

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

PLANIFICAREA DINAMICĂ A EXTINDERII REȚELELOR DE TRANSPORT AL ENERGIEI ELECTRICE UTILIZÂND TEHNICI DE INTELIGENȚĂ ARTIFICIALĂ

În contextul dezvoltării economice rapide, a progresului societății și a globalizării energia capătă importanță din ce în ce mai mare, devenind o componentă vitală, motiv pentru care în țările dezvoltate, dar în special în cele în curs de dezvoltare se observă o creștere continuă în ceea ce privește cererea de energie electrică. Această tendință în mod firesc conduce la nevoia dezvoltării unor sisteme energetice mai puternice care să poată prelua noua cerere. Astfel, infrastructura energetică a României se află de aproape un deceniu într-o schimbare continuă, răspunzând cerințelor impuse de Uniunea Europeană, legate de: liberalizarea pieței de energie, securitatea alimentării consumatorilor, asigurarea raporturilor de import/export a energiei cu statele UE și non-UE, producerea energiei electrice cu emisii poluante minime și promovarea surselor regenerabile de energie (SRE).

Odată cu apariția conceptului de energie electrică ca o marfă s-a trecut la restructurarea totală a sistemului energetic care inevitabil a condus la apariția unei piețe de energie descentralizate. Prin H.G. 638/2007 gradul de deschidere al pieței a devenit 100% făcând posibilă apariția entităților separate și specializate pe câte un aspect al lanțului tradițional de producere, transport, distribuție și utilizare a energiei electrice. Au apărut producătorii independenți de energie electrică (fără intervenția statului), firme privatizate de distribuție a energiei electrice și cele mai diverse categorii de consumatori. În ceea ce privește transportul energiei electrice și operarea sistemului electroenergetic (SEE) se remarcă apariția Operatorului de Transport și de Sistem (OTS). Piața de energie electrică devine liberă, asta însemnând că OTS pune infrastructura energetică (reprezentată de rețeaua electrică de transport – RET) la dispoziția oricărui participant, conducând astfel la formarea unei burse care funcționează după regulile economiei de piață, și la care se remarcă participarea unui număr din ce în ce mai mare de producători și consumatori de energie electrică.

Privind lucrurile pe o scară mai largă, pe continentul European, sistemul de transport European interconectat reprezintă scheletul esențial pentru alimentarea sigură cu energie electrică a consumatorilor. În această direcție s-a dezvoltat sistemul pe parcursul ultimilor 50 de ani, urmărind asigurarea asistenței reciproce între sub-sistemele naționale. Chiar mai mult de atât, datorită schimbărilor din ultimii 20 de ani sistemul de transport a devenit și platforma pentru a schimba puteri electrice mult mai mari pe întreg continentul. Astfel, dezvoltarea pieței de energie s-a materializat prin schimburi mai ample de energie electrică, cauzând alte circulații de puteri de-a lungul continentului, inevitabil influențate și de dezvoltarea rapidă a energiilor regenerabile.

Dezvoltarea sistemului de transport este afectată din ce în ce mai mult de restricții datorită complexității problemelor legate de producerea, transportul, distribuția și consumul de energie electrică, condițiilor de mediu, schimbărilor climatice și epuizarea resurselor energetice. Realitatea actuală este că operatorii de transport și sistem se confruntă cu dificultăți din ce în ce mai mari în exploatarea SEE complexe, naționale și continentale, datorită miilor de MW tranzitați, fiind nevoiți să funcționeze uneori în regimuri foarte apropiate de limita de stabilitate.

Nu cu foarte mulți ani în urmă, studiile de planificare a extinderii SEE se efectuau în condițiile unei economii centralizate, dispunând astfel de date de intrare cu un nivel de certitudine relativ ridicat (consum, producție, schimburi internaționale de energie electrică limitate contractate). Capacitățile noi de producere a energiei electrice, precum și marii consumatori, erau stabilite „centralizat” ca amplasare, putere și energie cerută / produsă, ceea ce permitea o analiză de funcționare a rețelelor de transport pe baza criteriilor tehnice și economice (inclusiv de siguranță în funcționare) aplicate întregului sistem (generare – transport – consum), astfel determinând o „rețea națională de transport țintă”, cu o probabilitate de realizare corespunzătoare, credibilă. Analizele și studiile se efectuau considerând, în primul rând sistemul electro-energetic ca un sistem izolat și apoi integrat în diferite interconexiuni. Aceste studii realizate cu un orizont de până la 20 ani (termen lung), aprofundate prin studii cu termen mediu (până la 10 ani) și scurt (până la 5 ani) aveau la bază următoarele elemente:

- studii de prognoză de consum pe ansamblu și pe zone;
- studii de analiză a acoperirii curbelor de consum, cu un nivel de siguranță economic justificat, prin care se evidențiau mărimea și structura puterii instalate și implicit, capacitatea puterii nou instalate;
- studii de zone, pentru stabilirea fluxurilor de putere între acestea;
- studii de planificare a dezvoltării rețelei electrice de transport (RET), corelate cu repartitia consumului, dar, mai ales, a surselor pe teritoriu.

