

POSSIBILITATI DE UTILIZARE A ENERGIEI SOLARE IN AMENAJARILE DE ÎMBUNĂTĂȚIRI FUNCiare

Teză de doctorat – Rezumat

pentru obtinerea titlului stiintific de doctor la

Universitatea Politehnica Timisoara

în domeniul de doctorat Stiinte Ingineresti /Inginerie Civila_

autor ing. Iosif Ciprian BALAJ_

conducător stiintific Prof.univ.dr.ing. Eugen Teodor MAN_

luna Iunie anul 2018

Cap. 1. INTRODUCERE SI PROBLEME GENERALE ALE AMENAJARILOR DE ÎMBUNĂTĂȚIRI FUNCiare (CU REFERIRE SPECIALA LA CELE DE IRIGATII)

1.1. Amenajările de Îmbunătățiri Funciare din Romania

1.1.1 Probleme generale

Îmbunătățirile funciare (Fig.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 potentialul irigabil este de 7,5 milioane ha dupa unii autori, respectiv 5,5 milioane ha dupa altii. Secetele de lungă durată in decursul timpului au condus la amenajarea pentru irigații a unor suprafețe de 3,1 milioane ha la irigații la nivelel anului 1989.

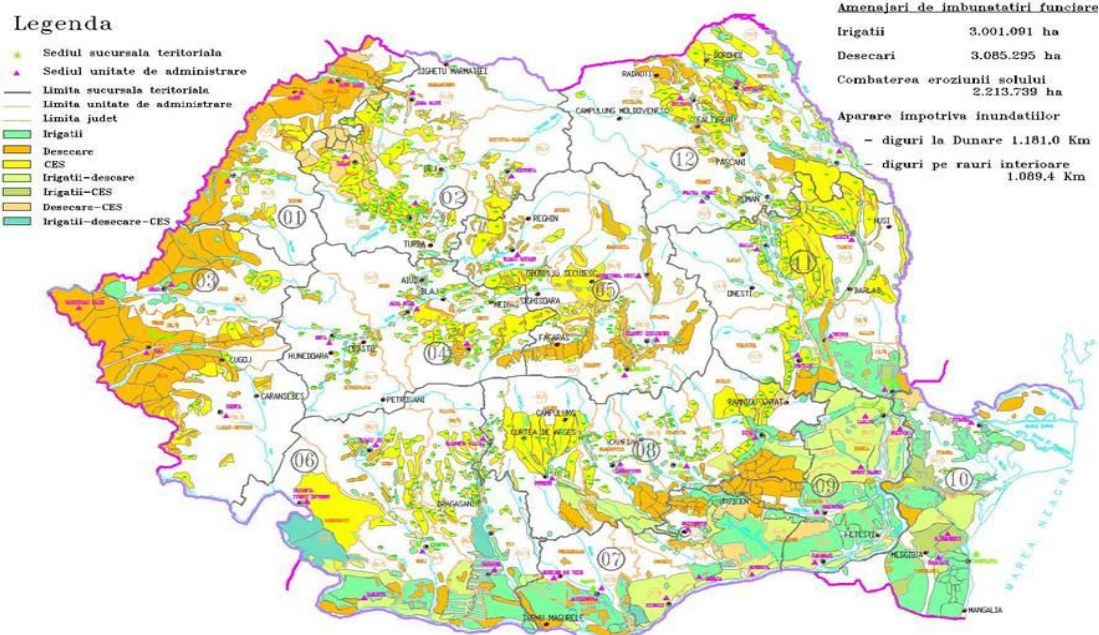


Fig.1 Amplasarea amenajarilor de îmbunătățiri funciare din Romania si a celor 12 sucursale teritoriale ale ANIF Bucuresti [190]

Irigațiile au o importanță strategică pentru agricultura romaneasca, fiind factor de asigurarea unor productii agricole sigure si ridicate in conditiile incalzirii globale, de combatere a procesului de depopulare și de degradare a mediului, și în același timp de susținere si dezvoltare a zonelor rurale.Amenajările de irigații din Romania au fost realizate în cea mai mare parte în perioada 1970-1989.

Pana in anul 1989 Romania detinea:

- 3,1 milioane ha amenajate pentru irigații

- 3,1 milioane hectare cu amenajări de desecare-drenaj
- 2,2 milioane hectare cu amenajări de combatere a eroziunii solului
- 1180 km diguri de apărare la Dunare
- 1089,4 km la raurile interioare

Toate aceste amenajari au asigurat agriculturii romanesti producții sigure si stabile indiferent de evoluția condițiilor climatice din perioada respectivă .

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 (Cimpia de vest , Jud. Timis) în ultimii ani, au fost proiectate/partial realizate, următoarele amenajari de irigații locale cu investitii private:

1. Amenajare de irigații cu pivoți centrali în sistemul de desecare Mureșan, localitatea Sânnicolau Mare (490,94 ha)
2. Amenajare de irigații în unitatea de desecare Nord Lanca Birda, localitatea Birda Amenajare de irigații în sistemul de desecare Răuți – Sânmihaiul German, localitatea Cenei, (1031,00 ha)
3. Amenajare de irigații în sistemul de desecare Răuți – Sânmihaiul German, localitatea Cenei, județul Timiș (290,00 ha)
4. Amenajare de irigații în sistemul de desecare Țeba–Timiș, localitatea Otelec (900 ha)
5. Amenajare de irigații în sistemele de desecare Rudna – Giulvăz și Țeba – Timiș, localitățile Foeni și Giulvăz (471,60 ha)
6. Amenajare de irigații în sistemul de desecare Țeba – Timiș, localitățile Otelec și Giulvăz (400 ha)
7. Amenajare de irigații în sistemul de desecare Răuți – Sânmihaiul German, localitatea Uivar (923,84 ha).

În cadrul tezei au fost prezentate : posibilitati de finantare a lucrarilor imbunatatiri funciare din Romania; legislația Specifică lucrărilor de Îmbunătățiri Funciare din Romania; necesarul de apa în amenajarile de irigații si desecare – drenaj global si pe un an calendaristic; statiile de pompare din amenajarile de Imbunatatiri Funciare si puterea instalata ; Programul National de Reabilitare a Infrastructurii Principale de Irigații din România, conform Legii nr.269/2016 si Analiza SWOT a amenajărilor de irigații din România (paragrafele: 1.1.3 – 1.1.8).

