



**UNIVERSITATEA POLITEHNICA
DIN BUCUREȘTI**



**Școala Doctorală de Electronică, Telecomunicații
și Tehnologia Informației**

Decizie nr. ____ din __ - __ - ____

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

Ing. Maria Simona RABOACA

**CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA ȘI TESTAREA
SISTEMELOR ENERGETICE ÎN TIMP REAL**

**CONTRIBUTIONS TO THE OPTIMIZATION AND
REAL-TIME TESTING OF POWER SYSTEMS**

COMISIA DE DOCTORAT

Prof. Dr. Ing. Gheorghe BREZEANU Univ. Politehnica din București	Președinte
Prof. Dr. Ing. Nicu Bizon Univ. Politehnica din București	Conducător de doctorat
Prof. Dr. Ing. Dorin Marius PETREUȘ Univ. Tehnică din Cluj-Napoca	Referent
Prof. Dr. Ing. Horia Leonard ANDREI Univ. Valahia Târgoviște	Referent
Prof. Dr. Ing. Constantin RĂDOI Univ. Politehnica din București	Referent

BUCUREȘTI 2025

Cuprins

1. Introducere	5
1.1. Prezentarea domeniului de doctorat	5
1.2. Scopul tezei	5
1.3. Conținutul tezei	6
2. Stadiul actual al cunoașterii privind testarea in timp real	8
2.1. Interfața OPAL-RT și conexiunea dintre RT-Lab și MATLAB/Simulink	8
2.2. Provocări si soluții SIL/HIL utilizate in teza.....	8
3. Implementarea si proiectarea sistemelor energetice.....	9
3.1. Modul Sursa de Energie Primara	10
3.1.1. Parc Eolian	10
3.1.2. Parc Fotovoltaic.....	10
3.1.3. Hidrogenul - vector energetic	10
3.2. Modul Consumator	10
3.3. Modul Stocare	11
3.3.1. Tehnologia de stocare a energiei in hidrogen verde.....	11
4. Optimizarea si simularea sistemelor energetice.....	11
4.1. Definire obiective de optimizare si restrictii pentru scenariile analizate	12
4.2. Producția de energie electrica	12
4.3. Scenariul 1 – Funcționare proporțională în regim adaptiv	12
4.4. Scenariul 2 – Funcționare uniformă la putere minimă admisă.....	12
4.5. Scenariul 3 – Funcționare selectivă pe module în funcție de energie.....	12
4.6. Scenariul 4 – Funcționare continuă la capacitate nominală cu aport extern din SEN.....	13
5. Indicatori de performanta utilizati.....	14
5.1. Indicatori de performanta energetica Scenariul 1.....	14
5.2. Indicatori de performanta financiara Scenariul 1.....	14
5.3. Indicatori de performanta energetica Scenariul 2.....	14
5.4. Indicatori de performanta financiara Scenariul 2.....	14
5.5. Indicatori de performanta energetica Scenariul 3.....	14
5.6. Indicatori de performanta financiara Scenariul 3.....	14
5.7. Indicatori de performanta energetica Scenariul 4.....	15
5.8. Indicatori de performanta financiara Scenariul 4.....	15
5.9. Analiza de senzitivitate.....	15
5.9.1. Analiza de senzitivitate – Scenariul 1	15
5.9.2. Analiza de senzitivitate – Scenariul 2	15
5.9.3. Analiza de senzitivitate – Scenariul 3	15
5.9.4. Analiza de senzitivitate – Scenariul 4	15
6. Platforma pentru achiziții de date in timp real.....	16
6.1. Arhitectura hardware si software.....	16
6.2. Descriere stand experimental	16
6.3. Echipamentele hardware ale standului experimental	16
6.3.1. Parc de panouri fotovoltaice.....	16
6.3.2. Invertor.....	16
6.3.3. Bateria.....	16

6.3.4. Consumatorul – sistemul de iluminat din clădire	17
6.3.5. Sistemul de automatizare din clădire.....	17
6.3.6. Sistemul de automatizare de pe acoperiș.....	17
6.3.7. Diagrama bloc a standului experimental.....	17
6.4. Echipamentele hardware pentru achiziții de date si monitorizare	17
6.5. Rezultate experimentale.....	17
6.5.1 Centralizarea datelor colectate.....	17
6.5.2 Test 1 platforma	17
6.5.3 Test 2 platforma.....	17
6.5.4. Test 3 platforma.....	18
6.6 Analiza rezultatelor obtinute.....	18
7. Concluzii.....	18
7.1. Rezultate obținute	18
7.2. Contribuții originale	18
7.3. Lista lucrărilor originale	21
7.4. Perspective de dezvoltare ulterioară	28
Bibliografie	30

Capitolul 1

Introducere

Dezvoltarea sectorului energetic național, planificată pentru perioada 2025–2035 și proiectată până în 2050, este detaliată în documentul strategic intitulat „*Strategia Energetică a României (SER) 2025-2035, cu perspectiva anului 2050*”[1]. Această strategie prezintă viziunea pe termen mediu și lung asupra sectorului energetic, structurând obiectivele strategice și direcțiile de acțiune fundamentale. Modernizarea sistemului energetic constituie un imperativ absolut pentru a garanta o dezvoltare economică durabilă, creșterea competitivității economiei românești, îmbunătățirea calității vieții și tranziția către un model energetic sustenabil, în conformitate cu angajamentele de mediu asumate la nivel european și internațional.

1.1 Prezentarea domeniului tezei de doctorat

Prezenta lucrare de doctorat se înscrie în *domeniul Inginerie Electronică, Telecomunicații și Tehnologii Informaționale*, focalizându-se asupra *optimizării și testării sistemelor energetice în timp real*, în contextul tranziției către un sector energetic decarbonizat și sustenabil. În această perspectivă, *tehnologia hidrogenului verde* constituie un element fundamental în arhitectura energetică viitoare, reprezentând un vector energetic strategic pentru reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră și pentru flexibilizarea funcționării sistemelor energetice complexe.

Digitalizarea și achiziția de date în timp real in tandem cu optimizarea sistemelor energetice care integrează hidrogenul verde, facilitează o perspectivă predictivă asupra procesului de tranziție energetică.

Pentru evaluarea și integrarea eficientă a tehnologiilor pe bază de hidrogen verde, **simularea sistemelor energetice** joacă un rol fundamental. Instrumente precum **MATLAB/Simulink** [8], **TRNSYS** [9], **iHOGA** [10] sau **OpenModelica** [11] permit modelarea dinamică a comportamentului rețelelor hibride, dimensionarea optimă a echipamentelor, precum și analiza cost-beneficiu în diferite scenarii operaționale.

1.2 Scopul tezei de doctorat

Scopul prezentei teze de doctorat constă în *dezvoltarea unui cadru metodologic integrat pentru optimizarea și testarea în timp real a sistemelor energetice care integreaza hidrogenul verde*, cu accent pe achiziția și analiza datelor provenite de la sursele regenerabile de energie. În mod specific, lucrarea urmărește *simularea și evaluarea performanței energetice și economice a*

investițiilor în noi capacități de producere a energiei electrice din surse regenerabile, acoperind întregul lanț tehnologic: de la producere, la stocare și utilizare a hidrogenului verde.

Această cercetare își propune să contribuie atât metodologic, cât și aplicativ, la ***modernizarea infrastructurii energetice prin achiziția, procesarea și interpretarea datelor operaționale în timp real***. S-a acordat o atenție deosebită integrării tehnologiilor bazate pe hidrogen verde, în vederea susținerii obiectivelor de decarbonare, eficiență energetică și tranziție către un sistem energetic inteligent, flexibil și durabil.

1.3 Conținutul tezei de doctorat

Teza de doctorat urmărește să ofere o abordare integrată asupra ***optimizării și testării în timp real a sistemelor energetice***, cu accent pe integrarea surselor regenerabile și a tehnologiilor bazate pe hidrogen verde. Lucrarea este organizată în șapte capitole principale, fiecare având rolul de a construi, etapă cu etapă, ***fundamentul teoretic, cadrul metodologic și contribuțiile aplicative ale cercetării***.

Capitolul 1 - Introducere

S-a prezentat contextul strategic al tranziției energetice naționale și europene, accentuând rolul surselor regenerabile de energie și al tehnologiilor inovatoare, precum hidrogenul verde, în reducerea emisiilor de carbon și atingerea obiectivelor de sustenabilitate. De asemenea, s-a ***evidențiat importanța digitalizării și achiziției de date în timp real pentru monitorizarea, controlul și optimizarea sistemelor energetice***, facilitând modernizarea infrastructurii și dezvoltarea unor rețele inteligente, flexibile și eficiente în sprijinul obiectivelor de decarbonare.

Capitolul 2 - Stadiul actual al cunoașterii privind testarea în timp real

Prezintă stadiul actual al cunoașterii și aplicațiilor în domeniul ***testării în timp real*** și al simulării digitale, focalizând asupra tehnicilor și platformelor utilizate pentru validarea sistemelor complexe. S-a evidențiat ***conceptul de simulare în timp real***, diferențiind simularea complet digitală de cea Hardware-in-the-Loop (HIL), precum și avantajele și aplicabilitatea platformei OPAL RT, în special a platformei OP5600, pentru diverse domenii industriale.

Capitolul 3 - Implementarea și proiectarea sistemelor energetice

Capitolul 3 prezintă implementarea și proiectarea sistemelor energetice, cu accent asupra strategiilor de dezvoltare a infrastructurii inteligente și eficiente, dedicate gestionării resurselor regenerabile și a tehnologiilor avansate de stocare a energiei. Se evidențiază importanța adoptării unor soluții tehnologice integrate bazate pe ***platforme digitale avansate, precum OPAL RT, și pe sisteme de monitorizare în timp real***, ce permit colectarea și prelucrarea continuă a datelor operaționale. Aceste tehnologii facilitează implementarea unor strategii de control și optimizare dinamică, contribuind la creșterea performanței echipamentelor, reducerea pierderilor și prelungirea duratei de viață a infrastructurii, în condiții de funcționare sigură și fiabilă. .

Capitolul 4 - Optimizarea și simularea sistemelor energetice

Capitolul 4 investighează performanța tehnică și economică a unui sistem de producere a hidrogenului verde, alimentat din sursă eoliană, prin simularea și compararea a patru scenarii

operaționale distincte. Fiecare scenariu reflectă o strategie diferită de utilizare a energiei disponibile și de adaptare a capacității de producție în funcție de condițiile reale ale resursei energetice.

