



**Modelarea și dimensionarea optimă a sistemelor de stocare a energiei solare prin integrarea sustenabilă a acumulatorilor de la vehiculele electrice folosind tehnici de inteligență artificială**

## **RAPORT ETAPĂ I**



## 1. Introducere

Pentru a crește eficiența energetică a României și pentru a contribui la tranziția către neutralitate climatică până în 2050 [1], acest proiect analizează fezabilitatea reutilizării acumulatorilor uzati, proveniți de la autovehiculele electrice, ca sisteme de stocare a energiei electrice cu acumulatori (SSEA) integrate în sistemele fotovoltaice ale prosumatorilor. Totodată, propune un model matematic pentru dimensionarea SSEA pornind de la starea de sănătate (SOH – State-Of-Health) a acumulatorilor și pe baza parametrilor tehnici care caracterizează funcționarea lor: curent nominal, tensiune nominală, eficiență de conversie, durată de încărcare, cicluri de încărcare-descărcare, durată de viață, autonomie, degradare anuală, rată auto-descărcare.

Modelul matematic propus analizează acumulatorii uzati și indică dimensiunea optimă a sistemului de stocare prin îmbinarea statisticii și a tehnicilor de inteligență artificială cu scopul de a minimiza costurile și maximiza beneficiile obținute de prosumatori. Soluția tehnică identificată este, ulterior, analizată și din punct de vedere a eficienței economice. Așadar, este realizată o analiză economică comparativă între reutilizarea acumulatorilor uzati și reciclarea lor, considerându-se impactul asupra mediului înconjurător.

Așadar, obiectivul principal al proiectului este analiza acumulatorilor uzati și identificarea acumulatorilor cu o SOH care le permite să fie utilizați ca SSEA integrate în sistemele fotovoltaice, cu scopul de a acorda o a doua viață acumulatorilor și a crește durata lor de exploatare. Acest lucru poate duce la scăderea numărului de acumulatori reciclați anual, precum și a costurilor asociate, conducând la o soluție durabilă care poate fi adoptată în România pentru creșterea eficienței energetice, dar și la nivelul Uniunii Europene (UE).

Pentru a îndeplini obiectivul principal al proiectului, s-au stabilit o serie de obiective secundare:

**a.** Realizarea unei analize de piață pentru identificarea numărului de autovehicule electrice înmatriculate în România în ultimii ani, precum și a producătorilor și modelelor cele mai comercializate, cu scopul de a realiza o predicție a numărului de acumulatori uzati disponibili, care pot fi utilizați ca SSEA integrate în sistemele fotovoltaice.



- b. Determinarea fezabilității reutilizării acumulatorilor uzați prin realizarea unei analize economice comparative între costurile și beneficiile obținute între reutilizarea acumulatorilor și reciclarea lor.
- c. Conturarea profilului acumulatorilor uzați în funcție producătorul și modelul de autovehicul de la care provin, luând în considerare tehnologia de stocare, SOH, dimensiune, capacitate și alți parametri tehnici care caracterizează funcționarea lor.
- d. Realizarea unei analize de senzitivitate pentru determinarea parametrilor principali care influențează degradarea acumulatorilor și identificarea condițiilor minime pe care acumulatorii uzați trebuie să le îndeplinească pentru a putea fi refolosiți ca SSEA.
- e. Dezvoltarea modelului matematic folosind statistica și tehnicile de inteligență artificială pentru dimensionarea optimă a sistemelor de stocare a energiei electrice cu acumulatori uzați (SSEAU), considerând profilul acestora.
- f. Testarea și validarea modelului propus pentru identificarea acumulatorilor uzați care pot fi refolosiți și dimensionarea optimă a SSEAU pentru integrarea în sistemele fotovoltaice în două studii de caz, pentru un prosumator casnic și pentru unul industrial.

În perioada raportată, s-au analizat tendințele pe piața autovehiculelor electrice (EV), atât la nivel global, cât și european. Totodată, s-a studiat evoluția pieței din România în ultimii ani, cu scopul de a identifica numărul înmatriculărilor de EV, precum și cele mai vândute modele pe piață.