Pentru beneficiarii/fermierii mici care au suprafete pina la 1 - 10 ha amplasate în zone fara retea electrica este oportun si necesar sa foloseasca posibilitatile de finantare pentru achizitionarea echipamentelor mobile de udare (prin picurare sau prin aspersiune), iar pentru asigurarea energiei electrice pentru asigurarea pomparii apei sa foloseasca panourile fotovoltaice. Scopul principal al tezei de doctorat fiind astfel de implementare a utilizarii în viitor a energiei fotovoltaice produse prin utilizarea sistemelor fotovoltaice în vederea pomparii apei pentru irigații la amenajarile mici, locale pentru plantatiile de vita de vie, alun, afine, de pomi fructiferi si la culturile agricole, în special legume cultivate în cimp sau în spatii protejate (sere si solarii).

În acest context au fost efectuate cercetari 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, eficienta celulelor solare, panourile solare, stabilirea cantitatii de energie electrica posibil de obtinut prin conversie fotovoltaica, graficul evolutiei radiatiilor solare, radiatia solara, orientarea, unghiul de inclinare etc.).

1.1.2 Situatia actuala a amenajarilor de imbunatatiri funciare din Romania

Amenajarile de îmbunătățiri funciare sunt lucrari de constructii complexe si pedoameliorative care au drept scop sa promoveze dezvoltarea integrala si durabila a agriculturii precum si a zonelor rurale, din acest motiv protejarea zonelor rurale si agricole împotriva inundatiei devine o prioritate pentru Agentia Nationala de Îmbunătățiri Funciare.

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, prognoza și avertizare privind efectele economice și ecologice ale activităților de îmbunătățiri funciare.

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 coerente, sau a unor soluții viabile, o bună parte din suprafața agricolă s-a desertizat.

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 birocrația 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.

1.1.3. Posibilități de finanțare a lucrărilor îmbunătățiri funciare din România

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

Principalele finanțări externe post aderare sunt cuprinse în programele :

- 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

1.2. Obiectivele tezei de doctorat

Obiectivele tezei de doctorat propuse în cadrul prezentei teze de doctorat 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 – 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
- 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

Cap.2 SURSE DE ENERGII REGENERABILE

2.1. Hidroenergia

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

2.1.1. Energia hidrolică

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

Energia hidrolică poate avea mai multe forme:

- *Energia hidrolică a valurilor*
- *Energia hidrolică a mareelor*
- *Energia hidrolică a curenților marini*

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.

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.

2.2. Energia solară

Fluxul de radiație solară ce ajunge pe suprafața terestră are un potențial energetic ce corespunde impresonantei 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 irigații și încălzirea serelor și industria pentru încălzirea halelor.

2.3. Energia eoliană

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

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.

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.

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.

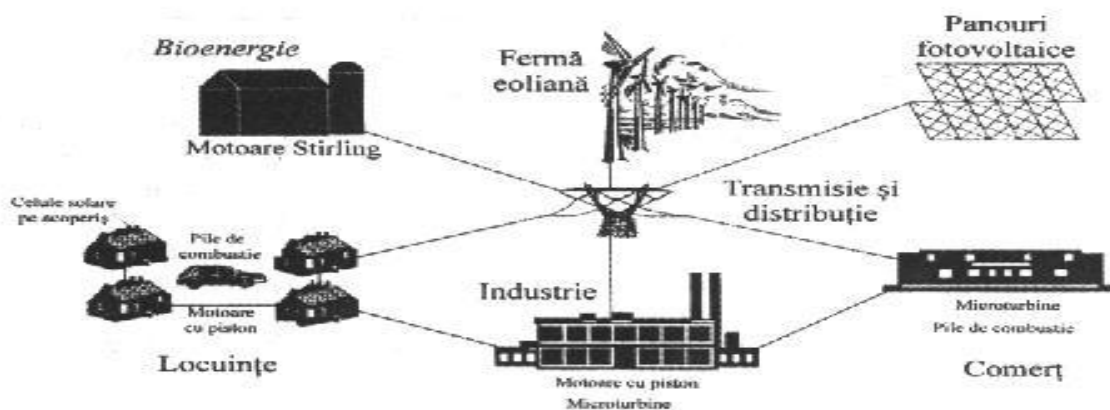


Figura 2.5. Exemplu de sistem energetic dispersat (Iannucci), [76]

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.

Cap.3.Realizari pe plan mondial (firme producatoare, panouri fotovoltaice - caracteristici, acumulatori, pompe de apa, amenajari irigatii etc.). Exemple.

3.1. Firme producatoare, panouri fotovoltaice – caracteristici

Principalii producatori mondiali de celule fotovoltaice sunt companiilor chineze și taiwaneze. Numarul 1 in Top 10 este Suntech Power, o companie chineza care se situa, in 2009, pe locul al 2-lea, capacitatea sa de productie dublandu-se de la un an la altul, scrie cotidianul „La Tribune”.

Pe plan local firma „Eetim” Timisoara ofera sisteme fotovoltaice, tablouri electrice și echipamente de automatizare de la Schneider electric, respect solutii pentru folosirea energiei solare la pomparea apei pentru irigatii.

3.2. Exemple de realizare a unor sisteme de irigatii locale folosind energia solara

3.2.1.Sistem de irigatii cu pompe solare

Principiul de functionare al unui astfel de sistem de irigare este simplu. Panourile solare alimenteaza pompa care scoate apa din subteran sau dintr-o sursa din proximitate, aflata la suprafata. In (Fig.3.5) sun prezentate doua sistemele de pompare a apei provenita din foraje, captari pe rauri, lacuri etc, destinate alimentarii cu apa a fermelor, sistemelor de irigatii, amenajarilor piscicole sau oricaror aplicatii care necesita pomparea apei in zone unde nu exista retea electrica.



Fig.3.4 Vedere panou fotovoltaic si retea de irigatii pomparii la o plantatie de pomi fructiferi [203, 204]



Fig. 3.5 Vedere panou fotovoltaic si generator electric pentru asigurarea apei de irigatie la o plantatie de vita de vie [203, 204]

3.2.2. Irigatii prin picurare sau prin canale de irigatii

Sistemele moderne de irigatii folosesc presiunea pentru aducerea apei și distributia ei prin conducte direct la radacina culturilor. Combinatia sistemelor fotovoltaice cu pompe submersibile este folosita in zonele izolate fara conectarea la rețeaua electrica. Apa este distribuita direct din pompa sau dintr-un bazin de retentie gravitacional. Pentru canalele de irigatii avem nevoie de o pompa cu debit mare și presiune mica.

3.3. Aplicatii pentru Sistemele de Irigatii – exemple

Aceste instalatii de irigatii se folosesc la : cultivarea plantelor (cereale; legume; ciuperci; fructe; struguri / vita de vie; pomi și arbusti fructiferi; plante tehnice; plante furajere; plante medicinale & aromatice; silvicultura; gradinarit; material saditor;

3.4. Pompele solare de apa in agricultura

Pompele de apa solare reprezinta o solutie fiabila la problemele cu care se confrunta agricultorii pentru asigurarea pomparii apei de irigatii ele putind fi folosite și in zootehnie, piscicultura, sau alte domenii.

