



**Univeristatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București**

**Facultatea de Transporturi**

*As.drd.ing. Alexandru-Adrian ANCUȚA*

***CERCETĂRI PRIVIND DETERMINAREA PERFORMANȚELOR  
DINAMICE ȘI ENERGETICE ALE AUTOVEHICULELOR  
ELECTRICE***

***TEZĂ DE DOCTORAT***

***REZUMAT EXTINS***

***Conducător științific:  
Prof.univ.em.dr.ing. Gheorghe FRĂȚILĂ***

***BUCUREȘTI 2024***



## CUPRINS

<b>INTRODUCERE</b> .....	7
<b>OBIECTIVELE PROPUSE</b> .....	7
<b>CAPITOLUL I. EVOLUȚIA AUTOVEHICULELOR ELECTRICE</b> .....	9
1.1. Apariția și răspândirea autovehiculelor electrice.....	10
1.2. Cauzele care stau la baza dezvoltării autovehiculelor electrice.....	20
1.3. Impactul și gradul de răspândire al autovehiculelor electrice la nivel mondial.....	23
1.4. Infrastructura necesară alimentării cu energie electrică.....	28
1.5. Studiul comparativ între un autovehicul electric și unul convențional, echipat cu motor cu ardere internă.....	31
1.6. Este autovehiculul electric o soluție pentru viitor?.....	39
<b>BIBLIOGRAFIE</b> .....	40
<b>CAPITOLUL II. STADIUL ACTUAL AL CONSTRUCȚIEI AUTOVEHICULELOR ELECTRICE</b> .....	42
2.1. Soluții constructive ale autovehiculelor electrice.....	42
2.2. Flexibilitatea arhitecturală a autovehiculelor electrice – soluții de organizare generală.....	45
2.3. Sistemul de propulsie electric.....	57
2.3.1. Motorul electric.....	57
2.3.1.1. Motorul electric de curent continuu.....	58
2.3.1.2. Motoare electrice de curent alternativ.....	61
A. Motorul sincron.....	62
B. Motorul asincron.....	78
2.3.2. Variatorul de turație.....	84
2.3.2.1. Definiție și rol. Construcție generală.....	84
2.3.2.2. Locul în schema electrică a sistemului de propulsie. Modul de funcționare.....	85
2.3.2.3. Clasificare.....	86
2.3.3. Transmisia unui autovehicul electric.....	87
2.3.4. Surse de stocare a energiei la bordul autovehiculului.....	92
2.3.4.1. Baterii.....	92
A. Bateriile cu Pb.....	92
B. Bateriile cu Ni.....	94
C. Bateriile cu Na.....	95
D. Bateriile cu Li.....	96
E. Sistemul de control al bateriei litiu-ion – BMS (Battery Management System).....	100
F. Sisteme de încărcare ale bateriilor litiu-ion.....	102

2.3.4.2. Supercondensatoare (SUPERCAP).....	105
2.3.4.3. Pile de combustibil.....	107
2.3.4.4. Alte surse moderne de energie pentru autovehiculele electrice.....	113
2.4. Regimurile de funcționare ale unui autovehicul electric.....	116
2.4.1. Regimul de tracțiune.....	116
2.4.2. Regimul de frânare.....	118
<b>BIBLIOGRAFIE.....</b>	<b>120</b>
<b>CAPITOLUL III. MODELAREA ȘI SIMULAREA NUMERICĂ A UNUI AUTOVEHICUL ELECTRIC.....</b>	<b>124</b>
3.1. Scopul modelării și simulării.....	124
3.2. Dezvoltarea modelului utilizat pentru simulare.....	125
3.2.1. Modelul dinamic al autovehiculului electric.....	125
3.2.2. implementarea componentelor sistemului de propulsie electric.....	129
3.2.3. condiții generale aplicate pentru modelare și simulare.....	132
3.3. Simularea numerică a performanțelor dinamice ale unui autovehicul electric.....	134
3.4. Simularea numerică a unui autovehicul electric în condiții reale de rulare.....	136
3.5. Studiul performanțelor dinamice și energetice ale unui autovehicul electric de tip SUV la rulare pe un ciclu de încercare standardizat.....	143
3.5.1. Studiul performanțelor dinamice și energetice ale unui autovehicul electric de tip SUV în condițiile ciclului standardizat WLTC.....	146
3.5.2. Studiul performanțelor dinamice și energetice ale unui autovehicul electric de tip SUV în condițiile ciclului standardizat NEDC.....	149
3.6. Studiul influenței transmisiei cu două trepte asupra performanțelor unui autovehicul electric utilitar folosind modelul de simulare.....	153
3.7. Soluții de optimizare a performanțelor autovehiculelor electrice folosind modelul de simulare.....	161
3.7.1. Coeficientul de rezistență la rulare.....	162
3.7.2. Masa autovehiculului.....	164
3.7.3. Temperatura mediului ambiant.....	166
<b>BIBLIOGRAFIE.....</b>	<b>170</b>
<b>CAPITOLUL IV. CERCETAREA EXPERIMENTALĂ A UNUI AUTOVEHICUL ELECTRIC.....</b>	<b>171</b>
4.1. Considerente generale.....	171
4.2. Structura sistemului de propulsie ce echipează autovehiculul utilizat pentru încercări.....	172

4.2.1. Motorul electric și transmisia.....	173
4.2.2. Variatorul de turație.....	175
4.2.3. Bateria de tracțiune.....	175
4.3. Condiții impuse pentru cercetarea experimentală.....	177
4.4. echipamente utilizate în realizarea încercărilor experimentale.....	179
4.5. Realizarea încercărilor.....	181
4.5.1. Alegerea traseului și pregătirea autovehiulului.....	181
4.5.2. Rezultate experimentale obținute.....	184
4.6. Comparație între măsurătorile experimentale și rezultatele obținute prin modelare și simulare.....	193
<b>BIBLIOGRAFIE.....</b>	<b>198</b>
<b>CAPITOLUL V. CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII PERSONALE. DISEMINAREA REZULTATELOR.....</b>	<b>199</b>
5.1. Concluzii finale.....	199
5.2. Contribuții personale.....	200
5.3. Diseminarea rezultatelor.....	201

*„Nu merge unde te duce drumul, mergi pe unde nu există un drum și lasă o urmă”.*

(Ralph Waldo Emerson)

## **Prefață**

*Luând în considerare actualitatea și complexitatea subiectului abordat în această teză de doctorat, elaborarea sa a necesitat utilizarea tuturor resurselor disponibile în realizarea cercetărilor experimentale și respectiv, prin modelare și simulare, resurse puse la dispoziție în perioada Octombrie 2021 – Iunie 2024 de către Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București.*

*În primul rând, încep prin a-mi exprima recunoștința și mulțumirile pentru domnul prof. em. dr. ing. Gheorghe FRĂȚILĂ, conducătorul științific, care mi-a îndrumat pașii cu înaltă competență și exigență în anii de doctoratură, precum și pentru elaborarea acestei teze.*

*În al doilea rând, doresc să-i transmit aprecierea mea domnului prof. dr. ing. Grigore DANCIU, cel care mi-a deschis calea în cariera didactică, m-a sfătuit și cu aceeași dragoste părintească m-a motivat în fiecare etapă a dezvoltării profesionale.*

*De asemenea, doresc să transmit recunoștința mea domnului prodecan conf. dr. ing. Marius-Florin TOMA, pentru ajutorul și încrederea pe care mi le-a oferit și pentru toate eforturile întreprinse în realizarea încercărilor experimentale; domnului conf. dr. ing. Marius-Valentin BĂȚĂUȘ sugestiile deosebite oferite de fiecare dată și bineînțeles, colegului și bunului meu prieten, domnul ș.l. dr.ing. Cristian-Alexandru RENȚEA fără de care lucrurile nu s-ar mai fi orientat pe această traiectorie.*

*Sentimente de mulțumire transmit și domnului ing. Marius SĂVESCU și Grupului PORSCHE București Nord pentru colaborare, deschidere și sprijinul oferit în realizarea cercetărilor experimentale prin punerea la dispoziție a automobilului electric.*

*Totodată doresc să îmi exprim recunoștința față de cadrele didactice din Departamentul Autovehicule Rutiere și mai ales domnului director conf. dr. ing. Daniel-Mihail IOZSA, pentru înalta pregătire pe care mi-au oferit-o și pentru căldura cu care m-au integrat în colectivul acestui Departament.*

*În cele din urmă, doresc să mulțumesc logodnicei mele, Alice pentru fiecare moment în care mi-a fost alături necondiționat și părinților mei pentru tot ceea sunt astăzi și ce voi deveni mâine.*

*În final, îi mulțumesc lui Dumnezeu pentru că mi-a dat putere, încredere și sănătate astfel încât să pot finaliza această lucrare.*

*As.drd.ing. Alexandru-Adrian ANCUȚA  
București, iunie 2024*

## **INTRODUCERE**

În industria autovehiculelor la nivel mondial, prin prisma tendinței accentuate de reducere a emisiilor poluante rezultate în urma arderii combustibililor petrolieri, sistemul de propulsie electric a redevenit o opțiune pentru a sprijini această tendință și ca urmare a acestui fapt și optimizarea performanțelor dinamice și energetice constituie un obiectiv pe termen scurt, mediu și lung pentru producătorii ancorați în acest proces.

