

Rezumat asupra
Tezei de doctorat intitulată
EFICIENȚA ENERGETICĂ ȘI ECONOMICĂ A UTILIZĂRII
SURSELOR REGENERABILE DE ENERGIE PENTRU
ALIMENTAREA LOCALITĂȚILOR

Sistemele pentru producerea energiei electrice care utilizează resurse regenerabile (în special eoliană și solară) au apărut datorită necesității reducerii emisiilor poluante a centralelor electrice convenționale.

O dată cu conștientizarea factorilor care influențează negativ mediul cât și ca urmare a penetrării în rețea a sistemelor eoliene și solare, aceste sisteme s-au dezvoltat și au evoluat continuu, existând la ora actuală o mare diversitate de astfel de sisteme, atât din punct de vedere al puterii instalate cât și al schemelor utilizate. Apariția unor noi politici și chiar filozofii energetice, precum dezvoltarea durabilă, a impulsionat și mai mult sectorul surselor regenerabile de energie pentru producere de energie electrică.

Cunoașterea acestor resurse regenerabile sub aspectul potențialului, avantajelor, dezavantajelor, impedimentelor tehnico-economice, precum și a perspectivelor este de o deosebită importanță, mai ales pentru sistemele de conversie care utilizează resurse intermitente pentru alimentarea unor consumatori cu cerere mică de energie electrică dar puternic variabilă.

Studiile efectuate până în prezent nu prezintă o sinteză unitară a tuturor problemelor și particularităților pe care le pune electrificarea localităților: cauzele și factorii neelectrificării, legătura acestora cu factorii de oportunitate, managementul energetic în electrificarea rurală, criteriile electrificării rurale, stabilirea clară a etapelor de parcurs în implementarea sistemelor cu surse regenerabile de energie, algoritmi și modele de proiectare, factori care influențează costurile inițiale și totale, precum și costurile pe întreaga durată de viață.

Obiectivele acestei teze sunt de a analiza diferite configurații cu turbine eoliene și panouri fotovoltaice pentru alimentarea eficientă a unei localități. Sunt prezentate diferite sisteme hibride cu și fără baterii de acumulatori și analiza economică a acestora.

Problemele abordate sub aspect de sinteză analitică și aplicație numerică se centreză pe următoarele obiective specifice:

- Identificarea aspectelor semnificative din punct de vedere al tendințelor de utilizare a surselor regenerabile de energie pentru dezvoltarea durabilă și în special a celor de interes pentru utilizarea combinată a acestora;

- Sintetizarea aspectelor legate de evoluția, structura, clasificarea surselor regenerabile de energie, a domeniilor de utilizare a acestora, precum și problemele introduse în cadrul SEN;

- Sistematizarea unor modele matematice prin care sunt descrise caracteristicile componentelor de bază ale sistemelor cu surse regenerabile și strategiile de management energetic;

- Dimensionarea componentelor unui sistem cu surse regenerabile de energie incluzând aspectele specifice ale subsistemelor fotovoltaice și eoliene, utilizând programarea liniară;

Teza de doctorat, structurată pe 8 capitole, bibliografie și anexe, îmbină, atât aspectele teoretice, cât și cele practice legate de elaborarea unui sistem cu surse regenerabile de energie

pentru furnizarea energiei electrice a unei localități respectând condițiile de racordare la rețea și normele de mediu europene și naționale. Pe parcursul lucrării, sunt utilizate programe soft specializate în analiza și prelucrarea datelor. Ca urmare a activității de cercetare, doctoranda a elaborat 12 articole de specialitate, în care a făcut cunoscute pe plan național și internațional rezultatele obținute în domeniul tezei de doctorat. Două dintre aceste lucrări au fost realizate în calitate de singur autor, iar restul de lucrări în colaborare cu specialiști din domeniul. Dintre cele 12 lucrări, 2 au fost susținute în cadrul workshop-urilor organizate prin intermediul contractului POSDRU/88/1.5/S/50783, proiect strategic ID 50783 (2009), cofinanțat din Fondul Social European – Investește în Oameni, prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor umane 2007-2013.