Pompele de apa solare pot fi submersibile sau de suprafata.

Principalele tipuri de pompe de apa solare sunt :

1. Pompele de apa solare submersibile
2. Pompele de apa solare-mixte
3. Pompele de apa solare de

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

3.5.1 . Performanța sistemelor solare fotovoltaice de pompare a apei

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 m^3 la o înaltime 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 $5,5 \text{ kW h/m}^3/\text{zi}$. 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.

3.5.3. Tipuri de motoare și pompe

Pe plan mondial există mai multe tipuri de motoare de curent continuu (de exemplu, periat și cu magnet fără perii permanent, comutator cu rezistență variabilă) 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.

Cap.4. ENERGIA SOLARA SURSA DE ENERGIE FOTOVOLTAICA PENTRU POMPAREA APEI LA IRIGATII

4.1. 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 .

Integrarea după lungimea de undă a spectrului solar extraterestru (de la 0 la ∞) este cunoscută ca și *constanta solară* sau spectrul AM0.

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.

Știința care se ocupă cu măsurarea radiației electromagnetice provenite de la Soare poartă numele de radiometrie.

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.

Fluxul total de radiație incident pe o suprafață orizontală rezultă din *însurubarea* 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.

Distribuția spectrală a iradianței solare extraterestre reprezentată grafic în figura 4.1 este modificată și separată într-o varietate de componente la trecerea prin diferitele straturi ale

atmosferei Pământului.

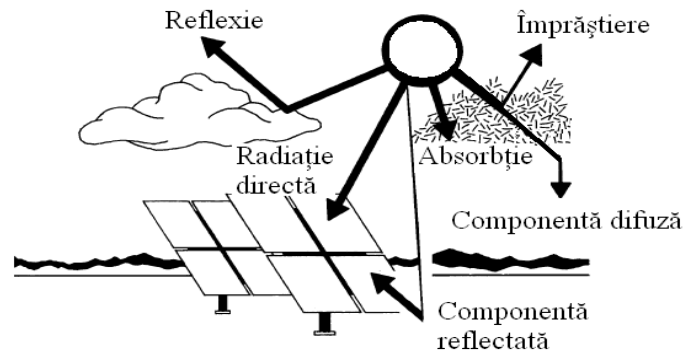


Figura 4.1. Separarea radiației solare în interacțiune cu atmosfera și solul

Radiația solară totală incidentă pe o suprafață care nu este amplasată orizontal, este suma dintre radiația directă, difuză și radiația reflectată de sol.

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

- G [W/m^2] -Iradiața solară globală, reprezintă energia solară totală incidentă într-o secundă pe o suprafață unitară, orizontală.
- G_b [W/m^2] -Iradiața 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] -Iradiața 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.

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, 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 $120 \text{ W}/\text{m}^2$ (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 $120 \text{ W}/\text{m}^2$ și sistemul de înregistrare a timpului.

Pyranometrele sunt instrumente care măsoară densitatea fluxului solar global.

4.2.2 Resurse energetice solare în zona Banatului

Radiația solară ce cade pe sol variază atât cu perioada zilei, dar poate varia considerabil în funcție de locație, mai ales în zone de munte. Irradiația solară variază între $1000 \text{ kWh}/\text{m}^2$ pe an în țările din Europa de Nord și $2000 - 2500 \text{ kWh}/\text{m}^2$ pe an în zonele cu desert. Aceste variații între locații sunt date de diferențele de latitudine și condițiile meteorologice.

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 temporale 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.

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.

- Pentru cunoașterea cantității de energie solară se iau 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
- 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.
- 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.
- 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
- 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.

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

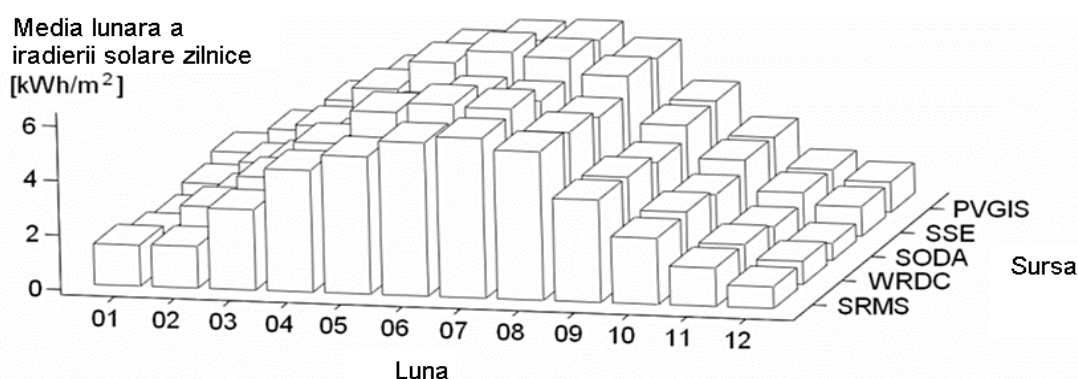


Figura 4.10. media lunară a iradierii solare globale zilnice în Timișoara. Pentru aceeași locație, Timișoara, baze diferite de date furnizează valori diferite ale iradierii solare [152] (după Turi et al. 2015)

4.4. Sisteme solare 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 încărcare. Motorul este ales în

funcție de puterea necesară și de natura curentului furnizat de sistem. Dacă motorul folosește curent alternativ este necesară instalarea unui inverter. 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 reprezintă 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 .

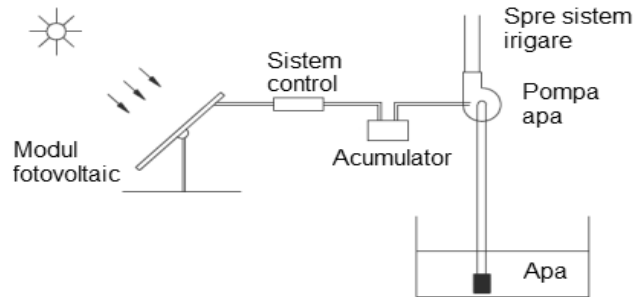


Figura 4.20. Schiță a unui sistem fotovoltaic de pompare a apei

Cap 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 pe 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.

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 măsurate la STC, la condițiile meteorologice reale exterioare (un exemplu este dat în secțiunea 3.3.3 a tezei), inginerul se confruntă cu dilema alegerii modelului de translație adecvat,

capabil să funcționeze cu acuratețe în zona geografică de interes.

