

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI**

**Cu titlu de manuscris  
C.Z.U.:**

**EFREMOV CRISTINA**

**CONTRIBUȚII LA MAJORAREA FLEXIBILITĂȚII  
SISTEMULUI ENERGETIC ÎN VEDEREA INTEGRĂRII  
SURSELOR DE ENERGIE REGENERABILĂ**

**221.01. SISTEME ȘI TEHNOLOGII ENERGETICE**

**Rezumatul tezei de doctor**

**Chișinău, 2021**

Teza a fost elaborată la Departamentul *Energetică*,  
Universitatea Tehnică a Moldovei

**Conducător/Consultant științific:**

**ARION Valentin**, dr. hab. șt. tehn., prof. univ., UTM

**Referenți oficiali:**

1. STRATAN Ion, prof. univ., dr., UTM
2. SANDULESCU Alexandru, dr. ing., MIDR
3. BÎCOVA Elena, dr., conf. cercet., IE

**Componența consiliului științific specializat:**

1. TODOS Petru, prof., univ., dr., UTM
2. GUȚU-CHETRUȘCA Corina, dr. șt. tehn., lect. univ., UTM
3. ARION Valentin, dr. hab. șt. tehn., prof. univ., UTM
4. TÎRȘU Mihail, conf. univ., dr. hab., IE
5. STRATAN Ion, prof. univ., dr., UTM
6. SANDULESCU Alexandru, dr. ing., MIDR
7. BÎCOVA Elena, dr., conf. cercet., IE

Susținerea va avea loc la **xx februarie 2022, ora 14:00**, în ședința Consiliului științific specializat **D 221.01-41** din cadrul Universității Tehnice a Moldovei: str. 31 August 1989, nr. 78, blocul de studii nr. 2, sala 2-222.

Teza de doctor și rezumatul pot fi consultate la Biblioteca Universității Tehnice și pe pagina web a ANACEC ([www.anacip.md](http://www.anacip.md)).

Rezumatul a fost expediat la \_\_\_ianuarie 2022.

Secretar științific al Consiliului  
științific specializat, dr. șt. tehn.

\_\_\_\_\_ **GUȚU-CHETRUȘCA Corina**

Conducător științific,  
Prof. univ., dr. hab. șt. tehn.

\_\_\_\_\_ **ARION Valentin**

Autor

\_\_\_\_\_ **EFREMOV Cristina**

© **EFREMOV CRISTINA, 2021**

## I. REPERE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII

**Actualitatea și importanța problemei abordate.** În societatea modernă *Energia* este un produs esențial pentru bunăstarea economică și socială. Ea este indispensabilă pentru dezvoltarea economică a țării, respectiv a industriei, transportului, agriculturii etc. Energia este un simbol al dezvoltării social-economice și al civilizației. Însă, în același timp, energia reprezintă cauza unor grave prejudicii aduse mediului înconjurător și sănătății omului.

Schimbările climatice, declanșate și întreținute de activitatea omului, reprezintă în prezent *cea mai mare provocare globală și amenințare pentru omenire.*

Combaterea fenomenului este posibilă, pe termen lung și cu eforturi crescânde de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră, aceasta fiind o preocupare majoră a statelor lumii. Lumea a înțeles că pericolul existenței sale este atât de mare încât se cer măsuri urgente. În absența unor politici de reducere a emisiilor, se așteaptă o creștere a temperaturii medii globale cuprinsă între 1,1°C și 6,4°C pe parcursul acestui secol.

Această problemă presupune o abordare complexă, responsabilă, cu întreprinderea de acțiuni concrete la nivel local, național, european și global. În acest sens, în anul 1992 a fost adoptată Convenția-Cadru a ONU privind schimbările climatice (CCONUSC, *în eng.*: UNFCCC), care reprezintă instrumentul principal pentru soluționarea acestei mari probleme.

Fenomenele meteorologice extreme, cum ar fi incendiile forestiere, valurile de căldură și inundațiile, înmulțirea furtunilor și a fenomenelor asociate etc. devin, din ce în ce mai frecvente, atât pe continentul European, cât și în alte părți ale planetei. Lider în lupta cu schimbările climatice la nivel global este Uniunea Europeană (UE). Politicile climatice și energetice ale UE se dezvoltă, începând cu anii '80 ai secolului trecut. La început s-a venit cu multiple inițiative legate de piața comună a energiei electrice și a gazelor naturale, aspecte de mediu, iar mai apoi către eficiența energetică în sectorul clădiri, eficiența energetică în sectorul energetic și către alte domenii, astfel ca, în final, să se ajungă și la promovarea surselor regenerabile de energie. În prezent în UE există un cadru politic și legislativ, bine dezvoltat, aferent Energiei și Climei, pus în aplicare și revizuit de-a lungul timpului în direcția creșterii în volum și în eficiență a măsurilor de reducere și evitare a schimbărilor climatice. UE și statele membre sunt angajate într-un proces pe termen lung, cu mulți pași, de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră.

De menționat că, începând cu anul 2010, Republica Moldova (RM) este Parte Contractantă la Comunitatea Energetică din Balcani. În acest context, politica energetică națională este în plină concordanță cu politica Comunității Energetice și, respectiv, a Uniunii Europene în domeniul energiei și al climei.

Sectorul energetic, atât la nivel european, cât și în Republica Moldova, se află în plin proces de tranziție către „energia verde, curată“, ajungând în anul 2020 la o răscruce: pe de-o parte are loc confruntarea cu provocarea de a decarbona sistemele energetice, de a reduce emisiile de gaze cu efect de seră și de a promova surse regenerabile, iar pe de altă parte trebuie să se asigure securitatea aprovizionării cu energie electrică la un nivel, de calitate și de cost, accesibil pentru utilizatorul final. Rolul pe care Republica Moldova și-l va asuma în abordarea tranziției energetice va determina dacă țara noastră va reuși să beneficieze de această schimbare sau dacă, mai degrabă, va suporta costurile acesteia.

Potențialele beneficii nu se limitează doar la producerea de energie curată, tranziția energetică poate aduce efecte pozitive în construcții, transporturi, servicii energetice, producția industrială și industria autovehiculelor. Însă aceste beneficii nu se pot materializa fără o strategie bine definită atât la nivel național, cât și la nivel european.

Comisia Von der Leyen a anunțat oficial la sfârșitul anului 2019 „Green Deal“, în cadrul căruia UE își propune să devină un lider mondial în combaterea efectelor schimbărilor climatice și să fie primul continent cu emisii de gaze cu efect de seră „net zero” în 2050.

În consecință, este necesară o transformare durabilă și sustenabilă a economiei, prin înlăturarea combustibililor fosili, promovarea energiei curate din surse regenerabile și dezvoltarea unei economii circulare, bazată și pe mutații de comportament și atitudine a întregii societăți. Realizarea acestor schimbări presupune, însă, și o nevoie, deloc de neglijată, de investiții, Comisia Europeană intenționând să mobilizeze, în acest scop, 1 trilion de euro în următorul deceniu. Dar, pentru a resimți cu adevărat beneficiile unei astfel de schimbări și pentru a pune ambițiile UE în practică, va fi nevoie ca o parte semnificativă a investițiilor să meargă către crearea unei industrii europene puternice și independente, care să poată livra soluții pe măsura provocărilor, generând valoare adăugată în economie. Altfel, Europa riscă să nu-și atingă țintele propuse, care sunt deosebit de ambițioase.

La nivel național, Republica Moldova trebuie deja să facă o serie de pași importanți în această direcție, pași ce vor prefigura baza strategiei naționale pe termen lung în acest domeniu. Republica Moldova are un potențial energetic satisfăcător și suficient. Republica Moldova se află într-o poziție destul de bună pentru a face față tranziției energetice. Țara are mijloacele necesare pentru a beneficia de pe urma inevitabilelor evoluții ale sectorului energetic și a le transforma în oportunități pentru întreaga economie.

În primul rând, digitalizarea are deja un impact enorm asupra multor sectoare ale economiei, iar efectele încep să fie vizibile și în energie. Cu un aport esențial la PIB-ul sectorului IT&C - o infrastructură modernă și o forță de muncă bine calificată, Republica Moldova poate

beneficia din plin de avantajele digitalizării. Pentru sectorul energetic, aceasta înseamnă integrarea noilor tehnologii, scăderea costurilor de producție, îmbunătățirea calității serviciului de distribuție, încurajarea eficienței energetice și multe altele.

Prin implementarea contorizării inteligente și a altor tehnologii digitale, utilizatorii vor dobândi mai mult control asupra consumului de energie, vor avea posibilitatea să devină „prosumatori”, dar și să ofere servicii de stocare a energiei. În același timp, tehnologiile utilizate vor duce la crearea de numeroase locuri de muncă de înaltă calificare, susținând creșterea economică. Altfel spus, digitalizarea pieței energiei reprezintă o soluție care devine indispensabilă și pentru Republica Moldova.

În al doilea rând, pe măsură ce inovațiile încep să producă rezultate în acest domeniu, devine imperios necesară încurajarea utilizării pe scară largă a energiei electrice. Fie că avem în vedere securitatea energetică, îmbunătățirea eficienței energetice sau a calității aerului, utilizarea energiei electrice va trebui să crească pe termen mediu și lung. Republica Moldova dispune de resurse suficiente, în special în domeniul energiei regenerabile, pentru a face față acestui avans al utilizării energiei electrice. Pe măsură ce localitățile mai puțin dezvoltate continuă reducerea decalajului față de restul țării, se observă o rată accelerată de adopție a aparatelor electrocasnice și a altor echipamente care duc la creșterea calității vieții. În plus, datorită avansului tehnologic, în viitorul apropiat încălzirea și răcirea clădirilor vor putea fi realizate cu ajutorul energiei electrice, în special prin folosirea pompelor de căldură.

Totodată, mobilitatea electrică nu mai reprezintă de mult doar o perspectivă de viitor, ci o realitate concretă a zilelor noastre. Toate acestea se vor materializa într-un volum mai mare de energie electrică, cea mai mare parte provenind din surse regenerabile, având în vedere îmbunătățirea semnificativă a eficienței acestora și scăderea costurilor tehnologiei la niveluri minime record.

Nu în ultimul rând, datorită unui proces gradual de decarbonare, Republica Moldova poate contribui nu numai la eforturile globale de combatere a schimbărilor climatice, ci și la îmbunătățirea sănătății și calității vieții cetățenilor săi. Folosirea mai eficientă a surselor ieftine și abundente de energie regenerabilă, cu ajutorul tehnologiilor digitale, va permite transformarea orașelor, a transporturilor, a industriei și a agriculturii, reducând emisiile de gaze cu efect de seră și îmbunătățind calitatea aerului. Astfel, decarbonarea nu este doar un scop abstract al Uniunii Europene sau al Organizației Națiunilor Unite, ci o politică cu beneficii imediate și tangibile pentru toți. Iar factorii decisivi care vor genera aceste beneficii vor fi digitalizarea și electrificarea consumului.

În tot acest ansamblu, oportunitățile Republicii Moldova în sectorul energetic sunt luate în

considerare, în parcursul prezentei teze, pe termen lung de dezvoltare. În mod special este de menționat faptul că energia electrică va trebui să devină un instrument strategic pentru viitorul transporturilor, climatizării locuințelor și al necesităților casnice, iar promovarea rețelelor inteligente se va dovedi cea mai bună modalitate de a face posibile aceste lucruri. Decarbonarea și calitatea aerului sunt de asemenea pe lista de priorități, iar asigurarea unui acces adecvat la energie pentru cei mai vulnerabili membri ai societății continuă să fie un subiect de maximă importanță.

