UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCUREŞTI

Facultatea de Energetică

Şcoala Doctorală de Inginerie Energetica

REZUMAT

TEZĂ DE DOCTORAT

INTEGRAREA ȘI FUNCȚIONAREA OPTIMĂ A INSTALAȚIILOR DE STOCARE DIN SISTEMUL ENERGETIC NAȚIONAL ÎN PREZENŢA SURSELOR REGENERABILE

INTEGRATION AND OPTIMAL OPERATION OF STORAGE INSTALLATIONS IN THE NATIONAL ENERGY SYSTEM IN THE PRESENCE OF RENEWABLE SOURCES

Autor: Ing. Niculae OPREA

Conducător de doctorat: Prof. dr. ing. Florin Radu PORUMB

București 2025

Recunoştinţă,

Înaintez mulțumiri domnului Prof. dr. ing. *Florin Radu PORUMB*, pentru permanenta îndrumare şi asistenţă oferită pe durata completă a programului de doctorat, inclusiv în perioada de redactare a tezei de doctorat.

Le sunt profund recunoscător tuturor membrilor comisiei de doctorat pentru atenția și răbdarea lor în examinarea acestei lucrări, precum și pentru valoroasele lor sugestii.

De asemenea, doresc să îmi exprim profundul respect și gratitudinea față de prof.dr.ing. *Nicolae GOLOVANOV* pentru asistența neîntreruptă oferită în depășirea provocărilor întâmpinate pe parcursul redactării acestei lucrări, cât și pentru încurajările și sfaturile sale prețioase pe tot parcursul studiilor mele doctorale.

Sunt de asemenea recunoscător întregii echipe de la CNTEE Transelectrica SA pentru generozitatea lor în împărtășirea expertizei și pentru datele esențiale furnizate, care au fost cruciale în elaborarea acestei lucrări. Le mulțumesc pentru modul în care m-au încurajat și susținut în activitatea mea științifică, precum și pentru asistența tehnică oferită de-a lungul stagiului meu de doctorat.

În încheiere, vreau să le exprim sincerele mele mulțumiri membrilor familiei mele și în special prietenei mele, pentru răbdarea și sprijinul lor necondiționat pe parcursul întregului stadiu de doctorat.

Ing. Niculae OPREA

CUPRINS

Pag.

INTRODUCERE…….. **5**

1. Prezentarea surselor regenerabile și a instalațiilor de stocare în SEN..... **9**

- Condiţii de racordare a surselor de generare distribuită şi a instalaţiilor de stocare la infrastructura electrică de utilitate publică
- Stadiul actual al SEN și posibilitatea acoperirii serviciilor de sistem
- Tipurile de surse de energie electrică și evoluția producției, consumului și soldului de energie
- Directivele UE trasate prin PNRR/PNIESC cu privire la sursele regenerabile și a instalațiilor de stocare

2. Viziune holistică asupra surselor regenerabile, instalațiilor de stocare și posibilitatea înlocuirii surselor neregenerabile…….. **23**

- Integrarea și optimizarea diverselor tehnologii pentru reducerea emisiilor de carbon în alte țări
- Analiza datelor de intrare
- Metode privind potențialul de înlocuire a surselor de energie neregenerabile (cărbune, petrol și gaze)

3. Racordarea instalațiilor de stocare la rețeaua electrică de interes public – studiu de caz…….. **28**

- Scop
- Analiza situației energetice actuale a zonelor în care vor fi amplasate IS
- Calculul regimurilor staționare fără considerare IS
- Analiza situaţiei energetice de perspectiva în zonele analizate
- Prezentarea soluțiilor de racordare la RET a IS

- CHEAP Tarnita 1000 MW racordată în stațiile electrice Mintia și Gădălin

- IS Freeflow 1000 MW racordată în stația electrică Gura Ialomiţei

- Calcule de regimuri de dimensionare cu considerarea IS
- Analiza condițiilor de stabilitate statică/tranzitorie
- Analiza condițiilor de stabilitate tranzitorie

- Implicarea grupurilor în ajustarea nivelului de tensiune în regiune
- Examinarea solicitărilor în caz de scurtcircuit
- Calitatea energiei electrice
- Analiza indicatorilor de siguranță în punctul de delimitare

4. Integrarea instalațiilor de stocare la utilizatori în prezența instalațiilor fotovoltaice …… **32**

- Introducerea consumatorilor activi (prosumatori) și instalațiilor de stocare pe bază de baterii în sistemul electroenergetic românesc
- Scop
- Analiza datelor de intrare
- Rezultate
- Fezabilitatea instalațiilor de stocare la utilizatori

CONCLUZII FINALE ŞI PERSPECTIVE…….... **35**

- Concluzii generale
- Contribuții personale
- Perspective de dezvoltare ulterioară

LISTA PUBLICAȚIILOR…….. **41**

Cuvinte cheie: instalații de stocare, prosumatori, surse regenerabile, tranziția energetică, surse neregenerabile.

INTRODUCERE

Energia electrică, a transformat fundamental progresul umanității într-un mod ireversibil, infiltrându-se efectiv în fiecare aspect al vieții sociale. Societatea modernă nu ar mai putea exista fără energie electrică în forma utilizată de către om.

În prezent creșterea consumului de energie electrică este ponderată cu toată influența dezvoltării tehnologice dar în viitor, se preconizează că electricitatea va fi integrată într-un număr tot mai mare de aplicații tehnice, intensificând dependența omenirii față de această resursă energetică.

Sursele de energie regenerabile au devenit un punct important de dezvoltare în întreaga lume datorită directivei Uniunii Europene de a susține necesitatea pentru a diminua emisiile de gaze cu efect de seră și pentru a răspunde la creșterea consumului de electricitate prin introducerea mijloacelor de transport electrice.

Preocuparea intensă pentru limitarea poluării mediului ambiant, contextul politic și economic actual cât și asigurarea adecvanței sistemului electroenergetic național a determinat dezvoltarea şi exploatarea tot mai intensă a surselor de energie regenerabilă cât şi dezvoltarea capacităților de stocare a energiei electrice.

Directiva Uniunii Europene privind energia regenerabilă a stimulat în statele membre un interes accentuat pentru dezvoltarea surselor de energie regenerabilă, cu o atenție specială acordată energiei eoliene și solare.

Producția de energie din centralele eoliene și solare este restrânsă pe parcursul anului și nu poate fi reglată în același mod ca în cazul centralelor tradiționale. Pentru a garanta o aprovizionare adecvată cu energie, este esențial să existe și o capacitate de producție disponibilă în centrale clasice ce pot fi activate rapid sau în capacităţi de stocare a energiei electrice.

Sistemul electroenergetic național a suferit în ultima perioadă modificări asupra componentei structurii surselor de producție astfel s-a adaptat rapid pentru a facilita includerea unei varietăți mai largi de surse de energie regenerabilă, inclusiv instalații de stocare a energiei.

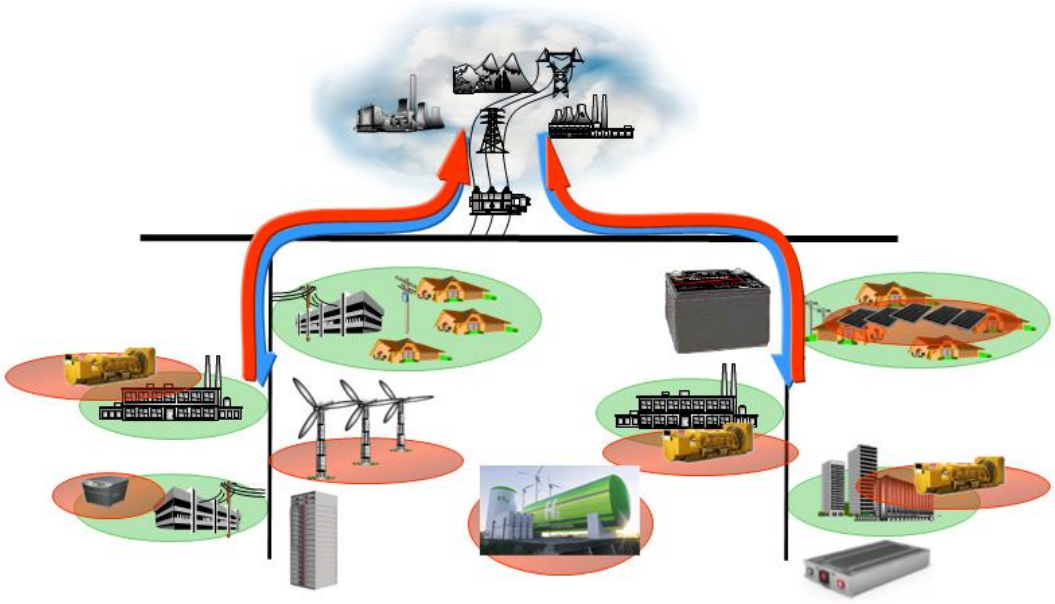


Fig. 1 Componența SEN și integrarea instalațiilor de stocare

Chiar dacă viitorul aparține resurselor regenerabile, posibilitatea de stocare a energiei electrice va constitui marea provocare a unui sistem electroenergetic echilibrat eficient.

IS vor contribui la stabilizarea pieței de echilibrare a energiei electrice prin netezirea vârfurilor de consum din PZU, o piață destinată echilibrării energiei electrice aflată în stadiu incipient de organizare și funcționare.

Piețele de echilibrare optimizate vor garanta securitatea aprovizionării la costuri minime și pot oferi avantaje de mediu prin diminuarea cerinței pentru rezerve de putere activă.

Integrarea și funcționarea optimă a instalațiilor de stocare în SEN vizează:

- Acoperirea consumului propriu tehnologic de către operatorii de reţea
- Asigurarea adecvanţei SEN
- Ajutorarea pieţei de chilibrare a energiei electrice prin “netezirea vârfurilor” din PZU
- Stocarea energiei electrice într-o anumită zonă cu o concentrare mare de resurse regenerabile eoliene, fotovoltaice
- Stabilizarea rețelei electrice prin asigurarea de servicii de reglare a frecvenței SEN
- Rol cheie între momentul producerii și cel al consumului de energie electrică
- O planetă mai sustenabilă printr-un sistem energetic armonizat, gata să includă o diversitate mai mare de surse regenerabile, sporind astfel flexibilitatea sistemului.
- Optimizarea utilizării energiei electrice
- Conservarea mediului și diminuarea GES

- Cercetare, dezvoltare și competitivitate în domeniul stocării energiei electrice și utilizării acesteia atunci când sistemul are nevoie de ea
- Flexibilitatea consumatorilor
- Reducerea dezechilibrelor CPT
- Scurtarea duratei de amortizare a investițiilor în Sistemul Energetic Național
- Îmbunătățirea autonomiei energetice pentru utilizatorii de pe diferite paliere în cadrul rețelelor electrice.

O trecere completă la energie provenită exclusiv SER și IS implică costuri economice mari care se vor recunoaşte în facturile consumatorilor. De aceea trebuie să conştientizăm şi să cunoaştem mai în amănunt întreg lanţul energetic de la producere până la consum, bazându-se pe un set corespunzător de norme reglementare pentru încurajarea folosirii energiei provenite din surse regenerabile şi instalaţii de stocare.

Prezenta teză de doctorat este organizată în patru capitole cheie, delimitate de o introducere și un capitol final care include concluzii, contribuții, concepte fundamentale și prevederi esențiale. S-au elaborat și expus liste ale figurilor, tabelelor și abrevierilor incluse în text, alături de o listă a referințelor bibliografice utilizate. În plus, la sfârșitul documentului este inclusă și o listă a publicațiilor autorului realizate în perioada studiilor doctorale.

Capitolul inițial se concentrează pe aspecte teoretice privind sursele de energie regenerabilă și instalațiile de stocare în cadrul Sistemului Energetic Național, analizând structura, modul de operare și dezvoltarea acestora, precum și provocările asociate cu integrarea lor în rețea.

Tot în cadrul primului capitol am prezentat stadiul actual al SEN şi posibilitatea acoperirii serviciilor de sistem, un sistem în continuă mişcare cât şi o abordare nouă asupra tipurilor de surse de energie electrică, o analiză asupra evoluţiei producţiei, consumului şi soldului din cadrul SEN. De asemenea am prezentat şi analizat evoluţia preţului mediu al energiei electrice pe PZU precum și o evaluare a GES.

Capitolul se încheie cu o prezentare a ţintelor propuse de UE prin PNRR-PNIESC cu privire la sursele regenerabile şi a instalaţiilor de stocare.

În capitolul doi am prezentat o viziune holistică asupra surselor regenerabile, instalațiilor de stocare și posibilitatea înlocuirii surselor neregenerabile, cărbune, petrol şi gaze. Tot în capitolul doi am analizat integrarea și optimizarea diverselor tehnologii pentru reducerea emisiilor de carbon în alte țări respectiv metode privind potențialul de înlocuire a surselor de energie neregenerabile (COG). A rezultat că experiența poloneză poate fi foarte utilă pentru România. Polonia oferă cadrul de creștere pentru comunitățile energetice, încurajând dezvoltarea clusterelor energetice cu noi reglementări și modele de afaceri în care împărțirea valorii este foarte importantă, deoarece asigură creșterea și stabilitatea comunităților energetice.