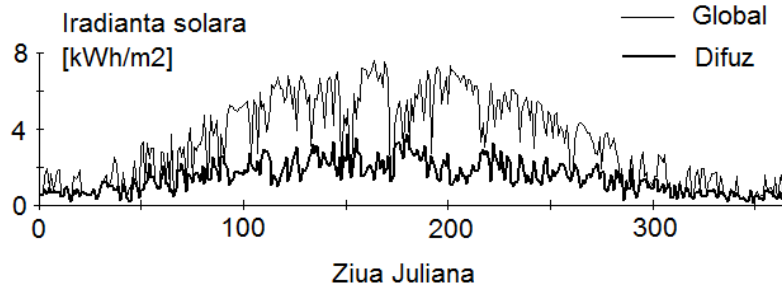


Figura 5.1. Iradierea solară zilnică, globală și difuză, măsurată pe Platforma Solară, în anul 2009

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 iradiției solare globale pe suprafețe orizontale, care furnizează date bazei globale World Radiation Data Center (descriș în secțiunea 3.2.2 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>), descrișă, de asemenea, în secțiunea 5.2.2 a tezei. Măsurătorile au fost efectuate pe durata întregii zile la interval egale de timp de 15 secunde.

În figura 5.2 sunt ilustrate iradierea 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 iradiției solare globale și difuze, calculate din seria zilnică de date. În anul 2009, media anuală zilnică a iradiției globale, în Timișoara a fost de 3.34 kWh/m^2 .

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]	0.92	1.63	2.72	5.01	5.43	5.35	6.13	5.07	3.85	2.01	1.19	0.64
\bar{H}_d [kWh/m ²]	0.62	0.94	1.52	1.84	2.31	2.30	1.94	1.96	1.64	1.13	0.64	0.44

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

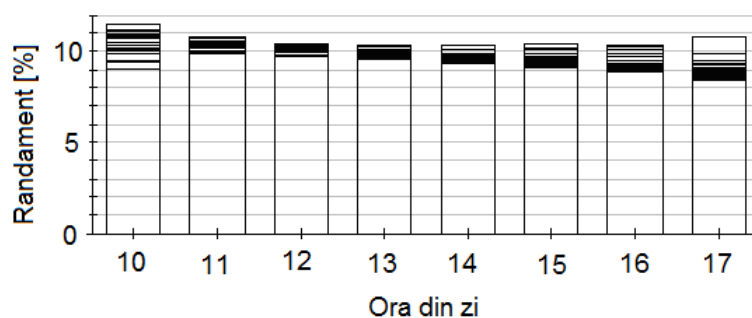


Figura 5.2 Eficiența modulului fotovoltaic estimată în fiecare oră din intervalul 10AM și 17PM, pe durata lunii aprilie 2011

dimensionat utilizând randamentul din foia de catalog se poate supraestima producția de energie cu până la 30%. O asemenea eroare înclusează 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 5.2 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.

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 modulului 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 4.3 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 3.2 și, respectiv, tabelul 3.3.

Piranometrul G din figura 4.3 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. Transmisia informației între Platforma Solară și sistemul de achiziție a datelor este realizată în curent 4-20mA.

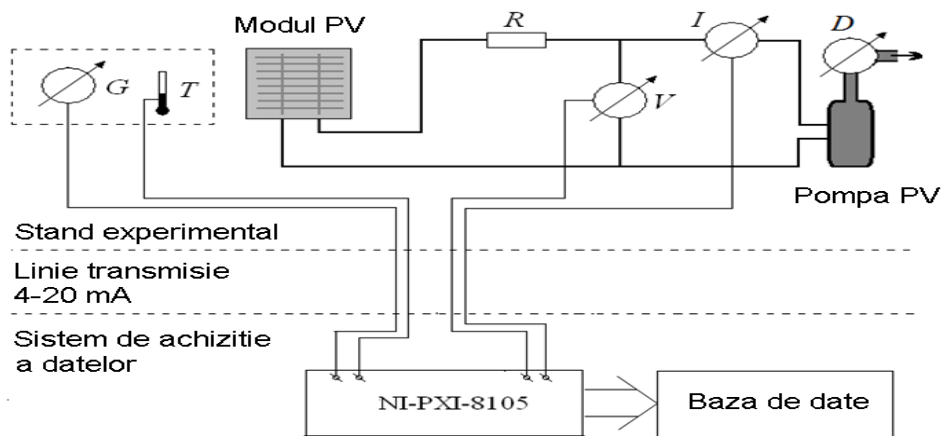


Figura 5.3. Schema montajului experimental pentru studierea sistemului fotovoltaic de pompare a apei cuplat direct: G - este un piranometru pentru măsurarea iradianței solare pe suprafața modulului PV; T - este un senzor termic pentru măsurarea temperaturii ambientale; D - este un debitmetru standard.



Figura 5.6. Fotografii ale montajul 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 măsurare a iradianței solare pe suprafața modului; (B) pompa de apă SHURflo 2088-403-144.

Tabel 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 Shout-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

Tabel 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
NOCT	45 ± 2 °C
Suprafața modului	0.596 m ²

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.

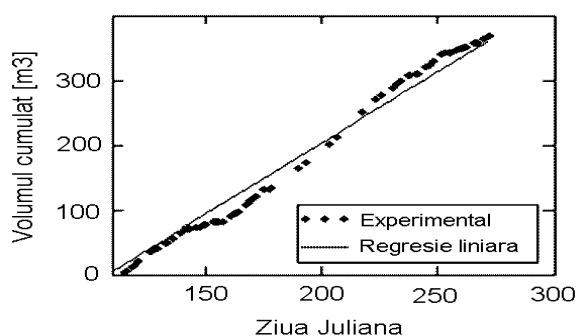


Figura 5.7 Volumul cumulat de apă pompat în timpul perioadei de testare.

Variația zilnică a volumului de apă pompat a fost aproximată prin regresie liniară:

$$V = 2.2 \cdot j - 235 \quad (3.16)$$

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 m³, ceea ce reprezintă o medie zilnică de 2.33 m³ / zi. În tabelul 4.4 sunt prezentate datele referitoare la volumul de apă pompat lună de lună și valoarea medie zilnică. Volumul maxim de 91.3 m³ a fost atins în luna iulie, ceea ce reprezintă o medie zilnică de 2.94 m³. 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 modului 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 (3.14), 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 4.8. 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.