În concluzie, viitorul țării în domeniul energetic arată destul de bine pe termen lung de dezvoltare. Dar, pentru a se asigura că acest potențial este valorificat, Republica Moldova trebuie să ia decizii curajoase pentru a atrage investiții. În lume se desfășoară o competiție globală aprigă între țări pentru atragerea de capitaluri, în special între țările în curs de dezvoltare și emergente. Republica Moldova poate fi un bun participant în această cursă, dacă va prezenta un plan de afaceri solid pe termen mediu și lung.

Dar, toate acestea se vor întâmpla dacă strategia energetică planificată pe decenii, politicile și reglementările de stat vor fi transpuse în practică în baza proiectelor realizate în sectorul energetic pentru a putea profita de pe urma inevitabilei tranziții energetice. Republica Moldova se va confrunta cu numeroase provocări în sectorul energetic în următorii zece ani, dar încă suntem în momentul în care ne putem pregăti.

**Scopul tezei** constă în identificarea și analiza unui pachet de măsuri/acțiuni de creștere pe termen lung a flexibilității sistemelor electroenergetic și termoeenergetic național în vederea asigurării tranziției către 100% energie din surse regenerabile.

### **Obiectivele cercetării**

Principalul obiectiv al acestei teze constă în studierea unui șir de tehnologii inovative al căror aport devine semnificativ la creșterea flexibilității sistemului energetic, cu evaluarea potențialului de creștere a capacităților SRE, aplicată atât în sistemul electroenergetic național, cât și în sistemul termoeenergetic național, cu analiza posibilităților de stocare, atât a energiei termice, cât și a energiei electrice.

Obiectivele specifice includ:

- Studiul cu privire la desfășurarea tranziției energetice globale și integrarea Republicii Moldova în perspectiva dezvoltării pe termen lung;
- Realizarea principalelor direcții de majorare a flexibilității SEN în scopul majorării ponderii surselor regenerabile de energie;
- Elaborarea elementelor conceptuale ale unei foi de parcurs pentru tranziția energetică în Republica Moldova;
- Studiul privind acoperirea a 30% până la 50% din consumul anual al RM cu energie

regenerabilă obținută cu centrale electrice fotovoltaice (CEF), în complementare față de alte studii care s-au focalizat pe potențialul centralelor electrice eoliene (CEE)

- Studiul cu privire la potențialul de flexibilitate a vehiculelor electrice asupra sistemului electroenergetic național;
- Determinarea consumului de căldură în Republica Moldova în profil teritorial, a potențialului de cogenerare a energiei și de electrificare a sectorului încălzire;
- Studiul cu privire la edificarea centralelor hidroelectrice cu acumulare prin pompare pe teritoriul Republicii Moldova ca stocare a energiei la scară largă;
- Realizarea studiului cu privire la necesarul de stocare pe termen scurt în condițiile introducerii pe scară largă a centralelor fotovoltaice în Republica Moldova.
- Elaborarea studiului de caz pentru Republica Moldova cu privire la flexibilitatea rețelelor energetice printr-o combinație cu mijloace de stocare: centrale hidroelectrice cu acumulare prin pompare (CHEAP) și sisteme de stocare a energiei cu baterii (BESS).

#### **Ipoteza de cercetare**

Odată cu dezvoltarea sistemelor energetice pe calea tranziției de la utilizarea combustibililor fosili către 100% resurse regenerabile, cresc preocupările cu privire la posibila operare a sistemului energetic național cu o suficientă flexibilitate. Ca urmare, apar semnale de a limita adăugarea de noi surse regenerabile intermitente (solare, eoliene) în sistem. A face ca cererea de energie, pe de-o parte, și oferta, pe de altă parte, să fie mai flexibile, devine o precondiție esențială pentru integrarea în sistem a unor cote înalte de energie din surse regenerabile.

O tranziție eficientă către sisteme energetice decarbonatate necesită căutarea unor soluții inovative de sporire a flexibilității SEN. În acest context au fost studiate diverse soluții de creștere a flexibilității sistemului energetic național ca factor fundamental în asigurarea bunei funcționări a SEN bazat pe 100% surse regenerabile de energie, în ansamblu, cu accent pe schimbarea viitorului sistem energetic prin promovarea și evaluarea perspectivelor inovatoare pentru majorarea flexibilității cu o pondere de energie electrică bazată pe SRE-V, cu analiza posibilităților de stocare atât a energiei termice cât și energiei electrice.

#### **Sinteza metodologiei de cercetare și justificarea metodelor de cercetare alese**

La calcularea impactului VE în consumul național de energie al Republicii Moldova s-a determinat procentul de creștere a consumului de energie electrică ca urmare a introducerii gradate a VE de la 10% până la 100%.

La determinarea consumului de căldură în Republica Moldova în profil teritorial, a potențialului de cogenerare a energiei și a electrificării sectorului încălzire s-a pornit de la modelarea consumului casnic. Respectiv, metodologia de evaluare a potențialului de cogenerare a

inclus în sine determinarea consumului total de energie termică în profil teritorial și pe medii de reședință (urban, rural) pentru anul de referință acceptat, determinarea cotei optime economice a cogenerării și determinarea potențialului de cogenerare la nivelul consumurilor anului de referință (2018), precum și orizontului de timp – anul 2025.

Prin modelări și analize, cu verificarea și corecția totalului în baza datelor disponibile la nivel național (Balanța energetică), s-a ajuns la o soluție satisfăcătoare de evaluare a consumului de căldură - pe raioane, municipii și zone geografice de dezvoltare (zone climatice).

Au fost realizate calcule pentru o eventuală CHEAP edificată pe teritoriul Republicii Moldova, precum și fezabilitatea economico-financiară a acesteia determinată în baza evaluării venitului net actualizat (VNA). În scopul determinării venitului VNA s-a efectuat calculul cheltuielilor totale actualizate (CTA), aferente edificării și funcționării CHEAP pe durata de studiu de 30 ani, cât și a venitului total actualizat (VTA) obținut în urma realizării energiei electrice produse pe piața de echilibrare în orele de vârf a sistemului.

Pentru analizarea situației specifice unei largi penetrări a centralelor fotovoltaice în sistemul energetic al Republicii Moldova au fost alese și evaluate două scenarii: acoperirea a 30%, respectiv a 50% din consumul anual al țării cu producția realizată cu CEF, prin raportarea energiilor lor anuale la consumul anual al țării. A fost analizat necesarul de stocare pe termen scurt, respectiv pe durata unei zile, pentru a compatibiliza curba de producție SRE cu curba națională de consum, în condițiile unei limitări a puterii de schimb transfrontalier (Capacitatea netă de transfer - NTC). Aceasta a reprezentat partea principală a studiului respectiv, capacitățile de stocare fiind văzute ca elemente esențiale de creștere a flexibilității în sistemele electroenergetice. A fost analizat necesarul de teren pentru implementarea scenariilor de producție PV. Această analiză completează alte studii care s-au focalizat pe producția realizată cu centrale electrice eoliene (CEF).

La analiza punctelor forte ale celor două tehnologii competitive de stocare (centralele hidroelectrice cu acumulare prin pompare (CHEAP) și cele mai noi sisteme de stocare a energiei pe bază de baterii (BESS)) s-au investigat modele și oportunități de afaceri corespunzătoare pentru BESS. Aceste opțiuni sunt capabile să aibă o complementaritate, care aduce sinergii și oferă soluții adecvate de stocare într-o paradigmă decarbonată a energiei.

### **Sumarul capitolelor tezei**

Teza include introducerea, 4 capitole, adnotarea în limbile română, engleză și rusă, lista abrevierilor utilizate, lista tabelor, lista figurilor, compartimentul ce cuprinde concluziile finale ale tezei, lista bibliografică în număr de 291 titluri, 7 anexe. Numărul total de pagini al lucrării este 151 (până la bibliografie), cu 52 figuri și 19 tabele.



## II. CONȚINUTUL TEZEI

În **Introducere** sunt prezentate tendințele actuale în domeniul energiei din surse regenerabile și a schimbărilor climaterice, actualitatea temei de cercetare, argumentarea temei de cercetare alese, scopul și obiectivele tezei, problema științifică soluționată, sinteza metodologiei de cercetare și justificarea metodelor de cercetare alese.

**Capitolul 1 „Studiu cu privire la desfășurarea tranziției energetice globale și locul Republicii Moldova în acest proces”** reprezintă o sinteză a stadiului curent de dezvoltare cu privire la desfășurarea tranziției energetice globale și locul Republicii Moldova în acest proces, precum și perspectiva de promovare a SRE-V la nivel global, european și național. Tot aici sunt descrise și noile tendințe și inovații ale atributelor fundamentale pentru o funcționare fiabilă a viitorului sistem energetic ce deține o pondere înaltă a SRE. Capitolul I se încheie cu subiectele prioritare abordate și soluționate în teză cu formularea problemelor de cercetare.

Adoptarea unor măsuri ambițioase la nivel mondial pe lângă faptul combaterii schimbărilor climatice va genera beneficii, precum scăderea importurilor de combustibili fosili și ameliorarea calității aerului și a sănătății publice.

La nivel național, lansarea tranziției energetice cere punerea la punct a unui program special, care ar urmări o strategie, cu obiective concrete pe termen mediu și lung. Lansarea TE cere o acceptare publică largă în scopul unui viitor mai bun. În sectorul energetic are loc o schimbare evidentă de paradigmă către sursele regenerabile de energie. În consecință, este necesară o transformare durabilă și sustenabilă a economiei, prin înlăturarea combustibililor fosili, promovarea energiei curate din surse regenerabile și dezvoltarea unei economii circulare. Rezultatele studiului de cercetare arată faptul că tranziția energetică va avea un impact incontestabil asupra economiei și securității energetice a Republicii Moldova.

În cazul Republicii Moldova a fost utilizat programul de modelare TIMES care permite discretizarea duratei de studiu analizată în mai multe perioade și respectiv atribuirea diferitor rate de creștere și a elasticității pentru factorii care determină cererea viitoare de energie. Scenariile elaborate vor servi pentru întocmirea Planului național integrat în domeniul energiei și schimbărilor climatice 2021-2030, precum și actualizarea Strategiei energetice a Republicii Moldova până în anul 2030.

Electrificarea completă a sectoarelor de consum a energiei și integrarea masivă a sistemelor de stocare a energiei electrice pentru echilibrarea sistemului și prin integrarea tehnologiilor de stocare contribuie la eliminarea emisiilor de gaze cu efect de seră. Digitalizarea poate ajuta la integrarea resurselor regenerabile variabile, permițând rețelelor să acționeze în diferite momente

ale cererii de energie în momentele în care soarele strălucește și suflă vântul. În urma unui studiu documentar, se denotă faptul că există mai multe moduri concrete de digitalizare, care pot fi dezvoltate și aplicate. Aceste acțiuni trebuie însoțite de campanii de promovare, prin care consumatorii să asimileze corect avantajele de care pot beneficia, precum și riscurile extrem de mici, prin tranziția către sisteme inteligente.

Stocarea energiei, la rândul său, reprezintă una din cele mai importante componente în asigurarea flexibilității și susținerea integrării surselor regenerabile de energie în sistemele energetice. În concluzie, aceasta poate echilibra generarea de energie electrică atât la nivel centralizat, cât și distribuit, contribuind concomitent la majorarea securității energetice.

În Republica Moldova, cu toate succesele obținute în dezvoltarea utilizării surselor regenerabile de energie, există noi posibilități de creștere a ponderii acestora, în special prin dezvoltarea microrețelelor și a prosumatorilor. Pe baza analizei situației actuale cu privire la valorificarea potențialului SRE în Republica Moldova ar fi posibilă în baza unui parcurs concentrat pe implementarea graduală a unor politici și măsuri adecvate, de natură a spori beneficiile oferite de o integrare crescută a SRE în SEN, minimizând în același timp costurile asociate.

Către orizontul de timp 2050 sistemul electroenergetic din țară va avea nevoie de capacități de echilibrare a producției intermitente.

