că la STC fotocurentul variază proporțional cu iradianța solară efectivă și luând în considerare coeficientul termic α_I :

$$I_L(G, T) = I_{L,STC}(G_{STC}) \left[1 + \alpha_I (T - T_{STC}) \right] \frac{G_{ef}}{G_{STC}} \quad (4.3.7)$$

- (5) Se calculează curenții de saturație I_0 folosind ecuația aproximativă (6b) și ținând cont de coeficientul de variație cu temperatura al tensiunii în circuit deschis α_V :

$$I_0(G, T) = I_L(G, T) \exp\left(\frac{eV_{OC,STC} [1 + \alpha_V (T - T_{STC})]}{mk_B T}\right) \quad (4.3.8)$$

În final ecuația caracteristicii curent-tensiune a celulei solare se obține prin înlocuirea Eqs. (4.3.7) și (4.3.8) în Eq. (4.2.8) și a parametrilor m și R_s calculați la STC.

Poziționarea pe caracteristică a punctului de funcționare depinde de sarcină. Pentru o celulă parte a unui modul PV conectat la un invertor echipat cu un dispozitiv de urmărire a MPP, punctul de funcționare va fi întotdeauna (V_M, I_M) . În cazul unui stand de testare în care modulul PV are conectată la borne o sarcină fixă R_L , punctul de funcționare este stabilit de legea lui Ohm

$$V = IR_L \quad (4.3.9)$$

O variantă a modelului patru-parametri descris mai sus a fost utilizată la modelarea sistemului fotovoltaic destinat alimentării cu energie electrică a pompei în experimentele derulate în cadrul cercetărilor derulate în teză. Acesta este prezentat în Capitolul 3.

4.4. Sisteme solare de pompare a apei

Pentru a răspunde cerințelor de energie și a reduce impactul asupra mediului, ideea de integrare a resurselor de energie regenerabilă, cum ar fi energia fotovoltaică cu pompe de apă a fost propusă de către mulți cercetători din întreaga lume încă din anii 1970 [12] (Bahadori 1978). Lucrările științifice raportate în domeniu au subliniat dezvoltarea istorică a sistemelor de pompare a apei bazate pe energie solară pentru aplicații de irigare [62] (Gopal et al. 2013). Mulți cercetători din întreaga lume au investigat performanța sistemelor fotovoltaice de pompare a apei.

4.4.1 Principiul defuncționare a sistemelor PV de pompare a apei

Sistemele fotovoltaice de pompare a apei (SPVP) sunt alcătuite din șirul de panouri fotovoltaice, un motor și o pompă (figura 4.20). În funcție de proiectare sistemul conține sau nu baterii de stocare a energiei electrice și regulatorul de incarcare. Motorul este ales în funcție de puterea necesară și de natura curentului furnizat de sistem. Dacă motorul folosește curent alternativ este necesară instalarea unui invertor. SPVP fără sistem de stocare a energiei sunt mai economice, necesită mai puțină întreținere în comparație cu sistemele cu baterii. Adăugarea unui rezervor de stocare a apei în SPVP prezintă o metodă mai economică de stocare a energiei decât utilizarea unei baterii. Utilizarea energiei solare fotovoltaice este considerată a fi o resursă importantă pentru regiunea de vest a României unde radiația solară directă poate ajunge de până la 1000 W/m^2 .

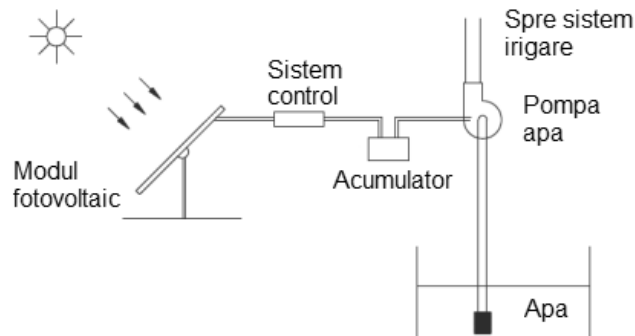


Fig. 4.20. Schiță a unui sistem fotovoltaic de pompare a apei

În continuare este prezentat un rezumat al cercetărilor în domeniul pomparei apei. [114] Pande et al. (1993) au proiectat, dezvoltat și testat performanța unui sistem SPVP la irigarea prin picurare, în condițiile meteorologice din India. Autorii au folosit module PV însumând 900 W și o pompă c.c. monobloc de 800 W. Autorii au raportat că SPVP poate furniza apă la presiune de 70-100 kPa la ieșirea din pompă și cu un debit de 3.4-3.8 l/h prin fiecare picurator pe parcursul a mai multe ore din zi. Perioada de recuperare a investiției a fost estimată la șase ani. Un sistem similar

SPVP, dar folosind o pompă centrifugă modulară cu viteză variabilă și activari multiple a fost dezvoltat și testat în [19] Bhave (1994). Autorii au ajuns la concluzia că SPVP sunt mai potrivite pentru pomparea apei la înalțimi mici și medii. În plus, ei au ajuns la concluzia că SPVP sunt eficiente doar în timpul orelor cu mult soare. Într-o investigație similară, [39] Chaurey et al. (1993) au discutat experimente realizate cu SPVP. Sistemul cercetat în lucrarea lor a fost monitorizat continuu timp de mai mult de 2 ani, fără o defecțiune tehnică majoră. Producția medie zilnică de apă a SPVP pe parcursul unei luni este potrivită pentru rezerva de apă pentru o comunitate de 500 de persoane.

Mahmoud și Nather (2003) [87] au investigat performanța SPVP echipate cu baterii pentru energiei electrice în aplicații de irigare prin stropire și picurare. Autorii au ajuns la concluzia că SPVP pot fi utilizate în mod eficient pentru pomparea apei în agricultură. Costul apei pompate prin sisteme fotovoltaice este mult mai mic decât cel al apei pompate prin metode de pompare convenționale cu alimentare din rețeaua electrică sau diesel. SPVP îmbunătățesc, de asemenea, calitatea vieții și promovează dezvoltarea socio-economică în mediul rural. Din punct de vedere al eficienței, autorii au concluzionat că SPVP pot funcționa mai eficient în comparație cu alte sisteme tradiționale de irigații în timpul orelor cu potențial solar radiativ mare.

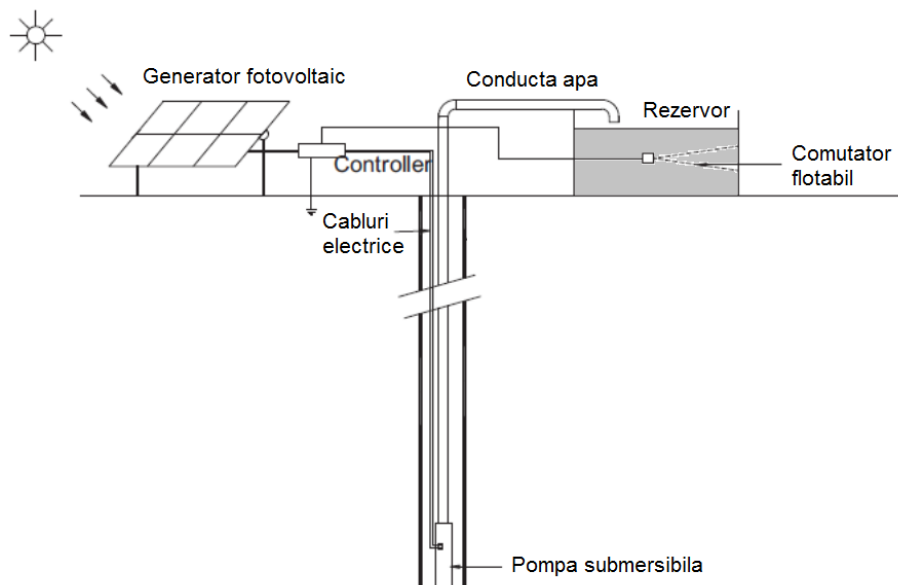


Fig. 4.21. Schiță a sistemului fotovoltaic de pompare a apei folosind o pompă submersibilă (după Meah et al. 2008) [103].

Mankbadi și Ayad (1998) [99] au analizat performanța SPVP de capacitate mică cuplate direct la modulul fotovoltaic și au raportat că SPVP cuplate direct sunt cele mai potrivite pentru aplicații de pompare a apei casnice.

Kou et al. (2008) [80] au dezvoltat un model analitic pentru estimarea performanței pe termen lung a unui sistem SPVP cuplat direct în cazul a șase locații diferite din SUA (Albuquerque, New Mexico, Madison, Wisconsin, Seattle și Washington) și au comparat rezultatele cu modelul TRNSYS

(<http://www.transys.com>). Autorii au constat că modelul elaborat estimează performanța SPVP mai bine decât TRANYS în termeni de abatere medie pătrtrică au observat o scădere a 3-6% folosind aceleași date TMY. De asemenea, au constatat că model propus în lucrarea lor poate fi utilizat pentru proiectarea și prognozarea performanței pe termen lung a SPVP în funcție de climatul meteorologic local. În Meah et al. (2008) [103] a fost raportată o cercetare a SPVP cu schema din figura 3.21. Autorii au raportat că SPVP cu această structură are o performanță bună în termeni de productivitate și de fiabilitate. Comparativ cu sistemele conventionale conectate la rețea sau cu motorizare diesel, sistemul ar putea reduce considerabil emisiile de CO₂ dacă se ia în considerare o durată de viață de 25 de ani.

Chandratilleke și Ho (1986) [40] au studiat experimental performanța unui SPVP de 1.14 kW folosind o pompă centrifugă de 860 W. De asemenea, au dezvoltat un model de simulare pentru validarea rezultatelor experimentale. Autorii au sugerat că eficiența globală a SPVP poate fi îmbunătățită printr-o proiectare eficientă și prin adaptarea permanentă la sarcină.

Pentru a îmbunătăți performanța SPVP a fost introdus rezervorul de stocare a apei. Un model de SPWPS dependent de timp constând dintr-un șir de module fotovoltaice, o baterie, un rezervor de stocare a apei, un motor de curent continuu și o pompă centrifugă a fost dezvoltat de către Badescu (2003) [8]. Autorul a demonstrat că introducerea rezervorului de stocare a apei îmbunătățește stabilitatea operației de pompare. O parte din energia furnizată de module este depozitată sub formă de energie gravitațională a apei, ceea ce demonstrează că atât bateria cât și rezervorul de stocare a apei cresc stabilitatea funcționării SPVP. În mod similar, performanța unui sistem de irigare alimentat solar a fost evaluată în vederea susținerii de pășuni în regiunile aride din Nord-Vest din China (Yu et al. 2011). Autorii au raportat că SPVP reprezintă un sistem eficient în irigații care poate contribui la conservarea pășunilor.

Caracteristicile SPVP în cazul a treisprezece fântâni funcționând în condițiile meteorologice din Iordania au fost investigate de către [72] Hammad (1999). Autorul a stabilit o procedură de proiectare a SPVP baza factorului de pompare și a caracteristicilor regimului solar radiativ în locație. Într-o lucrare similară, Daud și Mahmoud [31] au studiat un SPVP echipat cu o pompă cu motor cu inducție, capabil să furnizeze o medie zilnică de 50 m³ de apă la o înălțime de 37 m. Sistemul a fost instalat într-un puț săpat în deșertul din Iordania, unde radiația solară medie disponibilă este de 5.5 kW h/m²/zi. În Arabia Saudită, Al Ali et al. (2001) [2] au dezvoltat un sistem automat de irigare bazat pe conversie fotovoltaică și i-au testat performanțele. Sistemul lor este mai complex, fiind format din controller, valve de control, panouri fotovoltaice, baterii pentru stocarea energiei și senzori. Sistemul dezvoltat de ei este capabil să irige terenuri la un moment prestabilit și cu o durată prestabilită. De asemenea, poate iriga automat terenul dacă solul este uscat sub un anumit nivel de umiditate. Acest tip de sistem automatizat are rol de a optimiza cantitatea de apă necesară pentru o anumită cultură și pentru o anumită zonă. Mokeddem et al. (2011) [106] au studiat performanțele unui SPVP în care pompa este cuplată direct la generatorul fotovoltaic, în condițiile meteorologice din Algeria pe o perioadă de patru luni. Performanța sistemului a fost monitorizată în două configurații înălțimii de pompare. Sistemul este compus dintr-un șir de module fotovoltaice cu puterea totală de 1.5 kWp, un motor pe curent continuu și o pompă centrifugă. Autorii au arătat că SPVP cuplate direct sunt potrivite pentru pompare la înălțime mică. Sistemul funcționează cu întreținere redusă datorită absenței bateriilor și a controlului electronic.

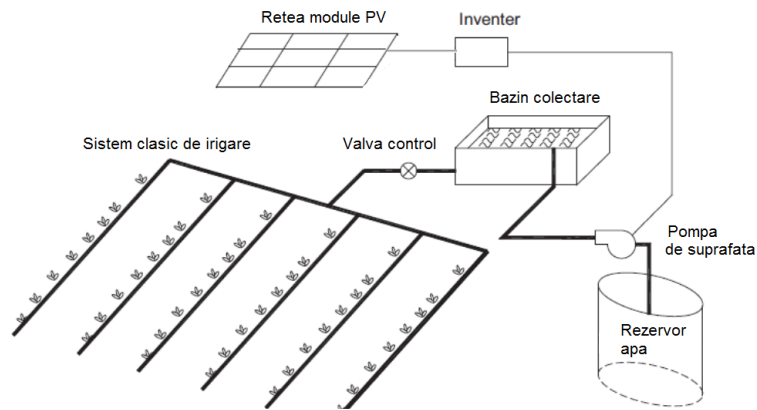


Fig. 4.22 Schiță a sistemului de irigare fotovoltaic din Landgridge et al. (1996) [83]

4.4.2. Tipuri de motoare

Pentru SPVP sunt disponibile mai multe tipuri de motoare de curent continuu (de exemplu cu magnet permanent) și motoare de curent alternativ (sincron și asincron). Selecția motorului depinde de mărimea, eficiența, prețul și fiabilitatea sistemului. Motoarele de curent continuu sunt atractive, deoarece acestea se pot conecta direct la șirul de module fotovoltaice. Motoarele de curent continuu nu sunt potrivite pentru aplicații de putere mare (peste 7 kW). În cazul în care se folosește un motor cu inducție de curent alternativ, este necesar un inverter. Utilizarea unui inverter va duce la costuri suplimentare și pierderi de energie. Pentru pompe de apă c.c. submersibile, întreținerea și înlocuirea periiilor motoarelor de curent continuu necesită ca pompa să fie scoasă din puț, ceea ce mărește costurile de întreținere și, de asemenea, reduce fiabilitatea și durata de viață.

Motoarele de curent continuu fără perii au fost introduse pentru a depăși inconvenientele enumerate [105] (Metwally și Anis 1994). Astfel de motoare fără perii pe curent continuu au fost folosite pentru SPVP folosind pompe elicoidale. Performanța lor a fost testată în condițiile meteorologice din Australia. S-a constatat că eficiența sistemului, folosind motor fără perii pe curent continuu și pompe elicoidale variază între 30% și 50%, fiind mai bună decât în cazul motoarelor convenționale [83] (Landgridge et al. 1996). În studii similare, (Metwally și Anis 1994) [105] au testat un motor alimentat cu o tensiune de curent continuu printr-un circuit de comutare. S-a constatat o eficiență mai mare decât cea a unui motor c.c. sau a motoarelor cu inducție, fiind de aproximativ 85% în cea mai mare parte din timpul său de lucru. Singh et al. (1998) [143] au dezvoltat un motor cu magnet permanent de curent continuu fără perii alimentat de la un generator fotovoltaic cuplat direct. Prototipul dezvoltat funcționează satisfăcător, sistemul de antrenare dovedindu-se a fi adecvat pentru a pompa apă chiar și în timpul orelor de soare slab.

3.4.3 Pompe de apă folosite în SPVP

Vick și Clark (2011) [154] au comparat performanța unui SPVP folosind o pompă cu diafragmă și o pompă elicoidală. Puterea nominală a generatoarelor fotovoltaice pentru sistemele tipice echipate cu pompe cu diafragmă variază de la 75

W la 150 W, în timp ce puterea nominală a generatoarelor fotovoltaice pentru sistemele tipice echipate cu pompe elicoidale variază între 200 W și 1000 W. Fiabilitatea sistemelor SPVP dotate cu pompa acționată elicoidal este mai bună decât cea a sistemelor solare fotovoltaice cu pompare cu diafragmă pentru adâncimi de pompare mai mari de 30 m. Arab et al. (2006) [6] au prezentat două modele matematice motor - pompa pentru a identifica punctul de optim de funcționare pentru SPVP. Modelele au fost dezvoltate pentru pompe centrifuge cuplate la motoare de curent continuu. Datele experimentale au fost obținute într-o instalație de testare a pompelor. Aceste modele sunt capabile să identifice punctul optim de funcționare și să estimeze debitul de volum de apă. Fiaschi et al. (2005) [54] au îmbunătățit eficiența sistemelor de pompe solare de adâncime, cu ajutorul pompelor centrifuge cu o viteză variabilă (pompa cu arbore divizat). Rezultatele obținute au fost comparate cu cele obținute cu pompele tradiționale (pompa centrifuga standard). Autorii au arătat avantajul economic al soluției de pompare cu arbore divizat, timpul de recuperare a investiției fiind mai mic. Hamidat (1999) [69] a simulat performanțele și a calculat costul de pompare în cazul unui SPVP folosind pompe de suprafață. În lucrarea [70] Hamidat și Benyoucef (2008) au fost prezentate două modele matematice pentru a simula performanțele pe termen lung atât electrice cât și hidraulice ale pompei centrifuge și pompei volumetrice. Performanța a fost calculată pe baza datelor meteorologice măsurate în diferite locații situate în Sahara și în regiunile de coastă din Algeria. Autorii au raportat că eficiența totală a pompei volumetrice este mai mare față de pompele centrifuge. Pierderile medii de energie ale pompelor volumetrice sunt mai mici decât ale pompelor centrifuge, în special pentru înalțimi de pompare mari. Volumul mediu de apă pompat de pompe volumetrice este mai mare comparativ cu cea a pompelor centrifuge.

4.4.4. Răcirea panourilor solare fotovoltaice

Celulele solare se încălzesc în timpul conversiei energiei și, de asemenea, se încălzesc datorită absorbției radiației solare cu lungimi de undă mici. Performanța unui sistem SPVP este afectată de încălzirea celulelor: pe măsură ce temperatura celulelor solare crește randamentul acestora scade [115] (Paulescu și Schlett 2001). Astfel, pentru a obține puterea maximă este esențial să se mențină o temperatură scăzută a celulelor solare [139] (Royne et al. 2005).

Abdolzadeh și Ameri (2009) [1] au făcut o încercare de pulverizare a apei pe suprafața panourilor fotovoltaice. Autorii au raportat că, în cazul pompării apei la o înălțime de 16 m, eficiența conversiei fotovoltaice, eficiența pompei și eficiența totală au fost îmbunătățite cu 3.26%, 1.40% și respectiv 1.35%. De asemenea, ei au raportat că au obținut o eficiență maximă în converia fotovoltaică de aproximativ 13.5%. Kordzadeh (2010) [81] a studiat performanțele unui SPVP cu peliculă de apă pe suprafață. Prin asigurarea peliculei de apă deasupra celulelor fotovoltaice SPVP a fost semnificativ mai mare.

4.4.5 Dimensionarea optimă a SPVP

Investiția inițială mare în dezvoltarea sistemelor de irigații având ca sursă de energie un generator fotovoltaic face necesară dimensionarea cât mai exact posibil a panourilor fotovoltaice [65] (Groumpos și Papageorgiou 1987). Incertitudinea din măsurarea radiației solare (discutată în secțiunea 3.2.2 a tezei) va influența foarte mult acuratețea dimensionării șirului de module fotovoltaice.

Cuadros et al. (2004) [44] au prezentat o procedură de proiectare a generatorului fotovoltaic necesară pentru a alimenta un sistem de pompare pentru

irigare prin picurare a unei livezi de măslini în Spania. Metoda prezentată în lucrarea lor presupune trei etape principale. În prima etapă sunt estimate cerințele de irigare în funcție de caracteristicile specifice ale culturii, de tipul de sol și climă. În a doua etapă a fost făcută o analiză a sistemului de pompare în funcție de adâncimea pânzei freatice și înălțimea necesară la care trebuie pompată apa. În etapa finală, a fost găsită puterea de vârf a generatorului fotovoltaic luând în considerare randamentul global al sistemului fotovoltaic-pompa-irigare.

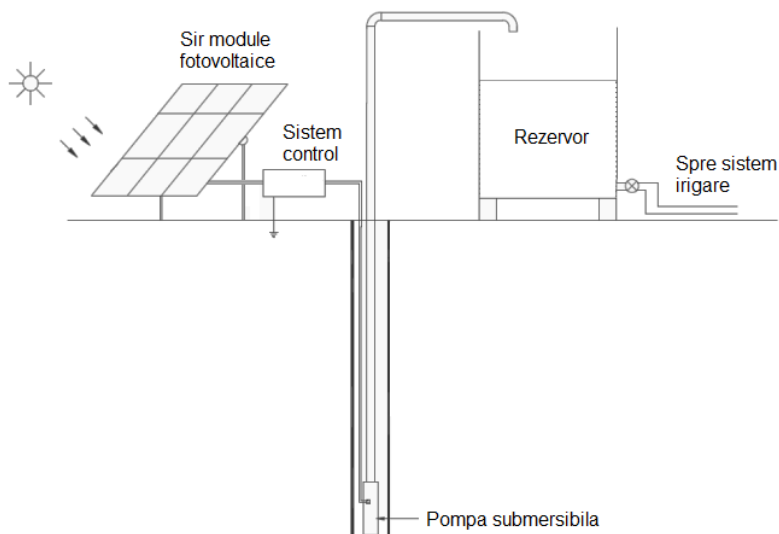


Fig. 4.23. Schiță a sistemului fotovoltaic de pompare a apei, folosind rezervor de stocare. [11] (după Bakelli et al. (2011)).

