

UNIVERSITATEA ȘTEFAN CEL MARE DIN SUCEAVA
Școala Doctorală de Inginerie și Științe Aplicate (EASDS)
Electrotehnică

CONTRIBUȚII PRIVIND EFICIENȚA ȘI OPTIMIZAREA SISTEMELOR DE CENTRALE ELECTRICE HIBRIDE FĂRĂ STOCARE

**Teza de doctorat
Rezumat**

COORDONATOR ȘTIINȚIFIC:

Prof. univ. dr. ing. Laurențiu Dan MILICI

Doctorand:

Ing. Mahmoud ABU BANDORA

SUCEAVA

2025

Cuprins

SINTEZĂ	5
INTRODUCERE	7
CAPITOLUL I	
STADIUL ACTUAL AL SISTEMELOR DE CENTRALE ELECTRICE REGENERABILE ȘI HIBRIDE CU ȘI FĂRĂ STOCARE	9
1.1. SURSE REGENERABILE DE ENERGIE	10
1.1.1. Panouri fotovoltaice.....	11
1.1.2. Atomi de hidrogen.....	12
1.1.3. Energie geotermală.....	12
1.1.4. Energie din biomasă	13
1.1.5. Energia oceanică.....	13
1.2. ECHIPAMENTE PENTRU CENTRALE HIDRAULICE	14
1.2.1. Structuri de centrale electrice în centralele hidroelectrice	14
1.2.2. Linii de transmisie	15
1.3. SISTEME DE CENTRALE ELECTRICE HIBRIDE	18
1.3.1. Stocarea apei în rezervoare.....	19
1.3.2. Centrale electrice hibride prin pompare.....	20
CAPITOLUL II	
ANALIZA HIDROCENTRALELOR	23
2.1 ANALIZA BLIOMETRICĂ A CENTRALELOR HIDROELECTRICE	23
2.1.1 Cercetarea în domeniul sistemelor hidroenergetice	24
2.1.2 Co-apariția cuvintelor cheie.....	26
2.1.3 Tendințe viitoare de cercetare.....	26
2.2 DESCRIEREA CENTRALELOR EOLIENE, SOLARE ȘI HIDROELECTRICE.....	28
2.2.1 Arhitectura turbinelor eoliene.....	29
2.2.2 Arhitectura solară (PV).....	30
2.2.3 Descrierea sistemului hidro	32

CAPITOLUL III	
SIMULAREA CENTRALELOR EOLIENE, SOLARE ȘI	
HIDROELECTRICE	37
3.1 ANALIZA COMPARATIVĂ A PERFORMANȚEI SISTEMELOR	
REGENERABILE MULTI-ENERGIE	38
3.1.1 Compararea simulării cu experimentul luând în considerare un	
model matematic	39
3.1.2 Turbine hidraulice.....	40
3.1.3 Centrală fotovoltaică-WT-hidroelectrică	42
3.2 SIMULAREA CENTRALELOR EOLIENE, SOLARE ȘI	
HIDROELECTRICE	45
3.2.1 Centrala eoliană	45
3.2.2 Centrala solară	48
3.2.3 Hidrocentrala	50
CAPITOLUL IV	
REZULTATELE EXPERIMENTALE ȘI ACHIZIȚIA DATELOR DE	
AMPLASAMENT	51
4.1 EVALUAREA PERFORMANȚEI PENTRU INTEGRAREA	
ENERGIEI DIN SURSE REGENERABILE	51
4.1.1 Sisteme hibride multi-energetice (MEHS).....	51
4.1.2 Caracteristica sistemului de pompare	53
4.1.3 Pompa utilizată ca turbină.....	54
4.1.4 Pierderi hidraulice și analiza pompei-turbină de tip S	54
4.2 ACHIZIȚIA DE DATE PENTRU CENTRALELE EOLIENE, SOLARE	
ȘI HIDROELECTRICE	56
4.2.1 Centrala eoliană	58
4.2.2 Instalația fotovoltaică.....	60
4.3 REZULTATE	62
CAPITOLUL V	
CONCLUZII.....	65
BIBLIOGRAFIE	71

SINTEZĂ

Sistemele de centrale electrice hibride reprezintă un domeniu important de studiu în domeniul energiei regenerabile. Se concentrează în primul rând pe sistemele care integrează sursele eoliene, fotovoltaice (PV) și hidroenergetice. Aceste sisteme hibride valorifică puterea vântului, soarelui și apei pentru a genera energie electrică, oferind o soluție durabilă și ecologică pentru generarea de energie. Eficiența și optimizarea sunt considerente cheie în proiectarea și operarea acestor sisteme hibride de centrale electrice. Eficiența se referă la capacitatea sistemului de a converti energia din vânt, soare și apă în energie electrică utilizabilă. În schimb, optimizarea implică ajustarea parametrilor sistemului pentru a maximiza eficiența, a minimiza costurile și a asigura o sursă de alimentare fiabilă.

Capitolul I prezintă cercetarea privind sursele regenerabile de energie, inclusiv energia solară, eoliană și hidro. Aceste resurse pot fi transformate în diverse forme de energie curată și utilă și sunt refăcute în mod natural. Capitolul evidențiază cât de cruciale sunt aceste surse pentru reducerea dependenței de combustibilii fosili și pentru promovarea unui viitor mai durabil și mai ecologic. Pompele și sistemele de pompare sunt prezentate, iar capitolul abordează apoi mecanica acestor sisteme. Aceste dispozitive mecanice le oferă mai multă energie pentru a crește debitul fluidului și presiunea statică. Pe lângă faptul că oferă servicii rezidențiale, comerciale și agricole, acestea sunt părți esențiale ale centralelor hidroelectrice complicate.

Capitolul II acoperă examinarea în detaliu a centralelor hidroelectrice și începe cu o analiză bibliometrică a subiectului. Studiul prezintă o evaluare numerică a celor mai frecvent citate publicații legate de hidroenergie, tendințe de cercetare și publicații în general. Oferă un rezumat amplu al stadiului cercetării și dezvoltării tehnologiei

hidroenergetice, subliniind domenii importante de concentrare și evidențiind lacunele din literatura existentă.

În capitolul III, simularea centralelor eoliene, solare și hidroelectrice și colectarea datelor sunt acoperite în detaliu. Aceste surse de energie regenerabilă sunt simulate în prima secțiune. Înțelegerea capacităților și performanței acestor centrale electrice necesită simulare. Aceasta presupune dezvoltarea reprezentărilor matematice ale proprietăților operaționale și fizice ale centralelor electrice. Puterea de ieșire în diferite scenarii operaționale și condiții meteorologice poate fi prezisă prin aceste simulări, ceea ce ajută la optimizarea proiectării și funcționării centralelor electrice. Procesul de achiziție a datelor pentru centralele hidro, solare și eoliene este acoperit în a doua secțiune. Procesul de achiziție a datelor presupune obținerea parametrilor operaționali, a vremii și a datelor de ieșire de la centralele electrice în timp real. Înțelegerea performanței reale a centralelor electrice și identificarea zonelor de îmbunătățire depind de aceste date, care sunt, de asemenea, esențiale pentru validarea modelelor.

În Capitolul IV sunt prezentate rezultatele experimentale și achiziția datelor de amplasament, analiză ce presupune compararea datelor de performanță reale și simulate, găsirea diferențelor și ajustarea modelelor după cum este necesar. Analiza ajută, de asemenea, la înțelegerea modului în care diferite elemente, cum ar fi vremea, eficiența echipamentelor și tacticile operaționale, afectează performanța centralelor electrice. Analiza datelor este prezentată în capitol sub formă de grafice concludente. Aceste grafice reprezintă vizual datele de performanță, facilitând înțelegerea și interpretarea (aceste grafice sunt derivate din tabele de date empirice furnizate de sistemul SCADA al instalației, din care un segment substanțial produce în prezent energie). Ele atrag atenția asupra modelelor și tendințelor semnificative și arată modul în care diferitele variabile se relaționează între ele. Aceste reprezentări grafice diseminează în mod eficient concluziile analizei și ajută la procesul de luare a deciziilor.

Concluziile studiului sunt prezentate în capitolul V.

INTRODUCERE

Societatea modernă valorifică energia, fie că este electrică sau altceva. Sunt prezente industrii grele și ușoare, mașini, trenuri, motociclete, biciclete electrice, telecabine și sporturi. Acestea sunt uneori necesare pentru a depăși obstacolele sau pentru a transforma noaptea în zi în diferite țări. Niciun oraș de pe Pământ nu duce lipsă de electricitate astăzi. Energia solară poate alimenta corturi în zone îndepărtate unde infrastructura este costisitoare sau dificil de furnizat.

După ce s-a gândit la aceste dificultăți timp de decenii, lumea industrializată a început recent să folosească energia convențională, în timp ce trece progresiv la energiile regenerabile, în principal energia eoliană și solară, fie prin panouri solare, fie prin căldură. Deoarece nu este posibil să produci acest tip de energie continuu pe parcursul zilei, au luat în considerare modalități de a o stoca pentru utilizare atunci când sursele naturale nu sunt disponibile.

Stocarea căldurii în cazane sau prin condensarea căldurii, transferul acesteia la căldură fierbinte și stocarea acesteia în cazane mari este o altă metodă comună. Alții au folosit energia stocată. Utilizarea energiei produse atunci când apa poate fi separată în oxigen și hidrogen este o altă abordare pentru stocarea energiei. Hidrogenul din rezervoare poate alimenta turbine cu gaz și poate genera energie electrică în aceste perioade. După investiția și întreținerea inițială, această energie este accesibilă și are o amprentă de carbon mai mică decât metodele convenționale. Este cea mai bună opțiune, deoarece toate metodele de stocare a energiei pierd o parte din energie. Există mai multe tehnici pentru a stoca energia în afara compresiei văii și a o elibera prin sisteme reglementate, dar nu există suficientă suprafață pentru a le acoperi pe toate.

Energia hidroelectrică este ecologică și sigură. În 2015, au fost create 3.930 TWh, reprezentând 16% din producția globală de energie și

78% din energia regenerabilă. Disponibilitatea apei este afectată de schimbările climatice. Prin reducerea emisiilor de carbon, energia hidroelectrică reduce emisiile de gaze cu efect de seră. Energia hidroelectrică asigură energia și minimizează emisiile de gaze cu efect de seră. Energia hidroelectrică reduce emisiile de CO₂ cu 3 gigatone anual.

Canalele de apă sunt un transport excelent. Diferite cercetări privind soluțiile de surse de energie sugerează că poate fi folosit pentru stocarea energiei, implicând faptul că anumite construcții pot folosi cu ușurință surse regenerabile de energie. Apa pompei și generatorului este echilibrată. Utilizarea acumulării prin pompare pentru a susține sursele de energie intermitente poate crește rentabilitatea investiției unui sistem energetic responsabil. S-au construit aproape un milion de mile de conducte de apă și canalizare alimentate gravitațional în zonele deluroase rurale și urbane pentru sisteme hidroenergetice. Este sporadic, dar din ce în ce mai consistent. ESS se ocupă de problemele IHS intermitente și nedispecerizabile prin acomodare spațio-temporală. O conductă forțată este o ecluză, o poartă, o structură de admisie sau o conductă închisă care mișcă apa sau alimentează turbine hidro și sisteme de canalizare. Conductele forțate provin din iazuri și mori de apă. Un rezervor de supratensiune și o poartă au conducte forțate hidroelectrice. Pot folosi blocuri de miez, regulatoare de aerisire și piloni de susținere.

Acest studiu prezintă elementele cheie ale sistemului propus pentru fiecare tip de sistem sau componentă, pe baza evaluărilor din multe națiuni. Unii au exagerat beneficiile resurselor naturale. În loc de rezervoare construite, au utilizat energie suplimentară de producție pentru a stoca apă în rezervoare mari de apă de suprafață. Conservarea apei cu energie de producție deschide un nou capitol privind energia regenerabilă. Păstrarea frumuseții naturale a zonei cât mai mult posibil produce mai puține gaze cu efect de seră decât metodele alternative de depozitare. Zona investigată consumă 27.012 megawați pe zi, cuprinzând energie din fabrici, rezidențiale și clădiri publice, echivalentul unui sfert de milion de oameni. Disponibilitatea energiei variază pe parcursul zilei pentru cele două surse. Energia eoliană și solară poate fi generată timp de 6-10 ore pe zi, în funcție de anotimp, respectiv 6 ore pe zi. Generarea de energie din aceste surse poate varia, unele zile folosindu-se doar una.

CAPITOLUL I

STADIUL ACTUAL AL SISTEMELOR DE CENTRALE ELECTRICE REGENERABILE ȘI HIBRIDE CU ȘI FĂRĂ STOCARE

În Statele Unite, o gospodărie medie folosește 13,1 kW de energie electrică pe zi, comparativ cu o medie mondială de 0,33%. Pentru fiecare milion de oameni din lume, va fi nevoie de 1 GW de energie electrică dacă se stabilește un obiectiv global de 1 kW de persoană pentru 2050. Există 10.000 de astfel de cohorte pe Pământ, astfel încât vârfurile zilnice ale cererii de energie electrică și energia regenerabilă intermitentă duc la întreruperi deja frecvente de mai multe ore. Astfel, pentru a reduce impactul întreruperilor rare de aprovizionare, ar fi avantajos ca fiecare grup să aibă stocare locală de rezervă a energiei sau a energiei electrice cuprinsă între 1-2 GW. De exemplu, majoritatea celor mai mari rezervoare de stocare hidroelectrică prin pompă au o capacitate de 50 GWh, în timp ce cel mai mare sistem de stocare electrochimică luat în considerare are o capacitate de 240 MWh. Principalii candidați pentru stocarea energiei sunt stocarea chimică cu materiale precum amoniac, hidrogen, metanol sau hidrocarburi ușoare; stocarea electrochimică în bateriile de flux; stocarea energiei aerului comprimat; și stocarea hidro folosind pomparea subterană. Pe de altă parte, se va contrazice faptul că majoritatea capacității de stocare necesare este în prezent indisponibilă și că niciunul dintre cele patru sisteme nu a fost încă dezvoltat sau testat [1].

Asigurarea unei cantități substanțiale de stocare a energiei pentru zece miliarde de indivizi până la sfârșitul secolului XXI reprezintă un obstacol fără precedent care depășește limitele istoriei umane.

Magnitudinea puterii necesare, chiar și după estimări conservatoare, este îngrijorătoare. Planurile tale ar trebui să fie incredibil de ambițioase, implicând prefixe precum giga și tera împreună cu unități de energie precum jouli și wați. Acest lucru se bazează doar pe ideea modului în care poate fi realizată această stocare a energiei. Majoritatea oamenilor au dificultăți în a înțelege aceste cifre. Din păcate, mulți oameni se fereșc de astfel de întreprinderi masive și, fără să-și dea seama, le ignoră viabilitatea. Un exemplu concret în acest sens ar fi să aducem în discuție o tehnologie speculativă care ar schimba lumea dacă s-ar întâmpla. În loc să cadă în această capcană, conducătorii ar trebui să se întrebe: ar fi civilizația lumii încă în pericol dacă estimările lui Fermi (bazate pe tendințele actuale) care au condus proiectele la scară largă ar fi doar de două ori? Nu este imperativ ca cei ce decid să ia măsuri proactive dacă aceste noi calcule produc statistici care sunt chiar și ușor similare cu cele care susțin evitarea? Amânarea soluției problemei pentru câteva cicluri electorale până când viitorul este clar poate fi interpretată ca evitarea responsabilității și transferarea acesteia altora. Dacă acesta este de fapt cazul, conducătorii ar trebui să aibă obligația clară și imediată de a-și furniza evaluările independente folosind tehnologie modernă [1].

1.1. SURSE REGENERABILE DE ENERGIE

Sursele regenerabile de energie provin din resurse nelimitate și sunt refăcute în mod natural. Acestea oferă un substitut durabil pentru sursele finite de energie neregenerabile, cum ar fi cărbunile, gazele naturale și petrolul [2]. Unele dintre principalele tipuri de surse regenerabile de energie sunt [2], [3], [4]:

- Energia solară: Aceasta este energia valorificată de la soare. Este folosit pentru generarea de energie electrică, încălzire și răcire;
- Energie eoliană: Turbinele eoliene transformă energia cinetică a vântului în energie mecanică, transformată apoi în electricitate;
- Hidroelectricitate: Aceasta implică valorificarea energiei apei curgătoare sau care cade pentru a genera electricitate prin baraje;

- Atomi de hidrogen: Hidrogenul, atunci când este separat de alte elemente, poate fi folosit ca și combustibil curat;
- Energie geotermală: Aceasta implică valorificarea energiei termice de la pământ. Poate fi folosit pentru încălzire, răcire și generare de energie electrică;
- Energie din biomasă: Aceasta implică utilizarea materialelor organice (cum ar fi materia vegetală și animală) pentru a produce energie electrică, căldură sau combustibili;
- Energia oceanică: Aceasta implică valorificarea energiei din valurile oceanului, marea și diferențele de temperatură.

Numeroase avantaje provin din aceste surse de energie regenerabilă, cum ar fi scăderea emisiilor de carbon, îmbunătățirea fiabilității rețelei, crearea de locuri de muncă, prețuri mai mici la energie și o mai mare independență energetică [2]. Acestea sunt o parte vitală a eforturilor de combatere a schimbărilor climatice și de promovare a dezvoltării durabile. Începând cu 2022, energia regenerabilă a generat peste 20% din toată energia electrică din SUA, procent în creștere [3], [4].

1.1.1. Panouri fotovoltaice

Sistemele de panouri fotovoltaice (fotovoltaice), cunoscute și sub numele de sisteme de energie solară, sunt concepute pentru a furniza energie solară utilizabilă folosind fotovoltaică. Celulele solare, care sunt elementele de bază ale panourilor fotovoltaice, colectează lumina soarelui. Ei folosesc o tehnică cunoscută sub numele de "efectul fotovoltaic" pentru a folosi acest soare pentru a genera un curent electric. În acest proces, electricitatea este produsă direct din radiația solară. De obicei, o substanță de siliciu care produce electricitate atunci când este expusă la lumina soarelui este folosită pentru a face celule solare. Curentul continuu (DC) este energia electrică produsă de celulele solare. Această energie electrică DC este ulterior transformată în curent alternativ (AC), forma de electricitate care poate fi utilizată în case, de către dispozitive cunoscute sub numele de invertoare. Sistemele de panouri fotovoltaice pot furniza energie electrică unei rețele electrice, precum și locuri fără linii electrice sau alte sisteme de distribuție a energiei electrice. Acestea vin în orice

dimensiune și sunt ușor de instalat. Nu există multe consecințe asupra mediului ale sistemelor fotovoltaice instalate pe clădiri. Acestea produc energie electrică curată, utilizabilă, ceea ce reduce costurile facturii electrice [5], [6], [7].

Energia solară este transformată în energie electrică printr-un sistem fotovoltaic (PV). Numeroase piese, inclusiv celule, conexiuni electrice, montare mecanică și un mijloc de conversie a ieșirii electrice, alcătuiesc un sistem fotovoltaic. Când modulele fotovoltaice sunt conectate corect, acestea creează panouri solare, care împreună alcătuiesc unitatea generatoare a unui sistem solar fotovoltaic. În funcție de nevoi, o serie de module solare cu o capacitate de mii de megawați sau o fermă solară masivă poate fi de dimensiunea unității de generare solară. Bateriile, un dispozitiv independent sau integrarea într-o rețea electrică mai mare sunt opțiunile pentru stocarea energiei electrice produse [5].

1.1.2. Atomi de hidrogen

Starea energetică a unui atom de hidrogen, care este definită de pozițiile și vitezele electronului și protonului său, este denumită energie a atomului de hidrogen [29]. Energiile cinetice și potențiale combinate ale unui atom de hidrogen alcătuiesc energia sa totală [30]. Mecanica cuantică stă la baza modului în care funcționează energia unui atom de hidrogen. Electronul încărcat negativ în modelul Bohr al atomului de hidrogen se învârt în jurul protonului încărcat pozitiv la anumite niveluri de energie [31]. O anumită cantitate de energie, sau lungimea de undă a luminii, este eliberată sau absorbită de un electron pe măsură ce se deplasează între aceste niveluri de energie. Hidrogenul are un spectru distinct de emisie atomică și absorbție din această cauză [32].

1.1.3. Energie geotermală

Căldura pe care o produce Pământul este cunoscută sub numele de energie geotermală. Recoltat pentru consumul uman, este o resursă regenerabilă [36]. În plus față de formarea inițială a planetei, dezintegrarea radioactivă a mineralelor produce căldură. Deoarece

energia geotermală este refăcută în mod constant, este o resursă fiabilă și durabilă [37]. Centralele geotermale produc energie electrică prin valorificarea căldurii naturale a Pământului. Magma încălzește rezervoarele de apă subterane, determinând aburul să crească și să fie direcționat în centrala electrică. După aceea, aburul alimentează turbinele, care la rândul lor alimentează generatoarele pentru a produce energie electrică [38]. Într-un raport recent, Departamentul de Energie (DOE) din SUA a examinat modul în care energia geotermală de generație următoare ar putea revoluționa mediul energetic din SUA. Studiul demonstrează modul în care Statele Unite ar putea produce cel puțin 90 de gigawați de energie geotermală până în 2050, o creștere de douăzeci de ori folosind tehnologia geotermală de ultimă oră [39].

1.1.4. Energie din biomasă

Energia din biomasă este derivată din materiale organice, în special deșeuri organice și plante pentru a genera energie [47]. Produsă de plante prin fotosinteză, biomasa este materie organică derivată din plante și animale cu energie chimică de la soare. Biomasa poate fi arsă direct pentru a produce căldură sau poate fi prelucrată în combustibili lichizi și gazoși [48]. Pe lângă producerea de energie electrică și termică, energia din biomasă este un înlocuitor dezirabil pentru combustibilul utilizat în transport. În plus, gestionarea durabilă a deșeurilor este bioenergia derivată din culturi alimentare, alge, reziduuri forestiere, biomasă agricolă și deșeuri municipale. Cu toate acestea, majoritatea instalațiilor de conversie a bioenergiei sunt încă în faza de cercetare sau pilot și au numeroase constrângeri financiare și tehnologice [49].