**Capitolul 2 „Creșterea flexibilității SEN pe partea de cerere și de ofertă a energiei în scopul integrării SRE-V”** este concentrat pe termenul cheie al tezei „flexibilitatea sistemului energetic”. Sunt propuse și prezentate toate măsurile și soluțiile de flexibilitate pentru asigurarea unui aport important cu un nivel înalt de penetrare a SRE-V. Sunt stabilite principalele direcții de sporire a flexibilității prin promovarea tehnologiilor de stocare, tehnologiilor moderne în viitorul sistemelor de termoficare și dezvoltarea hidrogenului ca vector flexibil în sectorul energetic.

Un aport important la asigurarea unui nivel înalt de penetrare a SRE-V îl au măsurile și soluțiile de flexibilitate. Creșterea ponderii surselor regenerabile intermitente de energie determină necesitatea dezvoltării interconectărilor, a sistemelor de stocare de energie, a surselor de generare flexibilă, a promovării răspunsului la cerere (demand response), precum și a unor instrumente avansate de operare a sistemului. În acest context, ar trebui să existe o foaie de parcurs pentru majorarea flexibilității sistemului energetic, care va găzdui într-un final niveluri foarte mari de penetrare a generării variabile de SRE-V în rețele.

Temele privind flexibilitatea sunt pe agenda agențiilor și a factorilor de decizie europeni. Agenda de flexibilitate 2020 și-a propus să accelereze introducerea măsurilor de flexibilitate, din cauza evoluțiilor recente ale politicii energetice la nivel european. Soluțiile implementate pentru integrarea surselor regenerabile nu sunt singulare, ci apar din sinergiile diferitelor inovații care

combină tehnologiile, proiectarea pieței, modelele de afaceri și modul de operare al sistemelor.

Stocarea energiei este o opțiune necesară pentru viitoarele sisteme decarbonatate, complementare altor soluții de flexibilitate și securitate energetică. Stocarea energiei reprezintă una din cele mai importante componente în asigurarea flexibilității și susținerea integrării surselor regenerabile de energie în sistemele energetice. În concluzie, stocarea energiei este rațională pentru tranziția energetică globală la un sistem cu emisii reduse de carbon, în principal bazat pe surse regenerabile de energie, precum și pentru atingerea obiectivelor climatice și energetice ale UE.

Sistemul de alimentare centralizată nu este un concept nou, însă are o nouă relevanță într-o lume care caută soluții practice pentru decarbonare. Cea mai nouă generație de infrastructură pentru sistemele de alimentare centralizată (4G) permite planificatorilor urbani să crească eficiența energetică, creând, în același timp, un canal viabil pentru accesul la sursele regenerabile de energie. Sigură, durabilă, scalabilă – structura centralizată reprezintă o componentă esențială pentru reducerea nivelului de carbon în zilele noastre.

Hidrogenul este, la rândul său, un „vector” energetic flexibil cu aplicații potențiale între diversele sectoare energetice. Tranziția către economia bazată pe hidrogen a început, iar Republica Moldova poate avea potențialul și capacitatea științifică de a oferi o contribuție originală în acest domeniu multidisciplinar. Tranziția către economia bazată pe hidrogen ar putea dura mai multe decenii, astfel că Republica Moldova va trebui să devină un participant activ la acest proces în viitor.

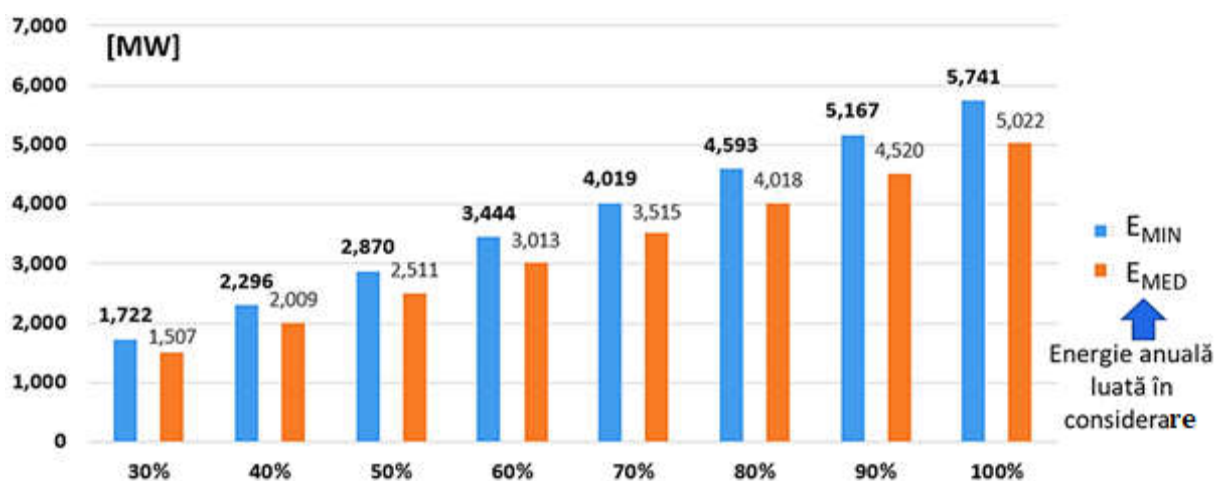
**Capitolul 3 „Elementele conceptuale ale unei foi de parcurs pentru tranziția energetică în Republica Moldova”** este destinat, în totalitate, prezentării pentru prima dată a 12 elemente conceptuale ale unei foi de parcurs pentru tranziția energetică în Republica Moldova ce pot fi dezvoltate în exclusivitate la elaborarea Strategiei Energetice către anul 2050. Este realizată o abordare conceptuală a problemei termoficării, fiind un sector cheie spre decarbonarea energiei termice furnizate. Au fost identificate provocările legate de dezvoltarea și operarea sistemului electroenergetic. În acest scop a fost prezentat impactul și potențialul de flexibilitate a vehiculelor electrice asupra consumului de energie electrică la nivel național și asupra sistemului electroenergetic, precum și potențialul de flexibilitate dat de VE (vehicule electrice) cu caracteristici V2G (Vehicle to Grid).

Roadmap-ul de dezvoltare a SEE în perspectiva anilor 2030 și 2050 trebuie să țină cont de câteva elemente esențiale. Este necesară o viziune holistică pentru armonizarea SEE cu celelalte fluxuri de energie, din care o parte se vor converti tot în energie electrică. La noile tendințe se mai adaugă faptul că procesul de trimitere a energiilor energofage către alte țări, după anii '90, să fie reevaluat ca urmare a unor politici noi, de reziliență economică. Criza Covid19 a arătat la rândul

ei faptul că sectoarele industriale cheie este bine „să revină acasă”, pentru ca în caz de forță majoră să primeze interesul național sau european. Asta înseamnă că gradul de creștere a consumului are nu numai componența creșterii economice bazate pe ramurile tradiționale și o electrificare mai completă în zona rurală, dar și pe noi ramuri ce au fost „expulzate” în trecut și acum se dorește readucerea lor în arealele naționale dar și a noilor domenii cum ar fi producția de PV-uri sau de baterii, fiind mai probabilă creșterea consumului în viitor.

Întregul sistem energetic trebuie să aibă un nivel corespunzător de flexibilitate - definit pentru a echilibra în orice moment producția și consumul. Variabilitatea și incertitudinea nu sunt noi pentru sistemul energetic, deoarece sarcinile se schimbă în timp și în moduri uneori imprevizibile, iar resursele convenționale eșuează pe neașteptate.

A fost determinat pentru prima dată necesarul de centrale fotovoltaice în Republica Moldova (RM) în mod simplificat pe baza calculelor efectuate în teză. S-a extins analiza inițială făcută pentru 30% respectiv 50% acoperire, cu valori ale capacității CEF care să acopere între 30% și 100% din consumul anual al țării. S-a arătat că dacă în mod ipotetic se acoperă cu CEF chiar și 100% din consumul țării, puterea instalată necesară este de cel mult 5.74 GW (într-o situație de dimensionare acoperitoare), care reprezintă doar 0.8% din suprafața agricolă a RM.



**Figura 1.** Necesarul de putere în CEF pentru diverse niveluri de acoperire anuală a consumului în Republica Moldova

Pentru prima dată a fost propusă abordarea unui nou domeniu de dezvoltare durabilă, cel al împletirii armonioase a agriculturii cu CEF, prin realizarea unei dezvoltări „agro-fotovoltaice” la nivel de țară. Un astfel de concept este extrem de propice unei țări ca RM, caracterizate prin activități importante legate de utilizarea terenurilor agricole, care pot să cunoască noi valențe ale potențialului lor de sprijinire a unei societăți ce poate păstra sustenabil și durabil activități tradiționale. Un alt domeniu de interes este promovarea PV-urilor flotante. Un exercițiu care să

arate potențialul acestor lacuri a fost făcut pentru două lacuri din RM. Potențialul unor astfel de lacuri nu este de loc neglijabil, având și avantajul că sunt în apropierea unor orașe (Chișinău, Kongaz). Printre obiectivele principale de promovat în RM, soluțiile agro-fotovoltaice și CEF flotante sunt listate explicit.

Roadmap-ul de dezvoltare a sistemului electroenergetic în perspectiva anilor 2030 și 2050 trebuie să aibă o viziune holistică care să asigure armonizarea sistemului electroenergetic cu celelalte fluxuri de energie, din care o parte se vor converti tot în energie electrică. Au fost propuse 12 elemente conceptuale ce pot sta la baza politicilor naționale în Republica Moldova:

- 1) Se va facilita dezvoltarea de surse electrice regenerabile plasate în mod distribuit în toate regiunile țării unde există în vecinătate consumuri mari (CEF și CEE);
- 2) Se va pune accent pe creșterea flexibilității sistemului electroenergetic, în special prin proiecte importante, cum ar fi realizarea a cel puțin o CHEAP (locațiile favorite fiind pe malul Nistrului) combinat cu sisteme de stocare bazate pe baterii (BESS);
- 3) Se va avea în vedere luarea de măsuri de flexibilitate care să reducă dependența de servicii tehnologice de sistem furnizate de țările vecine și se va sprijini creșterea capacității nete de transfer (CNT) pentru a avea mai multă flexibilitate;
- 4) Se va **electrifica treptat încălzirea locuințelor**, prin diferite metode (încălzire directă – prin efect Joule, încălzire cu eficiență sporită - bazată pe pompe de căldură, utilizarea actualelor CET-uri adaptate pentru H<sub>2</sub> și CH<sub>4</sub> „verde” etc.);
- 5) Se va electrifica treptat parcul auto de autoturisme și apoi de autobuze și camioane și se vor promova VE cu facilități V2G;
- 6) Introducerea RES va fi însoțită pe cât posibil de soluții agro-fotovoltaice;
- 7) Se va încuraja digitalizarea activităților energetice, inclusiv prin contorizare inteligentă, piețe de energie și de servicii de flexibilitate, sisteme SCADA și promovarea inițiativelor ce conțin funcționalități ale rețelelor inteligente Smart Grid;
- 8) Se va încuraja crearea de comunități energetice reziliente;
- 9) Se va încuraja realizarea de piloți pentru tehnologii emergente, cum ar fi cei de tip Power-to-Gas;
- 10) Se vor încuraja noi modele de business (PPA, SaaS etc.);
- 11) Se va încuraja învățământul superior și cercetarea științifică;
- 12) Se vor realiza politici energetice care să stimuleze aceste obiective în mod eficient, prin legiuitor, guvern și prin organismul de reglementare în domeniul energiei.

O tendință importantă în viitor este creșterea gradului de electrificare a activităților din economie. În acest registru există cel puțin două domenii majore care vor trece spre electrificare

în următoarea perioadă: cel a *transportului*, în special legat de vehiculele mici și mijlocii, pentru care noua tendință de a folosi vehicule electrice și cel al *încălzirii* bazate pe energie electrică.