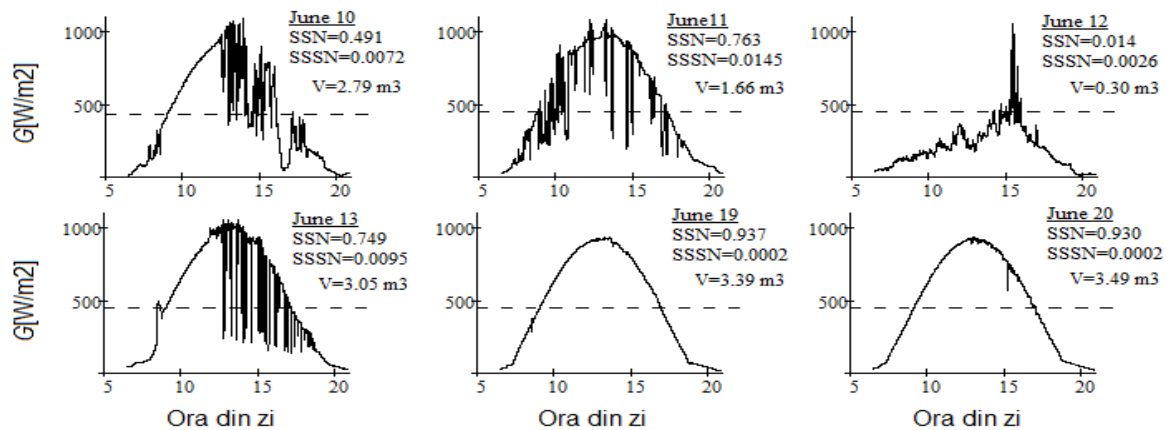


Figura 5.8. Iradianță solară totală măsurată pe suprafața modului PV în funcție de timp, în șase zile, din iunie 2013. Medie zilnică a indicatorului de însorire (SSN), valoarea medie zilnică a stabilității indicatorului de însorire (SSSN) și volumul de apă pompat sunt prezentate pe graficele. Linia punctată indică valoarea de prag a iradianței solare de la care pornește pompa.

Astfel, ziua de 11 iunie a fost caracterizată printr-o instabilitate ridicată ($\overline{SSSN} = 0.0145$) 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.

5.3.3. 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.

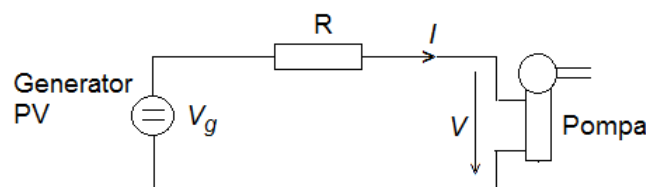


Figura 5.9. Circuitul electric simplificat al sistemului de pompare

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:

$$V_g = V + IR \quad (3.17)$$

În relația (3.17) curentul I și puterea generatorului fotovoltaic $V_g I$ sunt funcții de iradianța solară.

5.3.4 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.

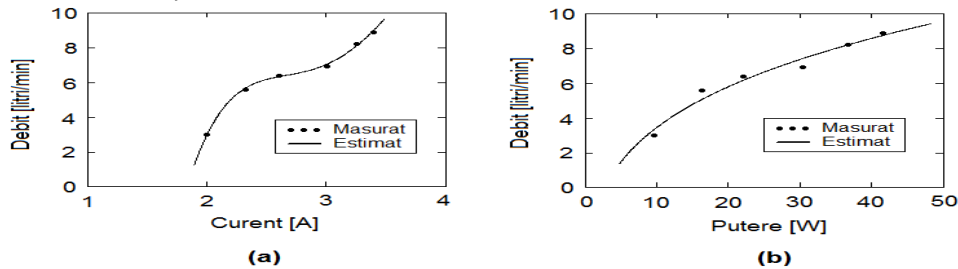


Figura 5.12. Debitul de apă în funcție de (a) curentul prin pompă și (b) puterea absorbită de pompă

Ecuția curbei debit de apă în funcție de curentul prin pompă este ($r^2 = 0.998$):

$$D(I) = -288.3694 + 391.6104I - 193.137I^2 + 41.6497I^3 - 3.2806I^4 \quad (3.18)$$

iar ecuația curbei debit de apă în funcție de puterea absorbită de pompă este ($r^2 = 0.966$):

$$D(P) = -8.8921 + 6.9521P^{0.25} \quad (3.19)$$

Întrucât în cazul modului fotovoltaic, în reprezentarea în raport cu iradianța solară totală, puterea generată suferă o dispersie mai mică decât curentul, ecuația (3.19) a fost folosită în model.

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)

$$N = m + a + S; \text{ (m}^3\text{/ha)}$$

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 unul 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	Sfeclă	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. 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: $N_l = N/n = 2000/2 = 1000$ m³/ha, administrată în două udări pe lună.

În aceste condiții norma de udare m este: $m = N_l/n = 1000/2 = 500$ m³/ha;

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

În teza au fost calculate, pe baza algoritmului propus și a calculului elementelor regimului de irigație, necesarul de panouri fotovoltaice (suprafața și numărul de module fotovoltaice) pentru suprafețe **irigate prin aspersiune** pt. culturile de Legume, Porumb dulce pt. fiert, Lucerna an1, Lucerna an2, Porumb, Grau, Floarea soarelui, Cartofi (extras ca exemplu pentru culturile de legume și porumb dulce pentru fiert în prezentul rezumat), și pentru suprafețele irigate **prin picurare / rampe perforate** pentru culturile de legume, catina, vita de vie, afine, pomi fructiferi pe spalier, alun cultura, trandafiri, flori, porumb dulce (extras ca exemplu culturile legume și catina în prezentul rezumat), vezi tabelele 5.7 și 5.8.

Tabelul 5.7. Necesarul de panouri fotovoltaice (suprafața și numărul de module fotovoltaice) pentru culturile de legume și porumb dulce pentru fiert și suprafețe **irigate prin aspersiune** (extras ca exemplu, doar pt. culturile de Legume, Porumb dulce pt. fiert, Lucerna an1, Lucerna an 2, Porumb, Grau, Floarea soarelui, Cartofi)

Nr. Crt	Cultura	An	Schema de udare	Norma de irigație (mc/ha)	Hidro-modulul de udare (qi) (l/sha)	Suprafata udata (ha)	Debitul de apa la o udare (l/s)	Consumul de energie electrica la 1000 mc apa pompata (kWh/1000 mc)	Consum de energie la o udare (kWh)	Productia energie fotovoltaica pe mp PV (kWh/mp) in 14 zile	Suprafata necesara PV (mp)	Suprafata PV (mp)	Nr. PV (buc)	
1	Legume	as	002200	1200	0.556	1	0.556	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	6		0.521				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	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	10		0.869				1	
					5	1.157	50		4.347				4	
					10	2.315	100		8.692				6	

Tabelul 5.8. Necesarul de panouri fotovoltaice (suprafata si numarul de module fotovoltaice) pentru pentru suprafetele irigate **prin picurare / rampe perforate** pentru culturile de legume, catina, vita de vie, afine, pomi fructiferi pe spalier, alun cultura, trandafiri, flori, porumb dulce (extras ca exemplu culturile legume si catina in prezentul rezumat)