Pași similari trebuie urmați în România pentru a forma coaliții de consumatori și pentru a încuraja comunitățile să se dezvolte, făcând membrii acestora mai puțin afectați de sărăcia energetică și instabilitatea geopolitică.

Capitolul trei (studiu de caz) prezintă în detaliu posibilitățile de conectare la rețelele electrice a două instalații de stocare (centrală hidroelectrică cu acumulare şi pompaj CHEAP Tarniţa 1000 MW şi a unei instalaţii de stocare IS Freeflow 1000 MW pe bază de baterii, luând în considerare caracteristicile specifice ale acestor tipuri de centrale), atât în termenii impactului conectării lor asupra Rețelei Electrice de Transport, cât și în privința posibilelor limitări pe care rețeaua le-ar putea impune acestor instalații de stocare.

Capitolul se încheie cu o sinteză a rezultatelor obținute în studiul de caz realizat, care a examinat eficacitatea introducerii unei instalații de stocare în RET și impactul acesteia asupra pieței de echilibrare.

Capitolul patru are ca scop să analizeze producţia/consumul de energie electrică respectiv necesarul de stocare la două exemple tipice de instalații fotovolatice având ca utilizator un consumator activ cu conexiune la rețea on-grid și un consumator în afara rețelei echipat cu o IS pe bază de baterii:

- Consumator activ din zona București (prosumator, conexiune la rețea on-grid).

- Consumator rezidențial din zona Călărași (consumator, conexiune la rețea off-grid). Acesta deţine pe lângă instalația fotovolatică și o instalaţie de stocare pe bază de baterii.

Lucrarea are la bază date existente, obţinute din gospodăriile proprii, date din invertor, preţuri de la diverşi producători şi furnizori, cunoştiinţe tehnice acumulate în timp şi experienţă acumulată în sectorul electroenergetic naţional, un sector într-o continuă mişcare şi dezvoltare.

Au fost analizate particularitățile de funcționare ale panourilor fotovoltaice și ale instalaţiilor de stocare la nivelul celor doi utilizatori în intervalele analizate şi am creat ipoteze rezonabile ţinând cont de tipul de conexiune la reţea și în afara rețelei.

Rezultatele au oferit perspective interesante pentru factorii de decizie în ceea ce priveşte posibilitatea de a deveni consumator activ (prosumator). Rezultatele obținute au demonstrat fezabilitatea instalaţiilor de stocare cât și importanța optimizării consumului prin diverse tehnologii cu referire la prizele inteligente cu ajutorul wi-fi şi diverse aplicaţii pentru smartphone-uri. Cu ajutorul acestor echipamente inteligente consumatorul activ are posibilitatea a-şi optimiza consumul netezind vârful de consum de seară.

Mutând receptoarele de la vârful de seară consumatorii activi au posibilitatea de a utiliza întreaga cantitate de energie regenerabilă produsă şi de avea un cost total al energiei mult mai scăzut deoarece cantitatea de energie cumpărată de la furnizor va fi mult mai mică. Este evident că există o corelaţie între energia cumpărată de la furnizor pentru consum şi curba de sarcină a consumatorului activ.

Partea finală a acestui proiect este dedicată concluziilor finale, contribuţiilor personale respectiv perspective de dezvoltare ulterioare.

Această lucrare de cercetare ştiinţifică aduce o serie de contribuții referitoare la integrarea și funcționarea optimă a instalațiilor de stocare în sistemul energetic național cu implicații asupra pieței de echilibrare având la bază informații concrete obținute din

sistemul electroenergetic din România, fiind astfel pusă în evidență preocuparea mea pentru realizarea unor studii cu aplicabilitate directă în țară.

Aceasta teză de doctorat reprezintă o continuitate în cadrul preocupărilor mele și va conduce la obținerea unor rezultate deosebit de utile pentru sistemul electroenergetic. Aspectele teoretice care au fost rezolvate precum și aplicațiile practice care pot fi dezvoltate au oferit studiului propus un important caracter științific și posibilități de dezvoltare a cunoștințelor actuale.

1. PREZENTAREA SURSELOR REGENERABILE ŞI A INSTALAŢIILOR DE STOCARE ÎN SEN

1.1 Centrale eoliene on/offshore

Tipuri de centrale eoliene

În prezent, pe piață sunt disponibile diverse tehnologii pentru generarea de energie electrică din vânt, clasificate după tipul de generator utilizat și modalitatea sa de integrare în rețea. Exemple principale includ turbinele eoliene cu viteză constantă, care operează cu generatoare asincrone cu rotor în scurtcircuit și sunt conectate direct la rețea, și turbinele cu viteză variabilă. Turbinele cu viteză variabilă se împart în funcție de tipul de generator folosit: asincron sau sincron. Generatorul asincron cu rotor bobinat este utilizat fie într-un aranjament cu dublă alimentare, incorporând un convertor bidirecțional în circuitul rotoric, fie cu tehnologia Optislip, care presupune o rezistență variabilă pe rotor. Pe de altă parte, generatorul sincron poate fi echipat cu magneți permanenți sau poate avea excitație standard. În ambele cazuri, conectarea generatorului la rețea se face printr-un convertor bidirecțional, care este de obicei mai mare decât cel folosit pentru generatorul asincron cu rotor bobinat.

Energia produsă de instalaţiile eoliene

Energia primară care pune în mișcare palele unei turbine eoliene provine din deplasarea maselor de aer, cauzată de variațiile de temperatură la nivelul suprafeței Pământului.

Energia cinetică W captată din masa de aer m cu o viteză v_1 înainte de pale și v_2 după pale ale unei turbine eoliene (vezi fig. 2) se poate calcula după formula:

$$W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_1^2 - v_2^2)$$

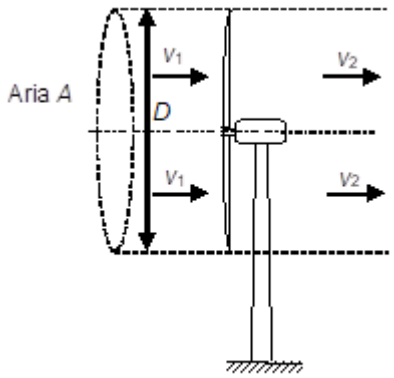


Fig. 2 Instalaţie eoliană

1.2 Centrale fotovoltaice

Efectul fotovoltaic se creează când lumina cade pe un material semiconductor și mobilitatea electronilor săi crește, tensiunea îi deplasează într-o direcție dirijată și astfel este generat curentul electric. Curentul electric este fluxul controlat de sarcini electrice.

Energia fotovoltaică este energie produsă de celulele fotovoltaice care transformă lumina produsă de soare direct în energie electrică continuă. Mai multe celule fotovoltaice compun un panou fotovoltaic, iar la rândul lor mai multe panouri fotovoltaice compun o centrala electrică fotovoltaică, fig. 3.



Fig 3 Celula și panou fotovoltaic

Celulele fotovoltaice sunt fabricate din siliciu, un element din grupa cristalogenilor. Acesta este al treilea cel mai abundent element de pe Pământ, după oxigen și hidrogen, și se întâlnește în stare naturală sub formă de compuși precum silice (nisip, cuarț, cristobalit) sau silicați (feldspat, caolin). Siliciul nu este considerat toxic și, prin intermediul procedeelor tehnologice, se extrage siliciul metalurgic cu o puritate de 98%.

Tipuri de celule fotovoltaice

- Celule monocristaline
- Celule policristaline
- Celule amorfe
- Celule tandem
- Celule cu film subțire
- Celule din polimeri

Energia produsă de instalaţiile fotovoltaice

Cantitatea de radiații solare care ajunge pe sol este fluctuantă. În funcţie de mişcarea aparentă a Soarelui această cantitate de radiaţie solară variază, influenţată şi de compoziţia atmosferei cât şi la apariţia norilor pe cer.

Formula ce descrie relația dintre curent și tensiune pentru o celulă fotovoltaică este:

$$I = I_d - I_L = I_0\left(e^{\frac{eU}{kT}} - 1\right) - I_L$$

Utilizarea centralelor fotovoltaice au un rol important în reducere poluării mediului ambiant şi aici ma refer doar în momentul utilizării acestora fără a ţine cont de întreg lanţul de la producere până la reciclarea acestora. Prin conversia energiei radiaţiei solare, centralele fotovoltaice au o largă utilizare ca surse de energie regenerabile dar dacă includ şi o capacitate de stocare pot reprezenta o sursă controlabilă de energie electrică.

La ora actuală, conform celor menţionate mai sus, România are un potenţial energetic solar anual de aproximativ 1400 kWh/m2 în zona litoralului Mării Negre respectiv a sudului ţării şi de aproximativ 1200 kWh/m2 în restul ţării.

Tabelul următor prezintă valorile medii zilnice pentru fiecare lună în regiunea sudică a țării.

Luna	Radianţa*)	Luna	Radianţa*)
Ianuarie	1,75	Iulie	10,36
Februarie	2,54	August	8,15
Martie	3,53	Septembrie	5,11
Aprilie	6,17/	Octombrie	2,94
Mai	8,84	Noiembrie	1,84
Iunie	10,07	Decembrie	1,40
*) Pe suprafaţă orizontală/înclinată la 35°/înclinată optim. Radianţa media anuala pe zi pe suprafaţă orizontală 3,9 kWh/m^2. Radianţa media anuala pe suprafaţă orizontală 1423,2 kWh/m^2. Iradianţa medie anuală 162,5 W/m^2.			

Tabelul 1 Valori medii pe zi ale radianței solare [kWh/m^2]

Pentru un randament maxim al panourilor fotovoltaice şi utilizarea optimă a energiei fotoelectrice, acestea trebuiesc orientate în așa manieră încât razele soarelui să atingă suprafața lor în unghi drept.

Având în vedere poziţia soarelui pe cer cât şi traiectoria acestuia se impune ca în orice moment să se modifice orientarea panourilor fotovoltaice.

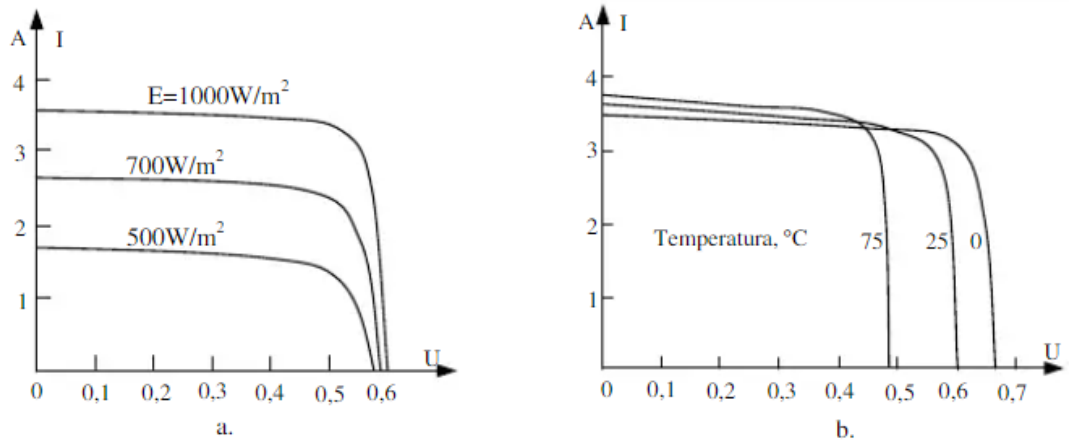
Din datele măsurate până în prezent, pentru obţinerea maximului anual de energie panourile fotovoltaice se montează cu un unghi de înclinare stabil, stabilit la 35 de grade.

Categorie celule fotovoltaice		**Randament [%]**	
		experiment	fabricaţie
monocristalin		24	16···17
policristalin		17	12···13
Celule amorfe (strat subţire – film)	Siliciu	12	6···7
	CIGS (cupru-indiu-galiu-diselenid)	19	12
	CdTe (telurida de cadmiu)	16	7···10

Tabelul 2 Randamentul diferitelor tipuri de celule fotoelectrice

În prezent piaţa este dominată de celule monocristaline datorită faptului că acestea au cel mai bun randament cât şi costuri de producţie din ce în ce mai scăzute. Sunt urmate de celulele policristaline din siliciu datorită faptului că se lucrează la creşterea randamentului acestora, din ce în ce mai mare.

Din datele tehnice comparate furnizate de fabricant se constată că celulele fotoelectrice monocristaline sunt mult mai eficiente decât celulele fotoelectrice multicristaline.Parametrii celulei fotovoltaice în funcție de diferite niveluri de radiație solară și schimbările de temperatură se prezintă astfel:



a – niveluri diferite ale radiației solare b – schimbări de temperatură

Fig. 4 Influența radiației solare asupra celulei fotovoltaice

Panourile fotovoltaice sunt puternic influenţate de radiaţia solară şi temperatură.

