SISTEMELE DE STOCARE A ENERGIEI, O SOLUŢIE PENTRU OPTIMIZAREA FUNCŢIONĂRII REŢELELOR ELECTRICE LA CARE SUNT RACORDATE SURSE REGENERABILE INTERMITENTE

Florin Teodor TĂNĂSESCU[1,2]

[1]Vicepreşedinte al Academiei de Ştiinţe Tehnice din România
[2]Universitatea "Politehnica" din Bucureşti

Rezumat O restricţie întâlnită în producerea de energie electrică se datorează faptului că energia electrică trebuie consumată atunci când se generează şi nu poate fi conservată decât prin stocarea ei. Sunt prezentate diversele soluţii de stocare, avantajele şi dezavantajele lor, tendinţele, insistând asupra unei probleme de actualitate: integrarea surselor intermitente de energie: soare–vânt–hidro şi acumularea energiei în câteva Sisteme de Stocare a Energiei (SSE) apreciate de autor a fi utile şi posibil de dezvoltat în România. Recomandarea pentru dezvoltarea unui anumit SSE se face de către autor ţinând seama de densităţile de energie şi putere asigurate, cicluri de viaţă, timp de încărcare/descărcare, costuri, funcţii la care aceste sisteme de stocare pot răspunde la cerinţele reţelei electrice, articolul comunicând sintetic date şi informaţii utile pentru dezvoltarea unui sistem de stocare. Se prezintă in finalul lucrării, o "foaie de parcurs" (road map) şi paşii de urmat în dezvoltarea unui Sistem de Stocare a Energiei (SSE).
Cuvinte cheie: stocare energie; integrare surse intermitente; sisteme de stocare; "foaie de parcurs".

1. STOCAREA ENERGIEI FENOMEN ŞI RĂSPUNS LA CERINŢELE UNEI REŢELE ELECTRICE

Un Sistem de Stocare a Energiei (SSE) poate fi realizat apelând la numeroase tehnologii de stocare, succesul unui proiect depinzând de alegerea celei mai potrivite soluţii care trebuie să asigure atât performanţele tehnice optime în raport cu aplicaţia cât şi performanţele economice traduse prin doi indicatori esenţiali: costurile de instalare ($/MW) şi costul MWh livrat ($/MWh).

Aceste Sisteme de Stocare a Energiei (SSE) – numeroase şi apelând la cunoştinţe din diverse domenii ale tehnicii- au la bază principii de conversie cu caracter ***mecanic***: Sisteme de pompaj hidro (Pomped Hydro – PHS), Stocare în aer comprimat (Compressed Air Energy-CAES), Volanţi (Flywheel – FES), ***electrochimic Pb-acid*** (Lead Acid–LA), Nickel Cadmiu – NiCd, Lithium Ion – Li Ion, Sodium Sulfur – NaS, ZEBRA – NaNiCl, Vanadium Redox-VRB, Zinc Bromine – ZnBr, ***chimic***: Hydrogen – H, ***electromagnetic şi termic***: capacitor dublu strat (Double Layer Capacitor –DLC), stocare magneţi supraconductori (Superconducting Magnetic Coil-SMES), săruri topite (Molten Salt–MS). Ele se află astăzi în diverse faze de maturitate. /1-5/

In tendinţele semnalate recent de Power & Energy privind The Grid Of the Future /6/, se prognozează că stoacarea poate deveni o soluţie alternativă care să ofere rezolvări pentru viitor: "Storage can be an alternative for frequency regulations or short term reserves" iar stocarea energiei disponibilă în parcurile solar/eoliene va deveni o componentă obligatorie a viitoarelor dezvoltări.

Varietatea situaţiilor la care un SSE poate interveni eficient într-o reţea este numeroasă, dar important de semnalat este faptul că eficienţa tehnico/economică al acestora, nu este aceeaşi pentru toate aplicaţiile, minimizarea celor 2 parametri: costul MW instalat şi costul MWh livrat, fiind esenţială !

Problemele cu care se confruntă astăzi reţelele electrice –în faza de dezvoltare SMART GRID pe care o parcurgem– sunt numeroase, iar Sistemele de Stocare a Energiei (SSE) pot oferi în mod sigur şi economic, răspuns la unele din ele /6, 7/, menţionând în cele ce urmează o serie de posibilităţi:

- pornirea echipamentelor după defect asigurând fără a apela la reţea pentru energia necesară (cazuri de black out, black start);

- stocarea energiei în perioada de gol de sarcină şi preţuri mici şi restituirea la consumator în perioadele de vârf şi cost mai ridicat;
- asigură datorită electronicii de putere asociată, controlul şi variaţia rapidă a puterii active şi reactive, menţinând parametrii optimi ai reţelei;
- reducerea nevoii de a prevedea unităţi convenţionale, SSE asigurând funcţia de "spinning reserve";
- stabilitatea sistemului, prin amortizarea variaţiei puterii şi frecvenţei;
- asigurarea rapidă prin energia stocată, la cereri suplimentare solicitate de consumer;
- integrarea surselor intermitente în reţea soare, vânt, hidro -dependente de vreme-, stocarea energiei când timpul o permite şi restituirea ei atunci când este necesar a fi livrată;
- stocarea excesului de energie în cazul unor condiţii meteo favorabile, în condiţiile în care nu există cereri şi eficientizarea unor parcuri eoliene, fotovoltaice.