Nr.Crt	Cultura	An	Schem a de udare	Norma de irigație (mc/ha)	Hidro-modulu l de udare (qi) (l/sha)	Supra fata udata (ha)	Debitul de apa la o udare (l/s)	Consum ul de energie electrica la 1000 mc apa pompata (kWh/1000 mc)	Consu m de energie la o udare (kWh)	Producti a energie fotovoltaica pe mp PV (kWh/mp) in 14 zile	Suprafata necesara PV (mp)	Supraf ata PV (mp)	Nr. PV (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
	a m	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
	a m	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	

Observatii:

1. Calculul sa facut pentru modulul PV policristalin TAMESOL de 235W cu foaia de catalog aici:

http://calculationsolar.com/pdfs/Calculationsolar_module_TASMESOL_TM660250W344.pdf

2. Productia de energie a modului pe mp reprezinta energia medie produsa in interval de doua saptamani in perioada aprilie-septembrie. Am ales doua saptamani, ca interval mediu de timp intre doua udari.

3. Suprafata necesara este obtinuta prin impartirea energiei necesare pentru o udare la energia produsa de modul in doua saptamani.

4. Numarul de module este obtinut prin impartirea suprafetei necesare la suprafata unui modul, si majorarea la intreg. Daca avem nevoie de mai mult de un modul atunci numarul acestora trebuie sa fie intotdeauna par, pentru a le putea combina correct serie-parallel.

Din analiza datelor calculate in tabellele 4.7 si 4.8 rezulta urmatoarele concluzii :

- La irigatia prin aspersiune necesarul de apa fiind mai mare ca si la irigatia prin picurare, numarul de panouri fotovoltaice (PFV) este mai mare;
- Numarul de panouri PFV necesar difera si de la cultura la cultura functie de necesarul de apa/consumul de energie electrica pentru pomparea apei;
- Pentru tipul de panou luat in calcul se observa ca un panou de 235 W produce energia electrica pentru pomparea apei de irigatie pentru 1ha de teren irigat.
- Pentru folosirea altor tipuri de PFV , cunoscind productia de energie, necesarul de apa pentru irigatii si respectiv consumul de energie electrica la 1000 mc apa pompata (kWh/1000 mc) se calculeaza numarul de PFV necesar fiecarei culturi.

Conform algoritmului prezentat in paragraful 5.4.2 pentru patru tipuri de module fotovoltaice existente pe piata (China, Olanda, Spania, USA, Tab.5.9), au fost calculate suprafata si numarul de module fotovoltaice necesar pentru producerea energiei fotovoltaice necesara irigarii prin aspersiune (Tab.5.10) si respectiv prin picurare (Tab. 5.11) pentru culturile mentionate mai sus, cuprinse in tabelele 5.7 si 5.8 (din teza in extenso), culturi agricole reprezentative cultivate pe suprafete de 1 , 5 si 10 hectare.

Tabel 5.9. Sintetic pentru 4 tipuri de module fotovoltaice policristaline si monocristaline

Indicativ	Denumire comerciala	Producator	Tip	Suprafata [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

Tabel 5.10. Calculul necesarului de panouri fotovoltaice (suprafata si numarul de module fotovoltaice) pentru diferite culturi si suprafete irigate prin **aspersiune** pentru 4 tipuri de module fotovoltaice produse in China, Olanda, Spania si SUA.

Nr. Crt	Cultura	An	Suprafata udata (ha)	Consum de energie la o udare (kWh)	Productia energie fotovoltaica pe mp PFV (kWh/mp) in 14 zile				Suprafata necesara PFV (mp)				Suprafata unui PVF (mp)				Nr. PFV (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					4	4	2	2
			10	60					5.357	6.250	5.210	3.726					8	6	4	3
		am	1	6					0.535	0.625	0.521	0.372					1	1	1	1
			5	30					2.678	3.125	2.608	1.863					4	4	2	2
			10	60					5.357	6.250	5.210	3.726					8	6	4	3
2	Porumb dulce pt fiert	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	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					2	1	1	1
			5	50					4.464	5.208	4.347	3.105					8	6	4	2
			10	100					8.928	10.41	8.692	6.210					16	12	6	4

Tabel 5.11 Calculul necesarului de panouri fotovoltaice (suprafata si numarul de module fotovoltaice) pentru diferite culturi si suprafete irigate : **picurare / rampe perforate**, pentru 4 tipuri de module fotovoltaice produse in China, Olanda, Spania si SUA.

Nr. Crt	Cultura	An	Suprafata udata (ha)	Consum de energie la o udare (kWh)	Productia energie fotovoltaica pe mp PVF (kWh/mp) in 14 zile				Suprafata necesara PVF (mp)				Suprafata 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					2	1	1	1										
			10	20					1.784	2.082	1.73	1.242					4	2	2	1										
		am	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										
			10	12					1.071	1.250	1.04	0.745					2	2	1	1										
		9	Catina	as					1	2.5	11.2	9.60					11.5	16.1	0.223	0.260	0.217	0.155	0.67	0.99	1.46	1.62	1	1	1	1
									5	12.5									1.115	1.302	1.085	0.776					2	2	1	1
									10	25									2.230	2.604	2.17	1.552					4	4	2	1
am	1			2	0.178	0.208	0.173	0.124	1	1			1	1																
	5			10	0.892	1.041	0.869	0.621	2	1			1	1																
	10			20	1.784	2.082	1.73	1.242	4	2			2	1																

Cap.6. Concluzii generale si contributiile personale

6.1. Concluzii generale

In cadrul tezei de doctorat au fost efectuate studii si cercetari privind stabilirea posibilitatilor de utilizare a energiei solare in amenajarile de imbunatatiri funciare, in special pentru amenajarile locale , pe suprafete mici in special in zonele unde exista radiatii solare corespunzatoare si nu exista retea electrica de alimentare cu current electric al pompelor.

In capitolul 1 al tezei se prezinta o sinteza asupra stadiului actual al amenajarilor de irigatii din tara noastra evidentiindu - se istoricul, capacitati amenajate, organizarea actuala, strategia nationala, surse de finantare, legislatia specifica in domeniul imbunatatirilor funciare necesarul de apa, amenajari locale de irigatii, 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, precum si o analiza SWOT a amenajărilor de irigații din România , atit pentru amenajarile mari de irigatii cit si pentru beneficiarii/fermierii mici care au suprafete pina la 1 - 10 ha. Pentru cei din urma care au terenurile/proprietatile amplasate in zone fara retea electrica sa foloseasca posibilitatile de finantare pentru achizitionarea echipamentelor mobile de udare (prin picurare sau prin aspersiune), iar pentru asigurarea energiei electrice pentru asigurarea pomparii apei sa foloseasca panourile fotovoltaice.

