

UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” din BUCUREŞTI

ŞCOALA DOCTORALĂ TRANSPORTURI

Doctorand

Ing. Constantin-Corneliu MÎNZATU

CERCETĂRI PRIVIND CONSUMUL DE ENERGIE AL AUTOVEHICULELOR ELECTRICE ÎN DIFERITE CICLURI STANDARDIZATE

TEZĂ DE DOCTORAT

REZUMAT EXTINS

Conducător științific
Prof. em. dr. ing. Gheorghe FRĂȚILĂ

BUCUREŞTI
2025

CUPRINS

TEZĂ DE DOCTORAT 1
CUPRINS 2
Prefață 6
LISTĂ DE ABREVIERI ŞI INDICI 6
0. INTRODUCERE 7
0.1 Scopul lucrării de doctorat 7
0.2 Capitolele parcurse in vederea realizării lucrării de doctorat 7
1. SCURT ISTORIC AL AUTOMOBILULUI ELECTRIC 8
1.1. Începuturile vehiculelor electrice 8
1.2. Perioada de pionierat 8
1.2.1. Primele experimente cu vehicule electrice 9
1.2.2. Contribuția semnificativă a lui Thomas Edison 9
1.2.3. Prima generație de vehicule electrice în anii 1800 și începutul anilor 1900 9
2. STADIUL ACTUAL AL DEZVOLTARII AUTOMOBILULUI ELECTRIC 9
2.1. Configurații pentru automobilul electric 9
2.2. Surse de energie electrica. 12
2.3. Caracteristicile bateriilor de acumulatoare. 12
2.4. Pile de combustie. 12
2.5. Componentele specifice autovehiculelor electrice. 12
2.6. Motoarele electrice al vehiculelor electrice. Tipuri constructive. 12
2.7. Avantajele si dezavantajele motoarelor electrice in comparație cu motoarele cu ardere interna. 13
2.8. Variatoare de turație electronice folosite la autovehiculele electrice. 13
2.9. Transmisia autovehiculelor electrice. 13
2.10.Tipuri de traductoare folosite la autovehiculele electrice. 13
2.11. Încărcarea bateriilor de tracțiune corespunzătoare autovehiculelor electrice. 14
3. ECHIPAMENTE SPECIFICE ALE AUTOVEHICULELOR ELECTRICE 14
3.1.Bateria de tracțiune 15
3.1.1 Bateriile litiu-ion (Li-ion) 15

3.1.2. Baterii cu electrolit solid (Solid-State) 15
3.1.3. Baterii cu electrolit lichid (Liquid-Electrolyte) 15
3.1.4. Baterii cu ion de sodiu (Na-ion) 15
3.1.5. Baterii cu acid-plumb (Pb-acid) 15
3.2 Motorul electric 15
3.3 Invertorul 16
3.4. Redresor/Convertor DC-DC 16
4. MODELAREA SI SIMULAREA PERFORMANTELOR ENERGETICE IN CAZUL RULARII UNUI AUTOVEHICUL ELECTRIC IN DIFERITE CICLURI STANDARDIZATE 16
4.1 Considerații teoretice privind modelarea și simularea 16
4.2 Dezvoltarea modelului utilizat in vederea simularii 16
4.2.1 Caracteristicile modelului dinamic al autovehiculului electric 16
4.2.2 Implementarea componentelor sistemului de propulsie electrică 17
4.3 Simularea numerică privind consumul de energie al autovehiculelor electrice in diferite cicluri standardizate 21
4.3.1. Ciclul de conducere WLTC 21
4.3.2. Ciclul de conducere RDE 21
4.4 Cercetări cu privire la consumul de energie si la autonomia autoturismelor electrice, în cazul încercărilor pe ciclul WLTC 21
4.4.1.Incursiune in simularea cu privire la consumul de energie si la autonomia autoturismelor electrice, în cazul încercărilor pe ciclul WLTC. 21
4.4.2. Simularea cu privire la consumul de energie si la autonomia autoturismelor electrice, în cazul încercărilor pe ciclul WLTC. 22
4.4.3. Rezultatele simulării cu privire la consumul de energie si la autonomia autoturismelor electrice, în cazul încercărilor pe ciclul WLTC. 23
4.4.4. Concluziile simulării cu privire la consumul de energie si la autonomia autoturismelor electrice, în cazul încercărilor pe ciclul WLTC. 23
4.5. Cercetări privind autonomia si consumul de energie al autovehiculelor electrice, simulata si măsurată, in cazul rulării la viteza mica si medie, specifica încercării WLTC. 24
4.5.1. Calcularea autonomiei si consumului de energie al autovehiculelor electrice, simulata si măsurată, in cazul rulării la viteza mica si medie, specifica încercării WLTC, utilizând platforma de modelare si simulare AMESIM. 24

4.5.2. Rezultatele simulării cu privire la consumul de energie si la autonomia autoturismelor electrice, în cazul încercărilor pe ciclul WLTC, in cazul rulării la viteza mica si medie, specifica încercării WLTC, utilizând platforma de modelare si simulare AMESIM. 24

4.5.3. Concluziile simulării cu privire la consumul de energie si la autonomia autoturismelor electrice, în cazul încercărilor pe ciclul WLTC, in cazul rulării la viteza mica si medie, specifica încercării WLTC, utilizând platforma de modelare si simulare AMESIM. 25

4.6. Cercetări privind autonomia si consumul de energie al autovehiculelor electrice, simulata si măsurată, in cazul rulării la viteza mare si foarte, specifica încercării WLTC. 25

4.6.1. Calcularea autonomiei si consumului de energie al autovehiculelor electrice, simulata si măsurată, in cazul rulării la viteza are si foarte, specifica încercării WLTC, prin utilizarea platformei de simulare si modelare Simcenter AMESIM. 25

4.6.2. Rezultatele simulării cu privire la consumul de energie si la autonomia autoturismelor electrice, în cazul încercărilor pe ciclul WLTC, in cazul rulării la viteza mare si foarte mare, specifica încercării WLTC, utilizând platforma de modelare si simulare AMESIM. 26

4.6.3. Concluziile simulării cu privire la consumul de energie si la autonomia autoturismelor electrice, în cazul încercărilor pe ciclul WLTC, in cazul rulării la viteza mare si foarte mare, specifica încercării WLTC, utilizând platforma de modelare si simulare AMESIM. 26

4.7. Cercetări cu privire la consumul de energie si la autonomia autoturismelor electrice, în cazul încercărilor pe ciclul RDE, utilizand platforma Simcenter Amesim. 29

4.7.1. Incursiune in simularea cu privire la consumul de energie si la autonomia autoturismelor electrice, în cazul încercărilor pe ciclul RDE – Real Driving Emission. 30

4.7.2.Calculul consumului de energie si al autonomiei autoturismelor electrice, în cazul încercărilor pe ciclul RDE, utilizând platforma Simcenter Amesim. 30

5. CERCETAREA EXPERIMENTALA A AUTOVEHICULULUI ELECTRIC. 38

5.1. Considerente Generale. 38

5.1.1. Contextul general al cercetării în domeniul vehiculelor electrice 38

5.1.2. Necesitatea cercetării experimentale 38

5.1.3. Obiectivele generale ale cercetării 38

5.1.4. Parametrii fundamentali ai cercetării 38

5.1.5. Metodologia cercetării experimentale 38

5.1.6. Considerente finale 38

5.2. Structura sistemului de propulsie cu care este echipat vehiculul electric utilizat pentru teste. 39

5.2.1. Considerații generale 39

5.2.2. Principalele componente ale sistemului de propulsie 39

5.2.3. Schema funcțională a sistemului de propulsie 40
5.2.4. Particularități ale variantei Renault Zoe 5AM (R110) 41
5.2.5. Concluzii 41
5.3. Condiții legislative impuse pentru cercetarea experimentală a unui autovehicul electric. 41
5.4. Echipamente utilizate în vederea realizării încercărilor experimentale 43
5.5. Efectuarea incercarilor 45
5.5.1.Pregatirea autovehiculului de test si alegerea traseului de testare. 45
5.5.2.Rezultatele obtinute in urma experimentelor efectuate in vederea stabilirii consumului de energie. 47
5.5.3. Compararea măsurătorilor experimentale și a rezultatelor obținute prin modelare și simulare, pentru cele trei intervale de viteza corespunzătoare testării unui autovehicul electric, in ciclul RDE. 66
6. CONSTATARI FINALE. CONTRIBUTIA PERSONALA. DISEMINAREA REZULTATELOR. 71
6.1. Constatări finale 71
6.2. Contribuția personală. 72
6.3. Diseminarea rezultatelor 73
7. BIBLIOGRAFIE 74

„Progresul este imposibil fără schimbare, iar cei care nu își pot schimba gândirea nu pot schimba nimic.”

(George Bernard Shaw)

Prefață

Având în vedere actualitatea și complexitatea subiectului abordat în cadrul acestei teze de doctorat, dezvoltarea acesteia a necesitat utilizarea tuturor resurselor disponibile pentru desfășurarea cercetărilor experimentale și, respectiv, prin modelare și simulare, în perioada octombrie 2020 - iunie 2025 de către Universitatea Națională de Știință și Tehnologii POLITEHNICA București.

În primul rând, doresc să îmi exprim profunda recunoștință și sincerele mulțumiri domnului profesor universitar emerit doctor inginer Gheorghe FRĂȚILĂ, coordonatorul științific al acestei lucrări, care m-a îndrumat pe parcursul studiilor doctorale cu multă competență și rigoare academică..

În al doilea rând, doresc să îmi exprim recunoștința față de școala doctorală TRANSPORTURI și personalul didactic al Departamentului de Autovehicule Rutiere pentru sprijinul științific și pentru sugestiile acordate pe parcursul acestei perioade.

Aș dori, de asemenea, să îmi exprim recunoștința față de profesorii de la Facultatea de Inginerie Transporturi a Universității Politehnice din București, care m-au format ca inginer în domeniul fascinant al vehiculelor rutiere.

În cele din urmă, doresc să îmi exprim recunoștința față de membrii familiei mele pentru toata înțelegerea acordata în perioada studiilor doctorale și pentru suportul moral oferit în momentele dificile.

Doctorand inginer Constantin-Corneliu MÎNZATU
București, septembrie 2025

0. INTRODUCERE

Un automobil electric este un vehicul care utilizează unul sau mai mulți motoare electrice pentru propulsie. În contrast cu vehiculele cu motoare cu ardere internă care funcționează pe bază de combustibil fosil, automobilele electrice sunt alimentate cu energie electrică stocată în acumulatori sau primită în timpul deplasării prin intermediul unui sistem de încărcare.

Există două tipuri principale de automobile electrice:

- Electrice cu baterii (BEV - Battery Electric Vehicles.
- Electrice cu autonomie extinsă (REEV - Range-Extended Electric Vehicles) sau cu un extensor de autonomie.

0.1 Scopul lucrării de doctorat

Unul dintre obiectivele principale ale tezei de doctorat pe care autorul își propune să le atingă este dezvoltarea unui model matematic utilizând platforma de modelare și simulare (AMESIM), cu care se pot simula aspecte cu privire la metodele actuale de încercare aplicabile la nivelul autovehiculelor electrice pentru stabilirea consumului de energie electrică și determinarea autonomiei, respectiv ciclul World-wide harmonized Light duty Test Cycle, caracterizat prin cele patru zone de rulare la viteză mică, medie, mare și foarte mare pe care autovehiculul electric trebuie să le satisfacă.

Al doilea obiectiv este constituit de măsurători privind autonomia autovehiculelor electrice, simulata si măsurată în aceleași condiții, pe circuite diversificate, numai în cazul ciclului RDE, deoarece acesta este în prezent cel mai reprezentativ. Măsurarea și simularea sunt efectuate individual, rezultatele obținute prin simulare fiind comparate cu cele obținute în condiții similare pe bancul cu role.

0.2 Capitolele parcurse in vederea realizării lucrării de doctorat

Pentru a atinge obiectivele propuse, au fost necesare mai multe etape de documentare și analiză în cursul lucrărilor, așa cum se prezintă în capitolele următoare:

Capitolul 1 Scurt istoric al automobilului electric, oferă o retrospectivă asupra evoluției vehiculelor electrice de-a lungul timpului.

Capitolul 2 Stadiul actual al dezvoltării automobilului electric, într-o prima prezentare făcându-se analiza tipurilor constructive de vehicule electrice, iar in a doua faza făcându-se analiza componentelor specifice aferente acestor autovehicule electrice.

Capitolul 3 Echipamente specifice autovehiculelor electrice, scoate în evidentă de manieră detaliată principalele componente ale unui autovehicul electric utilizate de constructorii de autovehicule, în scopul funcționării cu un consum energetic scăzut si implicit cu un grad de autonomie al bateriei de tracțiune ridicat, precum și strategiile de funcționare aplicate de către calculatoarele autovehiculului electric în funcție de necesitățile sistemului, unul din scopuri fiind si acela de asigurare de performante de tracțiune ridicate.

Capitolul 4 Modelarea si simularea performantelor energetice in cazul rularii unui autovehicul electric in diferite cicluri standardizate. Acest capitol descrie în detaliu modelul creat cu ajutorul platformei AMESIM pentru a simula funcționarea vehiculului electric studiat, conform ciclurilor WLTC și RDE. Sunt detaliate formulele de calcul utilizate de model și, la finalul simulării,

sunt evidențiate valorile referitoare la autonomia simulată și măsurată a vehiculelor electrice, si privind modul de epuizare a starii de incarcare a bateriilor de tractiune ce echipeaza autovehiculele electrice, in cazul rularii la diferite intervale de viteza.

Capitolul 5 Cercetarea experimentala a autovehiculului electric. În acest capitol sunt scoase in evidenta rezultatele cercetărilor ce rezulta după realizarea încercărilor, utilizându-se bancul cu role, unde sunt evidențiate și principalele indicatori de performanță energetică corespunzători vehiculului care face obiectul anchetei în cazul vehiculelor electrice. De asemenea s-a efectuat analiza comparativă cu rezultatele obținute prin simulare, scopul fiind cel al validării modelului în raport cu măsurarea.

Capitolul 6 Constatări finale. Contribuția personală. Diseminarea rezultatelor, care prezintă principalele concluzii desprinse din activitățile de cercetare, noile evoluții și obiectivele viitoare orientate către cercetarea în această direcție.

1. SCURT ISTORIC AL AUTOMOBILULUI ELECTRIC

1.1. Începuturile vehiculelor electrice

Începuturile vehiculelor electrice pot fi urmărite până în secolul al XIX-lea, când au fost efectuate primele experimente cu motoare electrice în încercarea de a dezvolta mijloace de transport eficiente și nepoluante.

În această perioadă, au apărut numeroase figuri notabile care au contribuit la dezvoltarea vehiculelor electrice. Printre aceștia se numără:

a) **Thomas Davenport (1802-1851)**: Un inventator american care a creat unul dintre primele modele de vehicule electrice la mijlocul secolului al XIX-lea

b) **Robert Anderson (1805-1871)**: Un inventator scoțian care a dezvoltat un vehicul electric cu o baterie electrică ne-acidă. Acesta este adesea recunoscut ca având unul dintre primele automobile electrice.



Figura 3. Robert Anderson si vehiculul sau electric [3]

1.2. Perioada de pionierat

Această secțiune ne va oferi o privire detaliată asupra primelor etape ale dezvoltării autovehiculelor electrice, evidențiind contribuțiile cheie ale pionierilor și evenimentele semnificative din perioada de pionierat.

1.2.1. Primele experimente cu vehicule electrice

Pionierii precum Thomas Davenport și Robert Anderson, așa cum am descris in subcapitolul anterior, au avut o contribuție însemnată la dezvoltarea ulterioara a tehnologiilor autovehiculelor electrice.

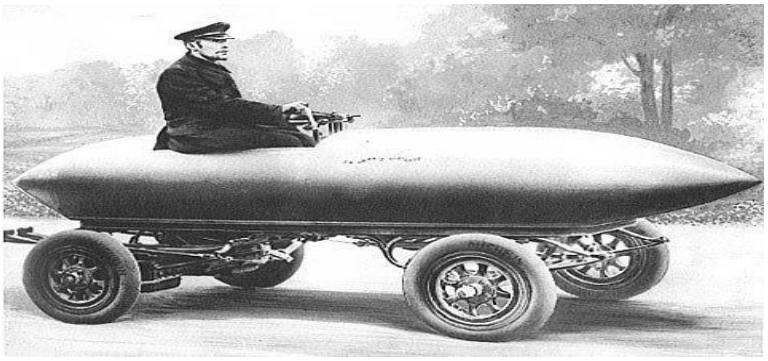


Figura 4. „La Jamais Contente", in forma de torpila [4]

„La Jamais Contente" este numele mașinii electrice concepute și conduse de belgiana Camille Jénatzy, care a fost primul automobil care a depășit 100 km/h în 1899, în Archères, în Yvelines. Ea a atins exact recordul de viteză de 105.882 km/h. Recordul a fost posibil de cele două motoare electrice marca Postel-Vinay cu o putere totală maximă de 50 kW (aproximativ 68 de cai putere), plasate în spate între roți.

1.2.2. Contribuția semnificativă a lui Thomas Edison

Thomas Edison a fost un inventator prolific și a contribuit semnificativ la dezvoltarea tehnologiei bateriilor în timpul carierei sale. El este cunoscut în primul rând pentru invenții precum becul electric, dar a avut și interes în domeniul bateriilor.

1.2.3. Prima generație de vehicule electrice în anii 1800 și începutul anilor 1900

Primele vehicule electrice au apărut în secolul al XIX-lea, cu mult înainte de proliferarea automobilelor cu motoare cu ardere internă.

2. STADIUL ACTUAL AL DEZVOLTARII AUTOMOBILULUI ELECTRIC

Pana in zilele noastre, vehiculele electrice (VE) au continuat să aibă un impact semnificativ asupra industriei auto.

2.1. Configurații pentru automobilul electric

Un autoturism electric de clasă medie ar necesita pentru o autonomie de 300 km o sursă cu energie specifică 220 Wh/kg și putere specifică 150-170 W/kg [6].

Clasificarea vehiculelor electrice în funcție de numărul și poziția motoarelor poate oferi o mai mare detaliere a configurării acestora. Iată o clasificare în funcție de aceste aspecte:

1. Vehicule electrice cu un singur motor pe puntea față (FWD - Front-Wheel Drive):

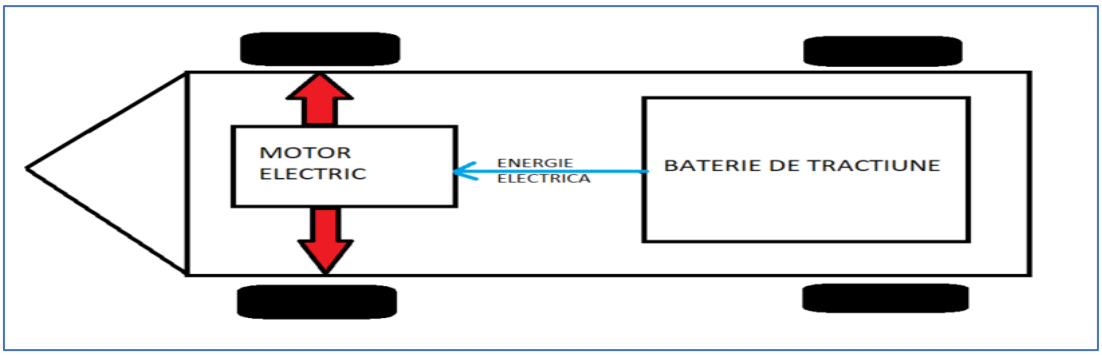


Figura 6. Schema cinematica vehicul electric cu un singur motor pe puntea fata

Caracteristici:

- Economice și compacte.
- Manevrabilitate bună în condiții normale de.
- Simplu de fabricat și.

Exemple de vehicule:

- Nissan Leaf.
- Renault Zoe.
- Chevrolet Bolt EV.
- Hyundai Kona Electric.

2. Vehicule electrice cu un singur motor pe puntea spate (RWD - Rear-Wheel Drive):

Caracteristici:

- Performanțe și tracțiune superioare.
- Manevrabilitate îmbunătățită în condiții de drum uscat.

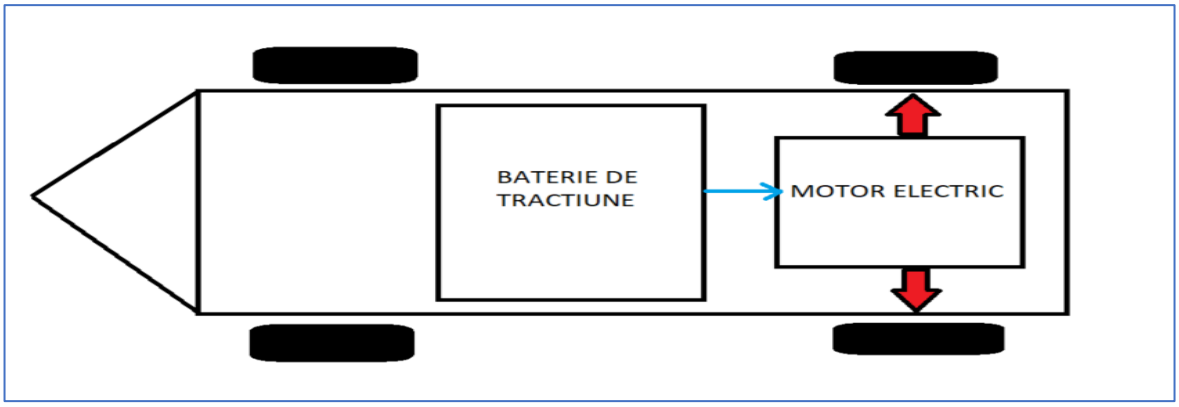


Figura 8. Schema cinematica vehicul electric cu un singur motor pe puntea spate

- Experiență de condus dinamică.

Exemple de vehicule:

- Tesla Model 3.
- Porsche Taycan.
- BMW i3.
- Rivian R1T.

3. Vehicule electrice cu două motoare (AWD - All-Wheel Drive):

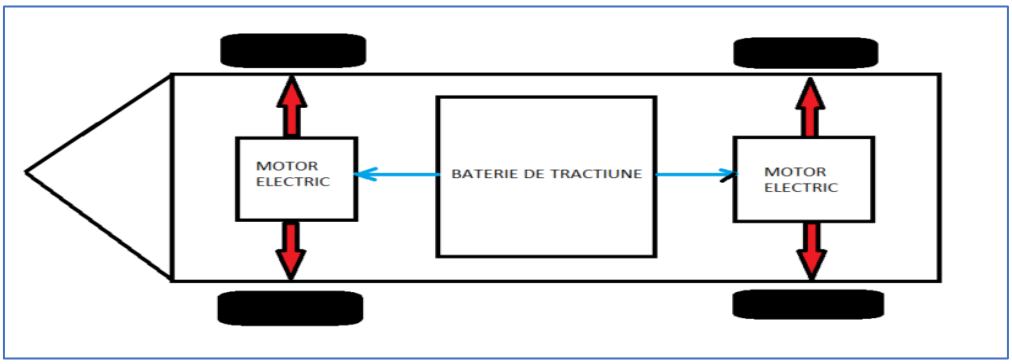


Figura 10. Schema cinematica vehicul electric cu două motoare (AWD - All-Wheel Drive)

Caracteristici:

- Tracțiune integrală.
- Performanță îmbunătățită.
- Siguranță crescută.

Exemple de vehicule:

- Tesla Model S Dual Motor / Model X Dual Motor.
- Audi e-tron.
- Polestar 2.
- Ford Mustang Mach-E.

4. Vehicule electrice cu motoare independente pe fiecare roată:

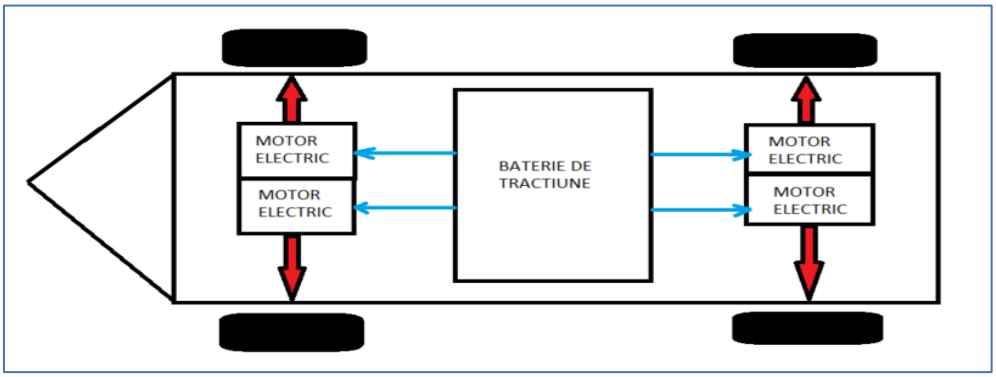


Figura 12. Schema cinematica vehicul electric cu motoare independente pe fiecare roată

Caracteristici:

- Control precis al tracțiunii.
- Reacție rapidă.
- Performanță îmbunătățită.

Exemple de vehicule:

- Rimac C_Two si Rimac Concept_.
- Lucid Air.
- Tesla Roadster.

5. Vehicule electrice cu motoare integrate în jante (In-Wheel Motors):

Caracteristici:

- Redundanță și fiabilitate.
- Control precis al tracțiunii.
- Simplificare a arhitecturii vehiculului.

Exemple de vehicule:

- Hiriko Fold.
- Quadro Qooder.
- Lingyun Intelligent Vehicle (LY).

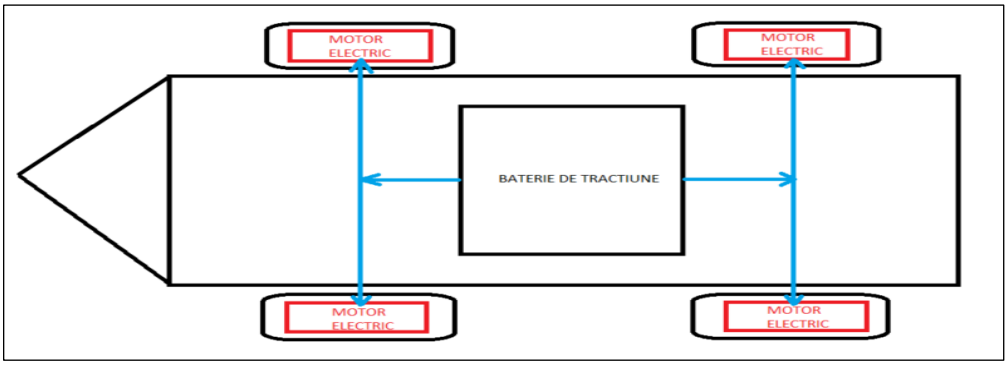


Figura 12. Schema cinematica vehicul electric cu motoare integrate în jante (In-Wheel Motors)

2.2**. Surse de energie electrica.**

Pilele electrice și bateriile de acumulatori utilizate în vehiculele electrice pot fi împărțite în mai multe tipuri, în funcție de procesele electrochimice care au loc în timpul încărcării și descărcării și de compoziția lor chimică. Iată câteva tipuri de pile electrice și baterii de acumulatori utilizate în vehiculele electrice.

2.3. Caracteristicile bateriilor de acumulatoare.

Bateriile de acumulatoare joacă un rol crucial în funcționarea autovehiculelor electrice (EVs). Aceste baterii sunt proiectate să stocheze și să furnizeze energie electrică pentru a alimenta motoarele electrice ale autovehiculelor

2.4. Pile de combustie.

Pilele de combustie sunt dispozitive electrochimice care convertesc energia chimică direct în energie electrică, fără a produce emisii poluante în timpul funcționării. Acestea sunt compuse dintr-o serie de celule electrochimice care funcționează în mod similar bateriilor, dar diferă prin faptul că necesită alimentare continuă cu combustibil și oxidant pentru a produce electricitate și apă ca produse secundare.

2.5. Componentele specifice autovehiculelor electrice.

Autovehiculele electrice (EVs) sunt construite cu o serie de componente specifice care le permit să funcționeze pe baza energiei electrice stocate în baterii

2.6. Motoarele electrice al vehiculelor electrice. Tipuri constructive.

Motoarele electrice sunt componente cheie ale vehiculelor electrice și sunt responsabile pentru transformarea energiei electrice stocate în baterii în mișcare mecanică pentru a propulsa vehiculul. Există mai multe tipuri constructive de motoare electrice utilizate în vehiculele electrice, iar cele mai comune sunt:

1. Motoare electrice cu curent continuu (DC):
- Motor cu perii (brushed).
- Motor fără perii (brushless).
2. Motoare electrice cu curent alternativ (AC):
   - Motor sincron.
   - Motor asincron trifazat (inducție.

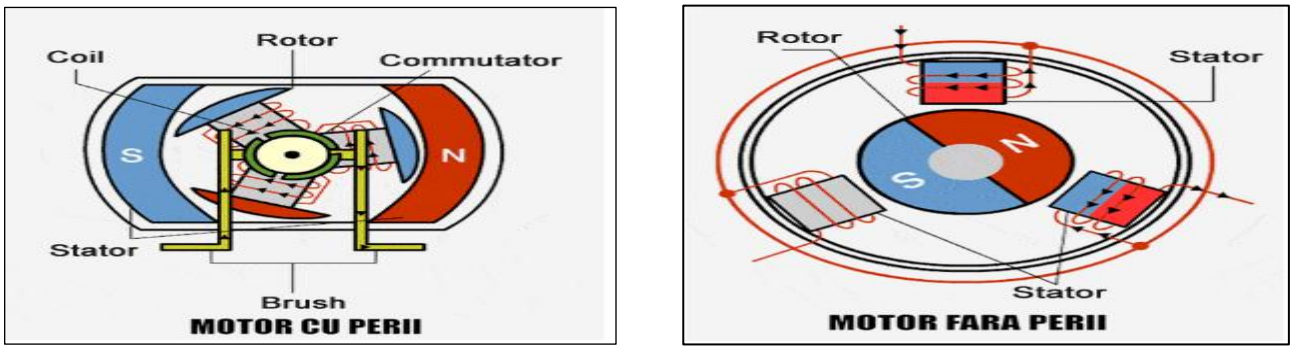


Figura 14. Reprezentare schematica pentru motoare electrice cu perii si fara perii [12]

3. Motoare electrice cu flux magnetic axial (axial flux).
4. Motoare electrice cu reluctanță variabilă (variable reluctance).

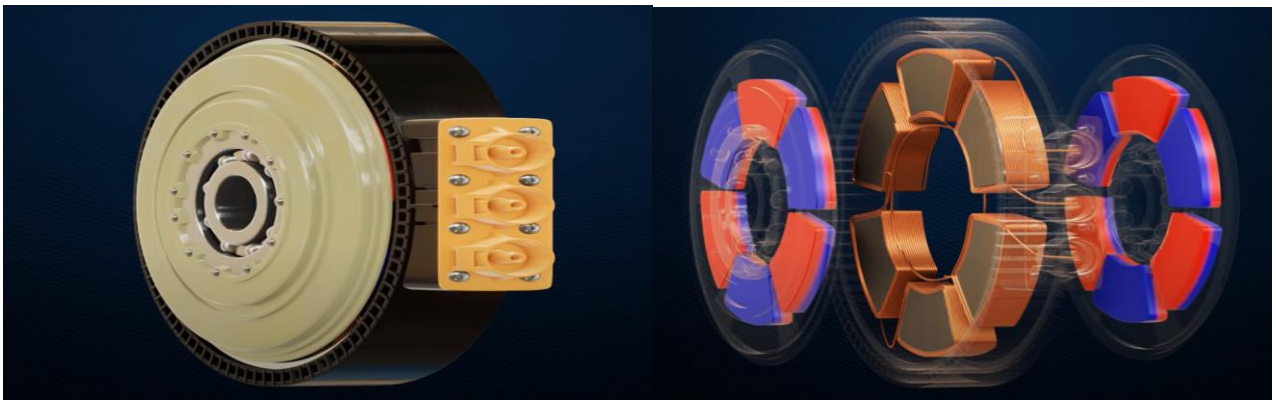


Figura 17. Vedere de ansamblu si desfasurata schematica pentru motorul cu flux axial [15]

2.7. Avantajele si dezavantajele motoarelor electrice in comparație cu motoarele cu ardere interna.

Compararea între motoarele electrice și cele cu ardere internă (motoarele cu combustie internă) include o serie de aspecte mecanice, performanță și caracteristici de exploatare.

2.10.Tipuri de traductoare folosite la autovehiculele electrice.

În contextul autovehiculelor, traductoarele prin intermediul cărora comenzile conducătorului sunt transmise variatorului de turație prin intermediul pedalei de accelerație sau a pedalei de frână sunt denumite senzori de poziție sau senzori de comandă. Acești senzori detectează poziția sau acțiunea pedalei de accelerație și a celei de frână și transmit aceste informații variatorului de turație sau controlerului motorului.

2.11. Încărcarea bateriilor de tracțiune corespunzătoare autovehiculelor electrice.