Flexibilitatea SEN în sistemul centralizat de alimentare cu energie termică cu combinația diferitelor unități de încălzire poate echilibra sistemul energetic și poate contribui la sustenabilitatea viitoarelor sisteme energetice.

Ca răspuns la diferite provocări ale SACET, acesta se îndreaptă către implementarea sistemului termic mai inteligent - sistem de alimentare centralizat de a 4-a generație (4G). Acest sistem implică interacțiunea dintre sistemul termic inteligent și rețeaua inteligentă.

Vehiculele electrice sunt importante în cadrul viitorului sistem energetic. Fiecare din aspectele menționate necesită o analiză mai detaliată, care s-a realizat, în linii mari, în perspectiva unei introduceri graduale a VE în parcul de automobile a Republicii Moldova combinată cu o creștere treptată a inteligenței în gestionarea acestora, inclusiv prin tehnici V2G.

**Tabelul 1.** Posibila evoluție a energiei disponibile în bateriile VE pentru aplicații V2G

1	2	3	4	5	6	7
Procent VE-uri [%]	Număr VE-uri	$E_{VE}$ [kWh]	$E_{total}$ [MWh]	V2G Share	Proportie Bat. V2G	$E_{Tot\_V2G}$ [MWh]
10%	100,000	30	3,000	1%	20%	6
30%	300,000	40	12,000	5%	25%	150
50%	500,000	50	25,000	10%	30%	750
70%	700,000	70	49,000	12%	35%	2,058
90%	900,000	80	72,000	15%	40%	4,320
100%	1,000,000	100	100,000	20%	40%	8,000

Se observă faptul că la procentele cele mai mari ale prezentei VE (70-100%) se pot pune la dispoziție SEE, ca instrument de flexibilitate, între 2 și 8 GWh de energie stocată în bateriile tot mai performante ale acestora, ultima cifră fiind apropiată de necesitate de stocare la nivel zilnic rezultată în cazul unui procent în CEF care să acopere 50% din consumul anual de energie electrică. Astfel, electromobilitatea nu aduce doar provocări, dar poate ajuta substanțial la necesarul de flexibilitate într-un scenariu cu largă contribuție RES. Rezultatele preliminare arată că VE cu V2G pot acoperi până la 50% din necesarul de flexibilitate (în subcap. 4.4 este estimată necesitatea unei stocări la nivel zilnic de aprox 10 GW pentru 50% SRE).

Totodată s-a observat faptul că, dacă pentru o pătrundere mică a VE efectul în consumul de energie la nivel de țară este la rândul său mic (doar 7.6% pentru 30% VE), în situațiile unei largi adoptări a VE, de ex.  $\geq 70\%$ , consumul național crește cu 17 până la 25%. Acest surplus de energie trebuie să vină din surse regenerabile, implicând SRE suplimentare la nivel național.

În **Capitolul 4 „Determinarea consumului de căldură în Republica Moldova în profil teritorial, a potențialului de cogenerare a energiei și de electrificare a sectorului încălzire”** a

fost determinat pentru prima dată consumul de căldură în Republica Moldova în profil teritorial, a potențialului de cogenerare a energiei și de electrificare a sectorului încălzire. Astfel, a fost realizat calculul consumului de căldură în țară în profil teritorial la nivelul anilor 2020 și 2030 cu evaluarea potențialului național (2025) de punere în aplicare a cogenerării de înaltă eficiență. A fost determinată cota optimă economică a cogenerării pentru cele trei zone de dezvoltare a țării: Nord, Centru și Sud și caracteristica generalizată a parcului de instalații de cogenerare ce ar putea fi promovate în țară cu determinarea indicelui mediu de cogenerare.

În concluzie fost determinat potențialul de cogenerare la nivelul consumurilor anului de referință (2018), precum și potențialul existent pentru cogenerarea adițională către anul 2025: puterea electrică nominală a instalațiilor de cogenerare, MW<sub>e</sub>, care constituie 647 MW.

**Tablelul 2.** Potențial existent pentru cogenerarea adițională către anul 2025: puterea electrică nominală a instalațiilor de cogenerare, MW<sub>e</sub>

	Raioane/ Municipii	Casnic urban	Servicii+ Comert	Industrie +alte sectoare	Total 2018	Total 2025
	<b>Zona Nord,</b>					
1	m. Bălți	17,73	3,62	5,34	<b>26,7</b>	<b>27,3</b>
2	Briceni	4,48	1,28	1,89	<b>7,7</b>	<b>7,9</b>
3	Dondușeni	2,87	2,88	4,25	<b>10,0</b>	<b>10,5</b>
4	Drochia	4,74	8,74	12,90	<b>26,4</b>	<b>27,8</b>
5	Edineți	7,08	7,35	10,84	<b>25,3</b>	<b>26,5</b>
6	Fălești	4,07	1,21	1,78	<b>7,1</b>	<b>7,2</b>
7	Florești	5,42	2,27	3,36	<b>11,1</b>	<b>11,4</b>
8	Glodeni	3,13	0,83	1,22	<b>5,2</b>	<b>5,3</b>
9	Ocnita	4,90	0,77	1,13	<b>6,8</b>	<b>6,9</b>
10	Râșcani	3,78	1,24	1,83	<b>6,9</b>	<b>7,1</b>
11	Sângerei	4,86	2,17	3,21	<b>10,2</b>	<b>10,6</b>
12	Soroca	8,00	2,80	4,13	<b>14,9</b>	<b>15,4</b>
	<b>Subtotal Nord</b>	<b>71,1</b>	<b>35,2</b>	<b>51,9</b>	<b>158,1</b>	<b>163,8</b>
	<b>Zona Centru,</b>					
1	mun. Chișinău	71,00	54,86	80,94	<b>206,8</b>	<b>215,7</b>
2	Anenii Noi	2,77	4,68	6,90	<b>14,3</b>	<b>15,1</b>
3	Călărași	3,66	1,54	2,27	<b>7,5</b>	<b>7,7</b>
4	Criuleni	1,87	1,51	2,23	<b>5,6</b>	<b>5,9</b>
5	Dubăsari (Cocieri)	0,00	0,59	0,87	<b>1,5</b>	<b>1,6</b>
6	Hâncești	3,98	4,18	6,16	<b>14,3</b>	<b>15,0</b>
7	Ialoveni	3,74	3,12	4,61	<b>11,5</b>	<b>12,0</b>
8	Nisporeni	4,81	1,04	1,53	<b>7,4</b>	<b>7,5</b>
9	Orhei	6,95	4,51	6,66	<b>18,1</b>	<b>18,9</b>
10	Rezina	2,87	20,63	30,43	<b>53,9</b>	<b>57,3</b>
11	Strășeni	5,66	1,90	2,80	<b>10,4</b>	<b>10,7</b>
12	Șoldănești	1,88	0,68	1,01	<b>3,6</b>	<b>3,7</b>
13	Telenești	2,00	0,97	1,43	<b>4,4</b>	<b>4,5</b>
14	Ungheni	10,83	2,59	3,83	<b>17,2</b>	<b>17,7</b>
	<b>Subtotal Centru</b>	<b>122,0</b>	<b>102,8</b>	<b>151,7</b>	<b>376,5</b>	<b>393,1</b>
	<b>Zona Sud,</b>					
1	Basarab	2,93	0,62	0,91	<b>4,5</b>	<b>4,6</b>
2	Cahul	9,61	3,05	4,51	<b>17,2</b>	<b>17,7</b>
3	Cantemir	1,11	0,64	0,94	<b>2,7</b>	<b>2,8</b>

4	Căușeni	6,08	1,50	2,22	<b>9,8</b>	<b>10,0</b>
5	Cimișlia	3,16	1,25	1,84	<b>6,3</b>	<b>6,5</b>
6	Leova	3,66	0,53	0,78	<b>5,0</b>	<b>5,1</b>
7	St Voda	2,28	1,02	1,50	<b>4,8</b>	<b>5,0</b>
8	Taraclia	5,04	1,55	2,29	<b>8,9</b>	<b>9,1</b>
9	Găgăuzia	14,68	5,46	8,05	<b>28,2</b>	<b>29,1</b>
	<b>Subtotal Sud</b>	<b>48,5</b>	<b>15,6</b>	<b>23,0</b>	<b>87,2</b>	<b>89,7</b>
	<b>TOTAL Moldova</b>	<b>241,6</b>	<b>153,6</b>	<b>226,6</b>	<b>622</b>	<b>647</b>

Una din principalele măsuri de creștere a flexibilității sistemului electroenergetic, bazat pe utilizarea surselor regenerabile variabile reprezintă electrificarea consumului casnic rural. Astfel, s-a calculat consumul casnic rural de căldură (energie utilă) în țară (2018) destinat electrificării și prezintă  $P_{ins} = 862 \text{ MW}$ .

**Tabelul 3.** Potențialul electrificării consumului casnic rural de căldură

	Consum casnic rural util de căldură (30%)		
	Necesar, tep	Electrificat, MWh	Sarcina el., MWe
Nord	71 914	836 357	300
Centru	85 769	997 494	378
Sud	40 941	476 141	184
<b>Total</b>	<b>198 624</b>	<b>2 309 992</b>	<b>862</b>

Ulterior, în teză sunt prezentate o serie de studii aprofundate și detaliate cu privire la realizarea măsurilor concrete de sporire a flexibilității sistemului energetic: edificarea centralelor hidroelectrice cu acumulare prin pompare, evaluarea necesarului de PV-uri în Republica Moldova (introducerea pe scară largă a centralelor fotovoltaice) și studiu de caz pentru Republica Moldova – flexibilitatea rețelelor energetice printr-o combinație cu mijloacele de stocare și cu tehnologiile competitive - centralele hidroelectrice cu acumulare prin pompare (CHEAP) și cele mai noi sisteme de stocare a energiei pe bază de baterii (BESS).

Acumularea prin pompare este singura tehnologie dovedită comercial disponibilă pentru stocarea energiei electrice la scară mare a unui sistem energetic, de care Republica Moldova ar putea beneficia din plin. Acest tip de centrală a fost și rămâne imperios necesară pentru viitorul sistem energetic din Republica Moldova. Pentru a determina care este altitudinea versanților din apropierea râului s-au folosit posibilitățile soft-ului „Google Earth”. În urma studiului realizat, s-au identificat amplasamente posibile a unor CHEAP-MD de-a lungul râurilor Nistru și Prut și în preajma unor lacuri.

**Tabelul 4.** Posibile locații pentru edificarea unor CHEAP



Nr.	Localitate, raion	Altitudinea suprafeței rezervorului de sus, m	Altitudinea suprafeței apei râului, m	Căderea netă de înălțime, m
<b>Locații pe râul NISTRU</b>				
1	Verejeni, Ocnîța	196	63	133
2	Ungari, Ocnîța	242	60	182
3	Tatarăuca Veche, Soroca	160	55	105
4	Șeptelici, Soroca	202	58	144
	Inundeni, Soroca	196	40	156
	Vărăncău, Soroca	180	40	140
5	Vasilcău, Soroca	105	35	70
6	Sănătăuca, Florești	145	30	115
	Poina, Șoldănești	220	28	192
7	Rezina, Rezina	185	25	160
8	Saharna, Rezina	227	25	202
9	Țipova, Rezina	204	25	179
10	Lalova, Rezina	200	24	176
12	Oxentea, Dubăsari	122	24	98
<b>Locații pe râul PRUT</b>				
	Cuconeștii Vechi, Edineți	180	82	98
	Costești, Ungheni	82	60	22
	Lucăceni, Fălești	160	48	112
	Ungheni	48	37	11
	Cotul Morii	23	27	-4
	LEOVA	120	16	104
<b>Locații în preajma lacurilor</b>				
	Lacul Dănceni	250	78	172
	Lacul Ghidighici	175	53	122

Rezultatele calculelor caracteristicilor tehnice realizate pentru o eventuală CHEAP, edificată pe teritoriul Republicii Moldova sunt prezentate în tabelul 5.