Capitolul 1 are un caracter introductiv. El cuprinde un scurt istoric, stadiul actual al surselor regenerabile de energie, încadrarea și justificarea tematicii care constituie obiectul tezei de doctorat, în contextul actual al evoluției surselor de energie și al preocupărilor existente pe plan mondial și la noi în țară, și continuă prin prezentarea pe scurt a conținutului fiecărui capitol al tezei. În încheiere se evidențiază numărul de publicații efectuate în cadrul elaborării tezei de doctorat cât și aspecte privind direcțiile ulterioare de cercetare.

Fiecare capitol cuprinde un subcapitol final, care, evidențiază concluziile și contribuțiile personale.

Capitolul 2 realizează o sinteză a situației actuale privind evoluția sectorului energetic, în general, și a surselor de energie electrică, în particular. În prima parte a capitolului atenția este focalizată asupra stadiului actual al evoluției surselor primare de energie, al legislației și politicii UE în domeniul Surselor Regenerabile de Energie (SRE). Sunt trecute în revistă principalele aspecte legate de tendințele și realizările în domeniul SRE pe plan european.

A doua parte a acestui capitol se axează pe politica și strategia de implementare a SRE în România. Sunt prezentate cadrul legislativ, reușitele și perspectivele pe plan național, în sectorul producerii de energie electrică din surse regenerabile.

Capitolul 3 prezintă noțiuni cu privire la energia eoliană, avantajele și dezavantajele utilizării turbinelor eoliene, cele mai utilizate turbine eoliene precum și puterea dezvoltată de o turbină eoliană și factorii care o influențează. Este descris modelul matematic al unei turbine eoliene și modul de control pentru obținerea puterii maxime. Este elaborată o analiză economică pentru un grup de 10 turbine eoliene de 100 kW, respectiv s-a determinat și durata de recuperare a investiției.

În **capitolul 4** sunt diseminate avantajele și dezavantajele panourilor solare. Este descris modul de estimare a radiației solare disponibile pe un plan înclinat și puterea instalată în centralele electrice din România. Capitolul cuprinde și modelarea matematică a panourilor fotovoltaice cu circuit simplu, cu simplă sau dublă diodă, cu sau fără rezistență în paralel. Este realizată modelarea cu ajutorul programului Matlab Simulink a unui panou tip Kyocera KD240GH-2PB și prezentarea caracteristicilor V-P și V-I pentru diferite iradieri și diferite temperaturi ale mediului ambiant. Tot în acest capitol s-a realizat și dimensionarea, în viziunea proprie a autoarei, a unui sistem cu surse regenerabile de energie cu ajutorul programării liniare. S-au dimensionat sisteme cu două tipuri de turbine eoliene și două panouri solare, punându-se restricții asupra numărului acestora. Modelul matematic al programării liniare este implementat în Matlab, iar puterile produse pe durata unui an de turbinele eoliene și panourile fotovoltaice sunt obținute cu ajutorul programului Homer.

În partea finală a acestui capitol s-a prezentat o analiză economică pentru alegerea variantei optime de alimentare cu energie electrică a unei localități. Sau analizat 3 variante și

anume: Turbine eoliene - Rețea, Panouri fotovoltaice- Rețea și Turbine eoliene - Panouri fotovoltaice- Baterii de stocare- Rețea. Pentru achiziția energiei electrice de la rețea s-au considerat 3 zone orare: zona de vârf, zona de gol și zona normală. Pentru alegerea variantei optime s-au considerat panourile fotovoltaice fixe, înclinate la 35°. Din cele trei cazuri analizate, costul minim de energie a fost obținut în cazul 3: 0.216 \$/kWh.

Capitolul 5 cuprinde noțiuni privind necesitatea stocării energiei electrice provenite din surse regenerabile de energie și clasificarea sistemelor de stocare a energiei provenite din aceste surse și descrierea pe scurt a acestora. De asemenea sunt descrise mărimile caracteristice ale unei baterii și o serie de modele matematice utilizate în literatura de specialitate.

În partea a doua a capitolului sunt detaliate testele realizate asupra unei baterii cu lithium aflată în dotarea Facultății de Științe Aplicate Hochschule Darmstadt din Germania. Aceste teste s-au realizat în cadrul unui stagiu de mobilitate pe parcursul a 3 luni. Au fost efectuate diferite teste de încărcare și descărcare ale acestei baterii de la rețeaua de interes public și s-au monitorizat parametrul rețelei în prezența acestei baterii. Monitorizarea parametrilor online precum și stocarea datelor obținute s-a obținut cu ajutorul soft-ului imcPolares. Rezultatele măsurătorilor au fost comparate cu limitele impuse de standardul european EN 50160. Din analiza rezultatelor măsurătorilor efectuate asupra sistemului de baterii se constată că parametrii de calitate ai energiei electrice se încadrează, în general, în limitele admise de norme.