Încărcarea autovehiculelor electrice poate fi clasificată în mai multe moduri, în funcție de diferiți factori precum viteza de încărcare, tipul de conector utilizat, metoda de alimentare și capacitatea sistemului de încărcare

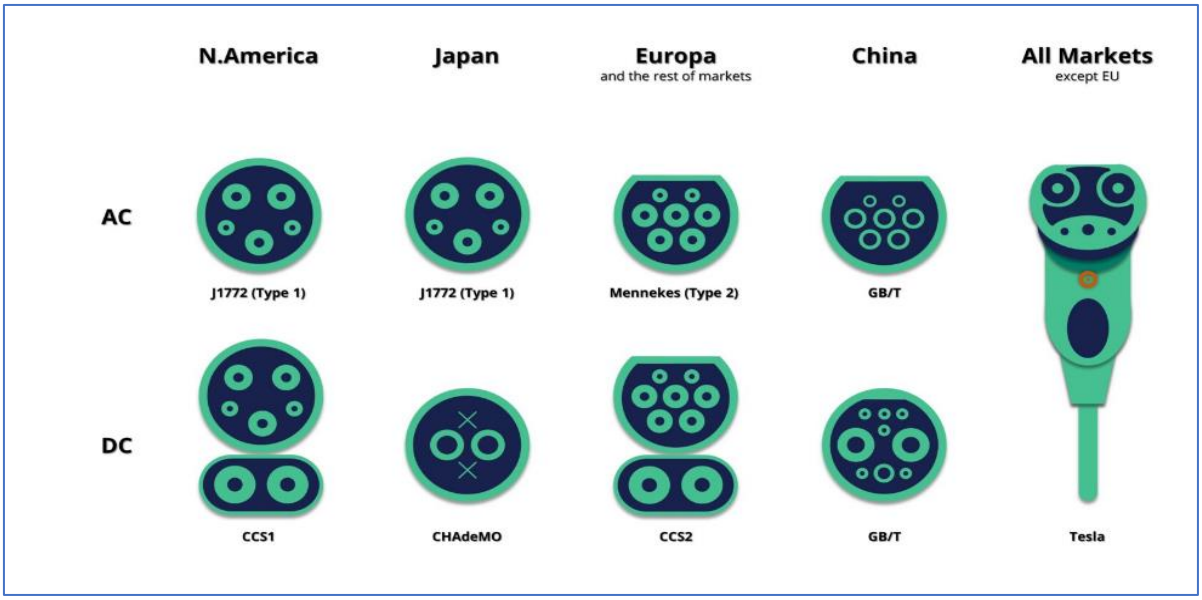


Figura 20. Tipuri de cabluri si conectori pentru autovehiculele electrice [18]

3.ECHIPAMENTE SPECIFICE ALE AUTOVEHICULELOR ELECTRICE

Echipamentele specifice ale autovehiculelor electrice includ componente esențiale care le diferențiază de vehiculele cu motoare cu ardere internă. Iată principalele echipamente:

1. **Baterie de tracțiune** – Stochează energia electrică necesară pentru alimentarea motorului electric. Cele mai comune tipuri sunt bateriile litiu-ion datorită densității mari de energie și duratei de viață mai lungi.
2. **Motor electric** – Convertește energia electrică în energie mecanică pentru a propulsa vehiculul. Poate fi de tip sincron sau asincron.
3. **Invertor** – Transformă curentul continuu (DC) din baterie în curent alternativ (AC) necesar motorului electric.
4. **Redresor/Convertor DC-DC** – Reduce tensiunea de la bateria de tracțiune pentru a alimenta echipamentele auxiliare ale vehiculului, cum ar fi luminile, sistemele electronice și climatizarea.
5. **Unitate de control electronic (ECU)** – Coordonează funcționarea componentelor electrice și optimizează eficiența vehiculului.
6. **Sistem de încărcare (On-Board Charger - OBC)** – Permite încărcarea bateriei de la o sursă externă, controlând tensiunea și curentul pentru o încărcare sigură și eficientă.
7. **Sistem de recuperare a energiei la frânare** – Recuperează energia cinetică în timpul frânării și o transformă în energie electrică pentru a reîncărca bateria.
8. **Sistem de management termic** – Menține temperatura optimă a bateriei și a altor componente electronice pentru a preveni supraîncălzirea și a crește durata de viață a acestora.

9. **Port de încărcare** – Conectorul prin care vehiculul se încarcă de la stații de încărcare publice sau private.
10. **Panou de control digital și sistem de infotainment** – Afișează informații despre autonomie, consum de energie, moduri de condus și oferă funcționalități de conectivitate.

3.1.Bateria de tracțiune

Bateriile de tracțiune pentru vehiculele electrice pot fi clasificate în funcție de chimia lor, care determină performanța și durata lor de viață. Baterii cu acid-plumb - acestea sunt cele mai vechi și mai ieftine baterii de tracțiune, dar au o densitate de energie foarte mică și o durată de viață scurtă.

3.1.1.Bateriile litiu-ion (Li-ion)

Sunt cele mai comune tipuri de baterii utilizate în vehiculele electrice

3.1.2. Baterii cu electrolit solid (Solid-State)

Bateriile solid-state sunt o nouă tehnologie emergentă în domeniul bateriilor pentru vehicule electrice.



Figura 23. Detaliu Baterie Solid-State de la producatorul NIO[19]

3.1.3. Baterii cu electrolit lichid (Liquid-Electrolyte)

Bateriile cu electrolit lichid sunt un tip de baterie reîncărcabilă care utilizează un electrolit în stare lichidă pentru a facilita transferul de ioni între electrozi.

3.1.4. Baterii cu ion de sodiu (Na-ion)

Bateriile cu ion de sodiu (Na-Ion) sunt o tehnologie emergentă care oferă o alternativă promițătoare la bateriile litiu-ion (Li-Ion).

3.1.5. Baterii cu acid-plumb (Pb-acid)

Bateriile cu acid-plumb sunt una dintre cele mai vechi și utilizate tehnologii de stocare a energiei.

3.2.Motorul electric

Motorul electric este componenta principală care convertește energia electrică din baterie în energie mecanică pentru propulsia vehiculului. Spre deosebire de motoarele cu ardere internă, motoarele electrice sunt mai eficiente, mai fiabile și oferă un cuplu instantaneu.

Tipuri de motoare electrice utilizate în vehicule electrice:

1. Motor sincron cu magnet permanent (PMSM - Permanent Magnet Synchronous Motor)
2. Motor asincron (sau cu inducție) (IM - Induction Motor)
3. Motor sincron cu excitație externă (EESM - Electrically Excited Synchronous Motor)

4. Motor cu reluctanță variabilă (SRM - Switched Reluctance Motor)

3.3.Invertorul

Invertorul este o componentă esențială a sistemului de propulsie al unui vehicul electric (VE). Acesta convertește curentul continuu (CC) de la bateria de tracțiune în curent alternativ (CA) necesar pentru acționarea motorului electric.

3.4. Redresor/Convertor DC-DC

Convertorul **DC-DC** este un dispozitiv electronic esențial în vehiculele electrice (EV), având rolul de a transforma tensiunea de curent continuu (DC) din bateria de tracțiune la un nivel adecvat pentru alimentarea altor sisteme ale vehiculului.

4.MODELAREA SI SIMULAREA PERFORMANTELOR ENERGETICE IN CAZUL RULARII UNUI AUTOVEHICUL ELECTRIC IN DIFERITE CICLURI STANDARDIZATE

4.1 Considerații teoretice privind modelarea și simularea

La modelare, sunt luate în considerare anumite obiective, și anume realizarea modelului fizic, precum și realizarea modelului matematic. Modelul fizic este utilizat pentru identificarea și modelarea caracteristicilor sau fenomenelor care definesc sistemul sau procesul studiat. Modelul matematic este o fază bazată pe o serie de formule de calcul și relații matematice reprezentative pentru sistemul sau procesul studiat, cu scopul de a obține rezultate de cercetare utile care să introducă cât mai puține erori.

4.2 Dezvoltarea modelului utilizat in vederea simularii

În acest subcapitol, vom prezenta succesiunea etapelor urmate în dezvoltarea modelului de simulare, precum și condițiile generale stabilite și principalele caracteristici ale vehiculului de referință utilizat pentru validarea modelului.

4.2.1 Caracteristicile modelului dinamic al autovehiculului electric

Modelul dinamic al unui vehicul electric implică implementarea tuturor forțelor care acționează asupra vehiculului în timpul conducerii în diferite condiții. Pentru a dezvolta acest model, este necesar să se dispună de relațiile matematice generale care definesc rezistența la mișcarea înainte și echilibrul tracțiunii, pe baza cărora se poate determina ecuația generală a mișcării rectilinii a unui vehicul.

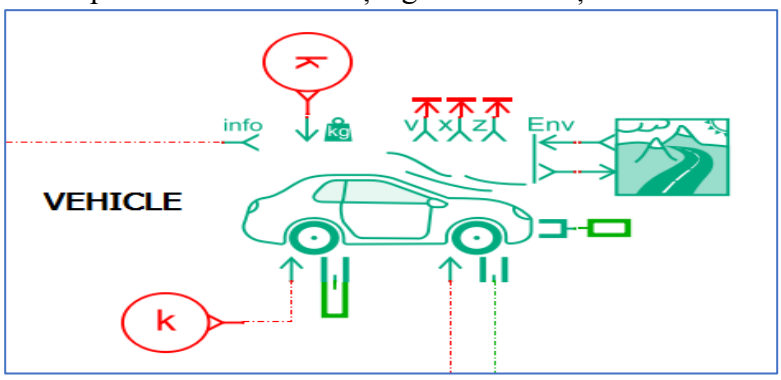


Figura 32. Reprezentare grafica in Amesim pentru un vehicul electric

4.2.2 Implementarea componentelor sistemului de propulsie electrică

Obiectivul principal al acestui articol este identificarea modelelor de simulare adecvate pentru componentele vehiculelor electrice, pentru a asigura o bună corelare cu rezultatele experimentale.

Renault ZOE, Figura 33, este o mașină electrică disponibilă publicului, oferind o autonomie de 300 km.



Figura 33. Vehiculul electric Renault Zoe

1.2.2.1 Modelarea electro-termica a bateriei de tractiune.

I . Modele de baterii

Stocarea energiei electrice este o cerință funcțională pentru multe sisteme multifizice. Platforma Simcenter Amesim conține trei tipuri de modele de baterii în biblioteca de stocare electrică:

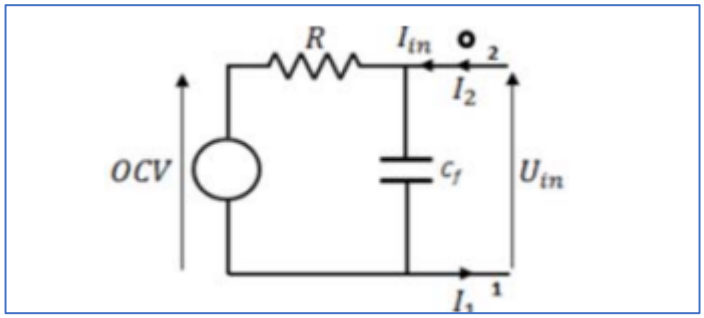


Figura 34. Model de circuit echivalent al bateriei de tracțiune pentru simulare cvasistatică

Modelul de circuit echivalent avansat (dinamic), figura 35, care include adăugarea de circuite RC pentru a caracteriza corect performanțele dinamice ale bateriei legate de fenomenele de difuzie (C_{diff}, R_{diff}) și de transfer de sarcină (C_{ct}, R_{ct}). Acest model poate fi utilizat pentru a simula comportamentul dinamic și tranziția termică a bateriei.

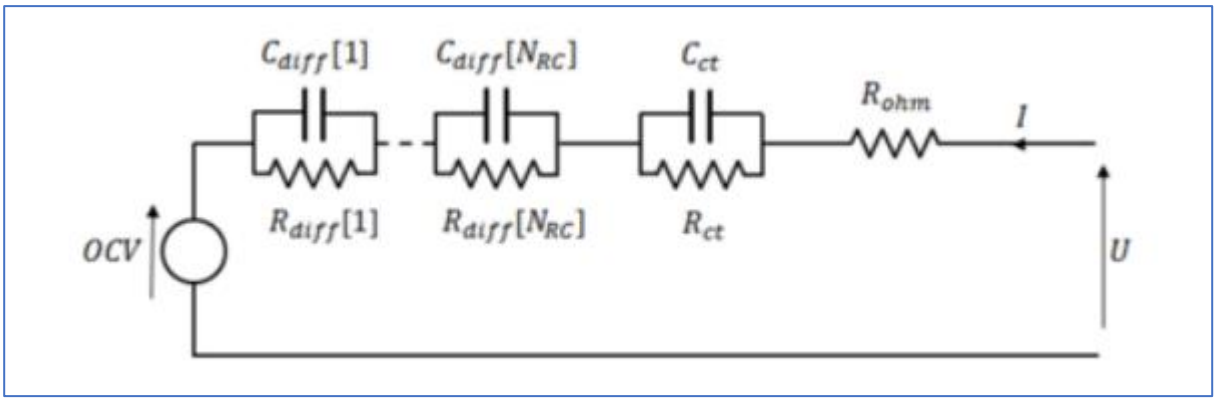


Figura 35. Modelul circuitului echivalent al bateriei de tracțiune pentru simularea dinamică

II. Bateria Li-ion – comparație între model și experiment

Bateriile Li-ion sunt unul dintre cele mai promițătoare sisteme de stocare a energiei (ESS) pentru vehicule electrice, hibride și plug-in hibride. Un model de simulare a unui bănci de testare virtuale a fost dezvoltat folosind platforma Simcenter Amesim. Acest model include două opțiuni pentru baterie: modelul cvasistatic și modelul dinamic.

Bateriile sunt alimentate de o sursă de curent reglabilă, semnalul de comandă fiind profilul curentului bateriei măsurat în timpul testului. Figura 37 prezintă bancul de testare virtual utilizat pentru analiza comparativă a celor două tipuri de baterii analizate.

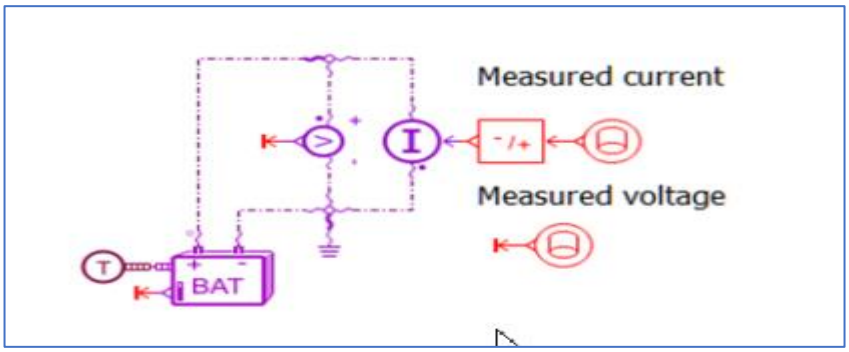


Figura 37. Model de banc de testare virtual in Amesim

Bateria instalată în Renault ZOE are 96 de celule conectate în serie, precum și două ramuri conectate în paralel. Fiecare celulă are o capacitate de 36 Ah.

Figura 38 prezintă profilul curentului măsurat și o analiză comparativă a tensiunii măsurate experimental cu rezultatele simulării în primele 2000 de secunde.

1.2.2.2 Modelarea și simularea unui vehicul electric.

Figura 40 prezintă un model de mașină electrică Renault ZOE care utilizează biblioteca IFP drive disponibilă in Amesim.

Cele mai importante părți ale modelului sunt: vehiculul, șoferul, unitatea de control a vehiculului (VCU), motorul electric și bateria. În procesul de simulare, vehiculul trebuie să urmeze unanumit profil de viteză. Modelul șoferului calculează semnalele pentru pedala de frână și pedala de accelerație pentru

a respecta profilul de viteză. Unitatea de control traduce comanda de accelerare într-o comandă de raport de cuplu al motorului.

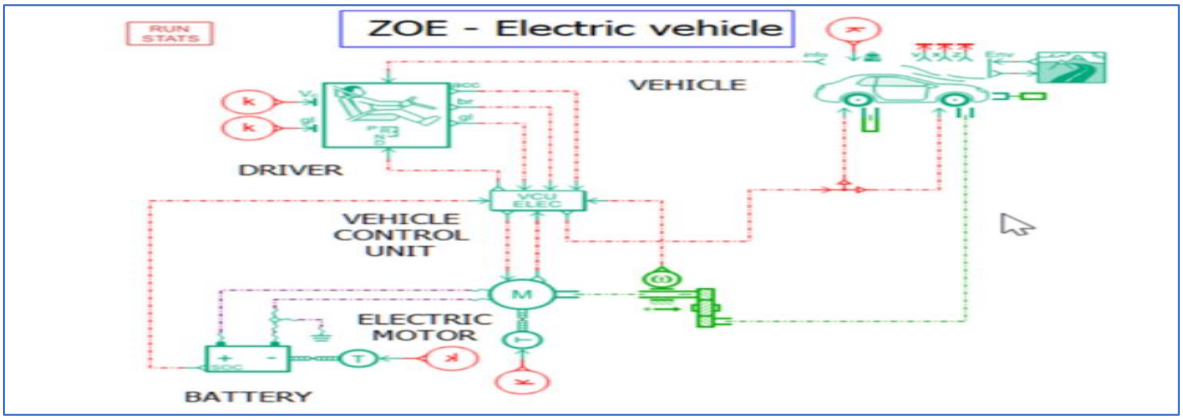


Figura 40. Reprezentarea modelului vehiculului Renault Zoe folosind platforma Amesim

I. Modelul șoferului

Acest model calculează mai multe comenzi: comanda de accelerație „*acc*", comanda de frânare „*br*" și comanda schimbătorului de viteze „*gl*

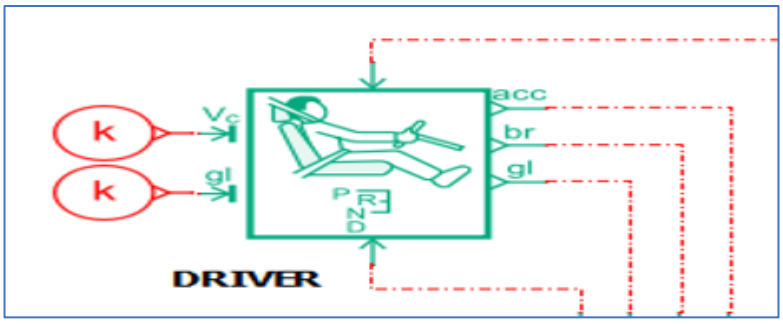


Figura 41. Reprezentarea modelului șoferului folosind platforma Amesim

II. Modelul unității de control al vehiculului – VCU EV

Această unitate VCU EV (Vehicle Control Unit for Electric Vehicle) primește informații de la șofer, de la bateria de tractiune și de la motorul electric

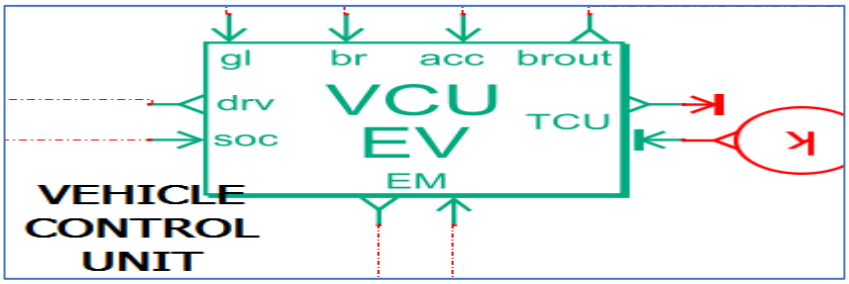


Figura 42. Reprezentarea modelului VCU EV folosind platforma Amesim

III. Motorul Electric

Mașina electrică din simularea modelului de vehicul electric este un model de motor/generator electric împreuna cu convertorul său. Cuplul de ieșire și pierderile de putere pot fi determinate fie utilizând fișiere de date, fie parametri caracteristici. Modelul este bidirecțional (motor/generator) și independent de tehnologia motorului și a convertorului său.

IV. Modelul de vehicul

Modelul vehiculului reprezintă structura vehiculului electric - EV. Atât puntea față, cât și puntea spate sunt modelate. Cuplul de frânare pentru fiecare punte este determinat din semnalul de intrare, cuplul maxim global de frânare și distribuția frânării între puntea față și puntea spate. Porturile mecanice rotative primesc cuplul de antrenare și returnează viteza de rotație pentru fiecare punte.

V. Rezultatele simulării.

In acest subcapitol este prezentată simularea Model-In-the-Loop (MiL) pentru un vehicul electric alimentat de un motor sincron. Simularea MiL este un instrument de validare a unui algoritm de control în buclă închisă.

În scopul atingerii vitezei necesare impuse de profilul de viteză, șoferul trebuie să comande accelerarea și frânarea vehiculului. În timpul procesului de frânare, frânarea regenerativa are loc atunci când starea de încărcare a bateriei scade sub un nivel specificat. Figura 48 arată momentul în care frânarea regenerativa este autorizată de unitatea de control electronică.

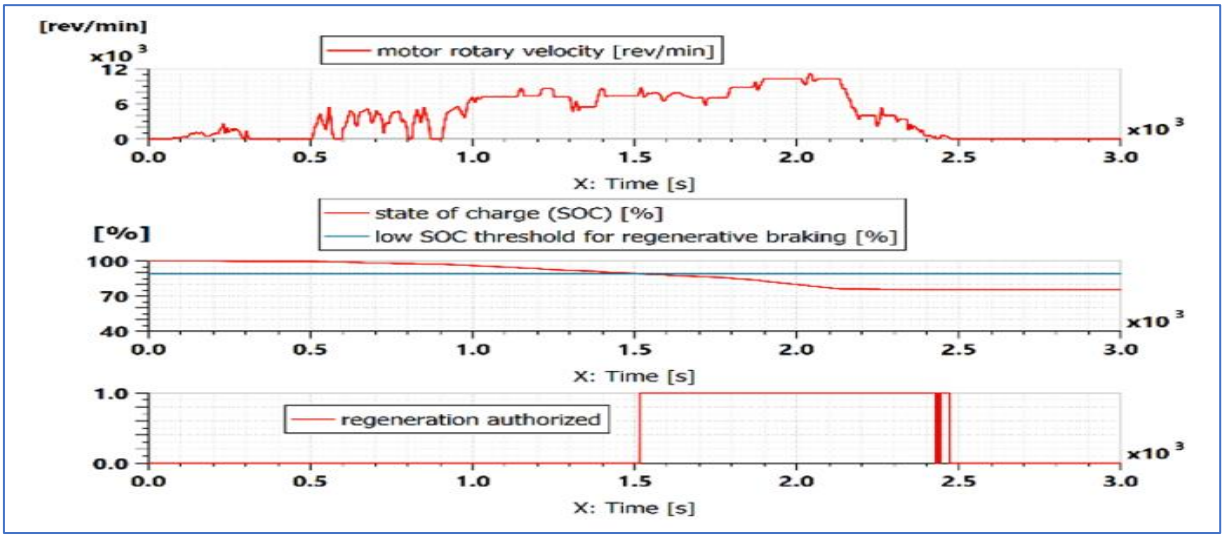


Figura 48. Viteza de rotație a motorului, SOC și frânarea regenerativa autorizată

Pentru a vizualiza mai bine evoluția curbelor analizate, intervalul de timp al axei *x* a fost redus la 3000 de secunde pentru figura 48 și figura 49.

VI. Concluzii

Modelele prezentate în această demonstrație oferă o simulare MiL eficientă. Modelele fizice și mediul sunt ușor de modelat datorită bibliotecilor Simcenter Amesim. În plus, simularea este realizată utilizând solverul cu pas variabil Simcenter Amesim cu tratarea discontinuităților. Acest lucru garantează o precizie și fiabilitate bune.

4.3 Simularea numerică privind consumul de energie al autovehiculelor electrice in diferite cicluri standardizate

Acest subcapitol are ca scop verificarea modelului dezvoltat odată cu introducerea datelor tehnice ale autovehiculului de referință prin analiza consumului de energie al autovehiculului electric supus simulării in diferite cicluri standardizate, in diferite regimuri de rulare: in cazul rulării la viteza mica si medie si in cazul rulării la viteza mare si foarte mare.

4.3.1. Ciclul de conducere WLTC

Acest ciclu patru părți, și anume viteză mică, medie, mare și foarte mare.

WLTP utilizează noile cicluri de testare armonizate, pe plan mondial în cazul vehiculelor ușoare (WLTC) pentru a măsura consumul de combustibil, emisiile de CO2 și poluanții emiși de autoturisme și vehicule utilitare ușoareCiclul de conducere RDE

Cu RDE, un automobil este condus pe drumuri publice și, prin urmare, este expus la o gamă largă de condiții diferite. Echipamentul specific instalat pe vehicul colectează date pentru a verifica dacă limitele legale pentru poluanți precum NOx nu sunt depășite. Condițiile de conducere includ:

- Altitudini joase și înalte
- Temperaturi pe tot parcursul anului
- Sarcina utilă suplimentară a vehiculului
- Conducere în urcare și în coborâre
- Drumuri urbane (viteză redusă)
- Drumuri rurale (viteză medie)
- Autostrăzi (viteză mare)

4.4.Cercetări cu privire la consumul de energie si la autonomia autoturismelor electrice, în cazul încercărilor pe ciclul WLTC.

Printre obiectivele principale așteptate atât de producătorii, cât și de utilizatorii finali ai vehiculelor electrice se numără consumul de energie electrică și autonomia, care trebuie să înlocuiască în mod clar rezultatele vehiculelor cu sursă de energie termică.

În a doua parte a lucrării, după testarea vehiculului electric studiat pe bancul de testare dinamic cu role, sunt evidențiate domeniile specifice ale ciclului de testare în care autonomia bateriei de propulsie înregistrează o scădere semnificativă. Analiza evoluției autonomiei este susținută de colectarea datelor de la principalele unități de control electronic ale sistemului de propulsie electric.

4.4.1.Incursiune in simularea cu privire la consumul de energie si la autonomia autoturismelor electrice, în cazul încercărilor pe ciclul WLTC.

Ciclul de testare WLTC a introdus, de asemenea, trei clase de testare diferite, specifice raportului masă-putere: prima clasă până la 22 kW/t, caracterizată printr-o viteză maximă de testare de 70 km/h, a doua clasă până la 34 kW/t, caracterizată printr-o viteză maximă de testare de 90 km/h și a treia clasă la 35 kW/t, în acest caz viteza maximă de testare fiind de aproximativ 131 km/h.

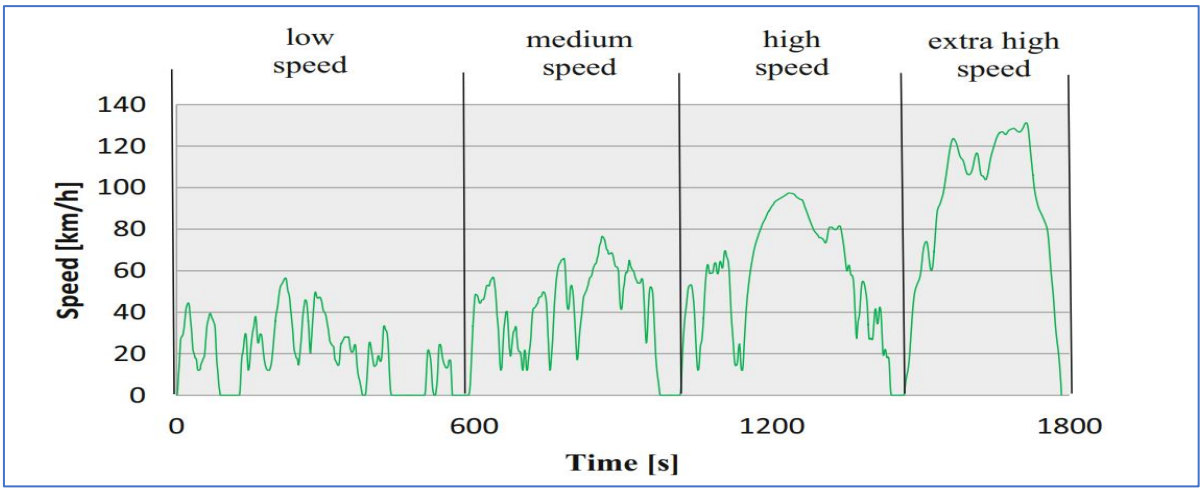


Figura 52. World-wide harmonized Light duty Test Cycle (WLTC)

4.4.2. Simularea cu privire la consumul de energie si la autonomia autoturismelor electrice, în cazul încercărilor pe ciclul WLTC.

Studiul experimental a fost realizat după conducerea vehiculului pe un dinamometru, urmând profilul de viteză și sarcină descris de WLTC. Înainte de test, bateria de tracțiune a fost încărcată la 100%. După încărcare, vehiculul a fost precondiționat, adică a fost menținut la o temperatură controlată timp de aproximativ 12 ore.

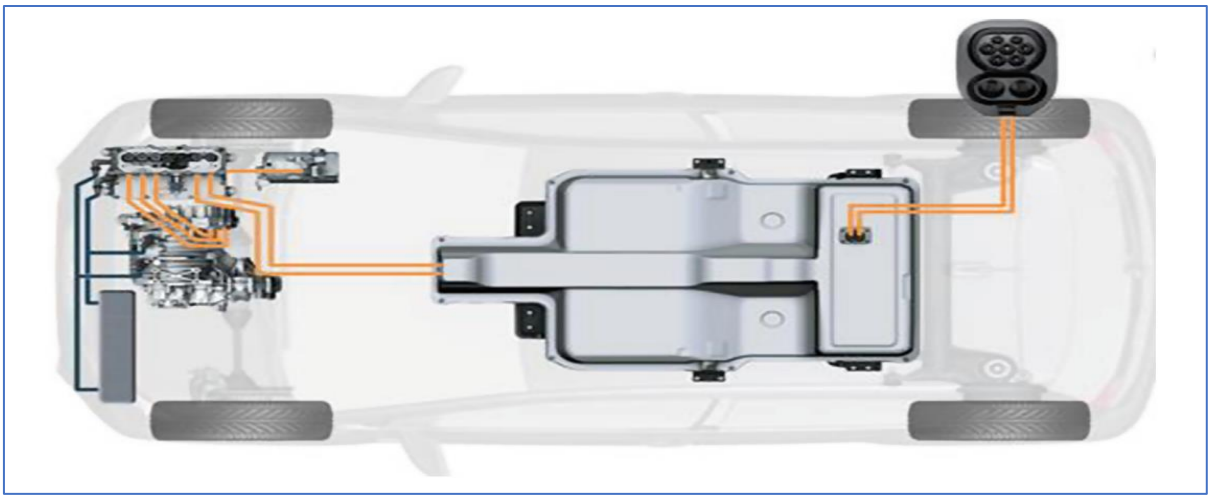


Figura 53. Arhitectura generala a unui autovehicul electric supus testarii

Vehiculul prezentat pentru testare este de clasă medie, cu o arhitectură generală similară cu cea din diagrama de mai sus, având următoarele caracteristici tehnice:

- Masă proprie: 1135 kg;
- Inerție: 1250 kg;
- Tracțiune față;
- Tip motor electric: sincron cu rotor spiralat;
- Putere maximă: 65 kW;

- Cuplu maxim: 200 Nm;
- Putere baterie tracțiune: 22 kWh;
- Tehnologia bateriei de tracțiune: Li-Ion, 400 V

Pentru a simula inerția și cerințele de sarcină ale dinamometrului, s-au utilizat următoarele date:

- Puterea și sarcina suportate de bancul cu role la 85 km/h: 6,8 kW;
- Coeficienții pentru rezistența la rulare: a (N) 6,9; b [N/(km/h)2] 0,0455;

Figura 54 arată că profilul de viteză a fost respectat pe toată perioada de testare, indicând faptul că vehiculul a fost capabil să răspundă, din punct de vedere dinamic, solicitărilor la care a fost supus. Pentru a analiza cu precizie cauza scăderii de sarcină a bateriei de tracțiune, care duce la o reducere a autonomiei, au fost efectuate mai multe cicluri, stabilindu-se valori medii pentru fiecare dintre cele patru zone specifice ale ciclului WLTC.

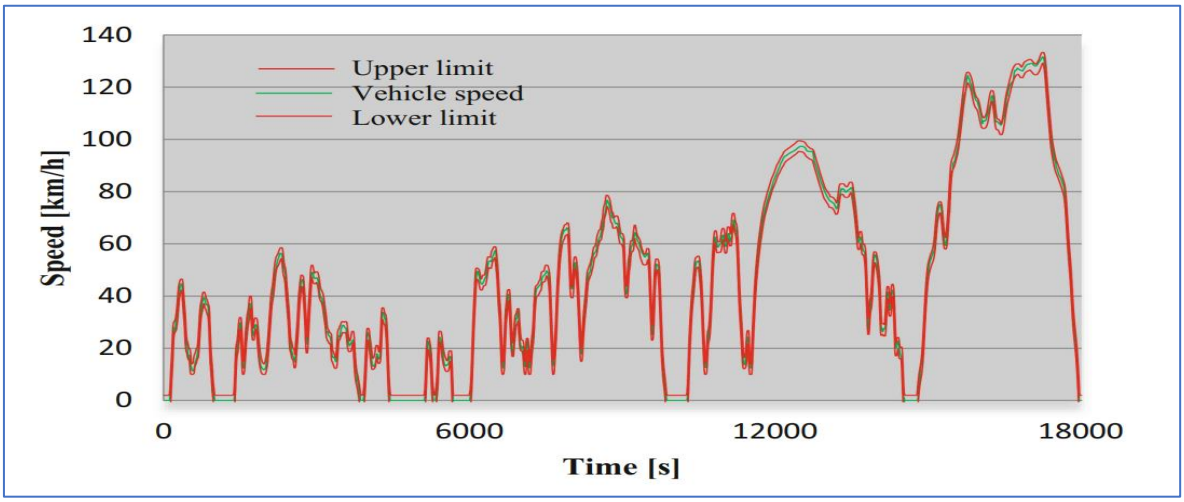


Figura 54. Profilul de viteză WLTC urmat de vehiculul testat

Din informațiile furnizate de unitățile electronice de control care gestionează bateria de tracțiune, a fost posibilă analiza bilanțului energetic, precum și a raportului dintre energia transferată sistemului de tracțiune de către baterie și energia recuperată de baterie prin frânare regenerativă.

4.4.3. Rezultatele simulării cu privire la consumul de energie si la autonomia autoturismelor electrice, în cazul încercărilor pe ciclul WLTC.

Prin simulări cercetări experimentale au fost evidențiate și grafice ale nivelului specific de încărcare al bateriei de tracțiune, specifice fiecărei zone de viteză incluse în componenta WLTC

4.4.4. Concluziile simulării cu privire la consumul de energie si la autonomia autoturismelor electrice, în cazul încercărilor pe ciclul WLTC.