Capitolul 5 – Indicatorii de performanță

Capitolul 5 a urmărit realizarea unei evaluări comparative aprofundate a celor patru scenarii de operare propuse pentru sistemul de producere a hidrogenului verde, pe baza energiei eoliene. Analiza s-a concentrat pe identificarea performanței energetice și economice anuale, utilizând o serie de indicatori tehnico-financiari relevanți, prezentați în mod sintetic în tabele și grafice comparative.

Pe baza parametrilor analizați – cum ar fi energia utilizată, cantitatea de hidrogen produsă, gradul de utilizare a modulelor, consumul de apă, veniturile, cheltuielile și profitul net – a fost evidențiat faptul că Scenariul 3 prezintă cel mai bun echilibru între eficiență tehnică, sustenabilitate și rentabilitate economică. Acesta valorifică aproape integral energia regenerabilă, fără a depinde de energia din rețeaua națională, și reușește să mențină un nivel ridicat al producției și al veniturilor, cu costuri relativ reduse.

Capitolul 6 - Platforma pentru achiziții de date în timp real

Capitolul 6 a fost dedicat descrierii și validării experimentale a unor platforme digitale integrate pentru monitorizarea și analiza datelor în timp real, aplicate unui sistem fotovoltaic funcțional, implementat într-un stand experimental. Obiectivul general al acestui capitol a fost investigarea arhitecturilor de achiziție și stocare a datelor provenite din surse eterogene (panouri fotovoltaice, senzori de mediu, sisteme de stocare, inverter), în scopul evaluării comportamentului energetic al sistemului, a capacității de operare autonomă și a potențialului de integrare în rețele energetice inteligente.

Pentru atingerea acestor obiective, au fost dezvoltate și testate trei platforme software distincte, denumite generic Test 1, Test 2 și Test 3, fiecare dintre acestea adresând un set specific de cerințe funcționale, legate de colectarea, sincronizarea și interpretarea datelor relevante.

Capitolul 6 a validat ipoteza conform căreia integrarea tehnologiilor IoT, blockchain și de analiză în timp real poate conduce la îmbunătățirea substanțială a proceselor de evaluare, control și optimizare a sistemelor energetice bazate pe surse regenerabile. Rezultatele obținute contribuie la fundamentarea unor modele avansate de gestiune energetică inteligentă, capabile să susțină tranziția către o economie sustenabilă și digitalizată.

Capitolul 7 - Concluzii

Sintetizează rezultatele obținute, evidențiind valoarea adăugată a cercetării în domeniu. Sunt propuse direcții viitoare de aprofundare științifică, având în vedere dinamica accelerată a tranziției energetice și necesitatea dezvoltării unor soluții scalabile, eficiente și sustenabile. Evidențiază contribuțiile științifice personale.

Capitolul 2

Stadiul actual al cunoașterii privind testarea în timp real

Simularea digitală în timp real are capacitatea de a reproduce un sistem real. Sistemul real este replicat și generează semnalele de control necesare..

Datorită fiabilității sale rapide și a performanțelor *simulatoarele OPAL RT* [12] sunt viabile și disponibile din punct de vedere tehnic. Simulatorul OPAL RT cuprinde următoarele programe de simulare digitală: eFPGAsim [13], ePHASORSIM [14], eMEGAsim [15], HYPERSIM [16]. eMEGAsim este un program de simulare digital în timp real scalabil și flexibil care include RTE Event software, ARTEMIS și RT-LAB..

2.1 Interfata OPAL-RT și conexiunea dintre RT-Lab și MATLAB/Simulink

Interfata Opal-RT este asociată cu *soft-ul RT-Lab*, care este bazat pe *SimPowerSystems* de la MATLAB/ SIMULINK. Principala caracteristică a acestui software este de a îndeplini cerințe de simulare tranzitorie a acționărilor electromecanice și a sistemelor electrice.

2.2 Provocări și soluții SIL/HIL utilizate în teza

Testarea hardware-in-the-loop (HIL) constă în simularea în timp real, conectând echipamente și sisteme reale, prin senzori și actuatori

Permite utilizatorilor să efectueze teste realiste în buclă închisă fără a fi nevoie de testarea pe un sistem real;

HIL se referă la configurările conexiunilor de semnal de puteri mici. Figura 2. ilustrează diversitatea dispozitivelor care pot fi supuse procesului de testare HIL, evidențiind categoriile principale și relațiile dintre acestea.

Capitolul 3

Implementarea si proiectarea sistemelor energetice

În prezenta teză de doctorat se abordează conceptul de „testare a sistemelor energetice în timp real”, având ca scop identificarea unor soluții optime pentru testarea și evaluarea performanței acestor sisteme. Se urmărește dezvoltarea unor metode eficiente care să asigure susținerea profilului de consum energetic al utilizatorilor, în tandem cu integrarea tehnologiilor inovatoare de producție a energiei din surse regenerabile, precum energia solară și eoliană, precum și a tehnologiilor de stocare, în special utilizarea hidrogenului. În mod particular, această abordare este ilustrată în figura 3.1.

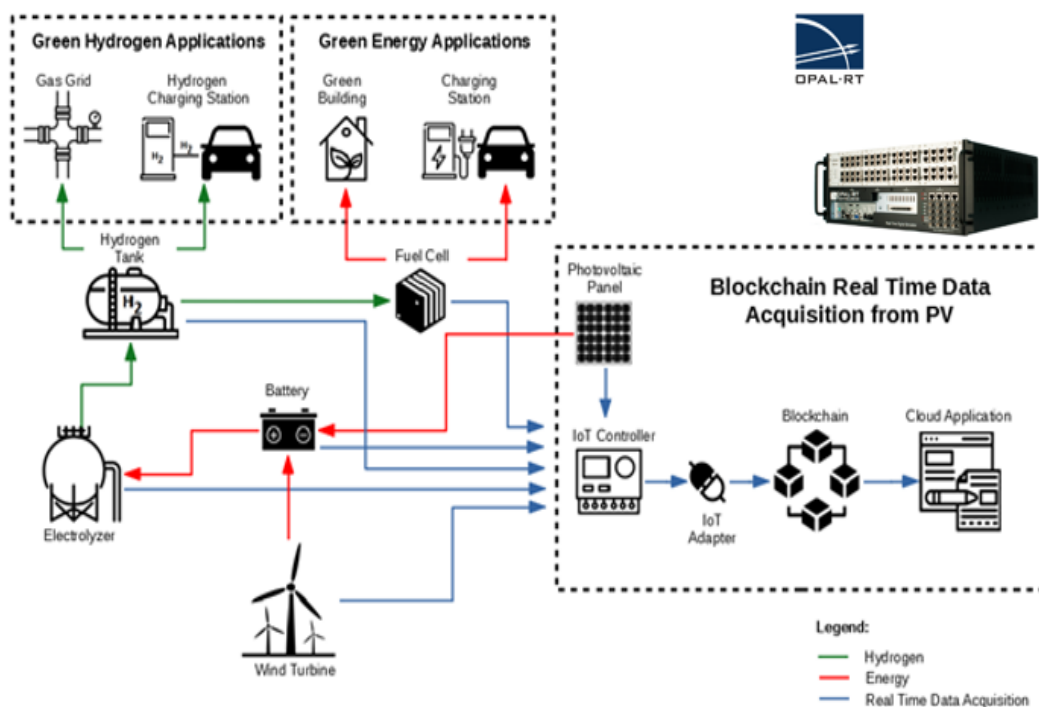


Figura 3.1 Concept testarea sistemelor energetice hibride in timp real

În figura 3.1 se prezintă **o arhitectură integrată** destinată gestionării eficiente a resurselor energetice provenite din **surse regenerabile și hidrogen verde**, precum și **procesul de colectare și analiză a datelor în timp real** pentru supravegherea și optimizarea sistemului energetic

3.1 Modul Sursa de Energie Primara

Modulul „Sursa de Energie Primară” reprezintă componenta principală responsabilă pentru *generarea și furnizarea energiei provenite din resurse regenerabile*, precum panourile fotovoltaice, turbinele eoliene și alte tehnologii de producție a energiei din resurse naturale. Acest modul are rolul de a *monitoriza parametrii tehnici, precum puterea, tensiunea, curentul* și eficiența surselor de energie, asigurând *colectarea datelor în timp real*. De asemenea, la nivelul acestui modul se implementează strategii de control și optimizare pentru maximizarea producției de energie și gestionarea variabilității resurselor, contribuind astfel la stabilitatea și fiabilitatea întregului sistem energetic.

3.1.1 Parc Eolian

Tehnologia de utilizare a energiei eoliene pentru producerea electricității este mai veche de un secol, iar de la primele mori de vant pana la generatoarele eoliene actuale s-a trecut printr-o serie întreaga de inovații tehnologice.

În cadrul sistemelor de monitorizare și control, parametrii tehnici relevanți, precum *viteza și direcția vântului, puterea generată, tensiunea, curentul și eficiența fiecărei turbine, sunt colectați în timp real* pentru asigurarea unei funcționări optimizate.

3.1.2 Parc Fotovoltaic

Un parc fotovoltaic reprezintă o infrastructură de generare a energiei electrice, compusă dintr-o rețea de panouri solare fotovoltaice montate strategic, pentru a maximiza captarea radiației solare în condițiile variabile ale mediului, și pentru a facilita conversia directă a energiei solare în energie electrică. Această investiție contribuie semnificativ la diversificarea portofoliului energetic național și la reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră, fiind considerată un pilon fundamental al strategiilor de tranziție către o economie durabilă și emisii reduse.

3.1.3 Hidrogenul - vector energetic

Hidrogenul verde reprezintă un vector energetic deosebit de promițător, având un rol fundamental în facilitarea tranziției către un sistem energetic sustenabil, cu emisii reduse de carbon și cu o diversificare a surselor de energie. Acest vector energetic se caracterizează prin procesul de producție bazat pe electroliza apei, *utilizând energie electrică provenită din surse regenerabile*, precum energia solară și eoliană, ceea ce conduce la eliminarea completă a emisiilor de gaze cu efect de seră asociate producției și utilizării hidrogenului convențional.

3.2 Modul Consumator

Modulul „Consumator” reprezintă o componentă fundamentală în sisteme avansate de gestionare și control al energiei, fiind responsabil pentru monitorizarea, analiza și optimizarea utilizării energiei electrice în cadrul sistemelor energetice integrate. Funcția sa principală constă în *colectarea continuă, în timp real, a datelor de operare provenite de la utilizatori finali* și echipamente conexe, precum stațiile de încărcare a vehiculelor electrice, clădirile rezidențiale, unitățile industriale și comerciale. Această colectare include parametri de bază precum consumul

de energie, profilurile temporale de utilizare, variațiile sezoniere, fluctuațiile din tensiune și curent, precum și alți indicatori tehnici relevanți, precum factorul de putere, eficiența energetică și starea de funcționare a echipamentelor.