Scopul principal al tezei de doctorat a fost acela de implementare a utilizarii in viitor a energiei fotovoltaice produse prin utilizarea sistemelor fotovoltaice in vederea pomparii apei pentru irigatii la amenajarile mici, locale pentru plantatiile de vita de vie, alun, afine, de pomi fructiferi si la culturile agricole, in special legume cultivate in cimp sau in spatii protejate (sere si solarii).

In acest context au fost efectuate cercetari 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, eficienta celulelor solare, panourile solare, stabilirea cantitatii de energie electrica posibil de obtinut prin conversie fotovoltaica, graficul evolutiei radiatiilor solare, radiatia solara, orientarea, unghiul de inclinare etc.).

In capitolul 2 al tezei au fost prezentate succint sursele de energii regenerabile: hidroenergia, energia hidraulică, energia hidraulică a valurilor, energia hidraulică a mareelor, energia hidraulică a curentilor marini, energia termică a mărilor și oceanelor, energia din hydrogen, energia solară, energia eoliană, energia geotermală, energia din biomasă, punindu-se accent pe energia solara ca o energie aviitorului, inepuizabila si posibil de utilizat si pentru pomparea apei in cadrul amenajarilor mici de irigatii.

In Cap.3. am prezentat aspectele teoretice ale energiei solare ca sursa de energie fotovoltaica pentru pomparea apei la irigatii , prezentind : componentele radiației solare in 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.4 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 transunerii 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 4.4.

În acest capitol pe baza experimentarilor proprii, efectuate la Universitate 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 constat 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 4.4. 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.

Tot în Cap. 4 se prezintă un algoritm de calcul pe baza căruia a fost stabilit în tabelul 4.7. necesarul de panouri fotovoltaice pentru diferite culturi și suprafețe irigate prin aspersiune, respective în tabelul 4.8. necesarul de panouri fotovoltaice pentru diferite culturi și suprafețe irigate prin picurare / rampe perforate.

Conform acestui algoritm și cunoscând producția de energie pentru zona respectiv 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 pomparii apei de irigație.

În studiul de caz din tabelele 7 și 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

Productia de energie a modului pe mp reprezinta energia medie produsa in interval de doua saptamani in perioada aprilie-septembrie. A fost ales ca interval mediu de timp intre doua udari doua saptamani (care functie de cerintele diferitelor culturi poate sa difere).

Suprafata de panou necesara a fost obtinuta prin impartirea energiei necesare pentru o udare la energia produsa de modul in doua saptamani.

Numarul de module se obtine prin impartirea suprafetei necesare la suprafata unui modul, si majorarea la intreg. Daca avem nevoie de mai mult de un modul atunci numarul acestora trebuie sa fie intotdeauna par, pentru a le putea combina corect serie-paralel.

Aanaliza datelor calculate in tabelele 4.7 si 4.8 evidentiaza citeva concluzii practice :

- La irigatia prin aspersiune necesarul de apa fiind mai mare ca si la irigatia prin picurare, numarul de panouri fotovoltaice (PFV) este mai mare;
- Numarul de panouri PFV necesar difera si de la cultura la cultura functie de necesarul de apa/consumul de energie electrica pentru pomparea apei;
- Pentru tipul de panou luat in calcul se observa ca un panou de 235 W produce energia electrica pentru pomparea apei de irigatie pentru 1ha de teren irigat.
- Pentru folosirea altor tipuri de PFV , cunoscind productia de energie, necesarul de apa pentru irigatii si respectiv consumul de energie electrica la 1000 mc apa pompata (kWh/1000 mc) se calculeaza numarul de PFV necesar fiecărei culturi.

In Cap. 5 a fost prezentate realizările pe plan mondial (firme producătoare, panouri fotovoltaice - caracteristici, acumulatori, pompe de apa, amenajari irigatii etc.) , Exemple de realizare a unor sisteme de irigatii locale folosind energia solara : Sistem de irigatii cu pompe solare, irigatii prin picurare sau prin canale de irigatii (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.

6.2. Contributii 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 Imbunatatiri Funciare(istoric, capacitati amenajate, organizarea actuala, strategia nationala, surse de finantare, legislatia specifica in domeniul imbunatatirilor funciare necesarul de apa, amenajari locale de irigatii etc)
- Realizarea unei sinteze bibliografice în domeniul energiei solare
- Prezentarea bazelor teoretice ale conversiei energiei solare in energie electrica
- Evaluarea resurselor solare in regiunea de vest, in vederea utilizarii energiei solare in pomparea apei pentru irigatii
- Efecuarea unor cercetarii experimentale prin realizarea unui stand experimental pentru studiul eficientei pomparii apei folosind cuplajul direct fotovoltaic – pompa
- Modelarea numerica a resurselor de energie solara
- Modelarea cuplajului direct pompa – modul fotovoltaic
- Graficul evolutiei radiatiilor solare
- Stabilirea cantitatii de energie electrica posibil de obtinut prin conversie fotovoltaica
- Realizari pe plan mondial si in tara noastra de folosire a energiei solare la pomparea apei de irigatii
- Inventarierea principalor firme producatoare de panouri fotovoltaice

- Propunerea unor noi direcții de cercetare privind folosirea energiei solare in amenajarile de imbunatatiri funciare.
- In tab. 7 si 8 din Cap.4 se prezinta calculul necesarului de panouri fotovoltaice pentru diferite culturi si suprafete irrigate (pentru proiectare) dupa un algoritm propus de doctorand.

6.3 Propunerea unor noi direcții de cercetare privind folosirea energiei solare in amenajarile de imbunatatiri funciare.

- Modelarea numerica a sistemelor de pompare a apei
- Dezvoltarea sistemelor de pompare a apei echipate cu dispozitive de stocare a energiei fotovoltaice
- Elaborarea de prototipuri de instalatii de irigare fotovoltaice pentru diverse suprafete cultivate de micii fermieri
- Eficientizarea/optimizarea sistemelor fotovoltaice correlate cu metodele de irigatie si echipamentele de udare.

BIBLIOGRAFIE

1. 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.
2. **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.
3. **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
4. **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
5. **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
6. **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.
7. Brown R.L. (2001), *World Economy Expands*, in Worldwatch Institute, Vital Signs, 2001 (N.Y. W.W. Norton&Company, 2001)
8. Gueymard CA, Myers DR (2008) Solar Radiation Measurement: Progress in Rdiometry for Improved Modeling. In *Modeling Solar Radiation at the Earth Surface* (V. Bădescu Ed) Springer, Berlin.
9. Iannucci, (1999), *Distributed and Meeting of boar don Energy and Environmental Systems*, Nationa research Council, Washington DC
10. 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.
11. Man T.E., Sabău N.C., Cîmpan G., Bodog M. – *Hidroameliorații*, Editura Aprilia Print, Timișoara, 2007 (Reeditat 2008)
12. Man,T.E.,*Drenaje vol.I si II*, Editura Orizonturi universitare, Timisoara,ISBN 978-973-638-565-0.
13. Meah K, Fletcher S, Ula S (2008) Solar photovoltaic water pumping for remote locations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12, 472–487.