Cercetările experimentale indică faptul că starea de încărcare, respectiv autonomia bateriilor de tracțiune, prezintă un comportament foarte bun în condiții de conducere la viteză mică și medie, specifice aglomerației urbane caracterizate de un trafic rutier intens.

4.5. Cercetări privind autonomia si consumul de energie al autovehiculelor electrice, simulata si măsurată, in cazul rulării la viteza mica si medie, specifica încercării WLTC.

Cele mai importante caracteristici așteptate de la vehiculele electrice actuale includ consumul de energie și autonomia, care trebuie să poată înlocui fără echivoc performanțele vehiculelor echipate cu motoare cu ardere internă. Aceste așteptări provin atât de la producători, cât și de la utilizatorii finali.

4.5.1. Calcularea autonomiei si consumului de energie al autovehiculelor electrice, simulata si măsurată, in cazul rulării la viteza mica si medie, specifica încercării WLTC, utilizând platforma de modelare si simulare AMESIM.

Vehiculele electrice (EV) au devenit din ce în ce mai populare în ultimii ani, multe guverne din întreaga lume angajându-se să reducă emisiile de carbon prin renunțarea la combustibilii fosili. Unul dintre aspectele cele mai importante ale performanței vehiculelor electrice este autonomia lor, care este influențată de mai mulți factori. În ultimii ani, simulările au devenit un instrument popular pentru predicția autonomiei vehiculelor electrice, dar acuratețea lor a fost adesea pusă la îndoială.

4.5.2. Rezultatele simulării cu privire la consumul de energie si la autonomia autoturismelor electrice, în cazul încercărilor pe ciclul WLTC, in cazul rulării la viteza mica si medie, specifica încercării WLTC, utilizând platforma de modelare si simulare AMESIM.

Ca urmare a cercetării experimentale au fost scoase în evidență grafice cu nivelul de încărcare a bateriei de tracțiune specific fiecărei zone de viteză ce intră în componența încercării WLTC. De asemenea, pe baza achizițiilor de date realizate cu echipamente specifice, s-au putut trage niște concluzii referitoare la modul în care în care se consumă și respectiv se recuperează energia bateriei de tracțiune.

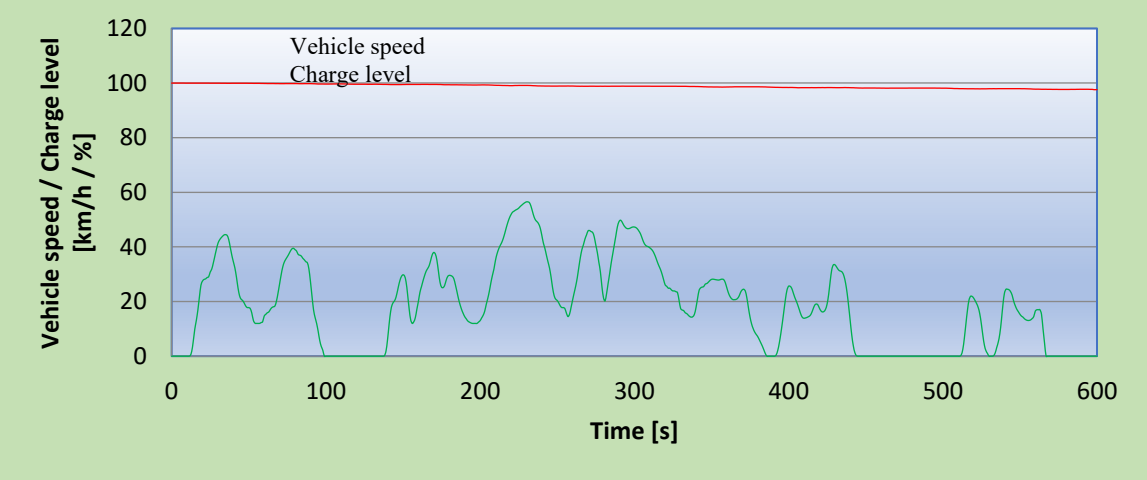


Figura 63. Nivel de încărcare baterie de tracțiune, zona de viteză mică

Zona de rulare a autoturismului la viteză mică este descrisă în figura 63, fiind caracterizată printr-un nivel de sarcină foarte scăzut. După cum se poate observa, acest tip de rulare simulează specificul localităților cu trafic intens, viteza medie fiind de aproximativ 18,9 km/h iar viteza maximă de circa 56,5 km/h. În astfel de situații comportamentul bateriei de tracțiune este unul foarte bun, caracterizat prin consum redus de energie si frânări recuperative multiple, unde evident impactul asupra nivelului de încărcare și implicit asupra autonomiei nu este unul semnificativ.

Cercetările experimentale indică faptul că în cadrul acestor tipuri de rulare la viteză și sarcină redusă se obțin cele mai bune performanțe privind autonomia bateriilor de tracțiune, acesta fiind și motivul

pentru care anumite tipuri de autovehicule electrice sunt destinate utilizării în condiții urbane cu trafic intens. Nici rularea în zona de viteză medie descrisă în figura 64 nu este problematică din punct de vedere autonomie, deoarece și în această situație putem vorbi despre sarcini mici și viteză moderată, viteza medie având valoarea de 39,5 km/h iar viteza maximă aproximativ 76,6 km/h.

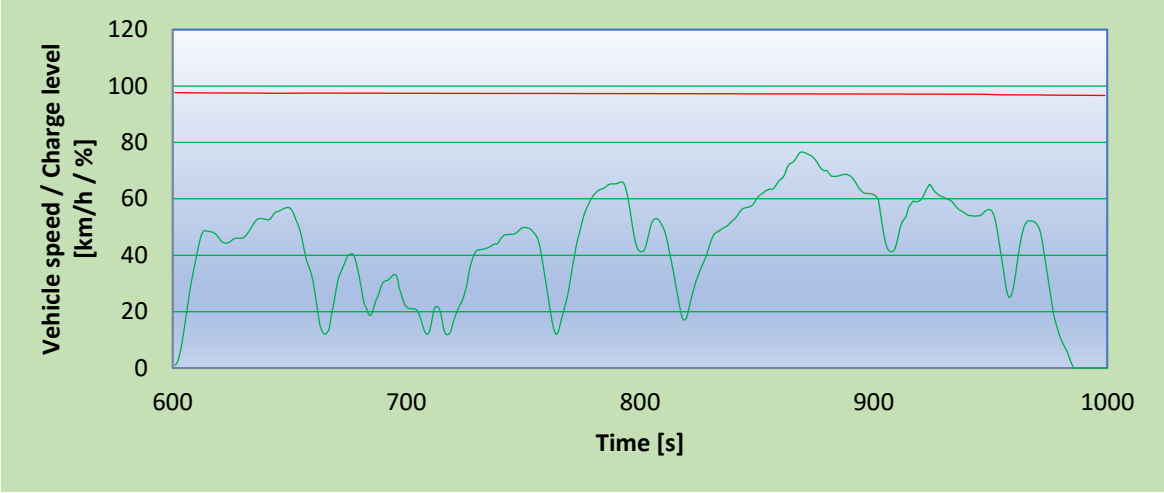


Figura 64. Nivel de încărcare baterie de tracțiune, zona de viteză medie

4.5.3. Concluziile simulării cu privire la consumul de energie si la autonomia autoturismelor electrice, în cazul încercărilor pe ciclul WLTC, in cazul rulării la viteza mica si medie, specifica încercării WLTC, utilizând platforma de modelare si simulare AMESIM.

Cercetările experimentale indică faptul că starea de încărcare, respectiv autonomia bateriilor de tracțiune, prezintă un comportament foarte bun în condiții de conducere la viteze mici și medii, specifice aglomerației urbane caracterizate de un trafic rutier intens

De asemenea, o influenta foarte ridicata in stabilirea unui comportament foarte bun al autonomiei bateriilor de tracțiune în condiții de conducere la viteze mici și medii, îl are si modul de conducere ales, in ultima perioada, la toți producătorii de autovehicule electrice, fiind disponibil si modul de conducere ECO, care conferă o accelerare lent progresiva.

4.6. Cercetări privind autonomia si consumul de energie al autovehiculelor electrice, simulata si măsurată, in cazul rulării la viteza mare si foarte mare, specifica încercării WLTC.

In prima parte sunt detaliate aspecte teoretice cu privire la autovehiculul electric încercat si procedura de încercare aplicabila acestuia, specifica ciclului WLTC, corespunzătoare zonei de încercări pentru viteză mare si pentru viteză foarte mare.

4.6.1. Calcularea autonomiei si consumului de energie al autovehiculelor electrice, simulata si măsurată, in cazul rulării la viteza are si foarte, specifica încercării WLTC, prin utilizarea platformei de simulare si modelare Simcenter AMESIM.

Două criterii de performanță sunt poate printre cele mai importante așteptări pe care utilizatorii le au de la autovehiculele electrice respectiv autonomia și consumul de energie electrică.

Platforma Simcenter AMESIM, dispune de o multitudine de funcții de simulare utilizate de către constructorii de autovehicule și de alte domenii industriale precum construcția de utilaje, de nave, aviație, etc.

4.6.2. Rezultatele simulării cu privire la consumul de energie si la autonomia autoturismelor electrice, în cazul încercărilor pe ciclul WLTC, in cazul rulării la viteza mare si foarte mare, specifica încercării WLTC, utilizând platforma de modelare si simulare AMESIM.

Pentru realizarea modelării și simulării a fost utilizată platforma Simcenter AMESIM. Programul a fost rulat simulându-se un autovehicul corespunzător clasei medii, având in echipare motor electric și reductor. Datele referitoare la autoturismul supus modelarii și simularii sunt similare cu cele ale unui autoturism real ce urmează să fie încercat la standul cu rulouri pentru a valida rezultatele obținute prin simulare.

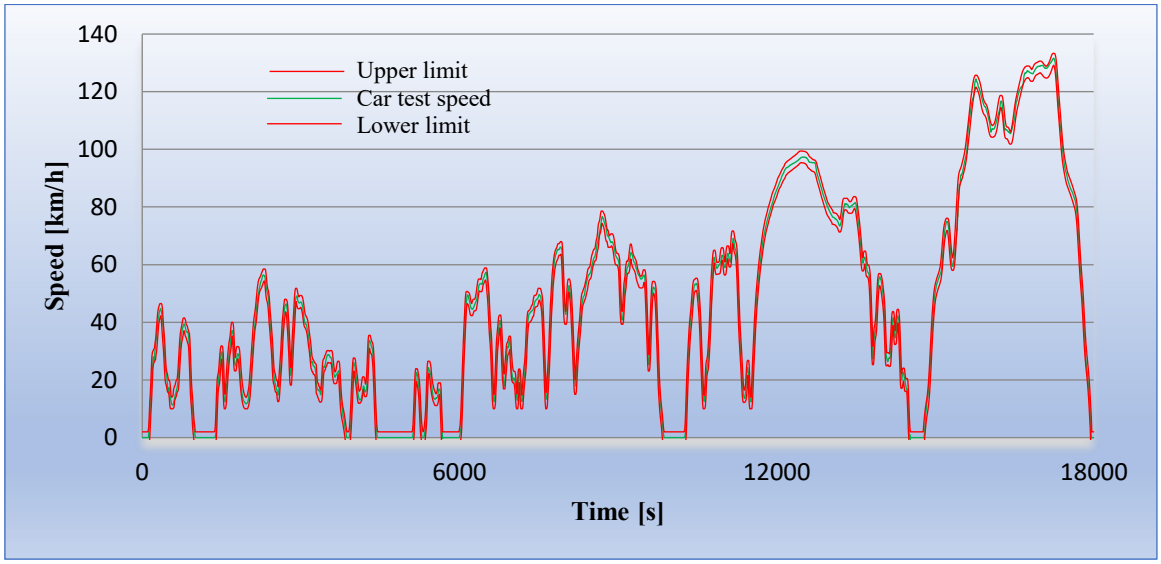


Figura 65. Profilul de viteză WLTC urmat de către autovehiculul încercat

În figura 65, se observă că pe toată perioada încercării profilul de viteză a fost respectat, ceea ce indică faptul că autoturismul a reușit să satisfacă din punct de vedere dinamic solicitările la care a fost supus.

4.6.3. Concluziile simulării cu privire la consumul de energie si la autonomia autoturismelor electrice, în cazul încercărilor pe ciclul WLTC, in cazul rulării la viteza mare si foarte mare, specifica încercării WLTC, utilizând platforma de modelare si simulare AMESIM.

Astfel, s-a analizat modul de comportare simulat al stării de încărcare din bateria de tracțiune în raport cu sarcina și turația motorului electric, generate evident de viteza de deplasare și dinamicitatea ciclului. Simularea a fost lansată până la epuizarea totală a stării de încărcare a bateriei de tracțiune. Nu in ultimul rând, in conformitate cu aceste informații s-au relevat și zonele de viteză în care autovehiculul electric are cele mai bune performante din punct de vedere economicitate, caracterizate prin consum de energie electrică redus.

In figura 66 este reprezentata variația încărcării regenerative in timp a autovehiculului supus încercării la viteze mari si foarte mari specifică rulării simulate pe ciclul WLTC, pentru un ciclu

de încercare. Se observa cum starea de încărcare SOC scade foarte mult in timp, in ciuda frânarii regenerative cu inerție foarte mare la viteze mari si foarte mari, in urma studiilor reieșind faptul ca si temperatura joaca un rol foarte important in evoluția stării de încărcare regenerativa la autovehiculele electrice[49].

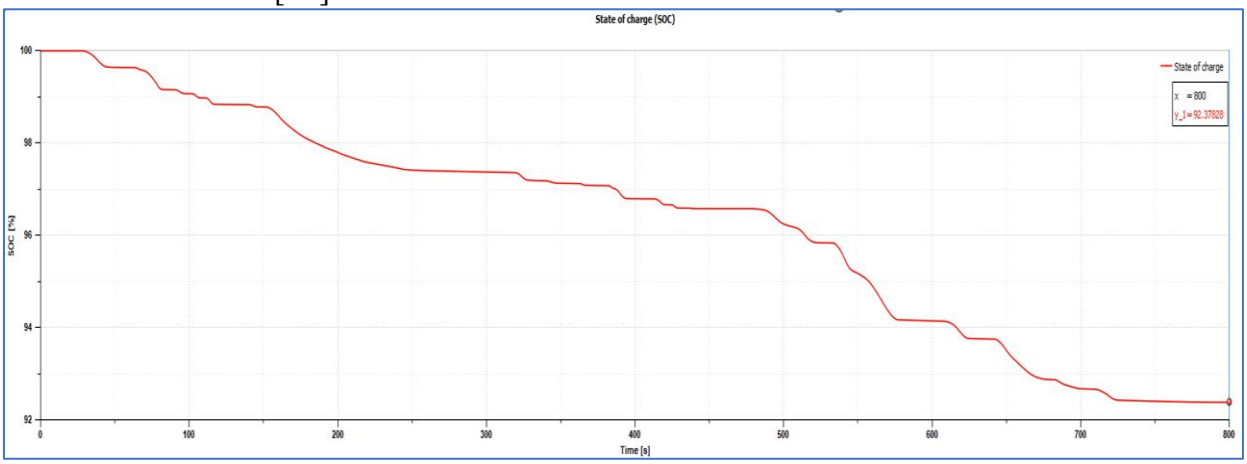


Figura 66. Variația stării de încărcare regenerativa pentru autoturismul încercat la viteze mari si foarte mari pentru un ciclu de încercare in WLTC

De altfel, in urma studiilor a reieșit faptul ca un rol foarte important privind modul de epuizare a stării de încărcare a bateriilor de tracțiune ce echipează autovehiculele electrice, in cazul rulării la viteza mare si foarte mare, îl reprezintă pe lângă temperatura, si numărul de cicluri de încărcare si descărcare completa a bateriei de tracțiune.

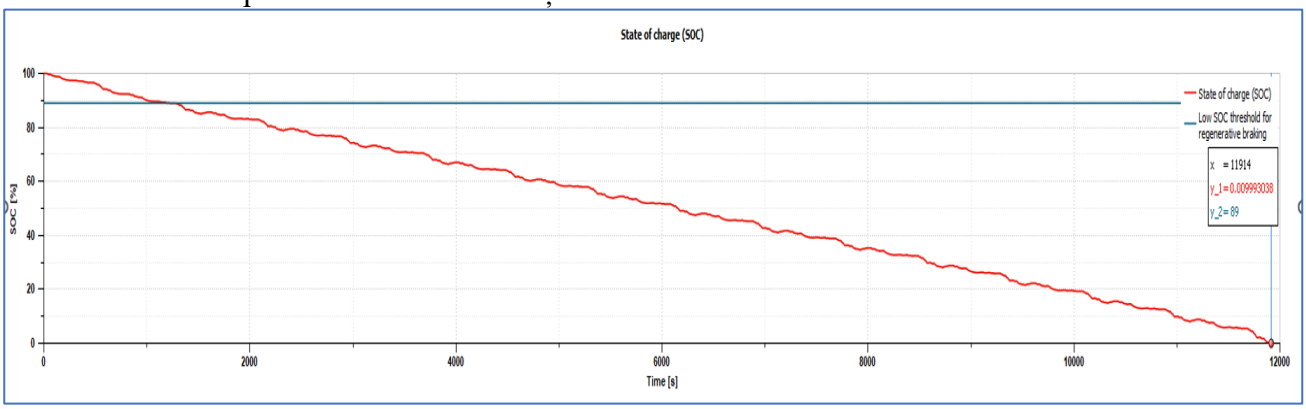


Figura 67. Variația stării de încărcare regenerativa pentru autoturismul încercat la viteze mari si foarte mari pentru 15 cicluri de încercare in WLTC

In figura 67 este reprezentata variația încărcării regenerative in timp a autovehiculului supus încercării la viteze mari si foarte mari specifică rulării simulate pe ciclul WLTC, pentru 15 cicluri de încercare. Se observa cum starea de încărcare SOC scade foarte mult in timp, in ciuda frânarii regenerative cu inerție foarte mare la viteze mari si foarte mari, in urma studiilor reieșind faptul ca si temperatura joaca un rol foarte important in evoluția stării de încărcare regenerativa la autovehiculele electrice.

De asemenea, s-a optat pentru mai multe cicluri de încercări, având in vedere faptul ca aceste încercări s-au efectuat in condiții de temperatura si in condiții climatice diferite, si in anumite intervale de viteze , la viteze mari si foarte mari ale vehiculului supus testării.

Astfel acuratețea rezultatelor acestor încercări este mult mai aproape de adevăr, având in vederea multitudinea factorilor care influențează aceste măsurători.

In figura 68, in astfel de situații când vorbim despre o viteză medie de 56,6 km/h și viteză maximă de aproximativ 97,4 km/h, de regulă aportul de energie recuperată este practic nesemnificativ, diminuarea nivelului de încărcare și implicit a autonomiei realizându-se lin și progresiv.

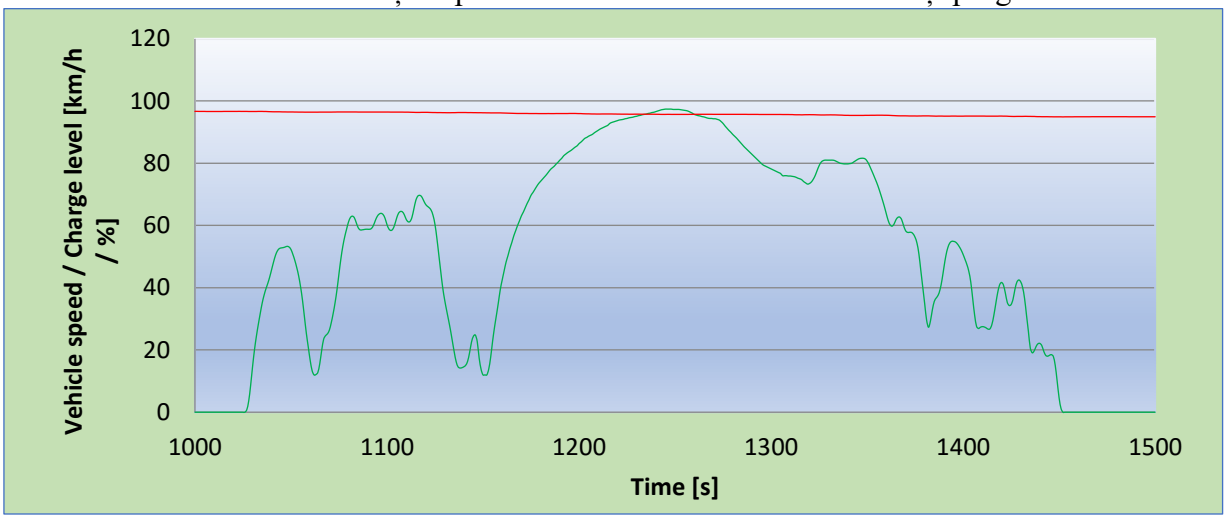


Figura 68. Nivel de încărcare baterie de tracțiune, zona de viteză mare

Zona de rulare la viteză foarte mare, reprezentată grafic în figura 69, are un caracter special în ceea ce privește menținerea nivelului de încărcare din bateria de tracțiune. La astfel de rulaje viteza medie atinge valori de 92 km/h și viteza maximă ajunge la 131,3 km/h. De regulă în această zonă marea majoritate a autovehiculelor electrice de serie ating viteza maximă constructivă, caracterizată prin sarcină plină unde recuperarea de energie este inexistentă.

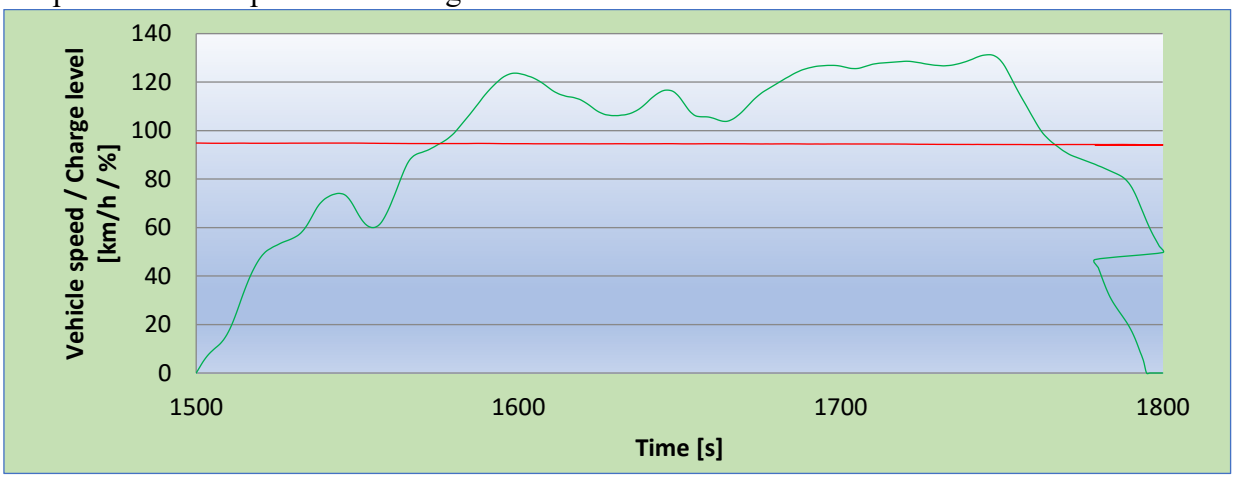


Figura 69. Nivel de încărcare baterie de tracțiune, zona de viteză foarte mare

La această viteză de deplasare nivelul de încărcare a bateriei de tracțiune scade rapid autonomia fiind afectată imediat. Aceasta reprezintă cea mai defavorizantă situație pentru energia acumulată în bateria de tracțiune ca urmare a consumului foarte mare generat de către motorul electric de tracțiune.

Încercările aplicate autovehiculului electric supus cercetării au fost repetate până la epuizarea totală a autonomiei bateriei de tracțiune respectiv pană la momentul în care consemnul de viteză nu a mai putut fi respectat de către autovehicul.

Ca urmare a rulării simulate, s-a constatat că, în cazul utilizării autoturismelor la viteză mare și foarte mare, caracterizată prin solicitări dinamice ridicate și foarte ridicate, menținerea stării de încărcare este dificil de realizat, efectul asupra autonomiei electrice fiind unul foarte ridicat. Cu referire directă la alura de viteză mare și foarte mare a ciclului WLTC simulat, aceasta poate fi asimilată cu utilizarea autoturismelor în regim extraurban și autostradă. În astfel de condiții, practic fără frânări recuperative, aportul de energie recuperată de către bateria de tracțiune este inexistent, deci impactul asupra autonomiei electrice este unul foarte mare.

Evoluția simulată a stării de încărcare a bateriei de tracțiune cu efect în autonomia electrică, la rularea pe ciclul WLTC, indică faptul că autoturismele cu sursă de energie electrică au utilitate foarte bună în regim urban și satisfăcătoare pentru regimul extraurban sau autostrada. Evoluția tehnologiilor de fabricație a bateriilor de tracțiune precum și creșterea puterii acestora poate suplini din punct de vedere autonomie, utilizarea vehiculelor în regim extraurban sau autostrada.

De asemenea s-a constatat faptul ca in urma studiilor a reieșit faptul ca un rol foarte important privind modul de epuizare a stării de încărcare a bateriilor de tracțiune ce echipează autovehiculele electrice, in cazul rulării la viteza mare si foarte mare, îl reprezintă temperatura, condițiile climatice si numărul de cicluri de încărcare si descărcare completa a bateriei de tracțiune.

4.7. Cercetări cu privire la consumul de energie si la autonomia autoturismelor electrice, în cazul încercărilor pe ciclul RDE, utilizand platforma Simcenter Amesim.

Intrarea în vigoare a standardului Euro6 ne invită să determinăm emisiile reale de gaze pe un traseu specific: o treime în oraș, o treime pe drumuri secundare și o treime pe autostrăzi.

Regulamentul european EU6d privind emisiile impune, în perioada 2017-2020, prevede luarea în considerare a emisiilor în condiții reale de conducere ca cerință suplimentară pentru omologare, pentru a ține seama de influența profilului rutier, a condițiilor de mediu, a situației traficului și a comportamentului șoferului. Noul test utilizează un sistem portabil de monitorizare a emisiilor (PEMS) pentru a măsura emisiile la bord. Însă de asemenea si pentru evaluarea consumului energetic al unui autovehicul electric. Astfel, vehiculele electrice nu produc emisii poluante, astfel încât măsurarea într-un ciclu real se reduce la determinarea consumului de energie electrică, a autonomiei și a altor factori relevanți care demonstrează performanța dinamică și energetică a acestor vehicule.

Traseul trebuie să includă o secțiune urbană, o secțiune rurală și o secțiune de autostradă, cu cerințe specifice în ceea ce privește distanța și viteza medie pentru fiecare secțiune. De exemplu, durata totală a traseului trebuie să fie între 90 și 120 de minute. Datorită acestor cerințe stricte, efectuarea măsurătorilor RDE trebuie să fie precedată de o planificare precisă a itinerariului, pentru a reduce riscul de eșec al testelor și, în consecință, costurile experimentale. Obiectivul prezentului studiu este de a prezenta o procedură care să permită stabilirea unui ciclu pentru emisiile în condiții reale de conducere, care să minimizeze distanța, să fie robustă în fața incertitudinilor legate de condițiile de trafic și să satisfacă cerințele de reglementare. Procedura a fost aplicată pe trasee cu punctul de plecare și destinație în departamentul de inginerie pentru inovare. În plus, a fost efectuată o analiză preliminară a efectului vitezei instantanee și al accelerației asupra consumului de energie în condiții reale.

4.7.1. Incursiune in simularea cu privire la consumul de energie si la autonomia autoturismelor electrice, în cazul încercărilor pe ciclul RDE – Real Driving Emission.

După cum s-a specificat deja, vehiculele electrice nu produc emisii poluante, astfel încât măsurarea într-un ciclu real se reduce la determinarea consumului de energie electrică, a autonomiei și a altor factori relevanți care demonstrează performanța dinamică și energetică a acestor vehicule.

Ciclurile RDE sunt definite pentru a reprezenta scenarii din viața reală. Acestea trebuie să țină cont de un mediu variabil, de pantele drumurilor, de vânt, de trafic și de diferite comportamente de conducere. Este definită o listă de criterii pentru a verifica dacă un ciclu este compatibil cu „RDE”. Mai jos este prezentată o listă simplificată:

Repartizarea ciclului (+/- 10%)	29% < ratio <= 34%	33%	33%
Viteza	V < 60 km/h	60 km/h <= V < 90 km/h	V > 90 km/h
Viteza maximă (+/- 15 km/h pentru mai puțin de 3% din timpul de conducere)	-	-	145 km/h
Viteza medie (inclusiv opririle)	15 km/h <= Vmedie <= 30 km/h	-	-
Distanța minimă parcursă	16 km	16 km	16 km
Diferența de altitudine (început/sfârșit)	100m	100m	100m
Panta maximă	1200m/100km	1200m/100km	1200m/100km

Figura 71. listă de criterii pentru a verifica dacă un ciclu este compatibil cu „RDE”.

Pentru a finaliza configurarea modelului, fișierele de ciclu, generate în secțiunea anterioară, trebuie configurate în sub modelul driverului.

Se poate face si estimarea consumului de combustibil sau de energie, in cazul autovehiculelor electrice. Acum că modelul este complet definit și ciclul RDE importat în Simcenter Amesim, simularea poate fi lansatăÎmbunătățirea continuă a soluțiilor existente.

4.7.2.Calculul consumului de energie si al autonomiei autoturismelor electrice, în cazul încercărilor pe ciclul RDE, utilizând platforma Simcenter Amesim.

4.7.2.1.Introducere

Acest studiu descrie metodologia, modelarea, simulările și analiza rezultatelor pentru evaluarea consumului de energie și a autonomiei unui autoturism electric (EV) pe cicluri RDE (Real Driving Emissions) folosind platforma Simcenter Amesim. Scopul este de a furniza un cadru reproductibil, robust și validat pentru estimarea consumului (Wh/km, kWh/100 km), energia regenerată și autonomia estimată în funcție de fereastra SOC și scenarii de mediu (temperatură, vânt, altitudine).

Rolul Simcenter Amesim în această evaluare:

- Modelare fizică detaliată.

- Integrarea ciclului RDE.
- Analiză parametrică.
- Optimizare.

Beneficii pentru proiectare și validare:

- Reducerea costurilor și timpului de dezvoltare.
- Predictibilitate.

Scopul studiului

Scopul studiului il reprezinta utilizarea platformei Simcenter Amesim pentru simularea comportamentului energetic al unui vehicul electric pe ciclul RDE, în vederea evaluării consumului de energie și a autonomiei în condiții reale de trafic.

4.8.2.2. Metodologie

A. Descrierea platformei Simcenter Amesim

Mai jos se prezinta reprezentarea schematica a vehiculului supus simularii, Renault ZOE, motor 5AM, corespunzaote unui ciclu RDE, utilizand platforma Simcenter Amesim.

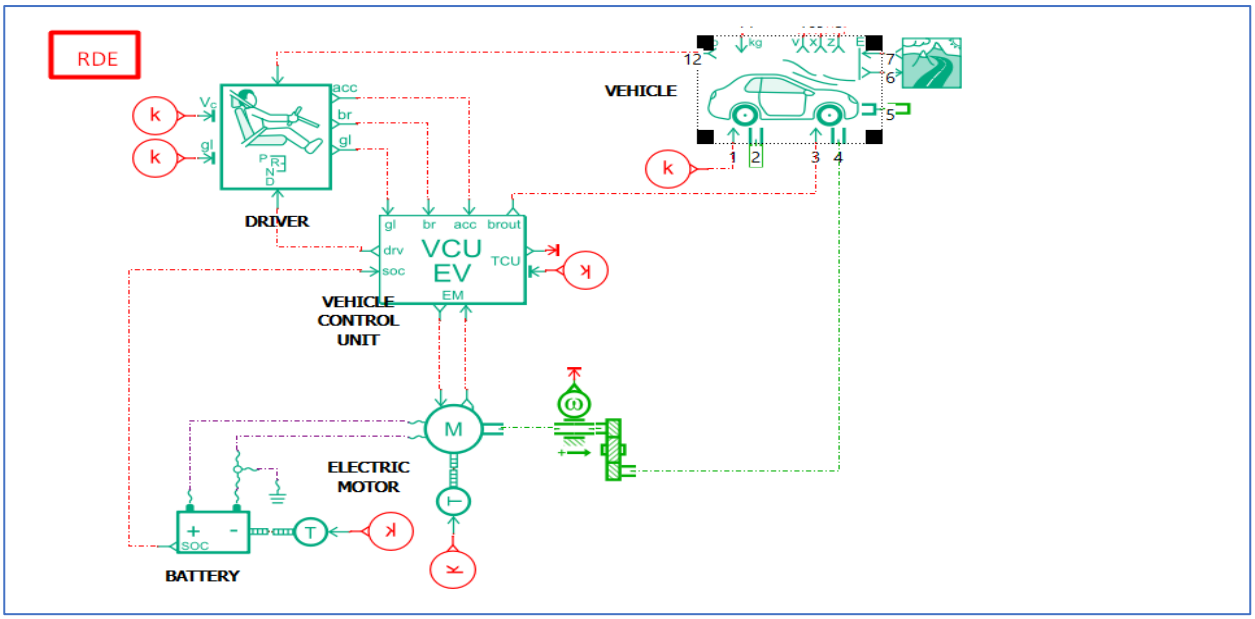


Figura 75. Reprezentarea schematica a vehiculului supus simularii, Renault ZOE, motor 5AM, corespunzaote unui Battery Pack

4.8.2.3. Configurarea modelului de vehicul electric

Vehiculul prezentat pentru testare este de clasă medie, Renault ZOE, motor 5AM, având caracteristicile tehnice amintite in capitolul anterior.