1.3 Consumatori activi (Prosumatori)

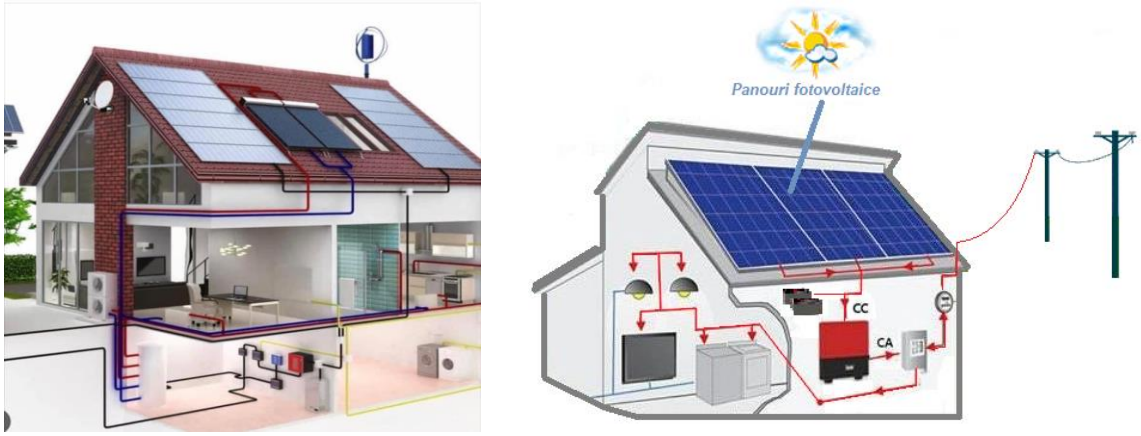


Fig. 5 Exemplu de consumatori activi (prosumatori)

Pentru o dezvoltare economică şi stabilă a omenirii, sunt necesare diferite forme de energie pentru orice consumator, la preţuri accesibile pe piaţa de energie electrică ţinând cont de impactul asupra mediului pe care le implică producerea, transportul, distribuţia, furnizarea energiei electrice cât şi reciclarea echipamentelor la sfârşitul duratei de viaţă a acestora.

Uniunea Europeană propune un cadru pentru tranziţia sectorului energetic cu energie verde printr-un pachet pentru energie curată. Se oferă un mediu stabil pentru stimulare investiţiilor în acest domeniu cât şi oportunităţi noi de afaceri în special cu ţintă directă către industria energetică.

Pachetul pentru Energie Curată propus de UE, situează consumatorul activ în centrul tranziţiei energetice oferându-i posibilitatea să participe activ la piaţa de energie.

În România, s-au făcut pași importanți în direcția încurajării prosumatorilor să producă energie electrică din surse regenerabile.

În scopul de a amplifica utilizarea energiilor regenerabile, sunt în curs de desfășurare la nivel național următoarele scheme de finanțare:

➢ Programul ”Casa verde fotovoltaice” lansat de Ministerul Mediului cu scopul de a implementa sisteme fotovoltaice pentru generarea energiei electrice necesare acoperirii consumului propriu și pentru injectarea excedentului în rețeaua națională, programul este administrat de Administrația Fondului pentru Mediu.

➢ Programul ”Electric Up” lansat de Ministerul Economiei, Energiei si Mediului de Afaceri cu scopul de a implementa sisteme fotovoltaice cu o putere instalată (27 kW-100 kW), fiind proiectate pentru a satisface nevoile de consum intern și pentru a permite injectarea excesului de energie în Sistemul Energetic Național.

Programul include și montarea unor staţii de încărcare electrică pentru autovehicule electrice cu o putere instalată de 22 kW.

Prosumatorul conform Legii nr. 220/2008 definit şi clientul final care deţine instalaţii pentru producerea energiei electrice. Acesta are capacitatea de a consuma, stoca și vinde energia electrică provenită din surse regenerabile (E-SRE) produsă în cadrul propriului imobil fără ca producția de energie să reprezinte activitatea sa principală.

Pentru asigurarea adecvanţei sistemului electroenergetic şi a fiabilităţii acestuia în cazul numărului mare de prosumatori este oportună instalarea sistemelor de stocare care vor avea un rol crucial pentru sistemul energetic cât şi pentru flexibilitatea consumatorilor.

Dezvoltarea tehnologiilor avansate de stocare a energiei electrice joacă un rol esențial în exploatarea eficientă a resurselor regenerabile. Bateriile moderne oferă deja posibilitatea de a implementa soluții de stocare variate, având un impact pozitiv atât asupra rețelei publice de electricitate, cât și pentru utilizatori, în special pentru prosumatori. Avansurile tehnologice în domeniul sistemelor de stocare, alături de scăderea considerabilă a costurilor de producție, favorizează integrarea în Sistemul Energetic Național (SEN) a unor sisteme de stocare de ultimă generație, cu capacități mari de înmagazinare și eficiență cost. Devine imperativ ca instalațiile de stocare să fie integrate în toate proiectele care

1.4 Hidrogen

Hidrogenul este considerat un element simplu dar de asemenea este elementul cel mai abundent în univers. Atomul de hidrogen este format dintr-un proton şi un electron.



Fig. 6 Instalație Hidrogen

Pe Pământ, chiar dacă este simplu și abundent este mereu combinat cu alte elemente, de exemplu apă, o combinație de hidrogen și oxigen.

Pe lângă combinația cu alte elemente, hidrogenul se mai regăsește și în compuși organici cum ar fi gaze naturale, metanol, propan, benzina, etc.

Hidrogenul este cel mai ușor dintre elemente cu o masă atomică de 1,0. Hidrogenul lichid are o densitate de 0,07 grame pe centimetru cub, apa are o densitate de 1,0 g / cc și benzina aproximativ 0,75 g / cc.

Avantajele și dezavantajele hidrogenului

Hidrogenul își stochează aproximativ 2,6 ori de energie pe unitate de masa față de benzină, iar dezavantajul este că are nevoie de un volum de aproximativ 4 ori mai mare pentru aceeași cantitate de energie.

Hidrogenul nu este clasificat ca o sursă primară de energie, spre deosebire de gazul natural, cărbune etc, de aceea este un transportator de energie regăsit sub denumirile de vector de energie sau combustibilul viitorului.

România este nevoită să găsească soluții pentru o serie de provăcări: decarbonizarea, protecția mediului, conservarea resurselor naturale, crearea de noi surse distribuite, stocarea energiei.

Hidrogenul poate reprezenta o soluție pentru o economie energetică.

Producerea hidrogenului, în prezent se poate face prin tehnologii industriale cum ar fi:

- electroliza apei:

  $H_2O = H_2 + 1/2\ O_2$ având un randament de 77 %

- sub acțiune chimică:

  $CH_4 + 2\ H_2O$ + caldură = $4H_2 + CO_2$ având un randament de 90 % dar implică cantități mari de CO_2 care contribuie la creșterea efectului de seră

Electricitatea și hidrogenul, vectori energetici, se pot transforma reciproc unul în celălalt: electricitatea în hidrogen prin electroliza apei și hidrogenul în electricitate în pilele de combustie.

Este denumit şi vector energetic având marele avantaj de a fi potrivit pentru producere de energie electrică, gaze precum şi pentru mobilitate.

În contextul unei intensificări semnificative a investițiilor în centralele eoliene și fotovoltaice în special zona Dobrogea, hidrogenul prezintă un potenţial ridicat pentru stocarea energiei electrice cât şi transportul energiei produse de aceste surse regenerabile.

Pe lângă stocarea energie, hidrogenul mai poate fi utilizat în următoarele aplicaţii: centrală termică de apartament, combustibil în centrale nucleare de fuziune, sudură, aparate portabile dar cel mai important în transporturi şi anume locomotive, avioane cu reacţie, nave, rachete, autovehicule.

Hidrogenul are flexibilitatea de a răspunde la toate provocările majore ale SRE intermitente dar şi provocări de mediu, care vor fi disponile în România în perioada 2025-2030.

Defapt hidrogenul asigură accesul către sisteme deschise de energie, iar cunoştinţele acumulate până în prezent certifică posibilitatea folosirii hidrogenului în transporturi aeriene şi rutiere. Producerea hidrogenului în cantitatea necesară la un cost

accesibil pentru consumatori, ramâne o problemă pentru sistem care se poate rezolva cu ajutorul cercetării şi inovaţiei în acest domeniu.

Utilizarea hidrogenului în transporturi

Pentru acționarea unui vehicul alimentat cu hidrogen prin intermediul pilelor de combustibil este nevoie de un motor electric. Astfel cu ajutorul mai multor pile de combustibil înseriate se asigură puterea necesară solicitată de motorul electric.

În prezent mai multi producători sunt în faza de probe și încercări în alimentarea autovehiculelor cu pile de combustibil alimentate cu hidrogen, producători ca Ford, Toyota, Honda, GM. Pentru asta este nevoie de o infrastructură adecvată pentru alimentarea autovehiculelor cu hidrogen. Această infrastructură se dezvoltă pe zi ce trece dar cea mai dezvoltată se regăsește în Europa de Nord și în Japonia.

În concluzie, hidrogenul va avea un rol important în această tranziție de la combustibili clasici la alte alte sisteme deschise de energie în special în transporturi deoarece numărul autovehiculelor alimentate cu hidrogen este în continuă creștere. Ramân ca obstacole în dezvoltarea utilizării hidrogenului la scară largă următoarele: infrastructura necesară, tehnologia de extracție și costurile ridicate acesteia, dar există premisele, după cum avansează tehnologia, că hidrogenul va fi unul din principalii combustibili în viitorul apropiat.

1.5 CHEAP Tarniţa – Lapuşteşti, o centrală hidroelectrică cu acumulare prin pompaj, esenţială pentru SEN



Fig. 7 Exemplu de CHEAP (centrală hidroelectrică cu acumulare prin pompaj)

În deceniul 2020-2030, CHEAP Tarnița - Lăpuștești reprezintă unicul sistem matur și eficace de stocare a energiei la o scară extinsă. Funcționând ca o centrală hidroelectrică reversibilă prin pompare, permite transferul apei între rezervorul inferior Tarnița și cel superior Lăpuștești.

CHEAP va avea o putere instalată de 1000 MW generată de patru grupuri fiecare cu o putere instalată de 250 MW. Costul investiției ajunge la peste 1 miliard Euro fiind o investiție de tip green-field. CHEAP va avea un regim de funcționare pompă și generator.

CHEAP singura tehnologie de stocare a energiei la scara mare va fi utilizată în SEN pentru acoperirea vârfurilor de sarcină. Stocarea apei pe durata orelor cu sarcină redusă şi producerea de energie electrică din apă stocată, în orele de vârf de sarcină, este o soluţie larg întâlnită pentru reglarea frecvenţei într-un sistem electroenergetic. Conform datelor obținute până în prezent de la centrale asemănătoare, randamentul CHEAP este de cca 70-85 %.

Încă din anul 1975, experții din cadrul SEN au constatat necesitatea unei centrale cu acumulare prin pompare fiind considerată o prioritate strategică în dezvoltarea SEN

Tot în perioada menţionată ISPH a realizat studii şi a evaluat diferite configuraţii de posibile CHEAP, ţinând cont de următoarele aspecte:

- necesitatea de a gestiona vârfurile de sarcină;
- creșterea susținută a consumului de energie;
- posibilitatea de a realiza schimburi energetice cu rețelele europene;
- punerea în funcțiune a noi unități nucleare la CNE Cernavodă.

CHEAP Tarnița-Lăpuștești contribuie la compensarea producătorilor de energie care operează în regim continuu, precum și la stabilizarea Sistemului Energetic Național. Astfel, CHEAP ocupă o poziție strategică cu privire la securitatea energetică și protecția națională a SEN.

Altenativa de succes care să înlocuiască centralele clasice pe cărbune, conform noilor tendințe venite din partea UE, sunt aceste centrale cu acumulare prin pompare alături de centrale eoliene și fotovoltaice. Centralele clasice pe cărbune nu pot răspunde rapid la intermitența CEE și CEF de aceea CHEAP are capacitatea de a regla echilibrul sistemului pentru perioade de timp între 4 și 6 ore.

CHEAP generează venituri din două direcții principale:

- Prin participarea pe piața de echilibrare, cumpărând energie la prețuri reduse pentru a o pompa în timpul nopții sau în weekenduri și vânzând energie la tarife competitive în perioadele cu cerere ridicată pe piață.
- Obținând venituri din oferirea de servicii auxiliare de rețea.

Actualmente, participarea pe piața de energie poate genera venituri semnificative pentru o CHEAP, făcând posibil ca proiectul de construcție a unei astfel de centrale să devină rentabil, mai ales având în vedere că durata de viață estimată a unei CHEAP se întinde între 80 și 100 de ani.

Creșterea puternică a investițiilor în surse regenerabile în special în zona Dobrogea, va stimula un interes sporit pentru CHEAP, care furnizează energii de echilibrare.

În prezent sunt în exploatare aproximativ 200 de centrale cu acumulare prin pompare respectiv în faza de proiect aproximativ un număr de 60 centrale.

În Europa, România este singura țară care nu deține centrală cu acumulare prin pompare la dispoziția DEN.

1.6 Instalatii de stocare pe baterii

Conform datelor publicate pe site-ul operatorilor de transport şi distribuţie există o tendinţă de creştere puternică a surselor de energie regenerabile. Sursele de energie regenerabile datorită faptului că variază independent de cerere este necesară o dezvoltare substanţială a instalaţiilor de stocare.

SEN nu va putea asigura adecvanța dacă nu va fi un sistem echilibrat pe tipuri de surse și obligatoriu va avea nevoie de instalaţii de stocare pentru echilibrarea acestuia.