Capitolul 6 prezintă condițiile tehnice de racordare a centralelor eoliene, a centralelor fotovoltaice la S.E.N. precum și nivelurile de tensiune la care sunt conectate acestea.

Sunt descrise de asemenea și tehnicile de optimizare utilizate în energetică. Soluționarea unei probleme de optimizare impune în primul rând, formularea modelului matematic al problemei de programare matematică, model ce trebuie să reprezinte cât mai exact procesul tehnic și/sau economic de optimizat. Modelul matematic al oricărei probleme de optimizare are o structură comună, care cuprinde următoarele elemente: variabilele sau mărimile de optimizat, funcția obiectiv denumită și funcție de optimizare sau funcție criteriu și restricțiile variabilelor de optimizat.

Următoarele etape în soluționarea problemei de optimizare îl reprezintă, rezolvarea modelului matematic cu utilizarea metodelor și tehnicilor specifice cercetării operaționale și în final verificarea rezultatelor obținute prin calcule. Sunt detaliate elementele componente ale modelului matematic și metodele de rezolvare ale acestuia cu referire la mărimile de optimizat, restricțiile și funcțiile obiectiv, în cazul general.

Este prezentat algoritmul de control Fuzzy, operațiile care pot fi implementate cu această tehnică. Este descris, cu ajutorul programului Matlab controlul unui sistem hibrid de energie. Aceasta se poate obține, prin utilizarea programului software Matlab, sistemul de control cu surse regenerabile de energie utilizat pentru un grup de consumatori. Ca date de intrare sunt considerate: variația de sarcină, puterea produsă de turbinele eoliene, variația de energie produsă de panouri solare și starea de încărcare a bateriei de acumulatori. Ieșirea este energia achiziționată de la rețea. Când energia produsă de turbinele eoliene și panourile solare nu este suficientă pentru alimentarea grupului de consumatori se pot folosi baterii de acumulatori.

În cazul în care, bateriile de acumulatori nu sunt încărcate suficient pentru a oferi energie electrică, deficitul este preluat de la rețea. Există posibilitatea ca sursele regenerabile de energie să furnizeze energie electrică suficientă și bateriile de stocare să fie complet

încărcate, situație în care, excesul de energie este injectat în rețea. Tehnica fuzzy este utilizată când nu se cunosc date exacte asupra tuturor parametrilor rețelei.

Capitolul 7 cuprinde o serie de noțiuni generale privind calitatea energiei electrice. Calitatea energiei electrice este influențată atât de activitatea producătorului, transportatorului, distribuitorului și furnizorului, cât și de activitatea consumatorului de energie electrică. Sunt prezentate componentele calității energiei electrice, perturbațiile electromagnetice care influențează calitatea energiei electrice și principalele standarde și reglementări naționale și internaționale. Sunt studiate următoarele probleme care apar la conectarea unităților eoliene și a instalațiilor fotovoltaice în rețeaua electrică:

- variațiile de tensiune în rețeaua electrică;
- golurile de tensiune și supratensiunile temporare la conectarea și deconectarea instalațiilor eoliene și a celor fotovoltaice;
- fluctuațiile de tensiune / flicker;
- emisiile de armonice și interarmonice;
- nesimetrii.

Standardele elaborate de organisme specifice sistemelor de energie electrică (IEEE, CEI și EN) indică condițiile principale în care unitățile eoliene și sistemele fotovoltaice pot fi conectate la rețeaua electrică publică pentru a nu influența calitatea energiei electrice. La finalul capitolului este prezentat un studiu de caz, realizat cu ajutorul programului Homer, asupra unui sistem format din panouri fotovoltaice, turbine eoliene și un generator diesel.

Capitolul 8 cuprinde concluziile generale ale tezei cu punerea în evidență a contribuțiilor originale ale autoarei precum și direcțiile și perspectivele de cercetare viitoare.

Anexele oferă o serie de elemente suplimentare despre datele climatice utilizate în simulări, tipurile de panouri fotovoltaice și turbine eoliene utilizate în cadrul tezei de doctorat.