4.8.2.3. Implementarea Ciclului RDE pentru testarea modelului simulat.

Pentru simulare s-a folosit un ciclu de baza „RDE Graz”, remodelat prin extinderea la aproape aproape 3 cicluri continue, scopul simulării fiind acela de rulare al autovehiculului electric dupa ciclul „RDE Graz”, pana la oprirea completa a autovehiculului, datirata epuizarii complete a bateriei de tractiune.

S-a folosit pentru alegerea modelului de simulare, un autovehicul electric de clasă medie, Renault ZOE, motor 5AM, din secțiunea „SKECTH”, fisierul „IFP Drive”, din libraria „Library tree” corespunzătoare cu versiunea Simcenter Amesim 2504.

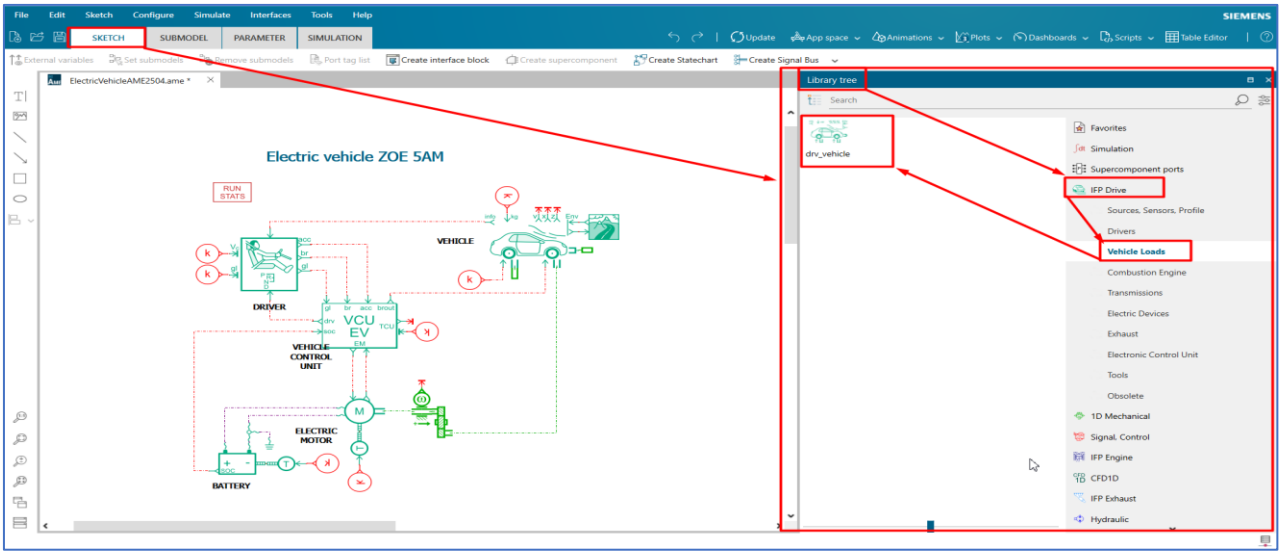


Figura 77. Prezentarea grafica a Fișierului „IFP Drive” din librăria „Library tree” corespunzătoare cu versiunea

„SKETCH”, practic, este spațiul grafic în care utilizatorul construiește modelul fizic al sistemului prin plasarea și conectarea componentelor din bibliotecile Amesim.

In continuare, in figura 78, se poate vedea cum, in secțiunea „SUBMODEL”, fișierul „Model explorer”, am putut defini componentele, semnalele de intrare si ieșire, parametrii si driverele sub modelelor utilizate pentru realizarea modelului de simulare.

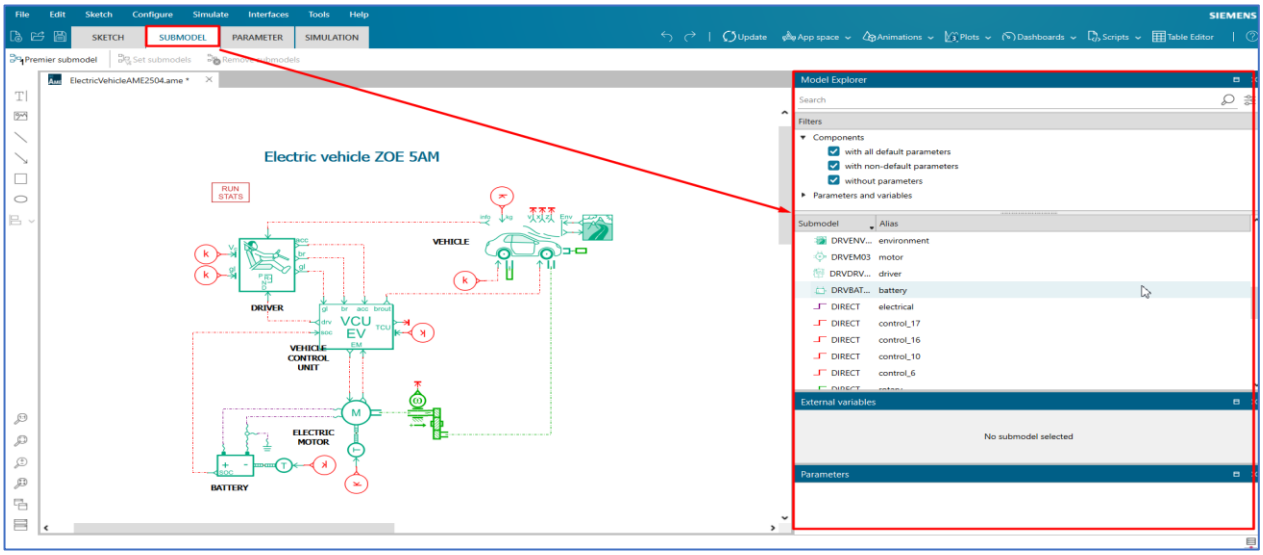


Figura 78. Prezentarea grafica a Fișierului „Model Explorer” din secțiunea „SUBMODEL” corespunzătoare cu versiunea Simcenter Amesim 2504.

În Simcenter Amesim, secțiunea "SUBMODEL" are o semnificație esențială în definirea comportamentului componentelor din modelul construit în zona „SKETCH”

În Simcenter Amesim, secțiunea "PARAMETER" este esențială pentru definirea comportamentului real al componentelor din modelul construit în zona „SKETCH”.

Sectiunea „PARAMETER”, practic este locul unde utilizatorul introduce valorile fizice, tehnice și de funcționare ale fiecărei componente din model. Acestea definesc modul în care componentele se comportă în timpul simulării.

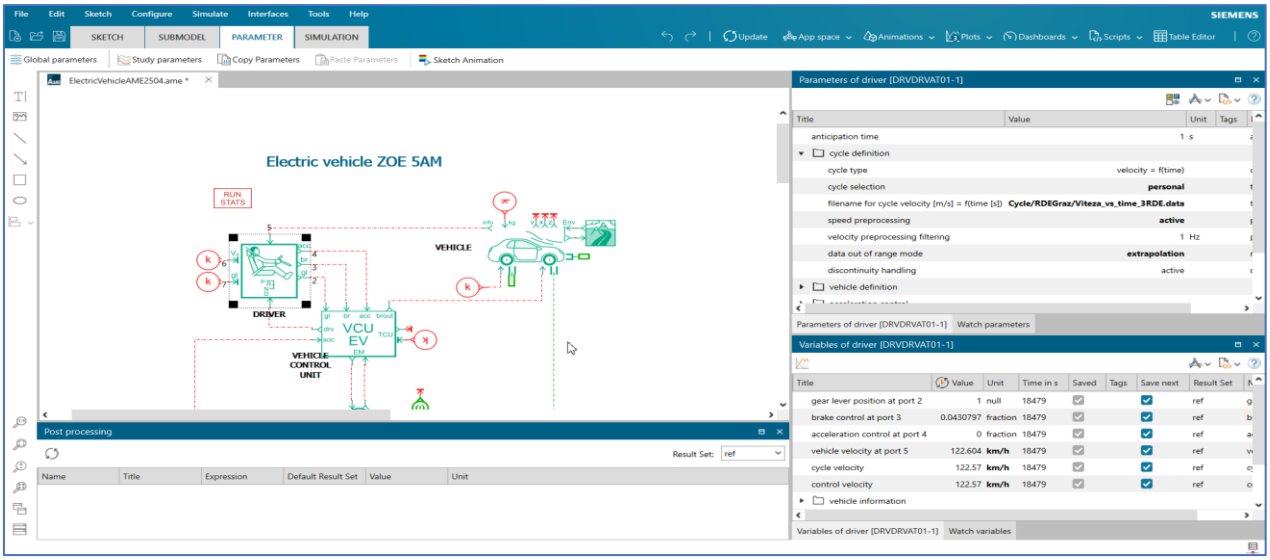


Figura 78. Prezentarea grafica a secțiunii „PARAMETER” corespunzătoare cu versiunea Simcenter Amesim 2504.

In figura 79, in secțiunea „SIMULATION”, prima data accesam fisierul „Run Parameters”, in care introducem datele necesare rulării simulării (Simulation Setings, Simulation type, Integrator type, Miscellaneous, Result file(s), Information), după care rulam scenariul „Run simulation”, in urma căruia vom obtine rezultatele care ne interesează, in urma rulării acestui scenariu.

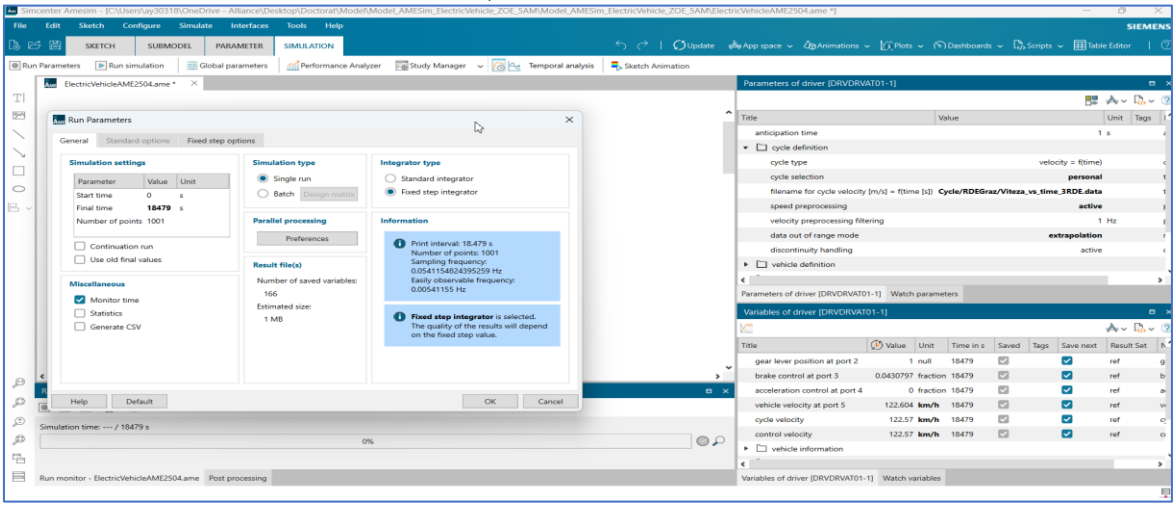


Figura 79. Prezentarea grafica a secțiunii „SIMULATION” corespunzătoare cu versiunea Simcenter Amesim 2504.

Precizez încă odată faptul ca am rulat scenariul in așa fel încât simularea sa se termine exact in momentul in care bateria de tracțiune se descarcă complet, adică după exact 18479 secunde.

4.8.2.4. Rezultate si analize.

Scopul analizei: evaluarea consumului energetic și a eficienței vehiculului electric într-un ciclu RDE.

1. Diagrama a punctelor de funcționare ale motorului electric.

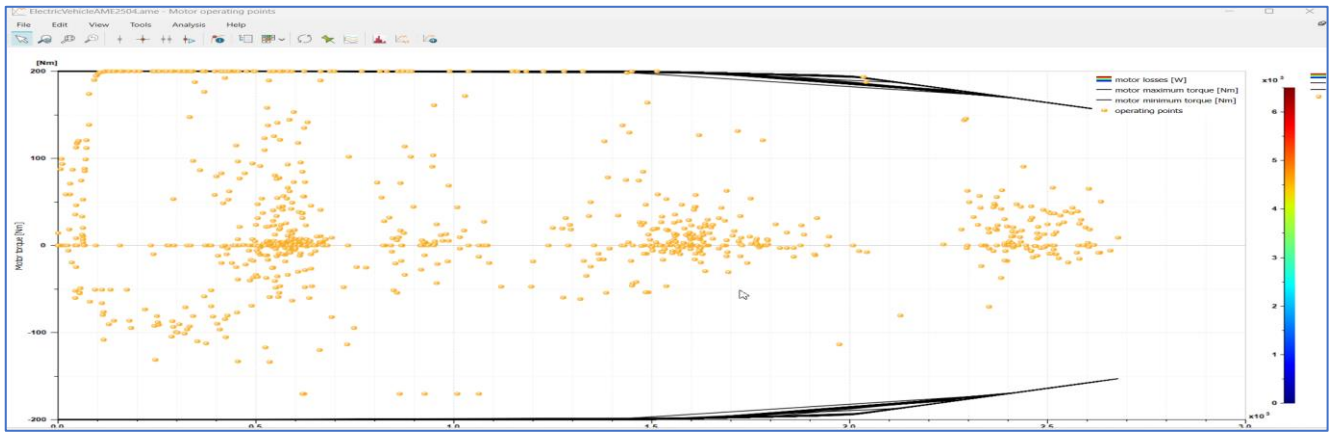


Figura 80. Diagrama a punctelor de funcționare ale motorului electric.

In figura 80, se poate observa diagrama a punctelor de funcționare ale motorului pentru Renault Zoe 5AM.

2.Profilul de viteză al ciclului RDE

In figura 81 se poate observa profilul de viteză al ciclului RDE.

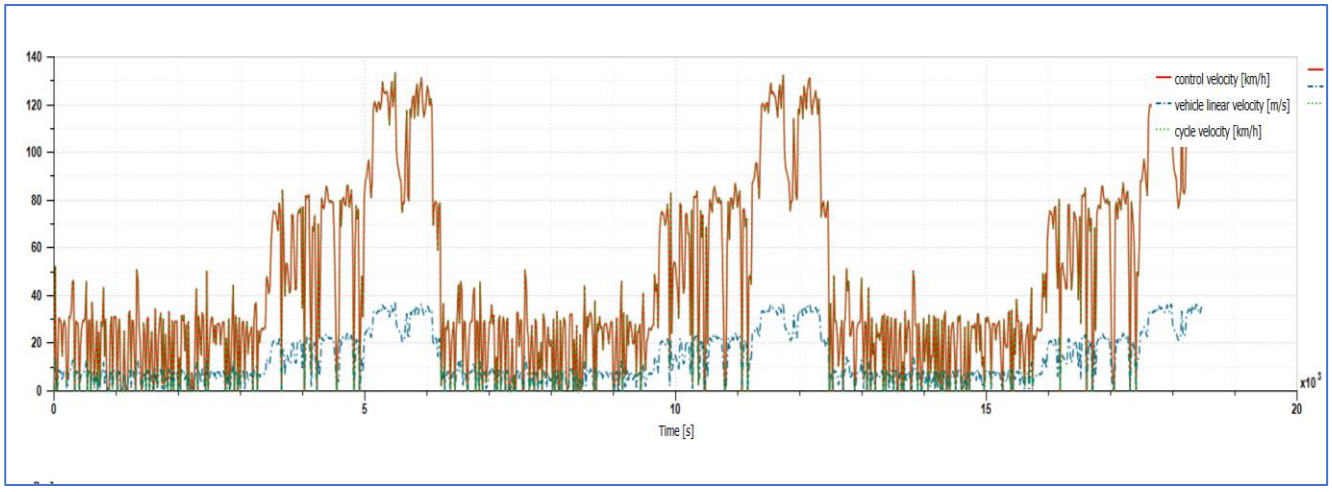


Figura 81. Diagrama profilului de viteza in ciclul RDE pentru autovehiculul simulat

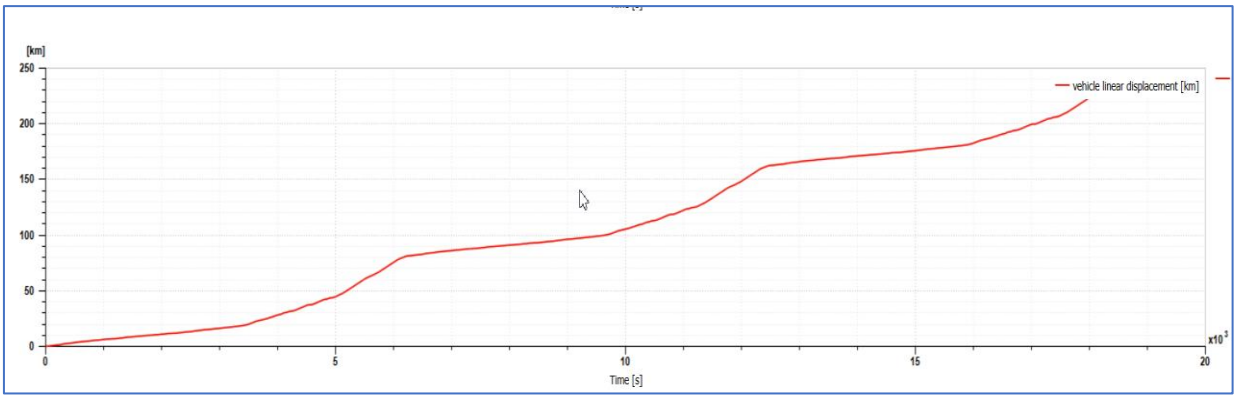


Figura 82. Reprezentarea grafica al deplasării liniare a vehiculului în funcție de timp

In figura 82, putem studia reprezentarea grafica al deplasării liniare a vehiculului în funcție de timp

3.Starea de incarcare a bateriei de tractiune.

In figura 83, putem vedea reprezentarea grafica a evoluției nivelului de încărcare al bateriei (State of Charge - SOC) în funcție de timp

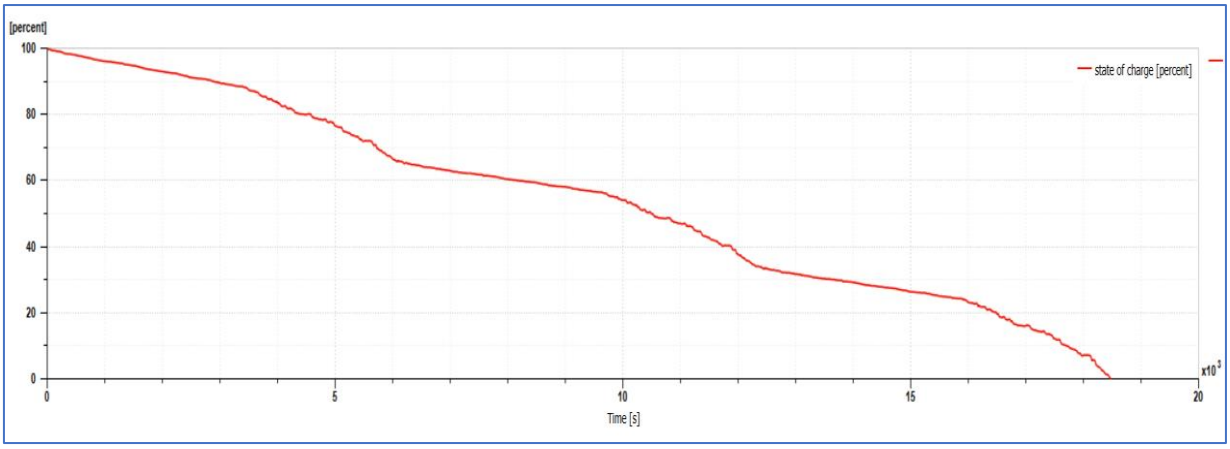


Figura 83. Reprezentarea grafica a evoluției nivelului de încărcare al bateriei (State of Charge - SOC)

4.Regenerarea bateriei de tracțiune.

Graficul din figura 84 reprezintă viteza de rotație (rotary velocity) în funcție de timp

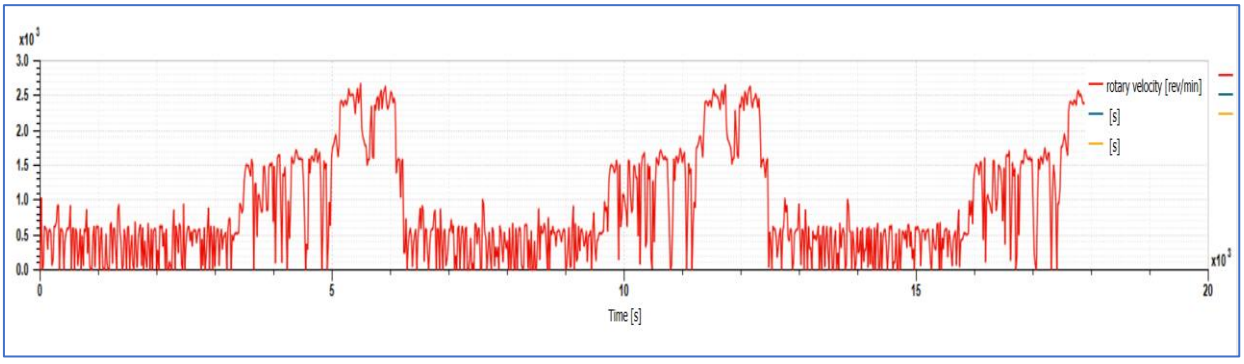


Figura 84. Reprezentarea grafica a vitezei de rotație.

In figura 85, putem observa din nou evoluția nivelului de încărcare al bateriei (State of Charge - SOC) în funcție de timp.

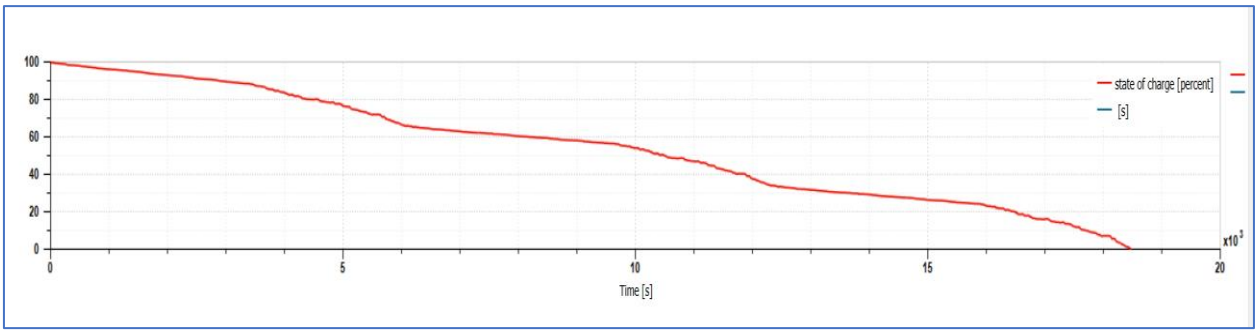


Figura 85. Reprezentarea grafica privind evoluția nivelului de încărcare al bateriei (State of Charge - SOC)

In concluzie, graficul confirmă o descărcare controlată și eficientă a bateriei, ceea ce este ideal pentru evaluarea performanței energetice în condiții de testare. Este un indicator valoros pentru validarea modelelor de simulare în Amesim.

4.Comportamentul sistemului de frânare.

Graficul din figura 86 analizează comportamentul sistemului de frânare al vehiculului observă fluctuații frecvente, cu vârfuri și scăderi.

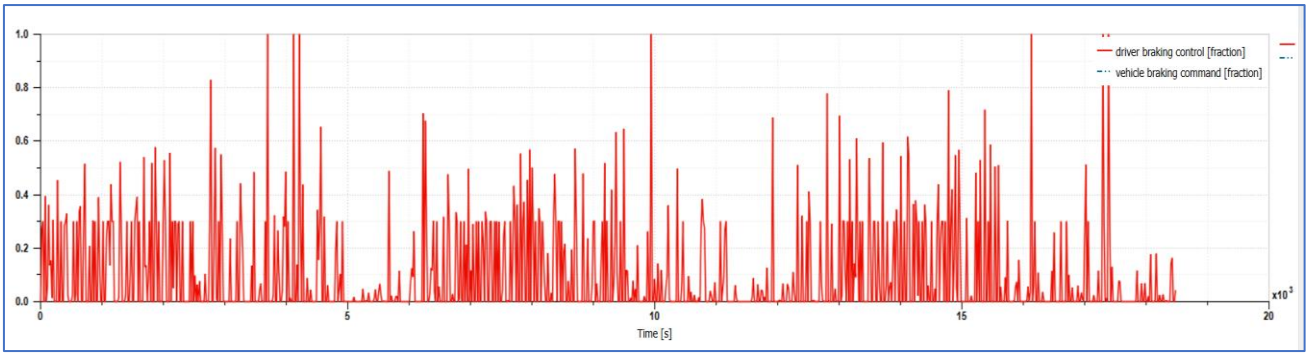


Figura 86. Reprezentarea grafica a comportamentului sistemului de franare.

5.Analiza cuplului motorului electric.

Graficul din figura 87 reprezintă evoluția cuplului motor (motor torque) și a comenzii de cuplu (motor torque command) în funcție de timp, pe durata unui test de 20.000 secunde.

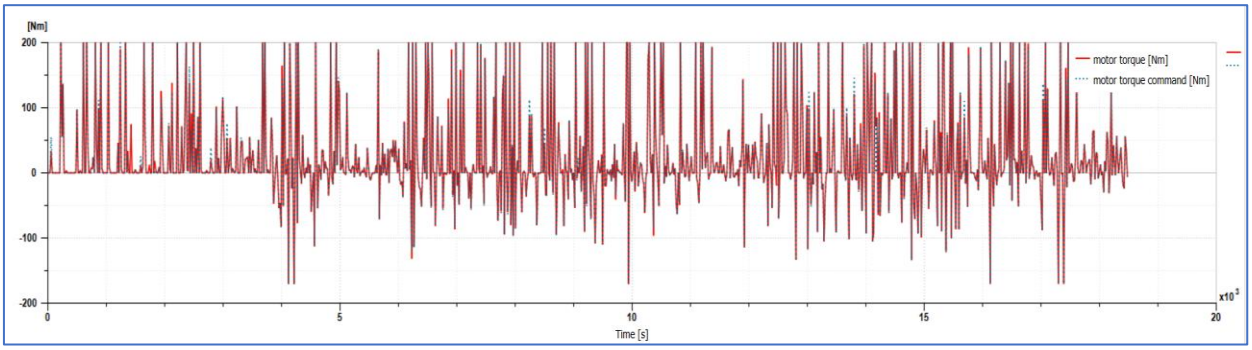


Figura 87. Reprezentarea grafica reprezintă evoluția cuplului motor (motor torque) și a comenzii de cuplu (motor torque command)

6.Concluzii generale.

Pe baza tuturor graficelor analizate anterior, inclusiv cel din figura 88 și a comparației între ciclul RDE și WLTP, putem formula următoarele concluzii generale privind comportamentul energetic și dinamic al unui vehicul electric în condiții reale de utilizare:

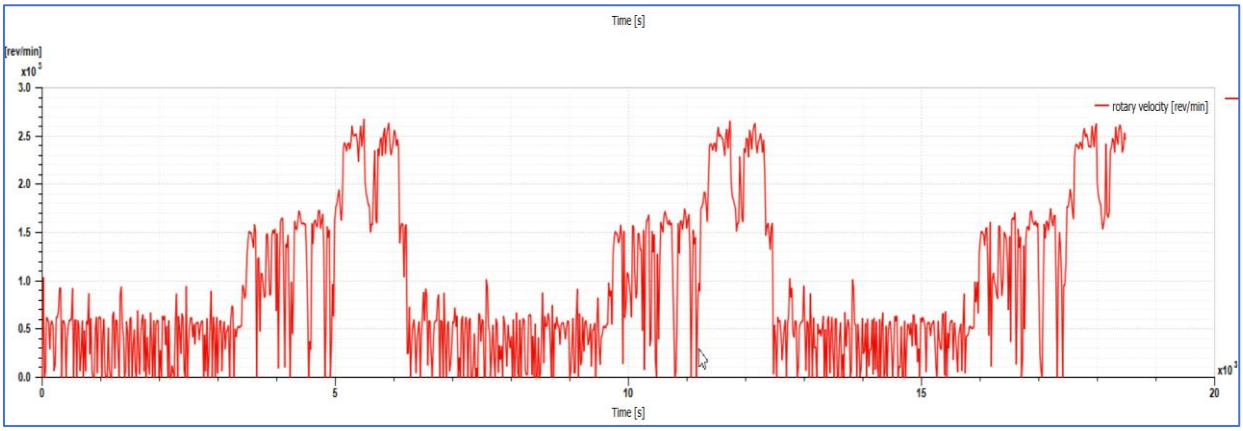


Figura 88. Diagrama generala profilului de viteza in ciclul RDE pentru autovehiculul simulat

6.1. Concluzii generale privind simularea pe ciclul RDE

1. Consumul de energie și autonomia:

- SOC-ul scade aproape liniar de la 100% la 20% în 20.000 secunde, indicând un consum constant.
- Pe baza distanței parcurse (aproximativ 250 km), autonomia totală estimată este de aproximativ 312 km, cu un consum mediu de aproximativ 192 Wh/km.
- Aceste valori sunt realiste și reflectă condiții de trafic variabil, specifice ciclului RDE.

2. Dinamica motorului și controlul cuplului:

- Cuplul motor și comanda de cuplu prezintă variații rapide și ample între -200 și +200 Nm, indicând:
  - Răspuns prompt la cerințele de accelerație/decelerare
  - Funcționare eficientă a frânării regenerative
- Viteza de rotație a motorului variază frecvent, cu vârfuri de până la 3000 rotații/min, ceea ce reflectă un regim de condus dinamic.

3. Comportamentul la frânare:

- Activitatea de frânare este intermitentă, cu multiple vârfuri de intensitate.
- Corelarea între comanda șoferului și comanda vehiculului este bună, sugerând un sistem de frânare bine calibrat.

4. Deplasare și profil de condus:

- Vehiculul parcurge aproximativ 250 km în 20.000 secunde, având viteza medie de aproximativ 45 km/h.
- Graficul de deplasare este aproape liniar, indicând o simulare stabilă, dar realistă.

6.2. Comparativ cu ciclul WLTP

Aspect	RDE (simulat)	WLTP (standardizat)
Condiții de testare	Reale, variabile	Controlate, ideale
Autonomie estimată	~312 km	De obicei mai mare (~350–400 km)
Consumul specific	~192 Wh/km	140–180 Wh/km
Variații de cuplu/viteză	Mari, frecvente	Moderate, previzibile
Relevanță pentru utilizator	Ridicată	Medie

Figura 88. Aspecte comparative intre ciclurile de testare RDE si WLTP

Concluzii finale

- Ciclul RDE oferă o evaluare mai realistă a performanței energetice a vehiculului electric.
- Simcenter Amesim este un instrument eficient pentru validarea strategiilor de control și optimizarea consumului în condiții reale.
- Integrarea datelor reale de la bord (ex. CAN logs) ar putea îmbunătăți și mai mult acuratețea simulării.

5. CERCETAREA EXPERIMENTALA A AUTOVEHICULULUI ELECTRIC.

5.1. Considerente Generale.

5.1.1. Contextul general al cercetării în domeniul vehiculelor electrice

În ultimele două decenii, industria auto a traversat o transformare majoră, determinată de necesitatea reducerii dependenței de combustibilii fosili și de cerințele tot mai stricte privind protecția mediului. Autovehiculele electrice (EV – *Electric Vehicles*) s-au impus ca o alternativă viabilă la autovehiculele cu motoare cu ardere internă (MAI), datorită avantajelor legate de emisii locale zero, eficiență energetică.

5.1.2. Necesitatea cercetării experimentale

Deși modelele numerice și simulările computerizate oferă o bază solidă pentru proiectarea vehiculelor electrice, acestea nu pot surprinde în totalitate complexitatea fenomenelor reale, influențate de factori multipli: condiții climatice, topografie, stil de conducere, degradarea componentelor în timp.

5.1.6. Considerente finale

Cercetarea experimentală asupra autovehiculelor electrice reprezintă un domeniu interdisciplinar, aflat la intersecția ingineriei electrice, mecanice și a științelor mediului. În condițiile actuale de tranziție energetică, ea asigură nu doar validarea performanțelor tehnice, ci și fundamentarea unor decizii strategice privind adoptarea pe scară largă a electromobilității.

5.2.Structura sistemului de propulsie cu care este echipat vehiculul electric utilizat pentru teste.

5.2.1. Considerații generale

Renault Zoe este unul dintre cele mai răspândite autovehicule electrice de serie din Europa, fiind utilizat frecvent în cercetări experimentale datorită disponibilității sale pe piață și a configurației tehnologice reprezentative

5.2.2. Principalele componente ale sistemului de propulsie

Sistemul de propulsie este format din următoarele subsisteme majore:

5.2.2.1. Bateria de tracțiune

- Tehnologie: litiu-ion (Li-ion).
- Capacitate utilă (în funcție de generație):
  - ~22 kWh (prima generație, 2012–2016),
  - ~41 kWh (Z.E.40, 2017–2019),
  - ~52 kWh (Z.E.50, după 2019).
- Tensiune nominală: 350–400 V.
- Răcire: sistem pasiv/activ cu aer forțat.
- Funcție: stocarea energiei electrice necesare propulsiei și alimentării consumatorilor auxiliari.