În România, Megalodon Storage SRL a primit autorizație de înființare și licență pentru o instalație de stocare (IS Căciulați) pe baza de baterii în apropierea stației electrice 110/20 kV Căciulați, în localitatea Moara Vlasiei din județul Ilfov.



Fig. 8 Amplasament instalație de stocare

Este o premieră în piața energetică românească deoarece este prima instalație de stocare independentă de alte surse cu o capacitate de 7 MW .

O altă premieră al acestui proiect constă în faptul că acumulatorii sunt produși în România de către Prime Batteries Technology SRL.

Scopul acestei instalații de stocare este de echilibrare a infrastructurii RET şi RED. IS pe bază de baterii poate fi utilizat în mai multe scopuri – aplatizarea diferențelor de prognoză, echilibrarea în rețelele electrice, consum propiu.

Începand cu luna octombrie 2022 instalatia de stocare a fost pusă în funcțiune iar în perioada noiembrie – decembrie, IS a funcționat în multiple regimuri de funcționare inclusiv de defect simulat, efectuându-se de asemenea teste de performanță.

- **CONDIȚII DE RACORDARE A SURSELOR DE GENERARE DISTRIBUITĂ ȘI A INSTALAȚIILOR DE STOCARE LA INFRASTRUCTURA ELECTRICĂ DE UTILITATE PUBLICĂ**

Pentru conectarea SRE și IS la rețeaua electrică publică, procesul urmează reglementările specificate în Legea energiei electrice și a gazelor naturale nr. 123/2012, precum și normele stabilite de Autoritatea Națională de Reglementare în Energie (ANRE).

Acest proces constă în mai multe faze, care includ depunerea solicitării de racordare, determinarea soluției tehnice pentru racordare, semnarea contractului de racordare, executarea lucrărilor necesare și punerea în funcțiune comercială.

Soluțiile sunt stabilite conform reglementărilor ANRE și se supun avizării de către operatorii relevanți de rețea. De asemenea, costurile pentru eliberarea avizelor tehnice de racordare sunt determinate în baza metodologiei validate de ANRE. În plus, lucrările de întărire a rețelei necesare pentru racordare sunt realizate de către operatorul de rețea, iar costurile asociate sunt suportate de către utilizator conform clauzelor contractuale.

În vederea conectării la rețeaua electrică de utilitate publică, cererile și documentația asociată trebuie să respecte prevederile reglementărilor specifice, iar soluțiile de racordare trebuie să respecte planurile de dezvoltare și investiții ale operatorilor de rețea, care sunt aprobate în conformitate cu reglementările actuale..

- **STADIUL ACTUAL AL SEN ȘI POSIBILITATEA ACOPERIRII SERVICIILOR DE SISTEM**

Dispecerul Energetic Naţional (DEN) are sarcina de a menține funcționarea SEN în condiții sigure și în conformitate cu standardele de calitate stabilite în Codul Rețelei Electrice de Transport..

DEN asigură adecvanța SEN prin planificarea operațională, programarea operațională și comandă operațională grupurilor existente în SEN cu scopul de a echilibra în timp real producția cu consumul utilizând în general mecanismele pieței de echilibrare.

Dispecerizarea centralelor din sistemul românesc e complicată deoarece debitul de la o anumită centrală poate fi limitat de disponibilitatea de combustibil; nu poate fi urmărită o abordare ordonată, normală, bazată strict ordinea de merit. Planificările sunt pregătite zilnic, pe baza cheltuielilor minime, în funcţie de constrângerile impuse de disponibilul de combustibil.

SEN are nevoie de o diversitate de centrale, un mix energetic de surse, care sa cuprindă capacități de generare în bandă cât şi capacități flexibile pentru a menţine producţia şi consumul de energie electrică ca valori similare.

Folosirea diferitelor tehnologii de stocare a energiei electrice, incluzând centralele hidroelectrice cu acumulare prin pompaj (CHEAP), prosumatori, sisteme bazate pe baterii, hidrogen și altele, va duce la o separare parțială între curbele de consum și producție. Aceasta va permite ca vârfurile de consum să fie acoperite eficient și economic

cu energia generată la costuri mai reduse în perioadele de consum scăzut, inclusiv de centralele de bază și de cele eoliene.

- **Tipurile de surse de energie electrică și evoluția producției, consumului și soldului de energie**

Capacitatea totală de producție energie electrică în SEN la data de 01.12.2022:

- Puterea instalată: 18.6661,33 MW

Hidroenergie	6641,94
Cărbune	3422,2
Eolian	3014,91
Hidrocarburi	2629,35
Nuclear	1413
Fotovoltaic	1394,1
Biomasa/Biogaz /Altele	138,38
Geotermală	0,05
Instalații de stocare (IS)	7,4

Tabelul 3 Puterea instalată în SEN

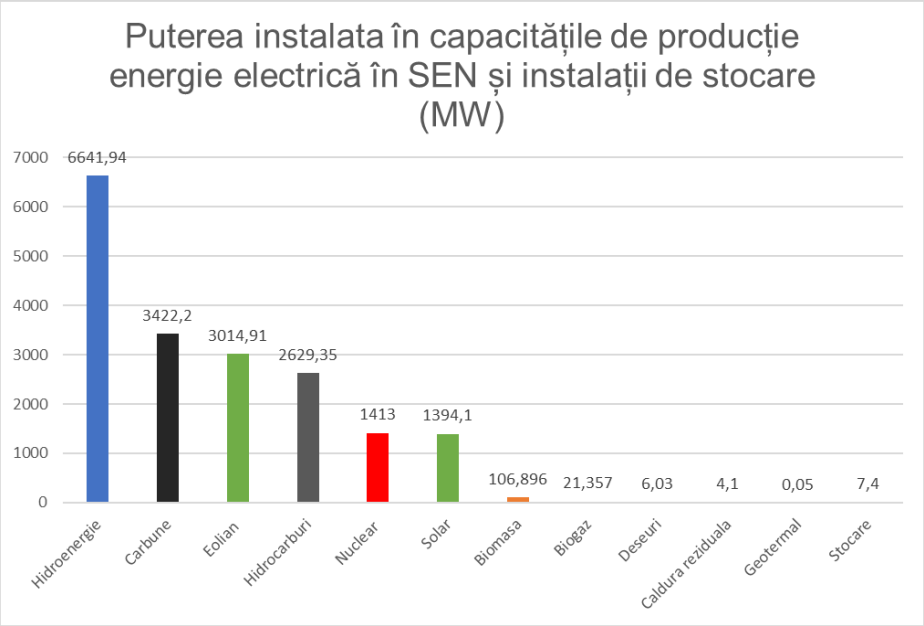


Fig. 9 Puterea instalată în capacitățile de producție în SEN și instalații de stocare

Puterea medie și energia electrică produse în SEN pe tip de surse în luna decembrie - 2022:

- hidroenergie : 1.735 MW - 1,291 TWh - 26,3 %;
- hidrocarburi : 1.386 MW - 1,032 TWh - 21,0 %;

- nuclear : 1.379 MW - 1,026 TWh - 20,9 %;
- cărbune : 1.173 MW - 0,873 TWh - 17,8 %;
- eolian : 809 MW - 0,602 TWh - 12,3 %;
- biocombustibil : 65 MW - 0,048 TWh - 1,0 %;
- fotovoltaic : 53 MW - 0,039 TWh - 0,8 %;

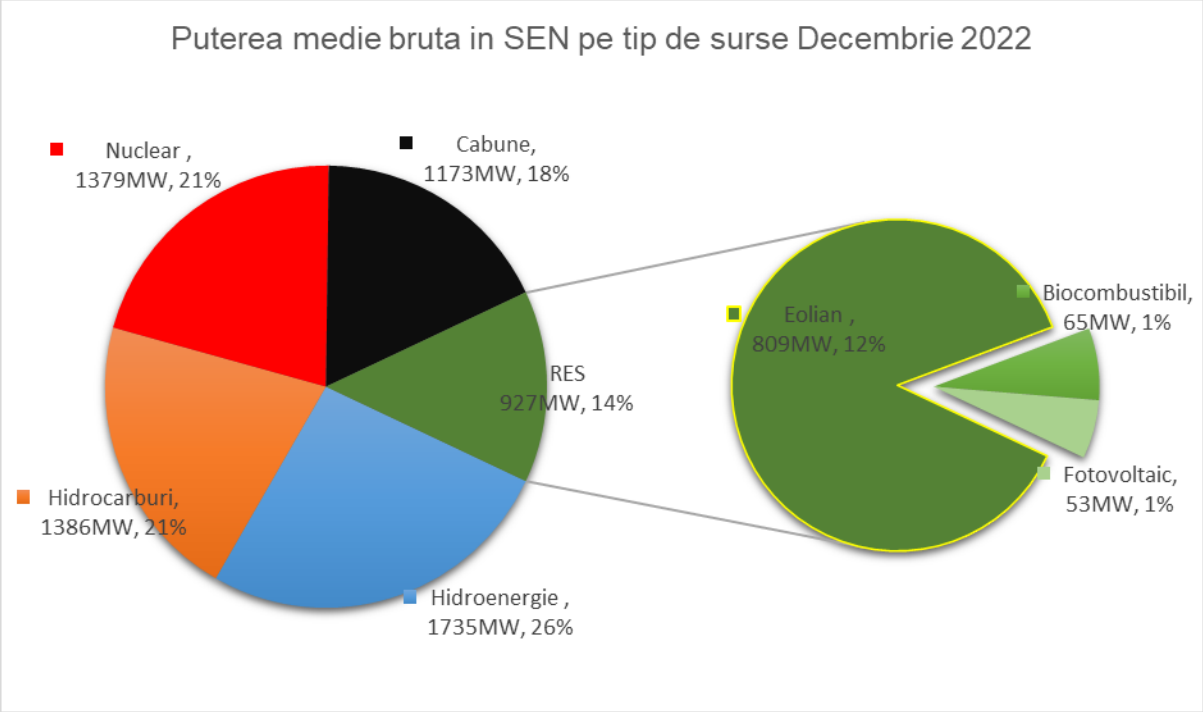


Fig. 10 Puterea medie brută în SEN

Evolutia tranzacțiilor de energiei electrică export/import în SEN în perioada 2013-2022 exprimat în GWh cât și influența soldului de energie electrică exprimat în TWh asupra venitului net exprimat în miliarde lei:

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Export GWh	7000	8200	10500	8600	6500	5400	3700	4800	5300	4800
Import GWh	1000	1300	4000	3800	3800	3000	5000	7400	7800	6000

Tabelul 4 Evoluția tranzacțiilor de energiei electrică export/import în SEN

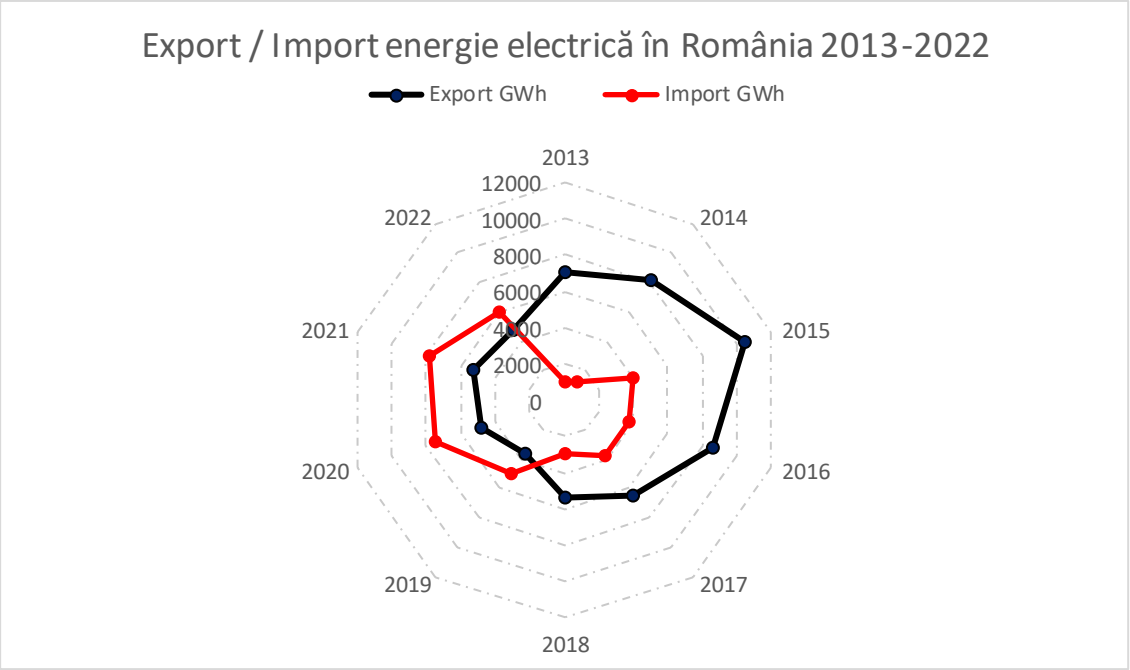


Fig. 11 Evoluția tranzacțiilor de energiei electrică export/import în SEN

➢ **DIRECTIVELE UE TRASATE PRIN PNRR/PNIESC CU PRIVIRE LA SURSELE REGENERABILE ȘI A INSTALAȚIILOR DE STOCARE**

În lumina situației politice și economice curente, sectorul energetic traversează o perioadă semnificativă de schimbare, orientându-se spre sursele de energie verde.