În zilele noastre, însă, descentralizarea și interconectarea sistemelor electro-energetice complexe introduc un grad ridicat de incertitudini, ideea analizei SEE ca fiind unul izolat nefiind validă. Realitatea actuală ne arată că obținerea unor informații relevante pentru studiile de dezvoltare a rețelei este limitată datorită caracterului confidențial al datelor care ar trebui obținute de la diferiții participanți la piața de energie (operatori de distribuție, producători, consumatori ș.a.). În aceste condiții OTS trebuie să fie într-un permanent contact cu acești mulți utilizatori ai rețelei pe o parte pentru a putea face față cerințelor utilizatorilor și pe de altă parte pentru a identifica riscurile/incertitudinile cu privire la planificarea extinderii RET. De asemenea, OTS are responsabilitatea de a dezvolta și întreține sistemul, astfel încât acesta să aibă o funcționare stabilă, fiabilă și economică, respectând toate reglementările legislative în vigoare.

Astfel, și în România, conform Codului Tehnic al Rețelei Electrice de Transport, planificarea extinderii rețelei electrice de transport intră în atribuțiile operatorului de transport și sistem (C.N.E.E. Transelectrica S.A.). Acesta este obligat să conceapă un plan de perspectivă pentru fiecare 10 ani succesivi, cu actualizare la 2 ani [CodRET]. Planul de perspectivă al dezvoltării trebuie să prevadă: acoperirea consumului prognozat în condiții de siguranță, prin corelarea acțiunilor cu participanții la piața de energie electrică; stabilirea nivelului de rezervă în SEN pentru producerea și transportul energiei electrice la vârf de consum.

În concluzie, planificarea extinderii dinamice optime a rețelei electrice de transport constituie o sarcină extrem de dificilă și de mare răspundere, în special

dacă se ține cont de costul investițiilor în acest domeniu, de efectele pe termen lung și de implicațiile legate de protecția mediului. Scopul planificării extinderii capacităților de transport este de a asigura o dezvoltare coordonată a unui sistem fiabil, eficient și economic de transport al energiei electrice în beneficiul pe termen lung al utilizatorilor. Dacă în varianta clasică planificarea extinderii se rezumă la minimizarea costurilor aferente extinderii, liberalizarea pieței de energie a adus o serie de modificări, acum fiind nevoie să se țină cont atât de reducerea costurilor totale de investiții cât și de maximizarea profitului și de numărul ridicat de incertitudini pe care îl implică sistemul dereglementat.

În acest context, tematica tezei de doctorat se încadrează în preocupările actuale din domeniul managementului sistemelor electroenergetice, al planificării pe termen mediu și lung a dezvoltării rețelei de transport al energiei electrice. Teza are ca obiectiv principal elaborarea unei metode practice, dar riguros fundamentată din punct de vedere științific, de planificare a extinderii dinamice a RET din cadrul SEE complexe, folosind tehnici de inteligență artificială, mai precis metode evolutive de tip "roi" – Particle Swarm Optimization (PSO) și Algoritmi Genetici (AG). Utilizarea unor abordări specifice programării dinamice oferă avantajul de a cunoaște și etapele intermediare care trebuie parcurse până la materializarea soluției finale optime de extindere a RET (pe termen mediu sau lung).

Abordarea dinamică a planificării extinderii RET constituie un element de certă noutate, mai ales în condițiile soluționării unor aplicații extrem de consistente. Analiza literaturii de specialitate confirmă aceste afirmații – foarte puține lucrări se referă la o abordare complexă dinamică a planificării extinderii RET, aplicațiile concrete prezentate referindu-se la SEE de dimensiuni reduse.

Metodele de analiză utilizate sunt finalizate prin tehnici originale de soluționare, implementate în instrumente soft proprii, care utilizează la maxim posibilitățile oferite de mediile de programare și de sistemele informatice actuale.

Aplicațiile prezentate în cadrul tezei de doctorat se referă la sisteme test consacrate (IEEE24 RTS adaptat), sisteme test elaborate în cadrul Departamentului de Electroenergetică (Test 50), cât și la un sistem real de mari dimensiuni – Sistemul Electroenergetic al României (SEN). Pe parcursul elaborării tezei de doctorat au fost studiate și alte aplicații interesante, spațiul limitat al unei teze de doctorat făcând imposibilă și prezentarea lor.

Teza de doctorat, extinsă pe 266 de pagini, este structurată pe 9 capitole, prefată, 3 anexe și o listă bibliografică, conținând un număr de 74 figuri, scheme, histogramme și 77 tabele. Pe lângă anexele menționate, există și o anexă consistentă pe suport electronic (CD). Lista bibliografică cuprinde 248 titluri, semnalându-se prezența unor lucrări reprezentative, atât cele considerate deja clasice, cât și cele de dată relativ recentă, apărute în țară sau în reviste de prestigiu din străinătate.

Capitolul 1 are un caracter introductiv, prima parte cuprinzând încadrarea și justificarea tematicii care constituie obiectul tezei de doctorat, în contextul stadiului actual al evoluției sistemelor electroenergetice și al preocupărilor existente pe plan mondial și la noi în țară.