2. SISTEME DE STOCARE A ENERGIEI (SSE). PRINCIPII ŞI STADIUL DE APLICARE

Energiile stocate şi timpul în care acestea pot fi restituite la cerere, costul aplicaţiei si reglementaile sunt factori de care trebuie ţinut seama atunci când se intenţionează dezvoltarea unui SSE. /8/

2.1. Densitate de putere şi energie

O comparaţie a densităţii de putere şi de energie asigurate de diverse surse de stocare este dată în figura 1.

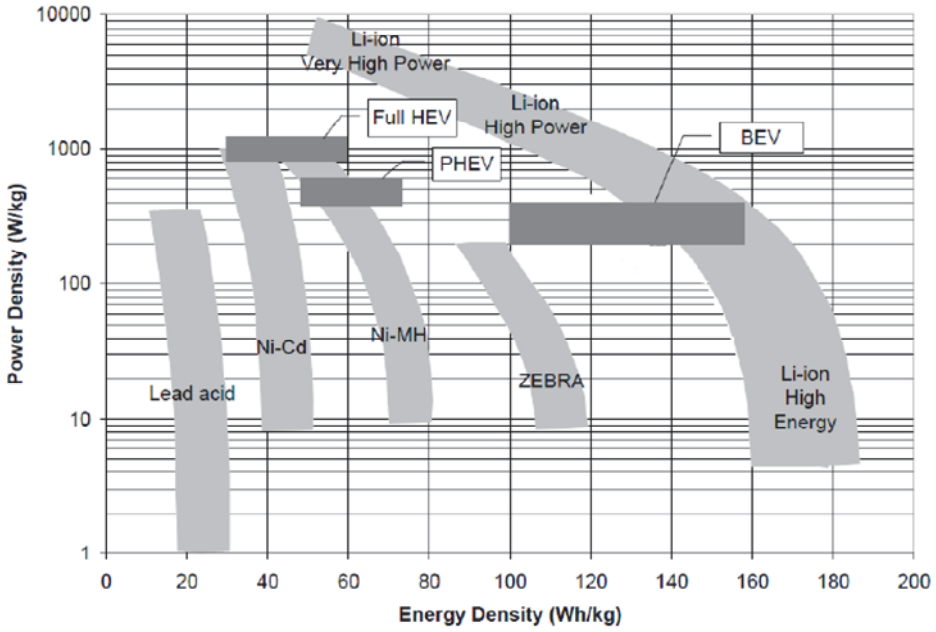


Fig. 1. Comparaţie a densităţilor de putere şi de energie ale sistemelor de stocare.

De remarcat modul în care diversele sisteme de stocare asigură puteri sau energii de stocare, sesizându-se varietatea posibilelor aplicaţii, chiar în cazul aceleiaşi familii. De remarcat perspectivele pe care le deschide familia Li Ion în viitor, în variantele energie mare sau putere mare. O întrebare importantă care se pune la dezvoltarea unui SSE este legată de o anumită opţiune, ce trebuie să fie aleasă: densitate de putere mare sau densitate de energie, întrucât din figură rezultă că există o mare diferenţiere a valorilor pe care acestea le pot avea şi că nu putem avea o sursă de stocare care să aibă în acelaşi timp şi putere şi energie mare, ci un compromis între acestea, lucru de cunoscut la dezvoltarea unui sistem.

2.2. Stadiul în care se găsesc diversele sisteme de stocare

Dacă teoretic puterile şi energiile asigurate de diversele SSE sunt cele date în figura 1, stadiul în care se găsesc acestea: mature–developed–in development şi gama de puteri în care acestea sunt validate în practică, se prezintă în figura 2.

*** la maturitate** au ajuns următoarele familii de SSE şi anume: - la puteri mici de stocare (Wat sute de Wat): NiCd, NiMeH, Li Ion; - la puteri medii–mari (kW–zeci de MW): LA, NaS, Zebra (NaNiCl) NiMeH, Supercapacitors, Li Ion, Volant; - la puteri mari (zeci deMW-sute MW): Pompaj–PHS şi Stocarea aer comprimat CAES;

*** dezvoltate şi în curs de maturizare** sunt acumulatoarele cu Li Ion staţionare şi bateriile cu circulaţie – Flow batteries (kW–MW);

*** în dezvoltare** există o explozie de dezvoltări tehnologice, aplicabile în toată gama de puteri: W–MW, vizând stocarea în H_2, acumulatoare Me-aer, stocare în aer comprimat–CAES adiabatic, Sintetic natural Gaz (SNG), supraconductoare-SMES (MW–GW).