În momentul de față se pune problema pe de-o parte prin prisma limitărilor legate de infrastructură, iar pe de altă parte prin prisma performanțelor energetice, în mod special al autonomiei autovehiculelor electrice în raport cu cele convenționale. Cu toate acestea, majoritatea producătorilor de autovehicule consacrați la nivel mondial au adoptat diferite soluții și au scos pe piață o multitudine de variante ce încep ușor, ușor să îndeplinească așteptările utilizatorilor.

Prin modelare și simulare în diferite medii se pot determina performanțele dinamice și energetice ale autovehiculelor electrice fără a mai fi nevoie de un autovehicul fizic și de un stand specializat pentru realizarea unui ciclu de testare.

Așadar, luând în considerare complexitatea problemelor ce caracterizează un astfel de studiu, un model de simulare bine structurat și care să țină cont de toate condițiile interne și externe care pot influența performanțele unui autovehicul electric este imperios necesar.

## **OBIECTIVELE PROPUSE**

Primul obiectiv al tezei este acela de a dezvolta și optimiza un model matematic de simulare folosind programul MatLAB-Simulink, capabil să permită determinarea performanțelor dinamice și energetice ale unui autovehicul electric, pentru început din categoriile M1 și N1. Pe baza acestui model se urmărește realizarea unui instrument științific care să permită ulterior realizarea altor modele mai complexe.

Un alt obiectiv îl constituie procesul de validare al modelului prin utilizarea încercărilor experimentale în condiții reale de rulare, folosind un autovehicul electric de referință, un echipament de măsurare și implementând un traseu în baza căruia să se obțină un ciclu real cu ajutorul căruia modelul folosit la simulare să fie verificat prin compararea rezultatelor obținute în cele două situații. Acest obiectiv este bazat pe determinarea performanțelor dinamice și energetice prin modelare și simulare și experimental.

În concluzie, obiectivul principal al tezei este acela de a dezvolta un model de simulare pentru a determina performanțele dinamice și energetice, ce poate fi validat prin rezultate experimentale și care să devină un instrument de cercetare util și pentru alți specialiști în domeniu.

Teza de doctorat se împarte în cinci capitole:

**Capitolul I. SCURT ISTORIC AL AUTOVEHICULELOR ELECTRICE**, realizează o analiză a evenimentelor ce conturează istoria autovehiculelor electrice din primele momente ale apariției sale și până în prezent, punctând anumite momente notabile. De asemenea, acest capitol prezintă tendințele cu privire la răspândirea autovehiculelor electrice alături cauzele generale care stau la baza

acestui fenomen și corelat evident cu limitările existente în acest moment. Capitolul se încheie cu o analiză comparativă între un autovehicul electric și unul convențional, echipat cu motor termic, din punct de vedere al construcției, funcționării, performanțelor, aspectelor legate de mentenanță și fiabilitate și nu în ultimul rând în raport cu costurile aferente fiecărui sistem de propulsie în parte.

**Capitolul II. STADIUL ACTUAL AL CONSTRUCȚIEI AUTOVEHICULELOR ELECTRICE**, dezvoltă pe larg stadiul actual cu privire la soluțiile constructive realizate de producători la nivel mondial pentru creșterea și optimizarea performanțelor autovehiculelor electrice. De asemenea, se analizează în particular fiecare componentă a sistemului de propulsie electric (motor, variator de turație, baterie, transmisie) din punct de vedere funcțional și se prezintă și noile soluții ce urmează a fi implementate în viitorul apropiat.

**Capitolul III. MODELAREA ȘI SIMULAREA NUMERICĂ A UNUI AUTOVEHICUL ELECTRIC**, reprezintă baza tezei de doctorat în care se detaliază pașii de dezvoltare a modelului de simulare pornind de la ecuația generală a mișcării autovehiculelor, urmând apoi a fi implementate pe rând componentele sistemului de propulsie electric. Totodată, în acest capitol se prezintă rezultatele obținute din simulări la rularea pe un ciclu real dezvoltat de către autor și la rularea pe ciclurile standardizate WLTC și NEDC, cu privire la autonomie, starea de încărcare a bateriei, energia totală consumată, precum și consumul specific. În finalul capitolului sunt prezentate diferite soluții actuale ce pot constitui repere de optimizare a performanțelor cum ar fi transmisia cu 2 trepte, reducerea coeficientului de rezistență la rulare sau temperatura mediului ambiant.

**Capitolul IV. CERCETAREA EXPERIMENTALĂ A UNUI AUTOVEHICUL ELECTRIC**, are ca principal scop validarea modelului elaborat pentru simulare. Acest capitol prezintă modul de alegere al traseului în conformitate cu reglementările în vigoare pentru încercările în condiții reale și de asemenea prezintă echipamentul utilizat pentru măsurători și rezultatele obținute, iar în final se realizează o comparație a rezultatelor obținute experimental cu cele rezultate din simulare.

**Capitolul V. CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII PERSONALE. DISEMINAREA REZULTATELOR**, este capitolul ce încheie teza de doctorat și punctează concluziile finale identificate în urma cercetărilor efectuate atât prin măsurători experimentale, cât și prin modelare și simulare. Prin intermediul acestui capitol sunt subliniate principalele contribuții personale teoretice și experimentale alături de perspectivele de cercetare viitoare în scopul elaborării mai multor studii despre autovehiculele electrice.



## CAPITOLUL I. EVOLUȚIA AUTOVEHICULELOR ELECTRICE

În cele ce urmează se va dezvolta o analiză cronologică legată de originile autovehiculului electric și evoluția până în prezent, de asemenea se vor sublinia cauzele care stau la baza dezvoltării și bineînțeles câteva date exacte despre impactul autovehiculului electric atât asupra producătorilor, cât și asupra consumatorilor, a utilizatorilor de autovehicule și adaptabilitatea acestora la acest tip de sistem de propulsie. În final acest prim capitol se va încheia printr-o comparație amănunțită între autovehiculul convențional echipat cu MAI și unul echipat cu sistem de propulsie electric.

### Apariția și răspândirea autovehiculelor electrice

Pentru foarte mulți, autovehiculul electric și modernitatea în jurul căreia acesta se află pare un subiect de actualitate și contemporan cu evoluția tehnologiei și a sistemelor din industria autovehiculelor rutiere, însă adevărul este că ideea de vehicul electric și primele tendințe de apariție ale unui astfel de vehicul își au originea în urmă cu aproximativ 200 de ani. La acea vreme, anumiți cercetători propuneau diferite soluții constructive de vehicule cu propulsie electrică, care evident erau caracterizate de performanțe extrem de reduse și de ireversibilitatea sursei de stocare a energiei, care în urma descărcării trebuia schimbată și acest aspect punea diferite probleme.

Evoluția autovehiculului electric poate fi observată în următoarea imagine care prezintă practic etapele plecând de la autovehiculul clasic echipat cu motor termic:

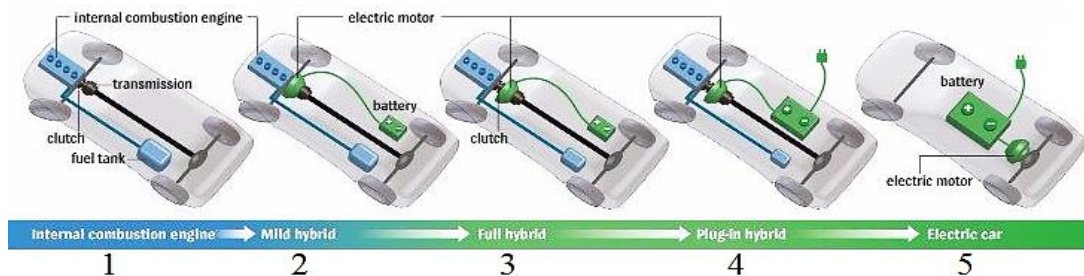


Figura 1.1. Etapele dezvoltării unui autovehicul electric pornind de la cel convențional, [2].

