

REZUMAT EXECUTIV

Etapa a 2-a a proiectului PED 58/2025

Etapa 2 a proiectului a avut ca obiectiv dezvoltarea, evaluarea și implementarea în timp real a strategiilor de management energetic elaborate pentru vehiculul electric echipat cu pile de combustibil, baterie și ultracapacitor. Funcționalitatea strategiei de management energetic vizează coordonarea surse, să mențină tensiunea magistralei DC în domeniul admis și să limiteze consumul de hidrogen, cu respectarea limitelor de funcționare ale sistemului.

Activitatea A2.1 a furnizat cadrul Software-in-the-Loop pentru compararea strategiilor EMS. A fost definit un model energetic cu magistrala DC de referință la 370 V, sursă PEMFC, baterie Li-ion conectată prin convertor DC-DC bidirecțional și banc de ultracapacitori utilizat ca buffer tranzitoriu. Au fost analizate strategia de referință sFF, bazată pe harta stărilor sistemului, și strategiile RTO_1 și RTO_2, care aplică un termen de optimizare asupra liniei de alimentare cu hidrogen, respectiv asupra celei de alimentare cu aer a PEMFC. Rulările comparative au fost efectuate în condiții inițiale similare pentru trei cicluri de conducere: 0 NEDC, EUDC și WLTC, utilizând drept indicatori consumul de hidrogen, variația SoC, energia schimbată cu bateria și ultracapacitorul, randamentul PEMFC și abaterea tensiunii magistralei.

Activitatea A2.2 a definit infrastructura Hardware-in-the-Loop necesară transferului strategiei către vehiculul demonstrator. Platforma dSPACE AutoBox, cu procesor DS1007, interfață CAN DS4302, module I/O DS2202 și aplicația ControlDesk, a fost configurată pentru execuția în timp real a managementului energetic, monitorizare, calibrare controlată și logare. Au fost analizate arhitectura energetică a vehiculului, comunicațiile CAN, interfețele cu cele două sisteme PEMFC, bateria, convertoarele și subsistemul de propulsie. Funcțiile locale de protecție ale pilelor, bateriei, convertoarelor și propulsiei au fost menținute în controlerele dedicate, iar AutoBox a fost delimitată ca nivel de management energetic și supraveghere. A fost elaborat un protocol gradual de testare, de la inițializare și verificarea CAN până la aplicarea profilurilor energetice și analiza situațiilor de avarie.

Activitatea A2.3 a definit metodologia de testare pe banc, utilizând sarcina electronică Chroma pentru emularea tracțiunii și sursa Elektro-Automatik pentru emularea energiei recuperate la frânare. Rezultatele experimentale HiL pe bancul de testare au arătat că strategia sFF are cea mai robustă comportare din punctul de vedere al reglării tensiunii magistralei DC. RTO_1 nu a evidențiat un avantaj energetic consecvent. Strategia RTO_2 a înregistrat cel mai mic consum brut de hidrogen pentru toate ciclurile analizate, cu reduceri față de sFF de aproximativ 10,6 % pe NEDC, 10,8 % pe EUDC și 5,1 % pe WLTC, fiind selectată ca variantă pentru calibrare, după care s-a realizat normalizarea consumului de hidrogen la aceeași stare finală de încărcare a bateriei și s-a îmbunătățit reglarea tensiunii magistralei, pentru comparația cu rezultatele simularilor din Et. 1, ale cărei rezultate au validat în condiții de laborator strategia EMS RTO_2. În rularea RTO_2 realizată în regim de trafic, pe o durată de 2 155 s și distanța de 22,8 km, tensiunea magistralei a avut o valoare medie de 370,1 V, iar PEMFC a funcționat aproape neîntrerupt. Consumul brut a fost de 2,32 kg H₂/100 km, însă bateria s-a încărcat net cu 12,5 %, astfel ca, după corectarea cu variația SoC, consumul echivalent charge-sustaining a fost estimat la 1,03–1,24 kg H₂/100 km.

Rezultatele confirmă potențialul energetic al RTO_2 și constituie o bază documentată pentru raportarea performanței sale la rezultatele prezentate în literatura de specialitate privind strategiile de management energetic ale vehiculelor PEMFC hibride. Validarea acestei strategii, realizată atât în laborator, cât și în condiții reale de rulare în trafic, a condus chiar la depășirea nivelului de maturitate tehnologică TRL 4 pentru strategia de management optim al puterii în timp real adoptată prin proiect.

Diseminarea rezultatelor obținute s-a realizat prin publicarea a 5 articole științifice în reviste cotate ISI și printr-o masă rotundă în marja Conferinței ECAI 2026, iar protejarea drepturilor de proprietate intelectuală s-a realizat prin depunerea unei cereri de brevet de invenție.