Acest proces are ca obiectiv decarbonizarea sistemelor electrice, minimizarea GES și încurajarea utilizării surselor de energie regenerabilă, instalaţii de stocare a energiei, cât şi surse alternative de energie cum ar fi hidrogenul verde și mai nou în viitorul apropiat centrale cu fuziune nucleară.

Pentru asta trebuie să ţinem cont de întreg lanţul de la producerea, transportul, instalarea, utilizarea până la sfârşitul duratei de viaţă a echipamentelor cât şi reciclarea acestor echipamente care produc energia verde. Totul are ca scop un cost accesibil al energiei electrice pentru consumatorul final.

Întrebarea este dacă prin PNRR, România va beneficia de această oportunitate de a transforma sectorul energetic sau o să suporte costurile acesteia. Până în anul 2050, UE își propune să devină primul continent care atinge un nivel net zero al GES.

Obiectivul este reducerea treptată a dependenței de combustibilii fosili și în accentuarea sprijinului pentru SER şi IS cât şi alte tipuri de surse. Această tranziție necesită investiții masive pentru a construi o industrie robustă și autonomă, capabilă să ofere soluții adecvate în fața provocărilor existente.

România prin aprobarea PNIESC 2021-2030 a făcut paşi importanţi în direcţia propusă de UE şi pentru anul 2030 și-a stabilit obiectivul ca 30,7% din consumul total

brut de energie să provină din surse regenerabile, punând accent pe adăugarea de noi capacități de producție regenerabilă, aproximativ 7 GW.

"Strategia Energetică a României pentru perioada 2020-2030", indică un nivel semnificativ de incertitudine, în special pentru anul 2050. Aceasta se fundamentează pe opt obiective strategice și include un program național de investiții esențial. Fără acesta, există riscul ca Europa să nu își îndeplinească obiectivele ambițioase stabilite.

Investiții cheie de importanță națională incluse în Strategia Energetică a României sunt:

- Completarea noilor unităţi nucleare;
- Construcția CHEAP Tarnița-Lăpuștești;
- Dezvoltarea Unității de 600 MW la Rovinari;
- Edificarea Complexului Hidrotehnic Turnu-Măgurele-Nicopole.

Noile unităţi nucleare, alături de unitățile existente 1 și 2, reprezintă surse cu emisii scăzute de carbon și vor juca un rol central în compoziția mixului energetic al României, contribuind astfel la un nivel înalt de independență energetică în regiune. Instalarea lor va sprijini expansiunea capacității de producție a Sistemului Energetic Național cu energie din surse regenerabile.

În conditiile în care mixul energetic va creşte odată cu instalarea capacităţilor din surse regenerabile cât şi noile surse nucleare, construcţia CHEAP va asigura flexibilitatea sistemul energetic naţional.

CHEAP Tarnița-Lăpuștești este recunoscută ca o soluție consolidată pentru stocarea energiei electrice, contribuind la stabilizarea Sistemului Energetic Național.

2. Viziune holistică asupra surselor regenerabile, instalațiilor de stocare și posibilitatea înlocuirii surselor neregenerabile

Țintele Uniunii Europene urmăresc înlocuirea surselor de energie neregenerabile și anume cărbune, petrol și gaze cu surse de energie regenerabile și instalații de stocare. Trecerea de la sursele de energie neregenerabile la cele regenerabile va contribui la diminuarea emisiilor GES, îmbunătățind astfel calitatea mediului în care trăim.

Potrivit datelor furnizate de UE, mai precis raportul de evaluare privind schimbările climatice, principalele sectoare ce duce la o creștere a GES sunt:

Pornind de la acest deziderat, în acest raport, am creat mai multe scenarii de înlocuire a surselor neregenerabile în România cu surse regenerabile şi instalaţii de stocare, am reconsiderat viitoarele mixuri energetice ale SEN și am propus o planificare mai creativă pentru a îndeplini calea tranziției către energie curată.

Penuria de energie, în special în țările europene, după invazia rusă a Ucrainei, a determinat multe guverne, inclusiv cel român, polonez etc., să se gândească mai mult la problemele de aprovizionare pe termen scurt și mai puțin la planificarea sistemului energetic pe durate medii și extinse.

Cu toate acestea, factorii de decizie ai sistemelor energetice europene trebuie să decidă cât de repede să evite arderea cărbunelui, cât de repede să adopte SRE și cât de repede să investească în surse de flexibilitate, surse alternative de energie, inclusiv în instalații de stocare pentru a sprijini o integrare mai vastă a energiei provenite din surse regenerabile

Prin urmare, în acest raport, este oferită o viziune holistică pentru a ne imagina contribuția SRE și non-SRE la acoperirea necesarului de energie electrică în România pentru o tranziție fără probleme spre o economie caracterizată prin emisii reduse de carbon.

Rezultatele arată că un mix de sisteme eoliene, fotovoltaice și instalaţii de stocare este de preferat pentru a înlocui 600 MW de putere instalată în centralele pe cărbune. În plus, este prezentat și cazul Poloniei, țara europeană cu peste 70% cărbune în portofoliul său de producție, deoarece poate servi ca un bun exemplu.

- **Integrarea şi optimizarea diverselor tehnologii pentru reducerea emisiilor de carbon în alte ţări**

Eliminarea treptată a cărbunelui ar putea menține creșterea temperaturii globale sub pragul de 1,5 grade Celsius și ar ajuta la evitarea schimbărilor climatice și a dăunării sănătății cetățenilor. Potrivit Fondului Monetar Internațional, sunt necesare 29 trilioane USD pentru a înlocui cărbunele - „46% în Asia, 18% în Europa, 13% în America de Nord, 13% în Australia și Noua Zeelandă, 8% în Africa și 2% în America Latină și Caraibe”.

Efectele renunțării treptate a cărbunelui în țările europene cu privire la atingerea țintelor propuse au fost investigate în [46], în special efectele în țările care exportă masiv cărbune în Europa. Mai mult, au fost analizate efectele asupra tehnologiilor SRE (cum ar fi sistemele eoliene, de stocare și PV) despre care se crede că înlocuiesc centralele pe cărbune. Rezultatele obținute cu un model econometric au arătat că o eliminare treptată a centralelor pe cărbune ar avea numeroase efecte pozitive asupra biodiversității și gestionării apei, asupra poluării și problemelor de mediu și asupra sănătății la nivel de societate.

Tranziția energetică de la centralele convenționale pe cărbune la sistemele energetice bazate pe SRE a fost inițiată prin impunerea unor taxe pe carbon care au crescut treptat.

Apoi, a existat mai multă presiune din partea unei noi crize geopolitice care a avut loc în februarie 2022, când a început invazia rusă în Ucraina, care a ridicat prețurile energiei la niveluri fără precedent. Prețul a fost de 6-7 ori mai mare în august 2022 pe piețele europene pentru ziua următoare (https://euenergy.live/).

În plus, COVID-19 a pus presiune asupra prețurilor energiei electrice, deoarece imediat după blocări, cererea de mărfuri a fost mult mai mare, ceea ce a dus la un preț indice mai mare. Războiul din Ucraina, în regiunea Mării Negre, a stimulat și cererea de mărfuri. Mai mult, prețul tehnologiei SRE și chiar al stocării a scăzut treptat, iar în Africa

au fost descoperite noi mine care permit evoluția acestor tehnologii, inclusiv bateriile pentru vehicule electrice [63]. Sistemele fotovoltaice au devenit accesibile, Uniunea Europeană a oferit granturi și au apărut tot mai multe comunități energetice și prosumatori.

Cu toate acestea, înlocuirea mașinilor convenționale cu vehicule electrice la scară largă va transfera povara poluării din sectorul transporturilor în sectorul energetic. Va fi necesară mai multă energie pentru a acoperi sarcina pentru a furniza vehicule electrice; prin urmare, vor fi necesare mai multe SRE pentru a beneficia de un mediu de viață mai bun.

Această investigație este nouă, iar rezultatele oferă perspective interesante pentru factorii de decizie cu privire la partea economică şi diminuarea GES.

- **Analiza datelor de intrare**

În cadrul analizei, am luat în considerare seturi de date deschise înregistrate în perioada 1 ianuarie 2019 – 31 august 2022. Setul de date a fost descărcat de pe site-ul OTS. Se compune din înregistrări orare ale consumului total, producției totale și defalcarea sau generarea acestuia pe categorii (cărbune, petrol și gaze, hidro, nuclear, eolian, fotovoltaice și biomasă) plus soldul sistemului energetic românesc cu sistemele energetice învecinate.

Intervalul selectat mai sus reprezintă cei mai recenti trei ani și jumătate cu înregistrări orare ale sistemului energetic. Intervalul constă în mai mult de un an înainte de focarul de COVID-19 și aproape 6 luni după invazia rusă în Ucraina.

Nu a avut loc nici o schimbare semnificativă în distribuția surselor de generare în intervalul studiat, se așteaptă ca generarea SRE să crească ușor de la 12% în 2019 la 15% în 2024. În plus, producția de cărbune a scăzut de la 22% la 17%.

- **Metode privind potențialul de înlocuire a surselor de energie neregenerabile (cărbune, petrol și gaze)**

Pentru a analiza potențialul de înlocuire a surselor neregenerabile în sistemul energetic românesc, am analizat curbele orare în perioada 2019–2022. Pentru întregul interval, sursele neregenerabile urmează curba de sarcină, în timp ce sistemele eoliene şi fotovoltaice nu urmează curba de sarcină. Generarea vântului este destul de constantă, dar pentru generarea fotovoltaică este afișată curba clopot.

Cu toate acestea, puterea necesară pentru a înlocui COG ar putea proveni aproape în egală măsură din sistemele eoliene și fotovoltaice, plus instalaţii de stocare care pot furniza energie în orele de seară și noapte.

Disponibilitatea energiei eoliene α^w este raportul dintre puterea eoliană disponibilă medie P_d^w și puterea instalată P_i^w înmulțit cu 100, în timp ce puterea instalată nou necesară în centrale eoliene P_i^{nw} este raportul dintre COG puterea P_{COG} care trebuie înlocuită și disponibilitatea vântului α^w înmulțită cu 100.

$$\alpha^w = \frac{\overline{P_d^w}}{P_i^w} \times 100$$

$$P_i^{nw} = \frac{P_{COG}}{\alpha^w} \times 100$$

În al doilea scenariu, dacă luăm în considerare înlocuirea a 50% P_{COG} cu P_i^{nw} și 50% cu P_i^{npv}, $P_i^{nw} = \frac{P_i^{nw}}{2}$ și P_i^{npv} se calculează după cum urmează:

$$\alpha^{pv} = \frac{\overline{P_d^{pv}}}{P_i^{pv}} \times 100$$

$$P_i^{npv} = \frac{P_{COG}}{\alpha^{pv}} \times 100$$

unde α^{pv} — disponibilitatea PV;
$\overline{P_d^{pv}}$ — puterea PV medie disponibilă;
P_i^{pv} — puterea instalată;
P_i^{npv} — puterea instalată nou necesară în PV;
P_{COG} — puterea COG a fi înlocuită.

Curba puterii clopot a sistemelor fotovoltaice sugerează că un coeficient de generare β_h^{pv} poate fi calculat orar. Este raportul dintre puterea medie disponibilă pe oră generată de sistemele fotovoltaice $P_{d,h}^{pv}$ și puterea instalată P_i^{pv} înmulțită cu 100.

$$\beta_h^{pv} = \frac{\overline{P_{d,h}^{pv}}}{P_i^{pv}} \times 100$$

$$P_{COG} = \alpha^w \times P_i^{nw} + \beta_h^{pv} \times \frac{P_i^{npv}}{100} + P_h^{bat}$$

$$P_h^{bat} = \alpha^w \times P_i^{nw} - \beta_h^{pv} \times \frac{P_i^{npv}}{100}$$

Prin urmare, puterea totală (P_{COG}) care urmează să fie înlocuită cu surse regenerabile şi instalaţii de stocare este suma puterii generate de centrale eoliene $\alpha^w \times P_i^{nw}$, puterea generată de sistemele fotovoltaice $\beta_h^{pv} \times (P_i^{npv})/100$, luând în considerare β_h^{pv} ca în ecuația (5) și stocarea (P_h^{bat}) care poate acționa ca generator noaptea când bateriile sunt descărcate și ca consumator în timpul zilei când bateriile sunt încărcate.

- **Rezultate**

Pentru a înlocui 2400 MW (COG) cu surse regenerabile sau surse regenerabile şi instalaţii de stocare, puterea necesară ar putea fi furnizată doar de centrale eoliene - scenariul 1 sau aproape în mod egal din sisteme eoliene și fotovoltaice plus instalații de stocare (ca în tabelul 5)-scenariul 2. În scenariul 1, luând în considerare ipotezele de mai sus şi anume disponibilitatea curentă a energiei eoliene, puterea instalată necesară în centrale eoliene pentru a înlocui 2400 MW COG este de aproximativ 8685 MW.