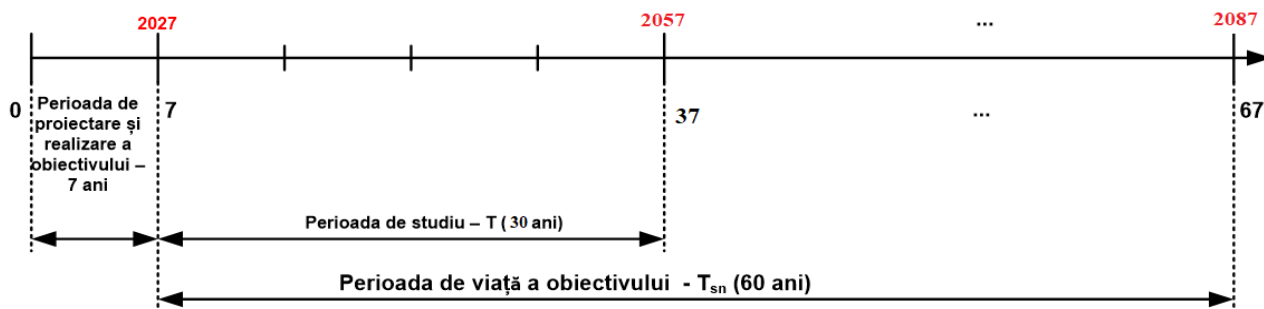
**Tabelul 5.** Caracteristicile principale ale CHEAP 100 MW

Nr	Indicator	Notația	u.m.	Puterea centralei, MW					
				25			100 (4 x 25)		
1	Debitul de apă către hidroagregate	$Q_{apa}$	$m^3/s$	32			127		
2	Durata de funcționare (generare)	$T_{zi}$	h/zi	4	8	10	4	8	10
		$T_{an}$	h/an	1 440	2 880	3 600	1 440	2 880	3 600
3	Volumul energiei produse pe o zi, un an și 20 de ani	$W_{zi}$	MWh/zi	100	200	250	400	800	1 000
		$W_{an}$	GWh/an	36,50	73,00	91,30	146,00	292,00	365,00
		WTA	GWh	410,9	821,8	1027,8	1643,6	3287,3	4109,1
4		$W_{zi}$	MWh/zi	130	260	325	520	1040	1300
		$W_{an}$	GWh/an	47,45	94,9	118,625	189,8	379,6	474,5

	Volumul energiei consummate (pompare)	WTA	GWh	534,2	1068,4	1335,5	2136,7	4273,5	5341,8
	Înălțimea căderii apei			H = 100 m					
5	Volum apă	$V_{zi}$	mil. m <sup>3</sup> /zi	0,46	0,92	1,15	1,83	3,67*	4,59
		$V_{an}$	mil. m <sup>3</sup> /an	165	330	413	661	1321	1651
6	Suprafața rezervor superior	$S_{apa}$	mii m <sup>2</sup>	18 349	36 697	45 872	73 394	146 789	183 486
		$S_{apa}$	ha	1,8	3,7	4,6	7,3	14,7	18,3
7	Diametru rezervor superior	D	m	153	216	242	306	432	483
8	Diametru conductă	d	m	3,19					
	Înălțimea căderii apei			H = 150 m					
9	Volum apă	$V_{zi}$	mil. m <sup>3</sup> /zi	0,46	0,92	1,15	1,83	3,67	4,59
		$V_{an}$	mil. m <sup>3</sup> /an	165	330	413	661	1321	1651
10	Suprafața rezervorului superior	$S_{apa}$	mii m <sup>2</sup>	18 349	36 697	45 872	73 394	146 789	183 486
		$S_{apa}$	ha	1,8	3,7	4,6	7,3	14,7	18,3
11	Diametru rezervorului superior	D	m	153	216	242	306	432	483
12	Diametru conductă	d	m	3,19					

\* Lacul Dănceni, r-l Ialoveni, volum- 22 mil. m<sup>3</sup>, suprafață - 420 ha; suprafața rezervor superior – 14,7 ha.

Ulterior a fost realizată fezabilitatea economico-financiară a unui proiect de edificare a unei noi CHEAP-MD ce s-a determinat în baza evaluării venitului net actualizat (VNA). În scopul determinării venitului VNA s-a efectuat calculul cheltuielilor totale actualizate (CTA), aferente edificării și funcționării CHEAP pe durata de studiu de 30 ani (Figura 2), cât și venitul brut (VTA) obținut în urma realizării energiei electrice produse pe piața de echilibrare în orele de vârf al sistemului.



**Figura 2.** Axa timpului cu indicarea perioadelor adoptate

S-a observat că evaluarea economică din teză a fost realizată pentru o perioadă de studiu cu durata de 30 ani calendaristici și a fost demonstrat că efortul investițional în acest proiect se recuperează din câștigurile anuale. Evident, că dacă aceste câștiguri ar fi fost contabilizate pe întreaga durată de viață a obiectivului - performanța economică a proiectului doar ar fi crescut.

Edificarea centralelor hidroelectrice cu acumulare prin pompare (CHEAP), ca principala infrastructură de stocare a energiei la scară largă, reprezintă o măsură importantă de sporire a flexibilității sistemului electroenergetic. Studiul realizat a demonstrat atractivitatea implementării

proiectelor consacrate CHEAP.

Un alt studiu realizat pentru prima dată „*Analiza asupra necesarului de stocare pe termen scurt – ca nou element de flexibilitate, în condițiile introducerii pe scară largă a centralelor fotovoltaice*” a prezentat o sarcină dificilă pentru a putea face proiecții în viitor folosind informațiile existente în prezent.

Pentru analizarea situației specifice unei largi penetrări a centralelor fotovoltaice în RM, s-a ales metoda simplificată ce are avantajul de a furniza ordinele de mărime pentru capacitățile de producție în CEF și a necesității de stocare în condițiile a două scenarii: acoperirea a 30%, respectiv a 50% din consumul anual al țării cu producția realizată cu CEF, prin raportarea energiilor anuale produse cu CEF la consumul anual al țării. Rezultatele obținute arată faptul că țintele necesare pot fi atinse chiar și cu tehnologiile actuale, urmând să devină viabile economic pentru obiective de mari dimensiuni în perioada 2025-2030.

Studiul a parcurs următoarele etape sub formă de subcapitole distincte:

- Evaluarea necesarului de capacități de producție în Republica Moldova cu PV-uri, respectiv a puterii instalate a acestora pentru 30% și 50% acoperire a consumului anual;
- Analiza necesarului de stocare pe termen scurt, respectiv pe durata unei zile, pentru a compatibiliza curba de producție SER cu curba națională de consum, în condițiile unei limitări a puterii de schimb transfrontaliere (Capacitatea netă de transfer, engl. NTC).

Aceasta reprezintă partea principală a studiului, capacitățile de stocare fiind văzute ca elemente esențiale de creștere a flexibilității în sistemele electroenergetice.

- O analiză a necesarului de teren pentru implementarea scenariilor de producție PV.

În tabelul 6 sunt prezentate figuri sintetice pentru toate cazurile studiate. Constrângerile de topologie din interiorul țării nu au fost detaliate, considerându-se că cea mai mare parte a centralelor fotovoltaice sunt distribuite, la care le sunt adăugate sisteme de stocare a energiei electrice - ca o posibilă schimbare de paradigmă comparativ cu centralele cu acumulare prin pompaj, care necesită de obicei linii suplimentare de transport. Unele întăriri de rețea ar putea fi totuși necesare. Fiecare scenariu a fost analizat separat, cu scopul de a furniza o primă imagine a dimensiunii potențialului de producție cu surse regenerabile și a necesarului de stocare asociat. Detalieri suplimentare vor putea fi făcute în viitor, cu noi cazuri și pentru alte perioade de timp. Sinteza celor 4 scenarii studiate sunt prezentate în tabelul 6.

**Tabelul 6. Scenarii studiate (pe perioade de o zi)**

Scenario	S0	S1-Vară	S2-Vară	S3-Vară	S4-Iarnă	
Identificator de linie (line ID)	A	B	C	D	E	

Descriere	Starea actuală	30% PV / an	50% PV / an	50% PV/an +Vânt	Iarna, S3	Col. Id
$E_{Cons}$ [MWh]	16,035	16,035	16,035	16,035	21,485	1
$E_{Prod}$ [MWh]	15,197	16,038	23,365	23,276	21,557	2
$K_{TTP}$ [%]	100	12.3	0	0	82.0	3
$P_{PV_{INST}}$ [MW]	0	1,722	2,870	2,650	2,650	4
$P_{Wnd_{MAX}}$ [MW]	0	0	0	200	200	5
$E_{Prod}/E_{Cons}$ [%]	94.8%	100.0%	145.7%	145.2%	100.3%	6
$E_{RES}/E_{Cons}$ [%]	0.3%	82.4%	138.8%	138.3%	19.3%	7
$E_{P_{TTP}}$ [MWh]	14,038	1,727	0	0	16,623	8
$E_{P_{RES}}$ [MWh]	54	13,208	22,262	22,173	4,143	9
$E_{P_{PV}}$ [MWh]	0	13,155	22,209	20,506	2,475	10
$E_{P_{Wnd}}$ [MWh]	0	0	0	1,614	1,614	11
$E_{P_{HPP}}$ [MWh]	1,103	1,103	1,103	1,103	792	12
$E_{EX} + H_2$ [MWh]	837	-3	-7,230	-7,241	-73	13
$E_{Exch_{Imprt}}$ [MWh]	945.5	1,785	0	0	784	14
$E_{Exch_{Exprt}}$ [MWh]	109	1,788	7,230	7,241	856	15
$P_{Exch_{Import}}$ [MW]	117	176	0	0	136	16
$P_{Exch_{Export}}$ [MW]	114	225	426	426	201	17
$E_{Stor}$ [MWh]	0	4,260	10,700	9,550	800	18
$P_{MaxStor}$ [MW]	0	820	1,730	1,570	220	19

Ultimele două linii ale tabelului prezintă necesarul de stocare pentru fiecare scenariu (liniile cu Id=18 și 19). S-a observat că este necesară o capacitate de **4260 MWh (4.26 GWh)** în sisteme de stocare pentru scenariul cu 30% PV și de **10.7 GWh** în scenariul cu 50% producție cu CEE. Aceste valori de capacitate în stocare reprezintă ținte credibile pentru orizontul de timp corespunzător anilor 2027-2030, respectiv 2035-2040, dacă ținem cont de faptul că proiecte de stocare de 2.5 GWh sau chiar mai mult sunt deja planificate pentru anii 2021-2030.

În urma analizei efectuate cu privire la necesarul de teren pentru implementarea scenariilor ambițioase duce la concluzia că ar urma să fie necesar mai puțin de 1% din suprafața agricolă pentru o acoperire completă (100%) a consumului anual în R.M. cu centrale fotovoltaice.

Ca o sinteză a datelor obținute de acest studiu, în condițiile unei largi penetrări a regenerabilelor, în situația acoperirii a 30% respectiv 50% din consumul anual, pot fi subliniate următoarele aspecte importante:

- pentru acoperirea a 30% din consumul anual cu CEF este necesară instalarea a 1722 MW în PV, cerând un sistem de stocare ce cumulează o capacitate de 4.26 GWh, cu o putere instalată  $P_{MaxStor} = 820$  MW; În ziua de vară studiată, 87% din energia consumată poate fi acoperită doar din SRE.
- pentru acoperire a 50% din consumul anual cu CEF este necesară instalarea a 2870 MW în PV, care necesită o capacitate de stocare egală cu 10.7 GWh și  $P_{MaxStor} = 1730$  MW, în

condițiile unui schimb maxim transfrontalier NTC=450 MW, presupunând dezvoltări legate de liniile de interconexiune. Puterea ce este necesar a fi instalată în CEF solicită utilizarea a numai 0.37% din terenul agricol al R.M. În timpul unei astfel de zile de vară există un exces de energie produsă de 45%, atât în cazul investițiilor doar în PV-uri, cât și în cazul mixt cu un aport moderat în centrale eoliene, energie care poate fi exportată și/sau consumată pentru a produce hidrogen verde prin electroliză. În scenariul 50%PV este încă necesar într-o zi tipică de iarnă ca 81% din energie să provină din centrale clasice (TPP), care vor putea să utilizeze drept combustibil un amestec  $CH_4 + H_2$  verde sau doar  $H_2$  verde.