#### Legendă:

- 1 – Autovehicul convențional echipat cu motor cu ardere internă, ambreiaj și schimbător de viteze
- 2 – Sistem de propulsie electric-hibrid la care motorul electric este utilizat pentru regimul de frânare cu recuperare, pentru a suplimenta puterea motorului termic, fără a putea realiza tracțiunea de unul singur
- 3 – Sistem de propulsie electric-hibrid în care motorul termic nu este direct conectat la sistemul de rulare al vehiculului, iar motorul electric poate realiza tracțiunea de unul singur în funcție de starea de încărcarea a bateriei
- 4 – Sistem de propulsie electric-hibrid care poate funcționa în regim „all electric” atât timp cât bateria este suficient de încărcată, având în componența sa și mufă de încărcare de la o sursă exterioară de energie
- 5 – Autovehiculul electric

## Cauzele care stau la baza dezvoltării în autovehiculele electrice

Fundamentele legate de evoluția autovehiculului electric se bazează pe apariția a tot mai multor ipoteze legate de poluarea din mediul urban și a modificărilor drastice ale climei la nivel mondial. Astfel, odată cu scandalul din 2015 comisiile speciale destinate să se ocupe de efectele produse de poluare și evident de găsirea unor soluții fezabile pentru diminuarea acestor efecte au modificat drastic limitele maxime admisibile pentru toate categoriile de autovehicule rutiere și au impus și o serie de sancțiuni importante pentru producătorii care nu respectă noile reglementări.

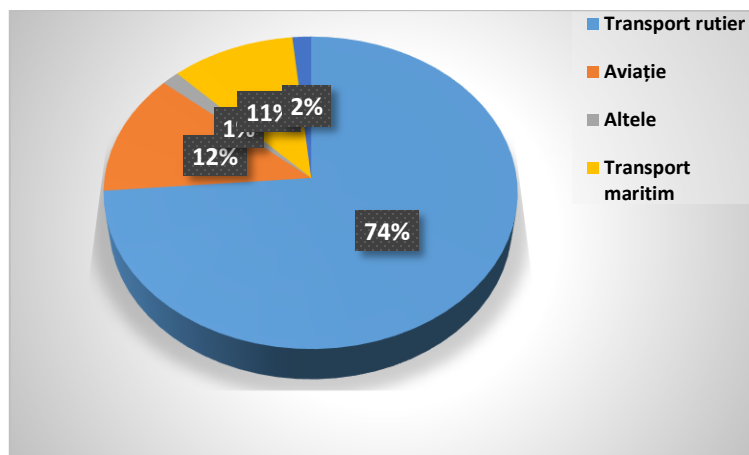


Figura 1.2. Cererea de combustibil în raport cu ramura de transport, [3].

În aceeași notă cu diagrama anterioară, se realizează o analogie legată de procentul de utilizare al fiecărui combustibil în parte bineînțeles luând în considerare întreaga categorie a transportului rutier și se observă faptul că motorina și imediat după benzina reprezintă un procent covârșitor în ceea ce privește utilizarea. Un alt aspect care determină necesitatea dezvoltării unor sisteme de propulsie care să poată funcționa cu o cantitate mai redusă de combustibili sau cu un alt tip de energie care să nu fie nocivă pentru mediul înconjurător.

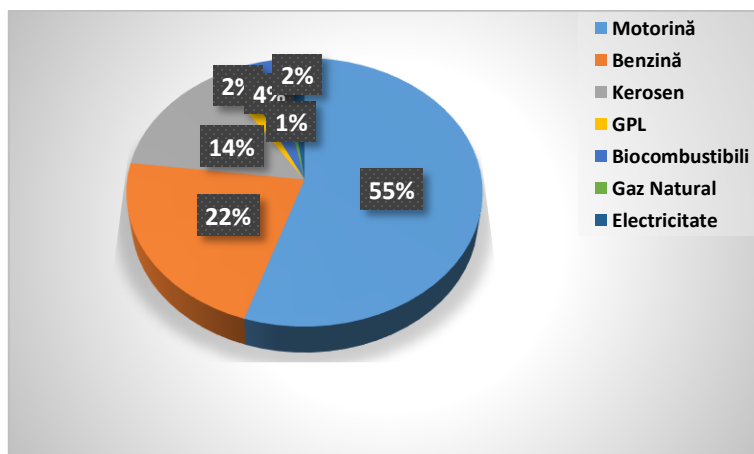


Figura 1.3. Pondere de utilizare a diferitelor tipuri de combustibili, [3].

Astfel, o principală cauză care stă la baza dezvoltării industriei autovehiculelor electrice este reducerea emisiilor poluante produse în urma arderii combustibililor petrolieri în procesul chimic ce are loc în motorul termic și în mod special facem referire din nou la CO<sub>2</sub>, corelată această reducere de emisii

cu o menținere sau chiar sporire a performanțelor de tracțiune ale unui autovehicul, care pentru motorul cu ardere internă devine o problemă având în vedere că acesta, pentru a produce lucru mecanic, trebuie să consume, iar aici își face simțită prezența motorul electric, care pe lângă funcționarea „curată”, fără factori nocivi, vine la pachet și cu performanțe de tracțiune superioare motorului termic, mai ales la turații mici și medii acolo unde motorul termic este mult mai instabil și dezavantajos. O comparație mai amănunțită între acestea două se va aborda într-un subcapitol viitor.

## Impactul și gradul de răspândire al autovehiculelor electrice la nivel mondial

Figura 1.4 sugerează efectul pandemiei asupra numărului de autovehicule electrice și prezintă tendințele până în anul 2030, care urmate de efectele pandemiei se pare că sunt mai promițătoare decât înainte de COVID 19 și anume se prezontează o creștere cu 7 milioane de autovehicule existente pe drum, adică 40 de milioane, în raport cu cifra inițială de 33 de milioane, ceea ce denotă faptul că în industria autovehiculelor, pandemia a avut un efect benefic.

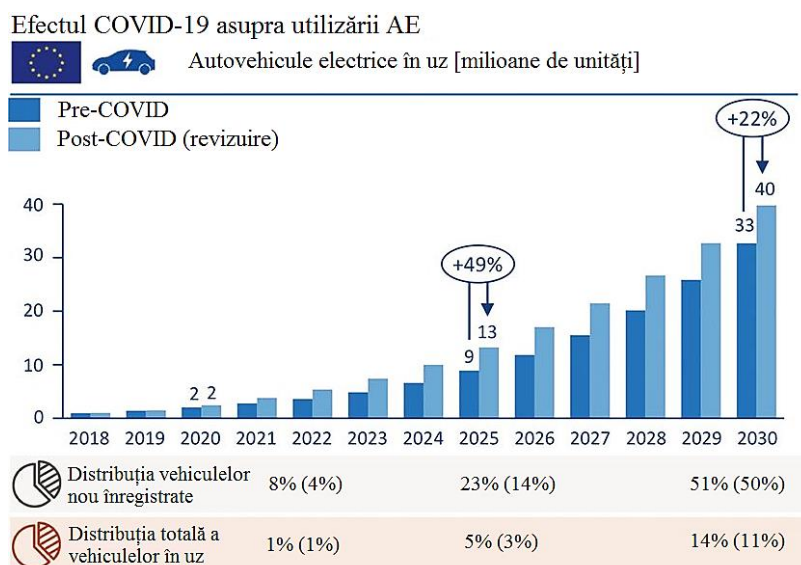
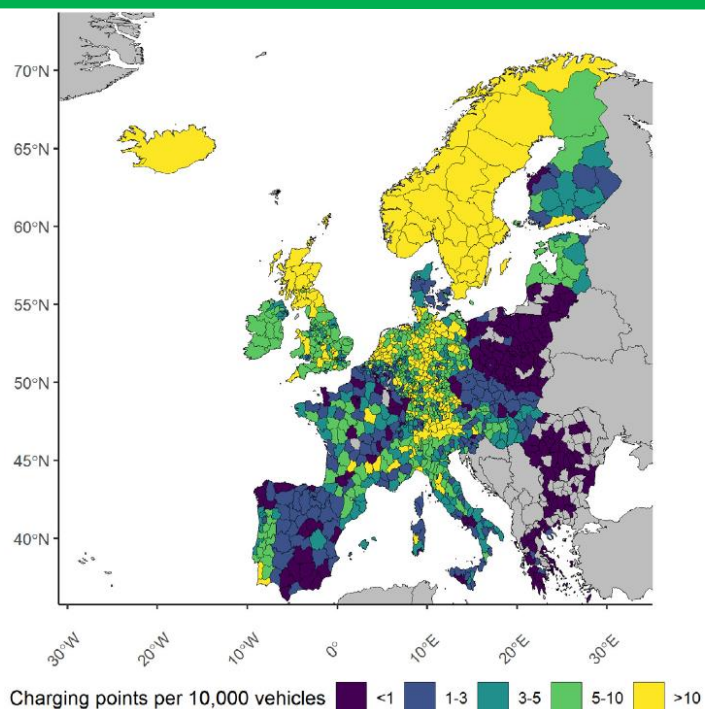


Figura 1.4. Analiza vânzărilor și influența pandemiei asupra industriei autovehiculelor electrice, [4].