1.1.5. Energia oceanică

Energia oceanică, denumită uneori energie hidrocinetică sau energie marină, este o sursă abundentă de energie regenerabilă care produce energie din apa oceanului [54]. Captează energia conținută în variațiile temperaturii oceanului, salinității, valurilor și mareelor. Energia

cinetică, sau energia în mișcare, este creată de mișcarea apei în oceanele din întreaga lume [55].

Sunt patru tipuri principale de sisteme energetice oceanice [54]:

- Sisteme de baraj mareic: Aceste construcții asemănătoare barajelor au fost construite peste intrările oceanice pentru a crea un bazin mareic. Pentru a genera energie electrică în ambele direcții, turbinele instalate în interiorul barajului de maree permit apei să intre în bazin în timpul mării înalte și să iasă în timpul mării joase;
- Sisteme de curent mareic: Funcționează similar cu turbinele eoliene subacvatice prin instalarea generatoarelor electrice direct în fluxul de apă. Pe măsură ce apa curge prin generatoare, acestea valorifică energia cinetică a apei și o transformă în electricitate;
- Sisteme de energie a valurilor: Pentru a transforma energia mecanică a mișcării undelor în energie electrică, aceste sisteme se bazează pe mișcarea undelor;
- Conversia energiei termice oceanice (OTEC): Folosind diferența de temperatură dintre apa de suprafață mai caldă și apa mult mai rece de dedesubt, un sistem în buclă închisă poate produce energie electrică prin alimentarea unei turbine.

1.2. ECHIPAMENTE PENTRU CENTRALE HIDRAULICE

Centralele hidroelectrice, uneori denumite centrale hidraulice, folosesc energia apei care cade sau curge pentru a produce electricitate. Atât componentele mecanice, cât și cele electrice sunt incluse în ele [67].

1.2.1. Structuri de centrale electrice în centralele hidroelectrice

Arhitectura unei centrale electrice este determinată de locația sa. În funcție de cerințe, există două tipuri diferite de centrale electrice: de suprafață și subterane.

În cazul centralelor electrice de suprafață, suprastructura este susținută de fundații subterane. Centrala de suprafață a fost împărțită în mod tradițional în trei secțiuni care sunt separate de admisie, și anume: substructură, structură intermediară și suprastructură.

Substructurile sunt zone ale unei centrale electrice care ajung de la sol sau rocă până la vârful tubului de tiraj. Scopul este de a bloca scurgerea apei din turbină. Turbinele cu impuls nu au nevoie de tub de tiraj; o galerie de ieșire va fi suficientă. Există două scopuri structurale pentru substructură. Scopul principal este de a susține în siguranță utilajele și alte încărcături care sunt stivuite peste goluri. A doua funcție este de a servi ca o piesă de fundație de tranziție, dispersând uniform sarcinile mari ale mașinii pe sol pentru a menține presiunea maximă la sol în limitele admise.

Structura intermediară se referă la zona unei centrale electrice care se întinde de la partea superioară a fundației generatorului până la partea superioară a tubului de tiraj este cunoscută sub numele de structură intermediară. Carcasa de trecere furnizează apă pentru turbină și este una dintre cele două părți esențiale ale centralei electrice care sunt găzduite în această structură. Folosind palete de ghidare, carcasa spiralată sau spiralată a turbinei distribuie și transportă fără probleme apa de la conducta forțată la turbină. Doar turbinele de reacție necesită carcasa de trecere. Într-o turbină cu impulsuri, poziția carcasei de trecere este luată de un colector care furnizează apă jeturilor. În funcție de tipul de carcasă utilizată, betonul care îl înconjoară ar avea un rol structural.

1.2.2. Linii de transmisie

Sistemul este un mediu conductiv format din doi sau mai mulți conductori care permit transmiterea energiei electrice dintr-un loc în altul. Aplicațiile liniilor de transmisie sunt importante având în vedere transportul energiei electrice și transmisia de comunicații dintr-un punct în altul. Elementele circuitului liniei de transmisie iau în considerare condensatoare, rezistențe, inductoare și filtre.

Componentele liniilor de transmisie

Scopul unui cablu de alimentare este de a transfera cu siguranță energia de la sursa de energie la diferite sarcini. Cablul este alcătuit din numeroase părți sau componente, relatate în Figura 1.1, pentru a-și atinge scopul [73], [74].

Componenta cablului care transportă curentul electric se numește conductor. Cablurile monofazate sunt cel mai simplu tip de sârmă electrică, în timp ce cablurile trifazate au trei conductori etc. Unele substanțe, în special metalele, au un număr mare de electroni care sunt liberi să se miște în interiorul materialului. Substanțele care pot transfera energie electrică de la un articol la altul sunt cunoscute sub numele de conductori [73]. Prin urmare, termenul "conductor" se referă la porțiunea (porțiunile) cablului care transportă curent electric. Conductorii pot fi făcuți din mai multe fire răsucite sau pot fi solizi. Pentru a obține proprietățile necesare de densitate, diametru și flexibilitate a curentului, firul poate fi inelar, segmentar, compactat, comprimat sau concentric. Capacitatea unui material de a conduce electricitatea, împreună cu proprietățile sale mecanice (rezistență la uzură, maleabilitate), utilizarea prevăzută, costul și proprietățile electrice [74], toate au un rol în alegerea unui material ca dirijor. Conductorii electrici sunt clasificați în funcție de compoziția lor chimică.

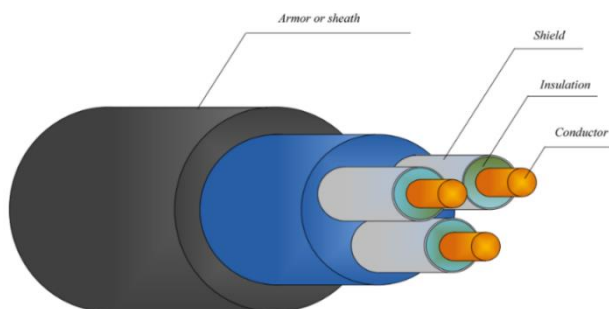


Fig. 1.1 Cablu de alimentare electrică generic reprezentat [74]

Scutul este un înveliș metalic împământat plasat deasupra izolației. Scopul scutului este de a oferi o suprafață echipotențială care

este centrată pe conductor pentru a opri îndoirea liniilor de câmp electric. De asemenea, scutul este utilizat pentru a proteja firul de efectele câmpului electric extern și pentru a asigura siguranța lucrătorilor prin realizarea unei conexiuni puternice la sol. Următoarele sunt câteva dintre principalele scopuri ale unui scut:

- pentru a preveni interferențele electrostatice sau electromagnetice;
- pentru a proteja cablul de tensiuni de inducție;
- pentru a echilibra eforturile interne și astfel a reduce descărcările electrice parțiale;
- pentru a reduce câmpul electric din interiorul cablului care există între ecran și conductor.

Parametrii liniei de transmisie

Specificațiile liniei afectează cât de bine funcționează o linie de transmisie. Rezistența, inductanța, capacitatea și conductanța șuntului sunt măsurători ale liniilor de transmisie. Aceste condiții sunt distribuite uniform de-a lungul traseului. Denumit în plus parametrul dispersat al liniei de transmisie.

Impedanța în serie constă în inductanță și rezistență, în timp ce admitanța șuntului constă în capacitate și conductanță. Mai jos este o descriere detaliată a câtorva parametri importanți ai liniei de transmisie.

Inductanță de linie se referă la fluxul de energie electrică într-o linie de transmisie care induce fluxul magnetic. Câmpul electromagnetic indus (EMF) al circuitului determină schimbarea fluxului magnetic împreună cu, curentul liniei de transmisie. Rata de schimbare a fluxului afectează atât cât de mult EMF indus există. Inductanța liniei de transmisie este termenul folosit pentru a descrie această rezistență la fluxul de curent în conductor [68].

1.3. SISTEME DE CENTRALE ELECTRICE HIBRIDE

Centralele electrice care folosesc mai multe tehnologii pentru a genera energie sunt cunoscute sub numele de centrale electrice hibride. Acestea încorporează diverse tehnologii de stocare a energiei și de generare a energiei, inclusiv turbine eoliene, fotovoltaice și generatoare de motoare, cum ar fi grupuri electrogene diesel. În viitoarele rețele decarbonizate, aceste sisteme energetice integrate sunt din ce în ce mai acceptate ca fiind cheia pentru obținerea eficienței maxime și a economiilor de costuri. Având în vedere instrumentele disponibile pentru a ajuta la planificarea acestor viitoare rețele, evaluarea avantajelor sistemelor hibride rămâne dificilă. Energia nucleară și energia regenerabilă pot funcționa bine împreună într-un sistem hibrid pentru a sprijini rețeaua, după cum reiese din inițiativele recente de cercetare și dezvoltare [76].

1.3.1. Stocarea apei în rezervoare

Primul impuls pentru construirea de rezervoare pentru a controla sursa de apă cu adevărat dezechilibrată datează de acum aproximativ 5.000 de ani, odată cu sosirea oamenilor și creșterea necesară a apei de consum casnic și a apei industriale pentru agronomie. Beneficiul acestui lucru este cel mai vizibil în zonele deșertice sau în zonele cu perioade umede și uscate diferite, unde este greu să consumi apă fără depozitare. Unul dintre cele mai vechi rezervoare ale omenirii a fost creat de barajul egiptean Sadd el Kafara în 2550 î.Hr. Această barieră umplută cu pământ a fost construită folosind o tehnologie care este folosită și astăzi. Deoarece disponibilitatea apei potabile a fost întotdeauna o barieră în calea creșterii culturale, civilizațiile au fost determinate să facă progrese tehnologice semnificative. Conform estimărilor, dezvoltarea și conservarea resurselor de apă dulce vor fi probabil necesare din cauza modelelor climatice neidentificate, a creșterii continue a populației și a altor factori [82], [83], [84]. Morile, ferăstraiele și forjele au fost primele mașini avansate din punct de vedere tehnologic care au exploatat capacitatea energetică a apei. Transmisia energiei utilizabile a trecut de la transferul direct la transferul

cu bare și frânhii. Bazele științifice ale proceselor tehnologice au fost în cele din urmă stabilite în timpul Renașterii, iar o nouă eră a dezvoltării hidroenergetice a început odată cu nașterea electricității și acceptarea ei ca și energie (Gesellschaft für Ingenieurbaukunst, 1998).

Importanța rezervelor de stocare a apei

Fără sisteme adecvate de resurse de apă, care sunt alcătuite în principal din rezervoare de stocare a apei, progresul economic este imposibil. Următoarele tipuri de consecințe trebuie luate în considerare atunci când se examinează modul în care rezervoarele de stocare a apei afectează mediul:

- estetica peisajului;
- influența asupra biocenozei;
- radiație;
- zgomotul ca un fel de poluare a aerului;
- poluarea termică;
- poluarea cu deșeuri lichide;
- poluarea cu deșeuri solide;
- aerul ca zonă protejată;
- apa ca resursă și biotop;
- solul ca zonă și resursă.

Toate opțiunile ar trebui comparate și studiate, chiar și opțiunea de a "nu face nimic", care are adesea un efect dăunător asupra mediului (luând în considerare cele zece implicații enumerate mai sus). Când se iau în considerare toate categoriile de efecte, centralele hidroelectrice oferă un avantaj de neegalat față de toate celelalte surse de energie, deoarece sunt surse de energie curate și regenerabile.

Impactul rezervorului de stocare a apei

Impactul pozitiv sugerează că rezervoarele pentru stocarea apei sunt necesare pentru viața umană. Ne vom uita la modul în care rezervoarele de stocare a apei afectează mediul, deoarece acesta este un subiect adesea contestat. Pentru a stabili influența lor deplină, timpul și locul ar trebui explorate în detaliu. Sunt luate în considerare doar cele mai

importante beneficii ecologice, deoarece sunt cruciale pentru costul rezervoarelor de stocare a apei [91]:

- Accesul la apă potabilă curată și prevenirea bolilor transmise prin apă au o influență ecologică substanțială.
- Producția de energie hidrolică, cel mai ecologic tip de energie, reduce influența deșeurilor radioactive ale centralelor termice și fisionabile, termice, gazoase, lichide și solide (care nu ar trebui construite cu prețul centralelor hidroelectrice).

1.3.2. Centrale electrice hibride prin pompare

Sistemele hibride de energie regenerabilă, cum ar fi energia eoliană și fotovoltaică, pot îmbunătăți reciproc scara spațială. Cu toate acestea, vitezele vântului și expunerea intermitentă la soare pot fi dificil de atenuat. Ca răspuns, pomparea puterii poate acumula energie electrică ca energie potențială. În cazul unei energii solare sau eoliene inadecvate, se transferă apa dintr-un rezervor inferior într-un rezervor superior. Sistemele de stocare a energiei (ESS) pot reține surplusul de energie și îl pot descărca după cum este necesar pentru a stabiliza curba de producție a sistemelor hibride de energie regenerabilă (HRES). Sistemele de energie hibridă off-grid utilizează stocarea energiei în baterii (BES). Numeroase sisteme electrice utilizează sisteme de stocare a energiei (ESS). Studii recente au investigat sistemele de gestionare a energiei regenerabile. Au fost examinate sistemele hibride care utilizează stocarea hidroelectrică fotovoltaică și eoliană (WP și PV-PHS) pentru gestionarea energiei casnice și electrificarea rurală. Modelul îmbunătățește veniturile economice ale Sistemului de Stocare prin Pompare (PHS) și aliniază profilul cererii cu curba de generare a energiei a sistemului hibrid MHP-PV-PHS [93].

Un exemplu de schemă a sistemului fizic pentru sistemul hibrid MHP-PV-PHS din China este prezentat în diagrama de mai jos, Figura 1.2. În acest sistem, sunt combinate o centrală fotovoltaică, un PHS și un MHP pe curs de apă. Există o singură magistrală AC care conectează toate părțile sistemului hibrid. Sistemul hibrid MHP-PV-PHS satisface în mare

parte nevoia de energie electrică a unei case. Performanța sistemului PHS off-grid este examinată pentru eficiență maximă [93].

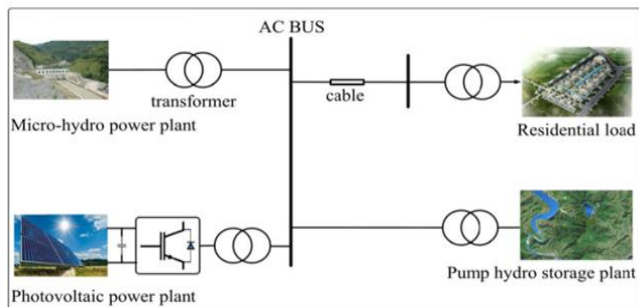


Fig. 1.2 Schema sistemului hibrid MHP-PV-PHS [93].

Folosind capacitățile atât ale unei pompe, cât și ale unei hidroturbine, ideea principală a sistemului de stocare hidroelectrică pompată (PHS) este de a stoca și elibera energie eficient. Timpii reduși de consum de energie permit PHS să funcționeze ca o pompă, mutând apa dintr-un rezervor inferior într-unul superior și transformând energia electrică în energie potențială gravitațională în acest proces.

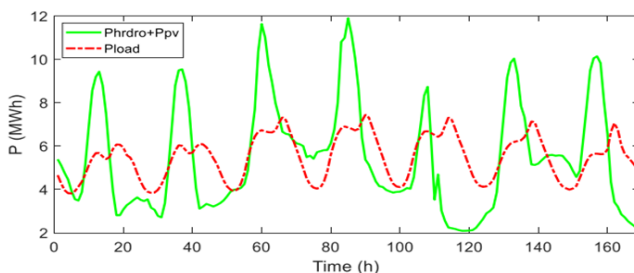


Fig. 1.3 Fluctuația datelor de generare și încărcare cu similitudine scăzută [93].

În schimb, PHS funcționează ca o hidroturbină pentru a satisface cerințele de sarcină în perioadele de cerere mare de putere prin transformarea energiei potențiale gravitaționale înapoi în energie electrică. PHS este o opțiune fezabilă pentru producerea de energie electrică

datorită eficienței sale dus-întors de 70-80%. Separat, eficiența pompei și hidroturbinei sistemului hibrid este de 83%, respectiv 86%, Figura 1.3. Pentru o analiză suplimentară, valorile minime, medii și maxime ale SIM reprezintă strategia tipică de operare a PHS. Aceste numere reprezintă strategiile A, B și C, în această ordine [93]. Indiferent de planul de operare, capacitatea superioară a rezervorului ar trebui să rămână constantă pentru o anumită perioadă de timp. Similitudinea generației/sarcină și economia sistemului de stocare a energiei au fost luate în considerare pentru prima dată într-un sistem hibrid MHP-PV-PHS rezolvat folosind o tehnică de optimizare. Dezvoltarea modelului de optimizare și a software-ului de simulare este în curs de desfășurare.

Producția de energie hidroelectrică și producția de energie prin pompare pot varia între 100 și 130 MW în timpul sezonului uscat. Instalația de stocare prin pompare poate conține 30 de megawați [95]. Cu hidroenergia și instalațiile de stocare prin pompare care nu sunt incluse în sistem, Figura 1.4 din modelul original ilustrează puterea de ieșire a producției de energie complementară. În timpul dispecerizării, unitatea 2 menține o curbă constantă de putere prin alimentarea eficientă a sarcinii de bază cu capacitatea sa mare. Pe de altă parte, Unitatea 4 începe la opt dimineața pentru a coincide cu ora sarcinii de vârf inițiale [95].

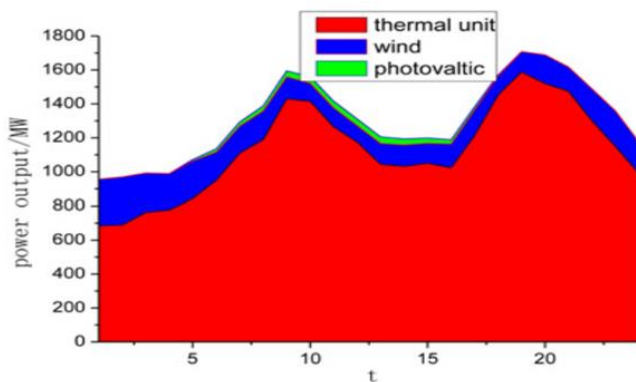


Fig. 1. 4 Puterea de ieșire a sistemului energetic complementar fără hidroenergie și instalații de stocare prin pompare [95].

CAPITOLUL II

ANALIZA HIDROCENTRALELOR

Centralele hidroelectrice, denumite în mod obișnuit hidrocentrale, sunt o sursă importantă de energie regenerabilă. Ele produc electricitate prin valorificarea energiei cinetice a apei care cade sau curge. În prezent, producând aproape jumătate din energia electrică a lumii, energia hidroelectrică este fundamentul generării de energie electrică cu emisii scăzute de carbon. Energia hidroelectrică a fost a treia cea mai mare sursă de generare de energie electrică din lume în 2020, după gaze naturale și cărbune, cu 17% din total. Capacitatea hidroenergiei a crescut cu 70% la nivel mondial în ultimii 20 de ani, dar din cauza creșterii energiei eoliene, solare fotovoltaice, cărbunelui și gazelor naturale, ponderea sa din producția totală a rămas constantă. Flexibilitatea și securitatea sistemelor electrice sunt îmbunătățite semnificativ de centralele hidroelectrice. Spre deosebire de alte centrale electrice, cum ar fi nucleara, cărbunele și gazele naturale, multe hidrocentrale pot crește și reduce rapid cantitatea de energie electrică pe care o generează. Datorită gradului lor mare de flexibilitate, acestea pot compensa variațiile de aprovizionare din alte surse de energie electrică și se pot adapta rapid la schimbările cererii. Din acest motiv, energia hidroelectrică este un candidat puternic pentru a ajuta sistemele solare fotovoltaice și eoliene să se integreze în siguranță și rapid în sistemele electrice [96].

2.1 ANALIZA BLIOMETRICĂ A CENTRALELOR HIDROELECTRICE

O examinare metodică și cantitativă a literaturii științifice despre hidroenergie este cunoscută sub numele de analiză bibliometrică a centralelor hidroelectrice. Aceasta presupune colectarea publicațiilor

pertinente, evaluarea citărilor și a tendințelor de publicare, identificarea scriitorilor, organizațiilor și parteneriatelor influente și cartografierea principalelor teme și modele în cercetare folosind utilizarea cuvintelor cheie. Analiza poate face lumină asupra dezvoltării și cursului cercetării hidroenergetice, poate identifica publicațiile și autorii cheie și poate arăta modele de cooperare și dispersie geografică a studiului. Este o resursă neprețuită pentru înțelegerea stării domeniului și pentru ghidarea viitoarelor inițiative de cercetare hidroenergetică.

2.1.1 Cercetarea în domeniul sistemelor hidroenergetice

În cazul rezervoarelor naturale, sistemele echipate cu mecanisme hidroenergetice reușesc, într-o măsură mai mare sau mai mică, să transforme energia apei care cade în energie electrică printr-un mecanism de rotație și generatoare. Lucrările extrase din baza de date "Web of Science" pentru intervalul de timp luat în considerare, 2017-2021, au fost utilizate pentru a susține graficele din acest subcapitol. Totuși, deoarece există multă literatură în acest domeniu decât în alte sisteme de resurse regenerabile, există loc pentru îmbunătățire și dezvoltare continuă. Figura 2.1 prezintă dezvoltarea cercetării privind sistemele hidroenergetice care produc energie între 2017 și 2021. Chiar dacă anii 2020 și 2021 nu au fost la fel de fructuoși ca și anul 2019, graficul pe cinci ani relevă o tendință de creștere a numărului de articole produse pe această temă.