## **2. Tendințe în piața globală a autovehiculelor electrice**

La nivel global, vânzările de EV au depășit 17 milioane, reprezentând peste 20% dintre mașinile noi vândute pe plan mondial. Astfel, în anul 2024 s-au vândut cu 3.5 milioane de mașini în plus față de anul 2023, parcul global de EV ajungând la aproape 58 de milioane, reprezentând aproximativ 4% din totalul autoturismelor și de peste trei ori mai mult decât flota totală de EV din 2021 [2].

Creșterea rapidă a vânzărilor de EV din ultimii 5 ani a avut un impact semnificativ asupra eforturilor în tranziția spre neutralitate climatică, parcul global de EV înlocuind în 2024 peste 1



milion de barili de petrol consumați zilnic. Poziția de lider mondial este deținută de China, unde aproximativ unul din zece autovehicule este electric, în timp ce în Europa raportul este de aproximativ unul din douăzeci. Astfel, China își menține poziția de lider printre marile piețe, cu peste 11 milioane de EV vândute, atât vehicule hibride reîncărcabile (Plug-in Hybrid Electric Vehicle – PHEV), cât și vehicule electrice cu baterie (Battery Electric Vehicle – BEV), fiind urmată de Europa și de Statele Unite ale Americii (SUA), așa cum se observă în Figura 1 [2].

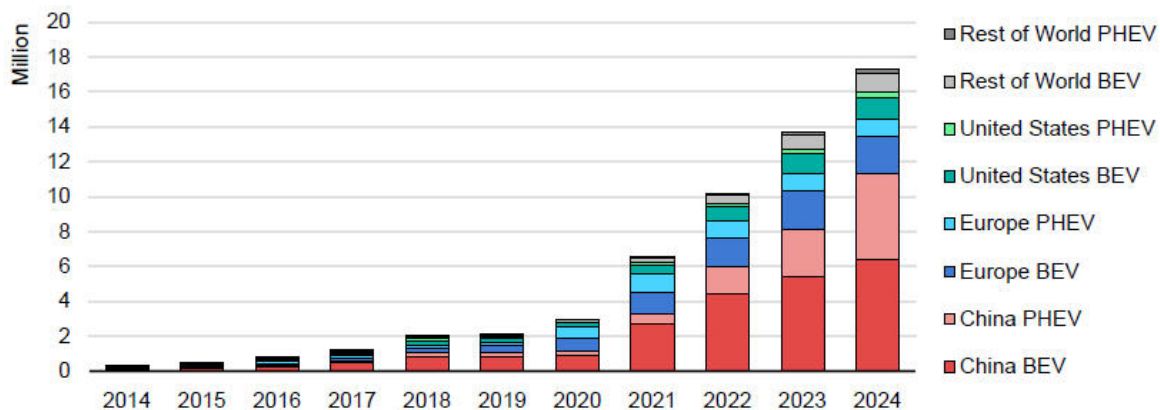


Fig. 1 Vânzările globale de autovehicule electrice în perioada 2014 – 2024 [2]

În ultimii ani vânzările de EV pe plan mondial au înregistrat o creștere mai lentă, așa cum se poate observa în Figura 2. Acest lucru se datorează eliminării sau reducerii subvențiilor din Europa și a faptului că țintele UE privind emisiile de CO<sub>2</sub> pentru autovehicule au rămas neschimbate în perioada 2023 – 2024. În schimb, vânzările în SUA au continuat să crească, însă ritmul de creștere este semnificativ redus față de anul precedent, înregistrând o variație de doar 10%. În ceea ce privește liderul mondial, în China vânzările de PHEV au crescut mai rapid decât cele ale BEV. Ponderea vânzărilor de PHEV, excluzând vehiculele electrice cu autonomie extinsă (Extended-Range Electric Vehicle - EREV), a crescut de la aproximativ 15% în 2020 la aproape 30% în 2024. Iar ponderea EREV-urilor în totalul EV a crescut de patru ori din 2020, depășind 10% în 2024 [2].