## Infrastructura necesară alimentării cu energie electrică

Pentru a observa mai concret stadiul actual la care se află infrastructura de încărcare a bateriilor se vor prezenta și analiza câteva diagrame statistice ce pun în evidență evoluția din ultimii ani și tendințele până în anul 2035. Pentru Europa se va analiza și o hartă cu numărul de stații de încărcare în funcție de numărul autovehiculelor electrice pentru a vizualiza dacă în acest moment vânzările crescute ale autovehiculelor electrice sunt compensate de stațiile de încărcare sau apare la mijloc un deficit.

Pentru început figura 1.5 propune harta Europei la nivelul anului 2020 care prezintă numărul stațiilor de încărcare pentru 10000 de autovehicule în raport cu toate zonele de pe continent.



**Figura 1.5.** Harta Europei ce semnifică numărul de stații de încărcare în raport cu un număr de 10000 autovehicule, [5].

Producătorul american TESLA investește deja masiv într-un nou tip de stații de încărcare de o rapiditate extrem de mare denumite și „Ultrafast Charging” sau „Supercharger”, pe care le-a adus și pe continentul european având în vedere piața mare vânzare a modelelor de autovehicule electrice produse de aceștia. În figura 1.6 se poate vedea harta Europei cu privire la stațiile „Supercharger” produse de TESLA.



**Figura 1.6.** Harta Europei privind stațiile „Supercharger”, [6].

## Studiul comparativ între un autovehicul electric și unul convențional, echipat cu motor cu ardere internă

### Analiza constructiv-funcțională:

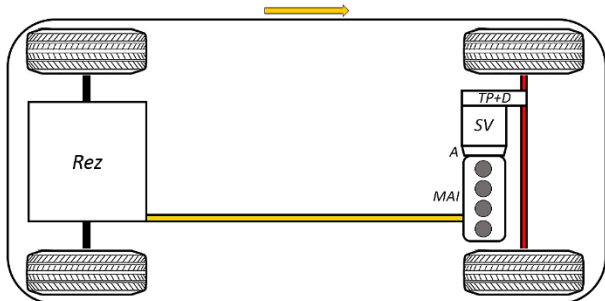


Figura 1.7. Schema de principiu a unui autovehicul convențional echipat cu MAI:

Rez – Rezervor de combustibil; MAI – Motor cu ardere internă; A – ambreiaj; SV – Schimbător de viteze; TP+D – Transmisie principală + Diferențial.

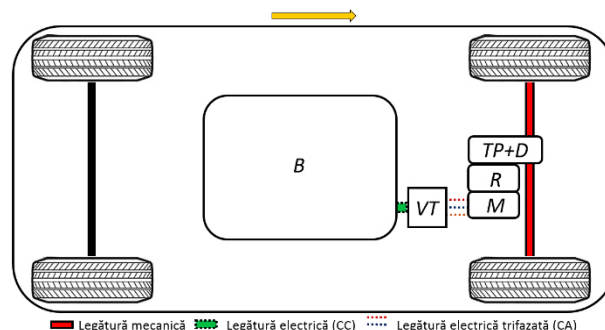


Figura 1.8. Schema de principiu a unui autovehicul electric: B – Baterie; VT – Variator de turație; M – Motor electric; R – Reductor; TP+D – Transmisie principală + Diferențial.

**Caracteristicile mecanice:** Un alt criteriu de comparație extrem de important îl reprezintă caracteristicile mecanice ale celor două motoare, care semnifică de fapt performanțele de tracțiune ale fiecăruia și sugerează care dintre cele două are un impact pozitiv asupra dinamicii autovehiculului.

În figura 1.9 sunt reprezentate două caracteristici mecanice pentru un autovehicul convențional echipat cu MAS și unul electric. Diagramele folosesc date reale ale celor două autovehicule în cauză și sunt modelate pe baza valorilor de interes; acestea au fost utilizate în diferite lucrări, iar acum sunt extrem de utile pentru a concretiza asemănările și/sau deosebirile dintre MAI și ME:

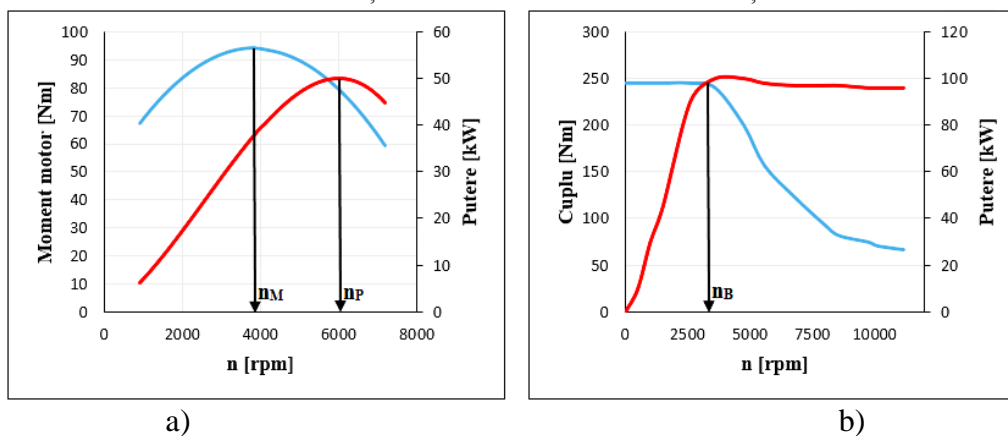


Figura 1.9. Caracteristica mecanică a unui MAS (a) și a unui ME (b).

**Mentenanță și fiabilitate:** Două aspecte extrem de importante în ceea ce privește un autovehicul sunt mentenanța și fiabilitatea întregului ansamblu, dar și a fiecărui subsansamblu în parte. De aici apar și problemele financiare pentru un utilizator de autovehicul pentru uzul propriu, deoarece, dacă se discută despre unul convențional, fiabilitatea nu este tocmai îndelungată, iar operațiunile de mentenanță fie preventivă, fie corectivă de asemenea, nu sunt dintre cele mai simple și ieftine și chiar și la un model nou, aflat în garanție, o parte din costuri trebuie acoperite de către proprietar.

Astfel, din aceste puncte de vedere autovehiculul electric este mai avantajos, dar există un compromis legat de costul de achiziție și costul posibil al bateriei în cazul apariției unei defecțiuni, însă în ansamblu, în momentul de față acesta este mai fiabil decât un autovehicul convențional.

**Emisii poluante și zgomot:** Este evident că la nivelul unui autovehicul electric nu mai există niciun sistem care să producă în timpul rulării emisii poluante asemănător unui motor cu ardere internă. Motorul electric este un subansamblu „curat”, care produce energie mecanică fără niciun fel de element rezidual. În ceea ce privește bateriile, aici se poate dezvolta o întreagă discuție destul de disputată și la care părerile sunt împărțite, deoarece sunt specialiști, care afirmă caracterul *Zero Emissions Vehicle (ZEV)* al unui autovehicul electric din momentul în care acesta iese pe drum, dar cu un compromis extrem de mare în ceea ce privește poluarea generată de procesul de fabricare al bateriilor și respectiv o posibilă reciclare a acestora. Un alt aspect legat de poluarea celor două tipuri de autovehicule îl constituie poluarea fonică, zgomotul produs în timpul rulării autovehiculului pe drum. Din acest punct de vedere, autovehiculul electric este din nou câștigător deoarece nu mai există niciun fel de zgomot asemănător celui produs de sistemul de evacuare a gazelor sau de motorul termic în diferite regimuri de funcționare la turații ridicate.

**Consumul de energie/combustibil și costurile aferente:** Este un alt criteriu de comparație ce implică în mod direct și punctul de vedere al utilizatorului, care de cele mai multe ori consideră consumul ca fiind un factor fundamental în alegerea unui autovehicul.

**Frânarea cu recuperare:** Acest proces este exclusiv specific unui autovehicul electric și este posibil prin caracteristicile variatorului de turație, al motorului electric, care este o mașină electrică de curent alternativ trifazat *reversibilă* deci își poate schimba sensul de rotație și poate funcționa ca generator de energie electrică și bineînțeles bateria, care este o sursă de stocare reversibilă și care permite stocarea energiei obținute în urma procesului de frânare cu recuperare.