Partea a doua cuprinde prezentarea succintă a conținutului fiecărui capitol al tezei. În încheierea capitolului se evidențiază atât modul de valorificare a cercetărilor efectuate în cadrul elaborării tezei de doctorat (publicații, contracte, instrumente soft), cât și perspectivele privind direcțiile ulterioare de continuare a investigațiilor. De asemenea, se subliniază utilitatea rezultatelor obținute pentru operatorul de transport și sistem din România, C.N.T.E.E. Transelectrica S.A.

Se menționează faptul că fiecare dintre capitolele următoare cuprinde un subcapitol final, care, alături de evidențierea concluziilor și a contribuțiilor originale, deschide calea pentru cele care urmează.

Obiectivul capitolului 2 constă în prezentarea unei sinteze privind evoluția sectorului energetic, în general și, a sistemelor electroenergetice, în particular.

Prima parte a capitolului cuprinde o evaluare a stadiului actual al evoluției sectorului energetic european. Sunt descrise principalele aspecte legate de situația energetică a Uniunii Europene (UE) și de evoluția sistemului electroenergetic european: evoluția pieței de energie, influența asupra altor sectoare, respectiv impactul asupra mediului, elaborarea unei politici comune în acest domeniu și a instrumentelor de implementare, adaptarea legislației comunitare, efectele extinderii UE în ultimul deceniu. Piața unică europeană de energie electrică a devenit o realitate care implică o dezvoltare și o extindere corespunzătoare a SEE european, a rețelei continentale de transport al energiei electrice. Se evidențiază faptul că planificarea dinamică a extinderii constituie o sarcină dificilă și de mare răspundere datorită liberalizării pieței de energie, mai ales dacă se ține cont de costul investițiilor în acest domeniu, de efectele pe termen lung și de implicațiile legate de dezvoltarea sustenabilă.

A doua parte a acestui capitol tratează evoluția, strategia și politica actuală a României în sectorul energetic, prognoza consumului și perspectiva de extindere a SEN (Sistemul Electroenergetic al României). Se prezintă stadiul actual al dezvoltării SEN (producere, transport și consum de energie electrică), atenția fiind îndreptată în special spre rețeaua de transport al energiei electrice și perspectivele, mai mult sau mai puțin certe, ale evoluției sale viitoare (în viziunea operatorului de transport și sistem – C.N.T.E.E. Transelectrica S.A.).

Două aspecte cel puțin contradictorii se evidențiază prin analiza situației actuale a RET: capacitatea de transport (și producere) a energiei electrice acoperă practic cerințele actuale de consum, dar majoritatea liniilor și stațiilor electrice sunt sau se apropie de limita duratei normale de funcționare, fiind realizate la nivelul tehnic și tehnologic al anilor '60-'80. Este de remarcat însă că starea tehnică reală a instalațiilor se menține la un nivel corespunzător ca urmare a faptului că se desfășoară un program riguros de mentenanță și că s-a impus un program susținut de rețehnologizare și modernizare a instalațiilor și echipamentelor.

Valorile prognozate privind evoluția consumului (și a eventualelor exporturi de energie electrică sau de puteri vehiculate prin sistem) acoperă o plajă largă cu diferențe semnificative între valorile "pesimiste" și cele "optimiste". Asemănător se prezintă situația și cu noile capacități "curate" de producere a energiei electrice, unele estimări sunt mai realiste în privința puterii instalate și a termenelor, altele ușor "fanteziste".

Concluziile acestui capitol conturează necesitatea unei viziuni coerente asupra planificării extinderii SEN, a rețelei de transport al energiei electrice, care să aibă la bază o abordare riguroasă, cu considerarea tuturor aspectelor menționate și a unei game largi de scenarii posibile, de la cele mai pesimiste până la cele mai optimiste.

Capitolul 3 are ca obiectiv prezentarea sistematizată a metodelor actuale de soluționare a planificării extinderii rețelei de transport al energiei electrice din cadrul SEE complexe. Se menționează faptul că în acest capitol se discută atât metodele care se utilizează pentru sistemele reglementate, cât și cele referitoare la sisteme dereglementate.

Problema în discuție este o problemă de optimizare neliniară de mari dimensiuni (sau liniară într-o primă aproximație), de regulă cu variabile atât reale, cât și

întregi (posibil binare). Funcția obiectiv are în vedere în principal cheltuielile de investiții, la care se pot adăuga cheltuielile de funcționare, cele legate de penalizarea congestiilor și a nealimentării consumatorilor. De asemenea, se au în vedere elemente care să înglobeze aspecte legate de capacitatea totală de transfer, de rata de amortizare a investițiilor, de siguranța în funcționare, de impactul asupra mediului etc. Relațiile de restricție acoperă o gamă largă de aspecte, atât tehnice cât și economice.

Metodele de soluționare, pentru problema în discuție sunt împărțite în două mari categorii:

- *metode de optimizare bazate pe modelarea matematică*, din care fac parte cele de programare neliniară, programare liniară, programare liniară cu numere întregi și mixtă etc.;
- *metode euristice și meta-euristice de optimizare*, incluzând algoritmi genetici, metoda roiurilor de particule, algoritmi euristici constructivi, algoritmi evolutivi, metoda coloniilor de furnici, sisteme expert, logică fuzzy etc.