3.3 Modul Stocare

Modulul „Stocare” reprezintă o componentă critică în infrastructura sistemelor energetice moderne, având ca obiectiv principal gestionarea eficientă, monitorizarea și controlul tehnologiilor de depozitare a energiei, precum sistemele de baterii, soluțiile de stocare termică, sau alte tehnologii avansate de stocare energetică. Funcționarea acestui modul presupune colectarea continuă și în timp real a parametrilor operaționali și tehnici, precum nivelul de încărcare și descărcare, eficiența procesului de conversie și starea de degradare a echipamentelor de stocare.

3.3.1 Tehnologia de stocare a energiei în hidrogen verde

Tehnologia de stocare a energiei în hidrogen verde reprezintă o componentă inovatoare și strategică în dezvoltarea sistemelor energetice durabile și eficiente, având potențialul de a facilita integrarea pe scară largă a surselor regenerabile intermitente, precum energia solară și eoliană, în rețelele energetice moderne.

Capitolul 4

Optimizarea si simularea sistemelor energetice

4.1 Definire obiective de optimizare si restrictii pentru scenariile analizate

Capitolul 4 are ca obiectiv fundamental prezentarea, analiza comparativă și evaluarea cantitativă a performanțelor tehnico-economice obținute în urma simulării funcționării unui sistem de producere a hidrogenului prin electroliză, în patru scenarii operaționale distincte. Prin această analiză, se urmărește evidențierea impactului modului de operare al electrolizoarelor asupra eficienței energetice, sustenabilității economice și continuității procesului de producție a hidrogenului, în condițiile specifice ale integrării resurselor regenerabile intermitente (energia eoliană).

4.2 Productia de energie electrica

Pentru a realiza o modelare riguroasă a capacității de producție și stocare a sistemului energetic propus, este necesară stabilirea preliminară a unui profil anual estimativ al vitezei vântului, respectiv al producției de energie electrică din sursă eoliană. Această etapă este esențială pentru definirea scenariilor de funcționare a electrolizatoarelor și pentru evaluarea gradului de încărcare a unităților de stocare a hidrogenului.

Pe durata unui an calendaristic, producția totală estimată a parcului eolian este de aproximativ 294.432 MWh, valoare determinată pe baza profilului anual al vitezei vântului. Evoluția valorilor medii orare ale energiei generate lunar este ilustrată în Figura 4.2, oferind o imagine de ansamblu asupra variației sezoniere a potențialului eolian și asupra disponibilității energetice pentru alimentarea continuă a electrolizatoarelor. Acești parametri sunt fundamentali pentru estimarea randamentului global al sistemului energetic analizat și pentru stabilirea regimului optim de funcționare a instalațiilor de producere și stocare a hidrogenului.

4.3 Scenariul 1 – Funcționare proporțională în regim adaptiv

În cadrul acestui scenariu, toate cele șase module de electroliză funcționează simultan, la același nivel de putere, ajustat proporțional cu energia disponibilă. Nivelul de funcționare este limitat între 20% și 100% din puterea nominală (P_n). În situația în care energia alocată per modul scade sub pragul minim de 20% (0,146 MWh/modul), întregul sistem de electroliză este oprit automat, în conformitate cu specificațiile tehnice ale producătorului, pentru a evita uzura accelerată și pierderea eficienței.

4.4 Scenariul 2 – Funcționare uniformă la putere minimă admisă

În acest caz, toate cele șase module sunt menținute în funcțiune la capacitatea minimă de operare, adică 20% din puterea nominală, cu condiția existenței unui minim de 0,876 MWh de energie disponibilă. Această strategie urmărește menținerea continuă a funcționării sistemului cu un consum energetic minim, evitând opririle și repornirile frecvente.

4.5 Scenariul 3 – Funcționare selectivă pe module în funcție de energie

Acest scenariu presupune activarea unui număr variabil de module ($n < 6$) în cazul în care energia totală disponibilă este sub 4,3 MW. Modulele activează succesiv în ordine până la atingerea unui prag de consum de 0,876 MWh/modul. Modulele rămase inactive pot intra în operare doar dacă li se poate aloca individual o cantitate de energie mai mare decât pragul minim de 0,146 MWh. Astfel, se asigură o funcționare eficientă și adaptivă, evitând suprasolicitarea rețelei sau funcționarea inefficientă a electrolizatoarelor.

Scenariul 3 propune o strategie operațională flexibilă, bazată pe activarea secvențială a modulelor electrolizorului în funcție de disponibilitatea resursei energetice, cu o limitare a consumului energetic la sub 4,3 MW. Activarea modulelor se realizează progresiv, până la atingerea unui consum de 0,876 MWh/modul, iar modulele suplimentare pot fi operate doar dacă li se poate aloca o cantitate de energie de minimum 0,146 MWh/modul. Această abordare asigură

o funcționare eficientă și adaptivă, evitând suprasolicitarea rețelei electrice și asigurând funcționarea doar în condiții tehnice optime.

Energia medie orară alocată funcționării ansamblului de electrolizoare este de 20.462 MWh/an, evidențiind un regim de funcționare adaptat dinamic la resursa eoliană.

Pe ansamblul anului, toate modulele sunt utilizate în mod echilibrat, ceea ce reflectă o strategie de rotație eficientă, contribuind la distribuția uniformă a uzurii și la creșterea fiabilității instalației.

Producția totală de hidrogen în Scenariul 3 a fost de 4.428.740 Nm³ (echivalentul a 394.718 kg). Hidrogenul produs a fost valorificat conform ipotezei de lucru: 75% prin injectare în rețea (3.321.555 Nm³) și 25% prin vânzare în cisterne (98.680 kg).

4.6 Scenariul 4 – Funcționare continuă la capacitate nominală cu aport extern din SEN

În cadrul acestui scenariu, toate cele șase module sunt menținute în funcționare la puterea nominală (0,876 MWh/modul), independent de energia produsă de parcul eolian. Orice deficit de energie necesar este compensat prin achiziția din Sistemul Energetic Național (SEN) [77], la prețul stabilit de referință. Acest scenariu asigură funcționarea maximă a ansamblului de electroliză, permițând o evaluare a capacității sistemului în regim complet, dar cu un cost energetic suplimentar semnificativ.

Comparație între coeficienții de optimizare ai scenariilor analizate

Pentru o înțelegere completă a performanței sistemului în condițiile fiecărui scenariu, se propune o comparație între coeficienții de optimizare definiți anterior. Rezultatele sintetizate sunt prezentate în Figura 4.4.

Tabelul 4.4 Comparație între coeficienții de optimizare ai scenariilor analizate

Coeficient / Scenariu	Scenariul 1	Scenariul 2	Scenariul 3	Scenariul 4
CUEA	scăzut	moderat	ridicat	foarte ridicat
CFO	0	0.3	1	1
PS	medie	redușă	ridicăță	maximă
CAER	reduș	>80%	>95%	aprox. 53%
CVEH	<1	≈1	>2	>2.5

Capitolul 5

Indicatori de performanta

5.1. Indicatori de performanta energetica Scenariul 1

Valorile medii anuale ale principalilor parametri de performanță energetică obținuți în cadrul Scenariului 1 sunt sintetizate în Tabelul 5.1. Din analiza acestor rezultate reiese faptul că, în condițiile impuse de fișa tehnică a electrolizorului și pe baza ipotezelor de lucru adoptate, sistemul funcționează doar pe o durată de zece luni într-un an calendaristic complet.

5.2. Indicatori de performanta financiara Scenariul 1

Venitul total generat prin valorificarea hidrogenului produs de instalația de electroliză, în condițiile Scenariului 1, reprezintă suma veniturilor obținute din cele două direcții principale de comercializare: (i) hidrogenul injectat în rețeaua de gaze naturale și (ii) hidrogenul comprimat livrat în cisterne.

5.3. Indicatori de performanta energetica Scenariul 2

Valorile medii anuale ale parametrilor de performanță energetică corespunzător Scenariului 2 sunt prezentate în Tabelul 5.3. Analiza acestor date evidențiază că, pe parcursul unui an calendaristic, sistemul de electroliză a funcționat efectiv pe durata a zece luni, în conformitate cu ipotezele de lucru și constrângerile tehnice specificate în fișa de catalog a echipamentului.

5.4. Indicatori de performanta financiara Scenariul 2

Veniturile generate din valorificarea hidrogenului produs de electrolizor în Scenariul 2 reprezintă suma celor două componente principale: veniturile obținute din injectarea hidrogenului în rețeaua de gaze naturale și cele provenite din vânzarea acestuia în cisterne. Tabelul 5.4 sintetizează valorile corespunzătoare pentru fiecare dintre acești indicatori financiari: *Venit – Hidrogen injectat în rețeaua de gaze*, *Venit – Hidrogen vândut în cisterne* și *Venit total – Hidrogen vândut în Scenariul 2*. Această structurare permite o evaluare clară a contribuției fiecărui canal de valorificare la performanța economică generală a scenariului analizat.

5.5. Indicatori de performanta energetica Scenariul 3

Valorile medii anuale ale principalilor parametri de performanță energetică obținuți în cadrul Scenariului 3 sunt prezentate în Tabelul 5.5. Se observă că, pe parcursul unui an calendaristic, sistemul de electroliză funcționează în regim continuu, pe durata celor 12 luni, respectând atât condițiile tehnice specificate în fișa echipamentului, cât și ipotezele de operare asumate.

5.6. Indicatori de performanta financiara Scenariul 3

Venitul generat din valorificarea hidrogenului produs de electrolizor în cadrul Scenariului 3 este constituit din suma încasărilor provenite din cele două canale principale de distribuție: injectarea în rețeaua de gaze naturale și livrarea în cisterne sub formă comprimată.

5.7. Indicatori de performanta energetica Scenariul 4

Valorile medii anuale ale parametrilor de performanță energetică, corespunzătoare funcționării sistemului în Scenariul 3, din analiza acestora se constată că, pe durata unui an calendaristic, electrolizorul funcționează pe întreg intervalul de 12 luni, în conformitate cu cerințele impuse de fișa tehnică a echipamentului și în acord cu ipotezele de lucru formulate în cadrul studiului.