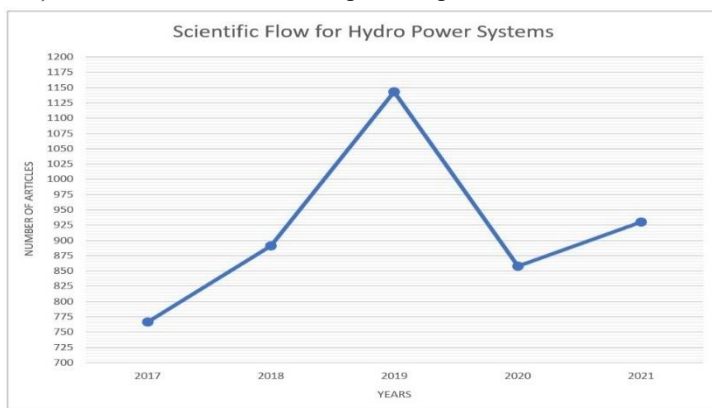


Fig. 2.1 Numărul de articole publicate despre sistemele hidroelectrice în perioada 2017-2021

Anul 2019 a fost cel mai fructuos din perioada luată în considerare, cu cele mai multe publicații în domeniul sistemelor hidroenergetice. Este semnificativ de remarcat faptul că numărul total de articole descrise în grafic este numărul de lucrări de cercetare cu cel puțin o instanță a expresiei "sisteme hidroenergetice". Articolele alese au fost publicate în mai multe reviste și conferințe dedicate unuia sau mai multor grupuri tematice. Figura 2.2 descrie categoriile majore pe baza clasificării subiectelor pe categorii create folosind baza de date "Web of Science", care conține articole care se bazează pe sisteme care produc energie prin echipamente hidro.

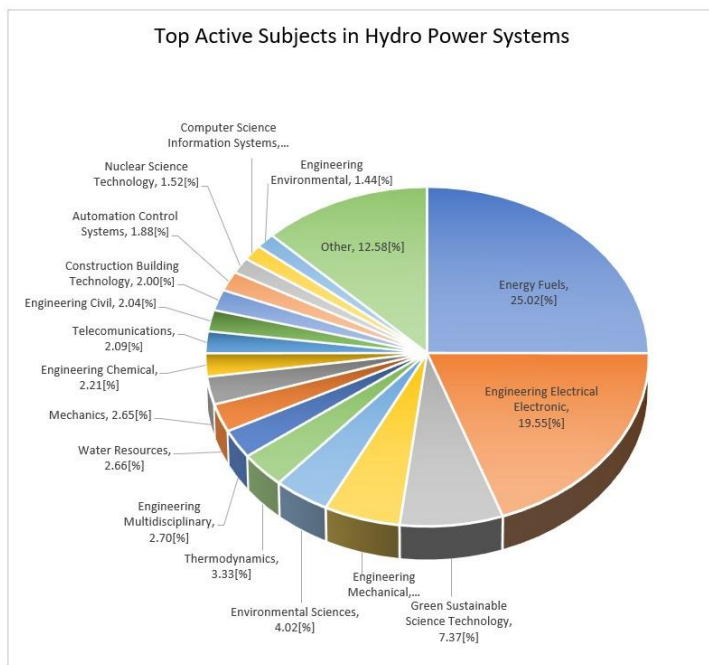


Fig. 2.2 Principalele categorii active în publicarea sistemelor hidroelectrice în perioada luată în considerare

De menționat că domeniul combustibililor energetici, cu o pondere de 25,02%, este locul în care problema energiei produse cu

hidrosisteme a primit cea mai mare atenție, urmată de domeniul ingineriei electrice, electronice, cu o pondere de 19,55%. În plus, sectorul de 7,37% al tehnologiei științifice durabile verzi este crucial, deoarece instrumentele utilizate trebuie să fie adecvate cerințelor de mediu: fiabile, sigure și durabile. Ingineria mecanică, științele mediului, termodinamica, ingineria multidisciplinară, resursele de apă, mecanica și ingineria chimică sunt, de asemenea, categorii cu mare importanță având în vedere producția de energie electrică din resurse hidroregenerabile.

2.1.2 Co-apariția cuvintelor cheie

Rețeaua prezentată în Figura 2.3 a fost creată analizând frecvența cu care au apărut cuvintele cheie legate de sistemele hidroenergetice în titlurile și rezumatele articolelor publicate în perioada 2017-2021 în domeniul resurselor regenerabile din baza de date "Web of Science".

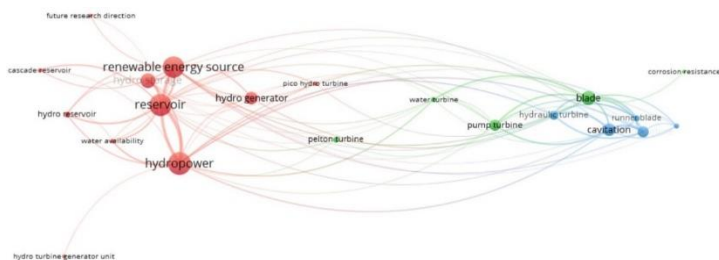


Fig. 2.3 Sisteme hidroenergetice cuvânt cheie rețea bibliometrică de suprapunere

Programul VosViwer a fost actualizat cu datele extrase. Numărul minim de apariție a unui cuvânt cheie pe harta rezultată este de 10. Cuvintele cheie care apar sunt filtrate pentru vizualizare și analiză îmbunătățite, astfel încât Figura 2.3 să poată afișa cei mai importanți termeni. Figura 2.3 descrie o rețea generatoare de cuvinte cheie cu trei grupuri: primul grup are 11 cuvinte cheie, al doilea set are 5 cuvinte cheie, iar al treilea set are și 5 cuvinte cheie.

Figura 2.3 prezintă un exemplu de rețea suprapusă utilizată pentru vizualizarea rețelei bibliometrice. Figura 2.4 prezintă un exemplu de rețea de densitate utilizată pentru vizualizarea rețelei bibliometrice.

Pentru a aduna datele pentru analiză, 4588 de lucrări reprezentând toate publicațiile din domeniul sistemelor hidroelectrice au fost scoase din baza de date "Web of Science" între anii 2017 și 2021. Rețeaua de densitate a frazelor-cheie analizate este prezentată în imaginea de mai jos. Dimensiunea textului și intensitatea culorii nodurilor sunt direct legate de termenii care se repetă frecvent. Termenii cei mai des utilizați, cum ar fi "rezervor" și "hidroenergie", au dimensiuni mari de scriere și culori distincte, în timp ce termenii mai puțin utilizați, cum ar fi "rezistență la coroziune" și "rezervor în cascade" au dimensiuni mici de scriere și culori la modă.

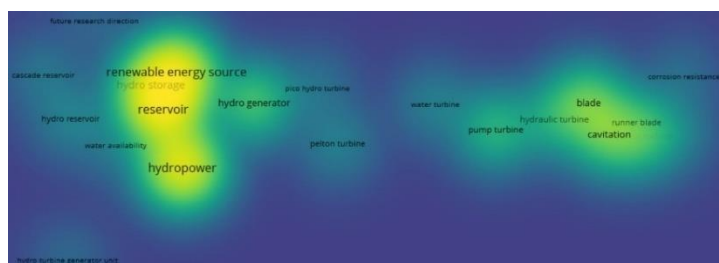


Fig. 2.4 Sisteme hidroelectrice cuvinte cheie rețea de densitate bibliometrică

Unele cuvinte cheie sunt absente din hărțile de apariție create în figurile 2.3 și 2.4, deoarece a fost determinat pragul minim pentru numărul de apariții ale unui cuvânt cheie, chiar dacă acestea vor fi cruciale în viitor. Acestea includ termenii "hibrid", "optimizare", "performanță", "rezervoare de apă" și "ciclu organic Rankine (ORC)".

2.1.3 Tendințe viitoare de cercetare

Prin prisma datelor furnizate de baza de date, Web of Science, au fost examinate studii publicate în perioada 1 ianuarie – 1 noiembrie 2022 în care cuvintele "sisteme hidroenergetice" sunt găsite cel puțin o dată pentru a înțelege tendințele viitoare în domeniul sistemelor hidroenergetice. La 1 noiembrie 2022, fișierele text au fost obținute și încărcate în pachetul Bibliometrix 3.1 R pentru analiză. Figura 2.5 prezintă modelele de la 1 ianuarie până la 1 noiembrie 2022.

Publicațiile cercetătorilor din domeniul energiei produse cu echipamente hidro pentru perioada 1 ianuarie – 1 noiembrie 2022 se referă la următoarele rezultate:

- Creșterea atenției către producția de energie electrică având în vedere resursele naturale regenerabile, cum ar fi barajele naturale de apă [98];
- Optimizarea echipamentelor și sistemelor utilizate pentru transformarea energiei colectate în rezervoarele de apă în energie electrică [99];
- Stabilitate mai mare în timp a centralelor hidroelectrice [100], [101];
- Stocarea energiei folosind baraje artificiale [102].

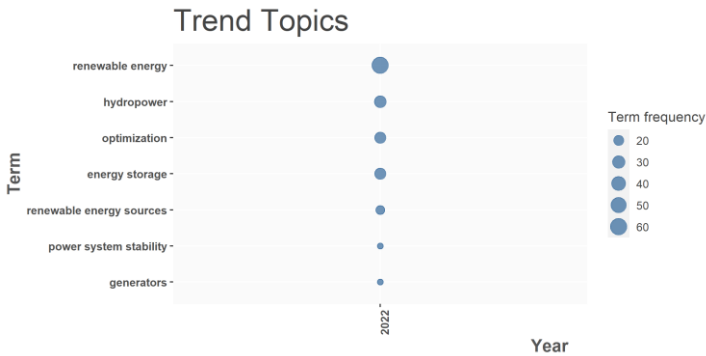


Fig. 2.5 Tendințele sistemelor hidroenergetice în perioada 1 ianuarie – 1 noiembrie 2022

2.2 DESCRIEREA CENTRALELOR EOLIENE, SOLARE ȘI HIDROELECTRICE

Integrarea centralelor hidroelectrice, a panourilor fotovoltaice (PV) și a turbinelor eoliene oferă o soluție promițătoare în căutarea unor surse de energie fiabile și durabile. Pentru a construi o infrastructură energetică solidă și fiabilă, acest design de sistem folosește avantajele fiecărei tehnologii. Panourile fotovoltaice transformă lumina soarelui în electricitate, turbinele eoliene captează energia eoliană, iar centralele

hidroelectrice folosesc energia apei care cade sau curge. Atunci când sunt combinate, aceste tehnologii oferă o gamă largă de soluții energetice care pot furniza energie curată și regenerabilă într-o serie de circumstanțe de mediu. Adaptabilitatea și sinergia sa sunt cele care fac ca acest design de sistem să fie frumos. Panourile solare au capacitatea de a genera o cantitate substanțială de energie electrică atunci când sunt în plin soare. Dacă există suficient vânt, turbinele eoliene pot prelua controlul în zilele înnorate, când producția solară poate fi redusă. Deoarece poate stoca energie sub formă de apă, centrala hidroelectrică servește ca o rezervă de încredere în perioadele în care producția de energie solară și eoliană nu este la fel de mare. Cu o abordare integrată, natura intermitentă a surselor regenerabile de energie este atenuată și un viitor durabil este pavat cu o aprovizionare constantă cu energie electrică. Două rezervoare mari, conectate, distanțate la aproximativ 672 de metri pe verticală, fac parte, de asemenea, din sistem. Structurile sunt construite cu turbină de apă și țevi de oțel care sunt îngropate ferm. Următoarele descriu echipamentele specifice utilizate pentru centrala electrică combinată.

2.2.1 Arhitectura turbinelor eoliene

În timp ce America de Nord este dominată de instalații terestre masive, Europa se confruntă cu o creștere a instalațiilor de parcuri eoliene offshore și terestre. Locațiile sunt de obicei alese în avans pe baza informațiilor generale despre viteza vântului din baze de date, care sunt ulterior confirmate de măsurători locale precise. Resursa eoliană locală este măsurată cu cel puțin un an înainte de aprobarea proiectului și instalarea turbinelor eoliene. De obicei, instalațiile de turbine onshore sunt situate în regiuni deluroase pentru a valorifica vitezele mai mari ale vântului. Deoarece locațiile cu viteze mari ale vântului sunt adesea și cele cu o valoare ridicată de amenajare vizuală și sensibilitate la mediu, parcurile eoliene terestre se confruntă cu dificultăți în primirea autorizațiilor necesare și amplasarea acestora. Dezvoltatorii construiesc de obicei proiecte offshore la mai mult de cinci kilometri în larg pentru a minimiza efectele lor distructive asupra mediului. Viteze medii mai mari ale vântului, turbulențe medii mai mici ale vântului și interferențe vizuale

reduse sunt doar câteva avantaje ale parcurilor eoliene offshore. Un generator cu inducție dublu alimentat (WTDFIG) este prezentat în Figura 2.6 alături de o turbină eoliană. Cele două componente ale convertorului AC/DC/AC sunt partea de rețea ($C_{\text{grilă}}$) și pe partea rotorului (C_{rotor}), convertoare. Convertoarele de tensiune C_{rotor} și $C_{\text{grilă}}$ utilizează dispozitive electronice de putere cu comutare forțată (IGBT) pentru a converti o sursă de tensiune continuă într-o tensiune alternativă. Un condensator conectat la partea DC servește ca sursă de tensiune DC. Printr-un inductor de cuplare L , $C_{\text{grilă}}$ este conectat la rețea. Prin intermediul periilor și inelelor colectoare, înfășurarea rotorului trifazat este conectată la C_{rotor} , în timp ce înfășurarea statorului trifazat este conectată direct la rețea [103].

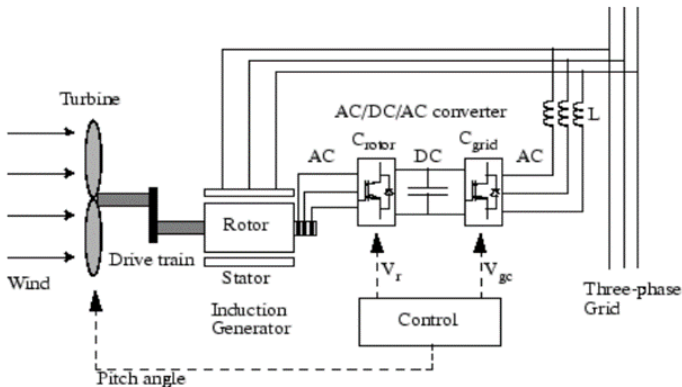


Fig. 2.6 Sistemul WT-DFIG [103]

Proiectul include un parc eolian de 34 de turbine eoliene GE, fiecare producând 2,9-3,2 MW, dispuse în 12 clustere și conectate între ele prin cablu de medie tensiune și o stație de transformare cu echipamente de înaltă și medie tensiune.

2.2.2 Arhitectura solară (PV)

Panourile solare, denumite și panouri fotovoltaice (PV), sunt echipamente care folosesc lumina soarelui pentru a genera energie electrică. Acestea sunt o parte esențială a sistemelor de energie solară și câștigă popularitate ca sursă de energie durabilă. Panourile fotovoltaice

pot produce o cantitate considerabilă de energie electrică în regiunile mai puțin însorite, ceea ce le face o alegere practică pentru o varietate de setări. Puterea fotovoltaică este maximizată de sistemul de urmărire a punctului de putere maximă (MPPT). Maximizarea puterii de ieșire la un moment dat implică reglarea tensiunii fotovoltaice și a curentului de ieșire. Folosind puterea generată, dispozitivul de control al încărcării reglează fluxul de energie către diferite sarcini. Controlerele de încărcare minimizează pierderile sistemului și garantează siguranța echipamentelor prin optimizarea generării și cererii de energie. CC generat de energie fotovoltaică este transformat în curent alternativ prin invertore [106], [107].

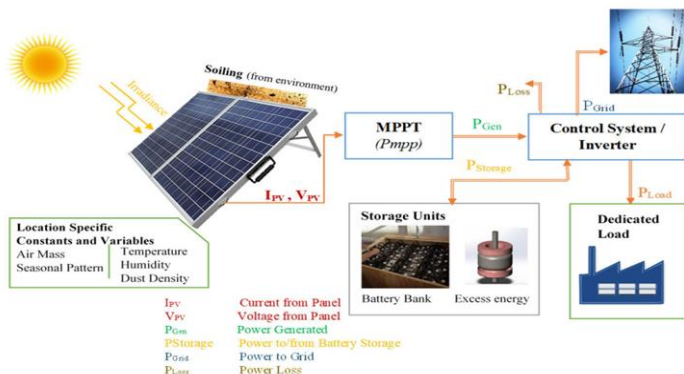


Fig. 2.8 O diagramă bloc tipică a sistemului solar fotovoltaic [103]

Figura 2.8 prezintă un sistem solar fotovoltaic tipic cu trei tipuri diferite de sarcini: interconectarea la rețea, sistemul de stocare a energiei bateriei și sarcina dedicată. Folosind prioritizarea programată, un sistem de control integrat în unitatea invertor gestionează sistemele fotovoltaice cu aceste sarcini diferite. Mai multe limitări care afectează puterea de ieșire a unității generatoare sunt, de asemenea, afișate alături în aceeași figură [106], [107].

Lumina soarelui care strălucește pe celulele fotovoltaice oferă puterea de intrare teoretică. În schimb, curentul generat, tensiunea indusă și impedanța instantanee a celulei multiplică puterea de ieșire. Eficiența

de conversie a unei celule solare este gradul în care transformă radiația solară în curent electric. Deoarece diferite materiale de dopare a substratului semiconductor și procese de fabricație sunt utilizate pentru a crea fiecare tip de celulă solară, monocristalină, policristalină, amorfă cu peliculă subțire, perovskit, organică și plastică, eficiența lor de conversie variază. Eficiența unei celule poate fi crescută semnificativ prin doparea acesteia cu un număr mic de polimeri organici ca materiale luminoase în jos (LDS). Folosind tehnologia LDS, s-a demonstrat că dispozitivele Cd-Te cu un strat tampon Cds pot crește eficiența cu 10-20%, în timp ce cele mai utilizate tehnologii bazate pe plachete de siliciu pot obține doar o creștere de 0,5-3% a eficienței. Dintre toate tehnologiile listate, tehnologia mono și policristalină dețin o cotă de piață de peste 40% din cauza disponibilității materialelor și a constrângerilor de cost.

Tabelul 2.1 Diferite tehnologii solare cu eficiența lor [106]

Tehnologie fotovoltaică	Eficiență (%)
Nanotuburi de carbon (CNT)	3-4
Siliciu amorf	5-7
Siliciu policristalin	8-12
Colorant sintetizat	11.1
Siliciu monocristalin	15-18
Alte pelicule subțiri (CdTe, CIS, etc)	16-20
Joncțiune triplă sub Soare concentrat	până la 37,4
Celulă solară purtătoare fierbinte	66

În interiorul unei magazii, convertoarele sunt păstrate, iar conexiunile electrice se găsesc în partea de jos a panourilor. Lângă magazie, există un stâlp de dimensiuni medii. Conservarea sistemului fotovoltaic este încorporată în design și oferă o putere de 400 kW.

2.2.3 Descrierea sistemului hidro

Hidroenergia, uneori numită energie hidro sau hidroelectrică, este o sursă de energie regenerabilă care produce energie electrică prin utilizarea forței apei în mișcare, cum ar fi cea produsă de o cascadă. Mai

mulți pași sunt implicați în procesul de producție a energiei hidroelectrice [107], [109]:

- Apa acumulează energie potențială chiar înainte de a cădea peste un baraj sau de a coborî o pantă;
- Apa care curge în jos transformă energia potențială în energie cinetică;
- Apa este utilizată în mod obișnuit pentru a roti paletele turbinei pentru a produce electricitate;
- Centrala electrică distribuie energia electrică clienților săi.

Structuri de conductă forțată

O conductă forțată este o serie de țevi utilizate frecvent în centralele hidraulice pentru a muta apa din rezervor în punctul central unde sunt amplasate turbinele pentru a genera energie electrică. Diferența de înălțime dintre cele două puncte. Centrala electrică și rezervorul propulsează fluxul de apă care călătorește prin conducta forțată și spre turbină. Presiunea de la conducta rezervorului este aplicată pe suprafața interioară a conductei atunci când apa pătrunde în ea. Cauza fundamentală a vibrațiilor conductelor o reprezintă această presiune [67], [77].

Proiectele hidro minore folosesc frecvent o varietate de tipuri de conducte în sistemele lor de conductoare de apă. Următoarele avantaje inerente vin cu transportul apei prin conducte:

- Sistemul de conductoare de apă ar putea fi construit destul de rapid dacă mijloacele de comunicare care duc la locația proiectului sunt suficiente.
- În funcție de faptul dacă țevile sunt accesibile într-o zonă din apropiere, lucrarea poate fi mai accesibilă.
- Prețul mic de întreținere a unui sistem de conducte.
- Există mai puține șanse de scurgeri de apă și instabilitate ulterioară a versanților dealurilor.
- Pierderile prin frecare a sistemului conductor de apă vor fi reduse, deoarece coeficientul de rugozitate al conductei va fi mai mic decât cel al solului.

Descrierea unei centrale hidroelectrice

O centrală hidroelectrică este o structură care folosește energia apei care cade sau curge pentru a crea electricitate. Este printre cele mai consacrate și abundente forme de energie durabilă. În general, există trei componente principale ale sistemului: centrala electrică, care generează energia electrică. Turbina și generatorul sunt găzduite în centrala electrică. Când apa intră într-o turbină printr-o admisie, aceasta apasă pe pale, rotindu-le. După aceea, generatorul transformă această energie mecanică în energie electrică. Structurile cunoscute sub numele de baraje sau baraje de deviere ridică sau scad nivelul apei. Un baraj poate fi folosit ocazional pentru a crea un rezervor pentru a reține apa râului. Apa este apoi lăsată să treacă prin turbină după ce a fost eliberată din rezervor. În alte situații, o instalație de deviere direcționează o porțiune a unui curs de apă prin centrala electrică înainte de întoarcerea sa în râul principal. Unde este păstrată apa este într-un rezervor. Un baraj poate crea un rezervor artificial sau poate fi un corp de apă natural, cum ar fi un lac sau un râu. Instalațiile hidroelectrice vin într-o varietate de forme, dintre care cele mai populare sunt îndiguirile, devierea și instalațiile de stocare prin pompare. O serie de variabile, inclusiv locația, disponibilitatea apei și cerințele de energie, influențează alegerea între aceste tipuri. Pot fi găsite centrale hidroelectrice mai mici și chiar "micro" care sunt conduse de persoane fizice pentru propriile nevoi energetice sau pentru a vinde energie utilităților, precum și centrale electrice mai mari care furnizează energie electrică unui număr mare de consumatori [86].