Prin combinarea a două sau mai multe metode există posibilitatea creării și utilizării unor tehnici hibride.

Se remarcă suplimentar faptul că problema poate fi privită în două moduri diferite:

- *abordare statică* – pentru un anumit orizont de timp se determină doar soluția finală de extindere;
- *abordare dinamică* – pe lângă soluția finală în sine se determină momentele discrete de timp la care trebuie să se realizeze elementele componente ale soluției de extindere, prin analiză *prospectivă* sau *retrospectivă*.

Capitolul 4 este destinat prezentării unei sinteze privind evoluția algoritmilor genetici, a algoritmilor de tip roi și a particularităților acestora, împreună cu modelele matematice aferente.

În prima parte a capitolului se prezintă câteva aspecte generale pe care le implică tehnica de calcul evolutiv și încadrarea algoritmilor genetici și de tip roi în această categorie. În continuare atenția se îndreaptă spre metoda *particle swarm optimization* (PSO) și diverselor variante ale acestuia. De asemenea, se prezintă în detaliu o serie de particularități ale PSO, împreună cu toate elementele caracteristice și parametrii specifici. Fiecare parametru al PSO este tratat în detaliu, reliefându-se modalitatea prin care acesta influențează convergența sa către optim. Totodată, sunt prezentate într-o manieră proprie originală toate particularitățile algoritmului clasic (*standard PSO* – SPSO) și ale variantei sale unificate (*unified PSO* – UPSO), care vor fi implementate pentru rezolvarea problemei planificării extinderii RET.

Partea a doua a capitolului este consacrată *algoritmilor genetici* (AG). Se prezintă principiul de bază al algoritmilor genetici care folosesc variabile binare și celor care utilizează variabile reale. Sunt descrise variantele de operatori genetici: selecție, recombinare și mutație.

Obiectivul capitolului 5 constă în prezentarea elementelor teoretice specifice programării dinamice și a unor exemple teoretice și aplicative sugestive.

Prima parte a capitolului realizează o succintă încadrare teoretică a metodei programării dinamice – o tehnică de optimizare care utilizează o metodologie de selectare a soluției optime în prezența unor condiții restrictive, urmând un proces de decizii în trepte

În partea mediană se prezintă o problemă de optimizare din domeniul ingineriei energetice care poate fi abordată și soluționată prin utilizarea programării dinamice –

variantă mult mai avantajoasă decât explorarea exhaustivă a spațiului soluțiilor sau orice altă metodă de căutare euristică sau quasi-euristică.

Ultima parte a capitolului are ca obiect o aplicație simplă de planificare a extinderii unui sistem electroenergetic (SEE) soluționată prin intermediul programării dinamice.

Capitolul 6 are ca obiectiv elaborarea modelului matematic aferent planificării dinamice a extinderii rețelelor de transport al energiei electrice (RET) din cadrul sistemelor electroenergetice (SEE) complexe.

Prima parte a capitolului tratează versiunea "clasică", bazată pe modelarea matematică (în sensul prezentat în capitolul 3). Având în vedere că toate analizele fac uz de un calcul complet de circulație de puteri, se prezintă modelul matematic al analizei regimului permanent normal și cel al optimizării funcționării momentane a SEE complexe (OPF). Apoi se trece la introducerea elementelor specifice legate de planificarea extinderii RET. Se utilizează un model complet de programare dinamică, ceea ce înseamnă că, pe lângă soluția finală de extindere de la sfârșitul perioadei considerate, rezultă și evoluția procesului de extindere pentru întreaga perioadă (cu alte cuvinte, soluțiile de extindere pentru fiecare an sau pentru etape intermediare de 2, 3, 4 sau 5 ani). Funcția obiectiv ține cont de caracterul multicriterial al problemei de optimizare, înglobând atât costul investițiilor legate de realizarea noilor capacități de transport, cât și cheltuielile de exploatare, precum și câte o componentă legată de siguranța în funcționare, respectiv de capacitatea disponibilă față de limita maximă de încărcare (evident, scalate corespunzător).

Partea a doua a capitolului soluționează problema discutată folosind tehnici de inteligență artificială, în speță algoritmi PSO și GA, prezentați în capitolul 4. Pe baza experienței anterioare [Cristian2013], [Solo2013], aplicarea tehnicilor de calcul evolutiv vizează metoda propriu-zisă de extindere, abordată tot ca o problemă de programare dinamică, și optimizarea regimului de funcționare. Calculul circulației de puteri se realizează în manieră "clasică", utilizând un algoritm Newton decuplat ultrarapid [Kilyeni2010].

Avantajele posibile oferite de utilizarea metodelor bazate pe tehnici de inteligență artificială se referă la simplificarea modelelor matematice și a metodelor de soluționare. În cazul unei "acordări" corespunzătoare a algoritmilor utilizați, timpul de calcul trebuie să rezulte mai mic sau cel mult egal cu cel de la metodele bazate pe modelarea matematică.