CONCLUZII, CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI PERSPECTIVE

Concluzii

Ultimul capitol sintetizează o serie de concluzii generale rezultate în urma elaborării tezei de doctorat cu titlul „Eficiența energetică și economică a utilizării surselor regenerabile de energie pentru alimentarea localităților”, contribuțiile originale aduse în cadrul tezei, modul de valorificare a rezultatelor obținute și direcțiile posibile de continuare și aprofundare a cercetărilor în domeniul abordat.

Promovarea surselor regenerabile de energie implică rezolvarea unor probleme, printre care și necesitatea de a nu afecta calitatea energiei electrice furnizată utilizatorilor finali și nici siguranța în funcționare a sistemului electroenergetic, precum și reducerea impactului negativ al factorilor poluanți asupra mediului înconjurător.

Turbinele eoliene și panourile fotovoltaice sunt considerate ca fiind sursele de energie ale viitorului. Interesul în domeniul acestora este în creștere în ultimii ani datorită consecințelor negative identificate în folosirea combustibililor convenționali pentru producerea de energie electrică. Printre aceste consecințe, un aspect important este reprezentat de impactul asupra mediului.

Producția de energie din surse regenerabile nu reprezintă numai electricitate modernă, ecologică, cu emisii poluante scăzute, ci constituie, de asemenea, un factor care contribuie la creșterea independenței față de combustibilii fosili, care, indiferent de opinia noastră despre ei, sunt limitați și în cele din urmă vor fi epuizați.

Creșterea ponderii producției de energie din surse regenerabile este previzibilă, dar depinde atât de reducerea costurilor de producție și de găsirea de noi soluții de stocare a energiei electrice.

Aceasta nu este doar o tendință trecătoare – necesitatea de a utiliza surse regenerabile de energie a devenit un imperativ chiar și pentru cele mai mari puteri economice ale lumii.

Domeniul electronicii de putere a cunoscut o dezvoltare semnificativă, care a dus la creșterea numărului de receptoare cu caracteristici neliniare în rețelele electrice. Printre aceste receptoare, convertoarele de frecvență utilizate în sistemele SRE reprezintă principala sursă de armonice de curent electric ce induc armonice de tensiune în PCC.

La sfârșitul anului 2012, energia eoliană acoperea 8% din necesarul de energie totală în UE. La nivel mondial, puterea instalată în CEE a crescut în 15 ani de la 6,1 GW (1996) la 283 GW (2012).

În ultimii ani, noile tendințe în domeniul energetic au propulsat și în România dezvoltarea într-un ritm exploziv al instalațiilor eoliene. După cum se știe, în țara noastră a fost aprobată instalarea a circa 3000 MW până la sfârșitul anului 2012, instalațiile fiind amplasate în special în zona Dobrogea.

Utilizarea unui sistem hibrid cu surse regenerabile de energie depinde de locația unde se dorește implementarea acestuia, fiind diferit de la o zonă la alta deoarece viteza vântului și iradierea solară diferă pe teritoriul României. Deci un sistem dimensionat optim în sudul României poate fi inadecvat în nordul României, condițiile meteorologice fiind diferite de la o zonă la alta. De aceea când se utilizează un sistem cu surse regenerabile de energie trebuie să se țină cont de condițiile meteo locale.

Sistemele cu surse regenerabile de energie pot utiliza și metode de stocare care permit consumul de energie în locul de producere, reducând pierderile din rețeaua de transport. Pentru baterii de acumulatori de dimensiuni mici s-a demonstrat, în această lucrare, că nu influențează parametrii rețelei la care sunt conectate, singura problemă fiind costul unui astfel de sistem.

Dezvoltarea de noi sisteme de stocare a energiei electrice mai bune conduce la un scenariu mai bun în ceea ce privește producerea de energie din surse regenerabile de energie. Utilizarea tehnologiilor avansate (singure sau cuplate) optimizează producerea de energie electrică reducând astfel costurile de generare. În plus, o pătrundere mai mare a surselor regenerabile și curate înseamnă o reducere ulterioară a centralelor electrice pe bază de combustibili fosili.