Având în vedere toți factorii enumerați anterior, pe lângă faptul de a sprijini energia verde netă, nu este nevoie să le programăm sau să intrăm în dispute cu alte organizații precum Autoritatea pentru Natură și Parcuri, asociațiile ecologice din Israel, autoritățile responsabile de planificare și construcție, pentru a obține autorizații sau fermierii care vor veni cu cereri că au dreptul la despăgubiri pentru utilizarea terenurilor agricole pentru a folosi tot ceea ce natura le oferă le-a fost luată. Pentru proiect au fost utilizate două rezervoare naturale: Marea Galileii și Înălțimile Golan. Marea Galileii (Figura 2.9a) servește drept rezervor inferior; are o circumferință enormă și este alimentată de un râu care curge continuu; există câmpuri pe partea sa estică care duc la rezervorul

superior; iar apa care intră în rezervor provine din zăpadă; fiind apă pură, proaspătă, nu provoacă probleme sau pierderi din cauza frecării în conductă. Se află la 212 metri sub nivelul mării. Rezervorul superior, Lacul Shabania, este cocoșat la aproximativ 463 de metri deasupra nivelului mării în Înălțimile Golan (Figura 2.9b). A început ca un rezervor natural și a fost procesat pentru a-l face mai puternic. Decizia pentru acest rezervor a fost luată deoarece este un rezervor natural, are o capacitate convenabilă pentru nevoi, iar distanța dintre cele două rezervoare este scurtă, mai puține materiale și lucrări pentru conducta care le leagă.



Fig. 2.9 Rezervorul de apă a) Marea Galileii, b) Lacul Shabania.

Pe baza calculelor, fiecare turbină poate furniza un curent maxim de aproximativ 90A. Prin urmare, curentul total din cablul care se conectează la stație este de așteptat să fie de 270A. Această estimare ia în considerare metoda de instalare, numărul de cabluri care trec prin același canal și lungimea traseului cablului între 2,18 km și 7,73 km. De asemenea, se ia în considerare conformitatea cu reglementările relevante. Regulamentul israelian privind energia electrică stipulează că căderea de tensiune admisibilă nu trebuie să depășească 3%. Pentru a asigura uniformitatea în tăieturi și având în vedere diferența minimă de preț, pentru medie tensiune s-a ales 33 kV realizat de compania israeliană Synergy cu o secțiune de aluminiu de 400 mm² cu cablu de cupru de 50 mm² și înaltă tensiune 161 kV realizat de compania poloneză Telefonica cu o secțiune de aluminiu de 2000 mm² și ecranare de cupru de 240 mm². Figura 2.10 arată modul de instalare a cablurilor subterane de medie și înaltă tensiune.



Fig. 2.10 *Cabluri subterane de medie și înaltă tensiune.*

CAPITOLUL III

SIMULAREA CENTRALELOR EOLIENE, SOLARE ȘI HIDROELECTRICE

Sistemele hibride de energie regenerabilă generează energie electrică prin combinarea a două sau mai multe surse distincte de energie regenerabilă, cum ar fi hidro, solară și eoliană. Aceste sisteme sunt proiectate pentru a optimiza eficiența producției de energie regenerabilă prin valorificarea avantajelor fiecărui tip de sursă de energie. De exemplu, vântul îmbunătățește adesea și viceversa atunci când lumina soarelui scade. Calitățile complementare ale energiei solare și eoliene pot contribui la o aprovizionare cu energie mai stabilă și mai fiabilă. Similar cu modul în care energia eoliană și solară sunt neregulate, un sistem hidroenergetic poate oferi un flux constant de energie electrică. O centrală de energie regenerabilă care combină energia hidro, solară și eoliană are diverse avantaje. Poate reduce dependența de combustibili fosili, poate crește stabilitatea alimentării cu energie electrică și poate contribui la obținerea independenței energetice. În plus, instalarea sistemelor hibride poate fi mai puțin costisitoare decât extinderea numărului de bănci de baterii utilizate pentru stocarea energiei. Centralele hidroelectrice, centralele solare și turbinele eoliene sunt toate integrate în proiectarea acestui tip de sistem. Scopul este asigurarea producției continue de energie în afara rețelei, chiar și în circumstanțe dificile. Utilizarea microrețelelor, a rețelelor de utilizatori mici cu surse locale și a sistemelor hibride poate oferi flexibilitate și rezistență, în special în locații izolate sau în situații de urgență [117].

3.1 ANALIZA COMPARATIVĂ A PERFORMANȚEI SISTEMELOR REGENERABILE MULTI-ENERGIE

Consumul de energie al zonei rezidențiale studiate cuprinde o populație echivalentă cu 250.000 de persoane. Pe baza datelor furnizate de compania electrică israeliană, consumul mediu zilnic de energie electrică, care include consumul de la fabrici, gospodării și facilități publice, se ridică la 27.012 megawați [112]. Perioadele de timp în care energia poate fi generată din cele două surse de energie, eoliană și solară, într-un plan care urmează să fie utilizat sunt de 6-10 ore de activitate eoliană pe zi și 6 ore zilnice de soare pe tot parcursul anului.

Diagrama generală din Figura 3.1 ilustrează funcționarea întregului sistem, evidențiind capacitatea acestuia de a genera în mod constant energia necesară. Această energie poate fi obținută din surse eoliene sau fotovoltaice sau, alternativ, dintr-o turbină de apă care convertește energia cinetică derivată dintr-o conductă conectată la rezervorul superior. Diagrama din Figura 3.1, descrie, de asemenea, procesul de pompare a apei din rezervorul inferior. Atunci când există un surplus de energie dincolo de consumul în acele ore specifice și ținând cont de condițiile de mediu, cum ar fi disponibilitatea vântului și nivelurile suficiente de iradiere, precum și luând în considerare pierderile cauzate de frecare și evaporare, este, de asemenea, important să se noteze când sursele de energie încetează să funcționeze, cum ar fi atunci când rezervorul superior este plin. Dacă vântul este puternic, se iau măsuri de precauție pentru a preveni orice potențială deteriorare a turbinelor.

Figura 3.1 reprezintă procedura de control al diagramei de flux pentru cele trei resurse energetice: eoliană, solară și hidro.

Este important de reținut că generarea de energie din surse eoliene și solare nu are loc întotdeauna simultan; ocazional, apare dintr-o singură sursă. Acest capitol prezintă aspectele fundamentale ale sistemului propus, cuprinzând diverse componente care implică calcule. În plus, programul MATLAB este utilizat pentru a simula turbinele eoliene, în timp ce PVSYS este utilizat pentru a simula panourile solare. Este important de reținut că aceste sisteme sunt instalate pe teren ca parte a unui proiect de amploare în Înălțimile Golan.

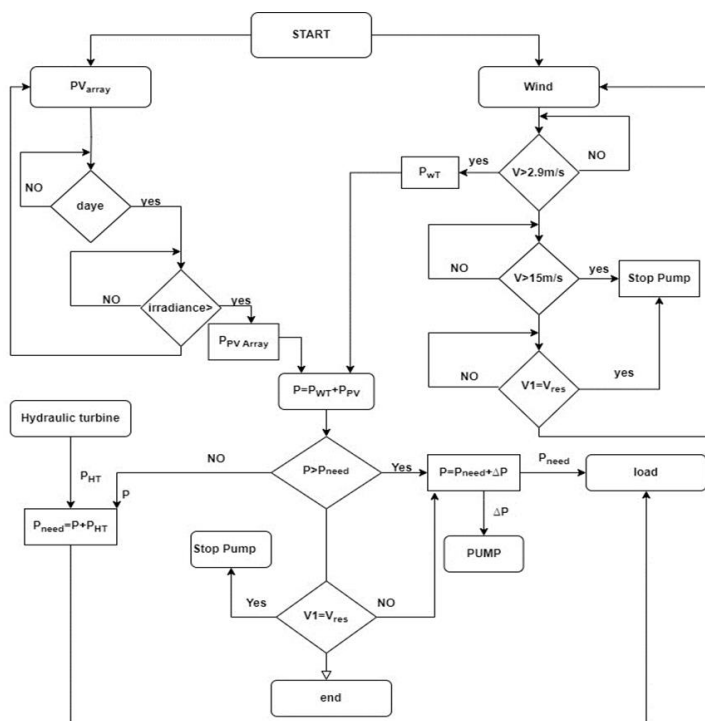


Fig. 3.1 Procedura de control al diagramei de flux a celor trei resurse energetice.

3.1.1 Compararea simulării cu experimentul luând în considerare un model matematic

Un computer cu bandă de hârtie Elliote 803b a fost folosit pentru a crea prima versiune a programului de calculator în discuție în 1968. Programele au fost ulterior convertite în FORTRAN și îmbunătățite în mod constant, astfel încât să poată face față oricărei configurații de sistem și să imite oscilațiile hidraulice.

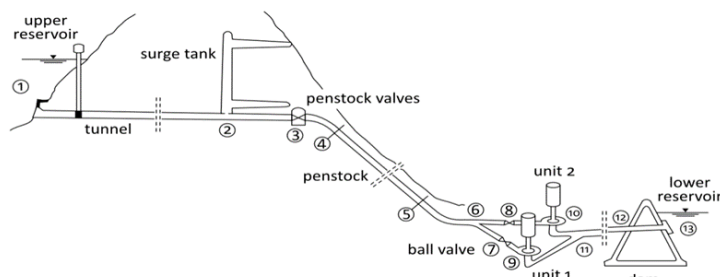


Fig. 3.2 Instalație de stocare prin pompare "Bajina Basta" [125], [126]

Instalația hidroelectrică de stocare prin pompare "Bajina Basta" a acestui program de calculator¹ este un exemplu practic de utilizare a acesteia, Figura 1.15. După cum se indică grafic în Figura 3.2, această centrală are două unități de 300 MW care împart un tunel de 8000 de metri, o conductă forțată de 1200 de metri și un tunel de coadă de 300 de metri. Nu a fost găsită o astfel de sursă. Pentru a preveni cavitația și separarea coloanei de apă, grupurile sunt îngropate la 54 m sub treapta de apă.

3.1.2 Turbine hidraulice

O trecere în revistă cronologică a progresului echipamentelor hidraulice utilizate în Norvegia pentru producerea energiei electrice [127], [65] ia în considerare topografia, clima și poziția Norvegiei, ceea ce o face ideală pentru creșterea energiei hidroelectrice. Gulfstream aduce aerul umed dinspre vest de-a lungul a 2000 km de coastă. O zonă muntoasă cu vârfuri de peste 2000 de metri și un munte în sud-vest între 1000 și 1500 de metri este întâlnită de acest vânt. Rezultatul este 2000 de milimetri de precipitații anual, cu maxime locale de 5000 de milimetri pe partea de vest a Alpilor. Precipitațiile care s-au adunat sub formă de zăpadă în timpul iernii au umplut lacurile pe măsură ce se topeau primăvara. Pentru multe sisteme hidroelectrice, aceste lacuri acționează ca rezervoare naturale. De când ghețarii au îndepărtat roca moale și pietrișul în urmă cu 10.000 de

¹ Bajina Bašta (în sârbă chirilică: Бајина Башта) este o comună din Serbia. Orașul se află în valea râului Drina, la marginea estică a Parcului Național Tara

ani, apa râului este adesea pură. Roca dură din zonele muntoase vestice este alcătuită în principal din cuarțit, pâslă și gnais și este deosebit de rezistentă la abraziune. Foarte puțin pietriș și sol pot fi văzute, chiar și atunci când râurile sunt inundate. Rezervoarele din apropierea ghețarilor includ particule dure care ar putea fi problematice atunci când nivelul apei este scăzut, deoarece apa finală este plină de nisip [127], [65].

Obiectivele dezvoltării unei turbine de apă cu cele mai bune performanțe, în general, sunt următoarele:

- La eficiență maximă, ieșirea cursorului împiedică rotirea fluxului.
- O livrare omogenă și extrem de eficientă a energiei în întregul segment transversal al prizei.
- Pentru ca, cursorul să funcționeze cât mai eficient posibil, nu există zone de curgere transversală și viteze de decelerare.
- Cea mai mare gamă de funcționare practică, fără probleme de cavitație și flux încrucișat.

Calcularea câmpului de curgere și a distribuției presiunii prin cursor va fi sarcina principală. Între 1918 și 1920, Laboratorul de Energie Hidraulică de la Universitatea Tehnică din Norvegia a creat metode analitice-grafice atât pentru cursorii Francis cu cap înalt, cât și pentru cursorii Pelton cu mult înainte ca programele de calculator să fie create în acest scop. Mai târziu, tehnici similare au fost aplicate la proiectarea turbinelor de către Kvarner Brug². Aceste abordări au fost utilizate pentru a dezvolta ecuațiile analitice care au fost utilizate pentru a investiga impactul elementelor de proiectare, cum ar fi curbura cupelor Pelton și unghiurile de înclinare a lamelor turbinelor de reacție. Metodele analitice sunt încă utilizate în plus față de o analiză CFD finală atunci când se creează un nou canal pentru turbinele Francis pentru a obține o optimizare

² Kværner a fost o companie norvegiană de servicii de inginerie și construcții care a existat între 1853 și 2005. În 2004, a fost fuzionată cu filiala nou înființată a Aker ASA - Aker Kværner,

mai amănunțită. A fost proiectat X-blade pentru centrala electrică Three Gorges³. Turbinele de tip Francis au ajutat la aplicarea timpurie a tehnicilor analitice-grafice cu pale lungi și capete înalte. Cu toate acestea, această metodă este, de asemenea, destul de utilă pentru studierea impactului unghiurilor lamei asupra direcției de curgere, în special unghiurile de înclinare a lamei, în timpul cercetării de proiectare. Kvaener a folosit metoda analitică și grafică pentru turbinele Pelton doar înainte de 1970. Studiile de laborator și evaluările eficienței la fața locului au dovedit că aceste metode au generat turbine de calibru mare.

Următoarele sunt condițiile tipice ale instalației în prezent pentru livrarea de turbine și echipamente de control către o centrală electrică norvegiană:

- raza de 100 până la 1100 de metri;
- Centrală electrică subterană, închisă de geologie;
- Calitatea apei este adesea scăzută în solide. Din cauza ploilor acide produse de industria din Europa de Vest și a lipsei de calcar în rocile norvegiene pentru a amortiza aciditatea,⁴ în sud-vestul Norvegiei se poate forma apă extrem de acidă cu o valoare a pH-ului de până la 4.

Condițiile prezentate sunt o necesitate atunci când se ia în considerare centralele electrice din Norvegia.

3.1.3 Centrală fotovoltaică-WT-hidroelectrică

Un grup mic de locuințe cu un consum anual de energie de 30 MWh este destinat să fie alimentat cu energie prin sursa de energie. Pentru a satisface nevoile, se realizează un model de simulare a unei microsurse de alimentare hibride cuplate la un banc de baterii. Rezultatele au arătat că o combinație de o turbină eoliană de 8 kW, un sistem solar de 9 kW, o

Brekke ³ Proiectarea, montarea și funcționarea turbinelor hidraulice de către Hermod

⁴ pH-ul este o măsură a cât de acidă/bazică este apa

turbină de apă de 2 kW și un banc de baterii cu o capacitate de stocare a energiei de 256 kWh ar putea oferi o sursă de energie fiabilă pentru locația selectată. Cu toate acestea, deoarece sursele de energie selectate sunt sporadice, este totuși necesar să rămâneți conectați la rețeaua electrică pentru a evita penuria și surplusurile extreme de energie. Figura 3.3 reprezintă proiectarea conceptuală a unei surse de energie hibridă fotovoltaică-WT-hidro în afara rețelei. Graficele arată modele exemplare de consum de energie/rendament [128].

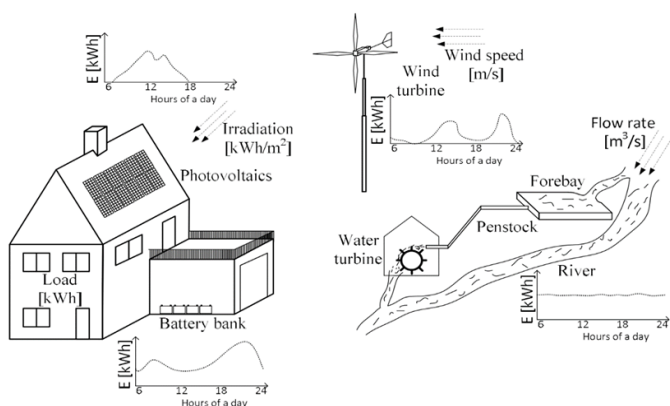


Fig. 3.3 Proiectarea conceptuală a unei surse de energie hibridă fotovoltaice-WT-hidro în afara rețelei [128].

Se poate observa din rezultate că valoarea optimă a funcției obiectiv poate fi atinsă prin ajustarea variabilelor de intrare, la PPV este de 9 kW, PWT este egal cu 8 kW, iar EBBmax are o valoare de 256 kWh. Cu un surplus de puțin peste 1,8 MWh, sistemul propus va furniza, prin urmare, peste 92% din necesarul inițial de energie. Cu toate acestea, va exista un deficit de 2,25 MWh. Aceasta implică posibilitatea de a reduce bilanțul energetic global la zero prin creșterea marginală a capacității de producere a energiei hibride recomandate a sursei de energie hibridă. Valorile exemplare ale generării și cererii de energie sunt prezentate în figura 3.4. Surplusurile semnificative de energie sunt produse de turbinele

eoliene, dar turbinele de apă asigură în mod continuu o producție constantă de energie [128].

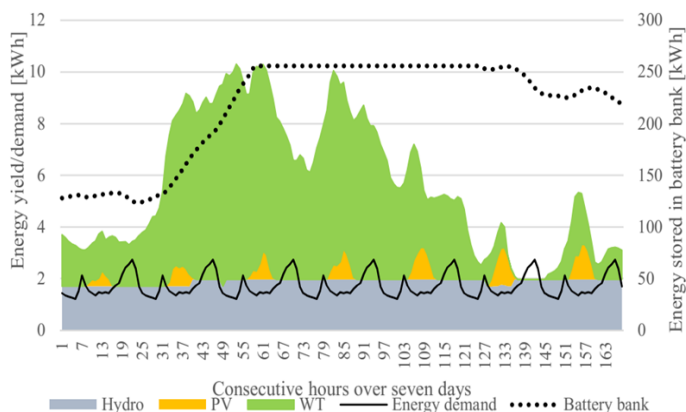


Fig. 3.4 Generarea, cererea și stocarea energiei timp de șapte zile consecutive în ianuarie [128].

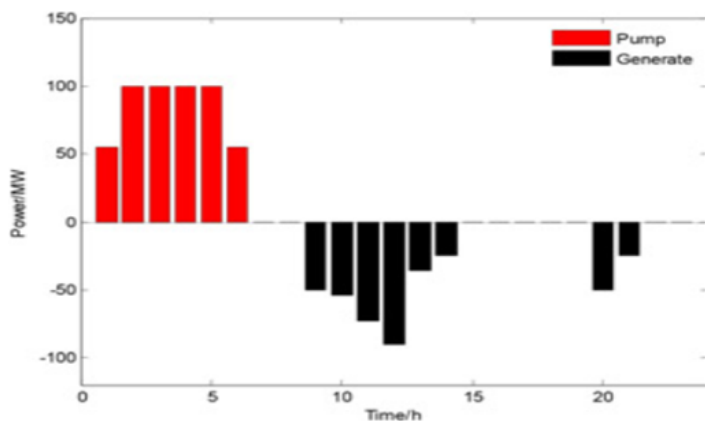


Fig. 3.5 Rezultatul programării hidrostocării prin pompare [129].

Impactul acumulării hidroelectrice prin pompare asupra scăderii cererii de vârf de energie electrică este prezentat mai detaliat în Figura 3.5. Rezultatele studiului arată că stocarea hidroelectrică prin pompare poate muta eficient ferestrele de cerere de vârf de la 9:00-14:00 și 20:00-21:00 în perioada 1:00-6:00 în afara orelor de vârf. Potrivit cercetării,

fluctuațiile de putere pot fi reduse prin utilizarea hidrosistemului de stocare prin pompare [129].

Stocarea hidroelectrică prin pompare joacă un rol crucial în atenuarea fluctuațiilor de putere, în special în sistemele care se bazează în mare măsură pe surse de energie regenerabilă, cum ar fi energia eoliană și solară. Această capacitate de a stoca și elibera energie la cerere face ca stocarea hidroelectrică prin pompare să fie o soluție eficientă pentru netezirea fluctuațiilor de putere. Poate absorbi excesul de energie în perioadele de generare ridicată de energie regenerabilă și apoi o eliberează în perioadele de producție scăzută sau cerere mare. În acest fel, stocarea hidroelectrică prin pompare ajută la menținerea unei surse de energie stabile și fiabile, ceea ce este deosebit de important pentru stabilitatea rețelei în contextul creșterii ponderii surselor de energie regenerabile variabile. Prin urmare, este o componentă cheie în tranziția către un sistem energetic mai durabil și mai rezilient.

3.2 SIMULAREA CENTRALELOR EOLIENE, SOLARE ȘI HIDROELECTRICE

Este de remarcat faptul că energia nu este întotdeauna generată simultan din ambele surse, eoliană și solară; ocazional, energia este generată doar de unul dintre ele. Acest capitol acoperă elementele de bază ale sistemului luat în considerare, care includ mai multe componente care necesită calcule. În plus, turbinele eoliene și panourile solare sunt simulate folosind software-ul MATLAB și, respectiv, PVSYS. Amintiți-vă că aceste sisteme sunt instalate pe teren ca parte a unui proiect mai mare pe Înălțimile Golan.