Obiectivul capitolului 7 constă în prezentarea instrumentelor soft realizate în baza celor prezentate în capitolele anterioare. Au fost elaborate două programe de calcul distincte pentru soluționarea tuturor aspectelor legate de planificarea dinamică a extinderii RET din cadrul SEE complexe. Primul utilizează algoritmul PSO, iar al doilea algoritmul GA. Diferența dintre cele două programe constă în tipul algoritmului evolutiv utilizat și în interfața cu utilizatorul (adaptată corespunzător).

Se menționează de la bun început faptul că au fost utilizate și instrumentele soft anterioare realizate pentru abordarea "statică" a planificării extinderii RET. Ele au fost adaptate, îmbunătățite și "reacordate" pe baza experienței acumulate prin utilizarea lor în activitatea desfășurată pe perioada ultimilor doi ani în cadrul *Centrului de Cercetare pentru Analiza și Optimizarea Regimurilor SEE*, condus de Prof.dr.ing. Ștefan Kilyeni [Cristian2013], [Solo2013].

Față de cele precizate în paragraful anterior, partea referitoare la abordarea dinamică a planificării extinderii RET este în întregime originală.

Instrumentele soft elaborate au fost dezvoltate în mediul *Matlab* [Matlab], fiind astfel concepute încât să permită schimbul de informații la nivel de bază de date

cu pachetul de programe *PowerWorld* [PowerWorld]. Interfețele realizate permit un schimb de informații bidirecțional legat de topologia sistemului, parametrii elementelor de rețea și mărimile caracteristice ale regimului de funcționare a SEE.

Prima parte a capitolului se referă la instrumentul soft pentru soluționarea dinamică a extinderii optime a RET utilizând algoritmul PSO (*PowerOptPowerPlanPSO*). Sunt descrise principalele componente ale programului de calcul, principiul de funcționare și setările necesare funcționării aplicației.

A doua parte tratează în aceeași manieră instrumentul soft care utilizează algoritmul GA (*PowerOptPowerPlanGA*).

Așa cum rezultă și din numele celor două instrumente soft, ele pot fi utilizate cu succes și pentru optimizarea regimurilor de funcționare a SEE complexe, fără a include și partea de extindere a RET.

Capitolului 8 constituie principala parte aplicativă a lucrării. În acest capitol se prezintă rezultatele obținute în soluționarea planificării extinderii dinamice a rețelelor de transport al energiei electrice (RET) din cadrul sistemelor electroenergetice (SEE) complexe utilizând tehnici de inteligență artificială (algoritmul PSO și algoritmul GA). Elementele teoretice, metodologiile de calcul elaborate și instrumentele soft dezvoltate, care au constituit obiectul capitolelor anterioare, au fost aplicate și utilizate la soluționarea planificării extinderii dinamice a RET (DTNEP) pentru o gamă largă de SEE.

Pentru acest capitol, din motive de spațiu, s-au selectat doar două sisteme test, de dimensiune redusă și medie (IEEE24 RTS adaptat și Test50), și un sistem real de mari dimensiuni – Sistemul Electroenergetic al României (SEN).

Prima parte a capitolului prezintă rezultatele DTNEP obținute pentru sistemele IEEE24 RTS adaptat și Test50, în condițiile unor scenarii de extindere fictive. Pentru fiecare SEE sunt prezentate atât topologia și parametrii elementelor de rețea, cât și rezultatele circulației de puteri pentru regimurile de bază inițiale. Soluțiile de extindere, obținute atât prin abordare dinamică prospectivă cât și retrospectivă, sunt descrise în detaliu, cu toate elementele de rețea noi introduse în sistemul extins, împreună cu regimul optim aferent.

A doua parte a capitolului este dedicată sistemului real de mari dimensiuni – Sistemul Electroenergetic al României. Baza de date utilizată a fost cea obținută de la C.N.T.E.E. Transelectrica S.A., în cadrul unor contracte derulate cu Departamentul de Electroenergetică în ultimii ani. Elementele noi de rețea propuse pentru extindere au fost cele obținute de asemenea de la C.N.T.E.E Transelectrica S.A. – „Planul de perspectivă al RET. Perioada 2014-2023” [Trans2014] – și completate cu alte coridoare de extindere, rezultate în urma analizelor de regim. Pentru evoluția puterilor consumate și generate s-au luat în considerare atât datele din planul de perspectivă amintit mai sus, cât și rezultatele studiilor proprii de prognoză. De asemenea, s-a ținut cont și de posibilitatea unor transferuri de putere semnificative, din zonele excedentare din punctul de vedere al surselor de putere activă spre sistemele electroenergetice vecine (Ungaria, Bulgaria, Serbia, Ucraina și Republica Moldova). Soluțiile de extindere, obținute atât prin abordare dinamică prospectivă cât și retrospectivă, sunt prezentate în detaliu, cu toate elementele noi introduse în sistemul extins, împreună cu regimul optim aferent.