5.8. Indicatori de performanta financiara Scenariul 4

Venitul total generat din valorificarea hidrogenului produs în Scenariul 4 este determinat prin însumarea veniturilor obținute din injectarea în rețeaua de gaze naturale și din comercializarea în cisterne sub formă comprimată, conform structurii sintetizate în Tabelul 5.8.

5.9 Analiza de senzitivitate

Pentru *scenariul 1, 2, 3 și 4* au fost analizate trei variabile critice (cost apa retea, pret H₂ vandut in cisterne si pret H₂ injectat in rețeaua de gaze naturale) iar in scenariul 4 a fost introdus parametrul critic (pret energie achizitionata de la SEN).

5.9.1 Analiza de senzitivitate -Scenariul 1

Pentru variabila critica „ *cost apa retea*” (figura 5.3) se observa ca pentru o scadere a ratei de actualizare cu 10% se determina o crestere a VAN de 0,0125% si o scadere a RIR pana la 0.42%, dar pentru o crestere de 10% a variatiei ratei de actualizare se determina o scadere a VAN cu ,0125% si o crestere a RIR pana la 0,41%.

5.9.2 Analiza de senzitivitate -Scenariul 2

Pentru variabila critica „ *cost apa retea*” (figura 5.6) se observa ca pentru o scadere a ratei de actualizare cu 10% se determina o crestere a VAN de 0,0041 % si o scadere a RIR pana la 0.14%, dar pentru o crestere de 10% se determina o scadere a VAN cu 0,0041% si o crestere a RIR pana la 0,14%.

5.9.3 Analiza de senzitivitate -Scenariul 3

Pentru variabila critica „ *cost apa retea*” (figura 5.9) se observa ca pentru o scadere a ratei de actualizare cu 10% se determina o crestere a VAN de 0,0131% si o scadere a RIR pana la 0.43%, dar pentru o crestere de 10% se determina o scadere a VAN cu 0,0131% si o crestere a RIR pana la 0,44%.

5.9.4 Analiza de senzitivitate -Scenariul 4

Pentru variabila critica „ *cost apa retea*” (figura 5.12) se observa ca pentru o scadere a ratei de actualizare cu 10% se determina o scadere a VAN de 0,0246% si o crestere a RIR pana la 0.81%, dar pentru o crestere de 10% se determina o crestere a VAN cu 0,0246% si o scadere a RIR pana la 0,83%.

Capitolul 6

Platforma pentru achiziții de date în timp real

6.1 Arhitectura hardware si software

Arhitectura integrată și modularizată de tip hardware-software este prezentată în figura 6.1, *pentru sistemele de monitorizare și control energetic în condiții de operare în timp real*, fiind concepută pentru a sprijini gestionarea eficientă a surselor regenerabile și a tehnologiilor de stocare a energiei. În centru este unitatea de control și procesare, reprezentată vizual de o placă Raspberry Pi, care funcționează ca nod de coordonare și analiză a fluxurilor de date provenite de la multiple componente periferice și subsisteme de câmp.

6.2 Descriere stand experimental

Sunt integrate panouri fotovoltaice compuse din 26 de module, de configurație standard, cu o putere instalată de 8,58 kW. Unitățile de stocare a energiei, baterii cu o capacitate de circa 10 kWh. Acestea sunt interconectate cu invertorul, controlerul principal și modulele de management energetic, pentru a asigura funcționarea optimizată a proceselor de încărcare și descărcare, precum și gestionarea fluxurilor energetice.

6.3 Echipamentele hardware ale standului experimental

Sistem fotovoltaic a fost instalat pe acoperișul clădirii din cadrul ICSI. În figura 6.3 se observă atât panourile fotovoltaice utilizate pentru captarea energiei, cât și infrastructura modernă a clădirii care le găzduiește, evidențiind aplicabilitatea soluțiilor de energie regenerabilă.

6.3.1 Parc de panouri fotovoltaice

Pentru realizarea standului experimental s-au utilizat în total 25 de panouri fotovoltaice, distribuite în două categorii distincte.

6.3.2 Invertor

Invertorul reprezintă un element central în arhitectura funcțională a sistemelor fotovoltaice, având un rol esențial în conversia formei de energie electrică generată de panouri.

6.3.3 Bateria

În cadrul standului experimental au fost utilizate patru baterii de tip AGM-VRLA

6.3.4 Consumatorul - sistemul de iluminat

În cadrul standului experimental, **consumatorul principal** al energiei electrice produse de sistemul fotovoltaic este reprezentat de **sistemul de iluminat al clădirii**, proiectat pentru a funcționa în regim de alimentare locală, prin intermediul inverterului și al bateriilor.

6.3.5 Sistemul de automatizare din clădire

În cadrul standului experimental, un rol esențial în gestionarea fluxurilor energetice și în optimizarea funcționării este îndeplinit de **sistemul de automatizare**, care asigură coordonarea dintre inverter, sursele de alimentare, tablourile de distribuție și consumatorii instalației.

6.3.6 Sistemul de automatizare de pe acoperiș

În figura 6.10 este prezentat **Panoul de automatizare 2**, un element esențial al infrastructurii de automatizare, amplasat în proximitatea câmpului fotovoltaic, direct pe acoperișul clădirii.

6.3.7 Diagrama Block a standului experimental

Energia generată, sub formă de curent continuu (DC), este direcționată către un **inverter multifuncțional**, care are rolul de a o converti în curent alternativ (AC), compatibil cu sarcinile electrice ale clădirii și cu rețeaua electrică publică.

6.4 Echipamente hardware pentru achiziții de date

În cadrul standului experimental, au fost utilizate o serie de dispozitive IoT (Internet of Things), al căror rol este de a monitoriza și transmite, în timp real, parametri relevanți pentru evaluarea performanței sistemului fotovoltaic.

6.5 Rezultate experimentale

Sunt ilustrate rezultatele intermediare generate de două microservicii distincte, dezvoltate pentru colectarea și prelucrarea unor seturi specifice de date operaționale.

6.5.1 Centralizarea datelor colectate

În cadrul standului experimental, datele provenite din diverse surse – panouri fotovoltaice, inverter hibrid, baterii, senzori de temperatură, senzori de radiație solară (piranometru), dispozitive de urmărire solară (Solys2), precum și diverși consumatori – sunt colectate în mod continuu, asincron și eterogen

6.5.2 Test1 platforma

Sunt prezentate rezultatele generate de aplicația software *Test1 platforma*, numita „Energy Calculator for CNHPC”, dedicată monitorizării producției de energie verde.

6.5.3 Test 2 platforma

Aplicația denumită „*Test 2 platformă*” a fost dezvoltată cu scopul de a realiza achiziția, și analiza în timp real a datelor provenite din sistemul fotovoltaic din standul experimental, în vederea evaluării continue a performanței energetice. În cadrul cercetării, aplicația a fost utilizată pentru monitorizarea datelor colectate în intervalul 2–6 septembrie 2022, corespunzător unei perioade de patru zile de funcționare continuă a sistemului.

6.5.4 Test 3 platforma

În cadrul celei de-a treia etape experimentale a platformei de monitorizare, denumită „*Test 3 platformă*”, a fost implementat un sistem de achiziție și vizualizare a datelor în timp real provenite de la panouri fotovoltaice, cu scopul de a analiza comportamentul operațional al acestora în condiții reale de mediu

6.6 Analiza rezultatelor obtinute

Sunt prezentate analizele rezultatelor celor 3 teste.

Concluzii

Prezenta teză de doctorat a abordat în mod integrat problematica proiectării, simulării, optimizării și validării sistemelor energetice, cu accent pe producerea hidrogenului verde alimentat din surse regenerabile, în special eoliene. Obiectivul central al cercetării a fost identificarea unui model tehnico-economic robust, flexibil și sustenabil, capabil să răspundă cerințelor actuale de decarbonare, autonomie energetică și eficiență operațională. În primul rând, prin contextualizarea tranziției energetice la nivel național și european, s-a fundamentat necesitatea integrării hidrogenului verde ca vector strategic în mixul energetic, susținut de digitalizare, IoT și soluții avansate de monitorizare și control în timp real. În al doilea rând, teza a demonstrat viabilitatea tehnologiilor de simulare în timp real (SIL, HIL) utilizând platforma OPAL-RT, oferind un cadru metodologic coerent pentru dezvoltarea, testarea și validarea sistemelor de control energetic în condiții realiste și reproductibile. Această abordare permite reducerea riscurilor, costurilor și timpului de dezvoltare pentru soluțiile inovatoare în domeniul energetic. Ulterior, s-a realizat proiectarea unui sistem modular de electroliză, alimentat din surse eoliene și integrat într-o platformă experimentală capabilă de testare și operare adaptivă. Prin simularea a patru scenarii operaționale distincte, s-a evidențiat superioritatea Scenariului 3 – caracterizat prin flexibilitate maximă, autonomie energetică completă și o strategie progresivă de activare a modulelor. Acest scenariu a oferit cel mai bun compromis între performanță tehnică, rentabilitate economică și sustenabilitate. Contribuția științifică majoră constă în dezvoltarea și aplicarea unui set de coeficienți de optimizare (CUEA, CFO, CAER, CVEH), care permit o evaluare cantitativă și comparativă a performanței scenariilor analizate. De asemenea, analiza de sensibilitate aplicată variabilelor critice a validat robustețea modelului propus, demonstrând că variațiile moderate ale parametrilor economici nu compromit viabilitatea investiției.

7.2 Contribuții originale

- A fost demonstrată aplicabilitatea și fiabilitatea platformei OPAL RT, în special modelului OP5600, pentru simularea în timp real a sistemelor energetice și de control în mediul academic și industrial.