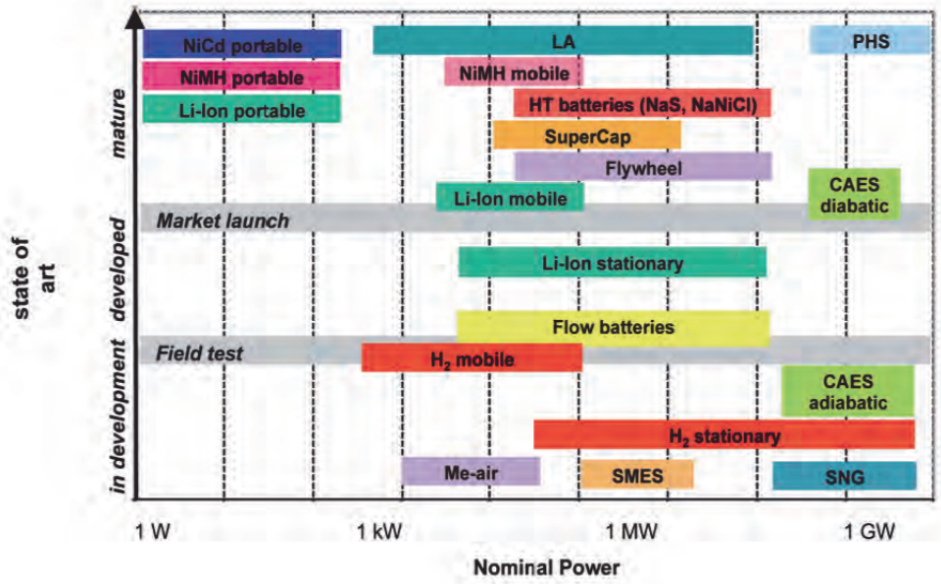


Fig. 2. Stadiul în care se găsesc diverse sisteme de stocare a energiei (După Fraunhofer).

2.3. Timpul de restituire a energiei

Timpul în care un SSE este capabil să furnizeze energia stocată, este un lucru important de care trebuie ţinut seama, el situându-se în cazul sistemelor studiate în gama: secunde–minute–ore–zile, de unde şi necesitatea alegerii unui sistem funcţie de o cerinţă a reţelei rezolvată prin cea mai potrivită alegere. O reprezentare intuitivă a timpului oferit de diverse sisteme este dată de CEI şi prezentă în figura 3.

Se observă din figura 3 că timpul de restituire variază de la secunde la minute, ore şi zile şi dimensionarea SSE trebuie făcută în strânsă legătură cu cerinţa care i se adresează pentru ca valoarea investiţiei să nu afecteze costul MWh livrat. Sunt de dorit realizarea unor capacităţi de stocare care să asigure restituiri de energie stocată în mod instantaneu sau în perioade lungi de timp, costuri de investiţii acceptabile pentru a nu influenţa în mod negativ costul MWh livrat de SSE.

O întrebare importantă care se pune la dezvoltarea unui SSE este legată de o anumită opţiune: Ce trebuie să aleg: putere maximă sau energie maximă ?

Restituirea energiei înmagazinate într-un anumit interval de timp este determinată de doi factori: densitatea de putere (kW/kg) şi densitatea de energie kWh/kg.

Densitatea de putere se referă la tehnologia cu care este realizat SSE; în general SSE cu densităţi de putere mare au densităţi de energie mici, descarcă energia în timpii scurţi.

Densitatea de energie ascunde un alt efect şi anume capacitatea SSE de a livra unui consumator şi în mod continuu, energia stocată, o perioadă lungă de timp (SSE cu densităţi de energie mari au densităţi de putere mici), descarcă energia stocată un timp lung, dar nu pot furniza **energii mari, în timp scurt.**