Comaniile cu o influență semnificativă pe piața globală sunt prezentate în Tabelul 1. Aceste companii oferă un număr impresionant de modele de EV, care crește cu 15% de la an la an, ajungând la aproape 785 în 2024. În prezent există cu 50% mai puține modele electrice comparativ cu cele cu motor cu ardere internă (Internal Combustion Engine - ICE), însă această diferență se



estimează că va ajunge la aproximativ 30% până în 2027, conform anunțurilor producătorilor auto (Original Equipment Manufacturer - OEM) [2].

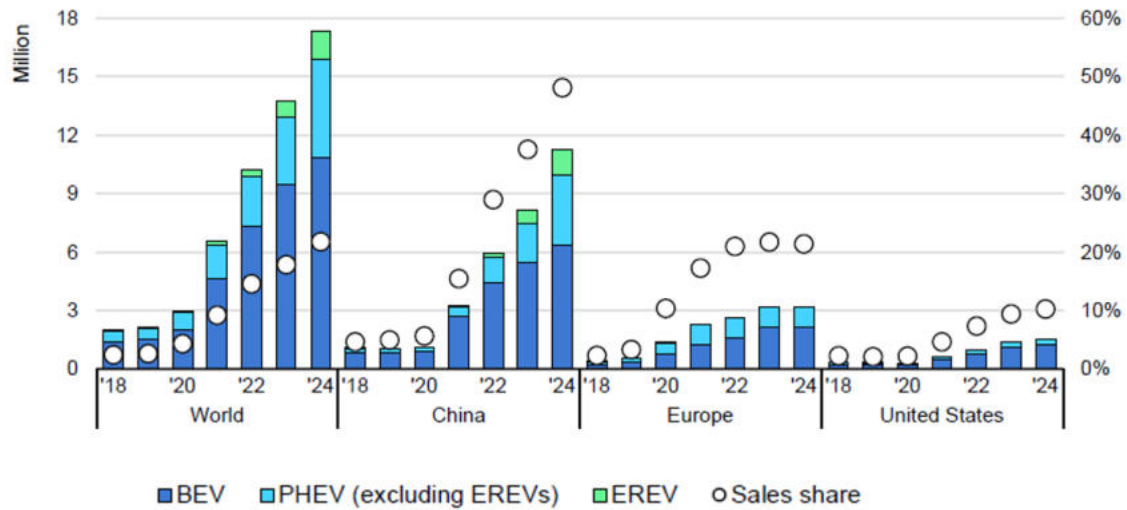


Fig. 2 Numărul înmatriculărilor și cota de piață a vânzărilor globale de EV în perioada 2018–2024 [2]

Tabel 1 Companii producătoare de EV cu influență pe piața globală [3]

| Denumire companie | Țară origine  |
|-------------------|---------------|
| BYD               | China         |
| Tesla             | SUA           |
| Volkswagen AG     | Germania      |
| Geely-Volvo       | China         |
| SAIC Motor        | China         |
| Stellantis        | Olanda        |
| BMW Group         | Germania      |
| Nissan Motors     | Japonia       |
| Hyundai Group     | Coreea de Sud |
| Great Wall Motor  | China         |
| General Motors    | SUA           |
| Renault           | Franța        |



Europa a înregistrat cea mai rapidă creștere a numărului de modele disponibile în ultimul an, de la 290 la peste 360 de modele. Se estimează că această creștere din 2024 se va dubla până în 2026: pe măsură ce standardele restrictive privind emisiile de dioxid de carbon vor intra în vigoare în UE, peste 140 de modele suplimentare vor fi lansate pe piață. Volkswagen și Stellantis au anunțat deja planuri de a introduce aproximativ 35 de noi modele electrice până în 2026 [2].