Alte simulări zilnice, neprezentate în material, arată faptul că cele mai însorite zile de vară sunt situațiile cele mai indicate pentru a estima necesarul de stocare pentru scenariile cu 30%, respectiv 50% producție anuală cu PV-uri. Aceste rezultate arată faptul că țintele necesare pot fi atinse chiar și cu tehnologiile actuale, urmând să devină viabile economic pentru obiective de mari dimensiuni în următorii ani, probabil în perioada 2025-2030, făcând ca ambițiile politice de azi legate de decarbonarea activității energetice, să fie o realitate posibilă în cadrul unei foi de parcurs către neutralitate față de  $CO_2$ , așa cum este cerut de proiectul „European Green Deal”.

Pentru a implementa aceste cerințe, design-ul sistemelor energetice ale viitorului necesită în paralel mai multe măsuri: introducerea masivă a centralelor PV distribuite pe întreg teritoriul, o introducere moderată a centralelor eoliene în locuri specifice în care există condiții atmosferice corespunzătoare, întărirea rețelei electrice, introducerea de micrețele electrice locale și proliferarea prosumatorilor, toate fiind sprijinite de un suport larg al sistemelor de stocare.

Elementele unei foi de parcurs prezentate în Capitolul III către un sistem electroenergetic cu largă penetrare a surselor regenerabile necesită o flexibilitate ridicată în sistemul electroenergetic, prin utilizarea diferitelor tehnologii de stocare. Tradiționalele CHEAP, precum și noile sisteme de stocare BESS sunt tehnologii competitive, care trebuie să co-participe împreună în contextul integrării SRE în SEN. Pentru prima dată s-a studiat combinarea acestor resurse cu prezentarea câtorva soluții de utilizare combinată a CHEAP și BESS, având ca studiu de caz situația RM cu denumirea „*Creșterea flexibilității de sistem printr-o combinație de centrale hidroelectrice cu acumulare prin pompare (CHEAP) și sisteme de stocare a energiei cu baterii (BESS)*”.

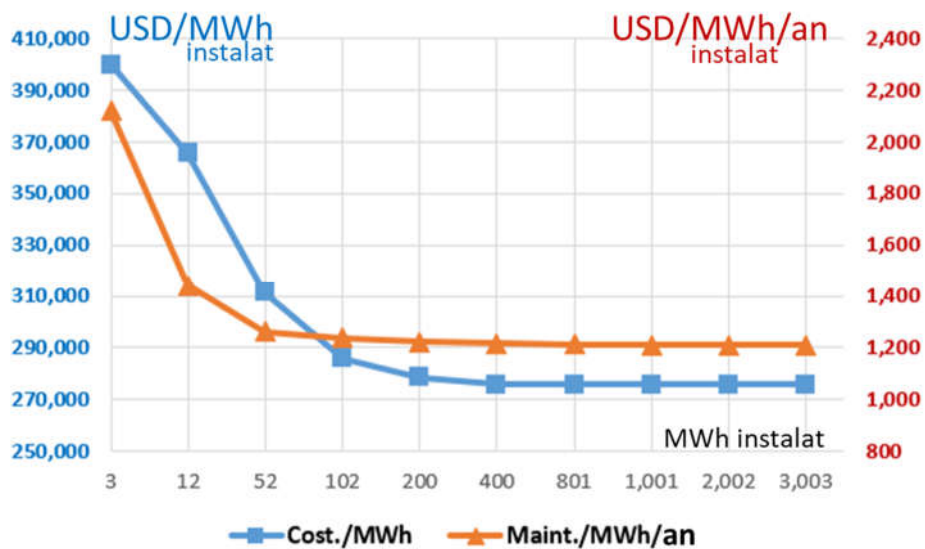
Ca o sinteză au fost prezentate câteva soluții de utilizare combinată a CHEAP și BESS, organizate astfel:

- a) o primă secțiune a realizat o analiză comparativă legată de CHEAP și BESS, aceste soluții fiind considerate cele mai relevante tehnologii pentru perioada următoare;
- b) moduri în care se pot construi modele de business specifice pentru BESS (sunt investigate

- în a doua secțiune), cu focalizare pe modele noi de afaceri;
- c) o a treia secțiune a analizat rolul BESS în sprijinirea „parității” energiei la punctul comun de cuplare (PCC) între utilizator și rețeaua electrică;
  - d) o a patra secțiune a realizat o analiză preliminară a mix-ului de CHEAP și BESS, și a oportunităților de utilizare a BESS în cazul specific al Republicii Moldova.

Deși analiza de față a ținut cont de valoarea incontestabilă a CHEAP, care poate să dețină o proporție acceptabilă din pachetul de flexibilitate în sistemul electroenergetic, s-a explorat modelele de afaceri cele mai potrivite și oportunitățile tehnologiilor BESS emergente, care pot fi complementate și cu soluții de stocare pe termen lung, bazate pe conversia putere-gaz (power to gas - P2G) și pe energetica bazată pe hidrogen „verde”.

În figura 3 se arată evoluția prețului specific al unui MWh (ca principală parte a costurilor de capital - CAPEX pentru BESS) pentru acest fabricant și costul specific de mentenanță anuală (costuri de operare - OPEX). S-a observat faptul că în domeniul între 50 și 3000 MWh costul specific de investiție este relativ constant, în jurul valorii de aproximativ 290 mii USD/MWh instalat, astfel încât costurile operaționale specifice pentru o perioadă de viață de 10 ani doar 4,1% din CAPEX. Aceste valori au fost utilizate pentru a obține o estimare a prețului serviciilor de stocare (Storage as a Service - SaaS).



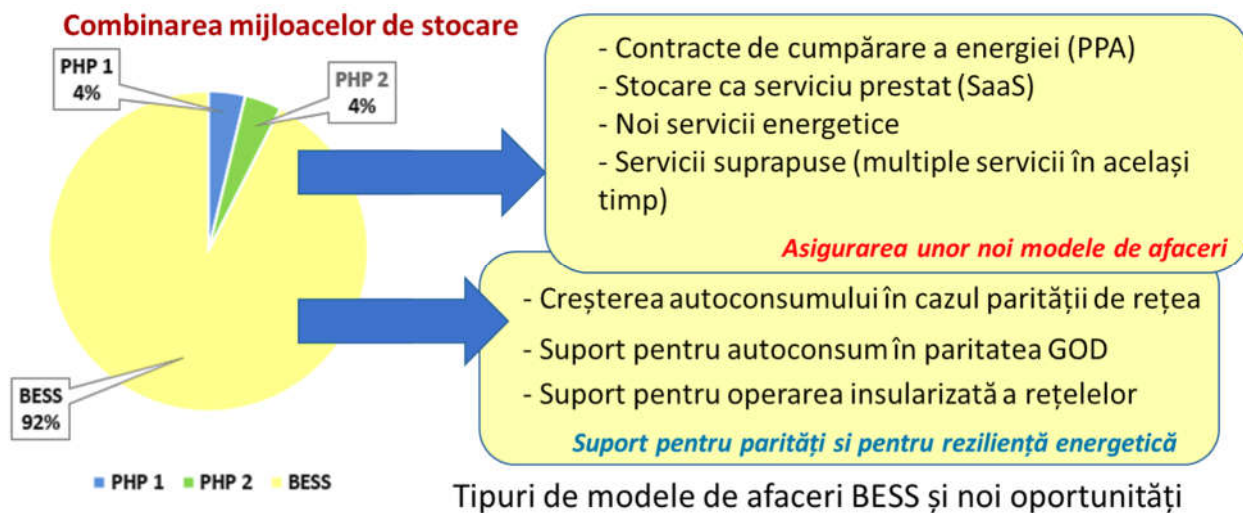
**Figura 3.** CAPEX și OPEX specifice BESS

Din teză s-a putut observa că datorită multiplelor avantaje ale BESS, acestea pot servi multe domenii și pot fi abordate prin diverse modele de afaceri. Sistematizarea din figura 4 a considerat două domenii:

- a) BESS sprijinite de noi modele de business, bazate pe PPA, SaaS și noi servicii, concomitent cu posibilitatea de a realiza și servicii cum ar fi echilibrarea și control frecvență-

putere;

b) BESS care să sprijine autoconsumul pentru situații de viitor în care se obține paritatea de rețea și pentru a permite operarea rețelelor *în regim insularizat*, unde acestea sunt dispozitive strict necesare.



**Figura 4.** Combinarea diverselor mijloace de stocare

Trebuie menționat și faptul că ultimele categorii urmăresc să rezolve o valoare importantă promovată în ultimul timp în energetică - reziliența prosumatorilor și a comunităților energetice sustenabile, atât în mediul urban (conceptele de tip smart city), cât și în zonele rurale.

În teză au fost investigate modele de afaceri corespunzătoare, fiind prezentate câteva elemente de evaluare a situațiilor specifice PPA și SaaS. S-au analizat situații particulare, cum ar fi paritatea de rețea, paritatea GOD (costul energiei produse local egal cu costul transportului celei produse la distanță) și operarea insularizată. În plus, o analiză generală simplificată a fost făcută privind necesarul BESS, prin utilizarea unor date de intrare specifice Republicii Moldova.

În concluzie s-a arătat că este necesară o cotă ridicată de BESS pentru a acoperi necesarul de stocare al Republicii Moldova, ținând cont de faptul că CHEAP au, atât limitări de tip geografic, cât și o dificultate în a respecta restricțiile de timp date de țintele anului 2030. În perspectiva viitorului pe termen lung hidrogenul verde și noi descoperiri în domeniul stocării pot face ca foaia de parcurs către neutralitatea față de emisiile de carbon să devină și mai fezabilă, în timp util.

Fiecare capitol al lucrării se încheie cu prezentarea concluziilor de bază și evidențierea principalelor rezultate obținute. Teza se finalizează cu prezentarea concluziilor generale și recomandări de dezvoltare în viitor.

### III. CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

1. Adoptarea unor măsuri ambițioase la nivel mondial cu privire la combaterea schimbărilor climatice va genera beneficii cu privire la scăderea importurilor de combustibili fosili și ameliorarea calității aerului și a sănătății publice.

2. Evoluția cotei SRE reprezintă un subiect de o importanță majoră nu doar pentru Republica Moldova, cât și un angajament față de partenerii externi și, în special o responsabilitate față de generațiile viitoare. Rezultatele studiului de cercetare arată faptul că tranziția energetică va avea un impact incontestabil asupra economiei și securității energetice ale Republicii Moldova.

3. În cazul Republicii Moldova a fost utilizat programul de modelare TIMES ce permite discretizarea duratei de studiu analizată în mai multe perioade și respectiv atribuirea diferitor rate de creștere și a elasticității pentru factorii care determină cererea viitoare de energie. Scenariile elaborate vor servi pentru întocmirea Planului național integrat în domeniul energiei și schimbărilor climatice 2021-2030, precum și actualizarea Strategiei energetice a Republicii Moldova până în anul 2030.

4. Un aport important la asigurarea unui nivel înalt de penetrare a SRE-V îl au măsurile și soluțiile de flexibilitate. Creșterea ponderii surselor regenerabile intermitente de energie determină necesitatea dezvoltării interconectărilor, a sistemelor de stocare de energie, a surselor de generare flexibilă, a promovării răspunsului la cerere (demand response), precum și a unor instrumente avansate de operare a sistemului.