Într-o lucrare de optimizare teoretică similară, [77] Kaldellis et al. (2011) au calculat dimensiunea unui SPVP autonom și au comparat rezultatele cu valorile experimentale măsurate. Autorii au arătat că această configurație a sistemului optimizată la 610 W este capabilă să acopere atât necesarul de energie electrică (2 kWh/zi) cât și cerințele de apă (max. 400 litri/zi). Firatoglu și Yesilata (2004) [55] au folosit o tehnică etapizată de optimizare a utilizării energiei solare într-un SPVP cuplat direct, în condiții meteorologice specifice Turciei. Soluția optimă a fost obținută prin utilizarea datelor meteorologice disponibile în locație și a datelor furnizate de producători pentru componentele sistemului.

Bakelli et al. (2011) [11] au optimizat un SPVP echipat cu rezervor de stocare a apei (figura 4.23). Datele de intrare utilizate în studiul lor au constatat din iradierea solară orară, temperatura mediului ambiant, cerința de apă și specificațiile dispozitivelor de sistem. Metodologia de optimizare propusă s-a bazat pe pe profilul consumului de apă, înălțime totală de pompare, capacitatea rezervorului și puterea de vârf a generatorului fotovoltaic.

Ghoneim (2006) [60] a dezvoltat un model de simulare a funcționării SPVP cuplată direct la generatorul fotovoltaic. SPVP constă dintr-un șir de module fotovoltaice din siliciu amorf, un motor de curent continuu, o pompă centrifugă, un rezervor de stocare și un dispozitiv urmărirea punctului de putere maximă. Programul de simulare constă în modelarea generatorului fotovoltaic echipat cu

dispozitiv de urmarire a punctului de putere maximă, a motorului și a pompei. În principiu, dimensiunea șirului de module fotovoltaice, orientarea acestora și caracteristicile sistemului pompă-motor-hidraulic au fost variate sistematic pentru a identifica configurația optimă.

Hamidat și Benyoucef (2009) [71] au dezvoltat o procedură sistematică de dimensionare SPVP cu rezervor de stocare și prin utilizarea noțiunii de probabilitate de pierdere de sarcină. Rezultatele au arătat că performanța SPVP depinde în mod semnificativ de înălțimea de pompare totală și de puterea dezvoltată de generatorul fotovoltaic. Campana et al. (2013) [37] au dezvoltat un instrument dinamic de modelare pentru proiectarea SPVP luând în considerare cerința de apă. Locația aleasă în studiul lor a fost Xining, China. Au fost analizate atât pompele de apă c.a. și c.c. Rezultatele au arătat că pompa pe curent alternativ, acționată de un generator fotovoltaic cu modulele având orientarea fixată reprezintă soluția cea mai rentabilă.

De multe ori metodele analitice convenționale de optimizare implică multe ipoteze și ecuații complicate. Pentru a simplifica procedurile în ultimii ani au fost introduse tehnici bazate pe conceptul de inteligență artificială [104] (Mellit et al. 2009). În acest context au fost raportate multe cercetări pentru optimizarea unghiului de înclinare a panourilor fotovoltaice luând în considerare condițiile meteorologice locale (Kaldellis și Zafirakis 2012).

4.4.6. Controlul SPVP

Pentru a atinge performanță maximă este esențial controlul funcționării SPVP. Zaki et al. (1994) [155] au utilizat circuite logic programabile (PLC) pentru a controla eficiența SPVP în aplicații de irigare. PLC controlează urmărirea punctului de putere maximă, funcționarea sistemului de pompare, echilibrul de putere al sistemului și ciclul de încărcare-descărcare al bateriei. Sallem et al. (2009) [142] au dezvoltat un algoritm inteligent pentru a îmbunătăți eficacitatea sistemului de pompare a apei. Decizia este luată după reguli specifice logicii fuzzy. Algoritmul are drept scop prelungirea duratei de funcționare a pompei de apă prin controlul unității de comutare, care leagă componentele sistemului. Implementarea algoritmului extinde perioada de pompare la mai mult de 5 ore pe zi, care oferă o îmbunătățire medie zilnică cu 97 % a volumului de apă pompat. Mazouz și Midoun (2011) [100] au propus o tehnică bazată tot pe logica fuzzy pentru a identifica punctul de putere maximă. S-a constatat că aplicarea logicii fuzzy în domeniul pompării apei folosind energie fotovoltaică îmbunătățește performanța sistemului. Fernandez-Ramos et al. (2010) [53] au îmbunătățit performanța SPVP utilizând un convertor de frecvență standard și dispozitive de comandă. Autorii au demonstrat că adăugarea unui PLC standard va evita oprirea sistemului în timpul scăderii bruște a iradianței solare.

4.4.7. Aspecte economice și de mediu ale SPVP

Cele două atribute generale considerate la evaluarea fezabilității SPVP sunt eficiența economică și eficiența ecologică.

Investiția totală necesară pentru a instala SPVP include costul componentelor, cum ar fi panourile fotovoltaice, invertorul, cablurile electrice, pompa de apă și conductele. Costul panourilor fotovoltaice este mare în comparație cu cel al altor dispozitive de generare a energiei, cum ar fi motoarele diesel. Cu toate acestea, în afară de costurile de întreținere, SPVP nu necesită costuri de operare în timpul vieții. În schimb, sistemele de pompare a apei conectate la rețeaua electrică și cele cu motorizare diesel necesită costuri ridicate de funcționare. După perioada de recuperare, SPVP va funcționa fără nici un cost de funcționare.

La producerea, transportul, instalarea și reciclarea sistemelor fotovoltaice se consumă o cantitate mare de energie și, de asemenea, se emite o cantitate însemnată de gaze cu efect de seră. Totuși contribuția unui sistem fotovoltaic la încălzirea globakă este de aproximativ de 10 ori mai mică decât cea a unei centrale pe bază de cărbune, dar este de 4 ori mai mare în comparație cu o centrală nucleară sau cu o centrală eoliană pe turbină [82] (Laleman et al. 2011). Impactul asupra mediului al SPVP este evaluat în funcție de timpul de recuperare a energiei (*EPT*), și nivelul emisiilor de gaze cu efect de seră. La sistemele fotovoltaice $EPT < 5$ ani.

O evaluare a ciclului de viață a cinci tipuri diferite de panouri fotovoltaice a fost efectuată în (Raguei și Frankl (2004) [136] în termeni *EPT*. Cele cinci module fotovoltaice investigate în studiu sunt: mono-cristalin, multi-cristalin, siliciu amorf, cu pelicula subtire de cadmiu-telur și cu pelicula subtire de cupru indiu seleniu. În mod neașteptat, sistemul fotovoltaic cu pelicula subtire de cadmiu-telur aduce cele mai multe beneficii pentru mediu, în timp ce modulul fotovoltaic pe baza de siliciu aduce cele mai puține beneficii pentru mediu. Efectele benefice ale sistemelor fotovoltaice asupra mediului pot fi potențate prin îmbunătățirea proceselor de producție, reciclarea materialelor componente și reducerea grosimii panoului.

4.4.8. Limitările SPVP

Au fost identificate următoarele limitări ale SPVP:

1. Performanța SPVP este limitată în mod semnificativ de fluctuațiile iradianței solare.
2. SPVP nu sunt populare datorită schemelor de finanțare necorespunzătoare.
3. În timpul conversiei energiei fotovoltaice se generează caldură, care afectează producția de energie electrică.
4. Acumularile de praf de pe suprafața panourile fotovoltaice pot determina o pierdere de până la 30% din producția de energie electrică.
5. Umiditatea relativă a mediului ambiant și intensitatea vântului pot afecta performanța SPVP.
6. Eficiența conversiei fotovoltaice este scăzută ($< 29\%$).

4.5. Sisteme fotovoltaice de pompare a apei cuplate direct

Sistemele de pompare a apei ca sursă de energie regenerabilă sunt clasificate în cinci grupe principale, după cum urmează: a. sisteme solare fotovoltaice de pompare a apei; b. sisteme solare de pompare a apei termale; c. sisteme de pompare a apei bazate pe energiei eoliana; d. sisteme de pompare a apei bazate pe biomasă; e. sisteme de pompare a apei bazate pe energie regenerabila hibrida. Analiza mai multor surse bibliografice au condus la concluzia că sursele regenerabile de energie joacă un rol vital în reducerea consumului de energie din surse convenționale și impactul asupra mediului pentru aplicații de pompare a apei.

Pentru a proiecta un sistem de pompare a apei eficient trebuie să se cunoască următoarele:

- Utilizarea apei (domeniul de irigare, drenaj, consumul public);
- Sursa de apă (de foraj, baraj);
- Stocarea apei (va fi în rezervor, baraj);
- Volumul de apă necesar zilnic;
- Diferența de nivel a solului și lungimea conductei;
- Adâncimea maximă de la care se pompează apă.

Cu aceste date mai întâi se estimează energia necesară pentru alimentarea pompelor, iar apoi, se dimensionează sistemul fotovoltaic astfel încât să asigure alimentarea cu energie a pompelor în condiții de siguranță.

Cercetările derulate în această teză au fost focalizate pe sistemele fotovoltaice de pompare a apei cuplate direct, adică acele sisteme la care pompa și modulul fotovoltaic sunt conectate electric nemijlocit (fără sistem de control și baterii). Cuplarea directă a generatorului și pompei reprezintă cu siguranță cea mai ieftină soluție fotovoltaică de pompare a apei. Sistemele fotovoltaice de pompare cuplate direct au fost studiate intens în ultimele decade, astfel: referința [5] Anis și Metwally (1994) analizează critic cercetările înainte de mijlocul anilor 1990 cu privire la acest subiect, iar în [8] Bădescu (2003) este prezentat un model dinamic al unui sistem complex, care include un modul PV, o baterie de putere mare, un motor electric și pompa de apă. Un model pentru dimensionarea optimă a diferitelor componente ale unui sistem fotovoltaic de pompare care include un rezervor de stocare a apei a fost propus recent în [8] Bachelli et al. (2011). Modelul ia în considerare diferite situații reale generate de profiluri ale consumului de apă, capacitatea totală a pompei, capacitatea rezervorului și puterea maximă a modulului PV.

4.6. Schema logică de dimensionare panouri solare fotovoltaice

O problemă frecvent întâlnită în domeniul sistemelor solare fotovoltaice este alegerea incorectă a sistemului. Vă prezentăm care este modalitatea de calcul și cum vă puteți alege sistemul de care aveți nevoie.

Alegerea configurației corecte ține cont de: consumatorii pe care îi aveți și timpul de folosire al acestora în 24h și locația imobilului, însorirea, tensiunea pentru baterii.

Întotdeauna dimensionarea sistemului pleacă de la identificarea corectă a consumatorilor și al duratei de utilizare zilnică a acestora conform schemei logice din fig.4.24.

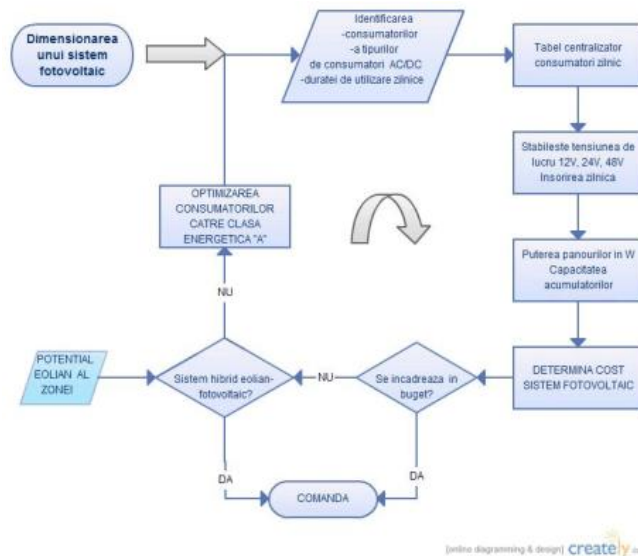


Fig. 4.24. Schema logică de dimensionare panouri solare. [214, 228]

CAPITOLUL 5

CERCETĂRI EXPERIMENTALE ASUPRA POMPELOR CUPLATE DIRECT CU GENERATORUL FOTOVOLTAIC

În această secțiune a tezei sunt prezentate principalele rezultate obținute pe parcursul cercetărilor derulate în programul de pregătire doctorală. Sunt analizate și discutate atât rezultatele experimentale cât și cele obținute în domeniul modelării numerice a fenomenelor fizice implicate în procesul de pompare a apei. Aceste rezultate au fost raportate în patru lucrări științifice, după cum urmează.

Lucrarea Balaj et al. (2015.a) [15] tratează studiul corelației dintre radiația solară și producția de energie a unui sistem fotovoltaic autonom, energie destinată alimentării sistemelor de pompare a apei. Cercetările au fost orientate în două direcții: estimarea iradierii solare globale la nivelul solului, ca premisă esențială în proiectarea unui sistem fotovoltaic și determinarea randamentului de conversie a unui modul fotovoltaic în condiții reale de funcționare. Folosind date măsurate în Platforma Solară, au fost stabilite și validate proceduri semi-empirice pentru estimarea energiei solare colectabile lunar și a randamentului de conversie a unui modul fotovoltaic. Pe baza analizei rezultatelor, se poate concluziona faptul că procedurile propuse pot reprezenta soluții fezabile pentru dimensionarea generatorului fotovoltaic destinat alimentării cu energie electrică a sistemelor de pompare a apei. Întrucât locația Timișoara a fost aleasă arbitrar se poate estima că procedurile propuse pot fi aplicate cu succes la dimensionarea sistemelor de irigații solare în Câmpia Banatului. Rezultatele obținute sunt prezentate în secțiunea 4.1 a tezei.

Lucrarea Balaj et al. (2015.b) [16] prezintă rezultatele evaluării unui sistem de pompare a apei având pompa cuplată direct la modulul fotovoltaic și care funcționează în condițiile meteorologice specifice din Câmpia Banatului. Montajul experimental, localizat pe Platforma Solară a universității de Vest din Timișoara, a fost monitorizat în intervalul calendaristic 25 aprilie – 30 septembrie 2013, acoperind astfel întreaga perioadă de irigare a culturilor pe parcursul unui an agricol. Performanța sistemului și distribuția în timp a apei pompate au fost evaluate în raport cu dinamica regimului solar radiativ. Rezultatele sunt prezentate în secțiunea 4.2 a tezei. (MP3 – lucrare tim)

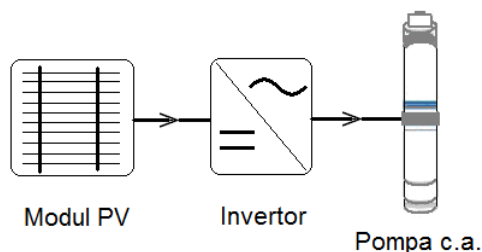


Fig. 5.1. Schema unui sistem de pompare a apei alimentat fotovoltaic

5.1. Estimarea producției de energie a unui sistem fotovoltaic

În figura 5.1 este ilustrată schema unui sistem de pompare a apei alimentat cu energie solară. Există două dificultăți majore cu care se confruntă un inginer angajat într-un proiect de proiectare a unui astfel de sistem. În primul rând apare întrebarea: cu câtă acuratețe modelele reproduc valoarea reală și distribuția temporală a energiei solare colectate? În al doilea rând, în condiții meteorologice reale, iradianța solară și temperatura ambiantă variază în mod continuu. Ca urmare caracteristicile curent-tensiune ale modulelor fotovoltaice în condiții se modifică, de asemenea, continuu. Cu toate acestea caracteristicile curent-tensiune ale modulelor fotovoltaice sunt furnizate de producători numai în condiții standard de funcționare (STC). În ciuda abundenței modelelor care adaptează parametrii de catalog ai modulelor fotovoltaice măsurăți la STC, la condițiile meteorologice reale exterioare (un exemplu este dat în secțiunea 4.3.3 a tezei), inginerul se confruntă cu dilema alegerii modelului de tranșă adecvat, capabil să funcționeze cu acuratețe în zona geografică de interes.

Reamintim că, modulele fotovoltaice sunt livrate de către producători însoțite de fișa tehnică în cadrul căreia sunt enumerate trei puncte pe caracteristica curent-tensiune (I-V) și anume: curentul de scurt-circuit, tensiunea în circuit deschis și punctul de putere maximă (MPP). Aceste puncte sunt măsurate în condiții standard de testare (STC). Standardul specifică o iradianță solară globală de 1000 W / m^2 , la incidență normală, cu o distribuție spectrală AM1.5G și temperatura de funcționare a celulei solare fiind de $25 \text{ }^\circ \text{C}$. Prin utilizarea unei astfel de informații limitate, descrierea matematică a caracteristicii I-V reprezintă întotdeauna o provocare.

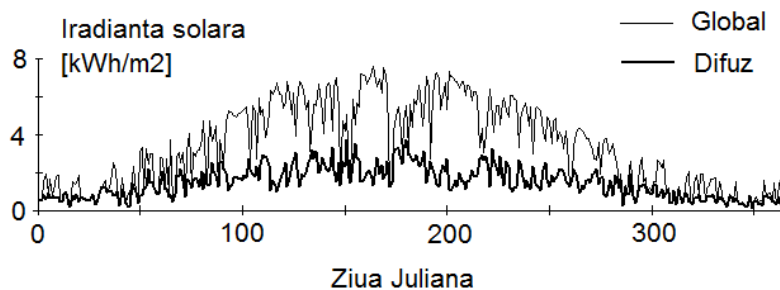


Fig. 5.2. Iradierea solară zilnică, globală și difuză, măsurată pe Platforma Solară, în anul 2009.

În lucrarea Balaj et al. (2015a) [15] sunt raportate rezultate obținute în evaluarea disponibilității și calității datelor radiometrice măsurate și influența parametrilor meteorologici asupra funcționării unui modul fotovoltaic. De asemenea sunt stabilite proceduri pentru estimarea energiei soare colectabile și pentru evaluarea randamentului de conversie a modului fotovoltaic. Rezultatele pot fi considerate ca fiind un instrument util pentru proiectarea și evaluarea performanței unui sistem fotovoltaic autonom montat în Câmpia Banatului destinat alimentării unui sistem de pompare a apei.

Disponibilitatea energiei solare. Măsurarea radiației solare implică rețelele de stații radiometrice locale sau globale. La fel ca majoritatea țărilor, România a creat o rețea națională de monitorizare a iradiației solare globale pe suprafețe orizontale, care furnizează date bazei globale World Radiation Data Center (descriș în secțiunea

4.2.2 a tezei). Aceste date sunt măsurate în rețeaua națională de stații meteorologice, care cuprinde mai mult de 150 de stații meteorologice. Dintre aceste stații, numai 35 sunt echipate pentru monitorizarea iradianței solare globale și doar 8 dintre acestea dispun de o bază de date pe termen lung pentru iradianța solară globală.

În cadrul acestui studiu au fost utilizate date măsurate pe Stația de Monitorizare a Radiației Solare de pe Platforma Solară a Universității de Vest din Timișoara (<http://solar.physics.uvt.ro/srms>), descrisă, de asemenea, în secțiunea 3.2.2 a tezei. Măsurătorile au fost efectuate pe durata întregii zile la interval egale de timp de 15 secunde.

În figura 5.2 sunt ilustrate iradierele solară globală (H_g) și difuză (H_d) măsurate pe parcursul anului 2009 pe Platforma Solară. În tabelul 5.1 sunt sintetizate mediile lunare zilnice ale iradiației solare globale și difuze, calculate din seria zilnică de date. În anul 2009, media anuală zilnică a iradiației globale, în Timișoara a fost de 3.34 kWh/m².

Tabelul 5.1. Media lunară a iradierii solare globale și difuze zilnice, calculată din cate măsurate în 2009 pe Platforma Solară

Month	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
\bar{H}_g [kWh/m ²]	0.9 2	1.6 3	2.7 2	5.0 1	5.4 3	5.3 5	6.1 3	5.0 7	3.8 5	2.0 1	1.1 9	0.6 4
\bar{H}_d [kWh/m ²]	0.6 2	0.9 4	1.5 2	1.8 4	2.3 1	2.3 0	1.9 4	1.9 6	1.6 4	1.1 3	0.6 4	0.4 4

Datorită densității teritoriale scăzute a stațiilor meteorologice echipate pentru măsurarea radiației solare, metodele numerice au devenit o alternativă practică. De obicei, iradianța solară este estimată printr-un proces care presupune executarea a două etape. În prima etapă este calculată iradierea solară globală în condiții de cer senin. În a doua etapă este luată în considerare influența norilor de pe cer printr-o ecuație clasică de tip Angstrom-Prescott, care corelează iradierea solară globală în condiții de cer senin cu durata de însorire sau nebulozitate [117] (Paulescu și Schlett 2004).

Pentru determinarea iradierii solare în condiții de cer senin H_0 , metoda uzuală constă în integrarea unui model de iradianță solară în condiții de cer senin:

$$H_0 \left[\text{Wh/m}^2 \right] = \frac{24 \cdot 3600}{2\pi} \int G_0(\omega) d\omega \quad (5.1)$$

unde ω este unghiul orar. Pentru a obține iradierea zilnică integrarea se face între unghiurile orare de răsărit și de apus ale soarelui. Iradierea lunară sau anuală se obțin adunând datele zilnice. Ecuația (3.1) subliniază faptul că un model de cer senin care estimează iradianța solară cu acuratețe, G_0 , reprezintă o condiție prealabilă pentru evaluarea cu acuratețe a energiei solare colectate. Numeroase modele de cer senin de estimare a iradianței solare sunt realizate empiric, prin fitarea datelor colectate într-o zonă (de obicei de la o singură stație de radiometrică). Aceste modele empirice sunt adesea preferate datorită simplității lor.