3.2.1 Centrala eoliană

Cercetarea noastră se concentrează pe parcurile eoliene terestre. Am utilizat o turbină eoliană Ge de 3,2 MV și am obținut date despre viteza vântului de la Serviciul Meteorologic din Israel pentru locația adiacentă sitului de studiu, așa cum s-a menționat anterior în capitolul

precedent III (3.6-137) este o variantă a unei turbine eoliene cu axă orizontală, cu un rotor cu trei pale cu un diametru de 137 de metri. Platforma de 3,2 MW încorporează controlul activ al rotației pentru a regla orientarea turbinei eoliene în funcție de direcția vântului, controlul activ al pasului palelor pentru a regla viteza rotorului și un generator de viteză variabilă cu un sistem de convertor electronic de putere. Platforma de 3,2 MW are un design modular al trenului de rulare, în care componentele cheie ale trenului de rulare, inclusiv rulmentul arborelui principal, cutia de viteze, generatorul și unitățile de rotație, sunt conectate la o placă de bază.

Figura 3.6 este un grafic al tensiunii de ieșire a unei turbine eoliene în timp. Axa y arată tensiunea pe unitate (pu), iar axa x arată timpul în secunde. Cele trei linii reprezintă tensiunea celor trei faze (Vabc_B25) ale turbinei eoliene. Per unitate (pu) este un sistem unitar care este utilizat în mod obișnuit în sistemele de alimentare pentru a exprima tensiunea sau curentul în raport cu o valoare de bază aleasă.

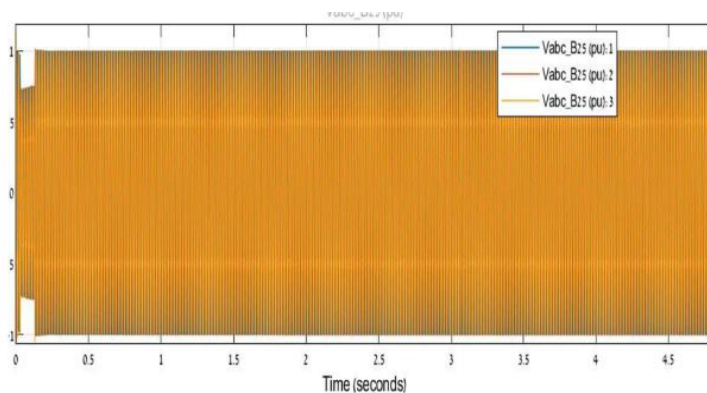


Fig. 3.6 Tensiunea turbinei eoliene.

Acest lucru permite compararea mai ușoară a tensiunilor pe diferite părți ale unui sistem de alimentare. În graficul tensiunii turbinei eoliene, se pare că tensiunea este constantă în timp pentru fiecare fază. Acest lucru sugerează că turbina eoliană funcționează în condiții de echilibru, unde viteza vântului și alți factori sunt relativ constanți. Cu toate acestea, este important de reținut că scara de timp din grafic este de

doar 4,5 secunde. Tensiunea turbinei eoliene poate fluctua în funcție de diverși factori, inclusiv modificări ale vitezei vântului, fluctuații de tensiune pe rețeaua electrică și sistemul de control al turbinei, care pot provoca variații ale tensiunii de ieșire a turbinei.

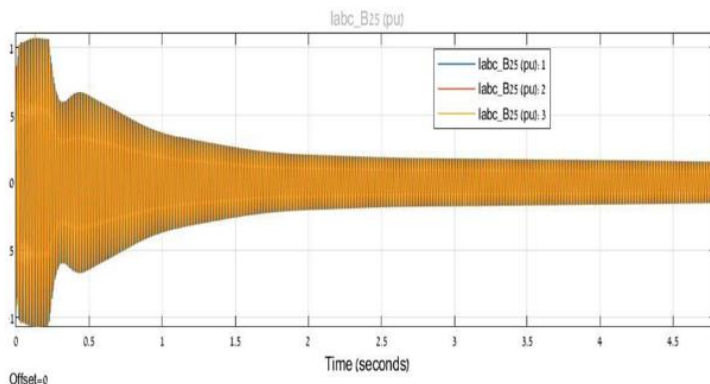


Fig. 3.7 Curentul turbinei eoliene.

Imaginea din Figura 3.7 este un grafic al curentului de ieșire al unei turbine eoliene, în special curentul în faza B25 a turbinei. Axa y arată curentul pe unitate (pu), iar axa x arată timpul în secunde. În graficul curentului turbinei eoliene, curentul pare să fluctueze oarecum în timp. Acest lucru se datorează probabil faptului că viteza vântului nu este perfect constantă.

Ca și în cazul tensiunii, pe unitate (pu) este un sistem unitar care este utilizat în mod obișnuit în sistemele de alimentare pentru a exprima curentul în raport cu o valoare de bază aleasă. Figurile 3.6 și 3.7 descriu tensiunile și curenții turbinelor de-a lungul timpului în unități relative și se poate observa că tensiunea este apropiată de valoarea la care a fost vizată în comparație cu curentul care la început are vârfuri apoi se stabilizează. Acesta este un fenomen de pornire a sistemului, care este natural, iar apoi tensiunea scade la început când curentul crește, iar după ce sistemul se stabilizează, cei doi parametri se stabilesc.

3.2.2 Centrala solară

Simularea realizată în PVSYST se referă la un sistem fotovoltaic construit din 57 de șiruri în paralel, 13 module în serie pe șir, 144 de celule de 540 Wp, un total de 400 kW. În plus, au fost adăugate 12 invertore generice de 30 kVA fiecare. Diagrama sistemelor fotovoltaice utilizată pentru simulare este prezentată în figura 3.8.

Diagrama din Figura 3.8 ilustrează o diagramă bloc a condițiilor operaționale ale sistemului fotovoltaic bazat pe iradierea solară.

Figura 3.9 arată energia zilnică de ieșire a sistemului pentru sistemul de panouri fotovoltaice (PV) care primește o radiație solară de 800 wați pe metru pătrat (W/m^2). Curba grafică reprezintă variația producției de energie pe parcursul unei zile. Graficul indicat în Figura 3.9 descrie producția de energie a sistemului fotovoltaic într-o singură zi. Curba arată un vârf în jurul prânzului, când soarele este cel mai înalt pe cer, iar iradierea este cea mai puternică.

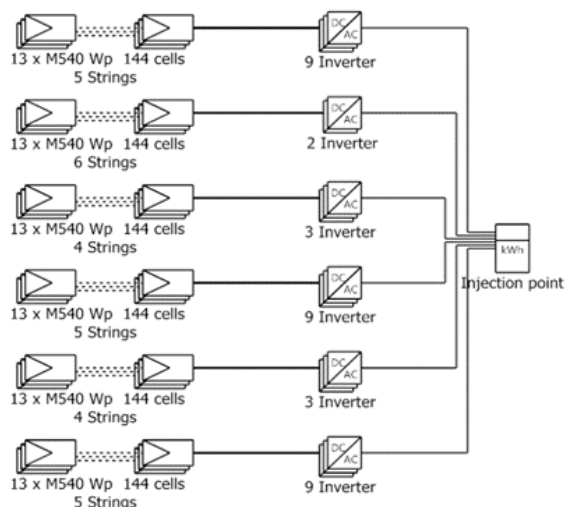


Fig. 3.8 Diagramă cu o singură linie Sistem fotovoltaic de 400kW.

Producția de energie ar scădea apoi dimineața și seara, pe măsură ce nivelurile de iradiere scad. Indiferent de scara de timp, forma generală a curbei sugerează că sistemul fotovoltaic generează mai multă energie în timpul zilei/verii și mai puțină energie noaptea/iarna. Valorile zilnice ale

producției de energie pot fi estimate prin citirea axei y în punctul corespunzător de pe curbă. De exemplu, dacă scara axei y arată valori de până la 10 și curba atinge vârful în jurul mijlocului graficului, atunci producția zilnică de energie ar putea fi de aproximativ 5 MWh/zi. Graficul oferă o imagine de ansamblu a producției zilnice de energie a sistemului fotovoltaic studiat care primește 800 W/m^2 de iradiere. Prin înțelegerea factorilor care influențează producția de energie, se poate obține o mai bună înțelegere a performanței sistemului fotovoltaic.

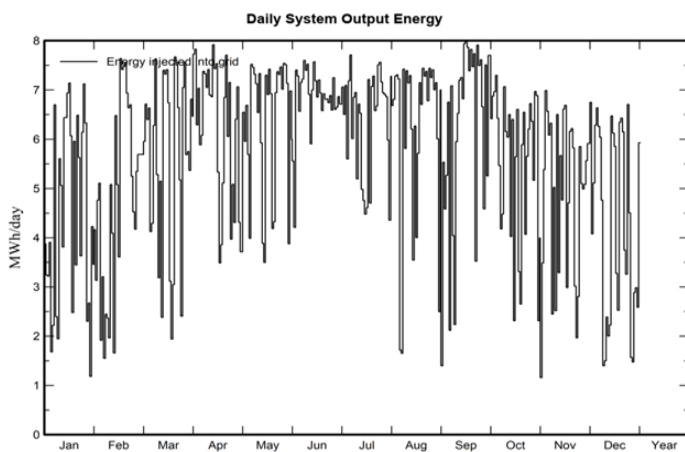


Fig. 3.9 Energie zilnică de ieșire a sistemului pentru 800 W/m^2 .

Graficul indicat în figura 3.10 reprezintă energia anuală de ieșire pentru sistemul de panouri fotovoltaice (PV) presupunând o radiație constantă de 800 W/m^2 pe tot parcursul anului. Curba reprezintă distribuția producției anuale de energie în diferite clase de putere. Principala concluzie din acest grafic este că producția de energie a sistemului fotovoltaic nu este constantă pe tot parcursul anului. Chiar dacă se presupune că iradierea este constantă la 800 W/m^2 , intră în joc și alți factori.

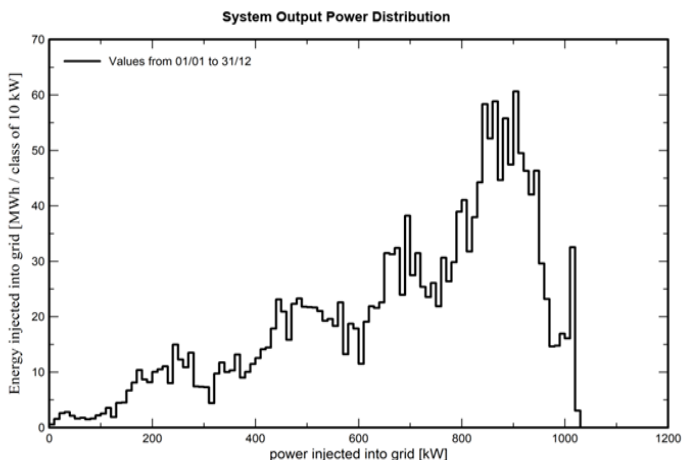


Fig. 3.10 Energie anuală de ieșire pentru 800 W/m².

3.2.3 Hidrocentrala

Centrala hidroelectrică este definită ca un sistem mic și este planificată ca un proiect pilot. Direcția de gândire este că, în viitor, poate fi extins cu mai multe rezervoare în zona superioară, mai multe conducte atunci când traseul este deja pregătit cu o lățime relativ bună, iar rezervorul inferior, care este o mare și poate fi definit cu o crochetă relativ infinită. În plus, există un rezervor care a fost deja construit în zonă cu o capacitate de 208 megawați. Pompa este compactă și are o intrare care se împarte în două și are fiecare ieșire pe ambele părți ale țevii în supape care sunt controlate de un sistem de control al producției. Pompa a fost aleasă după verificarea și ajustarea dimensiunii consumului zonei care a fost luată în considerare pentru selecție. Pentru a alege pompa/turbina, trebuie determinat diametrul conductei. Diametrul pompei depinde de puterea consumată, care este elementul principal al ecuației. Consumul de energie ajunge la un sfert de milion de oameni, iar consumul mediu de energie electrică, potrivit datelor companiei electrice israeliene, inclusiv consumul intern și public al fabricii, ajunge la 27.012 megawați pe zi. Datele experimentale au arătat că eficiența în modul turbină poate ajunge în modul pompă.

CAPITOLUL IV

REZULTATELE EXPERIMENTALE ȘI ACHIZIȚIA DATELOR DE AMPLASAMENT

4.1 EVALUAREA PERFORMANȚEI PENTRU INTEGRAREA ENERGIEI DIN SURSE REGENERABILE

La nivel mondial, o gamă largă de industrii se bazează pe pompe și sisteme de pompare ca mecanisme fundamentale. Ele sunt similare cu sistemul circulator al inimii prin faptul că pompează lichid, nu sânge, dintr-o locație în alta. Pompele sunt dispozitive mecanice care furnizează fluidelor energie pentru a crește debitul și presiunea statică. În general, transformă energia electrică în energie hidraulică [118], [119].

4.1.1 Sisteme hibride multi-energetice (MEHS)

Sursele regenerabile de energie includ centralele eoliene (WPP), generatoarele fotovoltaice (PV), turbinele cu gaz celular (CGT) și centralele electrice de stocare prin pompare (PSPS). În primă instanță, exemplul sistemului hibrid prezintă MEHS și creează un model de programare cu funcțiile obiective de câștig economic maxim și variație minimă de putere de ieșire. În al doilea caz, teoria stocastică robustă este oferită pentru a descrie incertitudinea și a propune un mod de optimizare a programării stocastice multi-obiective prin ajustarea condițiilor de constrângere cu variabile incerte pentru a reduce efectul de incertitudine al WPP și PV asupra sistemului. În cele din urmă, este prezentat un sistem simulat cu un WPP de 9,6 MW și un PV de 6,5 MW [118]. Rezultatele

arată că, prin utilizarea caracteristicii de generare hibridă multi-energie, sistemul MEHS poate obține cel mai bun rezultat de funcționare posibil. Prin modificarea comportamentelor de pompare, stocare și generare de intrare în funcție de starea cererii și ofertei de sarcină, precum și a puterii disponibile a WPP și PV, PHSP poate reduce vârful curbei de sarcină și poate umple valea. Prin stabilirea unor coeficienți robuști alternativi, care pot maximiza beneficiile economice, minimizând în același timp riscurile de operare, coeficienții robuști pot ușura ambiguitatea WPP și PV și pot oferi instrumente flexibile de programare pentru factorii de decizie cu diferite riscuri. Principalele contribuții ale acestei lucrări sunt [118]:

- Un model de putere este utilizat pentru a construi un sistem complementar multi-energie. Pentru a minimiza fluctuațiile și a maximiza eficiența economică a sistemului, ținând cont de constrângerile operaționale, este dezvoltat un model de optimizare a programării. Funcția de optimizare a unei centrale electrice de stocare prin pompare și teoria optimizării stocastice rezistente sunt ambele examinate folosind acest model.
- O metodă de caracterizare a incertitudinii în sistemele fotovoltaice (PV) și eoliene (WPP) este furnizată de distribuția Rayleigh și funcția de distribuție beta. Teoria stocastică rezilientă este fundamentul acestei metode.
- capacitatea de a suporta riscuri pentru a obține beneficii economice suplimentare [118].

Sistemele hibride multi-energie (MEHS) reprezintă un progres remarcabil în sectorul energiei regenerabile. Pentru a atinge zero emisii de carbon, acestea integrează o varietate de surse de energie, inclusiv geotermală, biomasă și energie solară. MEHS poate îmbunătăți considerabil eficiența energetică și sustenabilitatea prin furnizarea adaptabilă a energiei necesare pentru o varietate de aplicații. Prin integrarea creativă a diferitelor surse de energie, pot fi obținute configurațiile ideale MEHS, ilustrând potențialul MEHS de a sprijini gestionarea eficientă și durabilă a energiei. Cu toate acestea, este necesară o planificare și o analiză amănunțită pentru optimizarea și implementarea MEHS.

4.1.2 Caracteristica sistemului de pompare

Pentru o varietate de aplicații, pompele sunt oferite într-o gamă largă de dimensiuni și modele. Pe baza principiului lor de funcționare de bază, acestea sunt clasificate ca pompe dinamice sau deplasatoare. Teoretic, orice lichid poate fi manipulat de oricare dintre modelele pompei. Pompa centrifugă este adesea cel mai economic tip de pompă atunci când sunt disponibile o varietate de tipuri de pompe, urmată de pompe rotative și alternative [119]. Părțile centrale ale unei centrale hidroelectrice sunt prezentate în figura 4.1.

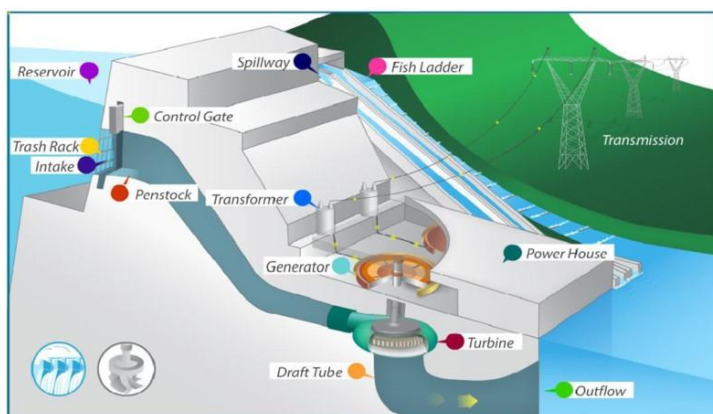


Fig. 4.1 Părțile centrale ale unei centrale hidroelectrice [119].

Principalele obiective ale unui sistem de pompare sunt fie de a muta lichidul dintr-o sursă într-o locație specificată, fie de a umple un rezervor de nivel înalt, fie de a circula lichid într-un sistem ca schimbător de căldură considerat o tehnică de transfer de căldură.

Unele dintre părțile centralei hidroelectrice sunt un baraj sau un rezervor, care stochează apa la un nivel mai înalt și furnizează energia potențială; un bazin care stochează temporar apa înainte de a trece în modulul de admisie; o structură de admisie care colectează apa din golful din față și o trece la conducta forțată; conducta forțată, care este o țeavă mare care transportă apa de la rezervor la turbină. Apa din conducta forțată lovește palele turbinei, făcându-l să se rotească. În acest fel, turbina

transformă energia cinetică a apei care cade în energie mecanică. Generatorul atașat la turbină transformă energia mecanică în energie electrică. Un regulator este utilizat pentru a controla rata cu care apa intră în turbină, controlând astfel viteza turbinei. Energia electrică generată în centrală este transportată în rețea prin linii de transport [119]. Pentru ca lichidul să curgă la rata dorită, trebuie să existe presiune, care trebuie să depășească "pierderile" de cap din sistem. Există două categorii de pierderi: cap de frecare și static.

4.1.3 Pompa utilizată ca turbină

Model de predicție a performanței pompelor utilizate ca turbine (PAT) [120]

Datorită costurilor reduse de instalare și întreținere, pompele care funcționează ca turbine (PAT) au câștigat popularitate în ultimii ani. Deoarece producătorii oferă adesea doar caracteristicile de performanță ale modului de pompă, cel mai mare obstacol care împiedică o adoptare mai amplă a PAT este absența curbelor de proprietate adecvate. Pentru a rezolva acest lucru, este introdusă REDAWN (Reducerea dependenței energetice în rețelele de apă din zona atlantică), o arhivă de performanță, iar datele colectate sunt utilizate pentru a ajusta modelele de performanță PAT. Deoarece pierderile de apă cresc odată cu presiunea, gestionarea presiunii în sistemele de distribuție a apei (WDS) este o abordare frecvent utilizată pentru a reduce scurgerile. Desigur, pot fi utilizate și supape de reducere a presiunii (PRV), dar par a fi o soluție costisitoare și inefficientă pentru a reduce consumul de apă. Pompele ca turbine (PAT) pot fi utilizate pentru a transforma excesul de apă în energie, cu scopul dublu de a produce energie verde și de a reduce fluxul de ieșire [121].

4.1.4 Pierderi hidraulice și analiza pompei-turbină de tip S

Calculul simplu prezentat mai jos poate fi utilizat pentru a vizualiza impactul pierderilor hidraulice asupra relației dintre performanța pompei și a modului turbină [124].

$$H_p = H_E \eta_p \quad (4.19)$$

$$H_t = \frac{H_E}{\eta_t} \quad (4.20)$$

Putem scrie imediat următoarea ecuație deoarece idealul, HE, conform lui Euler, este același atât în modul pompă, cât și în modul turbină.

$$\frac{H_p}{H_t} = \eta_p \eta_t \quad (4.21)$$

Conform datelor experimentale, eficiența modului turbinei poate corespunde nivelurilor modului pompei. Presupunând o eficiență de 80% duce la ($\eta_p = \eta_t = 0,8$):

$$\frac{H_p}{H_t} = \eta_p^2 = 0.8^2 = 0.64 \quad (4.22)$$

Se poate observa că, pentru ca o pompă să funcționeze la eficiența sa maximă, este nevoie de o înălțime netă între 30 și 150% mai mare decât în modul pompă [124].

Energia hidroelectrică [Kw] este dată de ecuația:

$$P = Q * H * \eta_{tot} * 9.81 \quad (4.23)$$

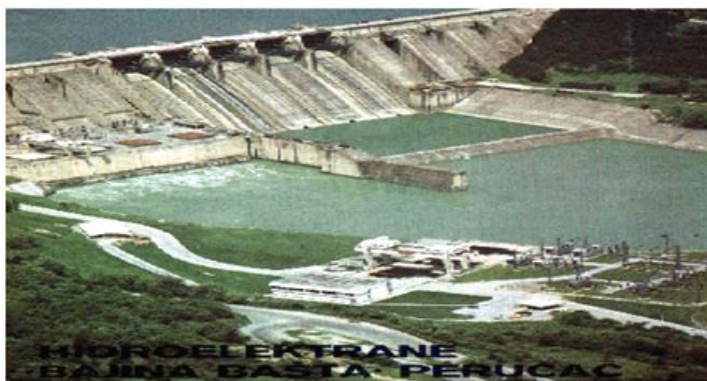
$$\eta_{tot} = \eta_t * \eta_g * \eta_{sp} * \eta_{trafo} \quad (4.24)$$

Unde:

- P – putere electrică [kW];
- Q – descărcare nominală;
- H – cap net;
- η_{tot} – eficiență totală;
- η_t – eficiența turbinei;
- η_g – eficiența generatorului;

- η_{sp} – eficiență crescută a vitezei;
- η_{trafo} – eficiența transformatorului;

Turbinele cu pompă cu viteză specifică redusă au o proprietate neobișnuită atunci când vine vorba de modurile de funcționare ale turbinei. Orice reducere a vitezei în afara zonei de fugă scade descărcarea. Turbinele pot face ca eliberarea netă să fie pozitivă sau negativă (pompă). Vibrațiile violente și cavitația sunt un acompaniament natural al acestor moduri de funcționare [125], [126].