### 3. Trendul pieței de EV în Europa

În Europa, cota de vânzări a EV a crescut în 2024 în 14 dintre cele 27 de state membre ale UE, în timp ce în celelalte a stagnat sau chiar a scăzut, așa cum e cazul liderilor pieței europene, Germania și Franța, din cauza eliminării sau reducerii subvențiilor. În Germania, subvențiile au fost eliminate la sfârșitul anului 2023, în timp ce Franța le-a redus progresiv de-a lungul anilor. Totodată, Franța a limitat valoarea bonusului ecologic disponibil pentru cumpărătorii cu venituri mai mari și a redus numărul autovehiculelor eligibile pentru subvenție, ceea ce a condus la o stagnare a pieței, așa cum se observă în Figura 3 [2].

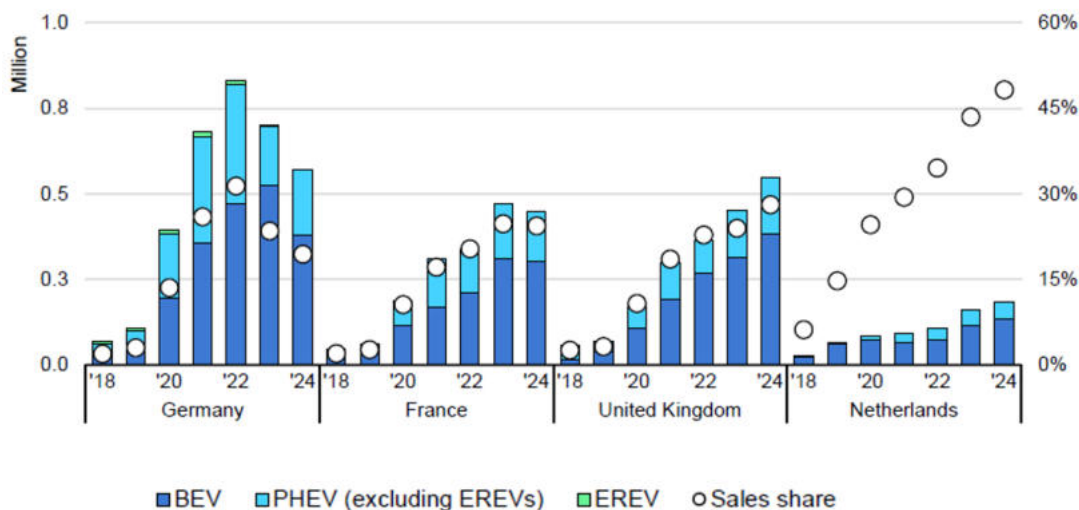


Fig. 3 Numărul înmatriculărilor și cota de piață a vânzărilor de EV în cele patru mari piețe europene în perioada 2018–2024 [2]

În Regatul Unit, care este a doua cea mai mare piață EV din Europa, vânzările de EV au atins o cotă de aproape 30%, în creștere de la 24% în 2023. Anul 2024 a fost primul an în care s-a



aplicat Schema de Tranzacționare a Emisiilor Vehiculelor, care a impus ca 22% din noile înmatriculări să fie BEV sau vehicule electrice cu celule de combustie (FCEV). Ținând cont de flexibilitatea schemei, care permite producătorilor să "împrumute" credite din anii următori, aceștia au reușit să respecte o cotă de vânzări BEV de aproximativ 20% [2].

Norvegia aproape a reușit o electrificare completă a vânzărilor, cu 88% din vânzările de autoturisme fiind BEV și puțin sub 3% PHEV. Așadar, consumul de petrol pentru transport rutier a scăzut în 2024 cu 12% comparativ cu anul 2021. Începând cu luna aprilie a anului 2025, s-a înregistrat o creștere a taxelor pentru mașinile convenționale ICE și pentru PHEV-uri, ceea ce conduce la o creștere și mai accelerată a cotei EV, cu scopul de a atinge obiectivul guvernului norvegian de 100% vânzări de autoturisme cu emisii zero. Și în Danemarca, o altă țară europeană cu un parcurs impresionant, cota de vânzări de EV a crescut cu 10 %, ajungând la 56%, cu aproximativ 100 000 de EV vândute [2].