Hottel et al. (1976) [74] este un model empiric care poate fi aplicat la calculul iradianței solare directe până la o altitudine de 6 km:

$$G_{0A} = G_{ext} \left[a_1 + a_2 \exp\left(-\frac{a_3}{\sinh h}\right) \right] \sinh h \quad (5.2)$$

unde G_{ext} reprezintă iradianța solară măsurată la nivel extraterstru și

$$a_1 = 0.4327 - 0.00821(6 - z)^2 \quad (5.3.a)$$

$$a_2 = 0.5055 + 0.00595(6.5 - z)^2 \quad (5.3.b)$$

$$a_3 = 0.2711 + 0.01858(2.5 - z)^2 \quad (5.3.c)$$

Modelul Bugler (1977) [30] este de asemenea un model empiric, dar care poate fi aplicat pentru calculul iradianței solare difuză:

$$G_{0B} [\text{Wm}^{-2}] = 16h^{0.5} - 0.4h \quad (5.4)$$

unde unghiul de înălțare al soarelui h este exprimat în grade.

Modelele Hottel și Bugler au fost utilizate împreună pentru a calcula iradierea solară globală în condiții de cer senin H_0 .

Pentru a calcula iradierea solară globală zilnică H folosind valorile estimate în condiții de cer senin H_0 , a fost utilizată o ecuație Angstrom-PreScott definită astfel (Paulescu și Schlett 2003) [116]:

$$H = H_0 (0.2881 + 0.7429\sigma^{0.6168}) \quad (5.5)$$

unde σ este durată relativă zilnică de însorire.

Evaluarea acurateții modelelor de radiație solară a fost realizată uilizând doi indicatori statistici clasici: $rmse$ – abaterea medie pătratică și mbe – abaterea medie, definiți astfel:

$$RMSE \equiv \left[\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (c_i - m_i)^2 \right]^{1/2} \quad (5.6)$$

$$MBE \equiv \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (c_i - m_i) \quad (5.7)$$

unde c reprezintă valorile calculate, m valorile măsurate, iar M este numărul de măsurători. Pentru a compara calitatea modelelor aplicate pe serii de date cu diferite

magnitudini se utilizează normalizarea celor doi indicatori la media datelor măsurate: $rRMSE = RMSE/\mu$, and $rMBE = MBE/\mu$.

Modelul dat de ecuațiile (5.1)-(5.5) a fost aplicat la estimarea iradierii solare globale zilnice în anul 2009. Rezultatele au fost comparate cu măsurătorile. Analiza indicatorilor statistici demonstrează o acuratețe acceptabilă pentru aplicații practice a rezultatelor obținute: $rRMSE = 7,9\%$, iar $rMBE = 4,3\%$.

Deoarece majoritatea stațiilor de pompare a apei funcționează pe perioada mai multor ani, este recomandabil ca la estimarea energiei solare disponibile în locație pe parcursul unui an să fie considerat anul meteorologic tipic.

Funcționarea modulelor PV în condiții reale. Rezultatele monitorizării pe Platforma Solară a unui modul fotovoltaic comercial de 90 W au demonstrat o diferență netă între eficiența măsurată în condiții meteorologice reale $\eta_m = 10.1\%$ și cea măsurată în condiții standard de testare $\eta_{STC} = 14.6\%$. Aceasta înseamnă că atunci când un modul fotovoltaic este

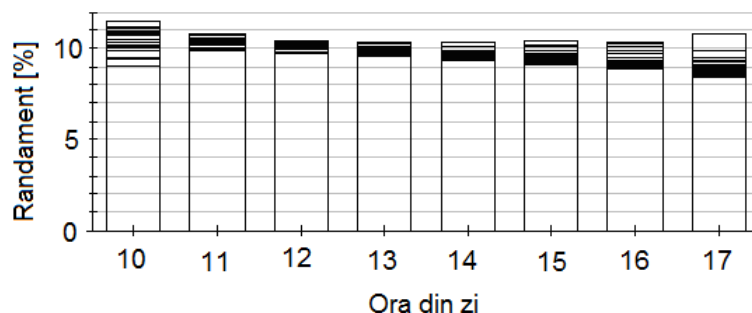


Fig. 5.3. Eficiența modulului fotovoltaic estimată în fiecare oră din intervalul 10AM și 17PM, pe durata lunii aprilie 2011.

Dimensionat utilizând randamentul din foia de catalog se poate supraestima producția de energie cu până la 30%. O asemenea eroare inclusă în proiectare, ar conduce la realizarea unui sistem de pompare a apei cu debit și volum mai mici decât cele cerute în aplicație

Rezultatele prezentate în continuare au ca scop rezolvarea problemei prezentate. Rezultatele sunt bazate pe date experimentale achiziționate în luna aprilie a anului 2011 pe Platforma Solară. Montajul experimental constă într-un modul fotovoltaic FVG90M (FVG 2009), care a fost conectat direct la o sarcină activă. Tensiunea, curentul și temperatura sistemului au fost monitorizate în mod continuu. În același timp a fost măsurată iradianța solară totală pe direcția modulului, pe un plan înclinat cu 45 de grade spre sud în raport cu suprafața orizontală. Datele au fost înregistrate cu patru eșantioane pe minut, pe fiecare canal înregistrându-se un număr de 84400 de măsurători.

În figura 5.3 este prezentată eficiența modulului fotovoltaic în condiții reale de funcționare, obținută pe baza datelor orare înregistrate în perioada 10 AM și 17 PM, în fiecare zi din luna aprilie. Se observă că eficiența modulului prezintă variații de la o zi la alta, dar suferă și variații orare în interiorul unei zile. Eficiența modulului fotovoltaic calculată oră cu oră pe baza înregistrărilor nemijlocite a curentului și

tensiunii furnizate și a iradianței solare orare se încadrează în intervalul de 9% - 11,5%, departe de eficiența obținută în condiții standard de testare de 14.05%.

Experimentul realizat relevă importanța estimării cu acuratețe a parametrilor unui modul fotovoltaic care funcționează în condiții meteorologice reale de funcționare. Dar în România, echipamentele pentru testarea modulelor fotovoltaice care funcționează în condiții meteorologice reale sunt foarte rare. Astfel, metodele numerice au devenit o alternativă practică, mai ales datorită costurilor mult mai mici decât testarea în laborator.

Pentru a estima caracteristica curent-tensiune a unui modul fotovoltaic care funcționează în condiții arbitrare de iradianța solară și temperatură, modelul patru-parametri oferă un echilibru adecvat între acuratețe și simplitate. Experimentul fizic descris mai sus a fost complectat cu un experiment numeric în care modelul patru-parametri a fost implementat în următorul algoritm. Punctul inițial îl reprezintă ecuația Shockley pentru o celulă solară (rel. 4.28): În ecuația (4.28) presupunem că curentul de scurt-circuit depinde doar de iradianța solară G astfel:

$$I_{sc}(G) = \frac{I_{sc,STC}}{G_{STC}} G \quad (5.8)$$

Tensiunea în circuit deschis depinde doar de temperatură celulei solare:

$$V_{CD}(T_c) = V_{CD,STC} + (T_c - T_{c,STC}) \frac{dV_{CD}}{dT_c} \quad (5.9)$$

Temperatura celulei este mereu mai mare decât temperatura mediului ambiant și prezintă o dependență liniară de fluxul solar incident:

$$T_c = T_a + C_t G \quad (5.10)$$

unde parametrul C_t este definit astfel:

$$C_t = \frac{NOCT(^{\circ}C) - 20^{\circ}C}{800 \text{ W/m}^2} \quad (5.11)$$

Temperatura nominală de funcționare a celulei (NOCT) variază între 42°C și 50°C, ceea ce conduce la variații ale parametrului C_t între 0.027 și 0.037 °Cm²/W.

Ecuațiile (5.8-5.11) au fost utilizate pentru a calcula eficiența modului fotovoltaic FVG90M în condiții reale de funcționare în orașul Timișoara. Modulul fotovoltaic a fost montat pe standul experimental orientat spre sud înclinat cu un unghi $\beta = 45^{\circ}$. Calculul a fost realizat pentru valori orare astfel. Valorile medii lunare ale iradiației solare globale în plan orizontal au fost estimate utilizând modele Hottel și Bugler (relațiile 5.2-5.5). Aceste valori au fost descompuse în tranșe orare folosind algoritmul din [151] (Tulcan și Paulescu 2009). Transpunerea pe o suprafață înclinată în valori totale ale iradierii solare pe o suprafață înclinată $H(\beta)$ a fost efectuată folosind un model izotrop [151] (Tulcan și Paulescu 2009):

$$H(\beta) = \frac{\cos \theta}{\sin h} H_b + \frac{1 + \cos \beta}{2} H_d + a \frac{1 - \cos \beta}{2} H_0 \quad (5.12)$$

În relația (5.12), H , H_b și H_d reprezintă iradierea globală, directă și, respectiv, difuză pe o suprafață orizontală. θ este unghiul de incidență al fluxului de radiație solară pe suprafață înclinată, iar h reprezintă unghiul de înălțare al soarelui pe cer la mijlocul fiecărei ore. Albedoul solului a fost considerat $a = 0.2$.

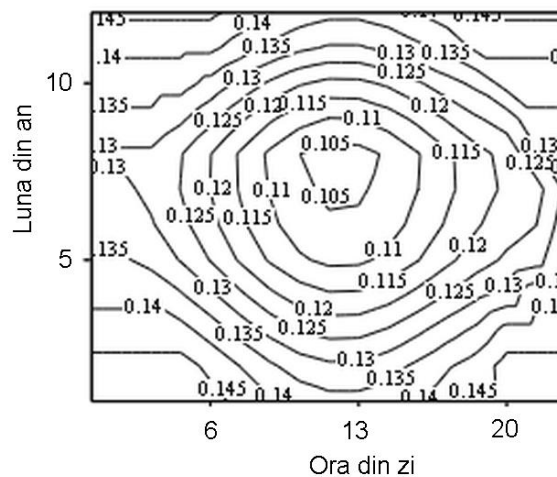


Fig. 5.4. Eficiența estimată a modului FVG 90M PV în condițiile meteorologice specifice Timișoarei

Rezultatele obținute sunt prezentate grafic în figura 5.4. Se observă că valorile estimate ale eficienței modului fotovoltaic scad de la 14.5% în primele ore ale dimineții până la 10.5% în mijlocul zilei. Eficiența modului este apropiată de eficiența calculată în condiții standard de testare, $\eta_{STC} = 14.05\%$ doar în perioada de iarnă.

În mijlocul lunii aprilie, eficiența estimată a modului fotovoltaic este 11.5%, cu aproximativ un procent peste valorile măsurate. Rezultă că modelul propus estimează cu acuratețe rezonabilă eficiența unui modul fotovoltaic funcționând în condiții meteorologice reale.

5.2. Studiul experimental al unui sistem fotovoltaic de pompare a apei cuplat direct

În lucrarea Balaj et al. (2015b) [16] sunt prezentate rezultatele studiului experimental unui sistem de pompare a apei cuplat direct la un modul fotovoltaic. Cuplarea directă a modului fotovoltaic la sistemul de pompare a apei reprezintă soluția comercială cea mai ieftină. În general, sistemul este format dintr-un modul fotovoltaic conectat direct la un motor de curent continuu al unei pompe centrifuge. Datorită simplității sale (nu include baterii și sistem de control) un astfel de sistem este simplu și fiabil.

Standul experimental a fost construit pe Platforma Solară a Universității de Vest din Timișoara și este descris pe scurt în următoarea secțiune. Pompa a fost monitorizată în decursul a cinci luni, în timpul lunilor de primăvară și de vară, perioadă în care culturile sunt irigate în câmpia Banatului. Sistemul a fost evaluat din două perspective diferite: (1) volumul de apă pompat și distribuția acesteia în timp și (2) influența regimului solar radiativ asupra performanței sistemului. Prima perspectivă este esențială în dimensionarea modului (sau a șirului de module) cuplat direct la sistemul de pompare a apei pentru a asigura funcționarea optimă a acestuia în câmpia Banatului. Cea de-a doua perspectivă asigură o vedere de ansamblu asupra studiului de caz, cu scopul de a generaliza rezultatele obținute.

5.2.1 Stand experimental

Experimentele au fost desfășurate în cadrul Platformei Solare a Universității de Vest din Timișoara (<http://solar.physics.uvt.ro/srms>). Platforma Solară include o Stație de Monitorizare a Radiației Solare (SRMS) și trei standuri experimentale dedicate testării modulelor PV. Stația de Monitorizare a Radiației Solare este echipată cu piranometre de primă clasă DeltaOHM, în conformitate cu standardul ISO 9060. Pe platformă se monitorizează iradianța solară globală, difuză, reflectată și totală. Măsurarea tuturor parametrilor (electrici, meteorologici, radiometrici) se realizează simultan la intervale egale de timp de 15 secunde, 24 de ore pe zilnic.

În figura 5.5 este prezentat schematic montajul experimental utilizat pentru testarea sistemului fotovoltaic cuplat direct la sistemul de pompare a apei. În figura 3.6 sunt prezentate două fotografii care ilustrează principalele componente ale sistemului: modulul PV și pompa de apă. Montajul experimental constă într-o pompă fotovoltaică SHURflo 2088-403-144 alimentată la un modul PV FVG90M. Principalele caracteristici ale pompei fotovoltaice și ale modulului PV sunt prezentate în tabelul 5.2 și, respectiv, tabelul 5.3.

Piranometrul G din figura 5.5 măsoară iradianța solară pe suprafața modulului fotovoltaic. T este un senzor termic pentru măsurarea temperaturii mediului. Rezistorul R are rolul de a limita curentul, el fiind utilizat pentru a proteja modulul atunci când soarele strălucește puternic. Apa este pompată dintr-un rezervor în alt rezervor situat la o diferență de nivel de 4.5 metri de primul rezervor. Din al doilea rezervor apa curge spre primul sub acțiunea gravitației. Astfel, circuitul apei este un circuit închis. Volumul de apă pompat este măsurat prin intermediul debitmetrului D . Toți senzorii sunt integrați într-un sistem de achiziție a datelor NI PXI situat în laboratorul PV. Transmitia informației între Platforma Solară și sistemul de achiziție a datelor este realizată în curent 4-20mA.

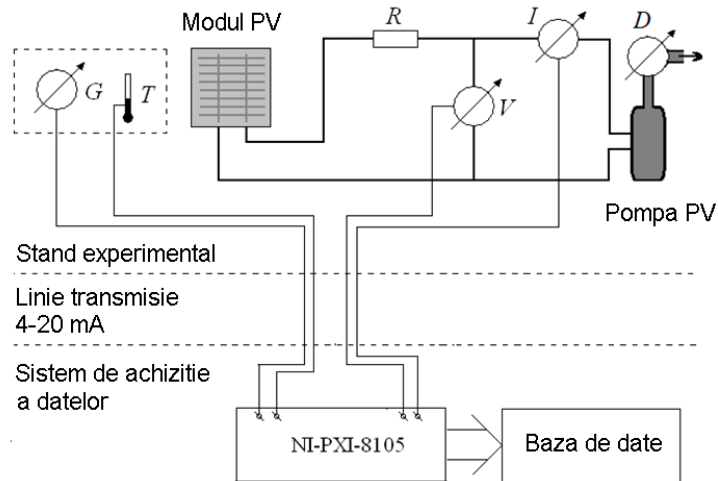


Fig. 5.5. Schema montajului experimental pentru studierea sistemului fotovoltaic de pompare a apei cuplat direct: G - este un piranometru pentru măsurarea irradiației solare pe suprafața modulului PV; T - este un senzor termic pentru măsurarea temperaturii ambientale; D - este un debitmetru standard.

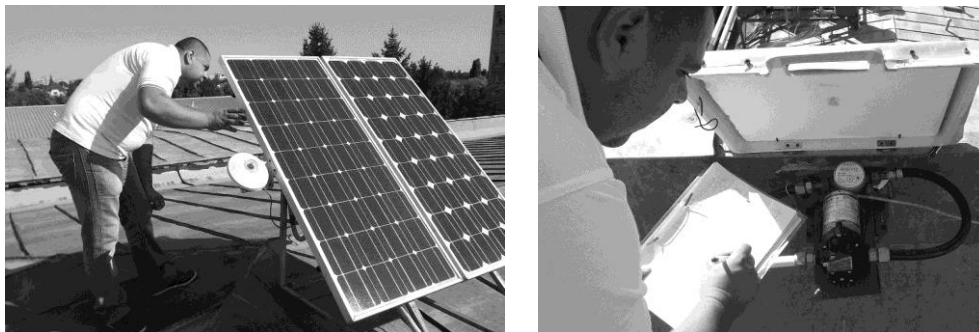


Fig. 5.6. Fotografii ale montajului experimental utilizat pentru studierea unui sistem fotovoltaic cuplat direct la o pompă de apă: (a) modul PV FVG90M (pe partea dreapta) și piranometrului LPPYRA 02 pentru măsurarea irradiației solare pe suprafața modulului; (B) pompa de apă SHURflo 2088-403-144.

Tabelul 5.2. Principalele caracteristici ale pompei SHURflo 2088-403-144

Type	Positive displacement 3 chamber diaphragm pump
Operation	One way operation, check valve
Voltage	12V DC nominal
Pressure switch	3.1 bar Shut-Off, Turn On 1.7 ± 0.35 bar
Motor	Permanent magnet
Performance	Open/10.6/3.1
(pressure [bar]/debit [l/min]/current [A])	0.7/7.8/3.7; 1.4/6.2/4.2; 2.1/4.7/4.5; 3.5/2.2/4.5

Tabelul 5.3. Principalele caracteristici ale modului PV FVG 90M

Puterea nominală	90W
Tensiunea în circuit deschis	22.3 V
Curentul de scurtcircuit	5.37 A
Tensiunea în MPP	18.5 V
Curentul în MPP	4.86 A
Coeficientul termic al tensiunii în circuit deschis	- 0.0034 °C ⁻¹
Coeficientul termic al curentului de scurtcircuit	0.0005 °C ⁻¹
<i>NOCT</i>	45 ± 2 °C
Suprafața modului	0.596 m ²

5.2.2. Caracterizarea regimului solar radiativ

Pentru a caracteriza regimul solar radiativ, în acest studiu sunt utilizate două mărimi fizice corelate cu starea cerului: indicatorul de însorire (SSN) și stabilitatea indicatorului de însorire (SSSN).

Indicatorul de însorire cuantifică poziția relativă a soarelui și a norilor. Indicatorul de însorire este o mărime binară definită astfel:

$$SSN_t = \begin{cases} 0 & \text{daca soarele este acoperit de nori la momentul } t \\ 1 & \text{în caz contrar} \end{cases} \quad (5.13)$$

Seria de valori ale SSN poate fi calculată din seriile de valori măsurate ale iradianței solare folosind criteriul de însorire stabilit de Organizația Mondială de Meteorologie (WMO 2008): soarele strălucește în momentul de timp t , dacă iradianța solară directă este mai mare de 120 W / m²:

$$SSN_t = \begin{cases} 1 & \text{daca } (G_t - G_{d,t}) / \sin h_t > 120 \text{ W / m}^2 \\ 0 & \text{in caz contrar} \end{cases} \quad (5.14)$$

unde G_t și G_d , reprezintă iradianța solară globală și difuză la momentul t .

Valoarea medie a SSN într-un interval de timp Δt este egală cu însorirea relativă σ în Δt . Definiția sa este $\sigma = S / S_0$, unde $S_0 \equiv \Delta t$ și S este durata în care soarele strălucește. O valoare scăzută a S / S_0 indică un grad mai ridicat de acoperire al cerului cu nori.

Pentru a cuantifica stabilitatea regimului solar radiativ în [121] Paulescu și Bădescu (2011) a fost definită stabilitatea indicatorului de însorire SSSN, un parametru legat de SSN astfel:

$$SSSN_t = \begin{cases} 1 & \text{daca } SSN_t < SSN_{t-1} \text{ (daca } SSN_1 = 1) \\ & \text{sau } SSN_t > SSN_{t-1} \text{ (daca } SSN_1) = 0 \\ 0 & \text{in caz contrar} \end{cases} \quad (5.15)$$

Media valorilor $SSSN$ pentru un interval de timp Δt (\overline{SSSN}) variază între 0 și 1/2. Regimul solar radiativ este *complet stabil* în primul caz și *complet instabil* în cel de al doilea caz. Diferite proprietăți elementare statistice ale SSN și $SSSN$ sunt descrise în [121] Paulescu și Bădescu (2011).

5.2.3. Rezultate experimentale

Montajul experimental a fost monitorizat timp de cinci luni începând cu 25 aprilie 2013 până la 30 septembrie 2013. Această perioadă de timp acoperă întreaga perioadă necesară pentru irigații în partea de vest a României. Mărimile meteorologice și radiometrice au fost înregistrate în mod automat, în timp ce contorul de debit a fost citit în dimineața, înainte de a porni pompa. În acest studiu s-a urmărit comportamentul sistemului de pompare din două perspective: volumul de apă pompat și dependența acestei cantități de apă de regimul radiativ solar.

În figura 5.7 este prezentat volumul cumulat de apă pompată în timpul perioadei de testare în funcție de ziua Juliană. Se poate observa că volumul cumulate de apă variază aproximativ liniar în funcție de ziua Juliană.

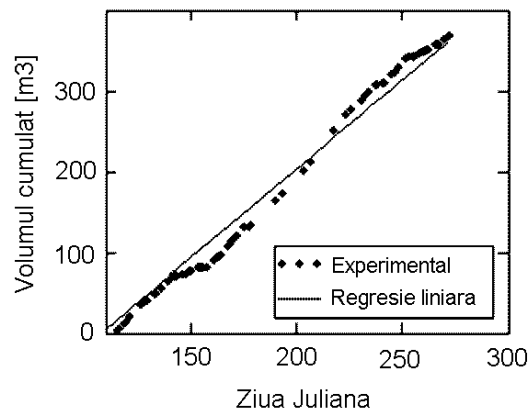


Fig. 5.7 Volumul cumulat de apă pompat în timpul perioadei de testare.