*Fig. 4.2 Instalație de stocare prin pompă în Bajina Basta (1982).
Înălțime 600 m, două unități de 300 MW fiecare [125], [126].*

4.2 ACHIZIȚIA DE DATE PENTRU CENTRALELE EOLIENE, SOLARE ȘI HIDROELECTRICE

Proiectul studiat este situat la Înălțimile Golan și constă în surse de energie care cuprind panouri fotovoltaice și turbine eoliene. Acestea sunt situate lângă localitățile Yonatan și Keshet Velegs. Două rezervoare, rezervorul inferior, Marea Galileii, este poziționat la 212 metri sub nivelul mării, în timp ce rezervorul superior, Shaabaniya, este situat la 463 de metri deasupra nivelului mării. Rezervoarele sunt conectate printr-o conductă forțată de 13,67 kilometri, care constă din trei țevi de oțel la același nivel, fiecare cu un diametru de 16 inch. Adiacent Mării Galileii în direcția nord-est (așa cum se arată în Figura 4.3), există o pompă de 6

MW care funcționează ca o turbină în centrala electrică. Este alimentat de un cablu de aluminiu de 400 mm^2 îngropat în subteran, care se conectează la o stație din apropiere. Cablul funcționează la o tensiune medie de 33 kV. Cele două stații sunt conectate între ele printr-un cablu subteran de 2000 mm^2 la o tensiune înaltă de 161 kV.

Sistemul funcționează conform diagramei prezentate în figura 4.3. Când există energie dintr-una dintre cele două surse, eoliană sau solară, aceasta este folosită pentru a alimenta sarcina. Dacă există un exces de energie dincolo de ceea ce necesită sarcina, sistemul stochează această energie prin pomparea apei din rezervorul inferior în rezervorul superior. În schimb, dacă energia de la sursă este insuficientă pentru a satisface nevoile sarcinii, pompa schimbă poziția și funcționează ca o turbină pentru a genera energia suplimentară necesară. Obiectivul este de a se asigura că planificarea proiectului garantează capacitatea sistemului de a acoperi deficitele energetice în fiecare zi a anului. Aceasta presupune stocarea suficientă a apei în timpul orelor de producție pentru a genera energie și a compensa pierderile cauzate de frecarea conductei sau evaporarea în rezervorul superior în timpul orelor de fără producție. Prin urmare, funcția trebuie să ia în considerare ziua minimă de producție cu o limită superioară pentru producție, care va fi utilizată în scopuri de planificare.



Fig. 4.3 Aspectul amplasamentului proiectului.

În plus, ar trebui să țină cont și de cantitatea minimă de apă necesară în rezervor în ziua consumului maxim, împreună cu orice pierderi. Pe parcursul studiului, sistemul a fost monitorizat cu succes și a obținut rezultate precise pentru toate sursele de energie.

4.2.1 Centrala eoliană

Figura 4.4 descrie parcul eolian proiectat care include 34 de turbine eoliene GE cu 2,9-3,2 MW fiecare, împărțite în clustere și conectate între ele prin cablu de medie tensiune și stație cu echipamente de înaltă și medie tensiune. Turbinele fac parte din platforma de turbine eoliene onshore a GE, care este cunoscută pentru fiabilitatea și performanța sa. Acestea funcționează la viteze variabile și utilizează un generator de inducție dublu alimentat (DFIG) cu un sistem de conversie parțială a puterii. Turbinele eoliene sunt împărțite în grupuri care sunt grupuri de mai multe parcuri eoliene într-o anumită zonă. Gruparea parcurilor eoliene poate avea un impact asupra producției de energie datorită efectului de siaj, unde viteza vântului poate fi redusă datorită funcționării turbinelor din amonte.



Fig. 4.4 Aspectul amplasamentului proiectului.

Grupurile sunt interconectate folosind cabluri de medie tensiune, care funcționează cu tensiuni mai mari de 1000V și sunt utilizate în mod obișnuit în parcurile eoliene pentru transmiterea energiei. Acestea ajută la

reducerea pierderilor electrice și sunt o soluție rentabilă pentru transmiterea energiei pe distanțe lungi. Substația este o componentă critică a parcului eolian. Acesta include echipamente de înaltă și medie tensiune și servește drept platformă intermediară între generatoarele de turbine eoliene și rețeaua electrică terestră. Substația colectează și exportă energia electrică generată de turbine, stabilizează și maximizează tensiunea energiei generate în larg și transmite energia electrică la țarm.

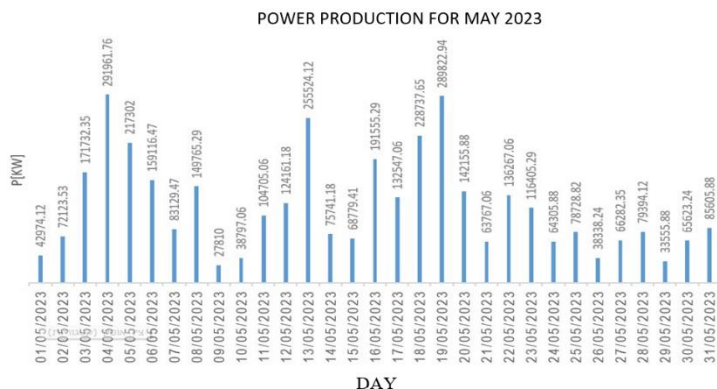


Fig. 4.5 Producția de energie a parcurilor eoliene pentru mai 2023.

Figura 4.5 enumeră producția zilnică de energie a parcului eolian studiat în kilowați-oră (kWh) pentru fiecare zi din mai 2023. Parcul eolian a produs cea mai mare putere pe 4 mai 2023, generând 291.961,76 kWh. Parcul eolian a produs cea mai mică energie pe 9 mai 2023, generând doar 27.810 kWh. În general, parcul eolian a produs multă energie în prima jumătate a lunii mai, cu multe zile care au depășit 100.000 kWh. Producția a scăzut semnificativ în a doua jumătate a lunii.

Figura 4.6 prezintă puterea de producție a parcului eolian pe lună pentru o perioadă de douăsprezece luni, începând din iunie 2022 și încheindu-se în mai 2023. Conform graficului, parcul eolian a produs cea mai mare putere în iulie 2022, la o cantitate de 5,63 gigawați. Producția de energie electrică a fost cea mai scăzută în septembrie 2022, la o cantitate de 2,32 gigawați. Producția medie lunară a parcurilor eoliene este de aproximativ 4,0 GW.

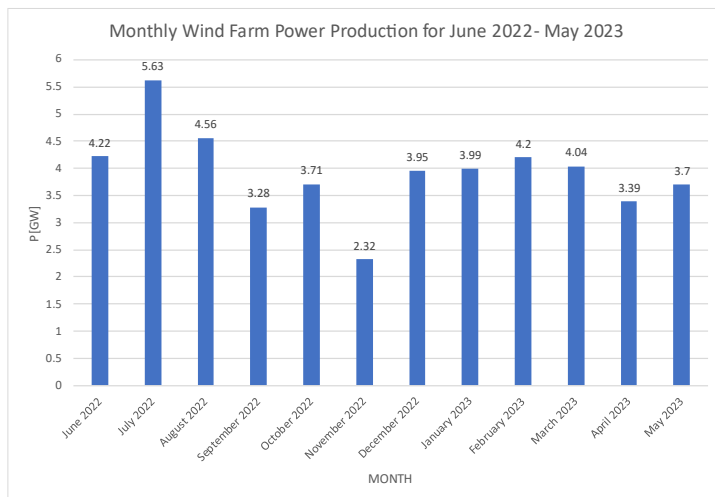


Fig. 4.6 Puterea lunară a parcurilor eoliene din iunie 2022 până în mai 2023.

4.2.2 Instalația fotovoltaică

Sistemul fotovoltaic este poziționat de-a lungul marginilor exterioare ale unui rezervor, utilizând spațiul neutilizat și minimizând cerințele de construcție. Figura 4.7 indică sistemul fotovoltaic instalat pe marginile rezervorului, turbinele eoliene și stația electrică cu transformator de distribuție pe un turn de medie tensiune.



Fig. 4.7 Parc eolian, parc fotovoltaic și stație de transformare.

Laturile rezervorului sunt înclinate la un unghi de 30 de grade, oferind o suprafață adecvată pentru instalarea panourilor solare până la un anumit nivel. Conexiunile electrice sunt amplasate în partea inferioară a

panourilor, în timp ce convertoarele sunt adăpostite într-o magazie. În plus, un stâlp de dimensiuni medii este instalat lângă magazie. Sistemul este proiectat pentru a conserva energie. În Israel, este obișnuit ca sistemele de ferme solare să fie echipate cu un stâlp de medie tensiune care are un transformator montat deasupra. Această configurație permite sistemului să se conecteze la rețea. Sistemul studiat este capabil să interacționeze cu rețeaua electrică. Lunar, sistemul este supus unui proces de spălare pentru a-și asigura curățenia. Sistemul este echipat cu programe care permit monitorizarea și recepția măsurătorilor în timp real, precum și stocarea datelor.

Graficul indicat în figura 4.8 arată o comparație a datelor lunare de producție de energie fotovoltaică. Datele au fost simulate cu PVsyst, un program software utilizat pentru a modela performanța centralelor solare, și datele obținute la fața locului la ferma solară fotovoltaică studiată.

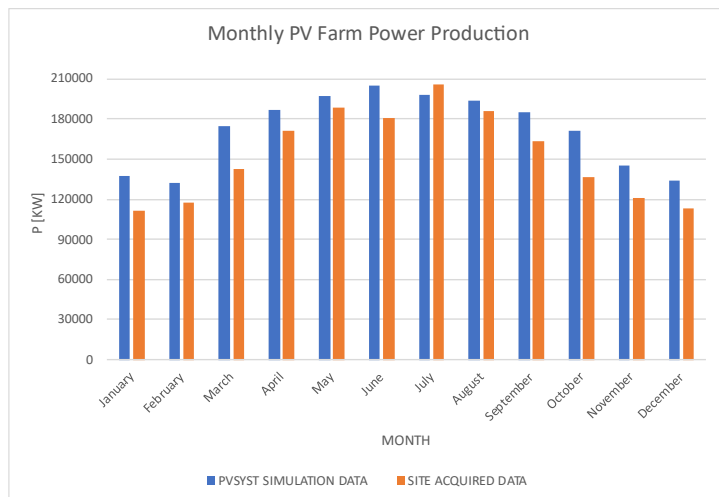


Fig. 4.8 Producția de energie a fermelor fotovoltaice PVSYST Simulare și date măsurate.

Graficul arată că datele simulate și datele de la fața locului urmează o tendință similară, cea mai mare producție de energie având loc în lunile de vară (iunie, iulie, august) și cea mai mică producție de energie

având loc în lunile de iarnă (decembrie, ianuarie, februarie). Acest lucru se datorează faptului că panourile solare produc mai multă energie electrică atunci când există mai multă lumină solară. Graficul indică, de asemenea, că datele de la fața locului tind să fie mai mici decât datele simulate. Acest lucru s-ar putea datora unei serii de factori, cum ar fi umbrirea, murdărirea panourilor sau ineficiențele sistemului. În general, graficul arată că PVsyst poate fi un instrument util pentru simularea performanței centralei solare, dar este important să rețineți că performanța reală a unei ferme solare fotovoltaice poate fi mai mică decât ceea ce este simulat.

4.3 REZULTATE

Centralele electrice hibride, care combină mai multe surse de energie regenerabilă, au atras multă atenție pe măsură ce căutarea alternativelor de energie durabilă continuă. Sistemele hibride care combină energia hidro, solară și eoliană sunt printre cele mai promițătoare configurații. Prin utilizarea calităților complementare ale mai multor resurse regenerabile, aceste sisteme optimizează eficiența și fiabilitatea generării de energie, reducând în același timp cheltuielile operaționale și efectul asupra mediului.

Turbinele eoliene, care transformă energia cinetică a vântului în energie electrică, sunt folosite pentru a capta energia eoliană. Turbinele eoliene sunt o parte fiabilă a sistemelor hibride, deoarece sunt făcute să funcționeze bine într-o varietate de situații de vânt. Turbinele eoliene pot produce o cantitate considerabilă de energie electrică a centralei hibride în zilele cu viteze favorabile ale vântului. Natura intermitentă a energiei solare este atenuată de capacitatea turbinei eoliene de a funcționa în diferite momente ale zilei și ale anului. Panourile solare sunt utilizate în sistemele de energie fotovoltaică pentru a converti direct lumina soarelui în energie electrică. Sistemele fotovoltaice, care variază ca mărime de la instalații mici pe acoperiș până la ferme solare masive, sunt renumite pentru adaptabilitatea și scalabilitatea lor. Panourile fotovoltaice dintr-un sistem hibrid generează energie electrică pe tot parcursul zilei, când radiația solară este la apogeu. Chiar și atunci când viteza vântului este

scăzută sau resursele hidro sunt conservate, capacitatea sistemului hibrid de a produce energie în mod constant pe tot parcursul zilei este garantată de integrarea panourilor fotovoltaice cu componente eoliene și hidro. În centralele hidroelectrice, turbinele sunt rotite de apa curgătoare pentru a produce electricitate. Energia hidroelectrică este esențială pentru furnizarea de energie de bază și capacitate de stocare într-un sistem hibrid. Energia hidroelectrică poate fi crescută pentru a satisface cererea de energie atunci când producția solară și eoliană este scăzută. Stocarea energiei este un alt beneficiu al instalațiilor hidroelectrice cu rezervoare. Această caracteristică permite ca excesul de energie produs de sistemele eoliene și fotovoltaice să fie stocat ca energie potențială și utilizat în perioadele de cerere mare sau de generare scăzută de energie regenerabilă.

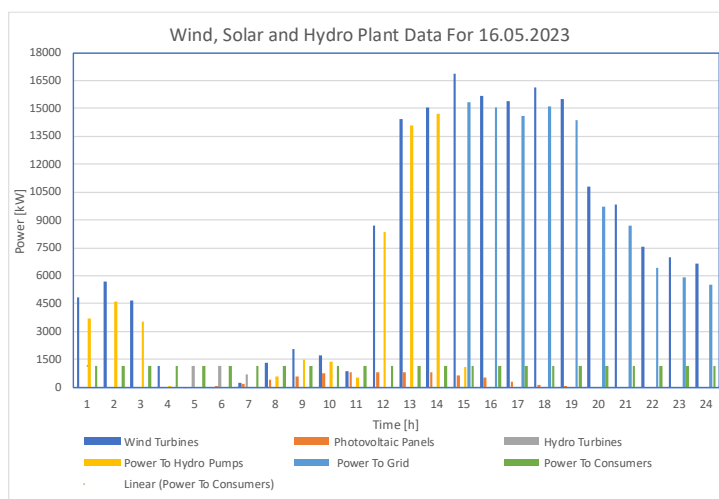


Fig. 4.9 Puterea fermei hibride pe 16 mai 2023.

Valorile expuse în figura 4.9 oferă date privind puterea de ieșire în kilowați (kW) pe o perioadă de 24 de ore din diferite surse de energie și distribuția acestora. Axa x reprezintă timpul în ore (de la 1 la 24), iar axa y reprezintă puterea în kilowați (variind de la 0 la 18.000 kW). Componentele graficului se referă la bare albastre ca energie generată de turbinele eoliene; barele portocalii reprezintă puterea generată de

panourile fotovoltaice (PV); bare galbene ca energie consumată de hidropompe; bare gri ca energie generată de turbine hidro și bare albastru închis se referă la energia trimisă în rețea. Linia punctată verde reprezintă puterea liniară a consumatorilor, ceea ce indică o alimentare constantă a consumatorilor pe tot parcursul zilei.

Barele turbinelor eoliene indică o producție semnificativă de energie, în special între orele 13 și 19, cu vârfuri în jur de 17.000 kW în aceste ore și modele de vânt puternice și consistente în timpul după-amiezii și seara devreme. Barele de panouri fotovoltaice arată generarea de energie în principal în timpul zilei (aproximativ 7 până la 18) cu vârfuri în jurul orei 13, corespunzând soarelui de amiază, un model tipic pentru generarea de energie solară, care depinde de disponibilitatea luminii solare. Puterea barelor hidropompelor este notabilă în orele 2, 3, 12 și 13, indicând momentele în care excesul de putere este folosit pentru a pompa apă la altitudini mai mari pentru stocare, stocând în esență energie pentru utilizare ulterioară, un total de 54026 kW. Barele turbinelor hidro sunt minime pe tot parcursul zilei, sugerând că turbinele hidro au fost utilizate în primul rând la nevoie, ca sursă de energie de rezervă și suplimentară. Alimentarea către barele de rețea urmează un model similar cu turbinele eoliene, cu o putere semnificativă trimisă în rețea în orele 13-19, ceea ce indică faptul că o parte substanțială a energiei generate de energie eoliană este introdusă direct în rețea. Linia punctată verde rămâne constantă pe tot parcursul zilei, deoarece puterea totală necesară pentru alimentarea consumatorilor a fost egală cu 1126 kW, indicând o alimentare constantă și fiabilă cu energie a consumatorilor, indiferent de variațiile de producție din diferite surse.

CAPITOLUL V

CONCLUZII

Subiectul studiului demonstrează că, componentele din care este compus sunt componente de dimensiuni mari, deci rezultă că pregătirea și construcția componentelor vor fi probabil atât mari, cât și complicate. De asemenea, este înțelept să alegeți componente care funcționează deja, deoarece problemele apărute vor putea fi rezolvate. În plus, geografia nu este ideală, cu munți abrupti care necesită în primul rând echipamente mari de inginerie. Ca urmare, toate libertățile necesită o cercetare amănunțită și ar trebui, ori de câte ori este posibil, să utilizeze resursele existente, cum ar fi pompele, conductele enorme și rezervoarele de apă naturale. Deoarece ne străduim să obținem energie verde și curată, trebuie, de asemenea, să acționăm într-un mod care să provoace cel mai mic rău mediului pentru a conserva ceea ce există deja. Dincolo de faptul că a fost testat anterior, este esențial să alegeți componente de echipamente cu o durată de viață decentă, deoarece majoritatea proiectelor de acest gen sunt proiecte naționale și ar trebui să dureze mult timp. De asemenea, trebuie să luăm în considerare problema generală de întreținere. Eficiența fiecărei componente a sistemului în cauză trebuie maximizată. Pierderile apar din cauza frecării, a ineficienței diferitelor motoare, evaporarea apei din rezervorul de apă, uzura cablurilor de transmisie etc. Deși există pierderi, energia este gratuită, costurile de producție sunt scăzute, iar sursa de energie este nelimitată.

Prin utilizarea analizei bibliometrice, cercetătorii de la începutul carierei lor pot începe să realizeze o publicație prin o mai bună înțelegere a modelelor și a corpului de cunoștințe dintr-un anumit domeniu de studiu. Analiza bibliometrică, analiza statistică a publicațiilor din diferite domenii de studiu, este utilizată pentru a obține investigații cantitative în literatura academică. Punctele forte și punctele slabe ale unui domeniu de

studiu pot fi evaluate obiectiv folosind bibliometria.

Producția instalată a sistemului fotovoltaic este foarte ne semnificativă în comparație cu parcul eolian. În plus, în scenariul special care a fost testat pe 16 mai 2023, energia eoliană poate compensa cantitatea de energie necesară în unele zile, dar nu prea mult în zilele fără vânt. Pe de altă parte, un proiect care a fost planificat lângă el este de așteptat să combine cercetarea și dezvoltarea actuală cu câțiva MW suplimentari de energie curată care este conectată la același Tahms. Tabelul 4.4 și graficul 3.0, care compară sistemul solar fotovoltaic în discuție, arată că rezultatele practice pe teren sunt mai mici decât rezultatele simulării, în jur de 11%. Acest lucru s-ar putea datora unei varietăți de factori de teren, cum ar fi murdăria, norii în anumite anotimpuri, întreruperile pentru întreținere (chiar dacă întreținerea a fost efectuată noaptea) sau întreruperile de la compania de electricitate, deoarece, în Israel, este obligatoriu prin lege ca partea fotovoltaică să se oprească în cazul unei întreruperi de curent pentru a preveni crearea unei insule izolate. Acest lucru demonstrează că programul PVsyst este fiabil și poate fi utilizat pentru analiza și planificarea sistemului prin încorporarea unor îmbunătățiri sau implementarea unui cerc de control corectiv. S-a observat că, în timp ce sistemul este vertical între orele 11 și 13, cele șase primesc cea mai mare energie, care ulterior începe să scadă în comparație. Energia eoliană nu este limitată la anumite ore; mai degrabă, poate fi primită la orice oră a zilei și poate avea un efect negativ. Într-o anumită zi, o fermă fotovoltaică poate produce doar 1-1,5 ore de energie, în timp ce parcurile eoliene furnizează energie pentru restul orelor. În plus, în țară, multe ferme solare plutesc pe suprafața mării în rezervoare. Acest lucru indică faptul că dimensiunea enormă a rezervoarelor poate fi folosită și pentru a produce energie solară, ceea ce este un plus.

Se concluzionează că sistemul solar este susceptibil la schimbări bruște cauzate de nori. Deși aceste schimbări interferează cu producția, această posibilitate a fost ignorată, deoarece sistemul solar fotovoltaic este o sursă secundară de energie, iar cea mai mare energie necesară provine de la turbinele eoliene. Alte proiecte de stocare prin pompă din Israel funcționează în principal în stocarea apei folosind energia din rețea

atunci când prețul energiei electrice este la cel mai scăzut nivel și returnând energia electrică în rețea atunci când prețul energiei electrice este cel mai ridicat; Cu toate acestea, această lucrare stochează excesul de energie într-un rezervor de apă și îl eliberează atunci când nu există suficientă energie în sursele primare pentru a furniza energie consumatorilor, ceea ce înseamnă că alimentarea continuă cu energie a consumatorilor este menținută, prin urmare este considerată un flux unidirecțional de energie. Aceasta este principala diferență între proiectul studiat și celelalte proiecte de stocare prin pompare.