5. În acest context, s-a propus pentru Republica Moldova o foaie de parcurs cu 12 elemente conceptuale ce pot sta la baza politicilor naționale în Republica Moldova cu dezvoltare în perspectivă pe termen lung în Strategia Energetică către anul 2050.

6. Vehiculele electrice sunt importante în cadrul viitorului sistem energetic. Fiecare din aspectele menționate în lucrare necesită o analiză mai detaliată, care s-a realizat, în linii mari, în perspectiva unei introduceri gradate a VE în parcul de automobile al Republicii Moldova. Astfel, pentru o pătrundere mică a VE efectul în consumul de energie la nivel de țară este la rândul său mic (doar 7.6% pentru o pondere de 30% în VE), în situațiile unei largi adoptări a noului tip de vehicul, situații caracterizate prin rate mari de pătrundere ( $\geq 70\%$ ), consumul național crește cu 17 până la 25%.

7. S-a determinat necesarul de centrale fotovoltaice în Republica Moldova în mod simplificat pe baza calculelor efectuate. S-a extins analiza inițială făcută pentru 30% respectiv 50% acoperire, cu valori ale capacității necesare în centrale electrice fotovoltaice (CEF) care să acopere între 30% și 100% din consumul anual al țării. S-a demonstrat faptul că dacă în mod ipotetic se



acoperă chiar și 100% din consumul țării cu energie produsă de CEF, puterea ce este necesar a fi instalată este de 5.74 GW, care reprezintă doar 0.8% din suprafața agricolă a RM.

8. În acest sens, s-a propus abordarea unui nou domeniu de dezvoltare durabilă, cel al împlinirii armonioase a agriculturii cu centralele fotovoltaice, adică realizarea unei dezvoltări „agro-fotovoltaice” la nivel de țară. Un astfel de concept este extrem de propice unei țări ca RM, caracterizate prin activități importante legate de utilizarea terenurilor agricole, care pot să cunoască noi valențe ale potențialului lor de sprijinire a unei societăți ce poate păstra în mod sustenabil și durabil activități tradiționale. În unul din subcapitole, dedicat obiectivelor principale de promovare în RM, a soluțiilor agro-fotovoltaice și CEF flotante sunt listate în mod explicit.

9. Problema determinării consumului total de căldură în profil teritorial în țară este abordată pentru prima dată. S-a determinat consumul total de energie termică în profil teritorial și pe medii de reședință (urban, rural) pentru anul de referință. S-a dedus din consumul total - consumul de căldură, aferent sectorului rezidențial rural – ca sector nefezabil pentru promovarea cogenerării; consumul existent util de căldură, deja acoperit de surse de cogenerare.

10. A fost determinată cota optimă economică a cogenerării pentru cele trei zone de dezvoltare a țării – Nord, Centru și Sud și caracteristica generalizată a parcului de instalații de cogenerare ce ar putea fi promovate în țară cu determinarea indicelui mediu de cogenerare. În final a fost determinat potențialul de cogenerare la nivelul consumurilor anului de referință (2018), precum și potențialul existent pentru cogenerarea adițională către anul 2025: puterea electrică nominală a instalațiilor de cogenerare,  $MW_e$ , care constituie 647 MW.

11. Una din principalele măsuri de creștere a flexibilității sistemului electroenergetic, bazat pe utilizarea surselor regenerabile variabile prezintă electrificarea consumului casnic rural. Astfel, consumul casnic rural de căldură (energie utilă) în țară la nivelul anului de referință (2018), destinat electrificării s-a calculat și reprezintă  $P_{ms} = 862 \text{ MW}$ .

12. Pentru prima dată a fost realizat studiul cu privire la edificarea centralelor hidroelectrice cu acumulare prin pompare pe teritoriul Republicii Moldova ca stocare a energiei la scară largă. În urma studiului realizat, s-au identificat amplasamente posibile a unor CHEAP-MD de-a lungul râului Nistru în Republica Moldova și s-a calculat fezabilitatea economico-financiară a unui proiect de edificare a unei noi CHEAP ce s-a determinat în baza evaluării venitului net actualizat. Studiul realizat demonstrează atractivitatea implementării proiectelor consacrate CHEAP.

13. Elemente ale unei foi de parcurs prezentate către un sistem electroenergetic cu largă penetrare a surselor regenerabile necesită o flexibilitate ridicată în sistemul electroenergetic, prin utilizarea diferitelor tehnologii de stocare. Studiile anterioare referitoare la CHEAP au fost utilizate ca bază de plecare, care este comparată și combinată cu tehnologii BESS.

14. S-au prezentat câteva soluții de utilizare combinată a CHEAP și BESS. S-a constatat că cele mai atractive aspecte ale CHEAP-urilor sunt prețul specific de instalare de valoare medie, perioada lungă de operare, favorizând, în consecință, prețul redus al serviciilor de stocare. Pe de altă parte, BESS prezintă multe avantaje privind flexibilitatea, care le permit utilizarea pentru scopuri multiple, ce includ servicii emergente.

15. S-au investigat modele de afaceri corespunzătoare, fiind totodată prezentate câteva elemente necesare pentru evaluarea situațiilor specifice PPA și SaaS. Au fost analizate situații particulare, cum ar fi paritatea de rețea și paritatea GOD, precum și operarea insularizată, privite din perspectiva BESS. În plus, o analiză generală simplificată a fost făcută în legătură cu necesarul de BESS, prin utilizarea unor date de intrare specifice Republicii Moldova.

16. S-a luat în considerare o diversitate de posibile dezvoltări, care să satisfacă necesarul de flexibilitate pentru o largă penetrare SRE. Nu există deci un model unic pentru introducerea BESS, ci o paletă de diverse modele de afaceri și de oportunități ce trebuie investigate în lucrări viitoare.

17. Totodată, hidrogenul verde și noi descoperiri în domeniul stocării vor face ca foaia de parcurs către neutralitatea față de emisiile de carbon să devină și mai fezabilă, pentru a sprijini în timp util efortul general de decarbonare.

**Direcții și obiective de cercetare pentru viitor.** Pentru atingerea ambițioaselor țeluri ale unui domeniu energetic decarbonat este necesară o foaie de parcurs detaliată. Direcții viitoare de studiu urmează să analizeze în detaliu diversele provocări legate de aceste țeluri și să adauge mai multe elemente concrete legate de necesarul de flexibilitate. Va trebui evaluată flexibilitatea din perspectiva diverselor riscuri, cum ar fi cele legate de incapacitatea pieței de a asigura nivelul necesar de flexibilitate, sau cele legate de evoluția condițiilor de vreme extremă cu toate erorile de prognoză asociate. Este necesară, de asemenea, realizarea unei analize privind asigurarea și menținerea securității energetice a Republicii Moldova, precum și o analiză detaliată a introducerii pe scară largă a CEE (inclusiv prin soluții agro-fotovoltaice) - ca SRE pe care s-a focalizat în mod special lucrarea, a mixului optim de CEE și CEF - care să complementeze studiile existente legate de CEF. De asemenea, se consideră în viitor detalierea celor mai potrivite tehnologii de stocare a energiei electrice, în condițiile unor modele de afaceri adecvate, combinate cu obținerea și utilizarea hidrogenului verde în paradigma neutralității față de carbon.

#### IV. LISTA LUCRĂRILOR PUBLICATE LA TEMA TEZE

*Cărți de specialitate:*

1. **Cristina EFREMOV**, Vasile LEU, **„EFICIENȚA ENERGETICĂ”**. CULEGERE DE PROBLEME. Seria „Exerciții și probleme. Editura A.G.I.R. (Editură recunoscută de CNCISIS), București 2021. Data publicării: 21.04.2021. 196 p. ISBN: 9789737208415.

*Articole în reviste științifice de circulație internațională:*

2. **Cristina EFREMOV** „*PROVIDING GREATER FLEXIBILITY FOR HIGH PENETRATION RENEWABLE INTEGRATION*”, Quarterly publication of Romanian National Committee of World Energy Council (WEC/RNC) and The General Association of Engineers in Romania (**AGIR**) – **EMERG 2** (Energy, Environment, Efficiency, Resources, Globalization, Volume 7) – ISSN 2668-7003, ISSN 2457-L5011; An V / 2021 – p.p. 109-128. DOI: 10.37410/EMERG.2021.2.1. <https://emerg.ro/files/providing-greater-flexibility-for-high-penetration-renewable-integration/>
3. **Cristina EFREMOV** „*CHALLENGES OF THE ENERGY TRANSITION IN MAINTAINING THE ENERGY SYSTEM SECURITY AND CONTINUITY*”. Quarterly publication of Romanian National Committee of World Energy Council (WEC/RNC) and The General Association of Engineers in Romania (**AGIR**) – **EMERG 10** (Energy, Environment, Efficiency, Resources, Globalization, Volume 10) – ISSN 2457-5011; An V / 2019 – p.p. 43-55. [https://cnr-cme.ro/wp-content/uploads/2019/11/EMERG-10-corectat-13.11\\_compressed.pdf](https://cnr-cme.ro/wp-content/uploads/2019/11/EMERG-10-corectat-13.11_compressed.pdf)
4. **EFREMOV C.**, ARION V., SĂNDULEAC M. „*SHORT TERM DAILY STORAGE NEED ASSESSMENT FOR A LARGE PV DEPLOYMENT SCENARIO - PRELIMINARY CASE STUDY FOR REPUBLIC OF MOLDOVA*”. 2021 10th International Conference on ENERGY and ENVIRONMENT (CIEM), 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/CIEM52821.2021.9614898. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9614898>
5. **EFREMOV C.**, LEU V., SĂNDULEAC M., „*INCREASING SYSTEM FLEXIBILITY THROUGH A COMBINATION OF PUMPED-HYDRO AND BATTERY-STORAGE SYSTEMS. PRELIMINARY CASE STUDY FOR REPUBLIC OF MOLDOVA*”. 2021 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN), 2021, pp. 237-242, doi: 10.1109/SIELMEN53755.2021.9600386. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9600386>
6. ARION V., **EFREMOV C.** „*PUMPED-STORAGE HYDRO POWER PLANTS IN MOLDOVA: BENEFITS FOR GRID RELIABILITY AND INTEGRATION OF VARIABLE*

- RENEWABLES*". In: Journal of Engineering Science. 2020, Vol. 27(3), pp. 76-89. ISSN 2587-3474. ISSN 2587-3482. (Categoria B+). [https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag\\_file/JES-2020-3\\_76-89.pdf](https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/JES-2020-3_76-89.pdf)
7. Valentin ARION, **Cristina EFREMOV** „*Energy Transition - Advantages and Challenges for the Republic of Moldova*”, 2019 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN), 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/SIELMEN.2019.8905854. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8905854>
  8. **Valentin ARION, Cristina EFREMOV**; „*INCREASING FLEXIBILITY OF THE NATIONAL ENERGY SYSTEM BY BUILDING UP HYDRO PUMPED STORAGE PLANTS*”, Quarterly publication of Romanian National Committee of World Energy Council (WEC/RNC) and The General Association of Engineers in Romania (**AGIR**) – **EMERG 3** (Energy, Environment, Efficiency, Resources, Globalization, Volume VII, Issue 3) – ISSN 2668-7003, ISSN-L 2457-5011; An V / 2021 – p.p. 48-61. DOI: 10.37410/EMERG.2021.2.1. <https://emerg.ro/files/increasing-flexibility-of-the-national-energy-system-by-building-up-hydro-pumped-storage-plants/>
  9. ARION V., **EFREMOV C.**, ZĂNOAGĂ I., MÎȚA V., TUMURUC D., BALAN M. „*DETERMINAREA CONSUMULUI DE CĂLDURĂ ÎN ȚARĂ ÎN PROFIL TERITORIAL*”. Quarterly publication of Romanian National Committee of World Energy Council (WEC/RNC) and The General Association of Engineers in Romania (**AGIR**) – **EMERG 4** (Energy, Environment, Efficiency, Resources, Globalization, Volume VII, Issue 4) – ISSN 2668-70XX, ISSN-L 2457-50XX; An V / 2021 – p.p. 16. DOI: 10.XXXXXX/EMERG.2021.2.1.
  10. ERMURATSCHII V., EREMENCOV N., **EFREMOV C.**, *CALCULATION OF ECONOMICALLY OPTIMAL HEAT TRANSFER COEFFICIENT FOR FENCING ELEMENTS OF BUILDINGS WITH RENEWABLE ENERGY (RE) HEAT SUPPLY*, Conferința Internațională “Energetica Moldovei- 2016”, 29 sept. 2016, IE AȘM, Chișinău, p.524-532. ISBN 978-9975-4123-5-3, 0.85 c.t.