Variația zilnică a volumului de apă pompat a fost aproximată prin regresie liniară:

$$V = 2.2 \cdot j - 235 \quad (5.16)$$

unde V este volumul pompat, iar $j > 120$ este ziua Juliană. Pe durata perioadei de testare volumul total al apei pompate a fost 369.2 m^3 , ceea ce reprezintă o medie zilnică de $2.33 \text{ m}^3 / \text{zi}$. În tabelul 5.4 sunt prezentate datele referitoare la volumul de apă pompat lună de lună și valoarea medie zilnică. Volumul maxim de 91.3 m^3 a fost atins în luna iulie, ceea ce reprezintă o medie zilnică de 2.94 m^3 . Acest lucru se datorează faptului că, în luna iulie majoritatea zilelor au fost complet însorite ($\sigma_m = 0.762$). Cea mai mare valoare a mediei zilnice a iradianței solare $H_m = 458.2 \text{ Wm}^2$ a fost atinsă în luna iulie. În mai și iunie volumul de apă pompat a fost de aproximativ 2/3 comparativ cu cel pompat în cadrul lunii iulie.

Volumul de apă pompat nu poate fi asociat direct cu însorirea relativă. Pe de alta parte, având în vedere că iradianța solară depinde puternic de sezon, chiar dacă în fiecare zi a lunii ianuarie ar fi soare, volumul de apă pompat va fi mai mic decât cel din luna iulie.

Datele prezentate în tabelul 5.4 demonstrează că volumul lunar de apă pompat depinde într-o manieră complexă pe media lunară a iradianței solare, de însorirea relativă și numărul de ore din zi.

În continuare ne concentram pe variația zilnică a volumului de apă pompat. Într-un experiment realizat în data de 25 aprilie 2013 am stabilit o valoare de prag (la care pompa pornește / se oprește) a iradianței solare totale pe suprafața modulului fotovoltaic de $H_s = 450 \text{ W / m}^2$. Aceasta înseamnă că, atunci când iradianța solară totală este mai mică de 450 W / m^2 pompa nu funcționează, aceasta pornește de la 450 W / m^2 , iar debitul de apă crește odată cu creșterea iradianței solare.

Tabelul 5.4. Diferite valori lunare ale mărimilor fizice măsurate: volumul de apă pompat (V); media zilnică a volumului de apă pompat (V_m); media zilnică a însoririi relative; medie zilnică a iradianței solare totale (H_m).

Luna	May	Jun	Jul	Aug	Sept
$V [\text{m}^3]$	58.5	60.4	91.3	88.4	48.4
$V_m [\text{m}^3/\text{day}]$	1.88	1.94	2.94	2.85	1.61
Ore din zi [ore]	14.9	15.6	15.3	14.1	12.5
σ_m	0.494	0.504	0.762	0.704*	0.465
$H_m [\text{W}/\text{m}^2]$	382.5	351.7	458.2	440.1*	364.3

Performanța sistemului de pompare a apei cuplat direct la modulul fotovoltaic depinde de poziția relativă a soarelui și norilor. După cum este definit în ecuația (5.14), SSN este un parametru adecvat pentru a descrie relația dintre performanța pompei și starea cerului. Dependența volumului de apă pompat zilnic în funcție de regimul radiativ solar este ilustrată în figura 5.8. Grafice prezintă iradianța solară totală măsurată în suprafața modulului fotovoltaic în două perioade caracterizate de regim solar radiativ net diferit. Prima perioadă, între 10 și 13 iunie a fost caracterizată de un regim radiativ solar mai ales instabil, în timp ce cea de a doua perioadă 19-20 iunie a fost caracterizată printr-un regim solar radiativ stabil. Valorile medii zilnice ale SSN și $SSSN$, împreună cu volumul de apă pompat sunt indicate pe fiecare grafic. În fiecare zi, în jurul solstițiului de vară, traiectoria aparentă a Soarelui este de aproximativ aceeași. Putem presupune că în această perioadă variația iradianței solare în condiții de cer senin nu se schimbă în mod substanțial de la o zi la alta. Astfel, aceste grafice surprind dependența volumului de apă pompat în fiecare zi în funcție de starea cerului.

Volumul minim de apă a fost pompat în 12 iunie $V = 0.30 \text{ m}^3$, o zi înnorată ($\overline{SSN} = 0.014$), cu o scurtă perioadă de timp, în care soarele a strălucit. Volumul maxim de apă a fost pompat în 20 iunie, $V = 3.49 \text{ m}^3$, o zi aproape senină ($\overline{SSN} = 0.930$). Zilele de 11 iunie și 13 iunie au fost caracterizate prin același grad de acoperire a cerului cu nori ($\overline{SSN} = 0.763$ și $\overline{SSN} = 0.749$). Cu toate acestea, volumele de apă pompate în aceste zile au fost diferite: $V = 1.66 \text{ m}^3$ în 11 iunie și $V = 3.05 \text{ m}^3$ din 13 iunie. Așa cum demonstrează graficele corespunzătoare din figura 5.8 diferența este făcută de stabilitatea regimului solar radiativ.

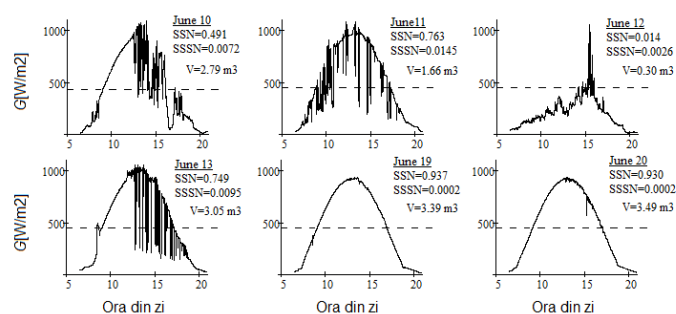


Fig. 5.8. Iradianță solară totală măsurată pe suprafața modului PV în funcție de timp, în șase zile, din iunie 2013. Medie zilnică a indicatorului de însorire (SSN), valoarea medie zilnică a stabilității indicatorului de însorire (SSSN) și volumul de apă pompat sunt prezentate pe graficele. Linia punctată indică valoarea de prag a iradianței solare de la care pornește pompa.

Astfel, ziua de 11 iunie a fost caracterizată printr-o instabilitate ridicată ($\overline{SSN} = 0.0145$) în timp ce ziua de 13 iunie a fost caracterizată printr-o instabilitate moderată ($\overline{SSSN} = 0.0095$). Chiar dacă ziua de 10 iunie a fost o zi mai puțin stabilă decât 11 iunie, volumul de apă pompat în ziua de 10 iunie a fost semnificativ mai mare decât cel din ziua de 11 iunie.

În concluzie, studiul de caz prezentat în lucrarea Balaj et al. (2015.b) [16] ilustrează performanța unui sistem de pompare a apei cuplat direct la un modul fotovoltaic. Rezultatele experimentale evidențiază cantitatea de apă care poate fi pompată cu un astfel de sistem și dependența acestui volum de caracteristicile regimului solar radiativ local.

5.3. Modelarea funcționării unui sistem fotovoltaic de pompare a apei cuplat direct

În lucrarea Balaj et al. (2016) [17] datele experimentale colectate în experimentul descris în secțiunea 5.2 a tezei sunt analizate dintr-o altă perspectivă, și anume, estimarea debitului de apă în funcție de iradianța solară totală măsurată în planul modului fotovoltaic. Modelul empiric dezvoltat și procedura de obținerea a acestuia sunt elemente de noutate și sunt descrise în continuare. Testele efectuate asupra performanței modelului au relevat o acuratețe excelentă la estimarea volumului de apă pompat zilnic.

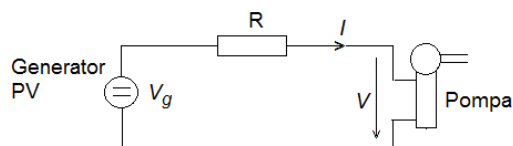


Fig. 5.9. Circuitul electric simplificat al sistemului de pompare

În figura 5.9 este reprezentată schema simplificată a circuitului electric al sistemului generator fotovoltaic – pompă (prezentat în detaliu în figura 5.5). Rezistenței $R = 2\Omega$ are rolul de limita curentul prin pompă, asigurându-i protecție în momentele în care soarele strălucește puternic și se află pe o direcție apropiată de

normala la suprafața modului fotovoltaic. Notăm cu I curentul prin circuit, cu V_g tensiunea la bornale modului fotovoltaic și cu V tensiunea la bornele pompei. Evident, cele trei mărimi sunt corelate de legea lui Ohm:

$$V_g = V + IR \quad (5.17)$$

În relația (5.17) curentul I și puterea generatorului fotovoltaic $V_g I$ sunt funcții de iradianța solară.

5.3.1. Baza de date

La elaborarea și testarea modelului au fost folosite date rezultate din monitorizarea pompei cu cuplaj direct pe standul experimental descris în secțiunea 5.2.1 a tezei. Din întreaga perioadă de cinci luni de monitorizare au fost alese 15 zile în baza următoarelor criterii: (a) să fie cunoscut volumul de apă pompat și (b) să fie zile cu regime solar radiativ divers. În figura 5.10, pentru fiecare zi dintre cele cincisprezece este prezentată iradierea solară globală măsurată în plan orizontal, valoarea medie a indicatorului de însorire (relația 5.13) și valoarea medie a stabilității indicatorului de însorire (relația 5.15). Se observă că au fost considerate atât zile cu regim solar radiativ perfect stabil (25, 26 aprilie) cât și zile cu regim solar radiativ instabil pe fond de cer senin (21 mai) și pe fond de cer înnorat (29 mai). Primele 5 zile (24-28 aprilie) au fost folosite pentru elaborarea modelului iar următoarele zile pentru testare. Au fost luate în considerare numai măsurătorile efectuate la un unghi de înălțare a soarelui pe cer mai mare de 10° . În zilele cu cer variabil se observă o creștere semnificativă a iradianței solare globale datorită reflexiei multiple nor-sol. În aceste situații iradianța solară totală mare determină o creștere a curentului în circuit (un modul fotovoltaic este un generator de curent) care poate deveni periculos pentru pompă, chiar dacă aceasta a fost corect aleasă în condiții standard de testare.

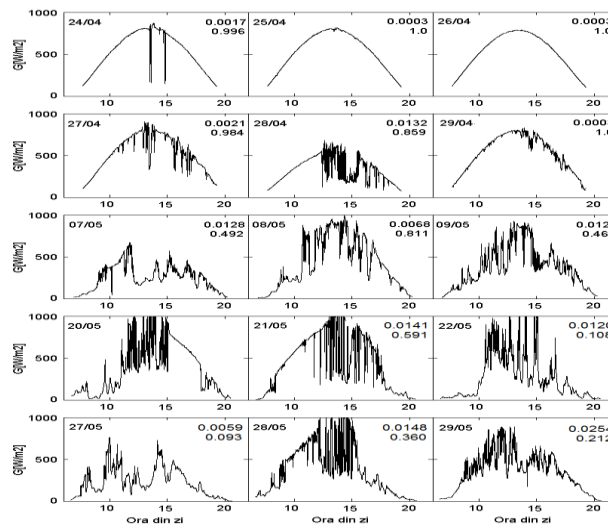


Fig. 5.10. Iradianță solară totală măsurată pe suprafața modului fotovoltaic în funcție de timp, în 15 zile, din lunile aprilie și mai 2013. Medie zilnică a indicatorului de însorire (SSN), valoarea medie zilnică a stabilității indicatorului de însorire (SSSN) sunt prezentate în fiecare grafic cu 3 și, respectiv, 4 digiți.

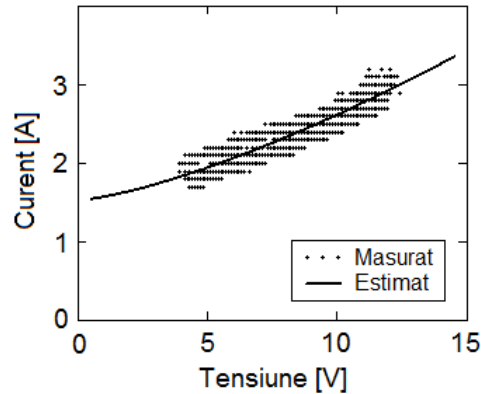


Fig. 5.11. Caracteristica curent-tensiune a pompei măsurată și estimată.

5.3.2. Caracteristica curent tensiune a pompei

Din datele experimentale măsurate în prima perioadă a fost fitată caracteristica curent-tensiune a pompei ($r^2 = 0.844$):

$$I(V) = 1.5258 + 0.0453V^{1.3833} \quad (5.18)$$

Ecuția (3.18) împreună cu perechile experimentale (V, I) folosite în procesul de fitare sunt reprezentate în figura (3.18).

Ecuția (5.18) împreună cu legea lui Ohm (5.17) determină punctul de funcționare al pompei pentru orice valoare a tensiunii generatorului fotovoltaic. Această valoare este determinată de iradianța solară și temperatură, așa cum am arătat în secțiunea 5.3.3 a tezei. În locul rezolvării la fiecare moment de timp a sistemului format din ecuația caracteristicii modului fotovoltaic (5.28), ecuația caracteristică a pompei (5.18) și legea lui Ohm (5.17), noi am ales o cale semi-empirică de rezolvare a problemei, prin extrapolarea măsurătorilor.

5.3.3. Debitul de apă

Această dependență am determinat-o într-un experiment separat montat în condiții de laborator. În locul generatorului fotovoltaic a fost utilizată o sursă reglabilă de tensiune care a permis modificarea succesivă a puterii absorbite de pompă. În rest condițiile de pompare (diferența de nivel în special) au fost păstrate identice cu cele din experimentul monitorizat în condiții externe. Punctele experimentale și curbele fitate sunt reprezentate în figura 5.12. Se observă o variație mult mai netedă a debitului de apă pompată în funcție de puterea absorbită de pompă decât în funcție de curent.

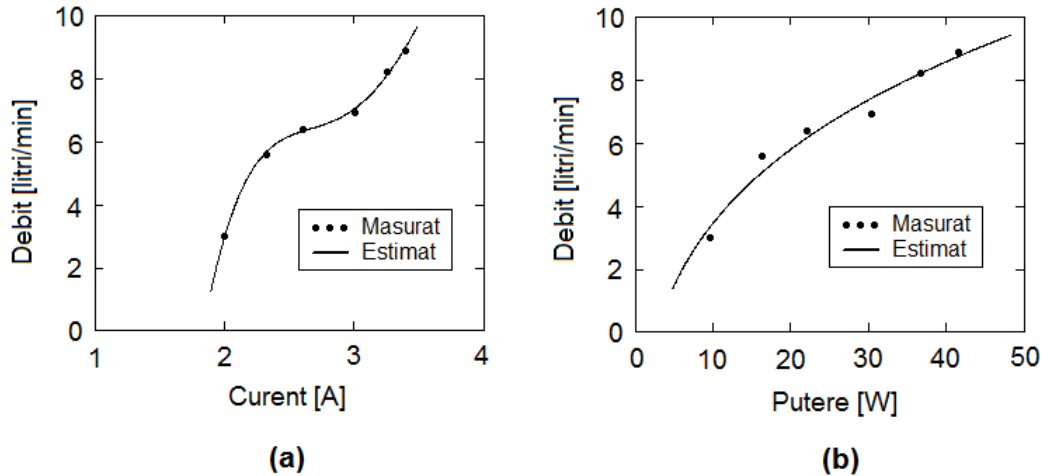


Fig. 5.12. Debitul de apă în funcție de (a) curentul prin pompă și (b) puterea absorbită de pompă

Ecuția curbei debit de apă în funcție de curentul prin pompă este ($r^2 = 0.998$):

$$D(I) = -288.3694 + 391.6104I - 193.137I^2 + 41.6497I^3 - 3.2806I^4 \quad (5.18)$$

iar ecuația curbei debit de apă în funcție de puterea absorbită de pompă este ($r^2 = 0.966$):

$$D(P) = -8.8921 + 6.9521P^{0.25} \quad (5.19)$$

Întrucât în cazul modului fotovoltaic, în reprezentarea în raport cu iradianța solară totală, puterea generată suferă o dispersie mai mică decât curentul, ecuația (5.19) a fost folosită în model.

5.3.4. Puterea generatorului fotovoltaic

Pe baza înregistrărilor experimentale a fost fitată următoarea dependență a puterii generatorului fotovoltaic de iradianța solară totală măsurată în planul modulului fotovoltaic ($r^2 = 0.918$):

$$P_g(G_t) = 59.28 - \frac{7669948.5}{G_t^2} \quad (5.20)$$

Curba $P_g(G_t)$ este reprezentată în figura 5.13 suprapusă peste punctele experimentale. Se observă o saturare a puterii pe măsură ce iradianța crește.

Practic ecuația (5.20) împreună cu legea lui Ohm aplicată pe rezistorul de limitare a curentului oferă o legătură directă între puterea absorbită de pompă și iradianța solară totală:

$$P(G_t) = P_g(G_t) - I(G_t)^2 R \quad (5.21)$$

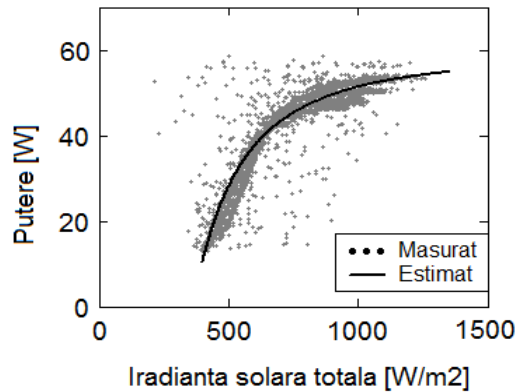


Fig. 5.13. Puterea debitată de generatorul fotovoltaic cuplat la pompă în funcție de iradianța solară totală în planul modului fotovoltaic.

Pentru a aplica relația (5.21) mai trebuie cunoscută dependența curentului de iradianța solară. Am procesat empiric și această dependență rezultând următoarea ecuație ($r^3 = 0.768$):

$$I(G_t) = 3.57 - \frac{548.35}{G_t} \quad (5.22)$$

Evident, în relația (5.22) G_t trebuie să fie mai mare decât valoarea de prag de 450 W/m^2 .

5.3.5. Simularea procesului de pompare

Modelul de estimare a cantității de apă pompată de sistem este dat de ecuațiile (5.19) – (5.22). Înlocuind (5.22) și (5.20) în (5.21), după calcule algebrice simple se obține:

$$P(G_t) = 33.8 + \frac{78304.3}{G_t} - \frac{8271322.5}{G_t^2} \quad (5.23)$$

care înlocuită în (3.19) conduce la expresia finală a debitului de apă în funcție de iradianța solară totală în planul modului fotovoltaic:

$$D(G_t) = -8.8921 + 6.9521 \left(33.8 + \frac{78304.3}{G_t} - \frac{8271322.5}{G_t^2} \right)^{0.25}, \quad G_t > 450 \text{ W/m}^2 \quad (5.24)$$

Simularea procesului de pompare a apei cu ecuația (5.24) este prezentată în figura 5.15, în cazul a două zile cu regim solar radiativ complet diferit: 25 aprilie o zi senină perfect stabilă și 7 mai, o zi cu instabilitate pronunțată. Se observă că în 25

aprilie pompa funcționează pe toată perioada din zi în care iradianța solară totală depășește valoarea de prag de 450 W/m^2 . În schimb în 7 mai pompa funcționează cu întreruperi datorită nebulozității crescute care determină scăderea iradianței solare totale sub valoarea de prag.

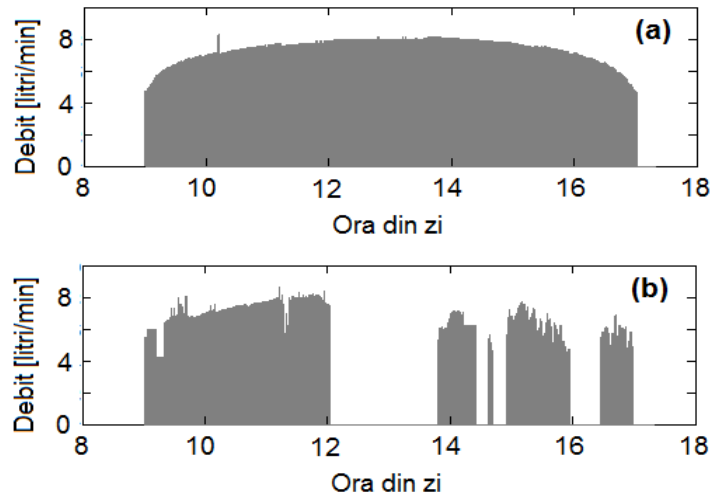


Fig. 5.14. Variația în timp a debitului de apă în zilele de (a) 25 aprilie 2016 și (b) 7 mai 2016.

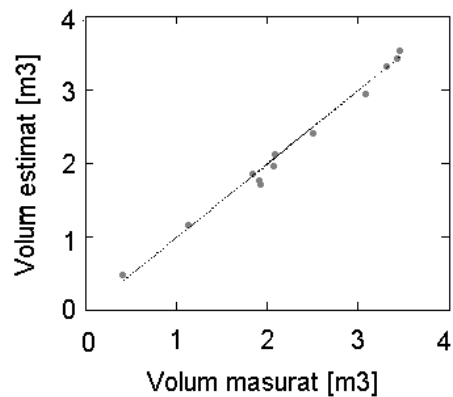


Fig. 5.15. Volumul de apă pompat estimat vs. măsurat

Performanța modelului este apreciată în figura 5.15 în care este reprezentat volumul de apă pompat în cele 10 zile de testare plus două din perioada de elaborare. Clusterizarea punctelor în jurul primei diagonale indică o acuratețe ridicată a modelului. Acest rezultat este confirmat de indicatorii statistici: abaterea medie relativă $rMBE = -1.3\%$ și $rRMSE = 4.4\%$.