Este posibil să se planifice ferme de energie eoliană și solară foarte mari în zona de cercetare, deoarece această regiune are multe surse de energie regenerabilă, un număr mare de rezervoare naturale mari și există deja un rezervor uriaș mai mic. În plus, este posibil să stocați apă în rezervoarele existente și să vă gândiți într-adevăr la un sistem conectat la rețea, dacă este necesar și nu neapărat conform programelor de lucru. Acest lucru ar permite programelor de lucru să fie mai flexibile. Deoarece energia transferată depinde de vânt, dar nu poate exista niciun control asupra vântului, singura opțiune este stocarea apei și eliberarea acesteia în funcție de cerere, astfel încât sistemul să fie echilibrat la orice oră din zi. Dacă sursa de energie este sub control, adică dacă sursa va deveni rezervorul de apă de suprafață, atunci va fi un proiect național. Cu toate acestea, dacă energia este transferată direct de la fermă, aceasta nu va fi echilibrată. Singura opțiune este să o stocați și să eliberați în funcție de cerere. Acest factor contribuie la fiabilitatea rețelei electrice naționale, sau cel puțin o parte considerabilă a acesteia. În plus, regiunea care face obiectul investigației este formată din spații foarte mari, lipsite de oameni și compuse în principal din terenuri agricole, ceea ce face posibilă combinarea și extinderea continuă a numărului de parcuri eoliene și fotovoltaice.

Abordarea hibridă maximizează utilizarea surselor regenerabile de energie și minimizează dependența de orice sursă unică. De asemenea, subliniază importanța soluțiilor de stocare a energiei, cum ar fi hidroelectrică prin pompare, în gestionarea intermitenței energiei regenerabile și în asigurarea unei alimentări constante cu energie electrică pentru consumatori.

Principalele contribuții teoretice ale lucrării sunt:

- Analiza principalelor sisteme de generare a energiei regenerabile.
- A fost efectuată o analiză bibliografică în baza de date WoS pe tema tezei.
- A fost construit un sistem multi-energie complementar folosind un model de ieșire de putere.
- A fost dezvoltat un model de optimizare a planificării pentru a minimiza fluctuațiile și a maximiza eficiența economică a sistemului, ținând cont de constrângerile operaționale.
- Modelul examinează atât funcția de optimizare a unei centrale hidroelectrice cu acumulare prin pompare, cât și teoria optimizării stocastice robuste.
- Este furnizată o metodă de caracterizare a incertitudinii în sistemele fotovoltaice (PV) și eoliene (WPP), cu funcțiile de distribuție Rayleigh și beta. Această metodă se bazează pe teoria stochastică robustă.
- A fost dezvoltat un model de optimizare stochastică cu două funcții obiectiv pentru planificarea sistemelor Multi-Energy Hub (MEHS): coeficientul robust este utilizat pentru a optimiza condițiile de constrângere ale variabilelor incerte și pentru a reprezenta poziția decidenților de a minimiza fluctuația ieșirii sistemului, maximizând în același timp beneficiile economice.
- A fost găsit cel mai bun coeficient de pondere pentru funcția obiectiv prin utilizarea mai multor coeficienți robusti și a unei scheme de ieșire unitară.

Lucrarea detaliază următoarele contribuții practice și experimentale:

- Simularea sistemelor de centrale eoliene, solare și hidroelectrice este acoperită în detaliu, incluzând reprezentări matematice ale proprietăților operaționale și fizice ale centralelor electrice. Aceste simulări ajută la optimizarea proiectării și operării centralelor electrice prin precizarea producției de energie în diverse scenarii operaționale și condiții meteorologice.
- Procesul de achiziție a datelor pentru centralele hidroelectrice, solare și eoliene este de asemenea abordat, implicând achiziția în timp real a parametrilor operaționali, a datelor meteorologice și a datelor de producție de energie de la centrale. Aceste date sunt esențiale pentru înțelegerea performanței reale a centralelor electrice și identificarea zonelor de îmbunătățire.
- Analiza datelor include compararea datelor reale cu cele simulate, identificarea diferențelor și ajustarea modelelor, după caz. Această

analiză ajută, de asemenea, la înțelegerea modului în care diferite elemente, cum ar fi vremea, eficiența echipamentelor și tacticile operaționale, afectează performanța centralei electrice.

- Rezultatele experimentale sunt prezentate în lucrare sub formă de grafice concludive. Aceste grafice reprezintă vizual datele de performanță, facilitând înțelegerea și interpretarea, și sunt derivate din tabelele de date empirice furnizate de sistemul SCADA al centralei.
- Evaluarea performanței pentru integrarea energiei regenerabile este realizată pe baza datelor colectate de la centrala electrică existentă, determinând astfel proiectarea și proporțiile noii centrale.
- Lucrarea menționează, de asemenea, studii de caz specifice, cum ar fi Lacul Shabania, utilizat ca rezervor superior, care a existat de sute de ani în regiune.
- Componente specifice ale centralelor hidroelectrice, cum ar fi structurile centralei (substructură, structură intermediară și suprastructură) și liniile de transport (conductori și izolație), sunt prezentate și analizate.

Perspectivile de cercetare viitoare pentru această lucrare, bazate pe conținutul furnizat, ar putea include următoarele:

- Integrarea sistemelor de stocare a energiei – există o provocare majoră reprezentată de lipsa stocării din cauza naturii intermitente a energiei eoliene și solare și a variațiilor sezoniere ale energiei hidroelectrice. Prin urmare, o direcție clară pentru cercetări ulterioare ar fi dezvoltarea și integrarea strategiilor și tehnologiilor de stocare a energiei pentru o mai bună gestionare a producției de energie și echilibrarea cererii și ofertei.
- Studiu aprofundat al sistemelor de acumulare prin pompare (PSH) – cercetări ulterioare ar putea viza optimizarea operațiunilor PSH și explorarea conversiilor de la sisteme cu viteză fixă la sisteme cu viteză variabilă (AS) pentru a îmbunătăți eficiența și flexibilitatea.
- Dezvoltarea de metode avansate de caracterizare a incertitudinii – studiile viitoare ar putea extinde metoda utilizată sau explora alte abordări pentru a gestiona incertitudinea și a îmbunătăți robustețea modelelor de optimizare.
- Explorarea altor surse de energie regenerabilă și integrarea acestora – deși lucrarea se concentrează pe energia eoliană, solară și hidro, sunt menționate și alte surse, cum ar fi energia geotermală, biomasa și energia oceanică. Studiile viitoare ar putea investiga integrarea acestor surse în sisteme hibride pentru a crește diversitatea energetică și fiabilitatea sistemului.

- Optimizarea sistemelor Multi-Energy Hub (MEHS) cu funcții obiectiv multiple – modelul de optimizare stochastică cu două funcții obiectiv este o contribuție teoretică cheie. Cercetările ulterioare ar putea implica rafinarea acestui model, explorarea unor noi funcții obiectiv sau aplicarea acestuia la scenarii operaționale și configurații de sistem mai complexe.
- Analiză economică și de sensibilitate aprofundată – extinderea acestor analize pentru a include alți factori economici, cum ar fi costurile de investiție, costurile de întreținere și subvențiile, ar putea oferi o perspectivă mai cuprinzătoare asupra viabilității pe termen lung a acestor sisteme.
- Aplicarea și validarea în studii de caz suplimentare – aplicarea modelelor și metodelor dezvoltate la un număr mai mare de studii de caz reale, cu condiții și configurații diferite, ar putea consolida validitatea și aplicabilitatea generală a concluziilor.
- Investigarea impactului politicilor energetice – o direcție viitoare ar putea fi analiza impactului diferitelor politici și reglementări asupra eficienței și optimizării sistemelor hibride de centrale electrice.

BIBLIOGRAFIE

- [1]. Pickard, W.F.; Massive Electricity Storage for a Developed Economy of Ten Billion People, *IEEE Access*, vol. 3, pp. 1392-1407, 2015, [doi: 10.1109/ACCESS.2015.2469255](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2469255).
- [2]. U.S. Department of Energy. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy; *Renewable Energy*, accessed on 09.06.2024, <https://www.energy.gov/eere/renewable-energy>.
- [3]. U.S. Energy Information Administration (EIA); *Renewable energy explained*, accessed on 09.06.2024, <https://www.eia.gov/energyexplained/renewable-sources/>.
- [4]. Selin, N.E.; *Renewable Energy*, Science & Tech, accessed on 09.06.2024, <https://www.britannica.com/science/renewable-energy>.
- [5]. Wikipedia; *Photovoltaic system*, accessed on 09.06.2024, https://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaic_system.
- [6]. U.S. Energy Information Administration (EIA); *Photovoltaics and electricity*, Solar explained, accessed on 09.06.2024, <https://www.eia.gov/energyexplained/solar/photovoltaics-and-electricity.php>.
- [7]. Robert Foster, Majid Ghassemi, Alma Cota; *Solar Energy Renewable. Energy and the Environment*, Engineering & Technology, CRC Press, 2009, ISBN 9780429139895, <https://doi.org/10.1201/9781420075670>.
- [8]. Merchantarchive, E.F.; *Super-efficient solar cells*, 10 Breakthrough Technologies 2024, accessed on 09.06.2024, <https://www.technologyreview.com/2024/01/08/1085124/super-efficient-solar-cells-breakthrough-technologies/>.
- [9]. Zientara, B.; *Exciting new solar technologies that actually matter*, Solar Reviews, accessed on 09.06.2024, <https://www.solarreviews.com/blog/solar-panel-technologies-that-will-revolutionize-energy-production>.
- [10]. Solar Mag; *Types of Solar Panels: On the Market and in the Lab*, Solar Magazine, accessed on 09.06.2024, <https://solarmagazine.com/solar-panels/>.
- [11]. GreenLancer; *7 New Solar Panel Technology Trends Shaping the Future of Energy*, accessed on 09.06.2024, <https://www.greenlancer.com/post/solar-panel-technology-trends>.
- [12]. Becca, J.A.; Dummit, K.; Feldman, D.; Grossman, S. and Zuboy, J.; *The State of the Solar Industry*, US Department of Energy. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, accessed on 09.06.2024, <https://www.energy.gov/sites/default/files/2024-04/Wed%20AM%20-%20Solar%20industry%20update.pdf>.

Bibliografie

- [13]. U.S. Department of Energy. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy; *Quarterly Solar Industry Update*, Solar Energy Technologies Office, accessed on 09.06.2024, <https://www.energy.gov/eere/solar/quarterly-solar-industry-update>.
- [14]. Wikipedia; *Wind turbine*, accessed on 09.06.2024, https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_turbine.
- [15]. U.S. Department of Energy. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy; *How Do Wind Turbines Work*, Wind Energy Technologies Office, accessed on 09.06.2024, <https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work>.
- [16]. Techiescience; *Understanding Wind Turbines: Definition, Design, And Functionality*, accessed on 09.06.2024, <https://techiescience.com/understanding-wind-turbines/>.
- [17]. Wiley; *The Stern Review on the Economic Effects of Climate Change*, Population and Development Review, 32: 793-798, Cambridge University Press, November 2006, <https://doi.org/10.1111/j.1728-4457.2006.00153.x>.
- [18]. Ahmad, N.; *Wind Turbine Power Calculations*. RWE npower renewables, Mechanical Engineering, Renewable Energy, The Royal Academy of Engineering, https://www.academia.edu/5357720/Wind_Turbine_Power_Calculations_RWE_npower_renewables_Mechanical_and_Electrical_Engineering.
- [19]. Iñigo Martínez de Alegria; *Study on Full Direct Current Offshore Wind Farm*, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Bilbao. Departamento de Tecnología Electrónica, Bilbao, February 2012, https://www.academia.edu/4006592/Thesis_Main.
- [20]. Anaya-Lara, O.; Jenkins, N.; Ekanayake, J.B.; Cartwright, P.; Hughes, M.; *Wind Energy Generation: Modelling and Control*, Technology & Engineering. Power Resources, ISBN 9780470748237, Wiley, 2009, https://books.google.co.il/books/about/.html?id=TfOR2DkjW0C&redir_esc=y.
- [21]. Bath, A.; *Global Wind Report 2024*, Global Wind Energy Council, accessed on 09.06.2024, <https://gwec.net/global-wind-report-2024/>.
- [22]. Mureithi, C.; *2023 was a record year for wind installations as world ramps up clean energy*, The Associated Press, accessed on 09.06.2024, <https://apnews.com/article/energy-global-wind-report-2024-74dd788b62c429edd004332808440b60>.
- [23]. One Energy System, *The Future of Wind Turbines: Advancements and Innovations*, accessed on 09.06.2024, <https://www.1energysystems.com/the-future-of-wind-turbines/>.
- [24]. US Department of Energy. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy; *Next-Generation Wind Technology*, Wind Energy Technologies Office, accessed on 09.06.2024, <https://www.energy.gov/eere/wind/next-generation-wind-technology>.
- [25]. Patel, S.; *Changing Winds: Emerging Wind Turbine Technologies*, Renewables. PowerMag, 2021, accessed on 09.06.2024, <https://www.powermag.com/changing-winds-emerging-wind-turbine-technologies/>.

- [26]. Thilmany, J.; *6 Advances in Wind Energy*, The American Society of Mechanical Engineers ASME, accessed on 09.06.2024, <https://www.asme.org/topics-resources/content/6-advances-in-wind-energy>.
- [27]. Wei, J.Z.; Wen, Z.S.; Taeseong, K.; *Towards Innovation in Next Generation of Wind Turbine Rotor Design*, Front. Energy Res., vol 9, Pp. 783039, doi: 10.3389/fenrg.2021.783039.
- [28]. Laurie, C.; *Technology Advancements Could Unlock 80% More Wind Energy Potential During This Decade*, NREL Transforming Energy, 2023, accessed on 09.06.2024, <https://www.nrel.gov/news/program/2023/technology-advancements-could-unlock-80-more-wind-energy-potential-during-this-decade.html>.
- [29]. Wikipedia; *Hydrogen atom*, accessed on 09.06.2024, https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_atom.
- [30]. Blinder, S.M.; *Atomic Spectra*, Hydrogen Atom, accessed on 09.06.2024, https://chem.libretexta.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Text_book_Maps/Quantum_Chemistry_%28Blinder%29/01%3A_Chapters/1.07%3A_Hydrogen_Atom.
- [31]. Wikipedia; *Bohr model*, accessed on 09.06.2024, https://en.wikipedia.org/wiki/Bohr_model.
- [32]. OpenStax, *Bohr's Theory of the Hydrogen Atom*, accessed on 09.06.2024, https://phys.libretexts.org/Bookshelves/College_Physics/College_Physics_1e_%28OpenStax%29/30%3A_Atomic_Physics/30.03%3A_Bohrs_Theory_of_the_Hydrogen_Atom.
- [33]. OpenStax, *H Atom Energy Levels*, accessed on 09.06.2024, https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Text_book_Maps/Supplemental_Modules_%28Physical_and_Theoretical_Chemistry%29/Quantum_Mechanics/10%3A_Multi-electron_Atoms/H_Atom_Energy_Levels.
- [34]. Unverricht, Ed; *Ground state of the Hydrogen Atom*, Animated Physics, accessed on 09.06.2024, <http://animatedphysics.com/formal/hydrogengroundstate.htm>.
- [35]. Clean-Hydrogen, *31 new projects advancing research and innovation on hydrogen technologies*, Clean Hydrogen Joint Undertaking, accessed on 09.06.2024, https://www.clean-hydrogen.europa.eu/media/news/31-new-projects-advancing-research-and-innovation-hydrogen-technologies-2024-03-11_en.
- [36]. June, K.; *Enhanced geothermal systems: 10 Breakthrough Technologies 2024*, Climate Change and Energy, accessed on 09.06.2024, <https://www.technologyreview.com/2024/01/08/1085112/enhanced-geothermal-systems-renewable-energy-drilling-breakthrough-technologies/>.
- [37]. Hutterer, G.W.; *Geothermal Power Generation in the World 2015-2020 Update Report*, Proceedings World Geothermal Congress 2020+1, Reykjavik, Iceland, 2021, <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2020/01017.pdf>.
- [38]. IRENA, *Geothermal Power: Technology Brief*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2017, ISBN: 978-92-9260-036-5, <https://www.irena.org/publications/2017/Aug/Geothermal-power-Technology-brief>.

Bibliografie

- [39]. Zimmer, K.; New Geothermal Technology Could Expand Clean Power Generation, Knowable Magazine, accessed on 09.06.2024, <https://www.scientificamerican.com/article/new-geothermal-technology-could-expand-clean-power-generation/>.
- [40]. Cariaga, C.; *The technology trends for future geothermal energy projects*, Think Geoenergy, <https://www.thinkgeoenergy.com/the-technology-trends-for-future-geothermal-energy-projects/>.
- [41]. IRENA and IGA, *Global geothermal market and technology assessment*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2023; International Geothermal Association, The Hague, ISBN: 978-92-9260-495-0, <https://www.irena.org/Publications/2023/Feb/Global-geothermal-market-and-technology-assessment>.
- [42]. U.S. Energy Information Administration (EIA); *Geothermal explained*, accessed on 09.06.2024, <https://www.eia.gov/energyexplained/geothermal/geothermal-energy-and-the-environment.php>.
- [43]. Green Living Answers (GLA), *Geothermal Energy Environmental Benefits*, Geothermal Energy, accessed on 09.06.2024, <https://www.greenlivinganswers.com/alt-energy/geothermal-energy-environmental-benefits>.
- [44]. Manitoba, *Why Geothermal*, Climate, Environment & Biodiversity, accessed on 09.06.2024, https://www.gov.mb.ca/sd/environment_and_biodiversity/energy/geothermal/why_geo.html.
- [45]. Enel, All the advantages of geothermal energy, Green Power, accessed on 09.06.2024, <https://www.enelgreenpower.com/learning-hub/renewable-energies/geothermal-energy/advantages>.
- [46]. Simon, S.; *The Environmental Benefits of Geothermal Energy*, Geothermal energy, accessed on 09.06.2024, <https://therenewablerundown.com/geothermal/geothermal-energy-environmental-benefits/>.
- [47]. Renewablesadvice, *What is Biomass Energy and How Does it Work*, accessed on 09.06.2024, <https://renewablesadvice.com/energy/biomass-energy/>.
- [48]. U.S. Energy Information Administration (EIA); *Biomass explained*, accessed on 09.06.2024, <https://www.eia.gov/energyexplained/biomass/>.
- [49]. Banerjee, N.; *Biomass to Energy, an Analysis of Current Technologies, Prospects, and Challenges*, Bioenergy Research, 2023, Vol. 16, Pp. 683–716, <https://doi.org/10.1007/s12155-022-10500-7>.
- [50]. U.S. Department of Energy. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy; *Report Outlining How America Can Sustainably Produce More than One Billion Tons of Biomass Per Year*, Bioenergy Technologies Office, accessed on 09.06.2024, <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/articles/departement-energy-releases-report-outlining-how-america-can-sustainably>.

- [51]. Tshikovhi, A.; Motaung, T.E.; *Technologies and Innovations for Biomass Energy Production*, Sustainability, 2023, Vol. 15, Pp. 12121, <https://doi.org/10.3390/su151612121>.
- [52]. U.S. Department of Agriculture, *What is biomass energy*, accessed on 09.06.2024, <https://www.climatehubs.usda.gov/hubs/international/topic/biomass-energy>.
- [53]. Qureshi, A.; *Comparing Renewable Energy: Solar Power, Wind, Hydro & Bio*, Blue and Green Tomorrow, accessed on 09.06.2024, <https://blueandgreentomorrow.com/energy/comparing-renewable-energy-solar-power-wind-hydro-bio/>.
- [54]. Gragg, D.; *Ocean Energy*, Energy, Stanford University, accessed on 09.06.2024, <https://understand-energy.stanford.edu/energy-resources/renewable-energy/ocean-energy>.
- [55]. Wikipedia; *Marine energy*, accessed on 09.06.2024, https://en.wikipedia.org/wiki/Marine_energy.
- [56]. IRENA, *Innovation outlook: Ocean energy technologies*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2020, ISBN: 978-92-9260-287-1, <https://www.irena.org/publications/2020/Dec/Innovation-Outlook-Ocean-Energy-Technologies>.
- [57]. U.S. Government Accountability Office (GAO), *Renewable Ocean Energy*, Science & Tech Spotlight, accessed on 09.06.2024, <https://www.gao.gov/products/gao-21-533sp>.
- [58]. U.S. Department of Energy. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy; *Advantages of Marine Energy*, Water Power Technologies Office, accessed on 09.06.2024, <https://www.energy.gov/eere/water/advantages-marine-energy>.
- [59]. Laurie, C.; *Marine Energy Basics*, NREL Transforming Energy, 2023, accessed on 09.06.2024, <https://www.nrel.gov/research/marine-energy.html>.
- [60]. Khan, M.Z.A.; Khan, H.A.; Aziz, M.; *Harvesting Energy from Ocean: Technologies and Perspectives*, Energies, 2022, Vol. 15, Pp. 3456, <https://doi.org/10.3390/en15093456>.
- [61]. Brandt, D.; *What Are The Most Efficient Renewable Energy Sources*, Energy & Sustainability, Building Elements, accessed on 09.06.2024, <https://greenbuildingelements.com/most-efficient-renewable-energy-sources/>.
- [62]. National Geographic, *Renewable Energy Explained*, Education, accessed on 09.06.2024, <https://education.nationalgeographic.org/resource/renewable-energy-explained/>.
- [63]. Clarion Energy Media, *Renewable energy technology*, accessed on 09.06.2024, <https://www.renewableenergyworld.com/types-of-renewable-energy/>.
- [64]. CFR Education, *Sources of Energy: A Comparison*, Climate & Energy, accessed on 09.06.2024, <https://education.cfr.org/learn/reading/sources-energy-comparison>.
- [65]. Hermod B.; *Hydraulic Turbines. Design, Erection and Operation*, Endringsdato: Juni 2001,

Bibliografie

- https://www.ntnu.no/documents/381182060/1267681377/HYDRAULIC+TURBIN+ES_Hermod+Brekke+-+2015.pdf.
- [66]. Frigo, A.A.; Blomquist, C.A. and Degnan, J.R.; *Part 1. Single-stage regulated pump turbines for operating heads of 500 to 1000 m*, Evaluation of advanced hydraulic turbomachinery for underground pumped hydroelectric storage, 1979, <https://www.semanticscholar.org/paper/Evaluation-of-advanced-hydraulic-turbomachinery-for-Frigo-Blomquist/dda1d482650841df2bd858b69cad4eb1f1bf38e9>.
 - [67]. Tahmiscioglu, M.S.; Anul, N.; Ekmekci, F. and Durmus, N.; *Positive and Negative Impacts of Dams on the Environment*, International Congress on River Basin Management, February 2011, <https://cvc.ca/wp-content/uploads/2011/02/60.pdf>.
 - [68]. Varshney, N.; *Transmission Lines*, Lecture Notes, Mahamaya Polytechnic of Information Technology, Hathras, 2020, http://mpithathras.in/files/2020-04-06doc_722180.pdf.
 - [69]. Kumar, A.; *Automation in Water Resources and Hydropower Plants*, Alternate Hydro Energy Centre Indian Institute of Technology, Roorkee, July 2018, https://www.iitr.ac.in/wfw/web_ua_water_for_welfare/education/Teachers_Manual/Teachers_manual_degree_automation_in_water_resources.pdf.
 - [70]. Ministry of Energy, Water Resources and Irrigation; *Powerhouse Design Guidelines in Tabular Format*, Power House Design Guidelines for Hydropower Projects, Department of Electricity Development, Government of Nepal, July 2018, <https://www.doed.gov.np/storage/listies/December2019/powerhouse-design-guidelines-2018.pdf>.
 - [71]. Gordon, J.L.; *Efficiency in Powerhouse Design*, Canadian Electrical Association Hydraulic Power Section, March 1982, Montreal Engineering Company Limited, <https://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/109562/3/Efficiency%20in%20Powerhouse%20Design%201982%20TSpace.pdf>.
 - [72]. Yaseen, Z.; Mohammed, A.; Ameen, A.; Aldlemy, M.; Ali, M.; Afan, H.; Zhu, S.; Mohammed, A.; Al-Janabi, A.; Al-Ansari, N.; Tiyyasha, T. and Tao, H.; *State-of-the-Art-Powerhouse, Dam Structure, and Turbine Operation and Vibrations*, Sustainability, Volume 12, 2020, Pp. 1-40, https://www.researchgate.net/publication/339460942_State-of-the_Art-Powerhouse_Dam_Structure_and_Turbine_Operation_and_Vibrations.
 - [73]. Laney, O.; *Analysis and Application of Transmission Line Conductors*, Master's Theses and Graduate Research, 2013, SJSU Scholar Works, 4347, <https://doi.org/10.31979/etd.cq2z-xs3>.
 - [74]. Zubiaga, M.; *Power AC Transmission Lines*, Energy Transmission and Grid Integration of AC Offshore Wind Farms, March 2012, <http://dx.doi.org/10.5772/48893>.
 - [75]. Reta-Hernández, M.; *Transmission Line Parameters*, Electric Power Generation, Transmission and Distribution; 3rd Edition, 2012, CRC Press, ISSN: 9781315222424, <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781315222424-14/transmission-line-parameters-manuel-reta-hern%C3%A1ndez>.