La finele fiecărui subcapitol în parte și la sfârșitul capitolului se prezintă o serie de comentarii și concluzii, cu caracter particular sau mai general, atât legat de soluțiile optime de extindere obținute cât și de evoluția comparativă a procesului de optimizare cu cele două algoritme evolutive utilizate (PSO și GA).

Capitolul 9 cuprinde concluziile generale ale tezei și prezentarea sistematizată a contribuțiilor originale ale autorului, precum și reliefarea direcțiilor și perspectivelor

oferite de lucrarea de față pentru continuarea cercetărilor și aplicarea rezultatelor și a experienței obținute. Metodologiile și programele de calcul elaborate sunt de aplicabilitate generală, oferind un instrument eficient OTS, precum și altor entități specializate, cu preocupări în domeniul planificării extinderii SEE complexe.

Anexele oferă o serie de elemente și de rezultate de detaliu referitoare la instrumentele soft elaborate, la bazele de date utilizate pentru studiile de caz complexe, precum și la regimurile de funcționare studiate și la rezultatele obținute.

Rezultatele obținute au fost și vor fi valorificate în cadrul unor contracte de cercetare științifică încheiate între Universitatea Politehnica Timișoara, Centrul de Cercetare pentru Analiza și Optimizarea Regimurilor SEE, și Operatorul Național de Transport și de Sistem, C.N.T.E.E. Transelectrica S.A., operatorii de distribuție (Enel, Electrica, CEZ, Eon) și o serie de agenți economici care se ocupă de implementarea în sistem a resurselor regenerabile de energie. Contractele derulate și finalizate sunt prezentate în lista lucrărilor proprii de la finele tezei ([UPT2009a], [UPT2009b], [UPT2009c], [UPT2012], [UPT2013a], [UPT2013b], [UPT2013c], [UPT2013d], [UPT2013e], [UPT2013f], [UPT2014a], [UPT2014b], [UPT2014c], [UPT2014d], [UPT2014e], [UPT2014f]). De altfel, la baza stabilirii temei tezei de doctorat au stat solicitările OTS privind realizarea unor asemenea cercetări, de maximă importanță și actualitate pentru sistemul electroenergetic al României, în condițiile funcționării interconectate cu sistemul european și ale pieței libere de energie.

De asemenea, o parte a rezultatelor obținute în cadrul tezei au fost publicate și sunt în curs de publicare: 21 de lucrări publicate până la ora actuală, 2 referate științifice și 30 de contracte de cercetare. Așa cum rezultă din lista lucrărilor proprii de la finele tezei de doctorat, 9 au fost prezentate în țară și 12 în străinătate. Se remarcă faptul că 9 lucrări sunt indexate ISI ([Barb2010a], [Barb2014a], [Barb2014b], [Cristian2013a], [Jigoria2009], [Kilyeni2014a], [Kilyeni2014b], [Solo2013a], [Simo2014a]), respectiv alte 9 în Baze de Date Internaționale recunoscute – IEEE, Scopus, Compendex, INSPEC etc. ([Andea2010], [Barb2009], [Barb2013], [Chiosa2010], [Cristian2012], [Cristian2013b], [Cristian2013c], [Kilyeni2010], [Pop2012]).

Analizele teoretice și practice realizate în cadrul tezei de doctorat, precum și rezultatele obținute, deschid o serie de perspective și direcții de continuare și aprofundare ulterioară a cercetărilor în domeniul planificării extinderii RET din cadrul SEE complexe:

- rafinarea metodelor de soluționare bazate pe tehnici de tip PSO și GA, în scopul creșterii eficienței și ameliorării performanțelor acestora;
- implementarea unor alte clase de metode de soluționare bazate pe tehnici de inteligență artificială, tot cu o abordare bazată pe programarea dinamică;
- abordarea probabilistă a unor elemente componente ale problemei discutate.