**Costul de producție și de achiziție:** Pentru o concretizare a acestui aspect este prezentată o diagramă comparativă în figura 1.10:

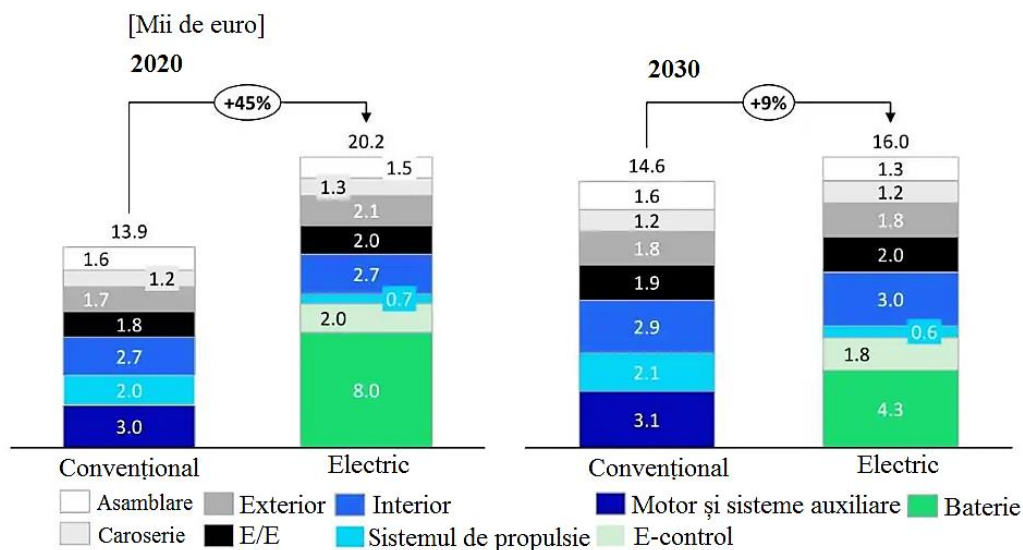


Figura 1.10. Comparație privind costul de producție al celor două tipuri de autovehicule, [7].

**„Cercetări privind determinarea performanțelor dinamice și energetice ale autovehiculelor electrice”**

**Table 1.1.** Avantajele și dezavantajele unui autovehicul electric, [1].

<b>Avantaje</b>	<b>Dezavantaje</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>✓ <i>Simplitate constructivă ridicată</i></li><li>✓ <i>Flexibilitate arhitecturală mare</i></li><li>✓ <i>Caracteristica mecanică avantajoasă a ME în raport cu cea a unui MAI</i></li><li>✓ <i>Emisii poluante eliminate</i></li><li>✓ <i>Zgomot redus în funcționare</i></li><li>✓ <i>Fiabilitate mare</i></li><li>✓ <i>Operațiuni de mentenanță reduse</i></li><li>✓ <i>Controlul turației este mai fin și mai eficient</i></li><li>✓ <i>Randament mare al ME (&gt;90%)</i></li><li>✓ <i>ME poate funcționa la turații mult mai mari (&gt;12000 rpm)</i></li><li>✓ <i>Putere 15e ace15 mai mare</i></li><li>✓ <i>Permit procesul de frânare cu recuperare</i></li><li>✓ <i>Preț avantajos al combustibilului</i></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- <i>Prețul de producție și de achiziție mare</i></li><li>- <i>Energie specifică redusă</i></li><li>- <i>Procesul de fabricare și reciclare al bateriilor</i></li><li>- <i>Autonomie încă redusă</i></li><li>- <i>Timp de reîncărcare mare</i></li><li>- <i>Pericolul generat de lucrul cu tensiunile înalte din sistem (300 ... 400 V)</i></li></ul>

## BIBLIOGRAFIE

1. Raciovski V., Danciu Gr., Chefneux M. – *Automobile Electrice și Hibride* (in English „*Electric and Hybrid Vehicles*”) – Editura Electra, 2007
2. <https://www.sutori.com/en/story/emerging-electric-cars-of-the-late-1900s-in-california--m5fATpic8qse4c26UfEnjZ7K>, ultima accesare la 13.12.2023
3. „*Alternative Fuels – Expert Group Report. Studies and reports*” – prepared by Ausilio Bauen, Inmaculada Gomez, Dave OudeNijeweme, Maria Paraschiv, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017. Accesibil la <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/22bbaffc-00bb-11e8-b8f5-01aa75ed71a1/language-en>, ultima accesare la 13.12.2023
4. <https://www.consultancy.eu/news/5766/europes-electric-vehicles-fleet-to-reach-40-million-by-2030>, ultima accesare la 14.02.2022
5. Giacomo Falchetta, Michel Noussan – „*Electric vehicle charging network in Europe: An accessibility and deployment trends analysis*”. Accesibil la <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102813>, ultima accesare la 13.12.2023
6. <https://insideevs.com/photo/3950260/this-year-tesla-will-expand-supercharging-network-to-central-amp-eastern-europe/>, ultima accesare la 15.02.2022
7. <https://insideevs.com/news/444542/evs-45-percent-more-expensive-make-ice/>, ultima accesare la 15.02.2022



## CAPITOLUL II. STADIUL ACTUAL AL CONSTRUCȚIEI AUTOVEHICULELOR ELECTRICE

### Soluții constructive ale autovehiculelor electrice

Arhitectura din figura 2.1 definește astfel conexiunile ce au loc între componentele sistemului de propulsie electric, sursa de stocare și sistemele auxiliare. În ceea ce privește comunicarea între mașina electrică, sursa de stocare și autovehicul este realizată prin introducerea unor noi componente electronice de comandă și control, respectiv electronica de putere sau variatorul de turație pentru controlul mașinii electrice și BMS (Battery Management System) în ceea ce privește sursa de stocare. Aceste elemente comunică în permanență cu calculatorul autovehiculului (ECU) pentru a corela toate informațiile necesare unei funcționări optime a acestuia.

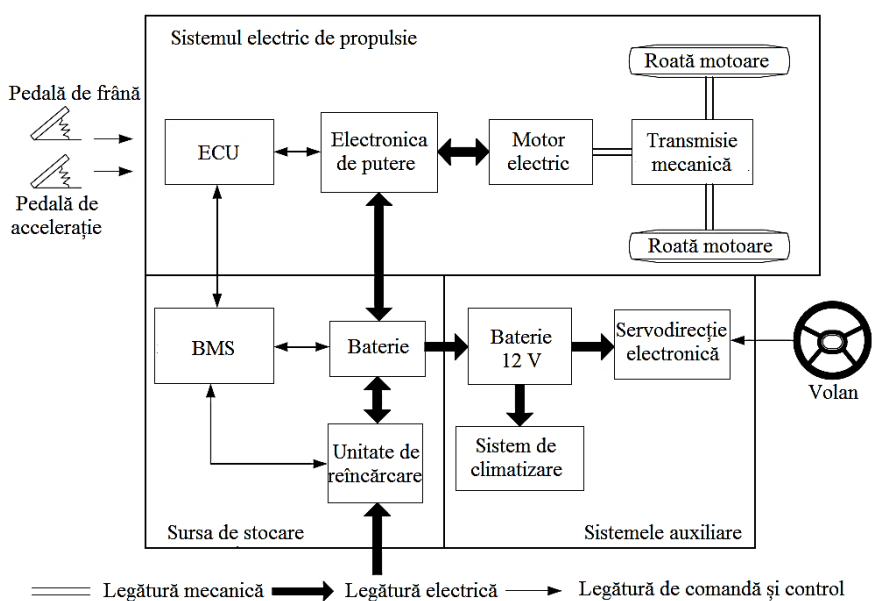


Figura 2.1. Configurația unui autovehicul electric, [1].

Figura 2.2 prezintă o schemă de principiu a unui autovehicul electric:

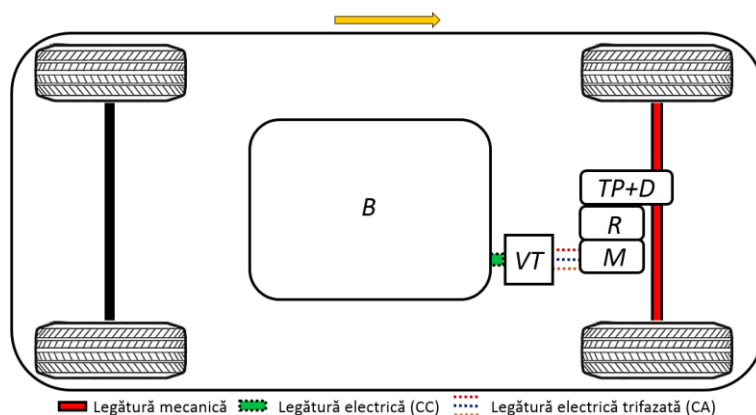


Figura 2.2. Schema de principiu a unui autovehicul electric organizat după soluția „Totul în Față”:

B – Baterie; VT – Variator de turație; M – Motor electric; R – Reductor; TP+D – Transmisie principală + Diferențial.