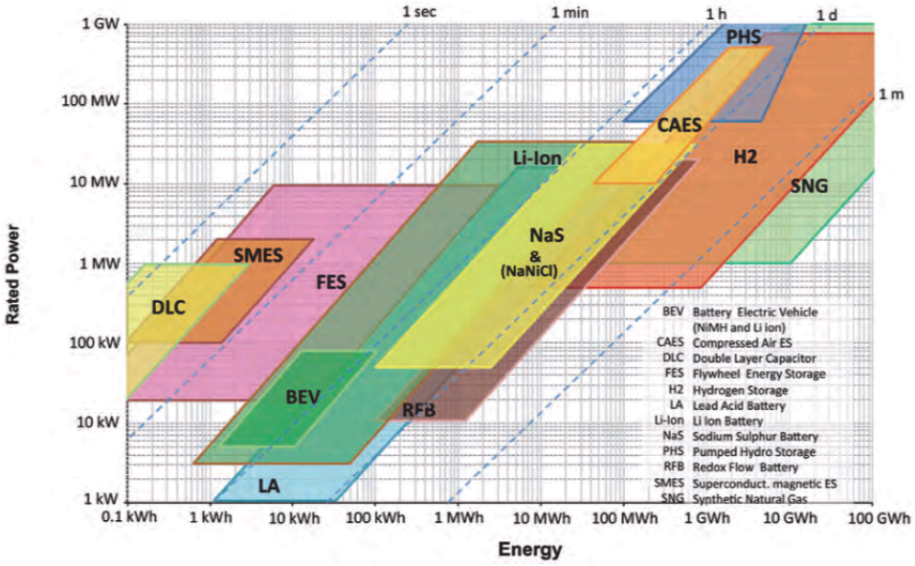


Fig. 3. Timpii în care poate fi restituită energia stocată
în diverse Sisteme de Stocare a Energiei /2/

Descărcarea pe termen scurt: energia stocată este dată consumatorului într-un interval de timp secunde/minute iar raportul energie/putere (kWh/kW) este mai mic ca 1. Echipamentele de stocare din această familie utilizează capacitori dublu strat (Double layer Capacitors-DLC) suparaconductoare (SMES), Flywheele FES–volanţi. Aceste sisteme sunt indicate pentru reglarea frecvenţei şi reduc impactul intermitenţei surselor regenerabile soare-vânt-hidro.

Descarcarea pe termen mediu: energia stocată este dată consumatorului într-un interval de timp minute/ore şi au raportul energie/putere (kWh/kW) între 1-10. Din această grupă fac parte sistemele care utilizează acumulatoarele cu Pb (LA, LA avanced), Li Ion, NaS, FES. Sistemele de acest tip sunt indicate pentru asigurarea calităţii energiei, echilibrarea energiei, stocare în perioade de gol şi restituire la vârf de cerere, transfer de sarcini.

Descarcarea pe termen mediu spre lung: energia stocată poate fi distribuită consumatorului în intervale de timp ore-zile şi au raportul energie/putere (kWh/kW) între 5–30. In această grupă intră stocajul prin pompaj hidro (PHS), stocarea prin aer comprimat (CAES), Baterii REDOX-RFGs. Ele răspund unor importante provocări legate de stocarea energiei în perioadele de gol de sarcină, operaţii time-shifting, incertitudini ale vremii, răspuns la incertitudini zilnice provocate de generatoarele eoliene sau PV, asigurarea unor vârfuri de sarcină.

2.4. Costul unui sistem de stocare a energiei

Dacă în privinţa avantajelor tehnice pe care le prezintă stocarea energiei, există o opinie unanimă privind utilitatea, în ceeace priveşte aspectul economic din datele comunicate de autori care au dezvoltat sisteme de stocare bazate pe diverse principii există o mare diversitate privind costul MW instalat şi al MWh stocat şi distribuit, datorat diversităţii aplicaţiilor , date insuficiente care să permită identificarea unor zone: generare, transport/distribuţie, utilizare, unde eficienţa este maximă.

Este evident că stocarea energiei costă şi ridică valoarea costului cu care -spre exemplu- o centrală hidro de pompaj livrează energia -comparativ cu o hidrocentrală convenţională- creind falsa ideie că nu justifică investitia intrucât costul MWh livrat este mai mare, deşi regimul de funcţionare ca centrală de vârf dă posibilitatea livrării la un preţ mai ridicat.

Costul unui Sistem de Stocare a Energiei este influenţat în principal de costul elementului de stocare (acumulator, volant, bazin hidro, etc.) şi al electronicii de putere. Cum electronica de putere integrată sistemului poate fi considerată apropiată ca preţ pentru o aceeaşi putere instalată, principala contribuţie la stabilirea costului unui kW, este dat de elementul de stocare, variabil datorită maturităţii comerciale pe care o prezintă. Dacă luăm acumulatoarele spre exemplu, costul kW poate varia în raport de până la 1/10 pentru diverse aplicaţii, datorită tipului şi stadiului de maturitate în care se

găseşte. Capitolul 2 a arătat eforturile de dezvoltare a unor noi sisteme şi al creşterii performanţelor tehnice, la care trebuie adăugat preocuparea de reducere a costului kW de acumulator.