BIBLIOGRAFIE

➤ Lucrări proprii

1. [Andea2010] Andea P., Mnerie G.V., Pop O., Solomonesc F., **Simo A.**, Conventional vs. alternative energy sources overview. Part III. Perspectives in Romania, Proceedings of the IEEE International Joint Conferences on Computational Cybernetics and Technical Informatics, Timișoara, România, 2010, p. 607-612 (BDI)
2. [Barb2009] Bărbulescu C., Kadar P., Kilyeni Șt., Vuc Gh., **Simo A.**, Probabilistic Power Flow Using a Software Tool Designed for Stochastic Power System Analysis, Energetica, 2009, România, pp.523-529 (BDI)
3. [Barb2010a] Bărbulescu C., Kilyeni Șt., Mnerie D., Cristian D., **Simo A.**, Deregulated Power Market Congestion Management, Proceedings of the 15th IEEE Mediterranean Electromechanical Conference, Melecon2010, Valletta, Malta, 2010, pp.654-659 (ISI)
4. [Barb2013] Bărbulescu C., Kilyeni Șt., **Simo A.**, Pop O., Oros C., Șchiopu R., Deacu A., ANN techniques for power consumption forecasting, Proceedings of the IEEE International Conference PowerTech 2013, Grenoble, France, 2013, pp.1-6 (BDI)
5. [Barb2014a] Bărbulescu C., Kilyeni Șt., **Simo A.**, Oros C., Artificial Intelligence Techniques for Optimal Power Flow, 6th International Workshop on Soft Computig Applications, SOFA2014, Timișoara, România, 2014, pp. 1-6 (ISI)
6. [Barb2014b] Bărbulescu C., Kilyeni Șt., Fati O., **Simo A.**, Oprea G., Dobre B., Technical Losses Evaluation. Dobrogea Distribution Network Case Study, 49th International Universities' Power Engineering Conference, UPEC2014, Cluj-Napoca, România, 2014, pp.1-6 (ISI)
7. [Chiosa2010] Chiosa N., Kilyeni Șt., Cristian P.D., Bărbulescu C., **Simo A.**, Power quality monitoring for substation ancillary services, Proceedings of the 45th International Universities' Power Engineering Conference, UPEC2010, Cardiff, Wales - UK, 2010, pp.1-6 (BDI)
8. [Cristian2012] Cristian P.D., Bărbulescu C., **Simo A.**, Kilyeni Șt., Solomonesc F., Load Flow Computation Particle Swarm Optimization Algorithm, Proceedings of the 47th International Universities' Power Engineering Conference, UPEC2012, Londra, UK, 2012, pp.1-6, (BDI)
9. [Cristian2013a] Cristian D., **Simo A.**, Bărbulescu C., Kilyeni Șt., PSO Based Transmission Network Expansion, Proceedings of the 48th International Universitie's Power Engeneering Conference, UPEC2013, Dublin, Ireland, 2013, pp.1-6 (ISI)
10. [Cristian2013b] Cristian D.P., Bărbulescu C., Kilyeni Șt. Teslovan R., **Simo A.**, PSO Based OPF Algorithm, International IEEE Eurocon Conference, Zagreb, Croatia, 2013, pp.1-6, (BDI)

11. [Cristian2013c] Cristian D., **Simo A.**, Bărbulescu C., Kilyeni Șt., Solomonesc F., Cornoiu M, PSO techniques for optimal power flow. Parameters tuning by mathematical test functions, Proceedings of the IEEE International Conference PowerTech 2013, Grenoble, France, 2013, pp.1-6, (BDI)
12. [Jigoria2009] Jigoria-Oprea D., Luștea B., Kilyeni Șt., Bărbulescu C., Kilyeni A., **Simo A.**, Daily load forecasting using recursive artificial neural network vs. classic forecasting approaches, Proceedings of the 5th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics, SACI2009, Timișoara, România, 2009, pp. 487-490 (ISI)
13. [Kilyeni2009] Kilyeni Șt., Bărbulescu C., **Simo A.**, Topor G., Numerical methods software library. Power engineering applications, Proceedings of the 8th International Power Systems Conference, PSC2009, Buletinul Științific al UPT, Seria Energetică, Timișoara, România, 2009, p.263-272
14. [Kilyeni2010] Kilyeni Șt., Bărbulescu C., Jigoria-Oprea D., Cristian P.D., **Simo A.**, Software Tool Developed for Deregulated Power System Analysis, Journal of Sustainable Energy, vol.1, no. 1, 2010, pp.87-96 (BDI)
15. [Kilyeni2014a] Kilyeni Șt., Bărbulescu C., **Simo A.**, Teslovan R., Oros C., Genetic Algorithm Based Distribution Network Expansion Planning, 49th International Universities' Power Engineering Conference, UPEC2014, Cluj-Napoca, România, 2014, pp.1-6 (ISI)
16. [Kilyeni2014b] Kilyeni Șt., Bărbulescu C., **Simo A.**, Teslovan R., GA Based Distribution Network Expansion. Part 1. Mathematical Model, Proceedings of the International Conference on Applied and Theoretical Electricity, ICATE2014, 23-25 Octombrie, Craiova, Romania, p. 1-6 (ISI)
17. [Pop2012] Pop O., **Simo A.**, Bărbulescu C., Kilyeni Șt, Deacu A., Interconnected Power System Optimal Power Exchanges, Proceedings of the 47th International Universities' Power Engineering Conference, UPEC2012, London, UK, 2012, pp.1-6 (BDI)
18. [Simo2009] **Simo A.**, Topor G., Kilyeni Șt., Bărbulescu C., Numerical processing of functions. Computer program in Delphi environment for power engineering applications, Proceedings of the 11th Timișoara Academic Days Conference, Buletinul Științific al UPT, Seria Energetică, Timișoara, România, 2009, p.105-108
19. [Simo2013] **Simo A.**, Raport științific nr.1 cu rezultate intermediare ale cercetării, Universitatea Politehnica Timișoara, Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică, Departamentul de Electroenergetică, Timișoara, 2013
20. [Solo2013a] Solomonesc F., Bărbulescu C., Kilyeni Șt., **Simo A.**, Optimal Power Flow Computing GA Applications, Proceedings of the 48th International Universities' Power Engineering Conference, UPEC2013, Dublin, Ireland, 2013, pp.1-6 (ISI)
21. [Simo2014a] **Simo A.**, Bărbulescu C., Kilyeni Șt., Deacu A., PSO based transmission network expansion planning, 17th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference, MELECON, Beirut, Lebanon, 2014, pp.1-6 (ISI)