- A fost demonstrată aplicabilitatea și fiabilitatea platformei OPAL RT, în special modelului OP5600, pentru simularea în timp real a sistemelor energetice și de control în mediul academic și industrial.
- Implementarea și proiectarea sistemelor energetice moderne, bazate pe tehnologii digitale avansate precum platformele OPAL RT și sistemele de achiziție și procesare a datelor în timp real, conduc la o gestionare eficientă, sigură și durabilă a resurselor energetice.
- Implementarea și proiectarea sistemelor energetice moderne, bazate pe tehnologii digitale avansate precum platformele OPAL RT și sistemele de achiziție și procesare a datelor în timp real, conduc la o gestionare eficientă, sigură și durabilă a resurselor energetice.
- Implementarea și proiectarea sistemelor energetice moderne, bazate pe tehnologii digitale avansate precum platformele OPAL RT și sistemele de achiziție și procesare a datelor în timp real, conduc la o gestionare eficientă, sigură și durabilă a resurselor energetice.
- Implementarea și proiectarea sistemelor energetice moderne, bazate pe tehnologii digitale avansate precum platformele OPAL RT și sistemele de achiziție și procesare a datelor în timp real, conduc la o gestionare eficientă, sigură și durabilă a resurselor energetice.
- Elaborarea și compararea a patru scenarii distincte de funcționare a unui sistem modular de electroliză, într-un context de producție energetică variabilă, ceea ce permite evaluarea detaliată a performanțelor tehnico-economice în condiții reale de intermitență a resursei eoliene.
- Definirea și aplicarea unor coeficienți specifici de optimizare (CUEA, RCEH, CFO, PS, CAER, CVEH), care permit cuantificarea obiectivă și comparabilă a performanțelor fiecărui scenariu, pe baza unor indicatori standardizați de eficiență, flexibilitate și rentabilitate.
- Validarea unei strategii de operare secvențială și flexibilă a modulelor, care optimizează simultan consumul de resurse, durata de viață a echipamentelor și fluxurile de producție, reducând astfel riscurile asociate ciclurilor frecvente de pornire-oprire.
- Demonstrarea fezabilității unui sistem autonom energetic (Scenariul 3) care funcționează exclusiv cu energie din sursă regenerabilă, menținând un nivel ridicat de profitabilitate și stabilitate operațională, fără a depinde de aporturi externe.
- Identificarea impactului sezonității asupra producției de hidrogen și a modului în care aceasta poate fi gestionată eficient prin rotația modulelor și prin diversificarea canalelor de valorificare economică (injecție în rețea și vânzare în cisterne).
- Stabilirea unui model de evaluare economică integrată, în care sunt cuantificate veniturile lunare, costurile directe (energie și apă) și profitul net aferent fiecărui scenariu, oferind o imagine completă asupra sustenabilității economice a sistemului analizat.

- Argumentarea științifică a alegerii Scenariului 3 ca soluție optimă, prin coroborarea tuturor indicatorilor de performanță tehnico-economică și prin demonstrarea avantajelor sale în ceea ce privește echilibrul între autonomie, eficiență și rentabilitate.
- Elaborarea și aplicarea unui cadru multicriterial de analiză pentru evaluarea comparativă a patru scenarii de operare ale unui sistem de producere a hidrogenului verde alimentat cu energie eoliană, integrând indicatori energetici și economici relevanți.
- Definirea și utilizarea unor coeficienți de optimizare specifici (CUEA, CFO, CAER, PS, CVEH) pentru cuantificarea performanței tehnico-economice a fiecărui scenariu, oferind un instrument de evaluare coerent și comparabil.
- Determinarea scenariului operațional optim (Scenariul 3), care asigură cel mai bun echilibru între flexibilitatea operării, autonomia energetică și rentabilitatea economică, fără a apela la energie din Sistemul Energetic Național.
- Realizarea unei analize de sensibilitate detaliate asupra celor mai relevante variabile critice (costul apei, prețul hidrogenului în cisterne, prețul hidrogenului injectat în rețea), demonstrând robustețea economică a fiecărui scenariu în fața variațiilor de $\pm 10\%$ ale acestor parametri.
- Identificarea corelației dintre sezonabilitatea resursei eoliene și performanța economică lunară, relevând importanța unei strategii operaționale adaptative pentru maximizarea profitului și optimizarea funcționării modulelor electrolizorului.
- Validarea viabilității tehnico-economice a producției de hidrogen verde în condiții reale de intermitență a resursei eoliene, prin integrarea simulărilor energetice, calculelor financiare și interpretărilor comparative în vederea luării unei decizii investiționale fundamentate.
- Proiectarea și dezvoltarea unei platforme modulare de monitorizare energetică, bazată pe arhitectură distribuită, care integrează dispozitive IoT, microservicii software, motor de cache pentru sincronizare și bază de date blockchain (BigchainDB) pentru stocare sigură și verificabilă a datelor energetice.
- Implementarea unei soluții proprii pentru gestionarea fluxurilor de date asincrone și neomogene, prin intermediul unui motor de cache în timp real, care transformă fluxurile disperate de la senzori în structuri de date coerente și sincronizate.
- Dezvoltarea unei aplicații web pentru calculul și vizualizarea energiei regenerabile produse, care permite estimarea procentului de energie verde din totalul consumului, vizualizare grafică interactivă și stocarea rezultatelor într-un sistem blockchain pentru asigurarea trasabilității.
- Integrarea tehnologiei blockchain pentru securizarea și trasabilitatea datelor energetice, oferind un grad ridicat de transparență, imutabilitate și disponibilitate în cadrul proceselor de monitorizare, analiză și optimizare energetică.

- Validarea experimentală a relațiilor dintre parametrii de mediu (radiație solară, temperatură) și performanța sistemelor fotovoltaice, printr-o suită de teste (Test 1, Test 2, Test 3), desfășurate pe perioade reprezentative, cu analiză în timp real a curentului, tensiunii și temperaturii panourilor fotovoltaice.
- Definirea și aplicarea unui indicator de performanță ecologică original – procentul de energie verde consumată, utilizat pentru analiza gradului de autonomie energetică și eficiența sistemului în raport cu sursa fotovoltaică și rețeaua electrică convențională.
- Elaborarea unei interfețe grafice sincronizate pentru monitorizarea parametrilor operaționali, care permite analiza în timp real a curenților de încărcare/descărcare, tensiunilor bateriei, puterii livrate și radiației solare, oferind o viziune holistică asupra comportamentului sistemului fotovoltaic.
- Demonstrarea aplicabilității practice a arhitecturii propuse, prin integrarea cu succes a datelor de la echipamentele din standul experimental, analiza comparativă pe intervale temporale extinse și fundamentarea deciziilor privind optimizarea dimensionării și operării sistemului energetic.

7.3 Lista lucrărilor originale

Referat 1 - Analiza sistemelor de generare distribuită de energie electrică și a tehnicilor de testare în timp real (HIL, PIL)

Referat 2 - Proiectare și implementare modulelor OPAL RT pentru testarea sistemului de putere hibrid bazat pe energia din surse regenerabile, a hidrogenului

Referat 3 - Aplicație inteligentă de monitorizare utilizând tehnologia blockchain a sistemului de iluminat din Hala CNHPC

Referat 4 - Proiectarea și testarea unei aplicații într-o localitate în scopul reducerii emisiilor de CO₂

Proiecte castigate prin competiție:

- 1) Innovative Fuel Cell/Battery-Based Hybrid Zero Emission Power System for Maritime Transport – coordonator proiect, Norway Grants, <https://greentransition.cadran.eu/>
- 2) OPTIX, Positive Energy Districts – responsabil proiect, CETP <https://optixproject.github.io>

Carti publicate:

[1] Advancements in Renewable Energy and Green Hydrogen, autori: Raboaca, M.S., Djohra, S., Koussa, M., Moussaoui, O., Mihaltan, T.C, Release Date: April, 2024, Pages: 327, ISBN13: 9798369310144, DOI: 10.4018/979-8-3693-1014-4

[2] Clean Technologies and Sustainable Development in Civil Engineering, autori: Felseghi, R.-A., Cobîrzan, N., Raboaca, M.S, Release Date: June, 2022, Pages: 290, ISBN13: 9781799898108, DOI: 10.4018/978-1-7998-9810-8

Capitol carti:

[1] Hydrogen technology integration for energy support of electric vehicle charging stations, autori: Raboaca, M.-S., Mihaltan, T.C., Hydrogen Fuel Cell Technology for

Mobile Applications, pp. 134–156, Source Title: [Hydrogen Fuel Cell Technology for Mobile Applications](#), Pages: 23, 2023, DOI: 10.4018/978-1-6684-6721-3.ch006

[2] Hybrid Energy Systems for Power of Sustainable Buildings. Case Study: A Renewable Energy Based on-Site Green Electricity Production, Felseghi, R.-A., Bolboacă, A., Aşchilean, I., Răboacă, M., Comprehensive Renewable Energy Second Edition Volume 1 9, 1-4, pp. 420–436, 2022, DOI: 10.4018/978-1-7998-4945-2.ch005

[3] Energy storage systems: From classic to hydrogen, Nasture, A.-M., Patularu, L., Raboacă, M.S., Lupu, C., Hydrogen Fuel Cell Technology for Stationary Applications, pp. 105–138, DOI: 10.4018/978-1-7998-4945-2.ch005

[4] Overview regarding synthetic gas production by biomass gasification, Corbu, A., Raboacă, M.S., Tanwar, S., Hydrogen Fuel Cell Technology for Stationary Applications, pp. 70–104, 2021, DOI: 10.4018/978-1-7998-4945-2.ch005

[5] [OPAL-RT Technology Used in Automotive Applications for PEMFC](#), Maria Simona Raboacă, Mihai Rata, Ioana Manta, Gabriela Rata, Numerical Methods for Energy Applications, 443, 978-3-030-62191-9, Published: 22 March 2021, DOI <https://doi.org/10.1007/978-3-030-62191-9>

Lucrari in jurnale WOS

[1] Pravin G. Dhawale, Vikram Kumar Kamboj, S.K. Bath, Maria Simona Raboacă, Constantin Filote, Integrating renewable energy and plug-in electric vehicles into security constrained unit commitment for hybrid power systems, Energy Reports, Volume 11, 2024, Pages 2035-2048, ISSN 2352-4847, <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.01.027>.