Tabelul 1. **Costuri putere instalată ($/kW) şi energie stocată ($/kWh) la diferite sisteme de stocare, comunicate pentru sisteme demonstrative realizate în SUA (sinteza este făcută de autor)**

Sistem stocare	$ / kw instalat	$ / MWh instalat	Observatii
Pompaj hidro	5700 - 8100	160 – 230	Funcţie de putere, timp fct
Aer comprimat	4480 - 4950	120 – 220	Funcţie de timp fct, aplicații
Volant	4300	350	Reglaj frecvență, timpi scurți
Vanadiu - REDOX	6000 - 9100	430 – 810	În dexvoltare
REDOX – Fe Cr	3100 - 9200	150 - 250	Idem
Zn Br	3500 – 5750	200 – 890	Rezidenţial, în dezvoltare
Zn Aer	3200 - 3950	160 – 200	
Pb Acid	3600 - 9000	220 – 600	Serv. în centrală
Pb Acid	2500 – 6100	100 – 230	Reglarea frecvenţei
Pb Acid	4100 – 10800	300 – 1320	Aplicații în TD
Li Ion	2000 – 11 000	650 – 1150	Aplicații TD
Li Ion	5500 – 11 000	750 – 2100	Sisteme distribuție, aplicații
Li Ion	6500 – 24 000	700 – 2800	Aplicații comerciale şi industriale
Na S	5750 - 6580	260 – 294	Rezidențial, TD, comercial

- Sintetiza a fost realizată de autor după date comunicate de firme din SUA, 2013.
- Datele comunicate pot fi obţinute la date diferite, dar ele permit o evaluare calitativă a unor sisteme de stocare şi perspectiva lor.

Datele culese din literatura privind costul, reflectă tocmai această stare de pionierat în promovarea unor SSE, de unde şi valorile diferite comunicate la dezvoltarea unui anumit sistem de stocare care trebuie să includă cerinţele de bază ale compomentelor, puterea şi energia stocată, timpul de descărcare, lifetime, protocoalele de comunicaţie, securitate, cerinţe impuse de interconectare: calitatea energiei, toleranţele de tensiune şi frecvenţă, sincronizarea; ele permit insa calitativ sa se traga o concluzie asupra posibilităţilor actuale legate de un anumit SSE şi tendinţele viitoare care se prefigurează, direcţiile pe care se va acţiona.

Tabelul semnalează şi un alt element de luat în seamă: la ce trebuie să răspundă în mod optim SSE: reglaj de frecvenţă, calitate energie, servicii etc., managementul situaţiilor în care economic acţionează un SSE fiind important?

3. SISTEMUL DE STOCARE PRIN POMPAJ HIDRO ŞI CEL PRIN CONVERSIE ELECTROCHIMICĂ, DOUĂ OPŢIUNI PENTRU ROMÂNIA

In condiţiile dezvoltării unor parcuri solare şi eoliene în România care vor depăşi 4-5000MW şi interconectării lor în reţea, al posibilelor dezvoltări la unităţile nucleare 3 şi 4 şi al existenţei în viitor a unui surplus de energie care oferă un avantaj în schimburile pe piaţa europeană a energiei, stocarea trebuie să devină una din problemele importante în strategia energetică a ţării.

Urmare a analizei performanţelor pe care le asigură o instalaţie de stocare făcută în capitolul 2, pompajul Hidro şi stocarea în surse electrochimice, sunt cele mai apropiate sistemului energetic Românesc.

3.1. Pompajul hidro

Pompajul hidro reprezintă una din soluţiile care se bazează pe pomparea apei dintr-un bazin inferior în unul superior –utilizând energie ieftină din perioada golului de sarcină: noaptea, sfârşit de săptămână– şi restituind-o în perioadele de vârf de sarcină, la preţ superior.

România dispune de un mare potenţial hidro dependent în multe cazuri de vreme (lipsa de precipitaţii) sau solar-eolian, caracterizat prin intermitenţa cu care acţionează la interconectarea în reţea, încât stocarea energiei disponibile atunci când este în exces şi restituirea în reţea atunci când apare o cerere, devine o cerinţă importantă a unei Reţele Inteligente.

Dacă din punct de vedere tehnic nu există probleme care să împiedice promovarea tehnologiei, economic acestea apar datorită costurilor şi recuperării investiţiei, mai ales în cazul în care şi analizele economice nu ţin seama de factorii reali care dovedesc prin corecta practicare ca şi recuperarea investiţiei – se face după 30–40 de ani la o durată de viaţă de 80-100 ani – şi că sunt profitabile dacă managementul şi exploatarea sunt corespunzător făcute (Germania spre exemplu cumpără energie la sfârşit de săptămână şi noaptea la preţuri reduse şi o vinde la preţ de 8-10 ori mai mare în perioade de vârf).

În România, tocmai datorită unei insuficiente fundamentări economice, în neluarea în considerare a unor efecte secundare care ar reduce costul investiţiei: spre exemplu efectele pozitive financiare datorate regularizării unor cursuri de apă şi evitarea inundaţiilor, dezvoltarea de bazine agro energetice, sau al gândirii unui management optim al restituirii de energie la consumatori, se poartă numeroase discuţii dacă trebuie sau nu ca România să abordeze problema stocării energiei prin pompaj hidro.