22. [Simo2014b] **Simo A.**, Raport științific nr.1 cu rezultate intermediare ale cercetării, Universitatea Politehnică Timișoara, Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică, Departamentul de Electroenergetică, Timișoara, 2014
23. [Topor2009] Topor G., **Simo A.**, Kilyeni Șt., Bărbulescu C., Numerical solution of linear systems. Computer program in Delphi environment for power engineering applications, Proceedings of the 11th Timișoara Academic Days Conference, Buletinul Științific al UPT, Seria Energetică, Timișoara, România, 2009, p.123-126
24. [UPT2009a] Contract UPT 47/2009, Studiu privind oportunitatea mentinerii în funcțiune a compensatorului sincron din stația 220/110 kV Timișoara, CNTEE Transelectrica SA
25. [UPT2009b] Contract UPT 49/2009, Studiu privind managementul riscului de congestie prin utilizarea valorii probabile a congestiilor și optimizarea regimurilor de funcționare. Studiu de caz pentru zona de Vest a SEN, CNTEE Transelectrica SA
26. [UPT2009c] Contract UPT 91/2009, 84/2010, Program de autoinstruire și auto-evaluare asistată de calculator pentru personalul operațional din stațiile electrice, CNTEE Transelectrica SA
27. [UPT2012] Contract UPT 83/2012, Verificarea schemelor de protecție împotriva loviturilor directe de trăsnet, a supratensiunilor atmosferice propagate pe LEA în stație și a supratensiunilor de comutație în cazul stației 400 kV Mintia, CNTEE Transelectrica SA
28. [UPT2013a] Contract UPT 43/2013, Analiza și optimizarea regimurilor de funcționare pentru rețeaua electrică de distribuție din zona Electrică Muntenia Nord, Electrică Muntenia Nord
29. [UPT2013b] Contract UPT 64,70,77,79,80,86/2013, Studiu privind integrarea în sistemul electroenergetic a centralelor fotovoltaice din zona Timișoara, Enel Distribuție Banat
30. [UPT2013c] Contract UPT 72,97,98/2013, Studiu privind integrarea în sistemul electroenergetic a centralelor fotovoltaice din zona Sânnicolau-Jimbolia, Enel Distribuție Banat
31. [UPT2013d] Contract UPT 71,76/2013, Studiu privind integrarea în sistemul electroenergetic a centralelor fotovoltaice din zona Lugoj-Făget, Enel Distribuție Banat
32. [UPT2013e] Contract UPT 78,87/2013, Studiu privind integrarea în sistemul electroenergetic a centralelor fotovoltaice din zona Caraș-Severin, Enel Distribuție Banat
33. [UPT2013f] Contract UPT 58,96/2013, Studiu privind integrarea în sistemul electroenergetic a centralelor fotovoltaice din zona Arad, Enel Distribuție Banat
34. [UPT2014a] Contract UPT 45/2014, Analiza și optimizarea regimurilor de funcționare pentru rețeaua electrică de 110 kV din zona Dobrogea, Enel Distribuție Dobrogea
35. [UPT2014b] Contract UPT 11,12,13/2013, Studiu privind integrarea în sistemul electroenergetic a centralelor fotovoltaice din zona Lugoj-Făget, Enel Distribuție Banat

- 36. [UPT2014c] Contract UPT 24,32,84/2014, Studiu privind integrarea în sistemul electroenergetic a centralelor fotovoltaice din zona Timișoara, Enel Distribuție Banat
- 37. [UPT2014d] Contract UPT 70/2014, Studiu privind racordarea la SEN a micro-hidrocentralei MHC3, Topleț, Enel Distribuție Banat
- 38. [UPT2014e] Contract UPT 93/2014, Studiu privind integrarea în sistemul electroenergetic a centralei cu biomasă din localitatea Ghiroda, Enel Distribuție Banat, CNTEE Transelectrica SA

➤ Alte lucrări

- 39. [CodRET] Planul de perspectivă al RET. Perioada 2010-2014 și orientativ 2019, CNTEE Transelectrica S.A., București, 2011
- 40. [Cristian2013] Cristian P.D., Planificarea extinderii sistemelor electroenergetice complexe utilizând tehnici de inteligență artificială, Teză de doctorat, Universitatea Politehnica Timișoara, 2013
- 41. [Solo2013] Solomonesc C.F., Planificarea extinderii rețelelor de transport al energiei electrice utilizând tehnici de calcul evolutiv, Teză de doctorat, Universitatea Politehnica Timișoara, 2013
- 42. [Kilyeni2010] Kilyeni Șt., Tehnice numerice de analiză asistată de calculator a regimurilor de funcționare a sistemelor electroenergetice, Ed. a 2-a, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2010
- 43. [Matlab] Users guide, <http://www.mathworks.com/>
- 44. [PowerWorld] PowerWorld, User's guide: <http://www.powerworld.com/>
- 45. [Trans2014] Planul de dezvoltare a RET. Perioada 2014-2023, CNTEE Transelectrica S.A., București, 2013