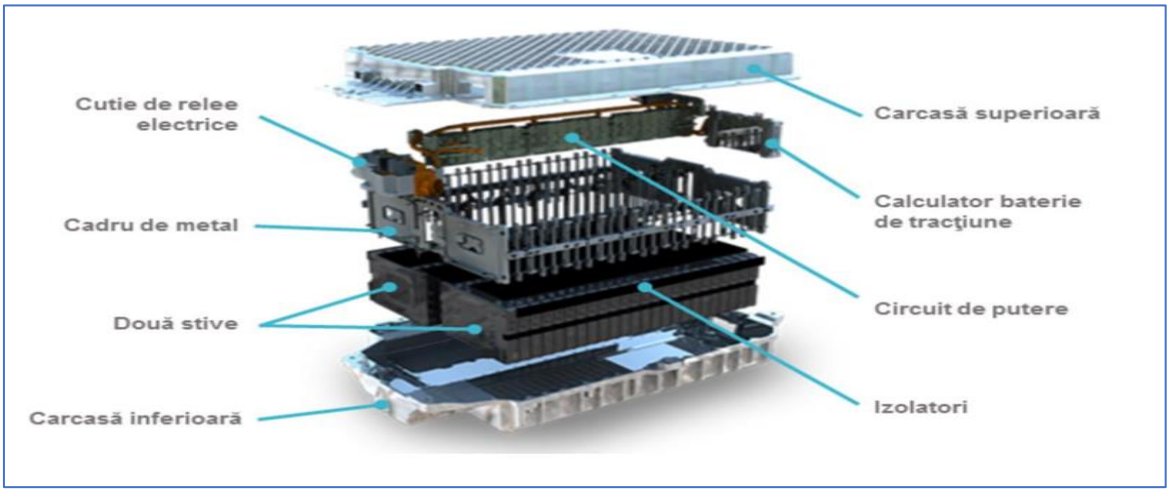


Figura 89. Componenta Bateriei de tracțiune a unui autovehicul electric Renault ZOE, 5AM

Modulele glisează pe cadrul metalic Tijele metalice sunt utilizate pentru a fixa elementele stivei. Modulele sunt izolate între ele prin distanţiere şi inserţii. O baterie este formată din mai multe suprapuneri.

5.2.2.2. Motorul electric

- Tip: motor sincron cu rotor bobinat (fără magneți permanenți).
- Putere:
  - 65 kW (R90 – generație mai veche),
  - 80 kW (R110, 5AM – varianta de încercări frecvent utilizată).
- Cuplu maxim: ~225 Nm.

- Avantaje: eficiență ridicată, control avansat al fluxului, eliminarea dependenței de magneți permanenți (reducerea costurilor și a dependenței de pământuri rare).
- Rotorul se bazează pe principiul electromagnetului. Acesta trebuie să fie alimentat cu energie pentru a crea un câmp magnetic.
- Pe un motor sincron, rotorul se roteşte cu aceeaşi viteză ca şi câmpul magnetic al statorului.

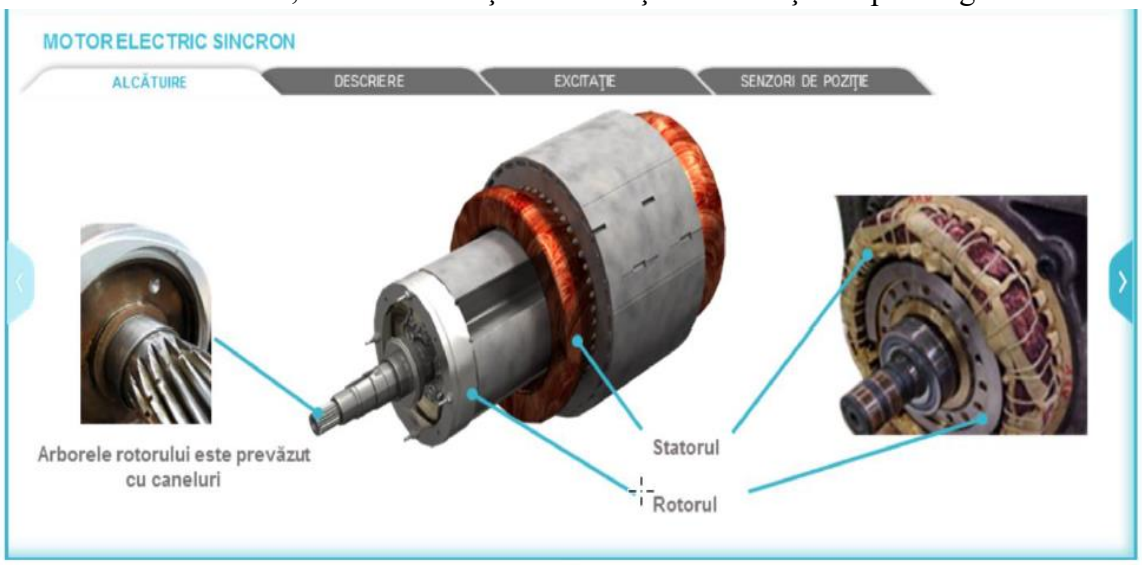


Figura 92. Motorul electric al autovehiculului electric Renault Zoe, 5AM

5.2.2.3. Invertorul / Convertizorul electronic de putere

- Convertește energia electrică DC (curent continuu) din baterie în AC (curent alternativ) trifazat pentru motor.

5.2.2.4. Transmisia

- Tip: transmisie cu raport unic (1 treaptă), cu reductor mecanic.

5.2.2.5. Încărcătorul bateriei de tractiune:

- Putere de încărcare: până la 22 kW AC (în funcție de rețea).

5.2.2.6. Sistemele auxiliare

- **Sistem de management al bateriei (BMS)** – monitorizează tensiunea, curentul și temperatura celulelor, echilibrează sarcina între celule și protejează la suprasarcină/descărcare profundă.
- **Sistem de răcire și climatizare** – include pompe, schimbătoare de căldură și aer condiționat, pentru a menține temperaturile optime ale bateriei și motorului.
- **Unitatea de control a vehiculului (EVC)** – coordonează funcționarea tuturor componentelor și interfața cu șoferul.

Calculatorul EVC (unitate centrală de gestionare vehicul electric) de pe un vehicul electric are același rol cu calculatorul de injecție (comanda motorului) de pe un vehicul cu motor cu combustie.

Calculatorul EVC gestionează afişarea diverselor mesaje pe tabloul de bord.

Calculatorul EVC monitorizează nivelul de izolaţie între vehicul şi reţeaua de înaltă tensiune.

1.2.3. Schema funcțională a sistemului de propulsie

Flux energetic principal:

Baterie de tracțiune → Invertor → Motor electric → Transmisie cu raport fix → Roți.

Fluxuri auxiliare:

- Recuperarea energiei la frânare: Roți → Motor (generator) → Invertor → Baterie.
- Alimentarea echipamentelor auxiliare (climatizare, iluminat, multimedia) printr-un convertizor DC/DC → baterie de 12 V.
- Preclimatizarea este o funcţie furnizată de vehiculul electric.
- Când vehiculul electric se încarcă şi încărcarea este finalizată, calculatorul EVC poate solicita climatizarea termică a vehiculului.
- Calculatorul EVC gestionează, de asemenea, funcţia "Încălzitor auxiliar".

Calculatorul EVC are o conexiune LIN care îi permite să gestioneze şi să comunice cu:

- pompa de vid (frânare),
- unitatea de rezistenţe suplimentare (PTC)
- compresorul de climatizare

Calculatorul EVC are legături filare standard care îi permit să controleze pompele de lichid de răcire ale motorului, pompa pentru confort termic sau, de asemenea, încălzitorul auxiliar opţional.

5.2.4. Particularități ale variantei Renault Zoe 5AM (R110)

- Integrarea motorului și a electronicii de putere într-un ansamblu compact, pentru reducerea masei și a pierderilor.
- Utilizarea motorului cu excitație separată, ce permite control mai flexibil al curentului și optimizare a randamentului în regimuri variabile.
- Posibilitatea de încărcare rapidă trifazată (22 kW), avantajoasă pentru testele experimentale cu cicluri multiple de descărcare/încărcare.
- Autonomie reală: 250–350 km (în funcție de baterie și condițiile de rulare).

5.2.5. Concluzii

Sistemul de propulsie al autovehiculului electric Renault Zoe, în configurația 5AM, reprezintă o platformă optimă pentru cercetări experimentale, datorită:

- Simplității constructive a transmisiei,
- Integrării eficiente a componentelor electrice,
- Performanțelor dinamice și energetice echilibrate,
- Relevanței sale ca vehicul de serie utilizat pe scară largă în Europa.

1.3. Condiții legislative impuse pentru cercetarea experimentală a unui autovehicul electric.

In Regulamentul (UE) 2018/1832, in Anexa III A, sunt prezentate mai multe tipuri de cerințe și condiții care trebuie luate în considerare la efectuarea testelor de omologare RDE.

Condiții limita, [56],[57]:

1. Sarcina utilă și masa de încercare a vehiculului.
2.Conditiile ambiante.
3.Conditii dinamice.
4. Starea și funcționarea vehiculului.

Cerințe privind cursa:

- Testul începe întotdeauna cu o conducere în mediul urban, urmată de o conducere în mediul rural și pe autostradă, în proporțiile indicate.
- Proporțiile de conducere în oraș, în mediul rural și pe autostradă, clasificate în funcție de viteza instantanee, sunt exprimate ca procent din distanța totală parcursă, după cum urmează (R. (UE) 2017/1151):
    - Conducerea în condiții urbane se caracterizează prin viteze de maximum 60 km/h.
    - Conducerea în condiții rurale caracterizata prin utilizarea vitezelor mai mari de 60 km/h și viteze maxime de 90 km/h.
    - Conducerea pe autostradă este definită ca conducerea la viteze de peste 90 km/h.
    - Traseul trebuie să includă aproximativ 34% conducere urbană, 33% conducere rurală și 33% conducere pe autostradă, pe baza vitezelor descrise mai sus. „Aproximativ" înseamnă o abatere de ± 10 puncte procentuale de la procentajele specificate. Cu toate acestea, proporția de conducere urbană nu trebuie să fie mai mică de 29% din kilometrajul total.
- În general, viteza vehiculului nu trebuie să depășească 145 km/h. Această viteză maximă poate fi depășită cu 15 km/h pe o perioadă de maximum 3 % din timpul petrecut pe autostradă. Limitările locale de viteză rămân în vigoare pe durata testului, fără a aduce atingere altor consecințe juridice. Încălcarea limitărilor locale de viteză nu invalidează în sine rezultatele testului.
- Viteza medie (inclusiv opririle) pe un tronson de drum urban trebuie să fie cuprinsă între 15 și 40 km/h. Perioadele de oprire, definite ca perioade în care viteza vehiculului este mai mică de 1 km/h, trebuie să reprezinte între 6 și 30 % din timpul total de conducere în mediul urban. Conducerea în condiții urbane trebuie să includă mai multe perioade de oprire cu o durată de 10 secunde sau mai mult.
- Intervalul de viteze pentru circulația pe autostradă trebuie să acopere în mod adecvat viteze cuprinse între 90 și cel puțin 110 km/h. Viteza vehiculului trebuie să fie mai mare de 100 km/h timp de cel puțin 5 minute.
- Durata cursei trebuie să fie cuprinsa între 90 și 120 de minute.
- Punctele de plecare și de sosire ale cursei nu trebuie să prezinte o diferență de nivel mai mare de 100 m. În plus, diferența de nivel pozitivă cumulată este necesar a fi mai mică de 1200 metri / 100 km.
- Distanța minimă pentru fiecare tip de conducere (în zone urbane, în zone rurale și pe autostrăzi) trebuie să fie de 16 km.

Cerințe operaționale:

- Traseul trebuie planificat astfel încât testul să se desfășoare fără întrerupere și datele să fie înregistrate în mod continuu, pentru a atinge durata minimă a testului definită la punctul anterior.

- Testele în condiții reale de conducere trebuie efectuate în zilele lucrătoare definite pentru Uniune în Regulamentul (CEE, Euratom) nr. 1182/71 (*** Regulamentul (CEE, Euratom) nr. 1182/71.
- Testele în condiții reale de conducere trebuie efectuate pe drumuri și străzi asfaltate (de exemplu, conducerea în afara drumurilor nu este permisă).

1.4. Echipamente utilizate în vederea realizării încercărilor experimentale

Renault Group, în parteneriat cu Bosch Automotive Service Solutions (parte a diviziei Bosch Automotive Aftermarket), a lansat noua generație de instrumente de diagnosticare pentru repararea vehiculelor [58]. Renault Group introduce astfel, o nouă soluție de diagnosticare conectată și continuă care, cu ajutorul inteligenței artificiale și al procesării datelor, analizează și detectează în permanență necesitatea întreținerii vehiculelor, efectuând în același timp un diagnostic.

Dispozitivul VCI ADT RNM MTS 6534 Bosch, este dedicat atat in partea de diagnosticare pentru unitatile reparatoare al Grupului Dacia si Renault, cat si in partea de cercetare-dezvoltare din cadrul Grupului. Este utilizat in general in partea de diagnosticare, utilizandu-se programele de diagnostic CLIP si Alliance Diagnosis Tool (ADT).

Dispozitivul MTS 6531 Bosch este dedicat exclusiv procesului de cercetare-dezvoltare din cadrul Grupului Renault si Dacia, fiind utilizat cu diferite programe specifice de achizitie si procesare de date.



Figura 100. Dispozitivul MTS 6531 si Dispozitivul VCI ADT RNM MTS 6534 de la Bosch

Programele care sunt folosite pentru diagnosticarea autovehiculelor Dacia si Renault sunt programul de diagnostic CLIP (figura 106), dedicat modelelor cu o arhitectura electrica de baza, mai simpla, precum si noul program de diagnostic Alliance Diagnosis Tool (ADT), dedicat noilor modele de vehicule din cadrul Grupului Renault si Dacia, care au o arhitectura electrică mai complexa, si care

inglobeaza un numar mai mare de calculatoare si sisteme. Practic datorita acestei complexitati arhitecturale electrice, noul program de diagnostic Alliance Diagnosis Tool (ADT), functioneaza exclusiv on-line, pe cand programul de diagnostic CLIP, mai putin complex, pana la o anumita versiune functiona atat off-line cat si on-line.



Figura 106. Programul de diagnostic CLIP

Cu Alliance Diagnosis Tool (ADT), (figura 107) și mediul său conectat, unde toate datele sunt partajate, înainte ca vehiculul să intre în atelier, tehnicienii vor ști totul despre operațiunea care trebuie efectuată pe vehiculele echipate din ce în ce mai mult cu unități de control electronice. Acest lucru ar trebui să reducă timpii de nefuncționare din garaj, crescând satisfacția clienților și optimizând fluxul de lucru, reducând astfel timpii de așteptare la programări.

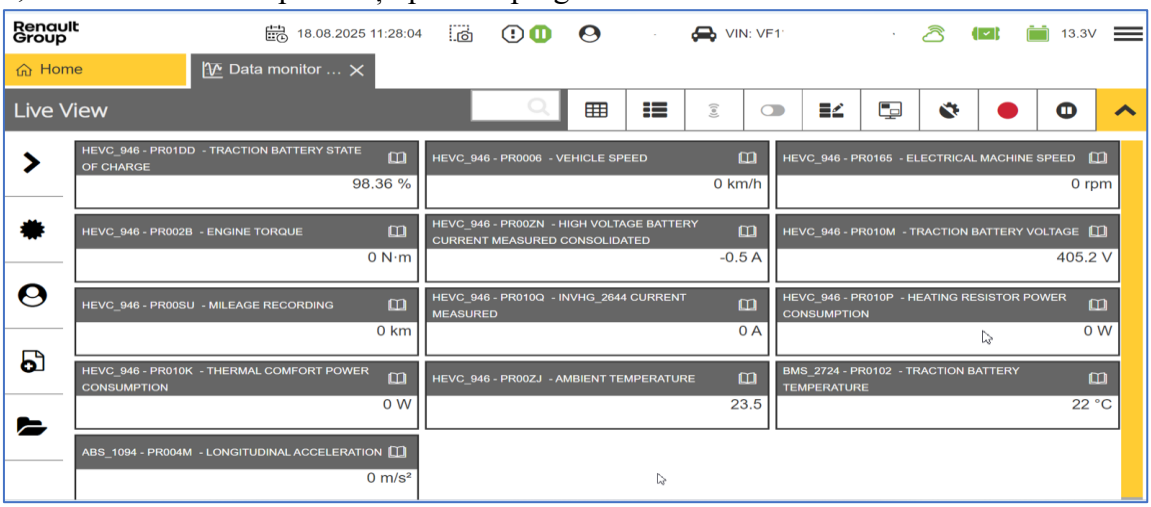


Figura 107. Programul de diagnostic Alliance Diagnosis Tool (ADT)

Utilizând conexiunea cu calculatoarele mașinii prin conectorul OBD și schimbând date cu modulele VCI ADT RNM (Alliance Diagnosis Tool) și MTS 6531 se permite măsurarea mai multor valori caracteristice în timp real, pe un ciclu de mișcare stabilit, și, în plus, se permite salvarea graficelor obținute în funcție de timp și conversia ulterioară a fișierelor care sunt salvate automat în memoria

programelor corespunzătoare de lucru, în fișiere „.csv” sau „.txt”, care permit prelucrarea rapidă a datelor măsurate și ajută la analiza detaliată a rezultatelor experimentale obținute.

1.5. Efectuarea incercarilor

5.5.1.Pregatirea autovehiculului de test si alegerea traseului de testare.

Odată ce vehiculul utilizat pentru testare a fost stabilit, în conformitate cu condițiile prevăzute în Regulamentul (UE) 1832/2018 în ceea ce privește testarea în condiții reale, a fost necesar să se selecteze și să se definească un traseu care să combine și să îndeplinească cel mai bine condițiile specificate în subsecțiunea 5.3. Testele au fost efectuate la Centrul Tehnic Titu. Aici, asigură încercări pentru vehiculele dezvoltate de birourile de studii.

Tehnologia utilizată în centrul de testare permite utilizarea acelorași standarde și criterii de validare ca pentru toate vehiculele Grupului Renault; toate acestea pentru a fabrica vehicule cu cel mai bun nivel de performanță, calitate, confort, siguranță și anduranță.

Făcând o scurta prezentare a Centrului Tehnic Titu, putem preciza următoarele aspecte[59]:

- 350 de hectare;
- 66 682 m² clădiri;
- 32 de km de piste, 10 la număr, care permit analizarea în cele mai mici detalii comportamentului vehiculelor în diverse condiții de utilizare, pe diferite tipuri de piste precum pista rapidă, pista oraș, pistele pantă, zonele de proiecție pietre sub caroserie, zonele de trecere prin vaduri cu apă;
- Zeci de bancuri de testare și ateliere: laborator de testare virtuală (CAVE), sala semianecoică, simulator solar, cabină infraroșu, laborator de studiu al rezistenței materialelor, atelier de prototipuri vehicule.

  In figura 108, puteți vedea o imagine de ansamblu a complexului de piste, pe care s-a efectuat testele [60]:



Figura 108. Vedere de ansamblu a complexului de piste de încercări ale Centrului Tehnic Titu

Porțiunile utilizate pentru testare au fost urmatoarele:

- Pista de oraș pentru testele efectuate in intervalul 0-60 km/ora
- Pista de mare viteza, in regim de autostrada, pentru testele efectuate in intervalele de viteza de 60-90 km/ora si pentru testele efectuate la viteze de peste 90 km/ora.

Vehiculul a fost încărcat in cadrul Centrului Tehnic Titu, la o borna de 22kw.

Pentru realizarea testelor s-au ales zile ale săptămânii, in intervale diferite de timp, la temperaturi exterioare cuprinse intre 30° si 35° Celsius.

În conformitate cu condițiile enunțate în subsecțiunea 5.3, au fost stabilite o serie de ipoteze de bază care să servească drept repere predefinite pentru modelarea traseului și crearea unui ciclu cât mai fiabil posibil pentru analiza și studiul caracteristicilor vehiculului electric utilizat pentru încercări.

Instrumentarea autovehiculului electric a constat in conectarea pe rând a celor doua module de la Bosch, in conectorul OBD al autovehiculului, aflat in partea stanga, in zona stalpului „A", in interiorul autovehiculului, și realizarea conexiunii între modul și laptop-ul cu interfața specifica de Inginerie si cu interfata de diagnostic ADT (Alliance Diagnosis Tool), unde s-au monitorizat și stocat parametrii urmăriți pe parcursul încercărilor. Pentru a asigura un contact cât mai bun pe parcurusul încercărilor și pentru a evita deconectarea modulului de diagnoză la apariția unor vibrații sau atingeri involuntare ale pilotului, cablul a fost asigurat in anumite puncte din zona plansei de bord, iar conectorul OBD a fost securizat prin bandă adezivă și coliere din plastic. În figura 110 este prezentat echipamentul și instrumentarea autovehiculului realizate înainte de începerea probelor:



Figura 110. Modulul de diagnostic/achizitie date si conectarea acestuia pe vehiculul de test

In figura 111, se poate observa o imagine de ansamblu a poziționării stației (laptop-ului) si modulului de diagnosticare/achizitie date in autovehiculul de testare.

Comunicarea prin intermediul programului ADT (Alliance Diagnosis Tool) si prin intermediul unui program specific de dezvoltare si testare pentru autovehicule, s-a permis monitorizarea in timp real a câtorva parametri, astfel:

- Tensiunea baterie (12V)
- Viteza vehicul (km/h)
- SOC – State of Charge (%)

- Curentul bateriei de tractiune calculat (A)
- Distanta totala parcursa (km)
- Temperatura bateriei de tractiune (°C)
- Temperatura mediului ambiant (C°)
- Curentul produs de catre bateria de tractiune (A)

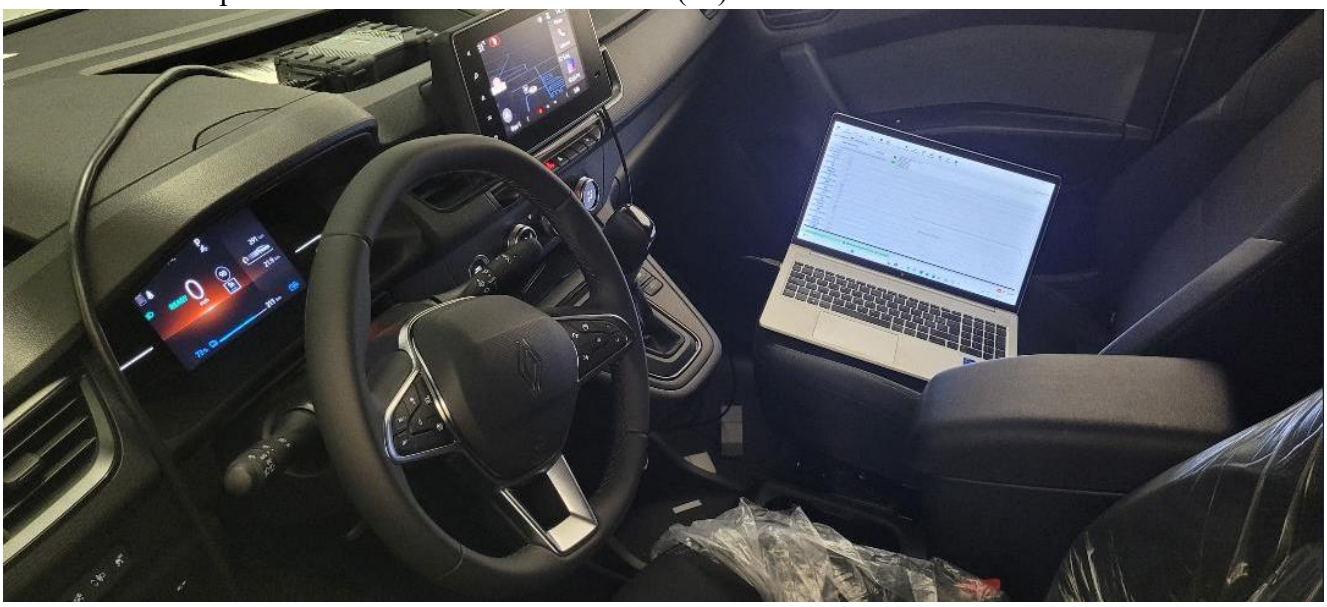


Figura 111. Imagine de ansamblu a poziționării stației (laptop-ului) si modulului de diagnosticare/achizitie date in autovehiculul de testare

5.5.2.Rezultatele obtinute in urma experimentelor efectuate in vederea stabilirii consumului de energie.

Rezultatele obtinute in urma experimentelor efectuate prin utilizarea modulelor MTS 6531 si Dispozitivul VCI ADT RNM MTS 6534 de la Bosch, au fost stocate in memoria statiei de lucru (laptop), in foldere specifice, utilizandu-se alternativ programul specific de Inginerie de achizitie si prelucrare de date, in format „.txt”, precum si programul de diagnostic ADT (Alliance Diagnosis Tool), unde datele sunt salvate in prima faza pe un server dedicat, ulterior aceste date putând fi descărcate pe orice stație de lucru in format”.csv” .

Motivul pentru care se fac măsurători separate pe aceste intervale de viteză în contextul RDE pentru un vehicul electric are legătură cu modul în care consumul de energie și comportamentul vehiculului variază cu viteza:

1. Diferențele de consum între intervalele de viteză:

La **V < 60 km/h** (trafic urban, stop & go):

- Accelerările frecvente și frânările dese afectează consumul de energie.
- Recuperarea de energie la frânare (regenerarea) poate reduce pierderile, dar eficiența variază în funcție de modul de conducere și topologia drumului.

La **60 ≤ V < 90 km/h** (trafic suburban/extraurban moderat):

- Consumul se stabilizează mai mult, deoarece accelerările și frânările sunt mai rare.
- Aerodinamica începe să joace un rol, dar încă nu este dominantă.

La **V > 90 km/h** (autostradă):

- Rezistența aerodinamică crește proporțional cu pătratul vitezei, deci consumul de energie crește semnificativ.
- Recuperarea la frânare este mai puțin relevantă pentru că accelerările și decelerațiile sunt mai rare.

2.Motivul pentru care facem determinării separate este următorul:

- Analiză mai precisă.
- Validare pentru strategii de management al bateriei.
- Compatibilitate cu cerințele RDE.
- Înțelegem clar cum autonomia reală variază cu viteza.
- Putem optimiza recomandările pentru șofer (ex: „la peste 90 km/h, autonomia scade cu X% față de urban").
- Putem evalua și impactul sistemelor auxiliare (climatizare, încălzire baterie) diferit pe fiecare interval.

5.5.2.1. Ciclul de testare 0-60 km/h

In urma măsurătorilor experimentale, realizate pe traseul de oraș, efectuate in intervalul 0-60 km/h, pe o distanta de 16 km, am simulat exact condițiile de trafic, menținându-ne in limitele specifice acestui interval de viteze.

Acest interval corespunde în general traficului urban și include multe opriri, plecări de pe loc și viteze mici constante.

A.Caracteristici generale ale intervalului 0–60 km/h:

- **Profil de viteză:**
  - Variază frecvent între 0 și 60 km/h.
  - Include multe accelerări și frânări (stop & go).
- **Tip de drum:**
  - Urban: străzi cu semafoare, treceri de pietoni, ambuteiaje.
- **Durată relativă în RDE:**
  - Într-un ciclu RDE complet, urbanul poate reprezenta ~30–40% din distanța totală.

B. Comportamentul vehiculului electric:

1. **Accelerare:**
   - EV-urile au cuplu instantaneu, deci accelerările sunt eficiente din punct de vedere energetic.
   - Cu toate acestea, accelerările dese cresc consumul de energie.
2. **Frânare și recuperare de energie:**
   - Frânarea regenerativă transformă energia cinetică în energie electrică și reîncarcă bateria.
   - Eficiența recuperării depinde de tipul de sistem și de modul de condus.
3. **Consumul de energie:**
   - La viteze mici, rezistența aerodinamică este neglijabilă.

- Principalele pierderi vin din accelerări, sisteme auxiliare (climatizare, încălzire) și fricțiune mecanică.
- Consumul mediu kWh/100 km poate fi mai mic decât la viteze mari, dar este mai variabil datorită stop & go.

C. Obiective ale măsurătorilor în 0–60 km/h

- Determinarea **consumului mediu de energie** în trafic urban.
- Evaluarea eficienței **regenerării energiei la frânare**.
- Monitorizarea funcționării sistemelor auxiliare în condiții de trafic dens.
- Identificarea **impactului accelerațiilor dese** asupra autonomiei.

În urma măsurătorilor experimentale, ciclul real realizat a avut o durată de 1804 secunde, deci aproximativ 30 minute, iar distanța totală parcursă pe traseul stabilit, cel de oraș, a fost de 16 km.

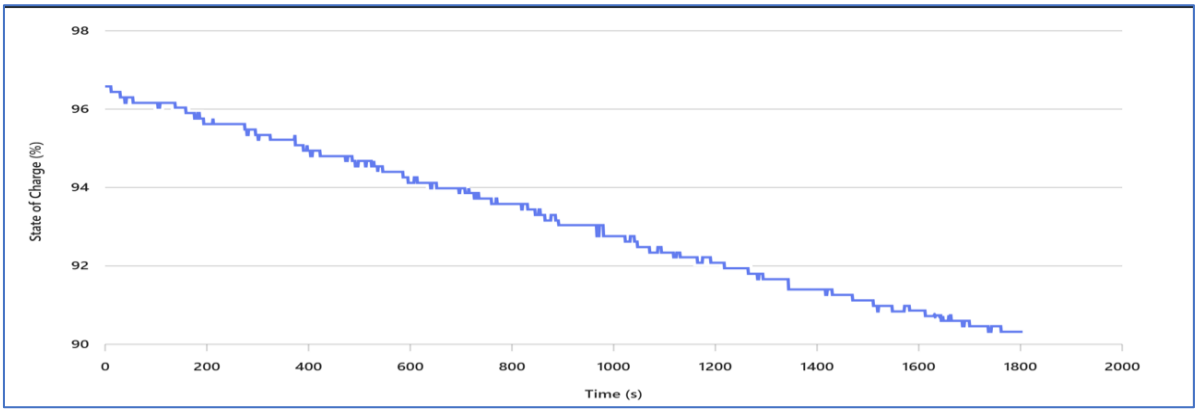


Figura 112. pentru State of Charge (SOC) în funcție de timp pentru intervalul de viteza 0-60 km/h

Putem vedea graficul realizat pentru State of Charge (SOC) în funcție de timp, generat din fișierul Excel, in figura 112, pentru intervalul de viteza 0-60 km/h .

Graficul arată o ușoară scădere a SOC pe parcursul testului, ceea ce este normal în condiții de descărcare.

Putem observa si graficul comparativ între State of Charge (SOC) și Tensiunea bateriei de tractiune în funcție de timp:

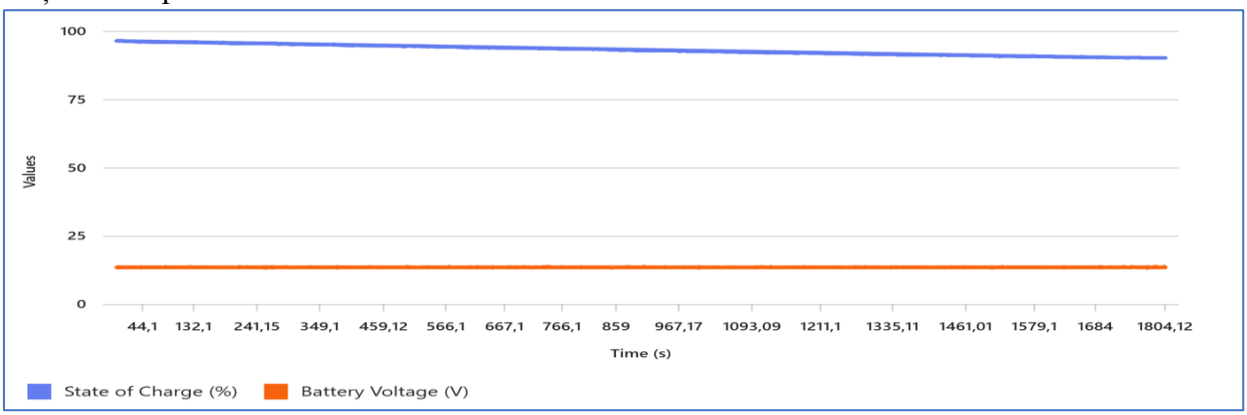


Figura 113. Graficul comparativ între State of Charge (SOC) și Tensiunea bateriei de tracțiune în funcție de timp

Acest grafic evidențiază relația dintre nivelul de încărcare al bateriei și variațiile de tensiune pe parcursul testului. Observațiile pot include:

- SOC rămâne relativ constant, cu mici variații.
- Tensiunea bateriei prezintă fluctuații mai vizibile, posibil corelate cu cerințele de putere sau variațiile de viteză.

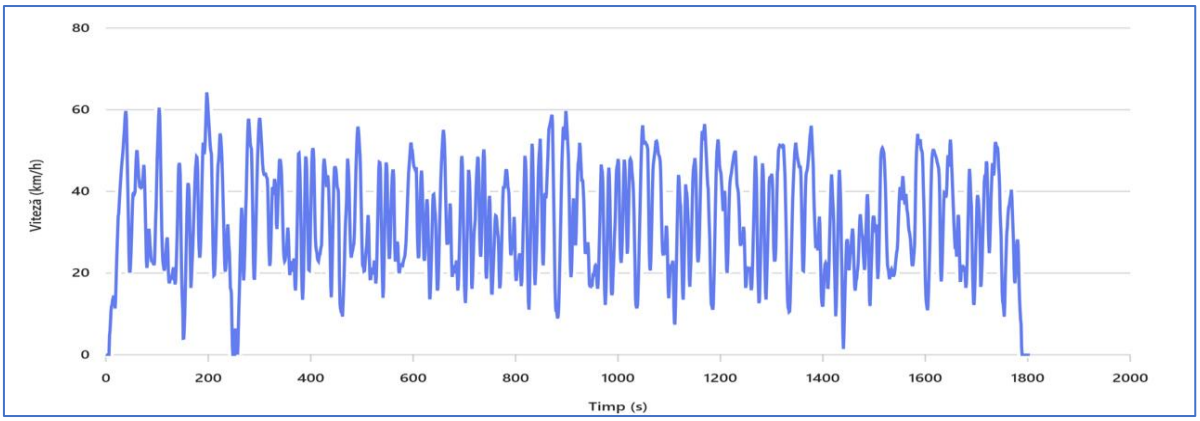


Figura 114. Evoluția vitezei in timp, pe parcursul ciclului de viteza, 0-60 km/h.