România dezvoltă două proiecte în acest domeniu: Sistemul celor 5 hidrocentrale de pe Valea Oltului (finalizat în 2014) şi unul de perspectivă - Tarniţa - în faza de studiu şi opţiune de demarare, dat fiind valoarea evaluată la peste 1 mld Euro. /12-13/

Pompajul la HC de pe Olt a demarat în mai 2014 după o investiţie de cca. 400 mil. Euro în modernizarea celor 20 de grupuri din centralele Frunzaru, Ipoteşti, Drăgăneşti, Rusăneşti şi Izbiceni, preconizându-se obţinerea unei capacităţi de pompaj de cca. 200 MW. Meritorie, utilă şi justificată această experienţă, dar costul unui MWh livrat a rezultat este mai mare ca cel practicat (210 lei MWh faţă de 150).

Se pune la îndoială o soluţie tehnică validată în lume, fără ca înainte de asta să se spună de ce nu este rentabilă şi de ce la alţii este, cum este calculat costul, dacă s-a ţinut seama de avantajele indirecte (amenajări teritoriu, reglementări cursuri de apă şi refacerea pagubelor cauzate de inundaţii, irigarea a mii de ha de pământ, dacă anumite taxe incorecte luate în calcul la stabilirea preţului MWh nu viciază acest preţ , dacă taxa de cogenerare pentru energia necesară pompării apei este justificată, sau achitarea taxei de distribuţie şi transport pentru energia furnizată prin pompaj,.

Pentru a valorifica un sistem de stocare care este necesar sistemului energetic românesc şi a cărui validare tehnico-economică a fost făcută de multe ţări şi de mult timp, se impune o analiză atentă a celor mai potrivite situri în care să fie amplasate viitoarele centrale de pompaj – după unii autori în România ar fi necesare capacităţi de stocare de 2-3000 MW – o revizuire a schemelor financiare care stau la baza stabilirii costului MWh livrat, elaborarea unor scheme financiare care să stimuleze promovarea acestui sistem de stocare.

Elaborarea cât mai grabnică a acestei metodologii ar fi utilă şi în judecarea oportunităţii dezvoltării Centralei de pompaj de la Tarniţa – cca. 1000 MW – utilă în stocarea viitoarelor investiţii în solar, eolian şi nuclear, dar întârziată ca decizie de costul estimat – cca. 1,2 mld. Euro, a timpului de recuperare şi a costului MWh livrat. /12/

3.2. Sisteme de stocare prin filiera electrochimică. Opţiuni posibile pentru România

În România cu excepţia Sistemelor de Stocare a Energiei tip UPS (Uninteruptible Power Sources) cu elemente de stocare Pb Acid, NiCd şi realizate pentru stocări mici de energie apte să rezolve bună funcţionare a unor sisteme, nu există alte dezvoltări în acest domeniu, deşi creşterea ponderii energiilor debitate în reţea de sursele intermitente soare–vânt, o impun. Analiza făcută de autor asupra performanţelor şi stadiul în care s-a ajuns în dezvoltarea unor SSE, conduce la ideia că pe termen scurt–mediu, soluţiile accesibile României şi putând fi fundamentate economic pot fi în ordinea: PbAcid C, NaS şi Li Ion.

3.2.1. Stocare cu acumulatoare Pb Acid avansat

Cum acumulatorul Pb Acid a cunoscut în ultimii ani creşteri ale densităţilor de putere şi energie, al ciclui de viaţă mărită prin dezvoltarea acumulatorului PbAcid Carbon, la un cost net competitiv încă faţă de alte sisteme, el rămâne un concurent important în dezvoltarea sa datorită criteriului performanţă/cost. Faptul că are densităţi de energie şi de putere mai mici decât ale acumulatoarelor Li Ion şi al unor gabarite mai mari, Acumulatorul PbAcid se detaşează de toate celelalte tipuri prin cost – mult mai mic – şi prin maturitatea la care a ajuns. /14-15/. Dezvoltarea în