Tabelul 5 Înlocuirea a 2400 MW COG (cărbune, petrol şi gaze)

2400 MW Înlocuire	Pi Eolian [MW]	Pi Fotovoltaic [MW]	IS [MW]
Scenariu1	8685	0	0
Scenariu2	4342.5	4089.3	15,486

În al doilea scenariu, dacă puterea instalată în centrale eoliene ar fi de 4342,5 MW, puterea generată de centrale eoliene poate fi în jur de 1200 MW; prin urmare, necesarul de stocare este prezentat în Fig 12.

Cerințele orare de stocare pentru orele de noapte ar fi de 1200 MW care împreună cu 1200 de la centrale eoliene ar putea duce la înlocuirea a 2400 MW generați acum de surse neregenerabile COG. Cu toate acestea, capacitatea necesară a sistemelor de baterii este foarte mare și foarte costisitoare în acest scenariu. Astfel, capacitatea totală necesară pentru înlocuirea a 2400 MW de surse neregenerabile COG este peste 15.000 MW.

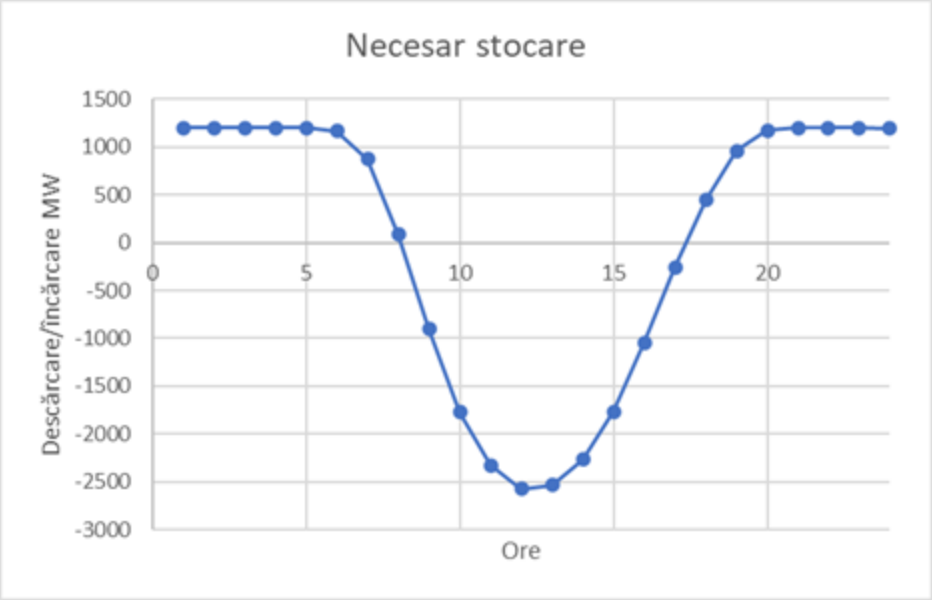


Fig. 12 Necesarul de stocare în cazul înlocuirii surselor neregenerabile COG de 2400MW.

Prin urmare, obiectivul ar trebui redus; de exemplu, în loc de 2400 MW de înlocuit, putem lua în considerare o capacitate mai realizabilă, cum ar fi 600 MW.

Prin urmare, inițial, putem viza o înlocuire a 600 MW generați de centralele pe cărbune cu eolian, fotovoltaice și instalaţii de stocare.

Cu toate acestea, unitățile cu ciclu combinat cu gaz pentru 1 MWh produc 41,19% emisii GES, comparativ cu unitățile generatoare pe cărbune.

Prin urmare, este de preferat să înlocuiți mai întâi cărbunele.

În acest context, primul scenariu necesită aproximativ 2200 MW de capacitate nou instalată CEE, în timp ce al doilea scenariu presupune circa 1100 MW CEE, 1022 MW CEF și 3900 MW IS (ca în tabelul 6).

Tabelul 6 Înlocuirea a 600 MW COG (cărbune, petrol şi gaze)

600 MW Înlocuire	Pi Eolian [MW]	Pi Fotovoltaic [MW]	IS [MW]
Scenariu1	2171.25	0	0
Scenariu2	1085.62	1022.32	3871.50

Costul total cu stocarea dacă stocarea se bazează pe baterii va fi în jur de 1,9 miliarde EUR, având în vedere că costul este de 500.000 EUR/1 MW.

În primul scenariu, când se înlocuiesc în jur de 2400 MW, în medie 1,69 mil. tCO2 este evitată, în timp ce în al doilea scenariu se evită 1,09 mil tCO2.

Pentru calcul am considerat că centralele pe gaz produc 407,32 tCO2/MWh, iar centralele pe cărbune produc 988,83 tCO2/MWh.

În plus, în acest scenariu de înlocuire, industria cărbunelui nu va fi afectată imediat, iar tranziția este, prin urmare, mai lentă.

Unele studii arată că centralele fotovoltaice sunt mult mai adecvate decât vântul pentru înlocuirea locurilor de muncă din minerit de cărbune; prin urmare, o combinație de sisteme eoliene și fotovoltaice ar putea fi mai bună. În Africa de Sud efectele decarbonizării asupra sistemului energetic și consecințele asupra angajării pe piaţa muncii sunt discutate pe larg.

Chiar și în al doilea scenariu, având în vedere o înlocuire de 600 MW, costurile sunt foarte mari. Cu toate acestea, se pot explora și alte opțiuni de stocare, cum ar fi flexibilitatea consumatorilor/comunităților de energie și proiectele de hidrocentrale mici cu capacitate de stocare.

3. Racordarea instalațiilor de stocare la rețeaua electrică de interes public

Calculele efectuate în cadrul prezentului studiu de caz au fost conform cerinţelor codului RET şi ordinelor ANRE.

Studiul de caz se conformează regulilor stabilite pentru elaborarea scenariilor, regimurilor medii fundamentale și regimurilor de dimensionare folosite în studiile pentru soluții de racordare ale centralelor sau grupurilor noi, conform regulilor și instrucțiunilor oferite de OTS.

Scopul studiului de caz a fost racordarea la SEN a CHEAP Tarniţa 1000 MW şi a unei instalaţii de stocare IS Freeflow 1000 MW pe bază de baterii, luând în considerare caracteristicile specifice ale acestor tipuri de centrale.

Pe baza RMB (regimurile medii de bază) corespunzătoare palierelor VDV - Vârf Dimineață Vară, GNV - Gol Noapte Vară, VSI - Vârf Seară Iarnă, VDI - Vârf Dimineață Iarnă, furnizate de CNTEE Transelectrica SA am analizat impactul racordării la SEN a instalaţiilor de stocare.

Pe lângă aspectele deja subliniate, analiza de caz accentuează potențiala funcționalitate SRE care ar putea fi integrată în infrastructura IS, împreună cu o evaluare a capacității IS de a contribui la ajustarea tensiunii în regiune.

În cadrul studiului de caz am prezentat şi analizat **două instalaţii de stocare** şi anume :

- CHEAP Tarniţa 1000 MW cu amplasamentul în N-V ţării, secţiunea S4, fiind o secţiune deficitară, o zonă cu circulații de puteri de valori scăzute în RET
- IS Freeflow 1000 MW cu amplasamentul în S-E ţării, secţiunea S6, o zonă puternic excedentară iar montarea unor instalații de stocare care să se încarce la momentul în care există excedent din surse regenerabile, poate reduce numărul de întăriri necesare în RET

deoarece sunt amplasate în colţuri diametral opuse ale SEN, secţiuni diferite ca deficit sau excedent de putere dar ambele au scopul de a asigura adecvanţa SEN în funcţie de caracteristicile specifice ale acestor tipuri de centrale.

În ambele zone, S4 şi S6 se prevăd conectarea a multiple surse CEF şi CEE pentru racordarea cărora sunt necesare lucrări de dezvoltare la OTS şi OD.

S-au considerat următoarele ipoteze (având la bază datele oferite de OTS cât şi datele oferite de diverşi producători de echipamente de instalaţii de stocare pe bază de baterii):

<u>Pentru CHEAP Tarniţa</u>

- Capacitatea instalată a CHEAP Tarniţa este 1000 MW realizată cu 4 grupuri reversibile de 250 MW cu două regimuri de funcţionare:
  - ✓ În perioadele de consum maxim în Sistemul Energetic Național (SEN), grupurile vor opera ca generatoare, producând și livrând putere în RET.
  - ✓ La consum redus în SEN, grupurile vor funcționa în modul motor, utilizând energia electrică pentru a reumple lacul de acumulare.
- Cele 4 grupuri au următoarele caracteristici:
  - Puterea aparentă 280 MVA la cos φ = 0,9
  - Puterea produsă în regim de generator – 256 MW
  - Puterea consumată în regim de pompă – 270 MW
  - Reactanţă directă:
    - transversală 0,85 ÷ 1 u.r.
    - longitudinală 0,43 ÷ 0,5 u.r.
  - Reactanţă tranzitorie transversală 0,2 – 0,3 u.r.
  - Reactanţă supratranzitorie:
    - transversală 0,23 ÷ 0,26 u.r.

- longitudinală 0,18 ÷ 0,20 u.r.

- Racordarea fiecărui grup se realizează în schema bloc transformator de 280 MVA, 400/15,75 kV și U_k=11%.

Pentru IS Freeflow

Parcul de stocare pe bază de baterii IS Freeflow este o instalație independentă de alte surse cu o capacitate instalată de 1000 MW. Am ales ca soluție tehnică echipamente Hitachi, firmă de la care am solicitat fișele tehnice ale echipamentelor.

Soluția tehnică propusă are la bază următoarele echipamente:

- Baterii CATL: 5334 rackuri baterii, fiecare rack cu o putere de 375 kW
- Convertoare de putere Hitachi PS 1000: 667 buc invertoare cu o putere de 1,5 MW
- Transformatoare 0,69/20 kV 7,5 MVA: 148 buc
- Stație 400 și 20 kV
- Transformatoare de putere 280 MVA, 20/400 kV: 4 buc

În urma calculelor de **regimuri staţionare cu şi fără considerarea IS** au rezultat următoarele:

- Fără considerarea CHEAP

Zona Secțiunii S4 este o zonă cu circulații de puteri de valori scăzute în RET. În RED se prevede conectarea a multiple surse CEF pentru racordarea cărora sunt necesare lucrări de dezvoltare la OD.

Fără CEF-urile care urmează să se racordează zona rămâne deficitară la vârf de sarcină, fiind necesară racordarea de centrale care pot acoperi consumul și/sau cerințele de export.

- Fără considerarea IS Freeflow

Din analiza efectuată pentru verificarea regimurilor de funcţionare în anumite criterii, a rezultat că apar mai multe suprasarcini care ar necesita întăriri de reţea, în special în RET.

Zona secțiunii S6 este o zonă puternic excedentară iar montarea unor instalații de stocare care să se încarce la momentul în care există excedent din surse regenerabile, poate reduce numărul de întăriri necesare în RET.

- Cu considerarea CHEAP în regim generator, la palierul vârf de sarcină al SEN

În regimurile de funcţionare nu s-au obţinut suprasarcini pe elementele RET sau depăşiri ale benzii admisibile de tensiune.

- Cu considerarea CHEAP în regim motor, la palierul gol de sarcină al SEN

În regimurile de funcţionare nu s-au obţinut suprasarcini pe elementele RET sau depăşiri ale benzii admisibile de tensiune cu condiţia realizării întăririlor prevăzute în planul de dezvoltare (LEA 400kV Suceava – Gădălin PIF 2030 sau trecerea la 400kV a axului de Vest, etc.).

- Cu considerarea IS Freeflow

Considerarea IS în stația Gura Ialomiței conduce la încărcari mai mici în RET și eliminarea suprasarcinii obținute pe LEA 400kV Gutinaș – Brașov. Reconductorarea liniei de 400kV are un cost de cca. 15 milioane euro.

Rețeaua de transport electrică este obligată să asigure o rezervă de stabilitate statică de cel puțin 20% şi 8% în ambele regimuri de funcţionare a sistemului.

La funcţionarea CHEAP Tarnița în regim generator a rezultat că :

Din analiza stabilităţii de tensiune pentru secţiunea S4, se constată că evacuarea puterii din secţiunea S4 se realizează, pentru analiza pe termen mediu, în condiţii de stabilitate normată (rezervă mai mare de 20%, respectiv 8%).

La funcţionarea CHEAP Tarnița în regim motor a rezultat că :

Din analiza stabilităţii de tensiune pentru secţiunea S4, se constată că zona analizată poate absorbi putere, în condiţii de stabilitate normată (rezervă mai mare de 20%, respectiv 8%).

Pentru IS Freeflow a rezultat că :

Din analiza stabilităţii de tensiune pentru secţiunea S6 se constată că evacuarea puterii din secţiunea S6 se realizează în condiţii de stabilitate normată pentru N elemente în funcţiune (rezervă mai mare de 20%).

Condițiile de **stabilitate tranzitorie şi determinarea timpului critic** a pus în evidenţă faptul că funcţionarea în regim de pompaj cu toate cele patru grupuri conduce la cei mai reduşi timpi critici de eliminare a defectelor (85 ms).