14. 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.
15. Paulescu M, Badescu V (2011) New approach to measure the stability of the solar radiative regime. *Theoretical and Applied Climatology* 103, 459-470.
16. Paulescu M, Paulescu E, Gravila P, Badescu V (2013) *Weather modeling and forecasting of PV systems operation*, Springer, London.
17. Paulescu M, Badescu V, Dughir C (2014) New procedure and field-tests to assess photovoltaic module performance. *Energy* 70, 49-57.
18. Paulescu, M, Tulcan - Paulescu, Eugenia : *Elemente de dimensionare a sistemelor fotovoltaice*, Editura Universitatii de vest Timisoara, 2010.
19. xxx - www.anif.ro - Site-ul Administrației Naționale a Îmbunătățirilor Funciare
20. 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.

CUPRINS

Cap.1. Introducere și probleme generale ale amenajărilor de îmbunătățiri funciare (cu referire specială la cele de irigații).....	2
1.1. Amenajările de Îmbunătățiri Funciare din România.....	2
1.1.1. Probleme generale.....	2
1.1.2. Situația actuală a amenajărilor de îmbunătățiri funciare din România (istoric, capacități amenajate, organizarea actuală, strategia națională, surse de finanțare, legislația specifică în domeniul îmbunătățirilor funciare necesarul de apă, amenajări locale de irigații etc).....	7
1.1.2.1. Situația actuală amenajărilor de irigații din Banat (Jud. Caraș – Severin, Timiș, Arad).....	15
1.1.3. Posibilități de finanțare a lucrărilor de îmbunătățiri funciare din România.....	23
1.1.4. Legislația Specifică lucrărilor de Îmbunătățiri Funciare din România.....	26
1.1.5. Necesarul de apă în amenajările de irigații și desecare – drenaj global și pe un an calendaristic.....	28
1.1.6. Stațiile de pompare din amenajările de Îmbunătățiri Funciare și puterea instalată.....	29
1.1.7. 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.....	29
1.1.8. Analiza SWOT a amenajărilor de irigații din România.....	31
1.2. Obiectivele tezei de doctorat.....	34
1.3. Concluzii parțiale.....	34
2. Surse de energii regenerabile.....	36
2.1. Hidroenergia.....	36
2.1.1. Energia hidroenergetică.....	36
2.1.1.1. Energia hidroenergetică a valurilor.....	36
2.1.1.2. Energia hidroenergetică a mareelor.....	36
2.1.1.3. Energia hidroenergetică a curenților marini.....	37
2.1.2. Energia termică a mărilor și a oceanelor.....	37
2.1.3. Energia din hidrogen.....	37
2.2. Energia solară.....	39
2.3. Energia eoliană.....	43
2.4. Energia geotermală.....	45
2.5. Energia din biomasă.....	49

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.....	58
a. Dimensionarea sistemelor prin picatura.....	58
b. Dimensionarea sistemelor prin irigare (inundare).....	59
3.3. Aplicatii pentru Sistemele de Irigatii – exemple.....	60
3.4. Pompele solare de apa in agricultura.....	61
3.5. Rezultatele unor studii privind sistemele solare fotovoltaice de pompare a apei.....	63
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.....	64
3.5.3. Tipuri de motoare și pompe.....	70
3.5.3.1. Tipuri de motoare.....	70
3.5.3.2. Pompe de apă folosite în sistemul de pompare.....	72
Cap.4. Energia solara sursa de energie fotovoltaica pentru pomparea apei la irigatii...	73
4.1. Tipuri de energii regenerabile.....	73
4.2. Energia solară.....	78
4.2.1. Componentele radiației solare in atmosferă.....	80
4.2.1. Măsurarea radiației solare.....	83
4.2.2. Resurse energetice solare în zona Banatului.....	87
4.3. Conversia fotovoltaică a energiei solare.....	93
4.3.1. Efectul Dember.....	94
4.3.2. Efectul fotovoltaic la joncțiunea p-n. Celule solare semiconductoare.....	95
4.3.3. Funcționarea sistemelor fotovoltaice în condiții meteorologice reale.....	100
4.4. Sisteme solare de pompare a apei.....	107
4.4.1. Principiul defuncționare a sistemelor PV de pompare a apei.....	107
4.4.2. Tipuri de motoare.....	111
4.4.3. Pompe de apă folosite în SPVP.....	112
4.4.4. Răcirea panourilor solare fotovoltaice.....	113
4.4.5. Dimensionarea optimă a SPVP.....	113
4.4.6. Controlul SPVP.....	115
4.4.7. Aspecte economice și de mediu ale SPVP.....	116
4.4.8. Limitările SPVP.....	116
4.5. Sisteme fotovoltaice de pompare a apei cuplate direct.....	117
4.6. Schema logica de dimensionare panouri fotovoltaice.....	118
Cap.5. Cercetări experimentale asupra pompelor cuplate direct cu generatorul fotovoltaic	119
5.1. Estimarea producției de energie a unui sistem fotovoltaic.....	120
5.2. Studiul experimental al unui sistem fotovoltaic de pompare a apei cuplat direct.....	125
5.2.1. Stand experimental	126
5.2.2. Caracterizarea regimului solar radiativ	128
5.2.3. Rezultate experimentale.....	128
5.3. Modelarea funcționării unui sistem fotovoltaic de pompare a apei cuplat direct	131
5.3.1. Baza de date.....	132
5.3.2. Caracteristica curent tensiune a pompei.....	133
5.3.3. Debitul de apă.....	134
5.3.4. Puterea generatorului fotovoltaic.....	134

5.3.5. Simularea procesului de pompare.....	135
5.4. Calculul necesarului de panouri fotovoltaice pentru diferite culturi si suprafete..	136
5.4.1.Elementele regimului de irigatie.....	136
5.4.2. Modul de calcul al necesarului de panouri fotovoltaice pentru diferite culturi si suprafete irigate prin aspersiune si suprafete irigate prin picurare / rampe perforate	140
5.5.Concluzii.....	146
6. Concluzii generale si contributi personale.....	147
6.1. Concluzii generale.....	147
6.2. Contributii personale.....	150
6.3 Propunerea unor noi directii de cercetare privind folosirea energiei solare in amenajarile de imbunatatiri funciare.....	151
7. Bibliografie.....	151
8.Cuprins	161