5.4. Calculul necesarului de panouri fotovoltaice pentru diferite culturi și suprafețe irigate (pentru proiectare)

5.4.1. Elementele regimului de irigație

Pentru efectuarea calculului necesarului de panouri fotovoltaice pentru diferite culturi și suprafețe irigate prin aspersiune și prin picurare / rampe perforate este necesar a se calcula elementele regimului de irigație : norma de irigație, norma de udare, schema udărilor și hidromodulul de udare.

În continuare se prezintă relațiile de calcul ale regimului de irigație:

1. Norma de irigație (N) - reprezintă cantitatea totală de apă ce trebuie administrată unui hectar de cultură sub forma udărilor în perioada de vegetație și în afara ei (udări de aprovizionare sau udări de spălare)

$$N = m + a + S; \text{ (m}^3\text{/ha)} \quad (5.25)$$

unde: m - norma de udare (m³/ha);
a - norma de aprovizionare (m³/ha);
S - norma de spălare (m³/ha).

Norma de irigație din timpul perioadei de vegetație a culturilor reprezintă cantitatea de apă, exprimată în m³, folosită pentru irigarea în timpul vegetației a unui hectar de teren cu o anumită cultură. Aceasta este egală cu suma normelor de udare aplicate culturii în perioada de vegetație. Norma de irigație anuală poate fi determinată în funcție de condițiile pedoclimatice ale zonei din Harta zonelor irigabile din România [93] (figura IV.6), în care teritoriul României a fost împărțit în 64 de raioane. [93]. Pentru fiecare raion se poate obține, corespunzător principalelor culturi, norma de irigație pentru an secetos și an mediu [93].

Exemplu: Pe harta zonelor irigabile din România, Oradea se află în raionul 60. Pentru acest raion în tabelul IV.5 [93] sunt specificate norma de irigație dintr-un an mediu și un an secetos, pentru principalele culturi agricole (tab.5.5):

Tabelul 5.5. Norma de udare N (m³/ha) pentru principalele culturi agricole din raionul 60 [93]

Felul		Porumb	Grâu	Lucernă II	Lucernă I	Sfecă	Floarea soarelui	Fasole	Cartof
Norma de irigație (N)	An secetos	2000	900	3500	2500	1500	1500	1200	1500
	An mediu	1500	600	2800	2500	1500	500	600	100

Din tabelul de mai sus se observă că norma de irigație a porumbului pentru un an secetos este N = 2.000 m³/ha, iar pentru un an mediu 1500 m³/ha.

2. Norma de udare

Norma de udare (m) reprezintă cantitatea de apă necesară pentru ridicarea umidității solului de la plafonul minim (P_{min}) la capacitatea de câmp (CC) pe un hectar și pe grosimea stratului activ de sol considerat.

În proiectare norma de udare (m_{pr. netă}) netă se calculează cu relația următoare:

$$m_{pr. netă} = 100 \cdot H \cdot GV (CC - P_{min}); (m^3/ha) \quad (5.26)$$

unde: H - adâncimea de umectare a solului (m);

GV - greutatea volumetrică (t/m³);

CC și P_{min} sunt exprimate în procente.

Adâncimea de umectare (H) variază în funcție de cultură și de faza de vegetație de care depind gradul de dezvoltare a sistemului radicular. H = 0,75 - 1,25 m.

În exploatare norma de udare se calculează cu relația:

$$m_{expl} = 110 \cdot H \cdot G_V (CC - P_{mom}) \quad (5.27)$$

în care: P_{mom} - provizia momentană de apă din sol la aplicării udării (%).

Pentru a se asigura distribuția uniformă a apei, norma de udare nu poate fi mai mică de: 200 m³/ha - la udarea prin brazde; 450 m³/ha - la udarea pe fâșii; 900 m³/ha - la udarea prin submersiune.

La aspersiune și picurare nu există limite, norma de udare fiind oricât de mică. Norma de udare medie este de 600 - 700 m³/ha.

3. Schema udărilor

Schema udărilor reprezintă o combinație de 6 cifre care indică numărul de udări ce se aplică în fiecare din cele 6 luni ale perioadei de vegetație unei culturi. Pentru Oradea, aflată în raionul 60 din harta zonelor irigabile din România, este prezentată schema udărilor, pentru principalele plante de cultură în tabelul 5.6.

Tabelul 5.6. Schema udărilor pentru principalele culturi agricole din raionul 60 [93]

Felul		Principalele culturi agricole							
		Porumb	Grâu	Lucernă II	Lucernă I	Sfeclă	Floarea soarelui	Fasole	Cartof
Schema de udare	An secetos	000220	120000	001211	002221	002210	001200	002200	000210
	An mediu	000210	110000	001111	001220	000210	000100	001100	000200

Pentru porumbul cultivat în raionul 60, într-un an secetos norma de irigație anuală de 2000 m³/ha (vezi tabelul IV.4. [93]) schema de udare este 000220, ceea ce arată că această cantitate de apă este administrată în luna iulie și august din perioada de vegetație, respectiv că în lunile aprilie (IV), mai (V), iunie (VI) și septembrie, consumul de apă al porumbului este acoperit din precipitații, prin urmare nu sunt necesare udări. Norma de irigație lunară a porumbului este: NI = N/n = 2000/2 = 1000 m³/ha, administrată în două udări pe lună.

În aceste condiții norma de udare m este: m = NI/n = 1000/2 = 500 m³/ha.

4. Debitul specific de udare (hidromodulul de irigație)

Distribuția normelor de udare la plante, se face în conformitate cu elementele regimului de irigație, în funcție de cerințele pentru apă ale plantelor (perioade critice), dotările tehnice existente și forța de muncă disponibilă. În acest context o normă de udare pentru o anumită cultură este necesar a fi distribuită într-un timp T = 8 - 20 zile, lucrându-se maxim 20 de ore pe zi, în 2 schimburi. Pentru culturile cu pondere mică în asolament, durata aplicării udărilor T_o = 1 - 3 zile, iar pentru cele cu pondere mare se poate merge la mai mult de 12 zile.

Debitul specific de udare (q_i) reprezintă debitul în l/s administrat fiecărui hectar ocupat de cultura "I" din asolamentul de "n" culturi aplicat pe suprafața sistemului de irigație:

$$q_i = \frac{m_i}{3.6 \cdot T \cdot t}; \text{ (l/s și ha)} \quad (5.28)$$

unde: m_i - norma de udare a culturii "i" (m^3/ha);

T - durata aplicării udărilor la cultura i (zile); recomandat 8 - 12 zile;

t - 20 ore, durata zilnică de udare (ore).

Debitul de dimensionare corespunzător culturii "i" (Q_i) reprezintă cantitatea de apă ce trebuie administrată culturii "i" din asolament:

$$Q_i = q_i \cdot S_i; \text{ (l/s)} \quad (5.29)$$

unde: S_i - suprafața ocupată de cultura i în asolament (ha).

Suprafața totală amenajată (S_t) a sistemului de irigație este suma suprafețelor ocupate cu plantele de cultură din asolament:

$$S_t = \sum S_i; \text{ (ha)} \quad (5.30)$$

Debitul total de apă (Q) necesar pentru irigarea tuturor culturilor din asolamentul proiectat, la care se face dimensionarea se determină cu relația:

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i; \text{ (l/s)} \quad (5.31)$$

b. Hidromodulul de irigație (q_o) a întregului plot de suprafața S_t , se calculează pornind de la norma de irigație a culturii din asolament cu cel mai mare consum de apă, astfel:

$$q_o = \frac{N_{i \max}}{2630} \cdot \frac{24}{t}; \text{ (l/s și ha)} \quad (5.32)$$

unde: $N_{i \max}$ - norma de irigație din luna cu consum maxim a culturii cu cea mai mare cerință față de apă, în m^3/ha ;

t - durata zilnică de udare (ore);

Cu ajutorul hidromodulului de irigație se calculează debitul de dimensionare necesar pentru toate culturile din asolament, care conduce la debitul de dimensionare a canalului sau conductei de aducțiune și a stației de pompare:

$$Q = q_o \cdot S_t; \text{ (l/s)} \quad (5.33)$$

Notă: Hidromodulul de irigație se mai poate calcula și ca medie ponderată a tuturor culturilor udate în luna de consum maxim:

$$q_o = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \cdot n_i \cdot \alpha_i)_{\max}}{3.6 \cdot T \cdot t}; \text{ (l/s și ha)} \quad (5.34)$$

132 Cercetări experimentale asupra pompelor cuplate direct cu generatorul - 5

unde: m_i - norma de udare pentru cultura i din asolamentul de n culturi, J_n luna de consum maxim (m^3/ha);

n_i - numărul de udări necesare pentru cultura i în luna de consum maxim;

q_i - fracțiunea (procentul) din suprafața totală ocupată de cultura i ;

T - durata de udare a suprafeței întregului plot cu norma de irigație lunară maximă; se consideră $T = 30$ zile;

t - durata zilnică de udare; $t = 20$ ore.

5.4.2. Modul de calcul al necesarului de panouri fotovoltaice pentru diferite culturi și suprafețe irigate prin aspersiune și suprafețe irigate prin picurare/rampe perforate

Tabelul 5.7. Necesarul de panouri fotovoltaice (suprafața și numărul de module fotovoltaice) pentru diferite culturi și suprafețe irigate prin aspersiune

Nr. Cult	Cultura	An	Schema de udare	Norma de irigație (mc/ha)	Hidromodulul de udare (ql/l/sha)	Suprafața udată (ha)		Debitul de apă la o udare (l/s)	Consumul de energie electrică la 1000 mc apă pompata (kWh/1000 mc)	Consum de energie la o udare (kWh)	Productia energie fotovoltaică pe mp PFV (kWh/mp) în 14 zile	Suprafața necesară PFV (mp)	Nr. PFV (buc)	
						1	5							
1	Legume	as	002200	1200	0.556	1	0.556	20	20	6	11.5	0.521	1.46	1
						5	2.778			30		2.608		2
						10	5.556			60		5.210		4
	am	001100	600	0.278	1	0.278	20	20	6	11.5	0.521	1.46	1	
					5	1.389			30		2.608		2	
					10	2.778			60		5.210		4	
2	Porumb dulce pt fier	as	001100	1000	0.463	1	0.463	20	20	10	11.5	0.869	1.46	1
						5	2.315			50		4.347		4
						10	4.630			100		8.692		6
	am	000100	500	0.231	1	0.231	20	20	10	11.5	0.869	1.46	1	
					5	1.157			50		4.347		4	
					10	2.315			100		8.692		6	
3	Lucerna an1	as	002221	3500	1.620	1	1.620	20	20	10	11.5	0.869	1.46	1
						5	8.102			50		4.347		4
						10	16.204			100		8.692		6
	am	001220	2500	1.157	1	1.157	20	20	10	11.5	0.869	1.46	1	
					5	5.787			50		4.347		4	
					10	11.574			100		8.692		6	
Lucerna an2	as	001211	3500	1.620	1	1.620	20	20	14	11.5	1.217	1.46	1	
					5	8.102			70		6.086		6	
					10	16.204			140		12.173		10	
	am	001111	2800	1.296	1	1.296	20	20	14	11.5	1.217	1.46	1	
					5	6.481			70		6.086		6	
					10	12.963			140		12.173		10	
4	Porumb	as	000220	2000	0.926	1	0.926	20	20	10	11.5	0.869	1.46	1
						5	4.630			50		4.347		4
						10	9.259			100		8.692		6
	am	000210	1500	0.694	1	0.694	20	20	10	11.5	0.869	1.46	1	
					5	3.472			50		4.347		4	
					10	6.944			100		8.692		6	
5	Grau	as	120000	900	0.417	1	0.417	20	20	6	11.5	0.521	1.46	1
						5	2.083			30		2.608		2
						10	4.167			60		5.210		4
	am	110000	600	0.278	1	0.278	20	20	6	11.5	0.521	1.46	1	
					5	1.389			30		2.608		2	
					10	2.778			60		5.210		4	
6	Floarea soarelui	as	001200	1500	0.694	1	0.694	20	20	10	11.5	0.869	1.46	1
						5	3.472			50		4.347		4
						10	6.944			100		8.692		6
	am	001100	500	0.231	1	0.231	20	20	5	11.5	0.434	1.46	1	
					5	1.157			25		2.173		4	
					10	2.315			50		4.347		6	
7	Cartofi	as	000210	1200	0.556	1	0.556	20	20	8	11.5	0.695	1.46	1
						5	2.778			40		3.478		4
						10	5.556			80		6.956		6
	am	000200	1000	0.463	1	0.463	20	20	10	11.5	0.869	1.46	1	
					5	2.315			50		4.347		4	
					10	4.630			100		8.692		6	

Tabelul 5.8. Necesarul de panouri fotovoltaice (suprafața și numărul de module fotovoltaice) pentru diferite culturi și suprafețe irigate prin picurare/rampe perforate

Nr. Crt	Cultura	An	Schemă de udare	Norma de irigație (mc/ha)	Hidro-modulul de udare (qi) (l/sha)	Suprafața udată (ha)	Debitul de apă la udare (l/s)	Consumul de energie electrică la 1000 mc apă pompata (kWh/1000 mc)	Consum de energie la udare (kWh)	Productia energie fotovoltaică pe mp PFV (kWh/mp) in 14 zile	Suprafața necesară PFV (mp)	Suprafața PFV (mp)	Nr. PFV (buc)	
8	Legume	as	122331	1200	0.556	1	0.556	20	2	11.5	0.173	1.46	1	
						5	2.778		10				0.865	1
						10	5.556		20				1.73	2
	am	122221	600	0.278	1	0.278	1.2		0.104				1	
					5	1.389	6		0.626				1	
					10	2.778	12		1.04				1	
9	Catina	as	122331	1500	0.694	1	0.694	20	2.5	11.5	0.217	1.46	1	
						5	3.472		12.5				1.085	1
						10	6.944		25				2.17	2
	am	122221	1000	0.463	1	0.463	2		0.173				1	
					5	2.315	10		0.865				1	
					10	4.630	20		1.73				2	
10	Vita de vie	as	122331	2500	1.157	1	1.157	20	4.16	11.5	0.361	1.46	1	
						5	5.787		20.8				1.808	2
						10	11.574		41.6				3.61	4
	am	122221	1500	0.694	1	0.694	3		0.260				1	
					5	3.472	15		1.3				1	
					10	6.944	30		2.6				2	
11	Afine	as	122330	1500	0.694	1	0.694	20	2.72	11.5	0.236	1.46	1	
						5	3.472		13.6				1.18	1
						10	6.944		27.2				2.36	2
	am	111220	1000	0.463	1	0.463	2.85		0.247				1	
					5	2.315	14.25		1.23				1	
					10	4.630	28.5		2.47				2	
12	Pomi fructiferi pe spalier	as	122331	3000	1.389	1	1.389	20	6	11.5	0.521	1.46	1	
						5	6.944		30				2.608	2
						10	13.889		60				5.210	4
	am	122221	1500	0.694	1	0.694	3		0.260				1	
					5	3.472	15		1.3				1	
					10	6.944	30		2.6				2	
13	Alun cultura	as	122330	1500	0.694	1	0.694	20	2.72	11.5	0.236	1.46	1	
						5	3.472		13.6				1.18	1
						10	6.944		27.2				2.36	2
	am	111220	1000	0.463	1	0.463	2.85		0.247				1	
					5	2.315	14.25		1.23				1	
					10	4.630	28.5		2.47				2	
14	Trandafiri	as	133310	1500	0.694	1	0.694	20	2.72	11.5	0.236	1.46	1	
						5	3.472		13.6				1.18	1
						10	6.944		27.2				2.36	2
	am	122210	1000	0.463	1	0.463	2.5		0.217				1	
					5	2.315	12.5		1.085				1	
					10	4.630	25		2.17				2	
15	Flori	as	133310	1200	0.556	1	0.556	20	2.18	11.5	0.189	1.46	1	
						5	2.778		10.9				0.945	1
						10	5.556		21.8				1.89	2
	am	122210	600	0.278	1	0.278	1.5		0.130				1	
					5	1.389	7.5		0.65				1	
					10	2.778	15		1.3				1	
16	Porumb dulce	as	012200	1000	0.463	1	0.463	20	4	11.5	0.347	1.46	1	
						5	2.315		20				1.73	2
						10	4.630		40				3.47	4
	am	011100	500	0.231	1	0.231	3.33		0.289				1	
					5	1.157	16.65		1.445				1	
					10	2.315	33.3		2.89				2	

Observații:

1. Calculul s-a făcut pentru modulul PV policristalin TAMESOL de 235W cu foaia de catalog aici:
http://calculationsolar.com/pdfs/Calculationsolar_module_TASMESOL_TM660250W344.pdf

2. Producția de energie a modului pe mp reprezintă energia medie produsă în interval de două săptămâni în perioada aprilie-septembrie. Am ales două săptămâni, ca interval mediu de timp între două udări.

3. Suprafața necesară este obținută prin împărțirea energiei necesare pentru o udare la energia produsă de modul în două săptămâni.

4. Numarul de module este obținut prin împărțirea suprafeței necesare la suprafața unui modul, și majorarea la întreg. Dacă avem nevoie de mai mult de un modul atunci numărul acestora trebuie să fie întotdeauna par, pentru a le putea combina corect serie-paralel.

Din analiza datelor calculate în tabelele 4.7 și 4.8 rezultă următoarele concluzii :

- La irigația prin aspersiune necesarul de apă fiind mai mare ca și la irigația prin picurare, numărul de panouri fotovoltaice (PFV) este mai mare;
- Numărul de panouri PFV necesar diferă și de la cultură la cultură funcție de necesarul de apă/consumul de energie electrică pentru pomparea apei;
- Pentru tipul de panou luat în calcul se observă că un panou de 235 W produce energia electrică pentru pomparea apei de irigație pentru 1ha de teren irigat.
- Pentru folosirea altor tipuri de PFV , cunoscând producția de energie, necesarul de apă pentru irigații și respectiv consumul de energie electrică la 1000 mc apă pompată (kWh/1000 mc) se calculează numărul de PFV necesar fiecărei culturi.

Conform algoritmului prezentat în paragraful 5.4.2 pentru patru tipuri de module fotovoltaice existente pe piață (China, Olanda, Spania, USA, Tab.5.9), au fost calculate suprafața și numărul de module fotovoltaice necesar pentru producerea energiei fotovoltaice necesară irigației prin aspersiune (Tab.5.10) și respectiv prin picurare (Tab. 5.11) a câtorva culturi agricole reprezentative cultivate pe suprafețe de 1, 5 și 10 hectare. Foile de catalog cuprinzând caracteristicile celor 4 tipuri de module fotovoltaice studiate pot fi consultate în următoarele linkuri : <http://www.kingdomsolar.net/> ; <https://www.victronenergy.com/> ; <https://www.tamesol.com/> ; https://us.sunpower.com/solar-resources/?field_document_type_target_id=1886 .

Tabelul 5.9. Sintetic pentru 4 tipuri de module fotovoltaice policristaline și monocristaline

Indicativ	Denumire comerciala	Producator	Tip	Suprafața [mp]	Putere [W]	Randament [%]
PV1	KD-P100	ZHEJIANG KINGDOM SOLAR ENERGY TECHNIC CO.,LTD, CHINA	Policristalin	0.67	100	14.5
PV2	SPM031301200	VICTRON ENERGY, OLANDA	Monocristalin	0.99	130	13.0
PV3	TMP660235	TAMESOL, SPANIA	Policristalin	1.46	235	14.4
PV4	SPR-X21-345	SUN POWER, USA	Monocristalin	1.62	345	21.5

Tabelul 5.10. Calculul necesarului de panouri fotovoltaice (suprafața și numărul de module fotovoltaice) pentru diferite culturi și suprafețe irigate prin **aspersiune** pentru 4 tipuri de module fotovoltaice produse în China, Olanda, Spania și SUA.