#### **4. Tendințe în piața de EV din România**

Piața auto din România a înregistrat o orientare către electrificare în 2024, cu o creștere de 25,1% a înmatriculărilor de EV față de anul precedent. Din totalul de EV înmatriculate, doar 6,5% sunt BEV, 4.3% sunt PHEV iar restul sunt HEV (Hybrid Electric Vehicle). Această creștere reflectă un interes tot mai mare al consumatorilor pentru alternative mai ecologice, chiar dacă înmatriculările de BEV au înregistrat un declin față de anul 2023, când procentul a fost 10.7% din totalul EV [4].

Clasamentul mărcilor auto, cu cele mai mari cote de piață în vânzările de EV în anul 2024, sunt prezentate în Tabelul 2. După cum se observă, cea mai mare cotă de piață a EV-urilor este deținută de Dacia, o companie autohtonă, care are în ofertă un singur model complet electric (Spring), respectiv trei modele hibride (Jogger, Duster și Bigster), având în plan extinderea gamei de modele hibride și electrice. Este urmată de Toyota, care are o cotă de piață semnificativ mai redusă, însă o gamă mai variată de modele electrice și hibride, și de Skoda, Hyundai și Renault, care au aproximativ aceeași cotă de piață, de 10 000 unități înmatriculate până în prezent [4].



Tabel 2 Liderii pieței de EV din România și cotele lor de piață [4]

| Denumire companie | Siglă  | Cotă de piață [unități] |
|-------------------|--|-------------------------|
| Dacia             |   | 44430                   |
| Toyota            |   | 12818                   |
| Skoda             |   | 10612                   |
| Hyundai           |   | 10268                   |
| Renault           |  | 10252                   |

În ceea ce privește modelele de BEV, în Figura 4 sunt prezentate cele mai vândute modele pe piața EV din România în anul 2025. După cum se observă, Dacia Spring este modelul complet electric preferat de consumatori, cu vânzări de peste 3200 de unități. Este considerat un model accesibil, dedicat utilizării urbane, cu o autonomie în ciclu mixt de 225 km, respectiv 305 km în ciclu urban. Este urmată de Tesla Model 3 și Tesla Model Y, cu diferențe semnificative în ceea ce privește performanța, autonomia și prețul față de liderul pieței BEV. Ambele modele au o autonomie care depășește 500 km, fiind echipate cu tehnologie avansată (autopilot avansat, ecrane tactile pentru climatizare și divertisment, etc.), în schimb au un preț mult mai ridicat față de Dacia Spring, adresându-se unui segment de piață diferit [4].