În felul acesta, se poate observa faptul că sistemul de propulsie electric în sine este format dintr-o mașină electrică de tracțiune (**M** - care poate fi de curent alternativ sau de curent continuu) și de Variatorul de Turație, care reprezintă sistemul de comandă și control al mașinii electrice. Transmisia mecanică este constituită dintr-un Reductor simplu cu una sau două trepte de reducere împreună cu ansamblul Transmisie Principală și Diferențial, iar la ieșire 2 arbori planetari pentru a acționa roțile motoare. Bateria – **B** este o sursă electrochimică reversibilă cu capacitate mare de stocare a energiei, la care se mai poate adăuga o pilă de combustie cu hidrogen sau o baterie de supercondensatoare.

## Flexibilitatea arhitecturală a autovehiculelor electrice – soluții de organizare generală

Flexibilitatea arhitecturală a unui autovehicul electric poate fi definită ca multitudinea de soluții de organizare și așezare a componentelor sistemului de propulsie electric și optimizarea condițiilor de ergonomie și a spațiului din habitacul. Pentru a pune în evidență această proprietate importantă se vor analiza diferite soluții constructive deja existente sau la nivel de prototip, precum și avantajele sau dezavantajele fiecărei soluții în parte. Pentru a explica mai bine construcția acestor soluții constructive, se vor oferi spre analiză diferite schițe constructive asemănătoare cu cea din figura 2.2, alături de cel puțin un exemplu de autovehicul electric care utilizează soluția respectivă.

### ❖ Soluție de organizare „Totul în Spate”:

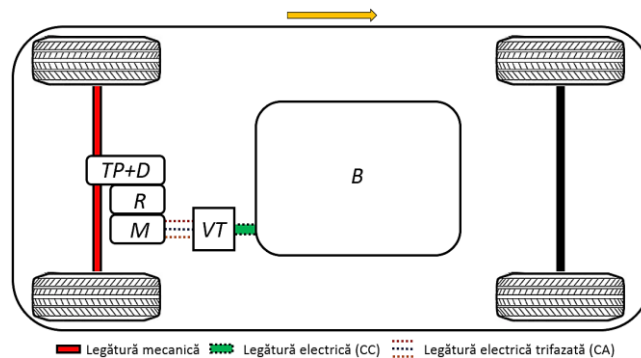


Figura 2.3. Autovehicul electric cu soluție de organizare „Totul în Spate”.

Un model de autovehicul electric ce utilizează soluția prezentată este Modelul 3 produs de Tesla din anul 2017:

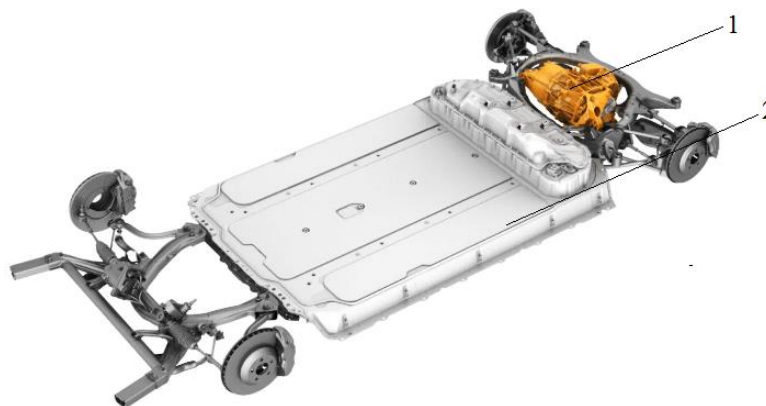


Figura 2.4. Arhitectura autovehiculului Tesla Model 3, [11]:  
1 – Motor electric+VT+R +TP+D; 2 – Bateria litiu-ion.

În ceea ce privește Modelul 3 de la Tesla la ultima generație – Performance, tracțiunea este integrală și la fel, fiecare punte este acționată de către un motor electric alături de variatorul de turație propriu și ansamblul R+D+TP.



Figura 2.5. Arhitectura autovehiculului VW ID.4, [13]:

1 – Variator de turație; 2 – Motor electric; 3 – Bateria litiu-ion.

În figura 2.6 se prezintă o schemă de principiu a unei punți cu acționare independentă a roților:

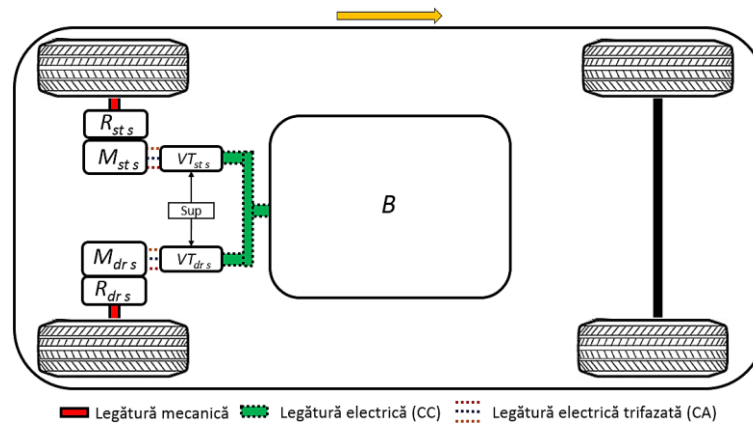


Figura 2.6. Autovehicul electric organizat după soluția „Totul în Spate” cu acționare independentă a roților punții motoare.

În schema din figura 2.9, fiecare roată este acționată de câte un motor electric ( $M_{st\ s}$  și  $M_{dr\ s}$  – stânga/dreapta spate) alături de câte un reductor conectat la un arbore planetar ce acționează fiecare roată ( $R_{st\ s}$  și  $R_{dr\ s}$  – stânga/dreapta spate) și bineînțeles, două variatoare de turație ( $VT_{st\ s}$  și  $VT_{dr\ s}$  – stânga/dreapta spate), unul pentru fiecare motor, alimentate separat din aceeași baterie. Suplimentar apare componenta „Sup” care reprezintă **supervizorul** ce este un dispozitiv electronic de comandă și control ce permite comunicarea între cele două variatoare de turație și de a corela funcționarea acestora.

Un exemplu al unei astfel de punți este puntea AVE 130 fabricată de către cei de la ZF ce echepează autobuzul Mercedes Citaro G BlueTec Hybrid, ce se regăsește în figura 2.7:

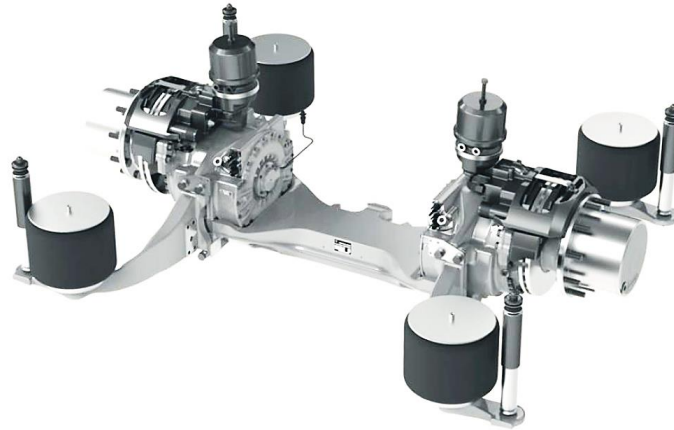


Figura 2.7. Construcția punții AVE 130 de la ZF, [15].

Este evident că această soluție poate fi utilizată pentru a realiza vehicule grele cu mai multe punți motoare cu acționare electrică și independentă, însă, dacă revenim în zona autoturismelor, o astfel de soluție 4x4 poate oferi performanțe de tracțiune extrem de ridicate și evident este o soluție utilizată sau care poate fi utilizată pe un anumit tip de vehicule din clasa de lux sau „supercar”. În figura 2.8 este dezvoltată schema de principiu a soluției de organizare 4x4 cu acționare independentă a roților.