Nr. Crt	Cultura	An	Suprafața udată (ha)	Consum de energie la o udare (kWh)	Producția energiei fotovoltaice pe mp PV (kWh/mp in 14 zile)				Suprafața necesară PV (mp)				Suprafața unui PVF (mp)				Nr. PVV (buc)				
					PV1	PV2	PV3	PV4	PV1	PV2	PV3	PV4	PV1	PV2	PV3	PV4	PV1	PV2	PV3	PV4	
1	Legume	as	1	6	11.2	9.60	11.5	16.1	0.535	0.625	0.521	0.372	0.67	0.99	1.46	1.62	1	1	1	1	
			5	30	2.678	3.125	2.608	1.863	5.357	6.250	5.210	3.726						8	6	4	3
			10	60	5.357	6.250	5.210	3.726										1	1	1	1
		am	1	6	0.535	0.625	0.521	0.372	2.678	3.125	2.608	1.863						4	4	2	2
			5	30	2.678	3.125	2.608	1.863	5.357	6.250	5.210	3.726						8	6	4	3
			10	60	5.357	6.250	5.210	3.726										1	1	1	1
2	Porumb dulce pt fier.	as	1	50	11.2	9.60	11.5	16.1	4.464	5.208	4.347	3.105	0.67	0.99	1.46	1.62	2	1	1	1	
			5	250	4.464	5.208	4.347	3.105	8.928	10.41	8.692	6.210						16	12	6	4
			10	500	8.928	10.41	8.692	6.210										2	1	1	1
		am	1	10	0.892	1.041	0.869	0.621	4.464	5.208	4.347	3.105						8	6	4	2
			5	50	4.464	5.208	4.347	3.105	8.928	10.41	8.692	6.210						16	12	6	4
			10	100	8.928	10.41	8.692	6.210										2	1	1	1
3	Lucerna an1	as	1	50	11.2	9.60	11.5	16.1	4.464	5.208	4.347	3.105	0.67	0.99	1.46	1.62	2	1	1	1	
			5	250	4.464	5.208	4.347	3.105	8.928	10.41	8.692	6.210						16	12	6	4
			10	500	8.928	10.41	8.692	6.210										2	1	1	1
		am	1	10	0.892	1.041	0.869	0.621	4.464	5.208	4.347	3.105						8	6	4	2
			5	50	4.464	5.208	4.347	3.105	8.928	10.41	8.692	6.210						16	12	6	4
			10	100	8.928	10.41	8.692	6.210										2	1	1	1
4	Lucerna an2	as	1	14	11.2	9.60	11.5	16.1	1.250	1.458	1.217	0.869	0.67	0.99	1.46	1.62	2	2	1	1	
			5	70	6.250	7.291	6.086	4.347	12.50	14.58	12.17	8.695						10	8	6	3
			10	140	12.50	14.58	12.17	8.695										20	16	10	6
		am	1	14	1.250	1.458	1.217	0.869	6.250	7.291	6.086	4.347						10	8	6	3
			5	70	6.250	7.291	6.086	4.347	12.50	14.58	12.17	8.695						20	16	10	6
			10	140	12.50	14.58	12.17	8.695										20	16	10	6
5	Porumb	as	1	10	11.2	9.60	11.5	16.1	0.892	1.041	0.869	0.621	0.67	0.99	1.46	1.62	2	1	1	1	
			5	50	4.464	5.208	4.347	3.105	8.928	10.41	8.692	6.210						8	6	4	2
			10	100	8.928	10.41	8.692	6.210										16	12	6	4
		am	1	10	0.892	1.041	0.869	0.621	4.464	5.208	4.347	3.105						8	6	4	2
			5	50	4.464	5.208	4.347	3.105	8.928	10.41	8.692	6.210						16	12	6	4
			10	100	8.928	10.41	8.692	6.210										2	1	1	1
6	Grau	as	1	6	11.2	9.60	11.5	16.1	0.535	0.625	0.521	0.372	0.67	0.99	1.46	1.62	1	1	1	1	
			5	30	2.678	3.125	2.608	1.863	5.357	6.250	5.210	3.726						8	6	4	3
			10	60	5.357	6.250	5.210	3.726										1	1	1	1
		am	1	6	0.535	0.625	0.521	0.372	2.678	3.125	2.608	1.863						4	4	2	2
			5	30	2.678	3.125	2.608	1.863	5.357	6.250	5.210	3.726						8	6	4	3
			10	60	5.357	6.250	5.210	3.726										1	1	1	1
7	Floarea soarelui	as	1	10	11.2	9.60	11.5	16.1	0.892	1.041	0.869	0.621	0.67	0.99	1.46	1.62	2	1	1	1	
			5	50	4.464	5.208	4.347	3.105	8.928	10.41	8.692	6.210						8	6	4	2
			10	100	8.928	10.41	8.692	6.210										16	12	6	4
		am	1	10	0.892	1.041	0.869	0.621	4.464	5.208	4.347	3.105						8	6	4	2
			5	50	4.464	5.208	4.347	3.105	8.928	10.41	8.692	6.210						16	12	6	4
			10	100	8.928	10.41	8.692	6.210										2	1	1	1
8	Cartofi	as	1	8	11.2	9.60	11.5	16.1	0.714	0.833	0.695	0.496	0.67	0.99	1.46	1.62	2	1	1	1	
			5	40	3.571	4.166	3.478	2.484	7.142	8.333	6.956	4.968						6	6	4	2
			10	80	7.142	8.333	6.956	4.968										12	10	6	4
		am	1	10	0.892	1.041	0.869	0.621	4.464	5.208	4.347	3.105						8	6	4	2
			5	50	4.464	5.208	4.347	3.105	8.928	10.41	8.692	6.210						16	12	6	4
			10	100	8.928	10.41	8.692	6.210										2	1	1	1

Tabelul 5.11. Calculul necesarului de panouri fotovoltaice (suprafața și numărul de module fotovoltaice) pentru diferite culturi și suprafețe irigate : **picurare/rampe perforate**, pentru 4 tipuri de module fotovoltaice produse în China, Olanda, Spania și SUA.

Nr. Crt	Cultura	An	Suprafața udată (ha)	Consum de energie la o udare (kWh)	Productia energie fotovoltaică pe mp PVF (kWh/mp) in 14 zile				Suprafața necesară PVF (mp)				Suprafața unui PVF (mp)				Nr. PVF (buc)			
					PV1	PV2	PV3	PV4	PV1	PV2	PV3	PV4	PV1	PV2	PV3	PV4	PV1	PV2	PV3	PV4
8	Legume	as	1	2	11.2	9.60	11.5	16.1	0.178	0.208	0.173	0.124	0.67	0.99	1.46	1.62	1	1	1	1
			5	10					0.892	1.041	0.869	0.621					4	2	1	1
			10	20					1.784	2.082	1.73	1.242					4	2	1	1
			1	1.2					0.107	0.125	0.104	0.074					1	1	1	1
			5	6					0.535	0.625	0.521	0.372					1	1	1	1
9	Cățina	as	1	12	11.2	9.60	11.5	16.1	0.071	0.250	0.04	0.745	0.67	0.99	1.46	1.62	2	2	1	1
			5	21.5				0.223	0.260	0.237	0.195					2	2	1	1	
			10	42.5				0.446	0.520	0.474	0.390					4	4	2	2	
			1	16.5				2.235	2.604	2.173	1.555					1	1	1	1	
			5	82.5				0.178	0.208	0.173	0.124					1	1	1	1	
10	Vita de vie	as	1	20	11.2	9.60	11.5	16.1	0.892	1.041	0.869	0.621					4	2	1	1
			5	100				1.784	2.082	1.73	1.242					4	2	1	1	
			10	200				3.568	4.164	3.46	2.484					4	2	1	1	
			1	20.8				0.371	0.433	0.361	0.258	0.67	0.99	1.46	1.62	1	1	1	1	
			5	104				1.857	2.165	1.808	1.291					6	6	4	2	
11	Afine	am	1	3					3.714	4.330	3.61	2.583					6	6	4	2
			5	15					0.267	0.312	0.260	0.186					2	2	1	1
			10	30					1.339	1.562	1.3	0.930					2	2	1	1
			1	2.72					2.678	3.125	2.6	1.860					4	4	2	2
			5	13.6					0.242	0.283	0.236	0.168	0.67	0.99	1.46	1.62	1	1	1	1
12	Pomi fructiferi pe spallier	as	1	6	11.2	9.60	11.5	16.1	1.214	1.416	1.18	0.844					4	4	2	1
			5	30					2.428	2.833	2.36	1.689					4	4	2	1
			10	60					4.856	5.666	4.72	3.378					4	4	2	1
			1	14.25					0.254	0.296	0.247	0.177					2	2	1	1
			5	71.25					1.272	1.484	1.23	0.885					2	2	1	1
13	Alun cultura	as	1	6	11.2	9.60	11.5	16.1	2.544	2.968	2.47	1.770					4	4	2	2
			5	30					0.535	0.625	0.521	0.372	0.67	0.99	1.46	1.62	1	1	1	1
			10	60					1.070	1.250	1.042	0.744					2	2	2	2
			1	12.5					2.678	3.125	2.6	1.860					8	8	4	3
			5	62.5					0.267	0.312	0.260	0.186					1	1	1	1
14	Trandafiri	as	1	2					1.339	1.562	1.3	0.930					2	2	1	1
			5	10					2.678	3.125	2.6	1.860					4	4	2	2
			10	20					5.356	6.250	5.2	3.720					8	8	4	4
			1	2.72					0.242	0.283	0.236	0.168	0.67	0.99	1.46	1.62	1	1	1	1
			5	13.6					1.214	1.416	1.18	0.844					4	4	2	1
15	Flori	as	1	2					2.428	2.833	2.36	1.689					4	4	2	1
			5	10					4.856	5.666	4.72	3.378					4	4	2	1
			10	20					9.712	11.332	9.44	6.756					4	4	2	1
			1	2.5					0.223	0.260	0.217	0.155					2	2	1	1
			5	12.5					1.115	1.302	1.085	0.776					2	2	1	1
16	Porumb dulce	as	1	4	11.2	9.60	11.5	16.1	0.194	0.227	0.189	0.135	0.67	0.99	1.46	1.62	1	1	1	1
			5	20					0.973	1.135	0.945	0.677					2	2	1	1
			10	40					1.946	2.270	1.89	1.354					4	4	2	1
			1	7.5					0.133	0.104	0.130	0.093					1	1	1	1
			5	37.5					0.669	0.520	0.65	0.465					1	1	1	1
17	Porumb dulce	as	1	4	11.2	9.60	11.5	16.1	0.357	0.416	0.347	0.248	0.67	0.99	1.46	1.62	1	1	1	1
			5	20					1.784	2.082	1.73	1.242					4	4	2	2
			10	40					3.571	4.166	3.47	2.484					6	6	4	4
			1	3.33					0.297	0.346	0.289	0.206					1	1	1	1
			5	16.65					1.486	1.734	1.445	1.034					4	4	2	1
10	33.3					2.973	3.468	2.89	2.068					6	6	4	2			

Numărul de module este obținut prin împărțirea suprafeței necesară la suprafața unui modul și majorarea la întreg. Dacă avem nevoie de mai mult de un modul atunci numărul acestora trebuie să fie întotdeauna par, pentru a le putea combina corect serie-paralel. Astfel, pe baza algoritmului de calcul prezentat în tab. 5.3 și 5.4 rezultă modul de calcul al necesarului de module fotovoltaice pentru culturile agricole irigate prin aspersiune sau picurare cultivate pe diferite suprafețe agricole.

Din analiza datelor calculate în tabelele 5.7 și 5.8 rezultă următoarele concluzii :

- Compararea rezultatelor obținute în tab 5.7 și 5.10 - 5.11 evidențiază necesitatea, ca la irigația prin aspersiune - unde necesarul de apă este mai mare ca și la irigația prin picurare, unei suprafețe, respectiv a numărului de panouri fotovoltaice (PFV) este mai mare pentru irigația prin aspersiune;
- Numărul de panouri PFV necesar diferă și de la cultură la cultură funcție de necesarul de apă/consumul de energie electrică pentru pomparea apei;
- Pentru tipul de panou luat în calcul se observă că un panou de 235 W produce energia electrică pentru pomparea apei de irigație pentru 1ha de teren irigat.
- Pentru folosirea altor tipuri de PFV, cunoscând producția de energie, necesarul de apă pentru irigații și, respectiv, consumul de energie electrică la 1000 mc apă pompată (kWh/1000 mc) se calculează numărul de PFV necesar fiecărei culturi.

Pentru 4 tipuri de module fotovoltaice produse în China, Olanda, Spania și SUA s-a calculat numărul de module necesar pentru irigarea prin aspersiune și prin picurare a suprafețelor de 1, 5 și 10 hectare cultivate cu cele mai reprezentative culturi pretabile (tab 5.10 și 5.11).

Algoritmul de calcul al suprafeței de panouri/module fotovoltaice, respectiv a numărului acestora pentru diferite suprafețe irigate și diferite culturi poate ajuta proiectanții sau personalul care se ocupă de exploatarea și întreținerea amenajărilor mici de irigații să-și calculeze aceste elemente.

5.5. Concluzii

În lucrarea Balaj et al. (2015.a) [15] au fost prezentate rezultatele evaluării performanței unui modul fotovoltaic în condiții reale de funcționare. Rezultatele numerice au demonstrat că procedura propusă prezintă un nivel acceptabil de acuratețe pentru scopurile practice. Procedura este generală care poate fi aplicat în orice locație, pentru orice modul fotovoltaic singura condiție fiind să se cunoască datele de catalog ale modulului studiat.

Ansamblul rezultatelor demonstrează importanța transpunerii caracteristicii I-V a unui modul PV în condiții standard de testare la condițiile reale în dimensionarea unui modul fotovoltaic utilizat pentru pomparea apei.

În lucrarea Balaj et al. (2015.b) [16] sunt prezentate rezultatele unui studiu de caz asupra unui sistem de pompare a apei cuplat direct la un modul PV. Sistemul a constatat dintr-un modul fotovoltaic de 90W care a alimentat direct o pompă de apă mică putere. Pe parcursul unei perioade de cinci luni, sistemul a pompat un volum remarcabil de apă de 369,2 m³ la o diferență de nivel de 4.5 m. Luând în considerare prețul de piață pentru componente, costul sistemului este mai mic de 180 de euro.

Volumul de apă pompat zilnic depinde în mod clar de iradianța solară totală pe suprafața modulului. Luând în considerare doar zilele cu cer senin, volumul de

apă pompat poate fi estimat ușor prin simpla cunoaștere a puterii de ieșire a modulului fotovoltaic. Analiza arată că, atât indicatorul de însorire, cât și indicatorul stabilității de însorire sunt parametri adecvați pentru modelarea volumului de apă pompat în condiții meteorologice reale. Rezultatele pot fi extrapolate ușor la sisteme mai mari care operează în câmpia Banatului.

Rezultatele obținute sunt prezentate grafic în figura 5.4. Se observă că valorile estimate ale eficienței modulului fotovoltaic scad de la 14.5% în primele ore ale dimineții până la 10.5% în mijlocul zilei. Eficiența modulului este apropiată de eficiența calculată în condiții standard de testare, doar în perioada de iarnă.

În mijlocul lunii aprilie, eficiența estimată a modului fotovoltaic este 11.5%, cu aproximativ un procent peste valorile măsurate. Rezultă că modelul propus estimează cu acuratețe rezonabilă eficiența unui modul fotovoltaic funcționând în condiții meteorologice reale.

A fost propus un algoritm de calcul pentru stabilirea necesarului de panouri fotovoltaice pentru diferite culturi și suprafețe irigate prin aspersiune și prin picurare / rampe perforate. S-a plecat de la cunoașterea elementelor regimului de irigație : norma de irigație, norma de udare, schema udarilor și hidromodulul de udare, după care pentru tipul de pompe preconizat a se folosi la pomparea apei de irigație și având cunoscute : consumul de energie electrică la 1000 mc apă pompata (kWh/1000mc), consum de energie la o udare (kWh), Productia energie fotovoltaica pe mp PFV (kWh/mp) în numărul de zile de aplicare a udării, se calculează Suprafața necesară de PFV (mp), respectiv se determină numărul de PFV necesar pentru asigurarea funcționării sistemului de irigație (pomparea apei necesare aplicării normei de udare).

CONCLUZII GENERALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

6.1. Concluzii generale

În cadrul tezei de doctorat au fost efectuate studii și cercetări privind stabilirea posibilităților de utilizare a energiei solare în amenajările de îmbunătățiri funciare, în special pentru amenajările locale, pe suprafețe mici în special în zonele unde există radiații solare corespunzătoare și nu există rețea electrică de alimentare cu curent electric al pompelor.

În capitolul 1 al tezei se prezintă o sinteză asupra stadiului actual al amenajărilor de irigații din țara noastră evidențiindu-se istoricul, capacități amenajate, organizarea actuală, strategia națională, surse de finanțare, legislația specifică în domeniul îmbunătățirilor funciare necesarul de apă, amenajări locale de irigații, Programul național de reabilitare a infrastructurii principale de irigații din România, conform Legii nr.269/2016 și aprobat prin Hotărârile de Guvern nr. 793/2016, precum și o analiză SWOT a amenajărilor de irigații din România, atât pentru amenajările mari de irigații cât și pentru beneficiarii/fermierii mici care au suprafețe până la 1 - 10 ha. Pentru cei din urmă care au terenurile/proprietățile amplasate în zone fără rețea electrică să folosească posibilitățile de finanțare pentru achiziționarea echipamentelor mobile de udare (prin picurare sau prin aspersiune), iar pentru asigurarea energiei electrice pentru asigurarea pomparii apei să folosească panourile fotovoltaice.

Scopul principal al tezei de doctorat a fost acela de implementare a utilizării în viitor a energiei fotovoltaice produse prin utilizarea sistemelor fotovoltaice în vederea pomparii apei pentru irigații la amenajările mici, locale pentru plantațiile de via de vie, alun, afin, de pomi fructiferi și la culturile agricole, în special legume cultivate în câmp sau în spații protejate (sere și solarii).

În acest context au fost efectuate cercetări experimentale privind: estimarea producției de energie a unui sistem fotovoltaic, studiul experimental al unui sistem fotovoltaic de pompare a apei cuplat direct (panouri fotovoltaice, celule solare, eficiența celulelor solare, panourile solare, stabilirea cantității de energie electrică posibil de obținut prin conversie fotovoltaică, graficul evoluției radiațiilor solare, radiația solară, orientarea, unghiul de înclinare etc.).

În Cap. 2 al tezei au fost prezentate succint sursele de energii regenerabile: hidroenergia, energia hidroelectrică, energia hidroelectrică a valurilor, energia hidroelectrică a mareelor, energia hidroelectrică a curenților marini, energia termică a mărilor și oceanelor, energia din hidrogen, energia solară, energia eoliană, energia geotermală, energia din biomasă, punându-se accent pe energia solară ca o energie viitorului, inepuizabilă și posibil de utilizat și pentru pomparea apei în cadrul amenajărilor mici de irigații.

În Cap.3 a fost prezentate realizările pe plan mondial (firme producătoare, panouri fotovoltaice - caracteristici, acumulatori, pompe de apă, amenajări irigații etc.), Exemple de realizare a unor sisteme de irigații locale folosind energia solară: Sistem de irigații cu pompe solare, irigații prin picurare sau prin canale de irigații (dimensionare sistemelor prin picurare, dimensionarea sistemelor prin irigare (inundare), rezultatele unor studii privind sistemele solare fotovoltaice de pompare

a apei, principiul de lucru a sistemelor solare fotovoltaice de pompare a apei, performanța sistemelor solare fotovoltaice de pompare a apei, tipuri de motoare și pompe, tipuri de motoare, pompe de apă folosite în sistemul de pompare.

În Cap.4. am prezentat aspectele teoretice ale energiei solare ca sursa de energie fotovoltaică pentru pomparea apei la irigații, prezentind: componentele radiației solare în atmosferă, măsurarea radiației solare, resurse energetice solare în zona Banatului, conversia fotovoltaică a energiei solare, efectul dember, efectul fotovoltaic la joncțiunea p-n, celule solare semiconductoare, funcționarea sistemelor fotovoltaice în condiții meteorologice reale, sisteme solare de pompare a apei, principiul defuncționare a sistemelor PV de pompare a apei, tipuri de motoare, pompe de apă folosite în SPVP, răcirea panourilor solare fotovoltaice, dimensionarea optimă a SPVP, controlul SPVP, aspecte economice și de mediu ale SPVP, limitările SPVP, sisteme fotovoltaice de pompare a apei cuplate direct, elemente necesare pentru a cunoaște problematica energiei fotovoltaice.

În Cap.5 sunt prezentate rezultatele evaluării performanței unui modul fotovoltaic în condiții reale de funcționare. Rezultatele numerice au demonstrat că procedura propusă prezintă un nivel acceptabil de acuratețe pentru scopurile practice. Procedura este generală care poate fi aplicată în orice locație, pentru orice modul fotovoltaic singura condiție fiind să se cunoască datele de catalog ale modulului studiat.

Ansamblul rezultatelor demonstrează importanța transpunerii caracteristicii I-V a unui modul PV în condiții standard de testare la condițiile reale în dimensionarea unui modul fotovoltaic utilizat pentru pomparea apei, ceea ce a fost realizat în cadrul paragrafului 5.4.

În acest capitol pe baza experimentărilor proprii, efectuate la Universitatea de Vest Timisoara, Departamentul de Fizica sunt prezentate rezultatele unui studiu de caz asupra unui sistem de pompare a apei cuplat direct la un modul PV. Sistemul a constatat dintr-un modul fotovoltaic de 90W care a alimentat direct o pompă de apă mică putere. Pe parcursul unei perioade de cinci luni, sistemul a pompat un volum remarcabil de apă de 369,2 m³ la o diferență de nivel de 4.5 m. Luând în considerare prețul de piață pentru componente, costul sistemului este mai mic de 180 de euro.

Volumul de apă pompat zilnic depinde în mod clar de iradianța solară totală pe suprafața modulului. Luând în considerare doar zilele cu cer senin, volumul de apă pompat poate fi estimat ușor prin simpla cunoaștere a puterii de ieșire a modulului fotovoltaic. Analiza arată că, atât indicatorul de însorire, cât și indicatorul stabilității de însorire sunt parametri adecvați pentru modelarea volumului de apă pompat în condiții meteorologice reale. Rezultatele pot fi extrapolate ușor la sisteme mai mari care operează în câmpia Banatului.

Rezultatele obținute sunt prezentate grafic în figura 5.4. Se observă că valorile estimate ale eficienței modulului fotovoltaic scad de la 14.5% în primele ore ale dimineții până la 10.5% în mijlocul zilei. Eficiența modulului este apropiată de eficiența calculată în condiții standard de testare, doar în perioada de iarnă.

În mijlocul lunii aprilie, eficiența estimată a modulului fotovoltaic este 11.5%, cu aproximativ un procent peste valorile măsurate. Rezultă că modelul propus estimează cu acuratețe rezonabilă eficiența unui modul fotovoltaic funcționând în condiții meteorologice reale.

Tot în Cap. 5 se prezintă un algoritm de calcul pe baza căruia a fost stabilit în tabelul 5.7. necesarul de panouri fotovoltaice pentru diferite culturi și suprafețe irigate prin aspersiune, respective în tabelul 5.8. necesarul de panouri fotovoltaice pentru diferite culturi și suprafețe irigate prin picurare / rampe perforate.