Calitatea energiei electrice este influențată atât de activitatea producătorului, transportatorului, distribuitorului și furnizorului, cât și de activitatea consumatorului de energiei electrice. Datorită variabilității lor, energia solară și fotovoltaică perturbă calitatea energiei electrice. Pentru diminuarea acestor probleme o soluție este utilizarea metodelor de stocare care permit utilizarea energiei la locul de producere, nefiind nevoie de transportul și distribuția energiei. O altă soluție este, pe lângă utilizarea sistemelor de stocare, prezența generatorului Diesel, care permite un schimb cât mai redus de energie cu rețeaua electrică.

Din analizele realizate în cadrul tezei rezultă că sursele regenerabile de energie oferă posibilitatea alimentării cu energie electrică a unei localități și reduc emisiile de CO₂. De asemenea utilizarea la locul de producere îmbunătățește calitatea energiei electrice.

Contribuții personale

Autoarea a reușit să aducă o serie de **contribuții personale**, dintre care, cele mai importante ar fi:

1) Realizarea unei sinteze documentare, în viziunea proprie a autoarei, asupra rolului și locului energiilor regenerabile în dezvoltarea durabilă, atât pe plan mondial, european și național;

2) Identificarea beneficiilor turbinelor eoliene și a panourilor fotovoltaice, care le fac atractive în folosirea lor ca surse de energie electrică;

3) Reliefarea contribuției pe care o pot aduce turbinele eoliene și panourile fotovoltaice la limitarea gazelor cu efect de seră și la diminuarea schimbărilor climatice.

➤ Realizarea unei sinteze documentare supra avantajelor și dezavantajelor panourilor fotovoltaice și a modelelor matematice existente;

➤ Modelarea cu ajutorul programului Matlab/Simulink a unui panou fotovoltaic pentru diferite valori ale iradierii și ale temperaturii;

➤ Dimensionarea unui sistem cu surse regenerabile de energie cu ajutorul programării liniare, utilizând programul Matlab;

4) Realizarea unei comparații economice a posibilităților de alimentare cu energie electrică a unei localități. Analiza comparativă a acestor sisteme s-a realizat cu ajutorul programului Homer, care este un program de optimizare a funcționării surselor regenerabile de energie.

5) Realizarea unei sinteze privind tehnologiile de stocare a energiei provenite din surse regenerabile de energie și a modelelor matematice utilizate pentru modelarea bateriilor.

6) Efectuarea de măsurători asupra unei baterii de stocare cu lithium în timpul stagiului de cercetare efectuat la Universitatea de Științe Aplicate Hochschule Darmstadt, Germania pe parcursul a trei luni. S-au realizat măsurători pentru încărcarea și descărcarea acestei baterii de la rețeaua de interes public și verificarea încadrării parametrilor rețelei conform standardului european EN 50160.

7) Prelucrarea și interpretarea datelor obținute în urma experimentelor asupra influenței pe care o are bateria asupra rețelei de interes public;

8) Realizarea de aplicații cu ajutorul programului Matlab/Simulink pentru un panou solar.

9) Prezentarea detaliată a modelelor matematice din literatura de specialitate care reproduc cel mai fidel comportamentul unei turbine eoliene și a unui panou fotovoltaic

10) Realizarea cu ajutorul programului Matlab a unei tehnici de dimensionare a sistemelor cu surse regenerabile

11) Evidențierea limitărilor în funcționarea turbinelor eoliene și a panourilor fotovoltaice și necesitatea integrării acestora în sisteme hibrid atât în prezența cât și în absența metodelor de stocare, dezvoltarea unor strategii de control pentru aceste sisteme utilizând logica fuzzy;

12) Investigarea aspectelor economice ale folosirii sistemelor cu turbine eoliene și panouri fotovoltaice în diferite configurații pentru aplicații conectate la rețea;

13) Stabilirea unor perspective de dezvoltare ulterioară a cercetărilor efectuate în lucrare.

Possibilități de continuare a cercetărilor în domeniu

- Analiza sistemelor hibride cu surse regenerabile de energie, altele decât cele utilizate în lucrarea de față;
- Analiza economică utilizând orientări diferite pentru panourile fotovoltaice;
- Modelarea matematică și controlul convertoarelor utilizate pentru turbine eoliene și panourile fotovoltaice folosind algoritmi de optimizare;
- Analiza impactului asupra rețelei a diferitelor combinații de surse regenerabile de energie folosind tehnici de optimizare și compararea cu soluțiile clasice.

Doctorand,
Enache (Firincă) Sanda Diana