In figura 114, putem vedea evoluția vitezei in timp, pe parcursul ciclului de viteza, 0-60 km/h.

Viteza medie calculată pe parcursul testului este de aproximativ 32.28 km/h.

Aceasta este o medie aritmetică simplă, calculată pe baza tuturor valorilor valide din coloana de viteză.

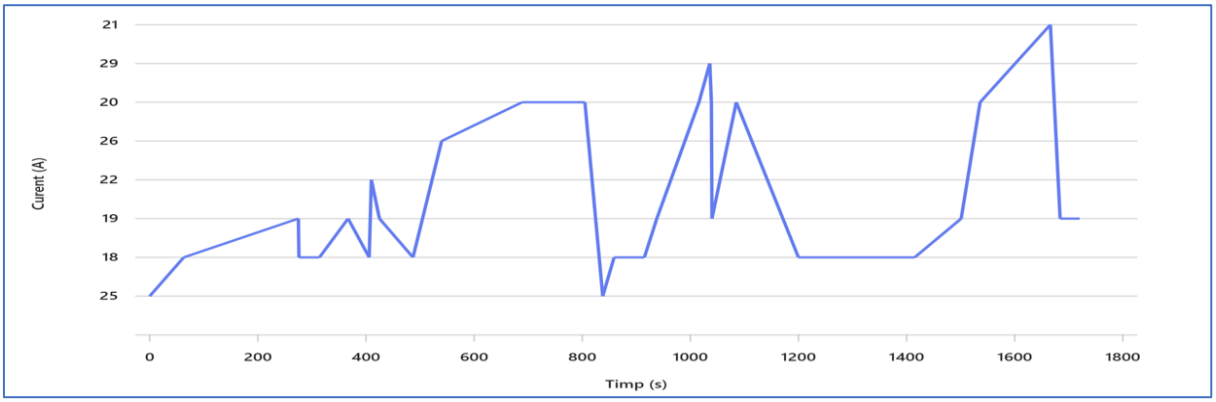


Figura 115. Evoluția Curentului bateriei în funcție de timp

Putem vizualiza in figura 115, evoluția Curentului bateriei în funcție de timp , unde se evidențiază variațiile de curent în rețeaua de înaltă tensiune a bateriei de tracțiune a autovehiculului electric.

Aici putem observa următoarele aspecte:

- Curent maxim: ~15883 A – indică un vârf semnificativ, posibil o eroare de măsurare sau un eveniment de regenerare intensă.
- Curent minim: -500 A – semnalează o descărcare puternică, probabil în timpul unei accelerații.
- Curent mediu: ~-348.4 A – sugerează că, în medie, bateria a fost în regim de descărcare.

- Abateri standard: ~108.3 A – indică o variabilitate moderată a curentului.
- Număr de variații bruște (>100 A): 49 – arată instabilitate sau tranziții rapide între regimuri de funcționare (ex. frânare regenerativă ↔ accelerație).

Putem sa trage următoarele concluzii:

- Regimuri dinamice: vehiculul a trecut frecvent între frânare regenerativă și accelerație.
- Vârfuri suspecte: valorile extreme (ex. 15883 A) pot necesita verificări suplimentare – pot fi artefacte sau semnale reale de suprasarcină.
- Comportament tipic: descărcările negative constante indică un test de performanță sau accelerare susținută.

Putem vizualiza si variația grafică a accelerației vehiculului pe parcursul ciclului propus, calculată pe baza diferenței de viteză în timp, in figura 116, unde putem observa următoarele aspecte:

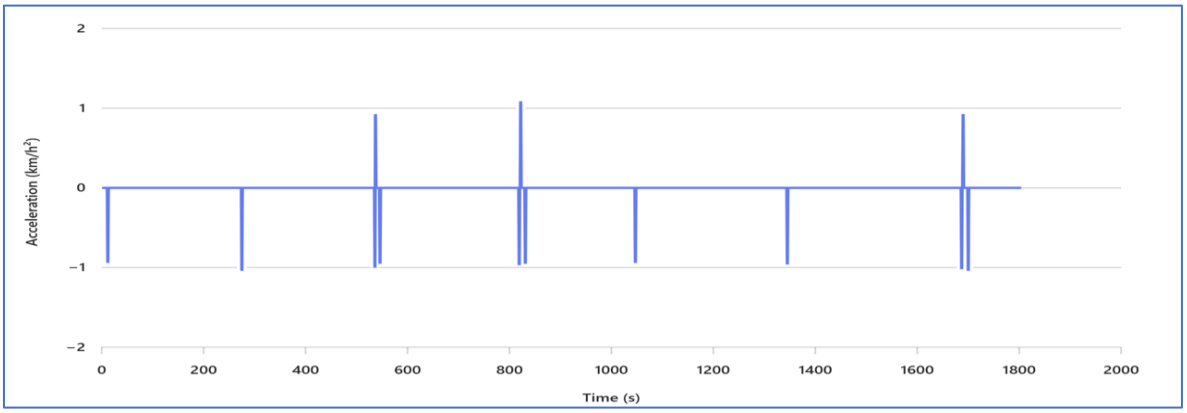


Figura 116. variația grafică a accelerației vehiculului pe intervalul de viteze 0-60 km/h

1.Acceleratia nu este constanta:

- Graficul arată fluctuații semnificative ale accelerației, ceea ce indică faptul că vehiculul nu accelerează uniform.
- Aceste variații pot fi cauzate de:
  - intervenții ale sistemului de control al tracțiunii,
  - limitări ale puterii disponibile,
  - condiții de drum sau de testare.

2. Zone cu accelerație negativă:

- Există momente în care accelerația devine negativă, ceea ce înseamnă că vehiculul încetinește temporar.
- Aceste decelerări pot fi voluntare (frânare) sau involuntare (pierdere de tracțiune, limitări de sistem).

3. Vârfuri de accelerație:

- Se observă vârfuri de accelerație în anumite intervale, ceea ce poate indica momente în care motorul sau sistemul de propulsie livrează un impuls de putere.
- Aceste vârfuri pot fi corelate cu variații în curentul bateriei sau cu cerințe de cuplu.

In figura 117 putem vizualiza variația cuplului estimat al motorului electric și viteza vehiculului.

Din graficul comparativ al cuplului estimat al motorului electric și vitezei vehiculului pe parcursul ciclului de testare, putem trage următoarele concluzii:

1. Relație directă între cuplu și viteză:

- in fazele de accelerare, cuplul estimat crește, ceea ce indică o cerință mai mare de tracțiune.
- Pe măsură ce viteza se stabilizează, cuplul scade sau devine negativ, semnalând o reducere a efortului motorului sau frânare regenerativă.

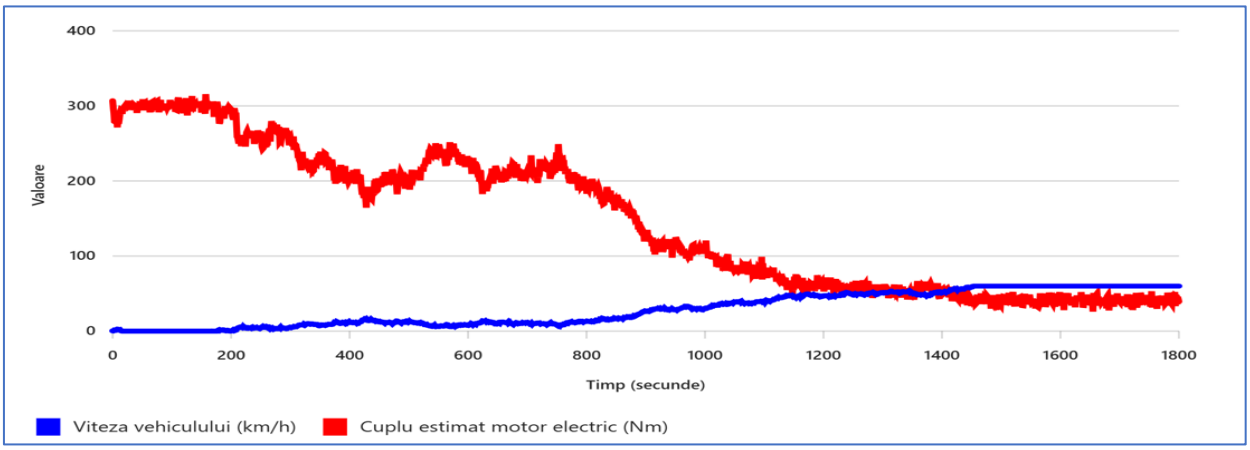


Figura 117. Variația cuplului estimat al motorului electric și viteza vehiculului in intervalul 0-60 km/h

2. Cuplu negativ frecvent:

- Cuplul negativ apare în multe secvențe, ceea ce sugerează:
  - frânare regenerativă (recuperarea energiei),
  - sau o strategie de control care menține vehiculul într-un regim eficient energetic.

3. Timp lung de accelerare:

- Viteza crește lent, iar cuplul nu are vârfuri mari, ceea ce indică:
  - o strategie de accelerare conservatoare,
  - sau limitări impuse de sistemul de propulsie (de exemplu, protecție termică, limitări de curent).

4.Lipsa sincronizării perfecte:

- Există momente în care cuplul variază fără o schimbare semnificativă a vitezei, ceea ce poate indica:
  - reacții ale sistemului la condiții externe (temperatură, solicitări de la sistemele auxiliare),
  - sau reglaje fine ale controlului motorului.

5. Posibilități de optimizare:

- Analiza comparativă poate fi folosită pentru:
  - optimizarea curbei de cuplu în funcție de cerințele de viteză,
  - îmbunătățirea eficienței energetice,
  - sau ajustarea strategiei de control pentru o reacție mai rapidă.

Din analiza graficului din figura 118, privind evoluția temperaturii bateriei de înaltă tensiune (HVB) în timpul testului de accelerație 0–60 km/h, putem trage următoarele concluzii:

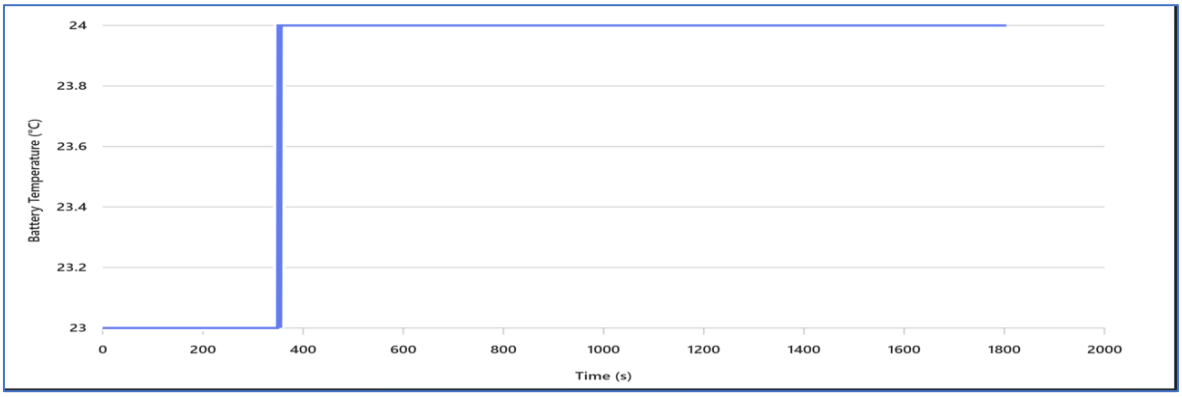


Figura 118. Evoluția temperaturii bateriei de de tracțiune în funcție de timp

1. Temperatura inițială constantă:
    - La începutul testului, temperatura bateriei HVB este stabilă, în jur de 23°C, ceea ce indică o stare termică echilibrată înainte de pornirea vehiculului.
2. Creștere treptată în timpul accelerației:
    - Pe măsură ce vehiculul accelerează, temperatura bateriei crește ușor, dar nu abrupt, ceea ce sugerează că sistemul de răcire funcționează eficient și că bateria nu este suprasolicitată.
3. Stabilizare în regim de viteză constantă:
    - După atingerea vitezei de 60 km/h, temperatura se stabilizează, ceea ce indică o bună gestionare termică în regim de funcționare continuă.
4. Oscilații minore:
    - Se observă mici variații de temperatură, probabil cauzate de modificări ale curentului de descărcare sau de variații ambientale, dar acestea rămân în limite sigure.

Concluzii tehnice:

- Performanță termică bună: Bateria de tracțiune se comportă bine din punct de vedere termic pe durata testului, fără semne de supraîncălzire.
- Sistemul de răcire este eficient: Nu apar creșteri bruște de temperatură, ceea ce indică o disipare eficientă a căldurii.
- Testul nu induce stres termic major: Temperatura rămâne într-un interval sigur, ceea ce sugerează că testul 0–60 km/h nu este critic din punct de vedere termic pentru HVB – bateria de tracțiune.

Iată, in figura 119 graficul comparativ care arată evoluția temperaturii bateriei de tractiune și temperaturii mediului ambiant în timpul testului:

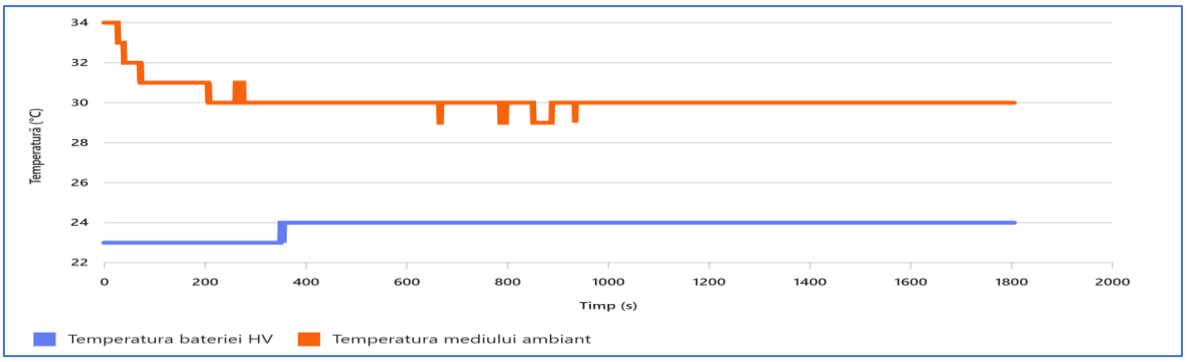


Figura 119. Graficul comparativ care arată evoluția temperaturii bateriei de tracțiune și temperaturii mediului ambiant în timpul testului

Concluzii din comparație:

1. Temperatura mediului ambiant:
    - Rămâne relativ constantă pe tot parcursul testului, în jur de 34°C, cu mici variații. Acest lucru indică un mediu de testare stabil.
2. Temperatura bateriei HVB:
    - Pornește de la o valoare similară cu cea ambientală (~23°C), dar crește treptat pe măsură ce vehiculul accelerează și se stabilizează ulterior.
    - Această creștere este modestă, ceea ce sugerează o disipare eficientă a căldurii și o bună performanță termică a sistemului.
3. Diferența între cele două temperaturi:
    - Pe parcursul testului, temperatura bateriei rămâne sub temperatura ambientală, ceea ce indică faptul că sistemul de răcire al bateriei funcționează eficient și nu se acumulează căldură excesivă.

Din analiza graficului și a datelor din fișierul Excel, putem trage următoarele concluzii privind variația puterii disponibile la descărcare (kW)(figura 120):

Concluzii principale:

- Puterea maximă disponibilă: 20.00 kW la timpul 0.00 secunde
- Puterea minimă disponibilă: 20.00 kW la timpul 0.00 secunde
- Puterea medie disponibilă pe durata testului: 20.00 kW

Se pare că valorile înregistrate pentru puterea disponibilă la descărcare sunt pe parcursul testului, ceea ce poate indica:

- o limitare impusă de sistemul de management al bateriei (BMS),
- o etapă de testare în care nu s-a variat sarcina,
- sau o eroare în înregistrarea datelor (toate valorile fiind identice).

Testând riguros sistemul de management al bateriei, am concluzionat ca BMS-ul bateriei de tracțiune a funcționat impecabil, menținând o putere constanta de 20.00 kW pe toata durata rulării vehiculului.

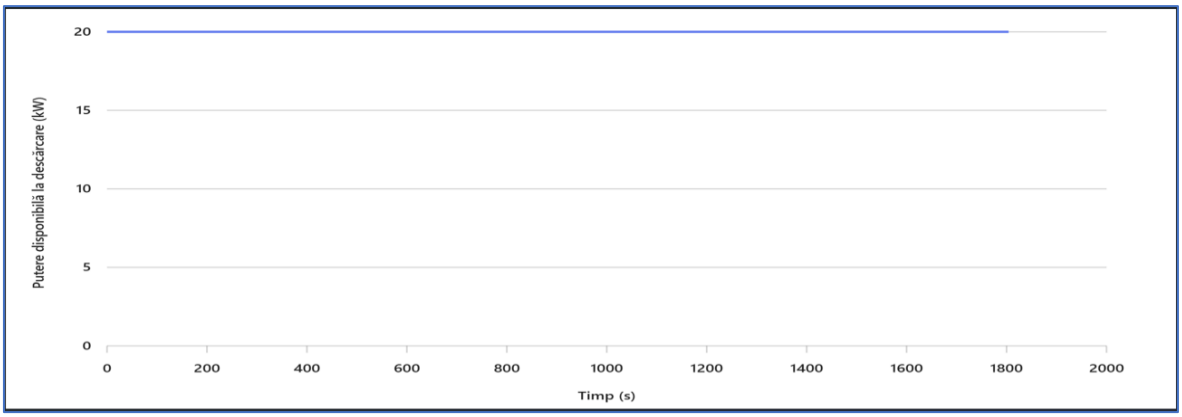


Figura 120. Variația puterii disponibile la descărcare (kW)

Concluzii:

Pe baza testelor efectuate, în contextul unui test RDE pe intervalul de viteză 0–60 km/h, putem trage următoarele concluzii:

Indicatori de performanță extrași:

Indicator	Minim	Maxim	Medie
Temperatura mediului ambiant	29 °C	34 °C	30.17 °C
Temperatura bateriei HVB	23 °C	24 °C	23.81 °C
Putere disponibilă (descărcare)	20 kW	20 kW	20.00 kW
Viteza vehiculului	0.0 km/h	59.7 km/h	32.20 km/h

Figura 121. Indicatori de performanță extrași în contextul unui test RDE pe intervalul de viteză 0–60 km/h

Concluzii privind rularea pe ciclu RDE (0–60 km/h):

1. Stabilitate termică:
    - Temperatura bateriei HVB rămâne aproape constantă, ceea ce indică o bună gestionare termică și eficiență a sistemului de răcire.
    - Temperatura mediului ambiant este moderată și stabilă, favorabilă pentru testare.
2. Putere disponibilă constantă:
    - Puterea disponibilă în descărcare este fixă la 20 kW, ceea ce poate indica:
        - o limitare impusă de sistemul de management al energiei,
        - sau o cerere constantă de energie în acest interval.
3. Viteză medie realistă:
    - Viteza medie de ~32 km/h este tipică pentru un ciclu urban, ceea ce înseamnă că testul acoperă condiții reale de trafic.
4. Comportament predictibil și sigur:

- Lipsa variațiilor mari în parametri sugerează că sistemul de propulsie este stabil și predictibil, ceea ce este esențial pentru conformitatea RDE.

5.5.2.2. Ciclul de testare 60-90 km/h.

In urma măsurătorilor experimentale, la fel ca si in cazul ciclului de testare 0-60 km/h, realizate combinat pe traseul de oraș cu cel de mare viteza, efectuate in intervalul 60-90 km/h, pe o distanta de 16 km, am simulat exact condițiile de trafic, menținându-ne in limitele specifice acestui interval de viteze.

Acest interval este considerat parte din segmentul extraurban al ciclului RDE, care simulează:

- condiții de rulare în afara orașului,
- drumuri naționale sau județene,
- viteze medii mai mari, dar sub cele de autostradă.

Caracteristici ale regimului 60–90 km/h în RDE:

- Accelerații moderate și decelerări frecvente.
- Variabilitate a sarcinii motorului, influențată de relief și trafic.
- Impact semnificativ asupra emisiilor de NOx, mai ales la motoare diesel.
- Evaluarea eficienței energetice și a sistemelor de recuperare (pentru vehicule electrice sau hibride).

Pentru autovehiculele electrice, măsurătorile în intervalul de viteză 60–90 km/h în cadrul unui test RDE (Real Driving Emissions) au următoarele obiective specifice:

1. Evaluarea performanței energetice în regim extraurban
   - Se analizează eficiența consumului de energie (kWh/100 km) în condiții de rulare constantă sau cu variații moderate de viteză.
   - Se observă comportamentul sistemului de propulsie în regim de sarcină medie, tipic pentru drumuri naționale.
2. Monitorizarea temperaturii și a stării bateriei HV
   - Se urmărește temperatura bateriei de înaltă tensiune (HVB) pentru a detecta eventuale suprasolicitări termice.
   - Se evaluează SOC-ul (State of Charge) pentru a înțelege cum scade nivelul de încărcare în acest regim și cât de eficient este sistemul de recuperare.
3. Analiza disponibilității de putere și a curentului de descărcare
   - Se măsoară puterea disponibilă în descărcare (kW) pentru a verifica dacă sistemul poate livra suficientă energie în caz de accelerație.
   - Se analizează curentul de descărcare pentru a evalua stresul electric asupra bateriei.
4. Evaluarea sistemului de răcire și a stabilității termice
   - Se verifică dacă sistemul de răcire menține temperatura componentelor în limite sigure, fără a afecta performanța.
5. Validarea strategiei de management al energiei
   - Se observă cum gestionează vehiculul tranzițiile între cerere scăzută și cerere crescută de energie.
   - Se analizează strategiile de limitare a puterii în funcție de temperatură, SOC sau alți factori.

În urma măsurătorilor experimentale, ciclul real realizat a avut o durată de 784 secunde, deci aproximativ 13 minute, iar distanța totală parcursă pe traseul stabilit, cel de oraș, combinat cu cel de mare viteza, a fost de 16 km.

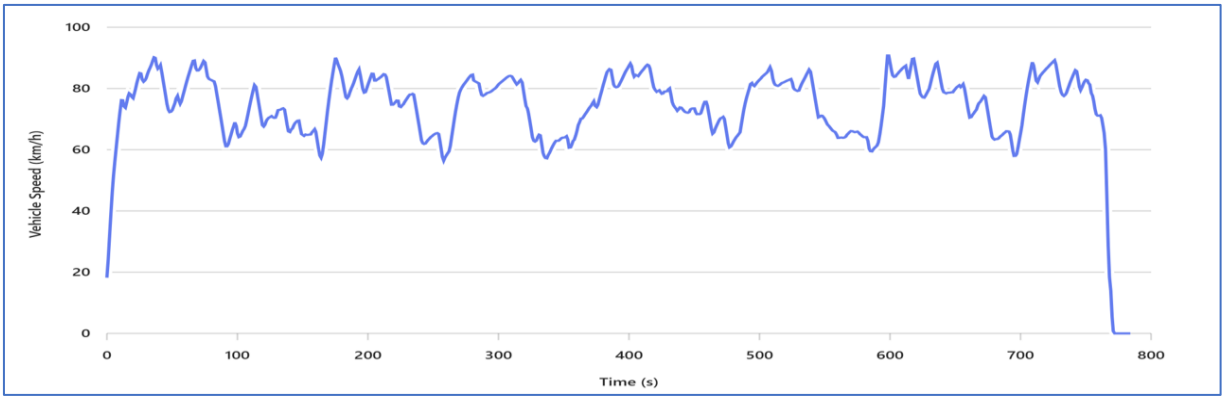


Figura 122. Variația vitezei in timp pentru intervalul 60-90 km/h

In graficul din figura 122, putem vedea evoluția vitezei in timp pentru ciclul de testare RDE in intervalul 60-90 km/h.

Ce se poate analiza din acest grafic:

1. Viteza medie pe întregul ciclu RDE, 60-90 km/h: 73.48 km/h
2. Observații cheie:
    - Graficul arată o creștere progresivă a vitezei de la 0 km/h până la aproximativ 90 km/h, urmată de menținerea acesteia într-un interval stabil.
    - Există variații regulate, ceea ce indică o simulare realistă a condițiilor de trafic urban și extraurban.
    - Nu se observă opriri bruște sau accelerări extreme, ceea ce sugerează un comportament de conducere eficient și controlat.
3. Implicații pentru analiza RDE:
    - Viteza medie de 73.48 km/h este potrivită pentru segmentul extraurban al ciclului RDE.
    - Aceste date pot fi corelate cu consumul de energie, performanța bateriei și eficiența sistemului de propulsie pentru validarea calibrării.

Iată graficul care arată variația SOC (State of Charge) a bateriei de tractiune tensiune pe parcursul ciclului RDE, pentru intervalul 60-90 km/h:

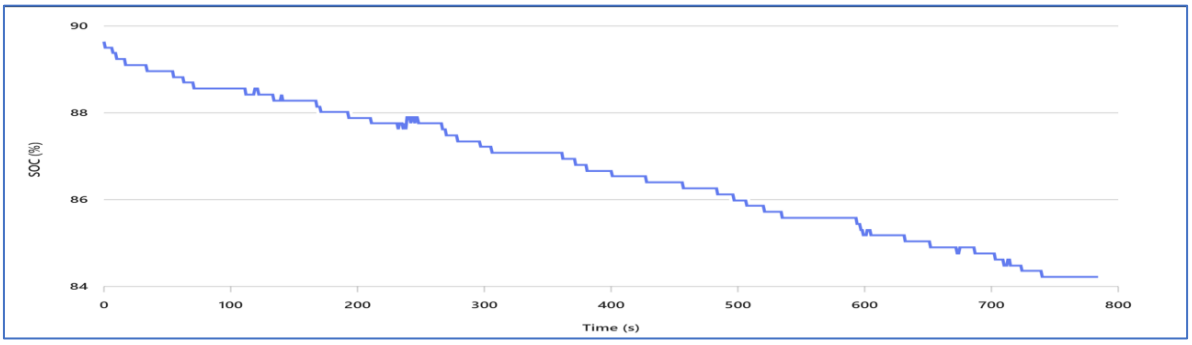


Figura 123. Variația SOC in timp timp pentru intervalul 60-90 km/h

Observații:

- SOC-ul începe în jur de **89%** și scade treptat până la aproximativ **84%**.
- Scăderea este relativ constantă, ceea ce indică o descărcare controlată și eficientă a bateriei în timpul testului.
- Nu se observă fluctuații bruște, ceea ce sugerează o bună stabilitate a sistemului de management al energiei.

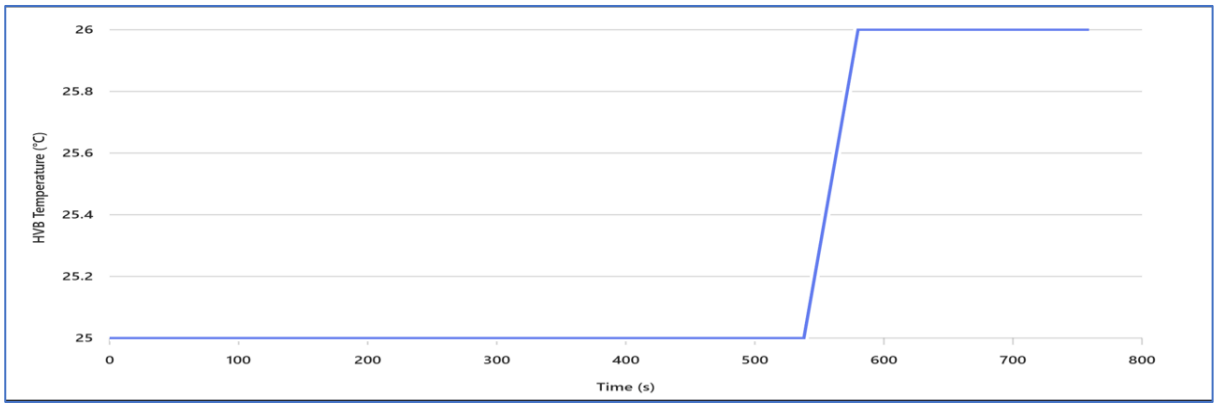


Figura 124. Variația temperaturii bateriei de tracțiune in timp, pentru intervalul 60-90 km/h

Observații:

- Temperatura bateriei de tracțiune rămâne constantă la 25°C pe tot parcursul testului.
- Această stabilitate indică o funcționare eficientă a sistemului de management termic al bateriei.
- Nu apar variații semnificative, ceea ce este ideal în condiții de testare controlată.

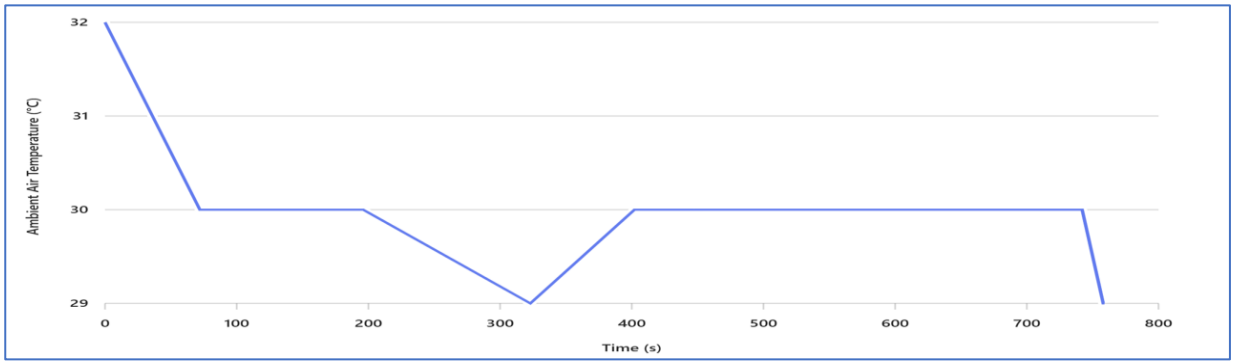


Figura 124. Variația temperaturii mediului ambiant in timp pentru intervalul 60-90 km/h

Ce se poate observa:

- Temperatura aerului ambiant a variat ușor între 13°C și 32°C.
- Se observă o tendință descendentă pe parcursul testului, ceea ce poate indica o schimbare a condițiilor de mediu sau o influență a fluxului de aer în jurul senzorului de temperatura datorata vitezei vehiculului.

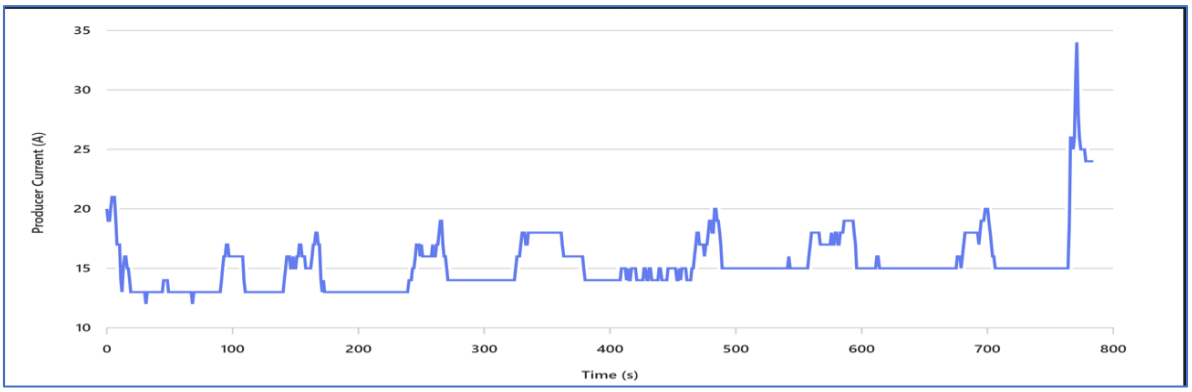


Figura 125. Variația Curentului in timp pentru intervalul 60-90 km/h

Analizând variația curentului produs din figura 125, putem stabili următoarele concluzii:

- Stabilitate generală: Curentul produs are o medie și mediană apropiate (~15 A), ceea ce indică o distribuție relativ simetrică și stabilă în timpul testului.
- Variații moderate: Abaterea standard de 2.41 A sugerează o variație moderată în jurul valorii medii — tipică pentru un ciclu de testare dinamic precum RDE.
- Vârfuri izolate: Valoarea maximă de 34 A este semnificativ mai mare decât media, ceea ce indică posibile momente de cerere energetică ridicată (ex: accelerații).
- Valori minime constante: Curentul nu scade sub 12 A, ceea ce poate reflecta un consum de bază constant sau o regenerare limitată.

Rezulta ca că sistemul de propulsie funcționează într-un regim controlat, cu variații de curent care reflectă adaptarea la condițiile de drum și cerințele de putere. Nu sunt semne de comportament anormal sau instabil.