[2] Gupta, A.; Saini, P.; Teja, B.S.; Durgesh, G.S.; Mishra, S.K.; Yadav, A.K.; Tanwar, S.; Alqahtani, F.; Raboacă, M.S.; Said, W. Investigating UAV-Based Applications in Indoor–Outdoor Sports Stadiums and Open-Air Gatherings for Different Interference Conditions beyond 5G Networks. *Sensors* **2023**, *23*, 6721. <https://doi.org/10.3390/s23156721>

[3] Gupta, A.; Saini, P.; Teja, B.S.; Durgesh, G.S.; Mishra, S.K.; Yadav, A.K.; Tanwar, S.; Alqahtani, F.; Raboacă, M.S.; Said, W. Investigating UAV-Based Applications in Indoor–Outdoor Sports Stadiums and Open-Air Gatherings for Different Interference Conditions beyond 5G Networks. *Sensors* **2023**, *23*, 6721. <https://doi.org/10.3390/s23156721>

[4] Jain, P.; Gupta, A.; Tanwar, S.; Alqahtani, F.; Raboacă, M.S.; Said, W. Massive MIMO NOMA: Double-Mode Model towards Green 5G Networks. *Sensors* **2023**, *23*, 6425. <https://doi.org/10.3390/s23146425>

[5] Bhattacharya, P.; Saraswat, D.; Savaliya, D.; Sanghavi, S.; Verma, A.; Sakariya, V.; Tanwar, S.; Sharma, R.; Raboacă, M.S.; Manea, D.L. Towards Future Internet: The Metaverse Perspective for Diverse Industrial Applications. *Mathematics* **2023**, *11*, 941. <https://doi.org/10.3390/math11040941>

[6] Kumari, A.; Kakkar, R.; Gupta, R.; Agrawal, S.; Tanwar, S.; Alqahtani, F.; Tolba, A.; Raboacă, M.S.; Manea, D.L. Blockchain-Driven Real-Time Incentive Approach for Energy Management System. *Mathematics* **2023**, *11*, 928. <https://doi.org/10.3390/math11040928>

- [7] Srivastava, V.; Singh, P.; Malik, P.K.; Singh, R.; Tanwar, S.; Alqahtani, F.; Tolba, A.; Marina, V.; Raboaca, M.S. Innovative Spectrum Handoff Process Using a Machine Learning-Based Metaheuristic Algorithm. *Sensors* **2023**, *23*, 2011. <https://doi.org/10.3390/s23042011>
- [8] Grigoraş, G.; Raboaca, M.S.; Dumitrescu, C.; Manea, D.L.; Mihaltan, T.C.; Niculescu, V.-C.; Neagu, B.C. Contributions to Power Grid System Analysis Based on Clustering Techniques. *Sensors* **2023**, *23*, 1895. <https://doi.org/10.3390/s23041895>
- [9] Rajawat, A.S.; Goyal, S.B.; Bedi, P.; Verma, C.; Ionete, E.I.; Raboaca, M.S. 5G-Enabled Cyber-Physical Systems for Smart Transportation Using Blockchain Technology. *Mathematics* **2023**, *11*, 679. <https://doi.org/10.3390/math11030679>
- [10] Sindhwani, M.; Sachdeva, S.; Gupta, A.; Tanwar, S.; Alqahtani, F.; Tolba, A.; Raboaca, M.S. A Novel Context-Aware Reliable Routing Protocol and SVM Implementation in Vehicular Area Networks. *Mathematics* **2023**, *11*, 514. <https://doi.org/10.3390/math11030514>
- [11] Rathod, T.; Jadav, N.K.; Tanwar, S.; Sharma, R.; Tolba, A.; Raboaca, M.S.; Marina, V.; Said, W. Blockchain-Driven Intelligent Scheme for IoT-Based Public Safety System beyond 5G Networks. *Sensors* **2023**, *23*, 969. <https://doi.org/10.3390/s23020969>
- [12] Shah, H.; Shah, D.; Jadav, N.K.; Gupta, R.; Tanwar, S.; Alfarraj, O.; Tolba, A.; Raboaca, M.S.; Marina, V. Deep Learning-Based Malicious Smart Contract and Intrusion Detection System for IoT Environment. *Mathematics* **2023**, *11*, 418. <https://doi.org/10.3390/math11020418>
- [13] Enescu, F.M.; Birleanu, F.G.; Raboaca, M.S.; Raceanu, M.; Bizon, N.; Thounthong, P. Electric Vehicle Charging Station Based on Photovoltaic Energy with or without the Support of a Fuel Cell–Electrolyzer Unit. *Energies* **2023**, *16*, 762. <https://doi.org/10.3390/en16020762>
- [14] Jain, A.; Verma, C.; Kumar, N.; Raboaca, M.S.; Baliya, J.N.; Suci, G. Image Geo-Site Estimation Using Convolutional Auto-Encoder and Multi-Label Support Vector Machine. *Information* **2023**, *14*, 29. <https://doi.org/10.3390/info14010029>
- [15] Molla, J.P.; Dhabliya, D.; Jondhale, S.R.; Arumugam, S.S.; Rajawat, A.S.; Goyal, S.B.; Raboaca, M.S.; Mihaltan, T.C.; Verma, C.; Suci, G. Energy Efficient Received Signal Strength-Based Target Localization and Tracking Using Support Vector Regression. *Energies* **2023**, *16*, 555. <https://doi.org/10.3390/en16010555>
- [16] Sheikh, Z.A.; Singh, Y.; Tanwar, S.; Sharma, R.; Turcanu, F.-E.; Raboaca, M.S. EISM-CPS: An Enhanced Intelligent Security Methodology for Cyber-Physical Systems through Hyper-Parameter Optimization. *Mathematics* **2023**, *11*, 189. <https://doi.org/10.3390/math11010189>
- [17] Bhatia, J.; Italiya, K.; Jadeja, K.; Kumhar, M.; Chauhan, U.; Tanwar, S.; Bhavsar, M.; Sharma, R.; Manea, D.L.; Verdes, M.; et al. An Overview of Fog Data Analytics for IoT Applications. *Sensors* **2023**, *23*, 199. <https://doi.org/10.3390/s23010199>
- [18] Nagaraj, S.; Kathole, A.B.; Arya, L.; Tyagi, N.; Goyal, S.B.; Rajawat, A.S.; Raboaca, M.S.; Mihaltan, T.C.; Verma, C.; Suci, G. Improved Secure Encryption with Energy Optimization Using Random Permutation Pseudo Algorithm Based on Internet

of Thing in Wireless Sensor Networks. *Energies* **2023**, *16*, 8. <https://doi.org/10.3390/en16010008>

[19] Kakkar, R.; Gupta, R.; Agrawal, S.; Tanwar, S.; Sharma, R.; Alkhayyat, A.; Neagu, B.-C.; Raboaca, M.S. A Review on Standardizing Electric Vehicles Community Charging Service Operator Infrastructure. *Appl. Sci.* **2022**, *12*, 12096. <https://doi.org/10.3390/app122312096>

[20] Dhabliya, D.; Soundararajan, R.; Selvarasu, P.; Balasubramaniam, M.S.; Rajawat, A.S.; Goyal, S.B.; Raboaca, M.S.; Mihaltan, T.C.; Verma, C.; Suci, G. Energy-Efficient Network Protocols and Resilient Data Transmission Schemes for Wireless Sensor Networks—An Experimental Survey. *Energies* **2022**, *15*, 8883. <https://doi.org/10.3390/en15238883>

[21] Filote C, Felseghi R-A, Raboaca MS, Aşchilean I. Environmental impact assessment of green energy systems for power supply of electric vehicle charging station. *Int J Energy Res.* 2020; 44: 10471–10494. <https://doi.org/10.1002/er.5678>

[22] Bizon, N.; Oproescu, M.; Thounthong, P.; Varlam, M.; Carcadea, E.; Culcer, M.; Ilescu, M.; Raboaca, M.S.; Sorlei, I.S. Improving the Fuel Economy and Battery Lifespan in Fuel Cell/Renewable Hybrid Power Systems Using the Power-Following Control of the Fueling Regulators. *Appl. Sci.* **2020**, *10*, 8310. <https://doi.org/10.3390/app10228310>

[23] Raboaca, M.S.; Bizon, N.; Trufin, C.; Enescu, F.M. Efficient and Secure Strategy for Energy Systems of Interconnected Farmers' Associations to Meet Variable Energy Demand. *Mathematics* **2020**, *8*, 2182. <https://doi.org/10.3390/math8122182>

[24] Meheden, M.; Musat, A.; Traciu, A.; Viziteu, A.; Onu, A.; Filote, C.; Răboacă, M.S. Design Patterns and Electric Vehicle Charging Software. *Appl. Sci.* **2021**, *11*, 140. <https://doi.org/10.3390/app11010140>

[25] Felseghi, R.-A.; Aşchilean, I.; Cobîrzan, N.; Bolboacă, A.M.; Raboaca, M.S. Optimal Synergy between Photovoltaic Panels and Hydrogen Fuel Cells for Green Power Supply of a Green Building—A Case Study. *Sustainability* **2021**, *13*, 6304. <https://doi.org/10.3390/su13116304>

[26] Felseghi, R.-A.; Aşchilean, I.; Cobîrzan, N.; Bolboacă, A.M.; Raboaca, M.S. Optimal Synergy between Photovoltaic Panels and Hydrogen Fuel Cells for Green Power Supply of a Green Building—A Case Study. *Sustainability* **2021**, *13*, 6304. <https://doi.org/10.3390/su13116304>

[27] Raboaca MS, Bizon N, Grosu OV. Optimal energy management strategies for the electric vehicles compiling bibliometric maps. *Int J Energy Res.* 2021; 45: 10129–10172. <https://doi.org/10.1002/er.6503>

[28] Dhawankar, P.; Agrawal, P.; Abderezzak, B.; Kaiwartya, O.; Busawon, K.; Raboacă, M.S. Design and Numerical Implementation of V2X Control Architecture for Autonomous Driving Vehicles. *Mathematics* **2021**, *9*, 1696. <https://doi.org/10.3390/math9141696>

[29] Răboacă MS, Bizon N, Thounthong P. Intelligent charging station in 5G environments: Challenges and perspectives. *Int J Energy Res.* 2021; 45(11): 16418–16435. <https://doi.org/10.1002/er.6889>