În cadrul studiului de caz a fost analizată **participarea la reglajul tensiunii în zonă** și au rezultat următoarele :

- CHEAP poate participa la reglajul tensiuni cu un aport important (până la cca. 20 kV) în ambele regimuri de funcţionare generator/motor;
- în ambele situaţii, considerând un raport fix de transformare de 15,75/400 kV pentru transformatoarele ridicătoare nu este exploatată integral puterea reactivă disponibilă a celor patru unităţi.

La faza de execuţie, după primirea datelor exacte ale viitoarelor grupuri reversibile cu care se va echipa CHEAP Tarniţa, se va putea stabili valoarea optimă a raportului de transformare nominal, precum şi domeniul de variaţie al acestuia (număr de ploturi, variaţia de tensiune pe plot, etc.).

Calculul **curenților de scurtcircuit** evidențiază faptul că apariția celor două IS (CHEAP Tarnița și IS Freeflow) influenţează valorile solicitărilor la scurtcircuit în nodurile apropiate fără însă a se depăşi valorile plafon în aceste noduri (31,5 kV):

- în nodul Gădălin 400kV, I_{k3} creşte de la 11,03 kA la 17,08 kA (54,8%)
- în nodul Mintia 400kV, I_{k3} creşte de la 13,58 kA la 18,32 kA (34,9%)

Au fost prezentate cerințele necesare pentru ca cele două IS să garanteze, la punctul de racordare sau de delimitare, conform cu standardele europene și Ordinul ANRE nr.

12/2016 care sunt în vigoare, calitatea energiei electrice, asigurându-se că indicatorii de calitate ai energiei se încadrează în limitele stabilite de aceste standarde.

Calculul **indicatorilor de siguranță** s-a efectuat în puntul de delimitare și a rezultat un nivel de siguranţă ridicat, având în vedere că noile staţii 400kV sunt prevăzute cu dublu sistem de bare şi aparataj performant şi există rezervare în căile de evacuare a puterii CHEAP Tarniţa și IS Freeflow.

În ceea ce privește **costul total al investiției** CHEAP Tarnița acesta ajunge la peste 1,2 miliarde Euro din care lucrările necesare pentru racordarea la RET, stația electrică și liniile electrice de transport au valoarea de 166,15 milioane Euro.

Pentru IS Freeflow costul total va fi în jur de 0,4 miliarde Euro la care se adaugă lucrările necesare pentru racordarea la RET, stația electrică și linia electrică de transport în valoarea de 20,43 milioane Euro.

La fazele următoarele de proiectare se va stabili costul total al investițiilor CHEAP Tarnița și IS Freeflow având la bază antemăsuratori și devize generale/pe obiect în conformitate cu HG 907/2016.

Odată dezvoltată tehnologia instalațiilor de stocare pe bază de baterii, există toate premisele ca aceste prețuri să scadă astfel fiecare punct de consum sau producție să fie echipat cu un sistem de stocare energie utilizând baterii.

4. Integrarea instalațiilor de stocare la utilizatori în prezența instalațiilor fotovoltaice

Una dintre soluții oferită de Uniunea Europeană spre un viitor cu niveluri mai scăzute de emisii de carbon și o independență crescută față de combustibilii fosili, este de a oferi consumatorilor un rol activ în procesul de tranziție energetică, posibilitatea de a deveni consumator activ (prosumator). UE a oferit noi roluri şi responsabilităţi consumatorului activ pentru a coordona generarea și utilizarea energiei electrică deoarece a văzut în acesta o oportunitate către o dezvoltare durabilă pentru generaţiile viitoare. În cadrul lucrării au fost prezentate avantajele și dezavantajele de a deveni consumator activ în funcție de conexiunea la rețea.

Prezenta lucrare are ca scop să analizeze producţia/consumul de energie electrică respectiv necesarul de stocare la două exemple tipice de instalații fotovolatice având ca utilizator un consumator activ cu conexiune la rețea on-grid și un consumator în afara rețelei echipat cu o IS pe bază de baterii:

- Consumator activ din zona București (prosumator, conexiune la rețea on-grid).
- Consumator rezidențial din zona Călărași (consumator, conexiune la rețea off-grid). Acesta deţine pe lângă instalația fotovolatică și o instalaţie de stocare pe bază de baterii.

Lucrarea are la bază date existente, obţinute din gospodăriile proprii, date din invertor, preţuri de la diverşi producători şi furnizori, cunoştiinţe tehnice acumulate în timp şi experienţă acumulată în sectorul electroenergetic naţional, un sector într-o continuă mişcare şi dezvoltare.

Au fost analizate particularitățile de funcționare ale panourilor fotovoltaice și ale instalaţiilor de stocare la nivelul celor doi utilizatori în intervalele analizate şi am creat ipoteze rezonabile ţinând cont de tipul de conexiune la reţea și în afara rețelei.

Determinând principalii receptori ai consumatorilor am putut intocmi curba de sarcină zilnică a acestora. Pentru fiecare exemplu tipic de instalații fotovoltaice, cu ajutorul datelor preluate din invertor am putut determina producția și consumul de energie electrică aferent acestora.

Am analizat necesarul de stocare la care am suprapus evoluția generării și utilizării energiei electrice.

Sprijinirea consumatorii clasici de a deveni consumatori activi, România a lansat propriul program de finanțare a acestora, în același timp implementând legislația europeană. Au fost analizate părțile componente ale instalațiilor fotovolatice respectiv a instalației de stocare, pentru cei doi utilizatori cu conexiuni diferite la rețea.

În cadrul lucrării s-a analizat managementul producției, consumului respectiv a stocării energiei electrice pentru cei doi consumatori cu instalații fotovoltaice dar cu conexiuni diferite la rețea, on si off-grid. A fost aleasă o perioadă de analiză, luna August și astfel s-a putut face o comparație între cele două tipuri de conexiuni la rețea.

În cazul consumatorului activ, cu conexiune on-grid la rețea s-a constatat că prețul de vânzare al surplusului de energie este considerabil inferior comparativ cu costul energiei achiziționate din rețea. Acesta reprezintă un dezavantaj pentru consumatorul activ.

Ar fi benefic ca prin programele lansate de către guvern cu privire la promovarea energiei regenerabile, consumatorul activ să deţină o IS, pentru a gestiona producția de energie produsă după-amiaza să poată fi utilizată de către aceștia şi pe perioada serii şi a nopţii.

Se estimează pentru anul 2030 o tendinţă de utilizare a energiei electrice, se vorbeşte chiar de dublarea acestuia în special în domeniul rutier/transporturi, a extinderii reţelelor de telefonie 5G, numărul mare de receptoare la consumatori rezidenţiali, de aceea este necesară dezvoltarea de capacități noi și avansate

Cu un număr semnificativ de consumatori activi, există potențialul de a se produce congestii în rețea precum și a suportării dezechilibrelor de rețea în principal la OD de aceea ar fi benefic ca la racordarea lor să existe o cotă parte de stocare, soluţie valabilă şi la racordarea surselor regenerabile la reţelele electrice de interes public aparţinând OTS.

Pe langă consumatori activi, întregul sistem energetic resimte nevoia instalaţiilor de stocare chiar şi stocare de mari dimensiuni şi aici mă refer la CHEAP.

Odată cu creșterea accesibilității lor, instalațiile de stocare pe bază de baterii oferă cea mai bună soluție pentru gestionarea consumului de energie electrică, indiferent de modul de conectare la rețea.

În ceea ce privește conexiunea în afara rețelei această gestionare a consumului este mult mai evidentă, asigurând netezirea vârfului de consum seara.

Rezultatele au oferit perspective interesante pentru decidenţi de a deveni consumator activ (prosumator). Rezultatele obținute au demonstrat fezabilitatea instalaţiilor de stocare cât și importanța optimizării consumului prin diverse tehnologii cu referire la prizele inteligente cu ajutorul wi-fi şi diverse aplicaţii pentru smartphone-uri. Cu ajutorul acestor echipamente inteligente consumatorul activ are posibilitatea a-şi optimiza consumul netezind vârful de consum de seară.

Mutând receptoarele de la vârful de seară consumatorii activi au posibilitatea de a utiliza întreaga cantitate de energie regenerabilă produsă şi de avea un cost total al

energiei mult mai scăzut deoarece cantitatea de energie cumpărată de la furnizor va fi mult mai mică. Este evident că există o corelaţie între energia cumpărată de la furnizor pentru consum şi curba de sarcină a consumatorului activ.

Netezirea vârfurilor de consum și umplerea golurilor va conduce la o încărcare mai uniformă a rețelei electrice determinând amânarea unor noi investiții.

Din cele analizate mai sus instalația de stocare pe bază de baterii oferă mult mai multe beneficii decât dezavantaje utilizatorilor care dețin instalații fotovoltaice indiferent de conexiunea la rețea.

Avantajele aduse de instalația de stocare pe bază de baterie gospodăriei proprii:

- Independența energetică
- Netezirea vârfurilor de consum și deplasarea sarcinii
- Putere de rezervă
- Consum optimizat de energie
- Suport pentru rețeaua electrică
- Impact pozitiv adus asupra mediului
- Beneficii financiare
- Reziliență crescută a sistemului
- Integrarea energiei regenerabile
- Progrese tehnologice asupra IS

Dezavantaje aduse de instalația de stocare pe bază de baterie gospodăriei propria:

- Costul inițial
- Durata de viață limitată
- Dependența de resurse de fabricare
- Cerințe de spațiu
- Probleme de siguranță, risc de incendiu
- Reciclarea neadecvată la sfârșitul vieții

CONCLUZII FINALE ŞI PERSPECTIVE

Concluzii generale

În ultima perioadă, schimbările climatice au dominat discuțiile la nivel mondial. Uniunea Europeană a transformat profund abordarea producției, comercializării și consumului de energie electrică, prin adoptarea unor politici ambițioase în vederea diminuării GES cât și liberalizarea piețelor. În cadrul unei schimbări energetice fără precedent pe continentul european, este vital ca acțiunile la nivelul Uniunii să garanteze o furnizare constantă de energie pentru consumatori, să reducă emisiile de CO_2, să promoveze generarea de energie din surse regenerabile, să faciliteze crearea unei piețe energetice paneuropene, să sporească eficiența energetică și să avanseze în dezvoltarea tehnologiilor de stocare a energiei electrice.

Sursele de energie regenerabile au devenit un punct important de dezvoltare în întreaga lume datorită directivei Uniunii Europene de a susține necesitatea de a reduce GES precum și majorarea utilizării energie electrice prin introducerea mijloacelor de transport electrice.

Preocuparea intensă pentru limitarea poluării mediului ambiant, contextul politic și economic actual cât și asigurarea adecvanței sistemului electroenergetic național a determinat dezvoltarea şi utilizarea din ce în ce mai extinsă a surselor de energie regenerabilă cât şi dezvoltarea capacităților de stocare a energiei electrice.

Directiva Uniunii Europene privind energia regenerabilă a stimulat în statele membre un interes accentuat pentru dezvoltarea surselor de energie regenerabilă, cu o atenție specială acordată energiei eoliene și solare.

Producția de energie din centralele eoliene și solare este restrânsă pe parcursul anului și nu poate fi reglată în același mod ca în cazul centralelor tradiționale. Pentru a garanta o aprovizionare adecvată cu energie, este esențial să existe și o capacitate de producție disponibilă în centrale clasice ce pot fi activate rapid sau în capacităţi de stocare a energiei electrice.

Sistemul electroenergetic național a suferit în ultima perioadă modificări asupra componentei structurii surselor de producție astfel s-a adaptat rapid pentru a facilita includerea unei varietăți mai largi de surse de energie regenerabilă, inclusiv instalații de stocare a energiei.

România se bucură de o gamă largă și abundentă de surse de energie regenerabilă, incluzând biomasa, energia hidroelectrică, potențialul geotermal, precum și un potențial vast pentru energia eoliană și solară (fotovoltaică).

Mix-ul de surse regenerabile respectiv integrarea IS este o provocare majoră în funcţionarea şi stabilitatea SEN datorită faptului că sunt surse regenerabile variabile de energie. Datorită caracterului intermitent al acestora pot pune în pericol stabilitatea sistemului electroenergetic, cât şi datorită faptului că sunt surse descentralizate şi dispersate geografic.

Faţă de centralele clasice care sunt surse mari de putere, cu amplasare şi putere bine dispecerizate, cu participare la reglajul frecvenţei şi a tensiunii din reţelele electrice, integrarea surselor regenerabile în SEN ridică un grad mare de incertitudine asupra SEN dacă este pregătit să acopere deficitul de putere cand aceste surse nu injectează în reţeaua electrică.

Chiar dacă viitorul aparține resurselor regenerabile, posibilitatea de stocare a energiei electrice va constitui marea provocare a unui sistem electroenergetic echilibrat eficient.

IS vor ajuta piața de echilibrare prin "netezirea vârfurilor" din PZU, o piață din România aflată în stadiu incipient de organizare și funcționare.