Conform acestui algoritm și cunoscând producția de energie pentru zona respectivă, în baza cunoașterii radiației solare, în exploatarea acestor amenajări de irigații se poate stabili pentru fiecare lună din perioada de vegetație (lunile aprilie - septembrie), cunoscând schema și norma de udare necesară culturii respective, necesarul de energie electrică și dacă energia fotovoltaică disponibilă există, în caz contrar se propune mărirea suprafeței cu panouri fotovoltaice care să asigure o producție de energie electrică suficientă pentru asigurarea pomparei apei de irigație.

În studiul de caz din tabelele 5.7 și 5.8 a fost folosit modulul PV policristalin TAMESOL de 235W cu foaia de catalog aflată pe linkul: http://calculationsolar.com/pdfs/Calculationsolar_module_TASMESOL_TM660250W344.pdf.

Producția de energie a modului pe mp reprezintă energia medie produsă în interval de două săptămâni în perioada aprilie-septembrie. A fost ales ca interval mediu de timp între două udări două săptămâni (care funcție de cerințele diferitelor culturi poate să difere).

Suprafața de panou necesară a fost obținută prin împărțirea energiei necesare pentru o udare la energia produsă de modul în două săptămâni.

Numărul de module se obține prin împărțirea suprafeței necesare la suprafața unui modul și majorarea la întreg. Dacă avem nevoie de mai mult de un modul atunci numărul acestora trebuie să fie întotdeauna par, pentru a le putea combina corect serie-paralel.

Analiza datelor calculate în tabelele 5.7 și 5.8 evidențiază câteva concluzii practice :

- La irigația prin aspersiune necesarul de apă fiind mai mare ca și la irigația prin picurare, numărul de panouri fotovoltaice (PFV) este mai mare;
- Numărul de panouri PFV necesar diferă și de la cultură la cultură funcție de necesarul de apă/consumul de energie electrică pentru pomparea apei;
- Pentru tipul de panou luat în calcul se observă că un panou de 235 W produce energia electrică pentru pomparea apei de irigație pentru 1ha de teren irigat.
- Pentru folosirea altor tipuri de PFV, cunoscând producția de energie, necesarul de apă pentru irigații și, respectiv, consumul de energie electrică la 1000 mc apă pompată (kWh/1000 mc) se calculează numărul de PFV necesar fiecărei culturi.

6.2. Contribuții personale

Urmare a documentării bibliografice efectuată , atât din țară cât și pe plan mondial, (276 titluri bibliografice), din care multe sunt foarte actuale, a programului de studiu și cercetare efectuat în cadrul prezentei teze de doctorat, a programului experimental propriu, a programelor de calcul automat concepute pentru această lucrare, cât și urmare a studiilor de caz întreprinse, au rezultat următoarele contribuții personale :

- Realizarea unei sinteze bibliografice complexe, actuale și de perspectivă în domeniul amenajărilor de Îmbunătățiri Funciare (istoric, capacități amenajate, organizarea actuală, strategia națională, surse de finanțare, legislația specifică în domeniul îmbunătățirilor funciare necesarul de apă, amenajari locale de irigații etc.).
- Realizarea unei sinteze bibliografice în domeniul energiei solare.
- Prezentarea bazelor teoretice ale conversiei energiei solare în energie electrică.

- Evaluarea resurselor solare în regiunea de vest, în vederea utilizării energiei solare în pomparea apei pentru irigații.
- Efecuarea unor cercetării experimentale prin realizarea unui stand experimental pentru studiul eficienței pomparei apei folosind cuplajul direct fotovoltaic – pompa.
- Modelarea numerică a resurselor de energie solară.
- Modelarea cuplajului direct pompa – modul fotovoltaic.
- Graficul evoluției radiațiilor solare.
- Stabilirea cantității de energie electrică posibil de obținut prin conversie fotovoltaică.
- Realizari pe plan mondial și în țara noastră de folosire a energiei solare la pomparea apei de irigații.
- Inventarierea principalor firme producătoare de panouri fotovoltaice.
- Propunerea unor noi direcții de cercetare privind folosirea energiei solare în amenajările de îmbunătățiri funciare.
- În tab. 5.7 și 5.8 din Cap.5 se prezintă calculul necesarului de panouri fotovoltaice pentru diferite culturi și suprafețe irigate (pentru proiectare) după un algoritm propus de doctorand.

6.3 Propunerea unor noi direcții de cercetare privind folosirea energiei solare în amenajările de îmbunătățiri funciare

- Modelarea numerică a sistemelor de pompare a apei.
- Dezvoltarea sistemelor de pompare a apei echipate cu dispozitive de stocare a energiei fotovoltaice.
- Elaborarea de prototipuri de instalații de irigare fotovoltaice pentru diverse suprafețe cultivate de micii fermieri.
- Eficientizarea/optimizarea sistemelor fotovoltaice corelate cu metodele de irigație și echipamentele de udare.

BIBLIOGRAFIE

1. Abdolzadeh M, Ameri M (2009) Improving the effectiveness of a photovoltaic water pumping system by spraying water over the front of photovoltaic cells. *Renewable Energy* 34, 91–96.
2. Al Ali AR, Rehman S, Al Agili S, Al-Omari MH, Al Fayezi M (2001) Usage of photovoltaic in an automated irrigation system. *Renewable Energy* 23, 17–26.
3. Ahlheim, K., (colab.) (1975), *Die Unwet des Menschen Meyer Lexikon- verlog*, Mannheim.
4. Andrei, Lavinia *Energia solară - o șansă pentru România Grupul român de lucru pentru România*, București 2001.
5. Anis WR, Metwally HMB (1994) Dynamic performance of a directly coupled PV pumping system. *Solar Energy* 53(4), 369-377.
6. Arab H, Benghanem M, Chenlo F (2006) Motor-pump system modelization. *Renewable Energy* 31, 905–913.
7. Araujo GL, Sanchez E. (1982) Analytical expressions for the determination of the maximum power point and the fill factor of a solar cell *Solar Cells* 5: 377 – 386.
8. Badescu V (2003) Dynamic model of a complex system including PV cells, electric battery, electrical motor and water pump. *Energy* 28, 1165-1181.
9. Badescu V, Gueymard CA, Cheval S, Oprea C, Baciu M, Dumitrescu A, Iacobescu F, Milos I, Rada C (2012) Computing global and diffuse solar hourly irradiation on clear sky. Review and testing of 54 models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 1636 – 1656.
10. Badescu V, Cathcart RB, Paulescu M, Gravila P, Bolonkin AA (2011) Macro-Engineering Lake Eyre with Imported Seawater. In *Macro-engineering Seawater in Unique Environments* (Editori: Bădescu V și Cathcart RB) Springer, Berlin.
11. Bakelli Y, Arab AH, Azoui B (2011) Optimal sizing of photovoltaic pumping system with water tank storage using LPSP concept. *Solar Energy* 85, 288-294.
12. Bahadori MN (1978) Solar water pumping. *Solar Energy* 21, 307–316.
13. **Balaj Iosif Ciprian** : "Use Of Solar Energy in the Field Of Improved Land, Draining and Irrigation Systems ", Tom 56 (70), Fasc.2, Scientific Bulletin of the Politehnica University, Transactions on Hydrotehnics, 2011.
14. **Balaj Iosif Ciprian**, Teodor Eugen Man , Marius Paulescu : Solar Powered Water Pumping Systems ", Tom 59(73), Fasc.2, Scientific Bulletin of the Politehnica University, Transactions on Hydrotehnics, 2014.
15. **Balaj Iosif Ciprian**, Teodor Eugen Man , Marius Paulescu : Combined effect of air temperature and solar radiation on the performance of PV powered water pumping systems Tom Tom 60 (74) Fasc.2, ISSN 1224-6042, Scientific Bulletin of the Politehnica University, Transactions on Hydrotehnics, 2015, p 51 – 55.
16. **Balaj Iosif Ciprian**, Teodor Eugen Man , Marius Paulescu: Experimental study of a direct-coupled PV water pumping system, Tom Tom 60 (74) Fasc.2, ISSN 1224-6042, Scientific Bulletin of the Politehnica University, Transactions on Hydrotehnics, 2015, p 43 – 47.

17. **Balaj CI, Man TE**, Paulescu M (2016) Performance assessment of a direct-coupled PV water coupled system. In Proc. of TIM 15-16 Physics Conference. To be published by the American Institute of Physics Conference Proceedings.
18. Bedreag V., Man T.E., Bălan G., Vertan G.- Performant pumping in improving services, Buletinul Științific al U.P.T., Tom 53(67), Fascicola 1, ISSN 1224-6042, 23-24 octombrie 2008.
19. Bhave AG (1994) Potential for solar water-pumping systems in India. Applied Energy 48, 197-200.
20. Bleneși, A., Man, T.E., Mărăcineanu, F., Mărăcine, N., Suciuc, G., Iosub, A., Dinuta, D. - Aspecte actuale ale activității ANIF R.A. și strategia de îmbunătățiri funciare în România – Present aspects of ANIF R.A. activity and land reclamation strategy in Romania, Buletinul Științific al U.P.T., Tom 53(67), Fascicola 1, ISSN 1224-6042, 23-24 octombrie 2008.
21. Blidaru V., Blidaru T.V., State I., State D., Amenajări hidrotehnice complexe de-a lungul coridoarelor navale Pan Europene și interioare pentru dezvoltare teritorială, Editura Performantica, Iași, 2011, ISBN 978-973-730-856-6.
22. Blidaru V., Pricop Gh., Wehry A - "Irigații și drenaje" - Editura Didactică și Pedagogică, București 1981.
23. Blidaru V., State I., Blidaru T.V., Amenajări hidrotehnice pentru dezvoltarea rurală prin recuperări, protecții de terenuri și amenajări complexe (Soluții optimizate cu exemple din tehnica mondială și română), Editura Performantica, Iași, 2006, ISBN 973-730-171-4.
24. Blidaru V., Blidaru T.V., State I., State D., Amenajări hidrotehnice complexe de-a lungul coridoarelor navale Pan Europene și interioare pentru dezvoltare teritorială, Editura Performantica, Iași, 2011, ISBN 978-973-730-855-9, (vol. 1-4).
25. Blidaru V., Wehry A., Pricop Gh, Amenajări de irigații și drenaje, Ed. Interprint, București, 1997.
26. Blidaru, V., State I., Blidaru T.V., Dezvoltare rurală – Modernizări în amenajările de irigații și drenaje în România, Editura Performantica, Iași, ISBN 978-973-730-574-9.
27. Botzan M., Începuturile hidrotehnicii pe teritoriul României, Ed. Tehnică, București, 1994.
28. Brown R.L. (2001), World Economy Expands, in Worldwatch Institute, Vital Signs, 2001 (N.Y. W.W. Norton&Company, 2001).
29. Brown R.L., (2006), Planul B 2.0 Salvarea unei planete sub presiune și a unei civilizații în impas, Editura Tehnică, București.
30. Bugler JW (1977) The determination of hourly insolation on an inclined plane using a diffuse irradiance model based on hourly measured global solar insolation. Solar Energy 19, 477-491.
31. Burchiu, v. Pleșa, n., burchiu, Natalia : Instalații de alimentare cu apă pentru folosințe individuale și microirigații - Ed. Ceres 1988, București.
32. Burchiu, V. : Contribuții la studiul turbinelor cu reacție de joasă cădere Kaplan. Deriaz și Bulb - Teză de Doctorat - IPB, 1970.
33. Burchiu, V. : Instalații de pompare -Ed.Didactică și Pedagogică, 1982.
34. Burchiu, V. : Contribuții în probleme de optimizare și de studiu pe model al turbinei bulb - HIDROTEHNICA, nr.2/1971.
35. Burchiu, v, burchiu, nataia drăcea, D: Curs litografiat USA.MV, București, 2005.
36. Buhociu L., Creangă L., Îmbunătățirile funciare în România (Realizări și perspective), Buletinul AGIR nr. 3/2000, București, pg. 2-7.

37. Campana PE, Li H, Yan J (2013) Dynamic modelling of a PV pumping system with special consideration on water demand. *Applied Energy* 112, 635-645.
38. Cazacu E. și colaboratorii., *Desecări*, Ed. Ceres, București, 1985.
39. Chaurey A, Sadaphal PM, Tyaqi D (1993) Experiences with SPV water pumping systems for rural applications in India. *Renewable Energy* 3, 961-964.
40. Chandratilleke TT, Ho J C (1986) A study of a photovoltaic array for water pumping. *Solar & Wind Technology* 3, 59-71.
41. Collares-Pereira M, Rabl A (1979) The average distribution of solar radiation: Correlation between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values *Solar Energy* 22: 155 - 164.
42. Cotal HL, Law DC, Karam NH, Bedair SM (2010) Recent Development in High Efficiency Multijunction Solar Cell Technology. In *Physics of nanostructured solar cells* (Editori Badescu V și Paulescu M) Nova Science, New York.
43. Cruțescu, M.: Proiectarea și montarea instalațiilor solare SOLARTHERM și THERMOSOLAR., Rev. „Construcții Civile și Industriale”, aug. 2002.
44. Cuadros F, Lopez-Rodriguez F, Marcos A, Coello J (2004) A procedure to size solar- powered irrigation (photo irrigation) schemes. *Solar Energy* 76, 465-473.
45. David I., *Hidraulică, Vol I, Mecanica Fluidelor*, Institutul Politehnic “Traian Vuia” Timișoara, Timișoara, 1990.
46. Dănescu, A. : *Utilizarea energiei solare* - Ed. Tehnică București, 1980.
47. Dragan, V., Burchiu, V., Burchiu, Natalia., Gheorghiu, L., *Energii regenerabile si utilizarea acestora, Vol.i si II* , Bucuresti, 2009.
48. Duma, S., (2007), *Resursele crustale mondiale*, Edit. Presa Universitară Clujeană, Cluj-Napoca.
49. Dumitru M., Borza I., Simota C., Jărau D., 2008, “Evaluarea impactului și a riscului ecologic. Principii generale și aspecte legislative”. Editura EUROBIT, Timișoara, 514 p. ISBN 978-973-620-422-7.
50. Dunn S., (2000), *The Hydrogen Experiment*, *World Watch*, nov/dec 2000.
51. Dunn S., (2001), *Hydrogens Futures: Toward a Sustainable Energy System*, *Worldwatch Paper* 157, (Washington D.C.: Worldwatch Institute, Aug 2001).
52. FARA, V. GRIGORESCU, R : *Conversia energiei solare în energie termică*, Ed. Științifică și Enciclopedică București, 1982.
53. Fernández-Ramos J, Narvarte-Fernández L, Poza-Saura F (2010) Improvement of photovoltaic pumping systems based on standard frequency converters by means of programmable logic controllers. *Solar Energy* 84:101-109.
54. Fiaschi D, Graniglia R, Manfrida G (2005) Improving the effectiveness of solar pumping systems by using modular centrifugal pumps with variable rotational speed. *Solar Energy* 79, 234-244.
55. Firatoglu Z, Yesilata B (2004) New approaches on the optimization of directly coupled PV pumping systems. *Solar Energy* 77, 81-93.
56. Florescu, ghe. Florescu, Tomnița: *Aventura surselor de energie* - Ed. Albatros, 1981.
57. Florescu, a. Burchiu, nataiia ghițulescu, M.: *Arhitectura solară*, Ed. Ion Mincu, București, 2005.
58. FVG (2009). Date catalog FVG90M. <http://www.fvgenergy.com>.
59. Gealan, Corina: *Instalații solare performante*. Rev. „Construcții Civile și Industriale”, nr.33, august 2002.
60. Ghoneim AA (2006) Design optimization of photovoltaic powered water pumping systems. *Energy Conversion and Management* 47, 1449-1463.

61. Goetzberger A, Hoffmann VU (2005) Photovoltaic Solar Energy Generation, Springer, Berlin.
62. Gopal C, Mohanraj M, Chandramohan P, Chandrasekar P (2013) Renewable energy source water pumping systems - A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 25, 351–370.
63. Green MA (1982) Solar cells: operating principles, technology and system applications Prentice-Hall Publisher, Englewood Cliffs, N.J.
64. Griselini F., Încercare de istorie politica și naturală a Banatului Timișoarei, Ed. Facla, Timișoara, 1984.
65. Groumpos PP, Papageorgiou GG (1987) An optimal sizing method for stand-alone photovoltaic power systems. *Solar Energy* 38, 341–351.
66. Gueymard CA, Myers DR (2008) Solar Radiation Measurement: Progress in Radiometry for Improved Modeling. In *Modeling Solar Radiation at the Earth Surface* (V. Bădescu Ed) Springer, Berlin.
67. Gueymard CA (2004) The sun's total and spectral irradiance for solar energy application and solar radiation models. *Solar Energy* 76, 423-453.
68. Gueymard CA (2014) A review of validation methodologies and statistical performance indicators for modeled solar radiation data: Towards a better bankability of solar projects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 39, 1024-1034.
69. Hamidat A (1999) Simulation of the performance and cost calculations of the surface pump. *Renewable Energy* 18, 383–392.
70. Hamidat A, Benyoucef B (2008) Mathematic models of photovoltaic motor-pump systems. *Renewable Energy* 33, 933–942.
71. Hamidat B, Benyoucef B (2009) Systematic procedures for sizing photovoltaic pumping system using water tank storage. *Energy Policy* 37, 1489–1501
72. Hammad MA (1999) Characteristics of solar water pumping in Jordan. *Energy* 24, 85–92.
73. Hoffmann W (2006) PV solar electricity industry: Market growth and perspective. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 90:3285–3311.
74. Hottel H C (1976) A simple model for estimating the transmittance of direct solar radiation through clear atmosphere *Solar Energy* 18: 129 – 139.
75. Iacobescu F, Bădescu V (2012) The potential of the local administration as driving force for the implementation of the National PV systems Strategy in Romania. *Renewable Energy* 30, 117–125.
76. Iannucci, (1999), *Distributed and Meeting of boar don Energy and Environmental Systems*, Nationa research Council, Washington DC.
77. Kaldellis JJKK, Meidanis EE, Zafirakis DD (2011) Experimental energy analysis of a stand-alone photovoltaic-based water pumping installation. *Applied Energy* 88, 4556–4562.
78. Kaldellis J, Zafirakis D (2012) Experimental investigation of the optimum photo- voltaic panels' tilt angle during the summer period. *Energy* 38, 305–314.
79. Kelemen, C. Ursa, D.: Alternativă energetică: energia solară Tehnica Instalațiilor 1/2004.
80. Kou SA, Klein A, Beckman WA (1998) A method for estimating the long-term performance of direct coupled PV pumping systems. *Solar Energy* 64, 33–40.
81. Kordzadeh A (2010) The effects of nominal power of array and system head on the operation of photovoltaic water pumping set with array surface covered by a film of water. *Renewable Energy* 35, 1098–1102.