- [30] Kumari, A.; Chintukumar Sukharamwala, U.; Tanwar, S.; Raboaca, M.S.; Alqahtani, F.; Tolba, A.; Sharma, R.; Aschilean, I.; Mihaltan, T.C. Blockchain-Based Peer-to-Peer Transactive Energy Management Scheme for Smart Grid System. *Sensors* **2022**, *22*, 4826. <https://doi.org/10.3390/s22134826>
- [31] Raboaca MS, Meheden M, Musat A, et al. An overview and performance evaluation of open charge point protocol from an electromobility concept perspective. *Int J Energy Res.* 2022; 46(2): 523-543. doi:[10.1002/er.7206](https://doi.org/10.1002/er.7206)
- [32] Flocea, R.; Hîncu, A.; Robu, A.; Senocico, S.; Traciu, A.; Remus, B.M.; Răboacă, M.S.; Filote, C. Electric Vehicle Smart Charging Reservation Algorithm. *Sensors* **2022**, *22*, 2834. <https://doi.org/10.3390/s22082834>
- [33] Viziteu, A.; Furtună, D.; Robu, A.; Senocico, S.; Cioată, P.; Remus Baltariu, M.; Filote, C.; Răboacă, M.S. Smart Scheduling of Electric Vehicles Based on Reinforcement Learning. *Sensors* **2022**, *22*, 3718. <https://doi.org/10.3390/s22103718>
- [34] Tanwar, S.; Kumari, A.; Vekaria, D.; Raboaca, M.S.; Alqahtani, F.; Tolba, A.; Neagu, B.-C.; Sharma, R. *GrAb*: A Deep Learning-Based Data-Driven Analytics Scheme for Energy Theft Detection. *Sensors* **2022**, *22*, 4048. <https://doi.org/10.3390/s22114048>
- [35] Rathod, T.; Jadav, N.K.; Alshehri, M.D.; Tanwar, S.; Sharma, R.; Felseghi, R.-A.; Raboaca, M.S. Blockchain for Future Wireless Networks: A Decade Survey. *Sensors* **2022**, *22*, 4182. <https://doi.org/10.3390/s22114182>
- [36] Mankodiya, H.; Jadav, D.; Gupta, R.; Tanwar, S.; Alharbi, A.; Tolba, A.; Neagu, B.-C.; Raboaca, M.S. XAI-Fall: Explainable AI for Fall Detection on Wearable Devices Using Sequence Models and XAI Techniques. *Mathematics* **2022**, *10*, 1990. <https://doi.org/10.3390/math10121990>
- [37] Kaur, M.; Gupta, S.; Kumar, D.; Verma, C.; Neagu, B.-C.; Raboaca, M.S. Delegated Proof of Accessibility (DPoAC): A Novel Consensus Protocol for Blockchain Systems. *Mathematics* **2022**, *10*, 2336. <https://doi.org/10.3390/math10132336>
- [38] Sandesara, M.; Bodkhe, U.; Tanwar, S.; Alshehri, M.D.; Sharma, R.; Neagu, B.-C.; Grigoras, G.; Raboaca, M.S. Design and Experience of Mobile Applications: A Pilot Survey. *Mathematics* **2022**, *10*, 2380. <https://doi.org/10.3390/math10142380>
- [39] Kakkar, R.; Gupta, R.; Agrawal, S.; Bhattacharya, P.; Tanwar, S.; Raboaca, M.S.; Alqahtani, F.; Tolba, A. Blockchain and Double Auction-Based Trustful EVs Energy Trading Scheme for Optimum Pricing. *Mathematics* **2022**, *10*, 2748. <https://doi.org/10.3390/math10152748>
- [40] Kumari, A.; Patel, R.K.; Sukharamwala, U.C.; Tanwar, S.; Raboaca, M.S.; Saad, A.; Tolba, A. AI-Empowered Attack Detection and Prevention Scheme for Smart Grid System. *Mathematics* **2022**, *10*, 2852. <https://doi.org/10.3390/math10162852>
- [41] Tanwar S, Kakkar R, Gupta R, et al. Blockchain-based electric vehicle charging reservation scheme for optimum pricing. *Int J Energy Res.* 2022; 46(11): 14994-15007. doi:[10.1002/er.8199](https://doi.org/10.1002/er.8199)
- [42] Trivedi, M.; Kakkar, R.; Gupta, R.; Agrawal, S.; Tanwar, S.; Niculescu, V.-C.; Raboaca, M.S.; Alqahtani, F.; Saad, A.; Tolba, A. Blockchain and Deep Learning-

Based Fault Detection Framework for Electric Vehicles. *Mathematics* **2022**, *10*, 3626. <https://doi.org/10.3390/math10193626>

[43] Kakkar, R.; Gupta, R.; Agrawal, S.; Tanwar, S.; Altameem, A.; Altameem, T.; Sharma, R.; Turcanu, F.-E.; Raboaca, M.S. Blockchain and IoT-Driven Optimized Consensus Mechanism for Electric Vehicle Scheduling at Charging Stations. *Sustainability* **2022**, *14*, 12800. <https://doi.org/10.3390/su141912800>

[44] Enescu, F.M.; Birleanu, F.G.; Raboaca, M.S.; Bizon, N.; Thounthong, P. A Review of the Public Transport Services Based on the Blockchain Technology. *Sustainability* **2022**, *14*, 13027. <https://doi.org/10.3390/su142013027>

[45] Abhay Bhatia, Anil Kumar, Arpit Jain, Adesh Kumar, Chaman Verma, Zoltan Illes, Ioan Aschilean, Maria Simona Raboaca, Networked control system with MANET communication and AODV routing, Heliyon, Volume 8, Issue 11, 2022, e11678, ISSN 2405-8440, DOI: [10.1016/j.heliyon.2022.e11678](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11678)

[46] Singh, S.; Singh, J.; Singh, S.; Goyal, S.B.; Raboaca, M.S.; Verma, C.; Suciu, G. Detection and Mitigation of GNSS Spoofing Attacks in Maritime Environments Using a Genetic Algorithm. *Mathematics* **2022**, *10*, 4097, <https://doi.org/10.3390/math10214097>

Lucrari in baza de date recunoscute de CNATDCU

[1] A Novel Hybrid Machine Learning Framework for Wind Speed Prediction, Mohamed Yassine Rhafes, Omar Moussaoui, Maria Simona Raboaca and Traian Candin Mihaltan, E3S Web Conf., 601 (2025) 00067, DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202560100067>

[2] Rhafes, M.Y., Moussaoui, O., Raboaca, M.S. (2025). Feature Selection Techniques for Linear Regression in Solar Irradiance Forecasting. In: Farhaoui, Y., Herawan, T., Imoize, A.L., Allaoui, A.E. (eds) Intersection of Artificial Intelligence, Data Science, and Cutting-Edge Technologies: From Concepts to Applications in Smart Environment. ICAISE 2024. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1353. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-88304-0_18

[3] Chiliment, Alexandra-Valentina & Tiron, Florina-Gabriela & Voicu, Andreea-Gabriela & Enescu, Florentina & Dragusin, Sebastian & Bizon, Nicu & Răboacă, Maria-Simona. (2024). A Study of Intelligent Parking: Urban Efficiency Through Advanced Automated Systems Based on Green Energy Management. 1-7. 10.1109/ECAI61503.2024.10607568, <https://dblp.dagstuhl.de/pid/383/0780.html>

[4] Rhafes, M.Y.; Moussaoui, O.; Raboaca, M.S.; Betari, A. Analysis and Prediction of Green Hydrogen Production Potential Using Deep Learning in Tan-Tan, 20 March 2025, Published by Springer Nature, p. 541-551, https://doi.org/10.1007/978-981-96-0644-3_49

[5] Pant, Piyush & Rajawat, Anand & Goyal, S B & Kemat, Baharu & Mihăltan, Traian & Verma, Chaman & Răboacă, Maria. (2023). Machine Learning Techniques for Analysis of Mars Weather Data. 1-7. 10.1109/ECAI58194.2023.10194233, DOI: [10.1109/ECAI58194.2023.10194233](https://doi.org/10.1109/ECAI58194.2023.10194233)

[6] Dhawale, Pravin & Kumar, Vikram & Bath, S.K. & Verma, Chaman & Raboaca, Maria & Filote, Constantin & Kumar, Deepak. (2023). Optimal Sizing of Security

- Constrained Unit Commitment Problem Integrated with Renewable Energy Sources and PEVs. 01-05. 10.1109/ECAI58194.2023.10194085, DOI:[10.1109/ECAI58194.2023.10194085](https://doi.org/10.1109/ECAI58194.2023.10194085)
- [7] G. Anusha et al., "Performance Comparison of 15-Level Multilevel Inverter Topologies," 2023 15th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), Bucharest, Romania, 2023, pp. 01-06, doi: 10.1109/ECAI58194.2023.10194137.
- [8] Culcer, Mihai & Iliescu, Mariana & Raboaca, Maria & Raceanu, Mircea & Enache, Adrian & Carcadea, Elena. (2023). P2G2P System - Case Study for A 5 MW Photovoltaic Park. 01-08. 10.1109/ECAI58194.2023.10194064, DOI:[10.1109/ecai58194.2023.10194064](https://doi.org/10.1109/ecai58194.2023.10194064)
- [9] Rata, Mihai & Rata, Gabriela & Constantin, Filote & Ciprian, Afanasov & Simona, Raboaca. (2020). Design of EV Charging Station Controlled by PLC. 189-192. 10.1109/EPE50722.2020.9305523, <https://doi.org/10.3390/en13010176>
- [10] Felseghi, Raluca & Raboaca, Maria & Bolboaca, Andrei. (2020). SIMULATION MODEL FOR DESIGNING A HYBRID ENERGY SYSTEM FOR RESIDENTIAL APPLICATION. 435-442. 10.5593/sgem2020/6.1/s26.057, DOI:[10.5593/sgem2020/6.1/s26.057](https://doi.org/10.5593/sgem2020/6.1/s26.057)
- [11] N. Bizon, E. Carcadea, M. Iliescu, M. S. Raboaca, I. Manta and S. I. Sorlei, "Estimation of hydrogen consumption for proton-exchange membrane fuel cells systems," 2021 13th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), Pitesti, Romania, 2021, pp. 1-7, doi: 10.1109/ECAI52376.2021.9515021.
- [12] Raboaca, Maria & Bizon, Nicu & Oana - Vasilica, Grosu & Carcadea, Elena & Filote, Constantin & Milici, Laurentiu. (2021). Fuell cell/ Photovoltaic panels/ Wind turbines Hybrid Systems analysed through bibliometric maps. 1-7. 10.1109/ECAI52376.2021.9515062.
- [13] Bizon, Nicu & Oproescu, M. & Carcadea, Elena & Raceanu, Mircea & Raboaca, Maria & Sorlei, Ioan-Sorin. (2021). Performance of the Fuel Economy Strategies for Fuel Cell Systems under Power Tracking Control. 1-5. 10.1109/ECAI52376.2021.9515176, DOI:[10.1016/j.apenergy.2019.113400](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113400)
- [14] Bizon, Nicu & Takorabet, Nouredine & Thounthong, Phatiphat & Carcadea, Elena & Raboaca, Maria & Sorlei, Ioan-Sorin. (2022). Power-following strategy for microgrids based on multiple renewable/fuel cells systems. 1-6. 10.1109/ECAI54874.2022.9847467, DOI:[10.1109/ECAI54874.2022.9847467](https://doi.org/10.1109/ECAI54874.2022.9847467)
- [15] P. Pant et al., "Blockchain for AI-Enabled Industrial IoT with 5G Network," 2022 14th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), Ploiesti, Romania, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/ECAI54874.2022.9847428, DOI:[10.1007/978-981-99-6544-1_16](https://doi.org/10.1007/978-981-99-6544-1_16)
- [16] Enescu, Florentina & Raboaca, Maria & Bizon, Nicu & Ionescu, Valeriu. (2022). Assessment of Home Charging Station feeding electric vehicle using PV - Green Energy. 1-6. 10.1109/ECAI54874.2022.9847463, DOI:[10.1109/ECAI54874.2022.9847463](https://doi.org/10.1109/ECAI54874.2022.9847463)
- [17] Rajawat, Anand & Goyal, S B & Bedi, Pradeep & Mihaltan, Traian & Neagu, Bogdan & Raboaca, Maria & Verma, Chaman. (2022). Electrical Fault Detection for Industry 4.0 using Fusion deep Learning Algorithm. 658-662. 10.1109/EPE56121.2022.9959762, DOI:[10.1109/EPE56121.2022.9959762](https://doi.org/10.1109/EPE56121.2022.9959762)
- [18] Ravi, Renjith & Raboaca, Maria & Goyal, S B & Verma, Chaman & Neagu, Bogdan. (2022). A Low-Cost Industrial Automation System Using IoT and Cloud

Computing.