Integrarea și funcționarea optimă a instalațiilor de stocare în SEN vizează:

- Acoperirea consumului propriu tehnologic de către operatorii de reţea
- Asigurarea adecvanţei SEN
- Ajutorarea pieţei de chilibrare a energiei electrice prin "netezirea vârfurilor" din PZU
- Stocarea energiei electrice într-o anumită zonă cu o concentrare mare de resurse regenerabile eoliene, fotovoltaice
- Stabilizarea rețelei electrice prin asigurarea de servicii de reglare a frecvenței SEN
- Rol cheie între momentul producerii și cel al consumului de energie electrică
- O planetă mai sustenabilă printr-un sistem energetic armonizat, gata să includă o diversitate mai mare de surse regenerabile, sporind astfel flexibilitatea sistemului.
- Optimizarea utilizării energiei
- Conservarea mediului și diminuarea GES
- Inovație/avans în cercetare și dezvoltare și competitivitate în domeniul stocării energiei electrice și utilizării acesteia atunci când sistemul are nevoie de ea
- Flexibilitatea consumatorilor
- Reducerea dezechilibrelor CPT
- Scurtarea duratei de amortizare a investițiilor în Sistemul Energetic Național
- Îmbunătățirea autonomiei energetice pentru utilizatorii de pe diferite paliere în cadrul rețelelor electrice.

O trecere completă la energie provenită exclusiv SER şi IS implică costuri economice mari care se vor recunoaşte în facturile consumatorilor. De aceea trebuie să conştientizăm şi să cunoaştem mai în amănunt întreg lanţul energetic de la producere până la consum, bazându-se pe un set corespunzător de norme reglementare pentru încurajarea folosirii energiei provenite din surse regenerabile şi instalaţii de stocare.

Stocarea energiei pană la urmă reprezinta un rol important în adecvanţa SEN astfel se asigură calitatea energiei electrice, fiabilitatea şi eficienta sistemului.

Rolul esențial al instalațiilor de stocare este nivelarea curbei de producție a energiei de la sursele variabile. Implementarea sistemelor de stocare a energiei electrice presupune utilizarea unor tehnologii eficiente, sigure și viabile.

Contribuții personale

Lucrarea de cercetare denumită "Integrare și funcționarea optimă a instalațiilor de stocare din sistemul energetic național în prezenta surselor regenerabile" este o necesitate în cadrul sistemului electroenergetic național, un sistem greu încercat de creșterea consumului de energie electrică ținând cont de dezvoltarea continuă a omenirii.

Prezenta lucrare de cercetare urmărește studierea și dezvoltarea soluțiilor optime în ceea ce priveşte integrarea şi funcţionarea optimă a instalaţiilor de stocare a energiei electrice în sistemul electroenergetic naţional.

Lucrarea tratează un subiect de actualitate şi anume stocarea energiei electrice, care a fost, este şi va fi un obiectiv al dezvoltării societaţii umane.

Dizertația de doctorat este organizată în patru capitole cheie, delimitate de o introducere și un capitol final care include concluzii, contribuții, concepte fundamentale și prevederi esențiale. S-au elaborat și expus liste ale figurilor, tabelelor și abrevierilor incluse în text, alături de o listă a referințelor bibliografice utilizate. În plus, la sfârșitul documentului este inclusă și o listă a publicațiilor autorului realizate în perioada studiilor doctorale.

Capitolul inițial se concentrează pe aspecte teoretice privind sursele de energie regenerabilă și instalațiile de stocare în cadrul Sistemului Energetic Național, analizând structura, modul de operare și dezvoltarea acestora, precum și provocările asociate cu integrarea lor în rețea.

Tot în cadrul primului capitol am prezentat stadiul actual al SEN şi posibilitatea acoperirii serviciilor de sistem, un sistem în continuă mişcare cât şi o abordare nouă asupra tipurilor de surse de energie electrică, o analiză asupra evoluţiei producţiei, consumului şi soldului din cadrul SEN. De asemenea am prezentat şi analizat evoluţia preţului mediu al energiei electrice pe PZU cât şi o evaluare a emisiilor GES.

Capitolul se încheie cu o prezentare a ţintelor propuse de UE prin PNRR-PNIESC cu privire la sursele regenerabile şi a instalaţiilor de stocare.

În capitolul doi am prezentat o viziune holistică asupra surselor regenerabile, instalațiilor de stocare și posibilitatea înlocuirii surselor neregenerabile, cărbune, petrol şi gaze. Tot în capitolul doi am analizat integrarea și optimizarea diverselor tehnologii pentru reducerea emisiilor de carbon în alte țări respectiv metode privind potențialul de înlocuire a surselor de energie neregenerabile (COG).

A rezultat că experiența poloneză poate fi foarte utilă pentru România. Polonia oferă cadrul de creștere pentru comunitățile energetice, încurajând dezvoltarea clusterelor energetice cu noi reglementări și modele de afaceri în care împărțirea valorii este foarte importantă, deoarece asigură creșterea și stabilitatea comunităților energetice.

Pași similari trebuie urmați în România pentru a forma coaliții de consumatori și pentru a încuraja comunitățile să se dezvolte, făcând membrii acestora mai puțin afectați de sărăcia energetică și instabilitatea geopolitică.

Capitolul trei (studiu de caz) prezintă în detaliu posibilitățile de conectare la rețelele electrice a două instalații de stocare (centrală hidroelectrică cu acumulare şi pompaj CHEAP Tarniţa 1000 MW şi a unei instalaţii de stocare IS Freeflow 1000 MW pe bază de baterii, luând în considerare caracteristicile specifice ale acestor tipuri de centrale), atât în termenii impactului conectării lor asupra Rețelei Electrice de Transport, cât și în privința posibilelor limitări pe care rețeaua le-ar putea impune acestor instalații de stocare.

Capitolul se încheie cu o sinteză a rezultatelor obținute în studiul de caz realizat, care a examinat eficacitatea introducerii unei instalații de stocare în RET și impactul acesteia asupra pieței de echilibrare.

Capitolul patru are ca scop să analizeze producţia/consumul de energie electrică respectiv necesarul de stocare la două exemple tipice de instalații fotovolatice având ca utilizator un consumator activ cu conexiune la rețea on-grid și un consumator în afara rețelei echipat cu o IS pe bază de baterii:

- Consumator activ din zona București (prosumator, conexiune la rețea on-grid).

- Consumator rezidențial din zona Călărași (consumator clasic, conexiune la rețea off-grid). Acesta deţine pe lângă instalația fotovolatică și o instalaţie de stocare pe bază de baterii.

Lucrarea are la bază date existente, obţinute din gospodăriile proprii, date din invertor, preţuri de la diverşi producători şi furnizori, cunoştiinţe tehnice acumulate în timp şi experienţă acumulată în sectorul electroenergetic naţional, un sector într-o continuă mişcare şi dezvoltare.

Au fost analizate particularitățile de funcționare ale panourilor fotovoltaice și ale instalaţiilor de stocare la nivelul celor doi utilizatori în intervalele analizate şi am creat ipoteze rezonabile ţinând cont de tipul de conexiune la reţea și în afara rețelei.

Rezultatele au oferit perspective interesante pentru factorii de decizie în ceea ce priveşte posibilitatea de a deveni consumator activ (prosumator). Rezultatele obținute au demonstrat fezabilitatea instalaţiilor de stocare cât și importanța optimizării consumului prin diverse tehnologii cu referire la prizele inteligente cu ajutorul wi-fi şi diverse aplicaţii pentru smartphone-uri. Cu ajutorul acestor echipamente inteligente consumatorul activ are posibilitatea a-şi optimiza consumul netezind vârful de consum de seară.

Mutând receptoarele de la vârful de seară consumatorii activi au posibilitatea de a utiliza întreaga cantitate de energie regenerabilă produsă şi de avea un cost total al energiei mult mai scăzut deoarece cantitatea de energie cumpărată de la furnizor va fi mult mai mică. Este evident că există o corelaţie între energia cumpărată de la furnizor pentru consum şi curba de sarcină a consumatorului activ.

Partea finală a acestui proiect este dedicată concluziilor finale, contribuţiilor personale respectiv perspective de dezvoltare ulterioare

Perspective de dezvoltare ulterioare

Această lucrare de cercetare ştiinţifică aduce o serie de contribuții referitoare la integrarea și funcționarea optimă a instalațiilor de stocare în sistemul energetic național cu implicații asupra pieței de echilibrare având la bază informații concrete obținute din sistemul electroenergetic din România, fiind astfel pusă în evidență preocuparea mea pentru realizarea unor studii cu aplicabilitate directă în țară.

Aceasta teză de doctorat reprezintă o continuitate în cadrul preocupărilor mele și va conduce la obținerea unor rezultate deosebit de utile pentru sistemul electroenergetic. Aspectele teoretice care au fost rezolvate precum și aplicațiile practice care pot fi dezvoltate au oferit studiului propus un important caracter științific și posibilități de dezvoltare a cunoștințelor actuale.

Ca perspectivă de dezvoltare şi cercetare ulterioară mi-am propus următoarele:

- integrarea inteligenței artificiale (AI) într-un sistem cu panouri fotovoltaice și instalații de stocare pe bază de baterii, în gospodăria proprie. AI poate îmbunătății performanța, eficiența și fiabilitatea generală a sistemului analizat;
- incorporarea sistemului fotovoltaic deţinut on-grid în cadrul unei comunităţi energetice;
- achizitia unui sistem de monitorizare a sistemului fotovoltaic off-grid deţinut;
- dezvoltarea unei aplicații de reprezentare grafică a surselor utilizate în SEN precum și prezentarea stadiului actual al SEN;
- dezvoltarea unei aplicaţii pentru a monitoriza şi prognoza puterea instalaţiilor fotovolatice deţinute;

Analizând provocările cu care se confruntă sistemul electroenergetic naţional mi-am propus implicarea în următoarele probleme actuale ale SEN:

- Consumul scăzut de energie electrică corelat cu cantităţi mari de energie regenerabilă care provoacă un dezechilibru al adecvanţei SEN;
- Prosumatorul trebuie să dispună de capacități de stocare a energiei electrice pentru a asigura echilibrul între producția și consumul de energie electrică produsă după-amiaza să poată fi utilizată de către prosumatori şi pe perioada serii şi a nopţii;
- Pierderile şi dezechilibrele provocate de consumatorii activi cât și reglajul tensiunii la aceștia din invertor;
- În anul 2023 prima instalație de stocare independentă de alte surse cu o capacitate de 7 MW în condițiile în care din calculele de regimuri de dimensionare efectuate SEN are nevoie de o instalație de stocare matură cum ar fi CHEAP Tarnița;
- Producția de energie electrică generată din cărbune a diminuat, fără a fi echilibrată de alte surse;

- Capacitatea instalată conform site ANRE este aproximativ 18.500 MWh de producție sunt doar pe site-ul ANRE, în realitate multe dintre ele nu pot participa la asigurarea echilibrului producție-consum sau nu mai există;
- Amplasarea judicioasă a resurselor de producție a energiei electrice în cadrul, toate capacităţile de producţie, mai puţin grupurile de la Iernut, sunt amplasate în sudul ţării şi alimentarea consumatorilor din nord şi est se asigură pe distante lungi ale reţelelor electrice ceea ce implica pierderi foarte mari;
- Vechimea reţelelor electrice, aceasta lasă o urmă de incertitudine dacă infrastructura sistemului energetic va rezista creşterii consumului în următoarele decenii.

De asemenea, România beneficiază de un mix energetic variat și stabil, asigurând o funcționare corespunzătoare a Sistemului Energetic Național (SEN), însă progresul în sectorul energetic este strâns legat de implementarea proiectelor de investiții în infrastructura energetică din țară.

Cercetarea și dezvoltarea sunt în curs de desfășurare în tehnologia instalațiilor de stocare pe bază de baterii. Tehnologia continuă să avanseze și instalațiile de stocare ramân o provocare pentru sistemul electroenergetic.

LISTA PUBLICAŢIILOR

- *Data Analytics for the Transmission System Operators – Database Systems Journal* – dbjournal.ro - București 2020. Autori Dan PREOȚESCU, Simona-Vasilica OPREA, Adela BÂRA, Niculae OPREA , Osman Bülent TÖR.
- *Machine learning in electricity fraud detection in smart grids with multivariate Gaussian distribution* – Sciendo.com/article 2021 - Autori Simona-Vasilica OPREA, Adela BÂRA, Niculae OPREA.
- *How fast to avoid CO_2 emissions. A holistic view on the RES, storage and non-RES replacement in Romania* – article Environment Research and Public Health – mdpi.com 2023 - Autori Niculae OPREA, Simona-Vasilica OPREA, Adela BÂRA.
- *Electricity Price Evolution and the Disruptive Economic and Geopolitical Context on the Spot Market. A Romanian Case Study* – article BASIQ 2023 International Conference on New Trends in Sustainable and Consumption – Autori Niculae OPREA, Simona-Vasilica OPREA, Adela BÂRA.
- *Big Data Management and NoSQL Databases* – article "Ovidius" University Annals, Economic Sciences Series, Volume XXIII, Issue 1 /2023 – Autori Simona-Vasilica OPREA, Adela BÂRA, Niculae OPREA.
- *Trading in the Quantum Era: Optimizing Bitcoin Gains and Energy Costs* – Autori Simona-Vasilica Oprea, Adela Bâra, Cristian Bucur, Bogdan-George Tudorică, Niculae Oprea.
- *Integration of storage installations at prosumers in the presence of photovoltaic installations, Buletin Științific Universitatea Politehnica București 2024 – Autori Niculae Oprea, Radu Porumb.*