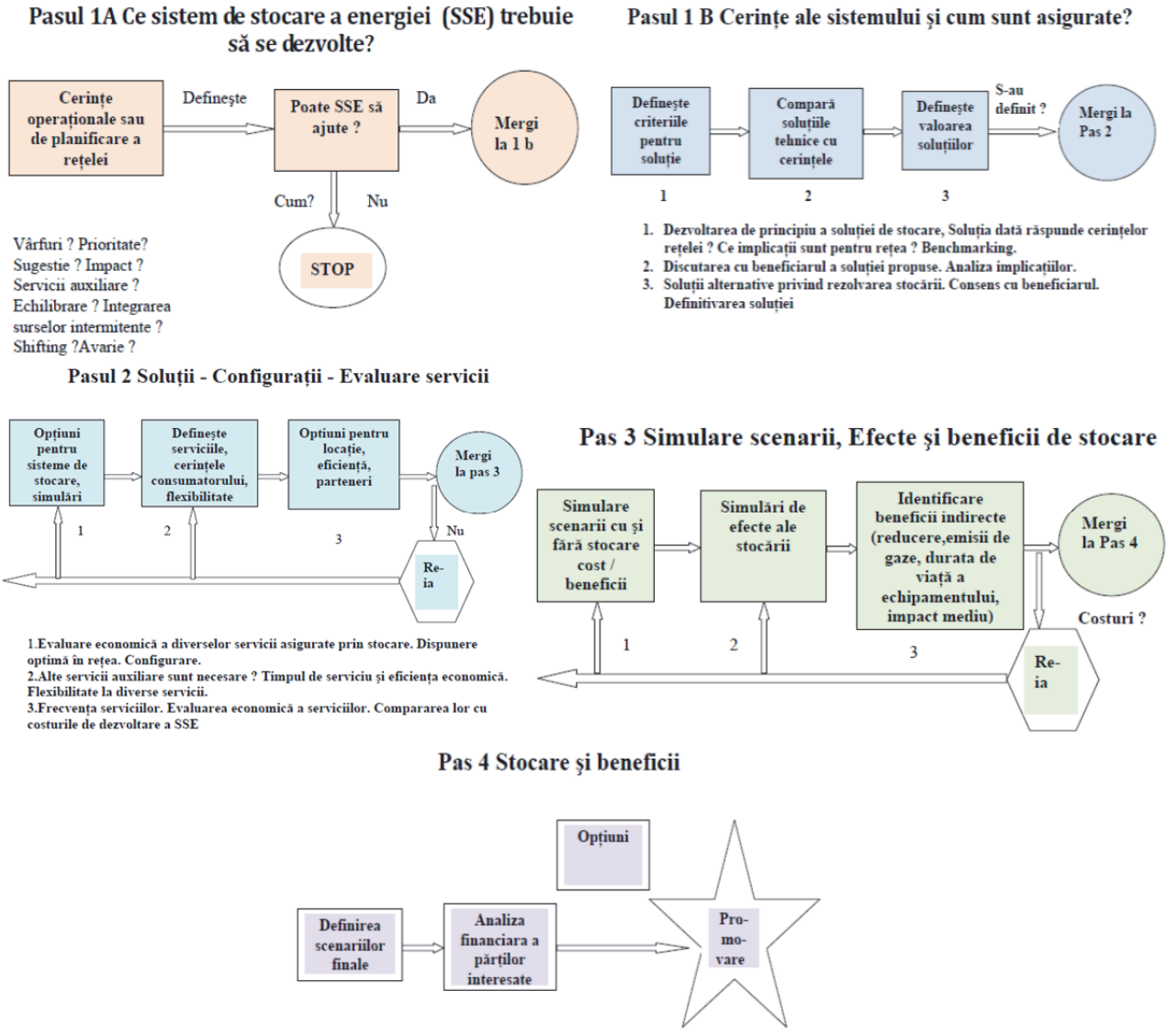
România a unor sisteme de stocare individuale folosind acumulatoare cu PbAcid -la nivelul turbinei de vânt sau pentru un grup de turbine însemnând o putere de stocare de ordinul 10–20 MW- este de promovat existând numeroase date care au fost validate în timpul câtorva ani de exploatare.

3.2.2. Stocarea în acumulatoare NaS şi Li Ion

Este o a doua filieră care justifică a fi promovată datorită performanţelor şi costului. Progresele apărute în fabricarea acestora – Japonia şi SUA au numeroase priorităţi- costul în continuă scădere, prefigurează o extindere a utilizării acestor tipuri spre zona zeci–sute de MW capacităţi de stocare, fiind accesibile. Realizarea a două SSE unul cu acumulatoare cu PbAcid şi altul cu NaS sau Li Ion ar fi de dorit, exploatarea în paralel putând oferi date optime de exploatare, situaţii în care un anumit sistem oferă avantajele cele mai semnificative.

4. FOAIE DE PARCURS PENTRU PROMOVAREA UNUI SISTEM DE STOCARE A ENERGIEI (SSE)

În alegerea Sistemului de Stocare a Energiei, stabilirea unei foi de parcurs pentru alegerea unei soluţii este indicat a fi luată, o asemenea foaie adaptată pentru noi după experienţa EPRI /14/ fiind dată în continuare.



5. CONCLUZII

● Sistemele de Stocare a Energiei (SSE) cunosc o dezvoltare alertă, explicat prin aportul adus de ele în asigurarea continuităţii şi siguranţei în alimentarea consumatorului cu energie electrică, intervenţia lor în cazul unor dereglări în funcţionare (Black start, arbitrage, Time Shifting, reglaj de frecvenţă şi tensiune). Există o varietate mare de Sisteme bazate pe principii mecanice, chimice şi electrochimice, electromagnetice, caracterizate prin diferenţieri privind densităţile de putere şi energie pe care le asigură, cicluri de viaţă, timpi de restituire a energiei stocate (secunde, minute, ore, zile), costuri şi beneficii.