10.1109/EPE56121.2022.9959772,

DOI: [10.1109/EPE56121.2022.9959772](https://doi.org/10.1109/EPE56121.2022.9959772)

- [19] Loganathan, N & Prasanth, J & Saravanan, R & Jayasuriya, Vimukthi & Karthikeyan, S. (2021). Smart Substation Monitoring and Control. 657-661. 10.1109/ICACCS51430.2021.9442002, DOI: [10.1109/ICACCS51430.2021.9442002](https://doi.org/10.1109/ICACCS51430.2021.9442002)
- [21] Pant, Piyush & Rajawat, Anand & Goyal, S B & Singh, Deepmala & Neagu, Bogdan & Raboaca, Maria & Verma, Chaman. (2022). Using Machine Learning for Industry 5.0 Efficiency Prediction Based on Security and Proposing Models to Enhance Efficiency. 909-914. 10.1109/SMART55829.2022.10047387, DOI: [10.1109/SMART55829.2022.10047387](https://doi.org/10.1109/SMART55829.2022.10047387)
- [22] Rajawat, Anand & Goyal, S B & Bedi, Pradeep & Neagu, Bogdan & Raboaca, Maria & Verma, Chaman. (2022). Cyber-Physical System for Industrial Automation Using Quantum Deep Learning. 897-903. 10.1109/SMART55829.2022.10047730, DOI: [10.1109/SMART55829.2022.10047730](https://doi.org/10.1109/SMART55829.2022.10047730)
- [23] V. K. Kamboj, A. B. Krishna, C. Verma, M. S. Raboaca, C. Filote and M. Stepanova, "Chaotic American zebra search optimization algorithm for benchmark challenges," *2023 15th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, Bucharest, Romania, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/ECAI58194.2023.10194001.
- [24] Rajawat, Anand & Goyal, S B & Goyal, Aarti & Rajawat, Kavita & Raboaca, Maria & Verma, Chaman & Mihaltan, Traian. (2023). Enhancing Security and Scalability of Metaverse with Blockchain-based Consensus Mechanisms. 01-06. 10.1109/ECAI58194.2023.10194035, DOI: [10.1109/ECAI58194.2023.10194035](https://doi.org/10.1109/ECAI58194.2023.10194035)
- [25] Rajawat, Anand & Goyal, S B & Solanki, RamKumar & Raboaca, Maria & Mihaltan, Traian & Illés, Zoltán & Verma, Chaman. (2023). Blockchain-based Security Framework for Metaverse: A Decentralized Approach. 01-06. 10.1109/ECAI58194.2023.10193962, DOI: [10.1109/ECAI58194.2023.10193962](https://doi.org/10.1109/ECAI58194.2023.10193962)
- [26] Narayan, Saraswati & Kumar, Dr. Neerendra & Koul, Neha & Verma, Chaman & Enescu, Florentina & Raboaca, Maria. (2023). Hybrid Approach for Resource Allocation and Task Scheduling on Cloud Computing: A Review. 10.1007/978-981-19-9876-8_40, DOI: [10.1007/978-981-19-9876-8_40](https://doi.org/10.1007/978-981-19-9876-8_40)
- [27] Kaur, M., Gupta, S., Kumar, D., Raboaca, M.S., Goyal, S.B., Verma, C. (2023). IPFS: An Off-Chain Storage Solution for Blockchain. In: Singh, Y., Singh, P.K., Kolekar, M.H., Kar, A.K., Gonçalves, P.J.S. (eds) *Proceedings of International Conference on Recent Innovations in Computing. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 1001. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-9876-8_39
- [28] Haq, Inam & Hassan, Inzimam & Shah, Hilal. (2023). Machine Learning Techniques for Result Prediction of One Day International (ODI) Cricket Match. 1-5. 10.1109/I2CT57861.2023.10126241, DOI: [10.1109/I2CT57861.2023.10126241](https://doi.org/10.1109/I2CT57861.2023.10126241)
- [29] Chouhan, Robin & Rajawat, Anand & Goyal, S B & Bedi, Pradeep & Neagu, Bogdan & Raboaca, Maria & Verma, Chaman. (2022). Experimental Analysis for Position Estimation using Trilateration and RSSI in Industry 4.0. 904-908. 10.1109/SMART55829.2022.10047276, DOI: [10.1109/SMART55829.2022.10047276](https://doi.org/10.1109/SMART55829.2022.10047276)
- [30] Raboaca, Maria-Simona & Mihaltan, Traian. (2023). Hydrogen Technology Integration for Energy Support of Electric Vehicle Charging Stations. 10.4018/978-1-6684-6721-3.ch006, DOI: [10.4018/978-1-6684-6721-3.ch006](https://doi.org/10.4018/978-1-6684-6721-3.ch006)

7.4 Perspective de dezvoltare ulterioară

Extinderea platformei către un sistem multi-sursă, prin integrarea altor forme de energie regenerabilă (eoliană, geotermală, hidroelectrică), pentru a evalua comportamentul sinergic al unui sistem energetic hibrid în regim de autonomie parțială sau totală.

Implementarea de algoritmi de tip inteligență artificială (IA) și învățare automată (machine learning), cu scopul de a realiza predicții asupra producției fotovoltaice, detectarea anomaliilor de funcționare, precum și optimizarea automată a strategiei de stocare și consum energetic.

Scalarea arhitecturii software la nivelul unui microgrid urban sau rural, cu posibilitatea de integrare în rețele inteligente (smart grids) și participarea activă a prosumatorilor (producători-consumatori) în piața de energie.

Automatizarea deciziilor de comutare între sursele de energie, în funcție de costuri, cerere, nivelul de radiație solară sau starea sistemului de stocare, utilizând un sistem de management energetic (EMS) avansat, bazat pe logici fuzzy, optimizare multi-obiectiv sau control adaptiv.

Extinderea funcționalităților aplicației web prin implementarea de dashboarduri personalizabile, alerte automate și notificări privind depășirea anumitor praguri operaționale, precum și prin dezvoltarea unei interfețe mobile pentru monitorizare de la distanță.

Integrarea unei platforme de tranzacționare peer-to-peer (P2P) a energiei, bazată pe contracte inteligente (smart contracts) și blockchain, prin care energia regenerabilă produsă local poate fi comercializată în mod descentralizat și securizat între participanți.

Bibliografie

- [1] <https://energie.gov.ro/strategia-energetica-nationala/>, accesat în 06.06.2025
- [2] https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/eu-budget/eu-borrower-investor-relations/nextgenerationeu_en, accesat în 06.06.2025
- [3] https://commission.europa.eu/business-economy-euro/economic-recovery/recovery-and-resilience-facility_ro, accesat în 06.06.2025
- [4] <https://proiecte.pnrr.gov.ro/#/home>, accesat în 06.06.2025
- [5] https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_ro, accesat în 06.06.2025
- [6] https://ourworldindata.org/grapher/modern-renewable-prod?country=~OWID_EUR, accesat în 06.06.2025
- [7] M. Thema, F. Bauer, M. Sterner - *Power-to-Gas: Electrolysis and methanation status review*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 112, 2019, pp. 775-787
- [8] <https://www.mathworks.com/products/simulink.html>, accesat în 06.06.2025
- [9] <https://www.trnsys.com/>, accesat în 06.06.2025
- [10] <https://ihoga.unizar.es/en/>, accesat în 06.06.2025

- [11] <https://openmodelica.org/>, accesat in 06.06.2025
- [12] <https://www.opal-rt.com/>, accesat in 06.06.2025
- [13] <https://www.opal-rt.com/systems-efpgasim/>, accesat in 06.06.2025
- [14] <https://www.opal-rt.com/systems-ephasorsim/>, accesat in 06.06.2025
- [15] <https://www.opal-rt.com/system-emegasim/>, accesat in 06.06.2025
- [16] <https://www.opal-rt.com/systems-hypersim/>, accesat in 06.06.2025
- [17] *www.lazard.com: "Levelized Cost of Energy and Levelized Cost of Storage, 2018"*, accesata in 24.06.2024
<https://www.lazard.com/research-insights/levelized-cost-of-energy-and-levelized-cost-of-storage-2018/>
- [18] Juan Montoya, Ron Brandl, Keerthi Vishwanath et. al., Advanced Laboratory Testing Methods Using Real-Time Simulation and Hardware-in-the-Loop Techniques: A Survey of Smart Grid International Research Facility Network Activities, *Energies* 2020, 13, 3267, DOI:[10.3390/en13123267](https://doi.org/10.3390/en13123267)
- [19] Bermudez, O. Gomofov, X. Kestelyn, F. Barrero, N.K. Nguyen, E. Semail, Model predictive optimal control considering current and voltage limitations: Real-time validation using OPAL-RT technologies and five-phase permanent magnet synchronous machines, *Mathematics and Computers in Simulation*, Volume 158, 2019, Pages 148-161, 10.1016/j.matcom.2018.07.005.
DOI:[10.1016/j.matcom.2018.07.005](https://doi.org/10.1016/j.matcom.2018.07.005)
- [20] Bian, Desong & Kuzlu, Murat & Pipattanasomporn, Manisa & Rahman, Saifur & Wu, Yiming. (2015). Real-time co-simulation platform using OPAL-RT and OPNET for analyzing smart grid performance. 1-5. 10.1109/PESGM.2015.7286238.
DOI:[10.1109/PESGM.2015.7286238](https://doi.org/10.1109/PESGM.2015.7286238)