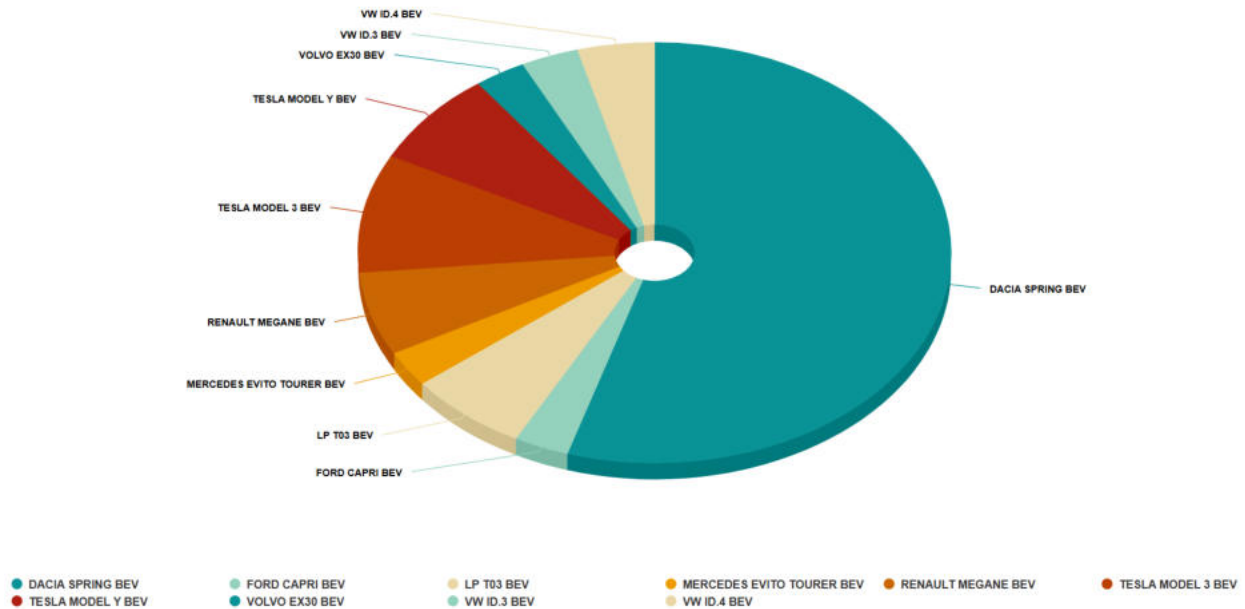


Fig. 4 Top 10 modele BEV vândute pe piața din România în anul 2025 [4]

## 5. Concluzii

Cererea de acumulatori din sectorul energetic, atât pentru EV, cât și pentru diverse aplicații de stocare, a atins un prag istoric de 1 TWh în 2024. Această creștere este impulsionată în principal de vânzările de vehicule electrice, cererea de acumulatori pentru EV ajungând la peste 950 GWh, adică cu 25% mai mult decât în 2023. Această creștere accelerată evidențiază limitările legate de materiile prime reciclabile, conducând la creșterea prețurilor. Pentru a reduce riscul apariției unui deficit de materii prime, se urmărește reutilizarea acumulatorilor uzați proveniți de la EV, respectiv reciclarea lor, care ar putea contribui la limitarea creșterii costurilor, cu un impact semnificativ asupra reducerii cererii de minerale primare.

## 6. Diseminarea rezultatelor analizei comparative

Rezultatele obținute în urma analizei comparative între situația acumulatorilor uzați în UE și în România prin identificarea caracteristicilor acumulatorilor uzați, cu potențial de reutilizare ca sisteme de stocare a energiei integrate în sistemele fotovoltaice ale prosumatorilor, precum și



determinarea unor indicatori de performanță pentru a evalua durata de utilizare rămasă a acumulatorilor (capacitate, rezistența internă, starea de sănătate, numărul de cicluri rămase, eficiență, densitate de energie, rata de încărcare-descărcare, durata de viață rămasă) vor fi diseminate în revista de specialitate Applied Science, în cadrul ediției speciale “New Trends in Sustainable Energy Technology”, având un factor de impact de 2.5 și fiind încadrată Q2.

Ulterior, se realizează un studiu de fezabilitate privind integrarea acumulatorilor uzați în sistemele fotovoltaice ale prosumatorilor prin determinarea costului nivelat al stocării reutilizate (LCOS-RE), rezultate care vor fi publicate în revista Computers and Electrical Engineering, care are un factor de impact de 4.9, fiind indexată Q1.

Pentru a valida formula propusă pentru calculul LCOS-RE, se realizează un studiu de caz pe acumulatorii uzați proveniți de la EV din România și se analizează posibilitatea integrării lor într-un sistem fotovoltaic rezidențial al unui prosumator. Rezultatele obținute se diseminează la o conferință din domeniu IEEE.

## Bibliografie

- [1] Regulamentul privind industria „zero net”, Comisia Europeană, <https://commission.europa.eu/>, accesat în 18 Iulie 2025.
- [2] Agenția Internațională de Energie - IEA (2025), Global Electric Vehicle Outlook 2025, <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025>, accesat în 19 Iulie 2025.
- [3] Electric Vehicle Market Size, Share&Analysis, <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/electric-vehicle-market>, accesat în 4 Iulie 2025.
- [4] European Alternative Fuels Observatory, Romania: EV Registrations Grow by 25% in 2024, Despite Decline in BEVs, 2025, <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/>, accesat în 20 Iulie 2025.