*Articole în reviste științifice de circulație națională:*

11. **Cristina EFREMOV** „*TRANZIȚIA ENERGETICĂ ȘI PRINCIPALELE PROVOCĂRI PENTRU REPUBLICA MOLDOVA*”, Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților UTM, 2019, p.79-82. ISBN 978-9975-45-588-6. [http://cris.utm.md/bitstream/5014/237/1/79-82\\_13.pdf](http://cris.utm.md/bitstream/5014/237/1/79-82_13.pdf)

12. **Cristina EFREMOV**, „*DEZVOLTAREA STRUCTURILOR CENTRALIZATE PENTRU O TRANZIȚIE ENERGETICĂ SUSTENABILĂ*”. Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților UTM, 2021, p.79-82. ISBN 978-9975-45-588-6. <https://utm.md/wp-content/uploads/2021/06/Culegere-Vol-I-Conf-tinerilor-UTM-2021.pdf>

*Participări cu rapoarte la foruri științifice naționale și internaționale:*

13. Constantin BOROSAN, **Cristina EFREMOV**, „*MODELLING OF THE NATIONAL ENERGY SYSTEM DEVELOPMENT SCENARIOS IN THE GLOBAL ENERGY TRANSITION CONTEXT*”, WEC Central & Eastern Europe Regional Energy Forum – FOREN 2020, Romania, 15 p. ID65.
14. ERMURATSCHII V., EREMENCOV N., **EFREMOV C.**, *PARAMETRIC STUDY ON THE CHARACTERISTICS OF A SEISMIC BASE ISOLATED BUILDING WITH AIR SOLAR HEATING SYSTEM*, Conf. Inter. “Energetica Moldovei- 2016”, 29 sept. 2016, IE AȘM, Chișinău, p.516-523. ISBN 978-9975-4123-5-3, 0.85 c.t.

## ADNOTARE

**Autor** – EFREMOV Cristina. **Titlul** – *Contribuții la majorarea flexibilității sistemului energetic în vederea integrării surselor de energie regenerabilă*. Teză de doctor în vederea conferirii titlului științific de doctor în științe tehnice la specialitatea 221.01. *Sisteme și tehnologii energetice*. Chișinău 2021.

**Structura lucrării:** Lucrarea conține o introducere, patru capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie din 291 titluri și include 7 anexe, 151 pagini, 52 figuri, 19 tabele. Rezultatele obținute sunt publicate în 14 lucrări. **Cuvinte cheie:** flexibilitate, surse regenerabile de energie, tranziția energetică, stocarea energiei, foaie de parcurs, cogenerare, intermitență, consum de energie termică în profil teritorial. **Domeniul de studiu** – științe tehnice.

**Scopul tezei** constă în identificarea și analiza unui pachet de măsuri/acțiuni de creștere pe termen lung a flexibilității sistemelor electroenergetic și termoeenergetic naționale în vederea asigurării tranziției către 100% energie din surse regenerabile. **Obiectivele lucrării:** Studiarea unui șir de tehnologii inovative cu aport la creșterea flexibilității sistemului, cu evaluarea potențialului de creștere a capacităților SER aplicată atât în sistemul electroenergetic, cât și în sistemul termoeenergetic național, cu analiza posibilităților de stocare, atât a energiei termice, cât și a energiei electrice.

**Noutatea și originalitatea științifică a lucrării.** Dezvoltarea elementelor teoretico-metodologice de implementare a măsurilor de creștere a flexibilității adaptate la nivelul și specificul Republicii Moldova.

**Rezultatul obținut** care aduce o contribuție cu caracter științifico-practic la soluționarea problemei intermitenței SER prin majorarea flexibilității sistemului energetic. **Importanța teoretică.** Teza aduce contribuții științifice în identificarea celor mai eficiente soluții distribuite de creștere a flexibilității principalelor elemente ale sistemului energetic național în vederea integrării unor capacități de producție cât mai înalte ale surselor regenerabile. **Valoarea aplicativă a lucrării.** În lucrare a fost elaborată o foaie de parcurs cu 12 elemente conceptuale ce pot sta la baza politicilor naționale în Republica Moldova cu dezvoltare pe termen lung în Strategia Energetică, în perspectiva anului 2050; a fost abordată pentru prima dată problema determinării consumului total de căldură în profil teritorial în țară; a fost analizată situația specifică unei largi penetrări a centralelor fotovoltaice în sistemul energetic al RM; au fost edificate centrale hidroelectrice cu acumulare prin pompare (CHEAP), precum și investigate soluții de utilizare combinată a CHEAP și BESS.

**Implementarea rezultatelor științifice.** În cadrul Ministerului Infrastructurii și Dezvoltării Regionale a fost elaborat studiul cu privire la potențialul de cogenerare a energiei și de electrificare a sectorului încălzire. Rezultatele importante din lucrare vor fi utilizate în procesul didactic la Facultatea Energetică și Inginerie Electrică, precum și în acțiunile de proiectare-dezvoltare în domeniu.

## SUMMARY

**Author** – EFREMOV Cristina. **Title** – *Contributions to increase the flexibility of the energy system in order to integrate renewable energy sources*. Doctoral thesis for PhD qualification in technical sciences, 221.01. *Energy systems and technologies* specialty. 2021 Chisinau.

**Thesis structure:** The paper comprises an introduction, four chapters, general conclusions and recommendations, 291 references, 7 annexes, 151 pages, 52 figures, 19 tables. The results are published in 14 scientific papers.

**Keywords:** flexibility, renewable energy sources, energy transition, energy storage, roadmap, cogeneration, variability, thermal energy consumption in territorial profile. Field of study – technical sciences.

**The purpose of the thesis** is to identify and analyze a package of measures / actions to increase the flexibility of the national electricity system and the thermal energy systems in the long-term perspective in order to ensure the transition to 100% energy from renewable sources.

**Objectives of the paper:** Studying a series of innovative technologies with the contribution to increase the system flexibility, with the evaluation of the potential for increasing RES capacities, the analysis of storage possibilities applied in the both systems: electrical and thermal,

**The novelty and scientific originality.** Development of theoretical-methodological elements for implementing measures to increase flexibility adapted to the level and specificity of the Republic of Moldova.

**The result obtained** that brings a scientific-practical contribution in solving the problem of the variability RES by increasing the flexibility of the energy system.

**Theoretical value.** The thesis brings scientific contributions in identifying the most efficient distributed solutions to increase the flexibility of the main elements of the national energy system in order to integrate the highest possible production capacities of the renewable energy sources.

**The applicative value of the thesis.** The paper developed a roadmap with 12 conceptual elements that can form the basis of the national policies in the Republic of Moldova with long-term development in the Energy Strategy, in the perspective of 2050; was addressed for the first time the issue of determining the total territorial heat consumption in the country; was analyzed the specific situation according to a wide penetration of photovoltaic power plants in the energy system of the Republic of Moldova; building of pumped storage hydro power plants (CHEAP), as well as investigation of the solutions for the combined use of CHEAP and BESS.

**Implementation of research results.** The study on the potential of energy cogeneration and electrification of the heating sector was developed within the Ministry of Infrastructure and Regional Development. The important results of the paper will be used in the teaching process at the Faculty of Energy and Electrical Engineering, as well as in the design-development actions in the field.

## АННОТАЦИЯ

**Автор** - ЕФРЕМОВ Кристина. **Название** – „Вклад в повышение гибкости энергетической системы с целью интеграции возобновляемых источников энергии”. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 221.01. *Энергетические системы и технологии*. Кишинев 2021.

**Структура работы:** Работа содержит введение, четыре главы, общие выводы и рекомендации, библиографию из 291 наименований и включает 7 приложений, 151 страницы, 52 рисунков, 19 таблиц. Результаты опубликованы в 14 работах. **Ключевые слова:** гибкость, возобновляемые источники энергии, энергетический переход, хранение энергии, дорожная карта, когенерация, прерывистость, потребление тепла в территориальном профиле. **Область изучения** - технические науки.

**Целью диссертации** является определение и анализ пакета мер/действий по повышению долгосрочной гибкости национальных систем электро- и теплоэнергетики для обеспечения перехода на 100% возобновляемую энергию. **Цели работы:** изучить ряд инновационных технологий, способствующих повышению гибкости системы, с оценкой потенциала увеличения мощностей ВИЭ, применяемых как в национальной электроэнергетической системе, так и в теплоэнергетической системе, с анализом возможностей хранения как тепловой, так и электрической энергии.

**Новизна и научная оригинальность работы.** Разработка теоретических и методологических элементов для внедрения мер по повышению гибкости, адаптированных к уровню и специфике Республики Молдова.

**Полученный результат** вносит научно-практический вклад в решение проблемы прерывистости ВИЭ путем повышения гибкости энергосистемы.

**Теоретическая значимость.** Диссертация вносит научный вклад в определение наиболее эффективных распределенных решений для повышения гибкости основных элементов национальной энергетической системы с целью интеграции максимально возможных производственных мощностей возобновляемых источников.

**Прикладная ценность работы.** В диссертации разработана дорожная карта с 12 концептуальными элементами, которые могут лечь в основу национальной политики Республики Молдова с долгосрочным развитием в Энергетической стратегии в перспективе до 2050 года; впервые рассмотрена проблема определения общего потребления тепла в территориальном разрезе в стране; проанализирована конкретная ситуация широкого проникновения фотоэлектрических станций в энергетическую систему Республики Молдова; построены Гидроаккумулирующие электростанции (СНЕАР), а также исследованы решения комбинированного использования СНЕАР и BESS.

**Implementarea rezultatelor științifice.** În cadrul Ministerului Infrastructurii și Dezvoltării Regionale a fost elaborat studiul cu privire la potențialul de cogenerare a energiei și de electrificare a sectorului încălzire. Rezultatele importante din lucrare vor fi utilizate în procesul didactic la Facultatea Energetică și Inginerie Electrică.

**Внедрение научных результатов.** В Министерстве инфраструктуры и регионального развития было разработано исследование потенциала когенерации энергии и электрификации сектора отопления. Важные результаты работы будут использованы в учебном процессе на факультете энергетики и электротехники, а также в проектно-конструкторских работах в данной области.



**EFREMOV CRISTINA**

**CONTRIBUȚII LA MAJORAREA FLEXIBILITĂȚII  
SISTEMULUI ENERGETIC ÎN VEDEREA INTEGRĂRII  
SURSELOR DE ENERGIE REGENERABILĂ**

**221.01. SISTEME ȘI TEHNOLOGII ENERGETICE**

Rezumatul tezei de doctor în științe inginerești

---

Aprobat spre tipar: *data*  
Hârtie ofset. Tipar ofset.  
Coli de tipar.: ...

Formatul hârtiei 60x84 1/16  
Tiraj ... ex...  
Comanda nr. ....

---

U.T.M., 2021, Chișinău, bd. Ștefan cel Mare, 168.  
Secția redactare și Editare a U.T.M.  
2068, Chișinău, str. Studenților 9/9

© U.T.M., 2021