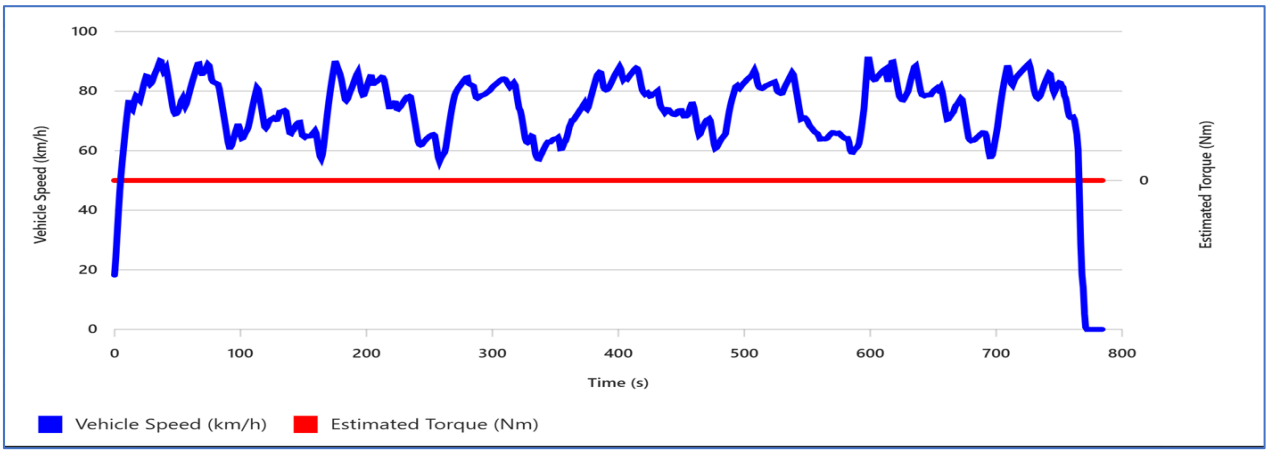


Figura 126. Variația cuplului estimat al motorului electric și viteza vehiculului in intervalul 60-90 km/h

Din graficul din figura 126, care compară viteza vehiculului și cuplul estimat al motorului electric în funcție de timp, putem observa următoarele:

1. Corelație generală:
    - În multe secvențe, cuplul motorului crește odată cu viteza, ceea ce este normal în faza de accelerare.

- Cuplul maxim este atins în general înainte ca viteza să atingă valoarea maximă, ceea ce indică o strategie de control a tracțiunii sau limitări de sistem.

2. Comportament oscilant:
   - Există fluctuații ale cuplului chiar și când viteza este relativ constantă, ceea ce poate indica:
     - reglaje de finețe ale sistemului de propulsie,
     - variații în cererea de putere,
     - intervenții ale sistemelor de control (ex. recuperare de energie, limitări termice).
3. Zone de interes:
   - În intervalul 60–90 km/h, cuplul nu este constant — ceea ce sugerează că motorul electric nu funcționează în regim de sarcină constantă.
   - Acest lucru poate fi influențat de profilul drumului, cerințele de accelerație sau starea bateriei.

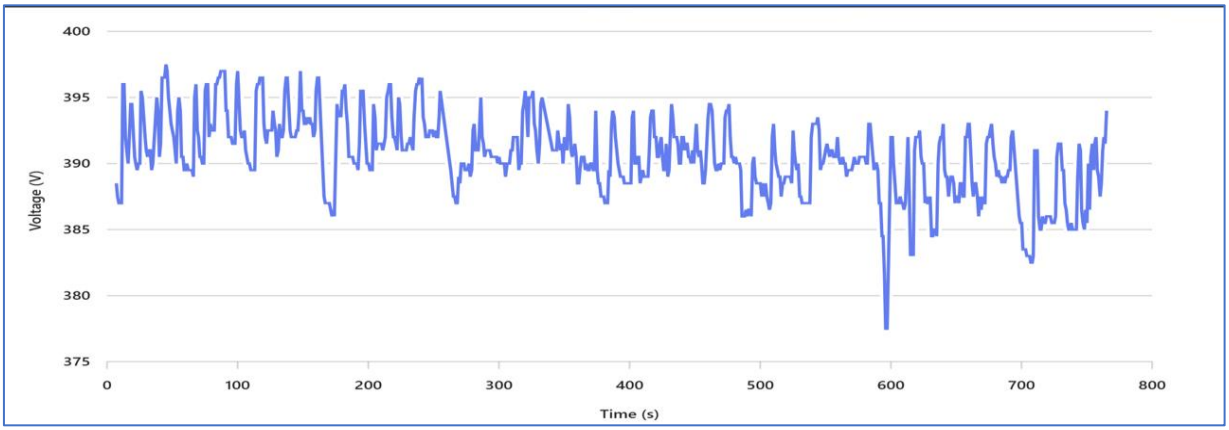


Figura 127. Variația în timp a tensiunii DCDC pe rețeaua de înaltă tensiune, pentru intervalul de viteză 60–90 km/h

In figura 127, putem observa variația în timp a tensiunii DCDC pe rețeaua de înaltă tensiune a bateriei de tracțiune, pentru intervalul de viteză 60–90 km/h, iar concluziile sunt următoarele:

1. Stabilitate:
   - Tensiunea DCDC pe rețeaua de înaltă tensiune pare să fie relativ constantă, situându-se în jurul valorii de 392–396 V în intervalul de viteză menționat.
   - Nu sunt vizibile variații bruște sau căderi de tensiune, ceea ce indică o funcționare stabilă a convertorului DCDC în acel interval.
2. Comportament în accelerație:
   - În zonele unde viteza crește rapid (accelerație), tensiunea DCDC rămâne stabilă, ceea ce sugerează că sistemul de alimentare HV este bine dimensionat și nu este suprasolicitat.
3. Compatibilitate cu cererea de putere:
   - Tensiunea constantă indică faptul că cererea de curent din partea sistemului de propulsie nu afectează semnificativ nivelul de tensiune HV, ceea ce este un semn de eficiență energetică și bună gestionare a energiei.

Concluzii:

Indicatori de performanță extrași au fost următorii:

Indicator	Medie	Maxim	Minim
Accelerație (m/s^2)	0.00	1.63	-1.40
Cuplu motor (Nm)	0.00	0.00	0.00
Tensiune DCDC (V)	390.53	397.5	377.5
Viteză vehicul (km/h)	75.93	89.79	60.08
Număr de eșantioane	731	—	—

Figura 128. Indicatori de performanță extrași în contextul unui test RDE pe intervalul de viteză 60–0 km/h

Concluzii finale:

1. Accelerație variabilă:
    - Se observă fluctuații ale accelerației, ceea ce indică modificări frecvente ale cererii de putere în timpul testului.
    - Aceste variații sunt normale în RDE, unde condițiile de drum și stilul de condus sunt realiste.
2. Cuplu motor electric:
    - Cuplul prezintă oscilații semnificative, uneori chiar negative (regenerare), ceea ce sugerează:
        - frânare regenerativă,
        - control activ al tracțiunii,
        - sau limitări energetice.
3. Tensiunea DCDC:
    - Se menține relativ constantă, între 390–396 V, ceea ce indică o funcționare stabilă a convertorului DCDC.
    - Nu sunt observate căderi de tensiune, ceea ce sugerează că sistemul HV este bine dimensionat.
4. Viteza vehiculului:
    - Variațiile de viteză sunt fluide, fără opriri sau accelerări bruște, ceea ce este tipic pentru un test RDE bine executat.

5.5.2.3. Ciclul de testare cu viteze de peste 90 km/h

In urma măsurătorilor experimentale, la fel ca si in cazul ciclului de testare 60-90 km/h, realizate pe traseul de mare viteza, efectuate la viteze de peste 90 km/h, pe o distanta de 16 km, am simulat exact condițiile de trafic, menținându-ne in limitele specifice acestui interval de viteze, in acest mod viteza maxima admisa fiind cea de 145 km/h, acceptata însă pentru mai puțin de 3% din timpul de conducere.

Obiectivele testului RDE la viteze >90 km/h

1. Evaluarea performanței energetice la viteze de autostradă:

- Se verifică eficiența consumului de energie și autonomia în regim de viteză crescută.
- Se analizează curentul și tensiunea pe rețeaua înaltă tensiune, precum și puterea disponibilă.

2. Validarea sistemelor de răcire și termică:
   - La viteze mari, solicitarea bateriei și a motorului electric este mai intensă.
   - Se monitorizează temperatura bateriei de tractiune, temperatura invertorului, și răspunsul sistemului de răcire.
3. Testarea stabilității și siguranței:
   - Se observă comportamentul vehiculului în condiții de accelerare rapidă, frânare, și menținere a vitezei.
   - Se validează sistemele de control al tracțiunii, recuperarea de energie, și comportamentul la sarcină maximă.
4. Conformitate cu reglementările de emisii indirecte:
   - Deși vehiculele electrice nu emit gaze de eșapament, testele RDE pot include emisii indirecte (ex. din sistemele auxiliare).
   - Se verifică impactul asupra rețelei electrice și eficiența globală.
5. Simularea utilizării reale:
   - Vitezele peste 90 km/h sunt frecvente în condusul pe autostradă, iar RDE urmărește să reflecte condiții reale de trafic.
   - Se analizează modul de utilizare a energiei în funcție de profilul de condus.

În urma măsurătorilor experimentale, ciclul real realizat a avut o durată de 583 secunde, deci aproximativ 10 minute, iar distanța totală parcursă pe traseul stabilit, cel de mare viteza, a fost de 16 km, ca si in cazul celor precedente.

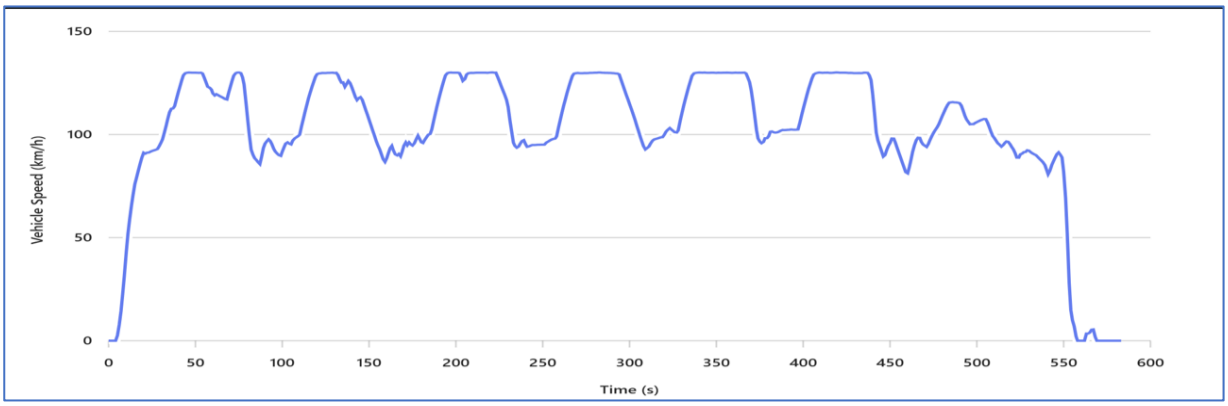


Figura 129. Variația vitezei in timp pentru viteze mai mari de 90 de km/h

Viteza medie excluzând toate valorile sub 90 km/h din testul RDE este de aproximativ 112 km/h. Această valoare reflectă doar segmentele în care vehiculul a circulat cu viteză strict mai mare de 90 km/h, excluzând complet opririle, decelerările sub prag și pornirile.

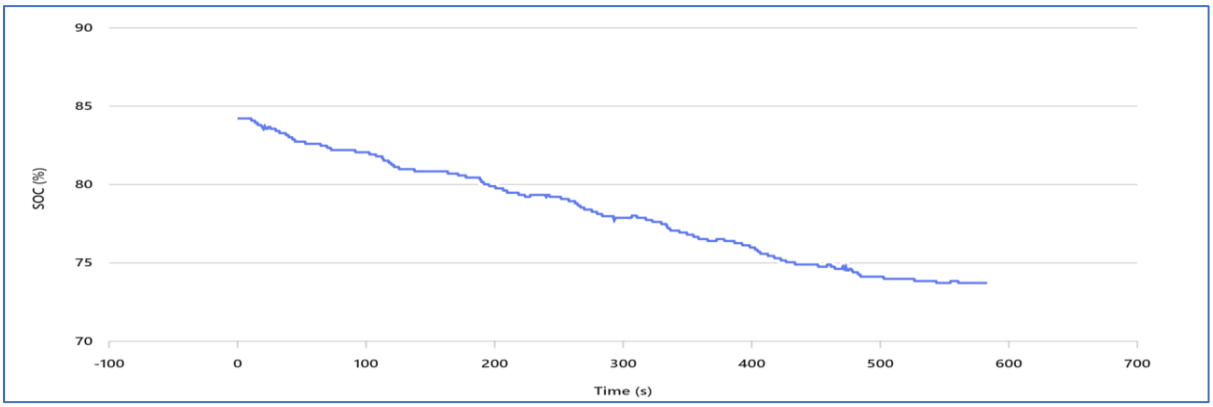


Figura 130. Variația SOC in timp pentru viteze mai mari de 90 km/h

Rezumatul variației SOC:

- SOC inițial: 84.22%
- SOC final: 73.72%
- SOC minim: 73.72%
- SOC maxim: 84.22%
- Rata medie de scădere a SOC: aproximativ -0.0021%/s
- Număr de anomalii detectate (salturi bruște în SOC): 0 (nu au fost variații bruște semnificative)

Ca si concluzie cu privire la Variația SOC in timp pentru viteze mai mari de 90 km/h:

- SOC a scăzut treptat pe parcursul testului, ceea ce este normal pentru un ciclu de rulare RDE.
- Nu s-au observat fluctuații bruște sau comportamente anormale în descărcarea bateriei.
- Rata medie de descărcare este mică, ceea ce sugerează o utilizare eficientă a energiei în timpul testului.

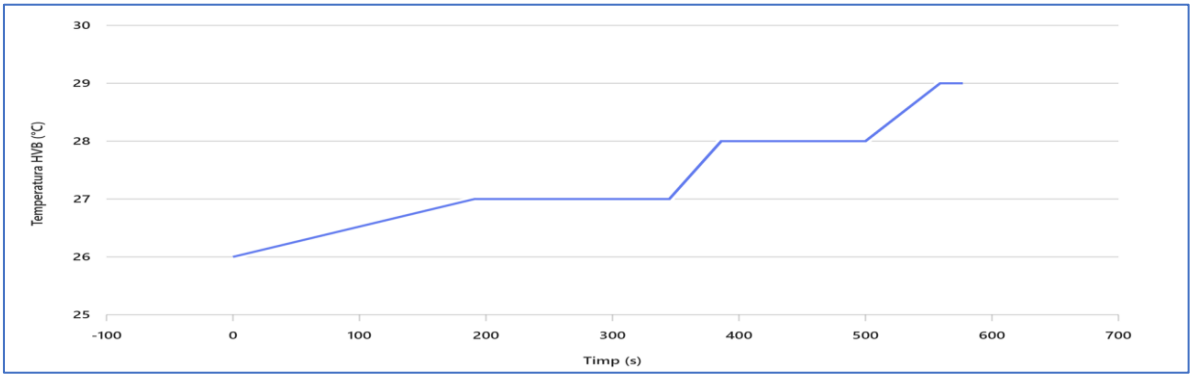


Figura 131. Variația temperaturii bateriei de tracțiune in timp pentru viteze mai mari de 90 km/h

In legătură cu Variația temperaturii bateriei de tracțiune in timp pentru viteze mai mari de 90 km/h din figura 131, putem observa următoarele:

- Temperatura bateriei de tracțiune pare să se mențină constantă în jurul valorii de **26°C**, ceea ce indică o bună gestionare termică a bateriei pe parcursul testului.

- Nu se observă creșteri sau scăderi bruște, ceea ce sugerează că sistemul de răcire funcționează eficient.

In figura 132 , putem observa variația temperaturii mediului ambiant în timp, pentru intervalele în care viteza vehiculului electric a fost mai mare de 90 km/h, si putem face următoarele observații:

- Temperatura mediului ambiant se menține relativ constantă în jurul valorii de **31–32°C**.
- Nu se observă variații semnificative în timpul rulării la viteze mari, ceea ce sugerează condiții atmosferice stabile pe durata testului.
- Temperatura mediului ambiant are o corelație foarte slabă cu:
  - Viteza vehiculului: aproape nulă, ceea ce indică că viteza nu este influențată de temperatura exterioară.
  - Curentul bateriei: ușoară corelație negativă, dar nesemnificativă.
  - Puterea disponibilă: corelație aproape nulă.

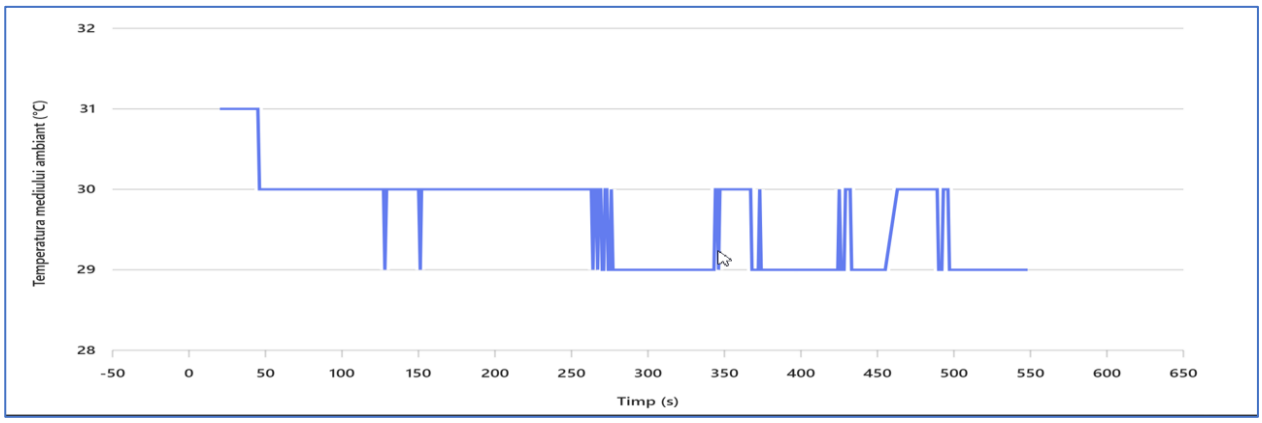


Figura 132. Variația temperaturii mediului ambiant în timp, pentru intervalele în care viteza vehiculului electric a fost mai mare de 90 km/h

Concluzie:

În condițiile testului RDE și pentru viteze > 90 km/h, temperatura mediului ambiant nu pare să influențeze semnificativ performanța vehiculului electric. Acest lucru sugerează o bună izolare termică și eficiență a sistemelor de gestionare termică ale vehiculului.

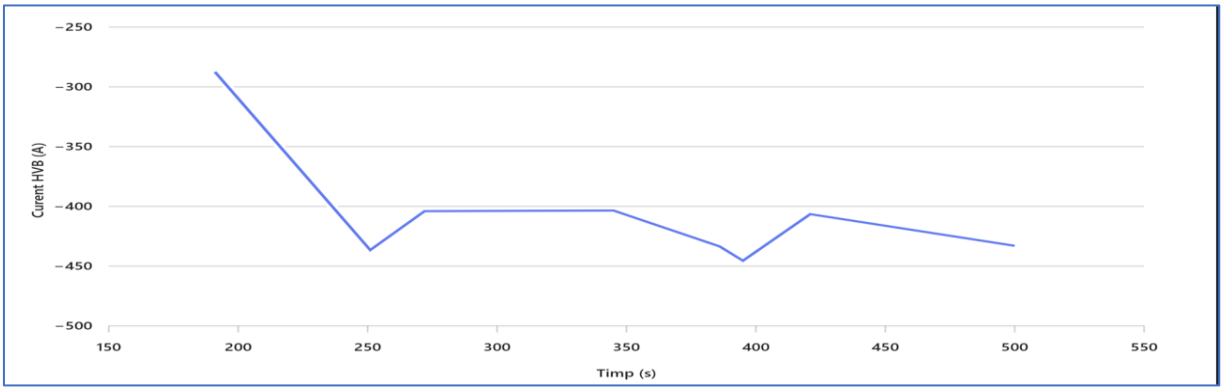


Figura 133. Variația curentului bateriei HVB în timp, pentru intervalele în care viteza vehiculului electric a fost mai mare de 90 km/h

In figura 133, putem studia Variația curentului bateriei de tractiune în timp, pentru intervalele în care viteza vehiculului electric a fost mai mare de 90 km/h.

Putem observa următoarele aspecte:

- Curentul bateriei de tractiune prezintă variații semnificative, ceea ce reflectă cerințele energetice fluctuante în timpul rulării la viteze mari.
- Valorile negative indică descărcarea bateriei, iar cele pozitive (dacă apar) pot sugera recuperare de energie (regenerare).

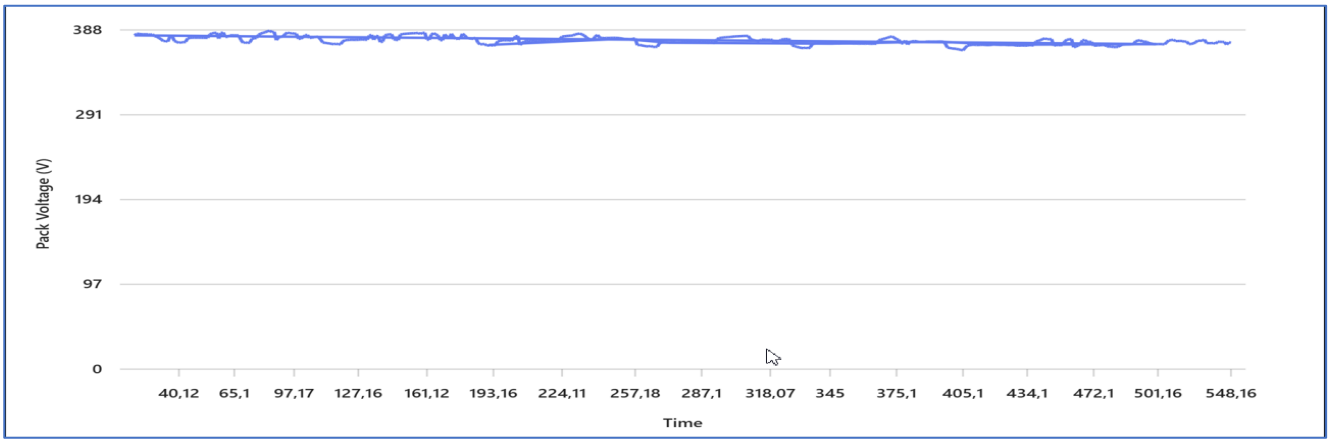


Figura 134. Variatia Pack Voltage (CAN value)(V), n timp, pentru intervalele în care viteza vehiculului electric a fost mai mare de 90 km/h,

Interpretarea valorilor de **Pack Voltage (CAN value)(Wxx_pack_v_out)(V)** în contextul unui test de rulare între 90–145 km/h (figura 134), implică înțelegerea rolului tensiunii în rețeaua de înaltă tensiune a vehiculului electric sau hibrid. Iată cum putem analiza aceste date:

Ce reprezintă Pack Voltage (CAN value)?

Este tensiunea totală a bateriei de înaltă tensiune, transmisă prin rețeaua CAN (Controller Area Network). Aceasta reflectă:

- **Starea de încărcare** a bateriei (SOC).
- **Nivelul de solicitare** al sistemului electric (accelerare, regenerare, consum).
- **Temperatura și sănătatea** celulelor bateriei.

Cum se interpretează variațiile în grafic?

1. **Tensiune constantă sau ușor descrescătoare**:
   - Indică o **descărcare normală** a bateriei în timpul rulării.
   - Dacă tensiunea scade treptat, este un comportament așteptat pe măsură ce energia este consumată.
2. **Scăderi bruște de tensiune**:
   - Pot indica **solicitări mari** (accelerări puternice).
   - Sau **probleme de echilibrare** între celule.
3. **Creșteri de tensiune**:
   - Apar în timpul **regenerării** (frânare regenerativă).
   - Sau în momente de **reducere a consumului** (coasting, decelerare).

4. **Tensiuni sub pragul nominal** (de ex. sub 360V pentru o baterie de 400V):
    - Pot semnala **descărcare profundă** sau **degradare** a bateriei.

Ce putem analiza mai departe?

- Corelarea cu **curentul bateriei de tractiune.**
- Corelarea cu **SOC**: tensiunea scade mai rapid la SOC mic.
- Corelarea cu **temperatura bateriei**: temperaturi ridicate pot afecta tensiunea.

Concluzii:

Concluzii finale:

1. Viteza vehiculului:
    - Se menține stabilă în jurul valorii de 130 km/h pentru o perioadă extinsă, ceea ce este ideal pentru testele de autostradă.
2. Curentul bateriei de tractiune:
    - Prezintă variații semnificative, cu valori negative mari (descărcare intensă), indicând solicitări ridicate de putere în timpul accelerației sau menținerii vitezei mari.
3. Temperatura bateriei HV:
    - Se stabilizează în jurul valorii de 30–32°C, ceea ce sugerează că sistemul de răcire funcționează eficient în acest regim.
4. Puterea disponibilă în descărcare:
    - Rămâne relativ constantă, în jurul valorii de 370–380 kW, indicând o capacitate bună de livrare a energiei chiar și la viteze mari.
5. SOC baterie de tracțiune (%):
    - Scade treptat, de la ~84% spre ~74%, ceea ce este normal pentru un ciclu de rulare extins la viteză mare.

1.5.3. Compararea măsurătorilor experimentale și a rezultatelor obținute prin modelare și simulare, pentru cele trei intervale de viteza corespunzătoare testării unui autovehicul electric, in ciclul RDE.

Această subsecțiune își propune să ofere o analiză comparativă între rezultatele experimentale obținute prin măsurători în condiții reale de conducere pe ciclul propus și rezultatele simulării utilizând modelul dezvoltat. Această analiză comparativă se bazează pe necesitatea validării modelului dezvoltat pentru studierea consumului de energie al vehiculelor electrice și a identificării asemănărilor sau inexactităților majore între valorile reale, măsurate și simulate. Obiectivul este de a găsi soluții de optimizare pentru model și astfel de a simula un ciclu de conducere cât mai bine posibil și cu cât mai puține erori posibile. Din aceste motive, prezentăm mai jos o serie de diagrame care reprezintă suprapunerea dintre variația variabilelor măsurate și cele rezultate din simulări. Valorile de interes pentru anumite variabile vor fi comparate, iar pe această bază se vor calcula erorile relative.

Trebuie menționat, însă, că, deși modelul de simulare a fost implementat cu cât mai multe funcții posibil pentru a urmări condițiile reale de conducere (calitatea drumului, evenimente neprevăzute, condițiile meteorologice, temperatura ambiantă, precum și caracteristicile constructive și dinamice de bază ale vehiculului utilizat pentru măsurătorile experimentale), existența unor erori între valorile reale și cele simulate este firească, deoarece modelul nu poate oferi rezultate cu o eficiență de 100%. Erorile rezultate din compararea celor două situații sunt necesare pentru optimizări ulterioare și vor permite

modelului să devină un instrument de analiză a performanței vehiculelor electrice, ceea ce este exact ceea ce își propune această teză de doctorat.

Mai jos sunt prezentate sunt principalele date, care au făcut diferența intre partea simulata si cea măsurată pentru ciclul RDE, in diferitele intervale de viteza, date referitoare la consumul de energie al unui autovehicul electric.

Principala mărime de interes este viteza vehiculului pe parcursul ciclului propus. Figura 138 reprezintă grafic comparația dintre cele două profile, cel real (măsurat) și cel simulat:

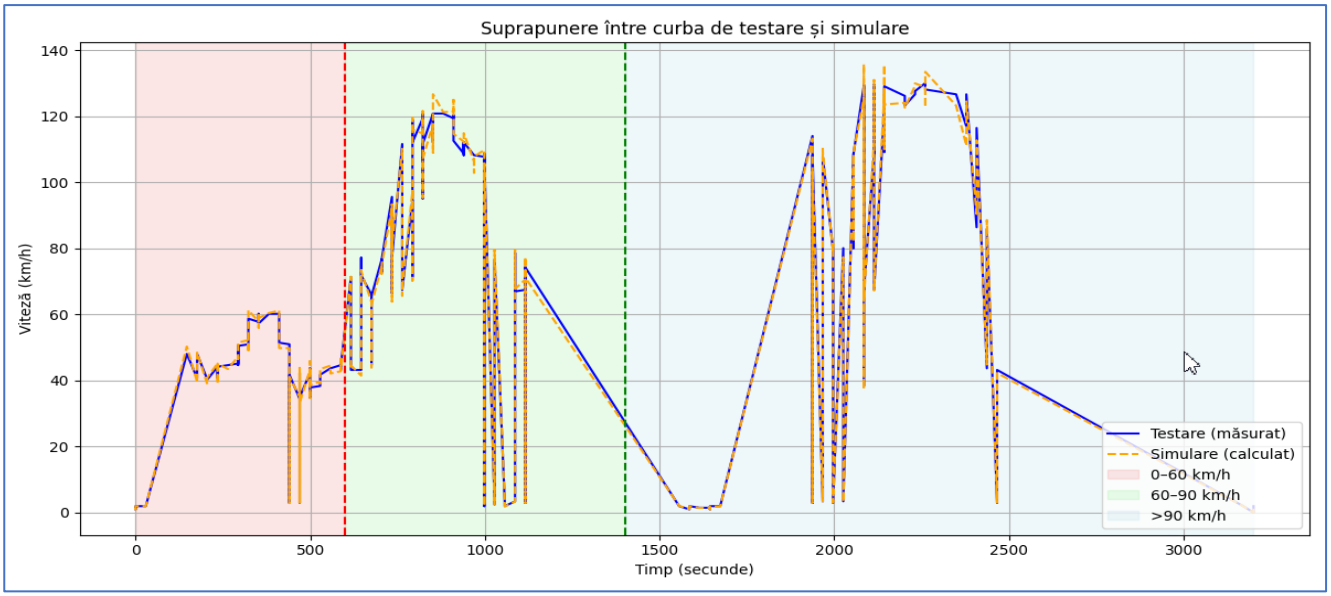


Figura 138. Suprapunerea pofilelor de viteza pe întregul ciclu.

Conform Regulamentului (UE) 2018/1832 [60], este permisă o abatere a profilului de viteză față de referință, cu o marjă de ± 2 km/h. În acest sens, verificarea acestei abateri a fost efectuată în mai multe puncte ale diagramei din Figura 138 și a fost identificată o zonă în care abaterea maximă a fost de + 0,15 km/h, iar cea minimă de - 0,2 km/h, valori conforme cu intervalul de reglementare.

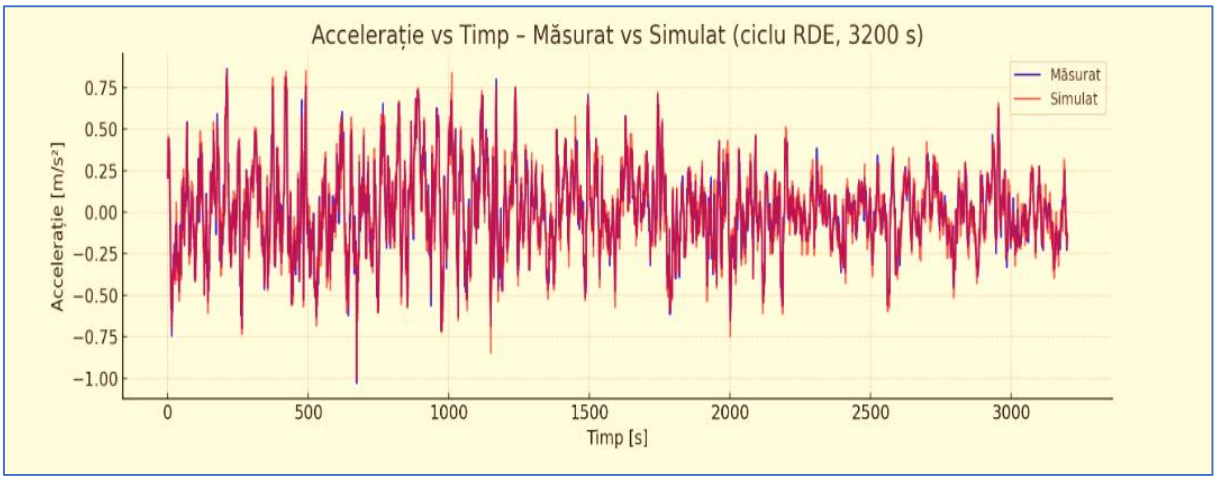


Figura 139. Suprapunerea pofilelor de accelerație pe întregul ciclu.

O altă mărime importantă pentru studiul comparativ este accelerația vehiculului în timpul ciclului de rulare, deoarece evidențiază acuratețea modelului de implementare a subsistemului „DRIVER”, din biblioteca Amesim, prin modulul în care acesta execută cele două comenzi de bază, și anume „controlul accelerației” și „controlul frânei”. Figura 139 prezintă profilul de accelerație măsurat comparativ cu profilul simulat.

Din graficul de mai sus se poate observa că accelerația simulată urmărește foarte bine punctele profilului real, cu excepția unor zone care reprezintă aprox. 5% din grafic, și anume momentul decelerației maxime pe ciclul real, când a apărut o situație neprevăzută, iar pilotul a trebuit să acționeze prompt și puternic pedala de frana, iar în cazul simulării, timpul de răspuns al subsistemului „DRIVER” prin intermediul modulului „controlul frânării”.

Distanța parcursă de autovehicul este afista comparativ în figura 140 fără sa remarcam anumite inadvertențe:

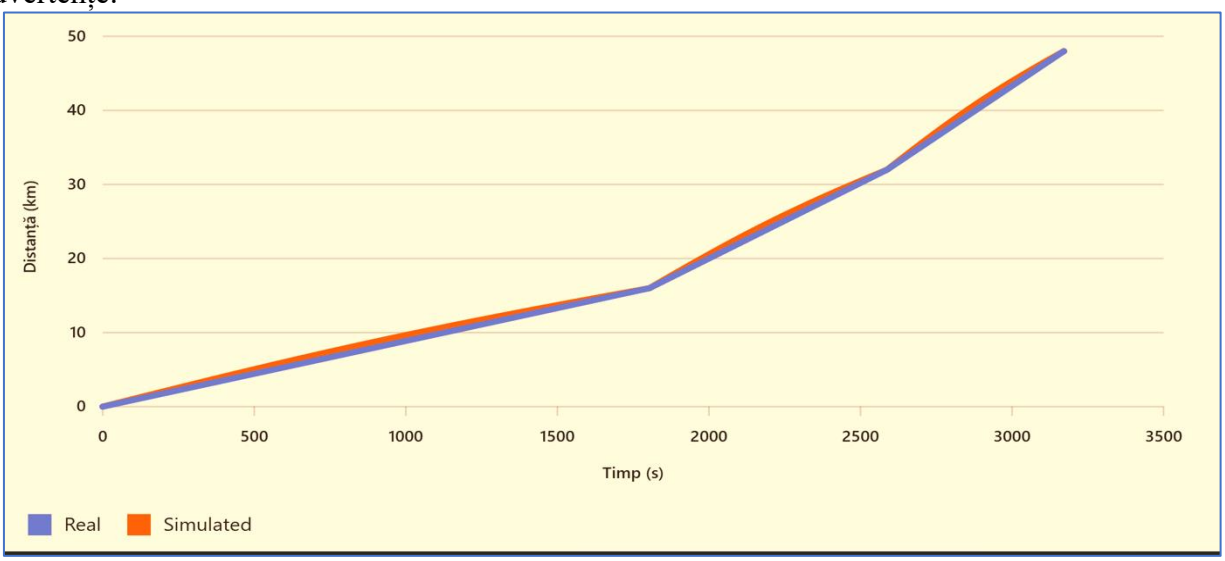


Figura 140. Suprapunerea graficelor de distanta parcursa pe întreg ciclul

Am studiat de asemenea și variația turației prin suprapunerea celor două profile după cum rezultă în figura 141.