- [76]. O'Neil, C.; *Combined 'SuperLab' Demonstrates Unique Hybrid Power Plant*, NREL Transforming Energy, 2023, accessed on 09.06.2024, <https://www.nrel.gov/news/features/2023/combined-superlab-demonstrates-unique-hybrid-power-plant.html>.
- [77]. International Hydropower Association IHA, *Innovations Hub*, Renewable Energy, accessed on 09.06.2024, <https://www.hydropower.org/innovations>.
- [78]. Ministry of Power and Energy Ceylon Electricity Board Democratic Socialist Republic of Sri Lanka; *Feasibility Study for Expansion of Victoria Hydropower Station in Sri Lanka*, Japan International Cooperation Agency Electric Power Development Co., Ltd., Nippon Koei Co., Ltd, June 2009, <https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11948833.pdf>.
- [79]. Kim, J.; Park, J.; Jang, S.; Kim, H. and Kang, H.; *Improving Reservoir Operation Criteria to Stabilize Water Supplies in a Multipurpose Dam: Focused on Nakdong River Basin in Korea*, Water, Volume 10, Issue 9, 2018, P. 1236, <https://doi.org/10.3390/w10091236>.
- [80]. Selge, F. and Gunkel, G.; *Water Reservoirs: Worldwide distribution, morphometric characteristics and thermal stratification processes*, Sustainable Management of Water and Land in Semiarid Areas, Chapter: Reservoir as a tool in water quantity management, 2013, Editora Universitária UFPE, https://www.researchgate.net/publication/258082318_Water_Reservoirs_Worldwide_distribution_morphometric_characteristics_and_thermal_stratification_processes.
- [81]. Jaya K.M.; *Competitive Position in the Sector on a Global Level*, Movalves Catalogue Water Penstocks, August 2006.
- [82]. Nestmann, F. and Stelzer C.; *The importance of reservoirs for water supply and power generation - An overview*, Water Uses and Human Impacts on The Water Budget, Schönwiese, Global Change: Enough water for all? 2007, https://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de/wp-content/uploads/pdf/en/water/global_change-water-chapter-2_7.pdf.
- [83]. Zhou, J.; Zhang, N.; Zhang, Y. and Lai, X.; *An Adaptive Takagi–Sugeno Fuzzy Model-Based Generalized Predictive Controller for Pumped-Storage Unit*, IEEE Access, 2019, Pp. 1-1, <http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2931575>.
- [84]. Yang, Y.; Chen, J. and Xiao, M.; *Analysis of Seismic Damage of Underground Powerhouse Structure of Hydropower Plants Based on Dynamic Contact Force Method*, Shock and Vibration, Volume 2014, Issue 4, Pp. 1-13, <https://doi.org/10.1155/2014/859648>.
- [85]. Ministry of Water Resources, Department of Electricity Development; *Design Guidelines Water Conveyance System of Hydropower Projects*, Water Conveyance System Design Guidelines, August 2006, <https://www.doed.gov.np/storage/listies/December2019/design-guidelines-for-water-conveyance-system.pdf>.
- [86]. Walter W.Jr.; Mitchell, W.; Selig, G. and Woodyard, P.L.L.C; *Engineering Guidelines for the Evaluation of Hydropower Projects*, Dam Safety and Inspections,

Bibliografie

- Federal Energy Regulatory Commission, August 7, 2018, <https://www.jdsupra.com/legalnews/engineering-guidelines-for-the-83920/>.
- [87]. Winton, R.; Calamita, E. and Wehrli, B.; *Reviews and syntheses: Dams, water quality and tropical reservoir stratification*, Biogeosciences, Volume 16, 2019, Pp. 1657-1671, <http://dx.doi.org/10.5194/bg-16-1657-2019>.
- [88]. Selge, F. and Gunkel, G.; *Water Reservoirs: Worldwide distribution, morphometric characteristics and thermal stratification processes*, Sustainable Management of Water and Land in Semiarid Areas, Chapter: Reservoir as a tool in water quantity management, 2013, Publisher: Editora Universitária UFPE, https://www.researchgate.net/publication/258082318_Water_Reservoirs_Worldwide_distribution_morphometric_characteristics_and_thermal_stratification_processes.
- [89]. Castelletti, A.; Pianosi, F. and Soncini-S., R.; *Water reservoir control under economic, social and environmental constraints*, Automatica, Volume 44, 2008, Pp. 1595-1607, <http://dx.doi.org/10.1016/j.automatica.2008.03.003>.
- [90]. White, W.R.; *World Water: Resources, Usage and The Role of Man-Made Reservoirs*, A Review of Current Knowledge, Foundation for Water Research, 2010, <http://www.fwr.org/wwtrstrg.pdf>.
- [91]. Dordevic, B. and Dasic, T.; *Water Storage Reservoirs and Their Role in The Development*, Utilization and Protection of Catchment, Spatium International Review, No. 24, March 2011, Pp. 9-15, <http://www.doiserbia.nb.rs/ft.aspx?id=1450-569X1124009D>.
- [92]. Bos, A.S.; *An analysis of the evaporation losses from differently sized water storages within a semi-arid catchment*, The Water Footprint Related to Reservoir Operation on A Global Scale, Master thesis in Civil Engineering and Management, Faculty of Engineering and Technology, Department of Water Engineering and Management, University of Twente, August 2016, <https://essay.utwente.nl/71946/>.
- [93]. Li, T. et al.; *Optimized Operation of Hybrid System Integrated With MHP, PV and PHS Considering Generation/Load Similarity*, in IEEE Access, vol. 7, pp. 107793-107804, 2019, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2932851>.
- [94]. Ma, L.; Wang, Z.; Lu, Z.; Lu, X. and Wan, F.; *Integrated Strategy of the Output Planning and Economic Operation of the Combined System of Wind Turbines-Pumped-Storage-Thermal Power Units*, in IEEE Access, vol. 7, pp. 20567-20576, 2019, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2897830>.
- [95]. Zhang, Q.; Wang, X.; Yang, T. and Liang, J.; *Research on scheduling optimisation for an integrated system of wind-photovoltaic-hydro-pumped storage*, The Journal of Engineering, Vol. 2017, Issue 13, Pp. 1210-1214, <https://doi.org/10.1049/joe.2017.0521>.
- [96]. IEA50, *Hydropower is the forgotten giant of low-carbon electricity*, Hydropower Special Market Report, accessed on 09.06.2024, <https://www.iea.org/reports/hydropower-special-market-report/executive-summary>.

- [97]. Ifrim, V.C.; Milici, L.D.; Atănăsoae, P.; Irimia, D.; Pentiu, R.D.; *Future Research Tendencies and Possibilities of Using Cogeneration Applications of Solar Air Heaters: A Bibliometric Analysis*, Energies, 2022, Volume 15, Issue 19, 7114, <https://doi.org/10.3390/en15197114>.
- [98]. Talukdar, P.K.; Kulkarni, V.; Dehingia, D.; Saha, U.K.; *Evaluation of a Model Helical Bladed Hydrokinetic Turbine Characteristics from In-Situ Experiments*, ASME 11th International Conference on Energy Sustainability, August 25, 2017, <https://doi.org/10.1115/ES2017-3490>.
- [99]. Geng, Q.; Liang, C.; *Research on the method of suppressing power fluctuation of hydro generator unit based on vortex elimination technology*, Energy Reports, 2021, Volume 7, Supplement 7, Pages 1038-1046, ISSN 2352-4847, <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.09.169>.
- [100]. Liu, D.M.; Geng, B.; He, H.P.; Zheng, J.S.; Liu, W.C.; Liang, Q.W.; Zhao, Y.Z.; *Special Pressure Fluctuation analyze of the pump turbine*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, Volume 774, 012139, <https://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/774/1/012139>.
- [101]. Duggan, C.; Brogan, P.; Liu, X.; Best, R. and Morrow, J.; *Synchronization Control Action for Very Low-Frequency Oscillations*, 32nd Irish Signals and Systems Conference (ISSC), 2021, Pp. 1-7, <https://doi.org/10.1109/ISSC52156.2021.9467843>.
- [102]. Luhana, P.P.; Rane, S.J.; Bhatt, K.G.; Chavda, P.M. and Gandhi, P.K.; *Study of Electricity Generation using Renewable Energy Sources into Pump Storage Based Hydro Energy System*, 5th International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer Technologies and Optimization Techniques (ICEECOT), 2021, pp. 1-7, <https://doi.org/10.1109/ICEECOT52851.2021.9707973>.
- [103]. Mobarak, Y.; Kamal, M.; Raz, S.A.De; Dessouki, M.El-S.; Nasawy, A.El-B.; Abouelfadl, A.; Sarey, F.S.E.; Siouny, A.I.E.; *Modelling and Simulation of DFIG-WT for Voltage Regulation*, 2017 International Journal of Engineering Trends and Technology, Vol. 54, Pp. 264-273, <http://dx.doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V54P236>.
- [104]. Pena, R.; Clare, J.; Asher, G.M.; *A doubly fed induction generator using back-to-back PWM converters supplying an isolated load from a variable speed wind turbine*, Electric Power Applications, 1996 IEE Proceedings, Vol. 143, Pp. 380-387, <http://dx.doi.org/10.1049/ip-epa:19960454>.
- [105]. Miller, N.W.; Price, W.W.; Sanchez-Gasca, J.J., *Dynamic Modeling of GE 1.5 and 3.6 Wind Turbine-Generators*, GE Power Systems Energy Consulting, accessed on 09.06.2024, <https://www.yumpu.com/en/document/view/14055311/dynamic-modeling-of-ge-1.5-and-3.6-wind-turbine-generators>.
- [106]. Khadka, N.; Bista, A.; Adhikari, B.; Shrestha, A.; Bista, D. and Adhikary, B.; *Current Practices of Solar Photovoltaic Panel Cleaning System and Future Prospects of Machine Learning Implementation*, in IEEE Access, 2020, vol. 8, pp. 135948-135962, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3011553>.

Bibliografie

- [107]. Rekioua, D.; Matagne, E.; *Optimization of Photovoltaic Power Systems*, Modelization, Simulation and Control, Green Energy and Technology, ISBN 978-1-4471-2348-4, 2012, Springer London, <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2403-0>.
- [108]. National Geographic, *Hydroelectric Energy*, Earth Science. Geography. Physical Geography, accessed on 09.06.2024, <https://education.nationalgeographic.org/resource/hydroelectric-energy/>.
- [109]. Water Science School, *Hydroelectric Power: How it Works*, USGS Science for a Changing World, accessed on 09.06.2024, <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/hydroelectric-power-how-it-works>.
- [110]. Eker, O.F.; *Hydropower part I: application and equipment*, Kavaken, accessed on 09.06.2024, <https://www.kavaken.com/blog/hydropower-part-i-application-and-equipment>.
- [111]. IEA50, *Hydroelectricity*, Renewables, accessed on 09.06.2024, <https://www.iea.org/energy-system/renewables/hydroelectricity>.
- [112]. Privacyshield, *Israel – Energy*, Israel Country Commercial Guide, accessed on 09.06.2024, <https://www.privacyshield.gov/ps/article?id=Israel-Energy>.
- [113]. Erickson, R.W.; Maksimović, D.; *Fundamentals of Power Electronics*, Springer Nature 2001, 2012, ISBN 978-1-4757-0559-1, <https://doi.org/10.1007/b100747>.
- [114]. Kdusling, *Energy loss in pipes due to friction*, Applied Fluids, accessed on 09.06.2024, <https://kdusling.github.io/teaching/Applied-Fluids/Notes/FrictionLosses>.
- [115]. Lahiouel, Y.; Lahiouel, R.; *Evaluation of Energy Losses in Pipes*, American Journal of Mechanical Engineering, 2015, Vol. 3, Pp. 2328-4110, doi: 10.12691/ajme-3-3A-6.
- [116]. Sunaris, M.L.; Muljono, Y.; Telaumbanua, C.K.; Tallar, R.Y.; *Analysis of energy losses in smooth pipes*, Journal of Physics: Conference Series, 2019, Vol. 1360, Pp. 1742-6596, <https://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1360/1/012026>.
- [117]. Petrakopoulou, F.; Robinson, A.; Loizidou, M.; *Simulation and analysis of a stand-alone solar-wind and pumped-storage hydropower plant*, Energy, Vol. 96, Pp. 676-683, 2016, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.049>.
- [118]. Zhang, Lihui, Xin, He, Wu, Jing, Ju, Liwei, Tan, Zhongfu.; *A Multiobjective Robust Scheduling Optimization Mode for Multienergy Hybrid System Integrated by Wind Power, Solar Photovoltaic Power, and Pumped Storage Power*, Mathematical Problems in Engineering, Vol. 15, Pp. 9485127, 2017, <https://doi.org/10.1155/2017/9485127>.
- [119]. MATLAB, *Wind Turbine Induction Generator (Phasor Type)*, accessed on 09.06.2024, https://www.mathworks.com/help/sps/powersys/ref/windturbineinductiongeneratorp_hasortype.html Jaipur National University; *Pumps and Pumping System: Types, Performance evaluation, Efficient system operation*, Flow control strategies and energy conservation opportunities, Energy Efficiency in Electrical Utilities, JNU, Jaipur, First Edition 2013, <https://www.beeindia.gov.in/sites/default/files/3Ch6.pdf>.

- [120]. Fontanella, S.; Fecarotta, O.; Molino, B.; Cozzolino, L.; Della Morte, R.; *A Performance Prediction Model for Pumps as Turbines (PATs)*, Water, Volume 12, 2020, 1175, <https://doi.org/10.3390/w12041175>.
- [121]. Chapallaz, J.-M.; Eichberger, P.; Gerhard, F.-B.; *Manual on Pumps Used as Turbines*, Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien GATE, A Division of the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Vieweg, 1992, <http://www.nzdl.org/cgi-bin/library?e>.
- [122]. Singh, A.; Malik, S.; Chavan, D. and Kishanrao; *Performance evaluation of end suction, single stage, radial discharge centrifugal pump in turbine mode operation*, International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), Volume 9, Issue 1, October 2019, ISSN: 2249 – 8958, <https://www.ijeat.org/wp-content/uploads/papers/v9i1/A2980109119.pdf>.
- [123]. Barbarelli, S.; Amelio, M.; Florio, G. and Scornaienchi, N.; *Procedure Selecting Pumps Running as Turbines in Micro Hydro Plants*, Energy Procedia, Volume 126, 2017, Pp. 549-556, <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.08.282>.
- [124]. Chapallaz, J.-M.; Eichberger, P.; Gerhard, F.-B.; *Manual on Pumps Used as Turbines*, Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien GATE, A Division of the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Vieweg, 1992, <http://www.nzdl.org/cgi-bin/library?e>.
- [125]. Singh, P.; Chen, C. and Choi, Y.D.; *Hydrodynamic performance of a pump-turbine model in the "S" characteristic region by CFD analysis*, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Volume 39, 2015, Pp. 1017-1022, <http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2015.39.10.1017>.
- [126]. Zhou, D.; Chen, Y.; Chen, H.; Chen, S. and Yang, C.; *Study of Hydraulic Disturbances from Single-Unit Load Rejection in a Pumped-Storage Hydropower Station with a Shared Water Delivery System*, IEEE Access, 2019, Pp. 1-1, <http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2947301>.
- [127]. Kumar, A.; *Hydraulic and Structural Design*, Guidelines for Hydraulic and Structural Design, AHEC-IITR/MNRE/SHP Standards/Civil Works, July 2013, <https://www.ieahydro.org/media/6e4f4202/2-2-and-2-3-Hydraulic-and-structure-design.pdf>.
- [128]. Jurasz, J.; Piasecki, A.; *A simulation and simple optimization of a wind- solar-hydro micro power source with a battery bank as an energy storage device*, E3S Web of Conferences, 2017, Vol. 14, P. 10, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20171401017>.
- [129]. Zhou, B.; Liu, S.; Lu, S.; Cao, X. and Zhao, W.; *Cost–benefit analysis of pumped hydro storage using improved probabilistic production simulation method*, The Journal of Engineering, Vol. 2017, Pp. 2146-2151, <https://doi.org/10.1049/joe.2017.0709>.

Lucrări ale autorului în domeniul tezei:

- 1 Abu-Bandora, M.; Ifrim, V.C.; Moldovan A., PV System Efficiency under Various Conditions by Monitoring the MPPT, 13th International Symposium on Advanced

Bibliografie

- Topics in Electrical Engineering (ATEE), Bucharest, Romania, 2023, ISBN:979-8-3503-3193-6, doi: 0.1109/ATEE58038.2023.10108351,
- 2 Abu-Bandora, M.; Ifrim V.C.; Moldovan A.; Battery Balancing System for Electric Vehicles Solar Power Assisted, 10th International Conference on Modern Power Systems (MPS), Cluj-Napoca, Romania, 2023, ISBN:979-8-3503-2682-6, doi: 10.1109/MPS58874.2023.10187487
 - 3 Moldovan, V.A.; Nucă, I., Milici, L.D.; Abu-Bandora, M.; Conceptual Design for the Performance of Public Infrastructure and Utilities in Urban Water Treatment Plants, International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN), 2023, ISBN:979-8-3503-1524-0, doi: 10.1109/SIELMEN59038.2023.10290752
 - 4 Abu-Bandora, M.; Ifrim, V.C.; Moldovan A., Photovoltaic Fixed and Tracking Systems, 23rd National Conference on Thermodynamics with International Participation, Galati, Romania
 - 5 Milici, L. D.; Bejenar, C.; Nițan, I.; Dimian, M.; Abu-Bandora, M.; Alisavetei, I.; Ifrim, V. C.; Ungureanu, C.; Sistem solar de încălzire pentru menținerea încărcării bateriilor, Patent application A 2022 00748, OSIM,
 - 6 Milici, L. D.; Bejenar, C.; Nițan, I.; Dimian, M.; Abu-Bandora, M.; Alisavetei, I.; Ifrim, V. C.; Ungureanu, C.; Solar heating system for the maintaining of batteries charge, Patent no. EP 4 371 812 B1, European Patent Office (EPO), 2025
 - 7 Bejenar, C.; Abu-Bandora, M.; Ifrim, V.C.; Alisavetei, I.; Solar Heating System for the Maintaining of Batteries Charge, The Scientific Bulletin of Land Forces Academy "Nicolae Bălcescu" of Sibiu - The Official Catalogue of the "Cadet INOVA", 2023, pp. 157-164, ISSN 2501-3157
 - 8 Bejenar, C.; Bejenar, M.; Moldovan, A.; Abu-Bandora, M.; Method and System for Programmed Control of Conductive Charging Systems, The Scientific Bulletin of Land Forces Academy "Nicolae Bălcescu" of Sibiu - The Official Catalogue of the "Cadet INOVA", 2023, pp. 165-170, ISSN 2501-3157
 - 9 Țanța, O. M.; Grosu, O. V.; Cenușă, M.; Abu-Bandora, M.; Electrical network fault signaling device, The Scientific Bulletin of Land Forces Academy "Nicolae Bălcescu" of Sibiu - The Official Catalogue of the "Cadet INOVA", 2023, pp. 219-224, ISSN 2501-3157