82. Laleman R, Albrecht J, Dewulf J (2011) Life Cycle Analysis to estimate the environmental impact of residential photovoltaic systems in regions with a low solar irradiation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 267–281.
83. Langridge D, Lawrance W, Wichert B (1996) Development of a photovoltaic pumping system using a brushless d.c. motor and helical rotor pump. *Solar Energy* 56, 151–160.
84. Leucuța C. G., Man T. E., Pelea George Narcis, Tămaș M., **Balaj C** Current situation and future perspective of land reclamation (hydroameliorations) arrangements in Banat. Case study: Țeba-Timișoara drainage arrangement, International Scientific Symposium Management of sustainable rural development, May 26-27, 2016, Timișoara, Romania, *Lucrări Științifice Management Agricol, Seria I, Vol.XVIII (1), ISSN:1453-1410, E-ISSN: 2069-2307, pag. 145-156.*
85. Liu B Y H, Jordan R C (1963) A rational procedure for predicting the long-term average performance of flat-plate solar energy collectors *Solar Energy* 7:53.
86. Maghiar, T.: *Surse noi de energie* - Ed.Keysys, Oradea, 1995.
87. Mahmoud E, Nather H (2003) Renewable energy and sustainable developments in Egypt: photovoltaic water pumping in remote areas. *Applied Energy* 74, 141–147.
88. Man T. E. - Îmbunătățiri funciare în Banat, trecut , prezent și viitor, Conf. Națională " Soluții constructive și de funcționare a sistemelor hidrotehnice în impact cu mediul " UTT, Timișoara, 1991.
89. Man T.E., 1996, *Exploatarea sistemelor de îmbunătățiri funciare (curs partea I)*, Universitatea "Politehnica" din Timișoara.
90. Man T.E., Bica S., Radoslav R. - „Dezvoltare rurală și urbană”, pagina web Aristotel Panepistimus University, Thesaloniki, Greece; (Program SOCRATES/ERASMUS: Resource Management and Local Development Network nr 31579-IC-3-1999-1-GR-ERASMUS-CDA-4, Aristotelio Panepistimio Thessalonikis, Greece, Coordonator Prof. George Balafoutas (Responsabil pentru Socrates/UPT – Prof Pirce, Coordonator program UPT Conf Bica Smaranda, Prof Man T Eugen).
91. Man T. E., Nastea I., Blagoescu C., Gabor A, Lauer I. - Reorganizarea SNIF S.A. Timis – cadru institutional pentru perspective retehnologizarii, modernizarii si exploatarei eficiente a amenajarilor de imbunatatiri funciare, pag. 138 – 146, *Buletinul Stiintific al Universitatii "Politehnica" Timisoara, Seria Hidrotehnica, Tom. 49 (63), Fasc. 1, ISSN 1224 – 6042, Ed. Politehnica, 2005.*
92. Man T.E., Mateoc-Sarb N., Hălbac-Cotoară R., Rural development infrastructure – decisive factor for a sustainable rural development, *Scientific Bulletin of Hydrotechnical Engineering Faculty Timișoara, Tom 51(65), Fascicola 1-2, 2006.*
93. Man T.E., Sabău N.C., Cîmpan G., Bodog M. – *Hidroameliorații*, Editura Aprilia Print, Timișoara, 2007 (Reeditat 2008).
94. Man T.E. David, I., Șumălan, I. - 60 de ani de învățământ hidrotehnic în cadrul Universității "Politehnica" din Timișoara - 60 Years of Hydrotechnical Education at the „Politehnica” University of Timisoara, *Buletinul Științific al U.P.T., Tom 53(67), Fascicola 1, ISSN 1224-6042, 23-24 octombrie 2008.*
95. Man T.E., Lauer I., Lauer C. - Impactul lucrărilor agricole și de îmbunătățiri funciare asupra mediului înconjurător – The impact of the environment of the agricultural works and land improvements, *Buletinul Științific al U.P.T., Tom 53(67), Fascicola 1, ISSN 1224-6042, 23-24 octombrie 2008.*

96. Man T.E., Mateoc-Sîrb N., Dezvoltarea rurală și regională durabilă a satului românesc, Editura Politehnica, Timișoara, 2008, ISBN 978-973-625-546-5.
97. Man,T.E., Hălbac-Cotoară R., Receanu R., Probleme de drenaj – Calcul și experiment, Editura Politehnica, Timișoara, 2012, ISBN 978-606-554-572-4.
98. Man,T.E.,Drenaje vol.I si II, Editura Orizonturi universitare, Timisoara, ISBN 978-973-638-565-0.
99. Mankbadi RR, Ayad SS (1998) Small-scale solar pumping: the technology. *Energy Conversion and Management* 28, 171–184.
100. Mazouz N, Midoun A (2011) Control of a DC/DC converter by fuzzy controller for a solar pumping system. *Electrical Power and Energy Systems* 33, 1623–1630.
101. Măgdălina I., Cismaru C., Mărăcineanu F., Man T.E. - 1983 - Exploatarea și întreținerea lucrărilor de îmbunătățiri funciare - Editura Didactică și Pedagogică, București.
102. Mărăcineanu F., Drenaj agricol-Curs universitar, USAMV București, AMC, Bucuresti 2002.
103. Meah K, Fletcher S, Ula S (2008) Solar photovoltaic water pumping for remote locations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12, 472–487.
104. Mellit A, Kalogirou SA, Hontoria L, Shaari S (2009) Artificial intelligence techniques for sizing photovoltaic systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, 406–419.
105. Metwally HMB, Anis WR (1994) Performance analysis of photovoltaic-powered water-pumping systems using switched reluctance motor drives. *Journal of Power Sources* 52, 141–147.
106. Mokeddem A, Midoun A, Kadri D, Hiadsi SS, Raja IA (2011) Performance of a directly-coupled PV water pumping system. *Energy Conversion and Management* 52, 3089–3095.
107. Mihai D. – Teză de doctorat: Inventarierea și reabilitarea amenajărilor de îmbunătățiri funciare folosind tehnicile Sistemelor Informaționale Geografice zona Nicorești – Tecuci, județul Galați, Universitatea de Științe Agronomice și Medicină Veterinară București, Facultatea de Agricultură, 2010.
108. Nedelcu R., Impactul lucrărilor hidroameliorative și alte surse asupra calității apelor transfrontaliere în spațiul hidrografic Banat, Teză de doctorat, UP Timișoara, 2008.
109. Niac G., Nașcu H, (1999), Hidrogenul, vector de energie. Pro și contra, *Revista Energetica nr.47*, Cluj Napoca.
110. Oprea, T.: Situația actuală și perspectivele hidroenergeticii românești.Conferința hidroenergeticienilor,UPB.
111. Orlescu M. - "Hidrotehnică generală" - Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2001.
112. Palfai I. - 2004 - Belvizek és aszályok magyarországon hidrológiai tanulmányok.
113. Panțu, H. "Modernizarea sistemului Hidrotehnic Timiș-Bega", Teza doctorat. UPT, 2009.
114. Pande PC, Singh AK, Ansari S, Vyas SK, Dave BK (2003) Design development and testing of a solar PV pump based drip system for orchards. *Renewable Energy* 28, 385–396.
115. Paulescu M, Schlett Z (2001) Conversia fotovoltaică a energiei solare. Ed. Mirton, Timișoara.
116. Paulescu M, Schlett Z (2003) A simplified but accurate spectral solar irradiance model. *Theoretical and Applied Climatology*75, 203-212.

117. Paulescu M, Schlett Z (2004) Performance assessment of global solar irradiation models under Romanian climate. *Renewable Energy* 29, 767-777.
118. Paulescu M (2005) Algoritmi de estimare a radiației solare, Editura MatrixROM, București.
119. Paulescu M, Neculae A, Tulcan-Paulescu E (2008a) Măsurarea și estimarea radiației solare. Editura Universității de Vest, Timișoara.
120. Paulescu M (2008b) Elemente de fizica semiconductoarelor și optoelectronică. Editura Universității de Vest, Timișoara.
121. Paulescu M, Badescu V (2011) New approach to measure the stability of the solar radiative regime. *Theoretical and Applied Climatology* 103, 459-470.
122. Paulescu M, Paulescu E, Gravila P, Badescu V (2013) Weather modeling and forecasting of PV systems operation, Springer, London.
123. Paulescu M, Badescu V, Dughir C (2014) New procedure and field-tests to assess photovoltaic module performance. *Energy* 70, 49-57.
124. Paulescu, M, Tulcan - Paulescu, Eugenia : Elemente de dimensionare a sistemelor fotovoltaice, Editura Universității de Vest Timișoara, 2010.
125. Pavel, D.: Arhitectura apelor; Ed. Eminescu, București-1976.
126. Pavelis C.A. 1987. Farm drainage in the United States: History, status, and prospects. Miscellaneous Publication 1455. USDA, Washington, 170 p.
127. Păduraru C. - Teză de doctorat: Contribuții la îmbunătățirea metodelor de monitorizare a calității apelor din surse de suprafață, Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi din Iași, Facultatea de Hidrotehnică, Geodezie și Ingineria Mediului, 2012.
128. Pelea George Narcis, Balaj C., Tămaș M.: "Local Irrigation System Using the Wastewater Storage Tanks in Răuți - Sânmihaiu German Drainage Unit, Cenei, Timis County", International Student Symposium „IF-IM-CAD”, Bucharest, Romania, 2014, Journal of Young Scientist, Volume II, 2014, ISSN 2344 - 1283; ISSN CD-ROM 2344 - 1291; ISSN Online 2344 - 1305; ISSN-L 2344 - 1283, pag. 64 - 67.
129. Pena, E.: Situația actuală și perspectivele hidroenergeticii românești. Conferința hidroenergeticienilor, UPB, 24-25 mai, 2002.
130. Peuser, F.A.: Solar thermal systems, Solar Praxis, Berlin, 2002.
131. Pietraru Vitalie, Calculul infiltratiilor, Ed. Ceres, Bucuresti 1977. Ref ID: 134
132. Pillsbury A. F. 1967. Observations on T i l e Drain Performance, Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, Proceedings Paper 5447, IR3, September 1967.
133. Pizarro, Fernando. Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos. Madrid: Editorial Agrícola Española S.A; 1978.
134. Polubarinova -Kochina P. Ya., Theory of Groundwater Movement, p. -613, Princeton University Press, Princeton, NJ 1962.
135. Pricop Gh., Marcu C. și colaboratorii, Dicționar de îmbunătățiri funciare, vol. I și II, Ed. Ceres, București, 1987.
136. Raugei M, Frankl P (2004) Life cycle impacts and costs of photovoltaic systems current state of the art and future outlooks. *Energy* 34, 392-399.
137. Rogobete Gheorghe, Tarau Dorin, Solurile și ameliorarea lor. Ed. Marineasa, Timișoara, 1997, ISBN 973-9185-53-3.
138. Rojanschi V., Bran F., Politici și strategii de mediu, Editura Economică, București, 2002, ISBN 973-590-576-0.
139. Royne A, Dey CJ, Mills DR (2005) Cooling of photovoltaic cells under concentrated illumination: a critical review. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 86, 451-483.

140. Sabău N.C., Man T.E., Domuța C., Bodog M., Șandor M., Teușdea A.C., Brejea R., Expanding possibilities for using the software DrenVSubIR, to design associated drainage with deep loosening works through scarifying, Buletinul stiintific al Universitatii "POLITEHNICA" din Timisoara, Romania, seria Hidrotehnica, Tomul 55(69), Fascicola 1, 2, 2010, ISSN 1224-6042,Ed. Politehnica, pg.195-201.
141. Sabău N. C.I, Man T. E., A. Armas, **Ciprian Balaj**, Mariana Giru : Characterization of agricultural droughts using Standardized precipitation index (SPI) and Bhalme-Mooley drought index (BDMI) for Environmental Engineering and Management Journal (EEMJ), U.T. "Gheorghe Asachi " Iasi, 2015.
142. Sallem S, Chaabene M, Kamoun MBA (2009) Energy management algorithm for an optimum control of a photovoltaic water pumping system. Applied Energy 86, 2671–2680.
143. Singh BB, Swamy CLP, Singh BP (1998) Analysis and development of a low-cost permanent magnet brushless DC motor drive for PV-array fed water pumping system. Solar Energy Materials and Solar Cells 51, 55–67.
144. Suri M, Huld T, Dunlop (2005) PV-GIS: a web-based solar radiation database for the calculation of PV potential in Europe ED. International Journal of Sustainable Energy 24, 55-67.
145. Schilfgaafde J. van, Drainage for Agriculture, Number 17, in the series of AGRONOMY ASA Inc. Publisher Madison, Wisconsin, USA, 1974.
146. Schultz B. 18th Congress International Commission on Irrigation and Drainage (ICID) Montreal, Canada, 25 July 2002.
147. Smedema L.K., Vlotman W.F. and Rycroft D.W., Modern Land Drainage: Planning, Design, and Management of Agricultural Drainage Systems, Batsford Academic and Educational Ltd, London, U.K. 2004.
148. Spencer W (1971) Fouries series representation of the position of the sun Search 2: 172.
149. Šuri M., Huld T.A., Dunlop E.D. Ossenbrink H.A., 2007. Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. Solar Energy 81:1295–1305. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgris/>
150. Tămaș M., Pelea George Narcis, **Balaj C.**, Leucuța G.: "Integrated waste management system in Caras-Severin county", International Student Symposium „IF-IM-CAD”, Bucharest, Romania, 2014, Journal of Young Scientist, Volume II, 2014, ISSN 2344 - 1283; ISSN CD-ROM 2344 - 1291; ISSN Online 2344 - 1305; ISSN-L 2344 - 1283, pag. 68 - 72;
151. Tulcan - Paulescu, Eugenia, Paulescu, M : Sisteme fotovoltaice distribuite, Editura Universitatii de vest Timisoara, 2009.
152. Turi G, Marin C, Paulescu M (2015) A review of the solar energy database for the Banat plain. AIP Conference Proceedings, Volume 1694, Issue 1, id.040010.
153. Vicente, R.: Evaluarea performanțelor energetice ale instalațiilor și sistemelor de utilizare a energiei solare - UTCB, 2003.
154. Vick B, Clark R (2011) Experimental investigation of solar powered diaphragm and helical pumps. Solar Energy 85, 945–554. Yu Y, Liu J, Wang H, Liu M (2011) Assess the potential of solar irrigation systems for sustaining pasture lands in arid regions—a case study in Northwestern China. Applied Energy 88, 3176–3182.
155. Zaki AM, Eskander MN, Elewa MM (1994) Control of maximum-efficiency PV-generator irrigation system using PLC. Renewable Energy 4, 447–453.

156. Wehry A., Panțu H., Amenajări hidroameliorative, vol. I și II, Ed. Aprilia Print, Timișoara 2008, ISBN 973-99452-9-5.
157. Wesseling, J., Proceeding of the International Drainage Workshop. 1978. Wageningen, Netherlands. Pub. No. 25. ILRI.
158. Wolters, W. and Bos, M.G. (1990) Irrigation Performance Assessment and Irrigation Efficiency. 1989 Annual Report. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands, pp. 25-37.
159. WMO (2008) Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, WMO-No.8/2008. <http://www.wmo.int/>.
160. xxx – Agribook Magazine - Drainage Contractor, USA.
161. xxx - Arhiva tehnică și actele normative de funcționare al SCELIF Timiș, SNIF SA București - Sucursala Timișoara, RAIF București - Sucursala Timișoara, ANIF Filiala de Îmbunătățiri Funciare Timiș, Caras-Severin, Arad, Bihor, etc.
162. xxx – Arhiva tehnica a ANAR si Administratiei Bazinala de Apa Timis – Bega, Timisoara.
163. xxx – Colecția Buletinul Științific al U.P.T., Fascicola Hidrotehnica.
164. xxx – ASE Standards 1993, American Society of Agricultural Engineers.
165. xxx – Drainmod, North Carolina University site, USA.
166. xxx- Legea 7/1996 (republicata 2013), legea cadastrului si a publicitatii imobiliare.
167. xxx- Legea 20/1999 – Zonele defavorizate.
168. xxx- Legea 33/1995 – Exproprierea pentru cauze de utilitate publică.
169. xxx-Legea 50/1991- privind autorizarea execuțiilor construcțiilor și anexe.
170. xxx- Legea 71/1999 – Protejarea patrimoniului cultural național.
171. xxx- Legea 107/1996 – Legea Apelor.
172. xxx- Legea 137/1995 – Protecția mediului.
173. xxx- Legea 138/2004 – Legea îmbunătățirilor funciare – cu modificarile ulterioare prin HG sau Ordine ministeriale.
174. xxx- Legea 151/1998 – Dezvoltarea regională in Romania.
175. xxx - Lucrările primului simpozion de îmbunătățiri funciare Vol. 1-3, ICID București, 1983.
176. xxx – Manualul inginerului hidrotehnician, vol I și II, Ed. Tehnica, București, 1969.
177. xxx - NRCS, Temporarily Flooded Wetlands, Fish and Wildlife Habitat Management Leaflet Number 47, 2007 <ftp://ftp-fc.sc.egov.usda.gov/WHMI/WEB/pdf/TechnicalLeaflets/TempWetlandsJan16.pdf>, (2011).
178. xxx – OSTERREICHISCHE INSTALLATEUR : Piața austriacă de echipamente pentru surse neconvenționale de energie - Osterreichische Installateur, 10/1997.
179. xxx - Ramsar Convention Secretariat, 2006, The Ramsar Convention Manual: a guide to the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran, 1971), 4th ed. Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland.
180. xxx – Seria Annual Report, International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands.
181. xxx – Seria Știința solului, Revistă a Societății Naționale Române pentru Știința Solului.
182. xxx – Seria Technical Bulletin, Institute for Land and Water Management Research, Wageningen, The Netherlands.
183. xxx – Soil Conservation Service U.S.D.A., Design of Open Channels, October, 1997.

184. xxx – Soil Conservation Service, U.S.D.A., 1971. Drainage of agriculture land. Natl. Eng. Handb., sec. 16, pp. 4–43.
185. xxx – Soil conservation service: U.S.D.A. 1959. Natural Engineering Handbook, Section 16, Drainage.
186. xxx – Standardul ASAE EP 479.
187. xxx – Water Management (Drainage), Chapter 14, Part 650 Engineering Field Handbook, National Engineering Handbook, U.S.D.A, N.R.C.S..
188. xxx – www.wikipedia.org.
189. xxx – www.wikipedia.org/wiki/Flood_control_in_the_Netherlands.
190. xxx - www.anif.ro - Site-ul Administrației Naționale a Îmbunătățirilor Funciare
191. xxx - www.arizona.edu.
192. xxx - www.arpmnv6.ro.
193. xxx - <http://www.insse.ro/cms/rw/pages/anuarstatistic2008.ro.do.>, ASR (2008) Anuarul Statistic al României, ediția 2008.
194. xxx - <http://www.business24.ro/articole/proiecte+europene+energie+solara> (proiecte europene energie solara).
195. xxx - <http://www.bizoo.ro/firma/proinstalsrl1/vanzare/8065361/sistem-de-irigatii-cu-pompe-solare>.
196. xxx - www.cdep.ro.
197. xxx - <http://www.clubafaceri.ro/produsehot/panouri-solare-pentru-energie-electrica/>.
198. xxx - <http://cris7ystar.blogspot.ro/>.
199. xxx - DB (2010) Depozitul de baterii. <http://baterie-acumulator.ro>.
200. xxx - www.ecoland.ro.
201. xxx - <http://www.ecomagazin.ro/ministerul-agriculturii-din-chile-promoveaza-utilizarea-energiei-solare-in-irigarea-culturilor-agricole/>.
202. xxx - <http://www.energie-eco.eu/>.
203. xxx - <http://www.energie-solara-fotovoltaica.com>.
204. xxx - <http://energie-verde.ro/pompe-de-apa-cu-panou-fotovoltaic/161-pompe-solare-submersibile>.
205. xxx - www.fao.org.
206. xxx - <http://www.gazetadeagricultura.info/constructii-instalatiiechipamente/619-irigatii/16873-pompele-solare-de-apa-in-agricultura-un-moft-sau-un-factor-economic.html>.
207. xxx - http://www.ghidafaceri.ro/vanzare/pompe-electrice_Timisoara.
208. xxx - <http://www.green-report.ro/irigatiile-soalre-pariul-renovatio-solar-cu-agricultura/>.
209. xxx - www.greenagenda.ro.
210. xxx - www.greenpeace.ro.
211. xxx - www.icid.org.
212. xxx - www.icpa.ro.
213. xxx - www.icpdr.org.
214. xxx - http://ingradina.ro/set-udare-preconfigurat?gclid=CK2Oz_T_pcYCFeQSwwodwOgGJg.
215. xxx - <http://www.irigatii-cu-energie-solara.com>.
216. xxx - <http://www.irrishop.ro/Irigatii-pentru-spatii-rezidentiale-c-22.html>.
217. xxx - <http://www.iucotop.com/>.
218. xxx - http://www.lpelectric.ro/ro/applications/applications_pump_ro.html.
219. xxx - www.maap.ro.
220. xxx - www.madr.ro.
221. xxx - <http://www.magazinirigatii.ro/?gclid=CNKrs66W8MUCFafItAodzC4AzQ>.

222. xxx - www.mmediu.ro.
223. xxx - www.meteoromania.ro.
224. xxx - www.mysteriousetruscans.com.
225. xxx - <http://www.outbackpower.com/>.
226. xxx - <http://www.outbackpower.com/>; FLEXmax (2010) OutBack Power, . Catalog produse.
227. xxx - Nemby Instal Srl., Irigatii cu energie solara fotovoltaica.
228. xxx - www.panourisolare.org.
229. xxx - www.realitatea.net/prima-harta-cu-riscurile-de-inundatii-din-romania.
230. xxx - <http://www.romstal.ro/sisteme-de-irigatii-c1252.html>.
231. xxx - <http://www.solarbuzz.com/ModulePrices.htm>; SB (2010) Mercurial european - module fotovoltaice.
232. xxx - <http://www.scribd.com/doc/151787374/Resurse-Naturale-Regenerabile>.
233. xxx - <http://www.solar-fabrik.de/>.
234. xxx - www.solar-valahia.ro.
235. xxx - <http://www.sma.de/en.html>; SMA (2010) SMA Solar Technogy. Catalog produse.
236. xxx - <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>; SMSE (2010) NASA Surfacce Meteorology and Solar Energy.
237. xxx - www.soil.ncsu.edu.
238. xxx - <http://www.solarzone.ro/Energia-Solara-Eoliana-in-Agricultura>.
239. xxx - <http://www.solarzone.ro/Aplicatii-Energie-Solara-Eoliana-Sisteme-de-Irigatii>.
240. xxx - www.norfolk Mills.co.uk.
241. xxx - <http://rabat.mae.ro/gallery/1023>; (Demonstratii de sisteme de pompare solara pentru irigatii si generare de energie electrică).
242. xxx - www.ramsar.org.
243. xxx - <http://www.rombat.ro/>.
244. xxx - www.rowater.ro.
245. xxx - www.snm.inmh.ro.
246. xxx - www.soil.ncsu.edu.
247. xxx - <http://solwaterm.com/Solwaterm/irigatii.html>.
248. xxx - www.wetlandswatch.org.
249. xxx - www.wetlands.org.
250. xxx - www.wikipedia.com.
251. xxx - www.worldkeyenergy.com.
252. xxx - www.gamesaelectric.com.
253. xxx - www.haticon.com.
254. xxx - www.his-solar.com.
255. xxx - www.chinasunnergy.com.
256. xxx - www.aegps.com.
257. xxx - www.techinter.fr.
258. xxx - www.hymon.pl.
259. xxx - Info@refusol.com.
260. xxx - www.krinner-pv.ro.
261. xxx - www.ideemasun.com.
262. xxx - www.jinkosolar.com.
263. xxx - www.mat-ood.com.
264. xxx - www.trunsunsolar.com.
265. xxx - www.alumilsolar.gr.
266. xxx - www.woodward.com.

267. xxx - www.unimec.ro.
268. xxx - www.pavel-sons.com.
269. xxx - www.hoermann-info.at.
270. xxx - www.greencells.eu.
271. xxx - www.etsolar.com.
272. xxx - www.canadiansolar.com.
273. xxx - www.electro-sistem.com.
274. xxx - www.emersonsolutions.com.
275. xxx - www.solarZONE.ro.
276. xxx - <http://www.energie-verde.ro>.
277. xxx - www.soarest.com.
278. xxx - www.almastein-solar.com.
279. xxx - www.eee.ro.
280. xxx - <https://www.bizoo.ro/firma/nemby/>.
281. xxx - <http://www.kingdomsolar.net/>.
282. xxx - <https://www.victronenergy.com/>.
283. xxx - <https://www.tamesol.com/>.
284. xxx - https://us.sunpower.com/solar-resources/?field_document_type_target_id=1886.
285. xxx - Programul National de Reabilitare a Infrastructurii Principale de Irigații din România - conform Legii nr.269/2016 și aprobat prin Hotărârii de Guvern nr. 793/2016.