● Din rândul acestora: sistemele de pompaj hidro, aer comprimat, acumulatoare (Pb Acid, NaS, Li Ion), volanţi sunt socotite deja ca ajunse la maturitate, PbAcid şi bateriile Redox, stocajul în materiale supraconductoare, capacitori dublu strat sunt în fază demonstrativă, iar stocarea în aer comprimat (adiabatic CAES) Hidrogen, Gaz Sintetic Natural (SNG) în fază de cercetare.

● Existenţa unor parcuri solare şi eoline puternice şi în creştere caracterizate prin intermitenţa lor, a unor unităţi nucleare –existente sau în dezvoltare– impun abordarea în Romania a Sistemelor de Stocare a Energiei (SSE) al nevoii de a stoca energia disponibilă în afara vârfului de sarcină şi redarea la cereri sporite şi preţ corespunzător. Prezentarea avantajelor şi limitările pe care acestea le prezintă, permit a recomanda pentru România dezvoltarea sistemelor de pompaj hidro (PHS) şi al stocării în acumulatoare (PbAcid C, NaS, Li Ion) funcţie de energia de stocat şi aplicaţie.

● O foaie de parcurs pentru dezvoltarea unui SSE este propusă de lucrare.

BIBLIOGRAFIE

[1] *** *Electrical Energy Storage*. White Paper. CEI, Geneve, Dec 2011

[2] *** *Grid Energy Storage*.US Dep of Energy, Dec 2013.

[3] *** *Repondre au defi de l'energie. Le role de la CEI de 2010-a 2030*. White Paper. CEI, Geneve, 2010.

[4] *** *Grid Integration of Large – Capacity Renewable Energy Sources and Use of Large Capacity Electrical Energy Storage*. White paper. CEI, Geneve, Oct 2012.

[5] Rachel Carnegie and all: *Utility scale Energy Storage Systems. Benefits, Applications, and Technologies*. SUA, State Utility Forecasting Group June 2013.

[6] Devon Manz and all: *The Grid of the Future. IEEE Power & Energy*, Vol 12, May-June 2014, p 26 – 36.

[7] Tănăsescu Florin Teodor: *Sisteme de stocare a energiei*. Studiu CER, 242, Oct. 2013.

[8] *** Le stockage stationaire d'energie Pierre angulaire du Smart Grid

[9] Claudiu Dumbrăveanu: *Evoluţii legislative de natură tehnică privind integrarea surselor regenerabile în SEN*. FOREN, Bucureşti, 2014, 22-26 Juin, S2-3.

[10] B Kaun: *Cost-Effectiveness of Energy Storage in California*. Rap EPRI 3002001162, 2013, Iunie.

[11] *** *Cost – Effectiveness of Energy Storage in California*. Rep EPRI, 3002001262, June 2013.

[12] *** *Centala hidro electrică de pompaj CHEAP–Tarniţa*. Proiect, http://www.tarnita-lapustesti.ro/despre proiect.

[13] *** *Amenajarea hidroelectrică a râului Olt pe sectorul Izbiceni–Dunăre. Centarala Hidroelectrică Islaz.* Hidroelectrica Slatina, 2012.

[14] Abbas Akhil s.a: *DOE/EPRI 2013, Electricity Storagen Handbook*, in Collaboration with NRECA. Sandia Report 2013-5131, July, 2013.

[15] *** *Etude sur le potential du stockage d'energies*. Rap ADEME–ATEE–DGIS, 2.10 2013.

ENERGY STORAGE SYSTEMS, A SOLUTION FOR THE OPTIMIZATION OF OPERATION OF POWER GRIDS TO WHICH INTERMITTENT RENEWABLE SOURCES ARE CONNECTED

Florin Teodor TĂNĂSESCU[1,2]

[1]Full Member of the Academy of Technical Sciences of Romania
[2]"Politehnica" University of Bucharest

Abstract: A restriction in the production of electricity is because electricity can be consumed only when it is generate and can be preserved only by storing them. The Work present various storage solutions, advantages and disadvantages, trends, focusing on a current issues: integration of intermittent energy sources: sun-wind-hydro and energy accumulation in several Energy Storage Systems (ESS), considered by author be useful and possibly be developed in Romania. Some recommendations to develop a specific ESS are made, by considering the energy and power densities, the life cycles, time for loading/unloading, cost functions, the applications in the grid (storage, quality of energy, arbitrage, spinning reserve, time shiffting, black start, demand response). A "roadmap" and the steps in developing an Energy Storage System (ESS), is presented in the final part of the paper.
Keywords: storage energy, storage systems, integrator solar, wind sources, “road map”.