În cazul profilului real, turația maximă a fost de 11479 rpm, iar simularea a dat o valoare de 11486 rpm, ceea ce înseamnă o eroare de 0,05%, generată și influențată de parametrii aferenți subsistemului „DRIVER” din zona de control a motorului electric.

Ce mai putem observa:

- Linia roșie punctată („n simulată”) urmează îndeaproape forma liniei verzi („n măsurată”), ceea ce indică o simulare bine calibrată.
- Există mici abateri între cele două profile, dar acestea par a fi în limite acceptabile (sub 5%).
- Turația motorului variază semnificativ pe parcursul celor ~3500 secunde, ceea ce este tipic pentru un ciclu RDE (Real Driving Emissions).

- Se observă faze de accelerare și decelerare, iar simularea reușește să le reproducă cu fidelitate.
- În anumite intervale de timp, linia simulată se abate ușor de la cea măsurată. Aceste zone pot indica: o neconcordanță în modelul de simulare, sau o limitare în precizia datelor de intrare.

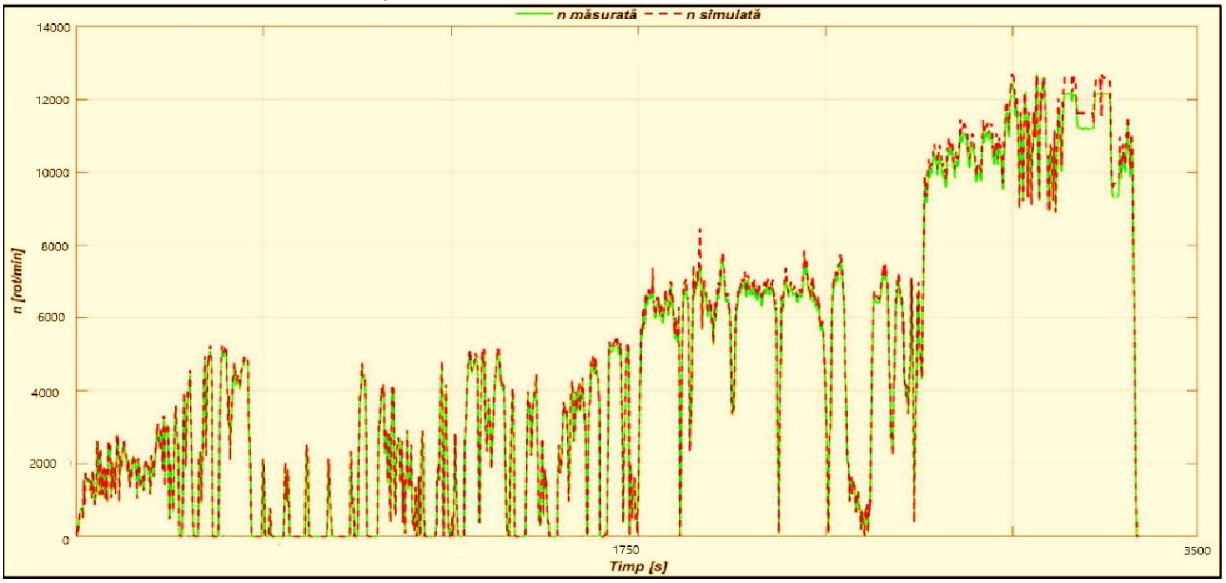


Figura 141. Suprapunerea profilelor de turație pe întreg ciclul

S-a efectuat si o comparatie intre starea de încărcare măsurată si starea de încărcare simulata, a bateriei de tracțiune :

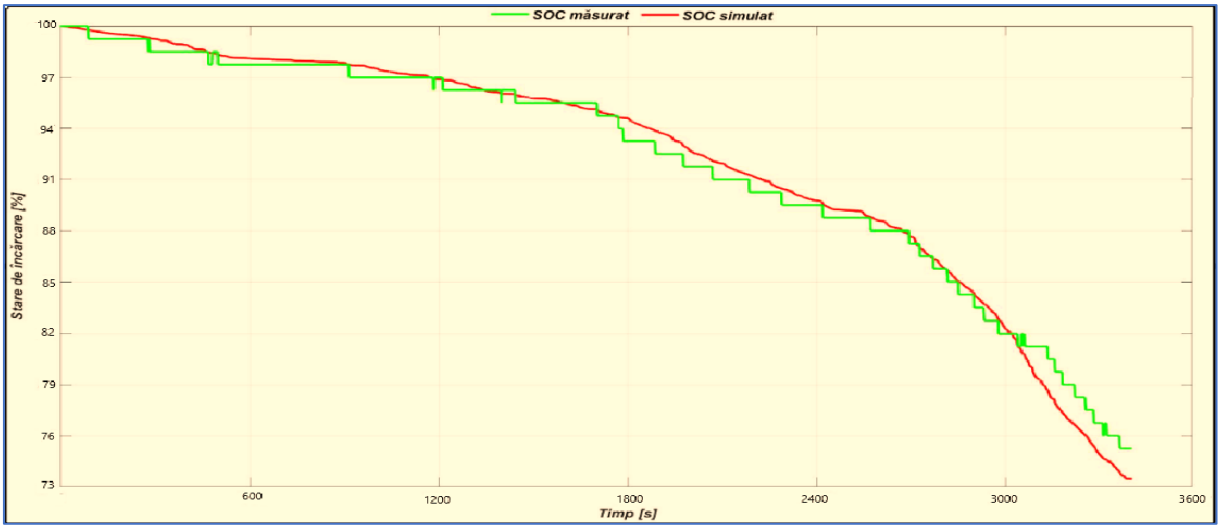


Figura 142. Suprapunerea stării de încărcare pe întreg ciclul.

Din analiza graficului, au rezultat următoarele:

- SOC măsurat (linie verde) prezintă o scădere în trepte, ceea ce sugerează că descărcarea bateriei s-a făcut în etape sau în condiții variabile (posibil în funcție de sarcină).

- SOC simulat (linie roșie) are o scădere mai lină, indicând un model de simulare continuu, probabil bazat pe o descărcare idealizată sau uniformă.
- Linia roșie urmează destul de bine tendința generală a liniei verzi, ceea ce sugerează că modelul de simulare este relativ precis, dar nu surprinde complet comportamentul real (în trepte).
- Diferențele dintre cele două curbe pot indica necesitatea ajustării modelului pentru a reflecta mai fidel condițiile reale de utilizare.
- SOC variază între aproximativ 100% și 73% pe durata testului (aproape 3200 secunde), ceea ce oferă o idee despre durata de descărcare și eficiența bateriei în acel interval.

S-a trasat si graficul comparativ cu privire la energia consumata pe ciclul măsurat si simulat:

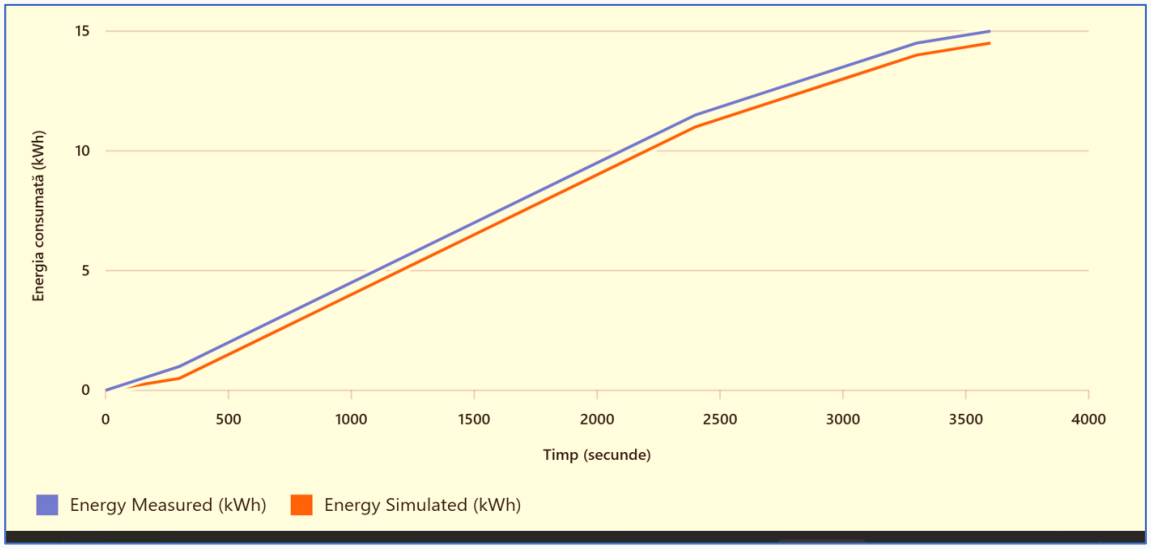


Figura 143. Suprapunerea energiei consumate pe întreg ciclul.

În ceea ce privește starea de încărcare a bateriei, valorile finale obținute prin măsurare și simulare sunt extrem de apropiate: 74,36% (reală, măsurată) și 73,26% (simulată). În ceea ce privește energia consumată pe parcursul ciclului de condus, valoarea măsurată, în funcție de variația timpului, a fost de 15,34 kWh, în timp ce simularea a rezultat în 14,89 kWh, o diferență de 0,45 kWh între cazul real și simulare, ceea ce rezultă într-o eroare de 4,5%.

Prin urmare, pe baza rezultatelor simulării comparate cu măsurătorile, erorile rezultate sunt mai mici de 5%, iar dimensiunile modelului corespund perfect valorilor reale, cu mici inexactități generate evident de precizia subsistemelor dezvoltate, de anumiți parametri ai programului privind pasul ales, componentele potrivite di biblioteca Simcenter Amesim, precum și de anumite condiții care nu pot fi modelate sau simulate fizic într-un mod similar traficului real.

Modelul creat poate constitui astfel un instrument pentru studierea performanței dinamice și energetice a vehiculelor electrice, în special a autoturismelor și a vehiculelor comerciale mici.

6. CONSTATARI FINALE. CONTRIBUTIA PERSONALA. DISEMINAREA REZULTATELOR.

1.1. Constatări finale

Principalele concluzii ale cercetărilor teoretice și experimentale efectuate în cadrul acestei teze de doctorat sunt următoarele:

- Tendințele actuale arată o creștere globală a numărului de vehicule electrice, iar factorii negativi precum infrastructura, timpul de încărcare și autonomia încep să găsească soluții, permițând o adoptare semnificativă a vehiculelor electrice, în special în rândul autoturismelor (categoria M1) și al vehiculelor utilitare ușoare (categoria N1);
- O analiză detaliată a modelelor actuale de vehicule electrice a relevat o flexibilitate arhitecturală considerabilă, permițând dezvoltarea unei game largi de soluții organizatorice;
- Ciclul propus în lumea reală a fost utilizat într-o perioadă cu temperaturi ridicate, aspect care a afectat negativ performanța energetică;
- Profilul de viteză obținut experimental a fost influențat de stilul de condus al șoferului și de secțiunile alese pentru ciclu, dar mai ales de limitele de viteză în vigoare conform legislației românești, chiar dacă testele urbane au fost efectuate pe o pistă urbană dedicată.
- În zona extraurbană, în special pe șoseaua de mare viteza Titu, unde limitele de viteză au permis a doua fază a ciclului, unde vitezele de conducere au putut fi menținute între 60 și 90 km/h, nu a fost necesară decelerarea la viteze foarte mici. Am avut o viteza medie de 73.48 km/h. S-au observat fluctuații ale accelerației, ceea ce indică modificări frecvente ale cererii de putere în timpul testului.
- Măsurătorile experimentale au arătat că, în mediu urban, pe o distanță de aproximativ 16 km parcurși, starea de încărcare a bateriei a scăzut cu 5,5%.
- La deplasarea cu viteze sub 60 km/h, cu o viteză medie de 32,28 km/h și frânări scurte și frecvente care simulează prezența semafoarelor și a intersecțiilor aglomerate, starea de încărcare a cunoscut ușoare creșteri generate de frânarea regenerativă, demonstrând, dintr-o perspectivă practică, că un vehicul electric este deosebit de potrivit pentru deplasarea în medii urbane.
- Am împărțit testul in 3 parți distincte, si nu combinate, deoarece am vrut sa subliniez câteva aspecte legate de acuratețea măsurătorilor.
- Motivul pentru care se fac măsurători separate pe aceste intervale de viteză în contextul RDE pentru un vehicul electric are legătură cu modul în care consumul de energie și comportamentul vehiculului variază cu viteza. Practic am vrut sa trec cat mai precis prin cele trei profiluri de viteza ale ciclului RDE.
- Conducerea pe autostradă la viteze mari a dus la o reducere cu 10% a stării de încărcare, aproape de două ori mai mult decât în mediu urban, demonstrând că viteza de deplasare este un factor major care influențează performanța energetică a vehiculelor electrice, având o viteza medie de 112 km/h.

- Analiza comparativă între rezultatele experimentale și cele ale simulării a relevat erori între 0 și 5%, conferind modelului de simulare un grad ridicat de încredere pentru utilizarea acestuia în alte studii mai complexe;
- Diferențele dintre valorile obținute experimental și cele obținute prin simulare utilizând profilul de viteză real se datorează faptului că anumite condiții și situații întâlnite în realitate nu pot fi implementate 100% într-un model de simulare matematică.
- Cercetările efectuate în cadrul tezei privind influența coeficientului de rezistență la rulare asupra performanței energetice au evidențiat impactul semnificativ al acestuia asupra consumului de energie și autonomiei vehiculului.
- Simularea a evidențiat influența sarcinii vehiculului asupra consumului de energie pe parcursul ciclului de conducere. În exemplul prezentat în teză, s-a înregistrat o creștere cu 10,5% a consumului de energie și o scădere cu 12,85% a autonomiei.
- Cercetările și simulările experimentale au arătat că modul de funcționare al unui vehicul electric influențează semnificativ consumul de energie real al acestuia.

1.2. Contribuția personală.

Cercetarea teoretică realizată prin modelare-simulare și cercetare experimentală subliniază o întreagă succesiune de contribuții personale din partea autorului, incluzând:

- Realizarea unui studiu complex privind tendințele actuale și viitoare legate de dezvoltarea vehiculelor electrice la nivel mondial, corelat cu principalele limitări actuale și posibilele soluții pentru depășirea acestora;
- Prezentarea detaliată a soluțiilor actuale de pe piața globală a vehiculelor electrice, corelată cu soluțiile inovatoare propuse de producători pentru viitorul apropiat;
- Analiza flexibilității arhitecturale și a diversității constructive disponibile în prezent pentru vehiculele electrice;
- Crearea unor scheme constructive de bază care să reflecte soluțiile organizatorice generale pentru un vehicul electric;
- Selectarea și implementarea unui traseu trifazic: urban, extraurban și de mare viteza (autostrada), pentru desfășurarea cercetărilor experimentale, în conformitate cu condițiile impuse de reglementările actuale.
- Determinarea experimentală a performanțelor dinamice și energetice ale unui vehicul electric de clasă mică în condiții reale utilizând echipamente specializate pentru diagnosticarea vehiculelor.
- Dezvoltarea modelului matematic original in care se utilizeaza programul de modelare si simulare Simcenter AMESIM care permite analiza performanțelor dinamice și energetice ale unui vehicul electric, utilizând un ciclu de conducere real sau unul standardizat (în această lucrare: WLTC și RDE).
- Parametrizarea modelului pe baza specificațiilor reale ale vehiculului și adaptarea acestuia pentru simularea ciclurilor standardizate.

- Validarea modelului dezvoltat prin analiza comparativă a rezultatelor obținute prin simulare cu cele obținute experimental în condiții reale.
- Evidențierea principalelor posibilități și avantaje oferite de modelul dezvoltat pentru programul de modelare-simulare Simcenter AMESIM și utilitatea acestei metodologii pentru activitatea de optimizare și dezvoltare a vehiculelor electrice.
- Definirea unei metodologii proprii de evaluare a consumului de energie pe baza rezultatelor din simulare și testare.
- Aplicarea acestei metodologii pentru compararea performanțelor energetice în ciclurile WLTC (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle) și RDE (Real Driving Emissions).
- Dezvoltarea unui studiu utilizând un model de simulare privind principalii factori care influențează performanța dinamică și energetică a vehiculelor electrice și identificarea soluțiilor de optimizare aplicabile în practică.
- Analiza comparativă prin simulare a performanței dinamice și energetice a unui vehicul electric de dimensiuni reduse într-un ciclu real și pe parcursul diferitelor cicluri de testare standardizate.
- Datorită numeroaselor rezultate obținute utilizând modelul de simulare bazat pe anumiți factori de influență interni și externi, a fost dezvoltat un instrument de cercetare privind performanța vehiculelor electrice. Acesta poate fi utilizat de specialiștii din domeniu pentru dezvoltarea de studii viitoare care vizează optimizarea sau dezvoltarea vehiculelor electrice.
- Compararea consumului de energie obținut în simulări cu cel măsurat experimental.
- Identificarea factorilor care determină variații ale consumului între ciclurile WLTC și RDE.
- Propunerea unor îmbunătățiri sau ajustări ale modelului de simulare pentru a reflecta mai bine comportamentul real al vehiculului.
- Formularea de concluzii proprii privind influenta tipului de ciclu de conducere asupra consumului energetic al vehiculelor electrice.
- Identificarea limitărilor modelelor de simulare în raport cu realitatea din trafic și sugestii pentru dezvoltări viitoare.

1.3. Diseminarea rezultatelor

În vederea valorificării și validării științifice a rezultatelor obținute pe parcursul cercetării doctorale, au fost realizate activități de diseminare sub forma publicării de articole științifice și participării la manifestări științifice naționale și internaționale. Aceste activități au urmărit promovarea contribuțiilor personale, schimbul de idei cu alți cercetători din domeniu și obținerea de feedback relevant pentru consolidarea concluziilor formulate.

Pe parcursul celor cinci ani destinați studiilor doctorale s-au elaborat mai multe lucrări prezentate la diferite conferințe naționale, respectiv în reviste de specialitate despre performanțele autovehiculelor electrice, precum și despre etapele elaborării modelului de simulare conceput. Din aceste lucrări, toate 4 au fost realizate ca prim autor, după cum urmează:

1. Corneliu Mînzatu, V. Nișulescu, M. Toma, C. Rențea, Research concerning the autonomy of the electric vehicles, simulated and measured, in the case of driving at the low and the medium speed, specific to the WLTC test cycle, The 33rd SIAR International Automotive and Transport Engineering Congress The 10th ESFA Congress hosted by POLITEHNICA University 2-4 November 2023, Bucharest, Romania, C Minzatu et al 2024 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1303 012003

2. Corneliu Mînzatu, V. Nișulescu, G. Frățilă, C. Stan, G. Bancă, Research concerning the autonomy of the electric vehicles, simulated and measured, in the case of driving at the high and the very high speed, specific to the WLTC test cycle, The 33rd SIAR International Automotive and Transport Engineering Congress The 10th ESFA Congress hosted by POLITEHNICA University 2-4 November 2023, Bucharest, Romania, C Minzatu et al 2024 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1303 012004

3. Corneliu Mînzatu, V. Nișulescu, Gh. Bancă, M. Toma, C. Rențea. Research regarding the simulation of the autonomy for the electric vehicles in the case of the WLTC test cycle, The 32nd International Congress of SIAR of Automotive and Transport Engineering, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1311 (2024) 012026, doi:10.1088/1757-899X/1311/1/012026.

4. Corneliu Mînzatu, Valentin Nișulescu, Marius Toma, Cristian Rențea, Research Regarding of the Autonomy of the Electric Vehicles in WLTC Test Cycle, Proceedings of the International Conference of Mechanical Engineering (ICOME-2022), Atlantis Highlights in Engineering, DOI 10.2991/978-94-6463-152-4_29

Am mai avut o participare la Congresul SMAT 2014 - SIAR di 23 oct. 2014, unde am participat cu doua publicații, in calitate de autor:

5. Constantin-Corneliu MÎNZATU, George ENE, Marian-Eduard RĂDULESCU, Irinel DINU, Marius SIMIONESCU, Ramona-Monica STOICA, CONSIDERATIONS RELATING TO ACTIVE SAFETY OF AUTOMOBILES, SMAT 2014 - SIAR Congress, 3RD INTERNATIONAL CONGRESS, SCIENCE AND MANAGEMENT OF AUTOMOTIVE AND TRANSPORTATION ENGINEERING, 23rd - 25th of October, 2014 Craiova, Romania

6. Constantin-Corneliu MÎNZATU, George ENE, Marian-Eduard RĂDULESCU, Irinel DINU, Marius SIMIONESCU, Ramona-Monica STOICA, CRITERIA FOR ASSESSING THE ENERGY EFFICIENCY OF MOTOR VEHICLES, SMAT 2014 - SIAR Congress, 3RD INTERNATIONAL CONGRESS, SCIENCE AND MANAGEMENT OF AUTOMOTIVE AND TRANSPORTATION ENGINEERING, 23rd - 25th of October, 2014 Craiova, Romania

7. BIBLIOGRAFIE

[1] *** RICHARD, Davenport's Thoughts of Electric Streetcars in 1834, https://blog.upsbatterycenter.com/davenport-thoughts-electric-streetcars/ , accesat la data de 24.01.2024.

[2] *** Philippe Moureau, *La première voiture électrique*, https://rouleur-electrique.fr/la-premiere-voiture-electrique/, accesat la data de 24.01.2024.

[3] *** *Brief History of Electric Cars*, https://www.perrys.co.uk/blog/brief-history-of-electric-cars/114901, accesat la data de 24.01.2024.
[4] *** *Istoria automobilului electric,* https://ro.wikipedia.org/wiki/Istoria_automobilului_electric, accesat la data de 24.01.2024.
[5] *** Scotsman, Electric car revolution is here. *How a 19th century Scottish inventor and a Swedish scientist could have helped world avoid climate change,* https://www.scotsman.com/news/opinion/columnists/electric-car-revolution-is-a-case-of-back-to-the-future-scotsman-says-3408591, accesat la data de 24.01.2024.
[6] *** Wikipedia, *Automobilul Electric*, https://ro.wikipedia.org/w/index.php?title=Automobil_electric&veaction=edit&section=4, accesat la data de 28.01.2024.
[7] *** Greencarcongress, *Renault features production version of ZOE, Twizy EV at Geneva*, https://www.greencarcongress.com/2012/03/zoe-20120309.html
[8] *** Teslarati, *Tesla Model 3 Mid Range: $45k, 260-mile battery and rear wheel drive*, https://www.deepl.com/fr/translator#en/ro/Tesla%20Model%203%20Mid%20Range%3A%20%2445k%2C%20260-mile%20battery%20and%20rear%20wheel%20drive
[9] *** Quora, *Why do electric vehicles have one motor driving two wheels instead of one motor per wheel? Wouldn't one motor per wheel have fewer moving parts and be more reliable?,* https://www.quora.com/Why-do-electric-vehicles-have-one-motor-driving-two-wheels-instead-of-one-motor-per-wheel-Wouldn-t-one-motor-per-wheel-have-fewer-moving-parts-and-be-more-reliable
[10] *** RIMAC, *Concept_One production version to be unveiled in Geneva*, https://www.rimac-automobili.com/media/press-releases/concept-one-production-version-to-be-unveiled-in-geneva/
[11] *** New Atlas, *Hiriko - the fold-up electric two-seater set for 2013*, https://newatlas.com/hiriko-folding-electric-car/21506/#gallery:1

[12] *** bitmi.ro, https://www.bitmi.ro/blog/motor-fara-perii-vs-motor-cu-perii-de-ce-ar-trebui-sa-stiii-diferenta.html
[13] *** Brittanica, *Synchronous motors,* https://www.britannica.com/technology/electric-motor/Synchronous-motors
[14] *** Wikipedia, *Motor Asincron*, https://ro.wikipedia.org/wiki/Motor_asincron
[15] *** YouTube, Axial flux motors - The new hope, https://www.youtube.com/watch?v=8EEVPVNJHjM
[16] *** Electromobilitate, *VW ID.3 – detalii despre motorul electric*, https://electromobilitate.com/vw-id-3-detalii-despre-motorul-electric/
[17] *** NWRADU, *Câteva explicații despre motorul Ecoboost de 1 litru,* https://www.nwradu.ro/2013/07/cateva-explicatii-despre-motorul-ecoboost-litru/

[18] *** Lectrix, *Tipuri de cabluri, conectori, stații, putere și timpi de încărcare pentru mașinile electrice,* https://www.lectrix.ro/tipuri-de-cabluri-conectori-statii-putere-si-timpi-de-incarcare-pentru-masinile-electrice/,
[19] *** Auto Critica, *Baterii Solid-State*, https://www.autocritica.ro/blue-zone/bateriile-solid-state-ultimul-obstacol/
[20] *** Drivingeco, *BYD*, https://www.drivingeco.com/ro/catl-byd-ya-tienen-casi-listas-baterias-iones-sodio/

[21] *** Still, *Baterii Pb-Acid tractiune stivuitoare*, https://ro.still.shop/baterie-tractiune-stivuitor.html
[22] *** Lammotor, *Tesla Model 3 Motors: Induction Motor and Permanent Magnet Synchronous Motor,*https://www.deepl.com/fr/translator#en/ro/Tesla%20Model%203%20Motors%3A%20Induction%20Motor%20and%20Permanent%20Magnet%20Synchronous%20Motor
[23] *** BMW Blog*, Interesting, Here's What Makes BMW's Externally-Excited EV Motors Unique,*https://www.deepl.com/fr/translator#en/ro/Interesting%2C%20Here%E2%80%99s%20What%20Makes%20BMW%E2%80%99s%20Externally-Excited%20EV%20Motors%20Unique
[24] *** Semantic Scholar, *Switched reluctance motor (SRM),* https://www.deepl.com/fr/translator#en/ro/Switched%20reluctance%20motor%20(%20SRM%20)
[25] *** evengineeringonline, *Vehicle-to-grid is technically feasible, but what's the reality?* https://www.evengineeringonline.com/vehicle-to-grid-is-technically-feasible-but-whats-the-reality/
[26] *** International Energy Agency (IEA), "Technology Roadmap: Electric and Plug-in Hybrid Electric Vehicles", (EV/PHEV), IEA, 2011.
[27] *** M. Yilmaz and P. T. Krein, "Review of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, and Infrastructure for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles", IEEE Transactions on Power Electronics, 28(5):2151–2169, 2012.
[28] *** B. Frieske, M. Kloetzke, and F. Mauser," Trends in vehicle concept and key technology development for hybrid and battery electric vehicles", Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27), Barcelona, pages 1–12, 2013.
[29] *** IPCC, "Climate change 2014 synthesis report", IPCC, 2014.
[30] *** F. Zhong, O. Martinez, R. Gormus, and P. Kulkarni, "The reign of EV's? An economic analysis from consumer's perspective", IEEE Electrification Magazine, 2(2):61–71, 2014.
[31] *** A. Hoke, A. Brissette, K. Smith, A. Pratt, and D. Maksimovic. Accounting for Lithium-Ion Battery Degradation in Electric Vehicle Charging Optimization. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 2(3):691–700, 2014.
[32] *** C. Irimia, M. Grovu, C. Husar, and D. Fodorean, "Overall performances of a high-speed propulsion system through simulation approach", ACEMP - OPTIM - ELECTROMOTION JOINT CONFERENCE, Side, Turkey 2-4 Sept. 2015, 978-1-4763-7239-8/15.
[33] *** D. Fodorean, C. Husar, and C. Irimia, "Noise and Vibration Behavior Evaluation of DC Motor and PMSM in Electric Traction Application", SPEEDAM 2016, International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, June 22-24,2016 - Capri Italy, ISBN 9781509041817.
[34] *** C. Irimia, M. Grovu, C. Husar, D. Fodorean, and C. Antonya, "Cosimulation Analysis for an Electric Vehicle Powered by a High-Speed Electrical Machine", 2017 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), Belfort France, ISBN15: 978-1-5386-1317-7.
[35] *** C. V. Pop, D. Fodorean, C. Husar, and C. Irimia, "Structural numerical and experimental comparison of an in-wheel motor dedicated for electric scooter application", 12th International Conference ELEKTRO 2018, www.elektro.uniza.sk/elektro, USB ISBN: 978-1-5386-4758-5.
[36] *** S. M. Ciornei, R. O. Nemeș, M. Ruba, C. Husar, H. Hedeșiu, and C. Marțis, "Real-Time simulation of a complete electric vehicle based on NI VeriStand integration platform", International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE 2018).

[37] *** C. Pop, D. Fodorean, C. Husar, and C. Irimia, "Noise and vibration analysis of an in-wheel motor with integrated magnetic gear dedicated for light electric application", International Conference on Modern Power Systems (MPS 2019), Cluj Napoca.
[38] *** Jeong, N.T., Yang, S.M.,: Urban driving cycle for performance evaluation of electric vehicles. Int. J. Automot. Technol 17(1), 145-151 (2016).
[39] *** Buchmann, I.: Batteries in a Portable World, 2nd end. Cadex Electronics Inc. (2001). ISBN 978-0968211823.
[40] *** Ababei, S., Culea, G. Electrical measurements and data acquisition, Tehnica-Info, (2003) ISBN 9975-63-214-9.
[41] *** Barlow, T. J. et al.: A referance book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle. Published Project Report PPR354, TRL Limited (2009).
[42] *** Shi, Q., et al.: The study of a new method of driving cycles construction. Procedia Eng. 16, 79-87 (2011).
[43] *** Paul, D., Stănescu, O., Electric, hybrid and fuel cell cars, Politehnica, Timișoara (2015). ISBN: 978-606-35-0011-4.
[44] *** Bamban, V., et al.: Analysis of range extender electric vehicle performance using vehicle simulator. Energy Procedia 68, 409-418 (2015).
[45] *** EUR-Lex Homepage, http://data.europa.eu/eli/reg/2017/1151/oj, last accessed 2022/03/20.
[46] *** **Corneliu Mînzatu**, V.Nisulescu, M.Toma, C.Rentea, Research Regarding of the Autonomy of the Electric Vehicles in WLTC Test Cycle, ICOME-2022, doi: 10.2991/978-94-6463-152-4_29
[47] *** **Corneliu Mînzatu**, Valentin Nișulescu , Gheorghe Bancă , Marius Toma , Cristian Rențea, Research regarding the simulation of the autonomy for the electric vehicles in the case of the WLTC test cycle, The 32nd International Congress of SIAR of Automotive and Transport Engineering, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1311 (2024) 012026, doi:10.1088/1757-899X/1311/1/012026.
[48] *** **Corneliu Mînzatu**, V.Nisulescu, M.Toma, C.Rentea, Gh.Banca, Research concerning the autonomy of the electric vehicles, simulated and measured, in the case of driving at the low and the medium speed, specific to the WLTC test., ESFA-2023, doi:10.1088/1757-899X/1303/1/012003
[49] *** **Corneliu Mînzatu**, V.Nisulescu, Gh.Fratila, C.Stan, Gh.Banca, Research concerning the autonomy of the electric vehicles, simulated and measured, in the case of driving at the high and the very high speed, specific to the WLTC test, ESFA-2023, doi: 10.1088/1757-899X/1303/1/012004
[50] *** SIEMENS, *How to use Real Driving Emission cycles in Simcenter Amesim?,* https://community.sw.siemens.com/s/article/how-to-use-real-driving-emission-cycles-in-simcenter-amesim
[51] *** International Energy Agency (IEA), Global EV Outlook, ediții anuale.
[52] *** European Environment Agency (EEA), Electric vehicles and the energy sector – impacts on Europe's future emissions.
[53] *** Larminie, J., Lowry, J., Electric Vehicle Technology Explained, Wiley, 2012.
[54] *** Ehsani, M., Gao, Y., Gay, S., Emadi, A., Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles, CRC Press, 2018.
[55] *** Standard WLTP – Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure, UNECE.
[56] *** Regulamentul (UE) 2017/1151 al COMISIEI din 01.06.2017, accesibil la https://eurlex.europa.eu/search.html?scope=EURLEX&text=2017%2F1151&lang=en&type=quick&qid=170 9127536185, ultima accesare la 28.08.2025.

[57] *** Regulamentul (UE) 2018/1832 al COMISIEI din 05.11.2018, accesibil la https://eurlex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A32018R1832#d1e39-105-1, ultima accesare la 28.08.2025
[58] *** Auto Infos Distribution, *Renault Group introduit le diagnostic «~over the air~» prédictif,* https://www.auto-infos.fr/article/renault-group-introduit-le-diagnostic-over-the-air-predictif.95919
[59] *** DACIA, *Inginerie,* https://www.dacia.ro/brandul-dacia/inginerie.html
[59] *** CONARG, *Centrul Tehnic Titu – Renault*, https://www.conarg.co/portofoliu.html?view=article&id=65:centrul-tehnic-titu-renault&catid=9
[60] *** Regulamentul (UE) 2018/1832 al COMISIEI din 05.11.2018, accesibil la https://eurlex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A32018R1832#d1e39-105-1, ultima accesare la 31.08.2025.