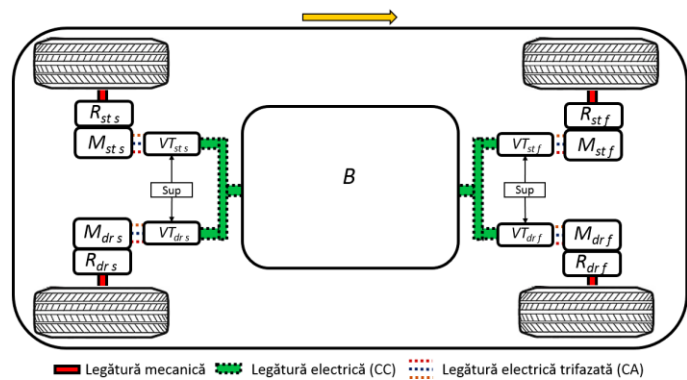


Figura 2.8. Autovehicul electric organizat după soluția 4x4 cu acționare independentă a roților.

**Soluție de organizare 4x4 cu acționare independentă a roților punții din spate:**

Această soluție există în momentul de față pe piață și este de fapt o optimizare a sistemului de propulsie electric realizată de către marii producători cu scopul de a determina o creștere a performanțelor dinamice și de tracțiune. Schema de principiu a acestei soluții este prezentată în figura 2.9.

Pentru această soluție de organizare s-au analizat două autovehicule existente pe piață, cu performanțe extrem de ridicate din punct de vedere dinamic și anume: Tesla Roadster și Audi e-Tron, cu observația că această soluție constructivă este utilizată de Tesla și pe Model S cu aceeași idee de optimizare a performanțelor (vezi modelul S Plaid cu o putere totală de 760 kW – 1033 CP și timpul de demarare de la 0 la 100 km/h ( $t_{0-100}$ ) = 2,1 s). Modelul Tesla Roadster este prezentat în figura 2.10:

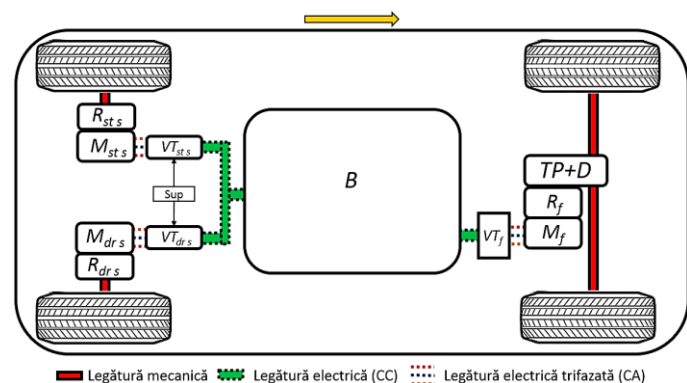


Figura 2.9. Autovehicul electric cu soluție de organizare 4x4 cu acționare independentă a roților punții din spate.

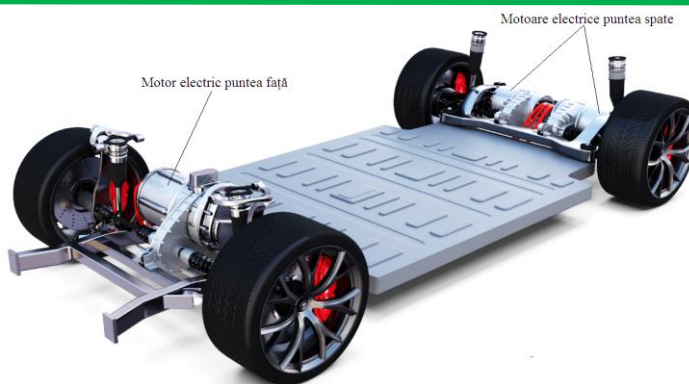


Figura 2.10. Arhitectura autovehiculului Tesla Roadster, [16].

❖ **Soluții de organizare cu acționare independentă a roților (cu reductor în roată) sau soluția „roată electrică”:**

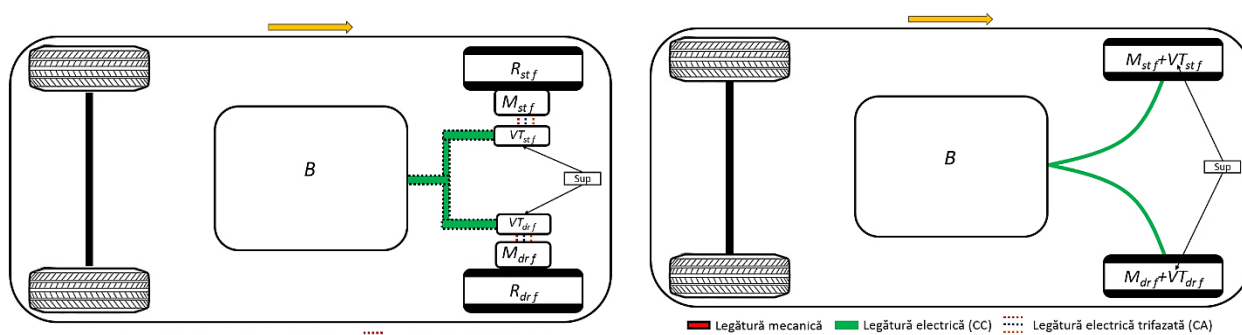


Figura 2.11. Autovehicul electric cu soluție de organizare 4x2 cu acționare independentă a roților punții din față, cu reductorul montat în roată.

Figura 2.12. Autovehicul electric cu soluție de organizare 4x2 cu acționare independentă a roților punții din față, fără reductor cu motorul și variatorul montate în roată – „Roată Electrică”.

Producătorul de orginie britanică, care acum se află sub patronajul chinezesc, *Protean Electric* se ocupă intens de această soluție constructivă încă de prin anul 2013 când anunța la Congresul Internațional SAE de la Detroit dezvoltarea unui motor special ce poate fi montat direct în roată care poate dezvolta în regim de impuls 77 kW (100 CP) și un cuplu de 1000 Nm, cântărind aproximativ 31 kg; soluția constructivă poate fi montată pe anvelope cu diametrul jantei cuprins între 18...24 inch, pe mai multe categorii de vehicule, nu doar autoturisme pentru uz personal, ci și autobuze, autoutilitare și autocamioane [20]. Soluția constructivă propusă de *Protean Electric* este prezentată în figura 2.13:



Figura 2.13. Construcția ansamblului „Roată Electrică”, [20]:  
1 – Anvelopă; 2 – Rotorul motorului electric; 3 – Rulmentul roții; 4 – Electronica de putere/microinvertoare; 5 – Statorul motorului electric; 6 – Brațul sistemului de suspensie.

### Structura unui autocamion electric cu trei punți dintre care una motoare:

În finalul acestui subcapitol se prezintă și o soluție constructivă a unui autocamion, propusă și utilizată deja de către VOLVO, care în anul 2022 a anunțat că își va dota întreaga flotă de vehicule grele cu sistem de propulsie electric până la finalul anului 2024. Pentru analiză a fost ales modelul VOLVO FE de 26 de tone, echipat cu trei punți, dintre care una motoare, cea din mijloc. În figura 2.14 este prezentată schema de principiu a unui autovehicul cu soluția de organizare 6x2:

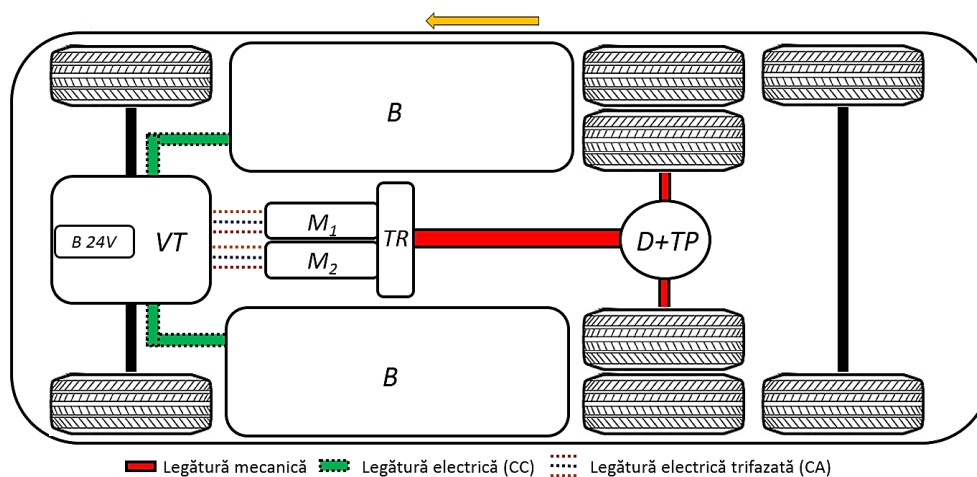


Figura 2.14. Autovehicul electric cu soluție de organizare 6x2.

### Sistemul de propulsie electric

Acest subcapitol urmărește detalierea constructivă și funcțională a tuturor componentelor ce alăctuiesc un sistem de propulsie electric. Fiecare componentă va fi definită, clasificată și analizată prin prezentarea principiului de funcționare și al elementelor suplimentare necesare fiecăreia. Așa cum s-a stabilit și în primul capitol, în subcapitolul 1.5 acolo unde s-a analizat comparativ un sistem de propulsie electric cu unul convențional echipat cu motor termic, precum și în primele două subcapitole precedente acestuia, un sistem de propulsie electric este format din motorul electric (unul sau mai multe), unitatea de comandă și control sau variatorul de turație, transmisia și sursa de stocare a energiei alături de sistemul care se ocupă de monitorizarea acesteia și anume BMS (Battery Management System).

### Motorul electric

În cea mai mare parte a timpului, într-un sistem de propulsie electric, mașina electrică funcționează în regim de motor și pentru acest lucru se va prezenta o clasificare a motoarelor electrice utilizate pentru tracțiune, în funcție de tipul curentului de lucru și al construcției sale:

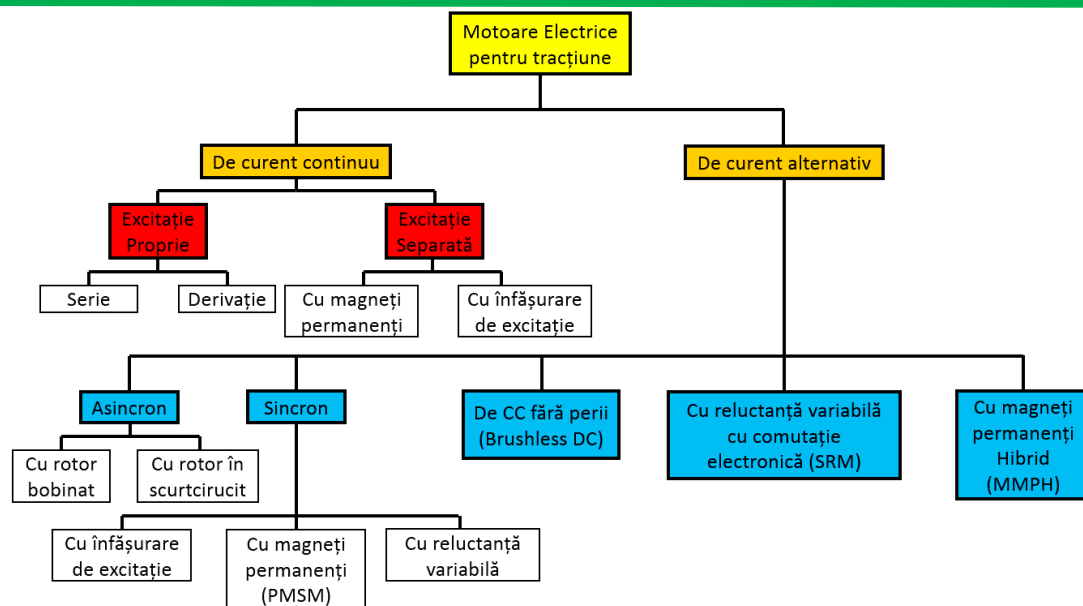


Figura 2.15. Clasificarea motoarelor utilizate în tracțiunea electrică, [3].

## Variatorul de turație

*Variatorul de turație* este un dispozitiv electronic de comandă și control, care se ocupă de monitorizarea în permanență, a funcționării motorului electric și de a-i controla și regla turația în funcție de cerințele utilizatorului. Acest dispozitiv preia tensiunea continuă de la sursa de energie (baterie) și o transferă sub formă variabilă la bornele de alimentare ale motorului electric; de asemenea permite motorului să funcționeze la suprasarcini sau în *regimul de impuls* pentru câteva secunde (acest regim presupune creșterea performanțelor oferite de către motor cu de până la două ori mai mult față de valorile nominale –  $P_m$  și  $M$ ). În figura 2.16 se prezintă structura de bază a unui variator de turație:

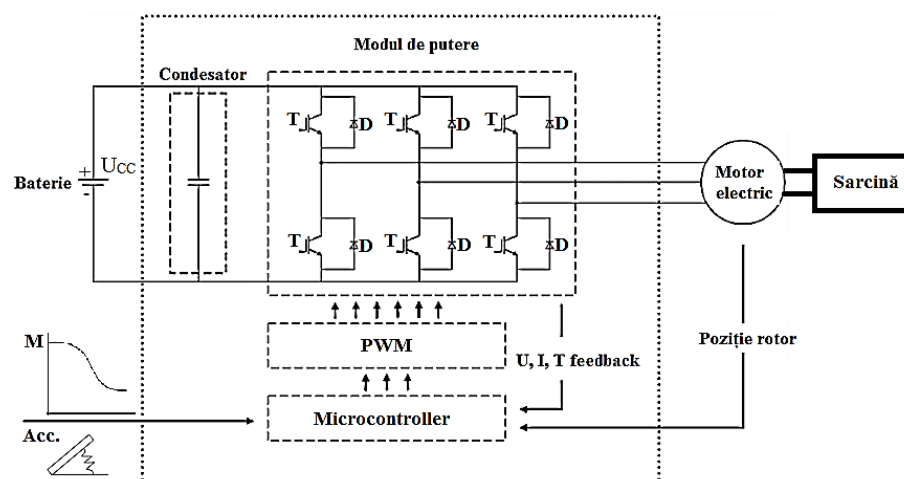


Figura 2.16. Schema funcțională a unui variator de turație, [47].

Variatorul de turație este o unitate electronică formată din următoarele elemente:

- ✚ Sistemul de reglaj specific motorului utilizat, care folosește algoritmul de reglaj analizat în paginile anterioare – tehnica de modulare PWM;
- ✚ Traductoare pentru măsurarea mărimilor caracteristice motorului;

- ✚ Un microprocesor unde sunt analizate și prelucrate toate datele, care comunică cu sistemul de reglaj;
- ✚ Dispozitiv de comutație/Electronica de putere (inverter format din tranzistoare bipolare și diode pentru fiecare înfășurare a motorului electric);
- ✚ Rețeaua de alimentare cu tensiune înaltă de la bateria de tracțiune (300...400 V c.c.) și rețeaua de alimentare cu 12 V;
- ✚ Comunicarea cu calculatorul autovehiculului pentru preluarea și prelucrarea cerinței de cuplu folosind rețeaua CAN;

## Clasificare

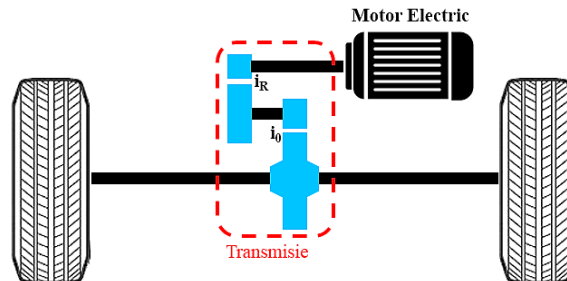
Diversitatea extrem de mare a motoarelor electrice existente în tracțiune, tipul tensiunii de alimentare (c.c. sau c.a), precum și domeniul de utilizare și aplicare, variatoarele de turație se pot clasifica în mai multe categorii, după cum urmează:

**Tabel 2.1.** Clasificarea VT în funcție de tensiunea de intrare/ieșire și în funcție de domeniul de aplicație, [2].

$U_{intrare}$ [V]	$U_{ieșire}$ [V]	Denumire	Exemplu de aplicație
c.c.	c.c.	Chopper	<ul style="list-style-type: none"> <li>• V.E.B. cu motor de c.c.</li> <li>• Tramvai cu motor dec.c. (<math>U_{intrare} = 750 V_{cc}</math>)</li> </ul>
c.c.	c.a.	Inverter	<ul style="list-style-type: none"> <li>• V.E.B. cu m.c.a.</li> <li>• Tramvai cu motor de c.a. (<math>U_{intrare} = 750 V_{cc}</math>)</li> </ul>
c.a.	c.c.	Redresor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Locomotivă electrică cu motor de c.c. (<math>U_{intrare} = 27 kV_{cef}</math>)</li> </ul>
c.a.	c.a.	Convertor (convertizor)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Locomotivă electrică cu motor de c.a. (<math>U_{intrare} = 27 kV_{ef}</math>)</li> </ul>

## Transmisia unui autovehicul electric

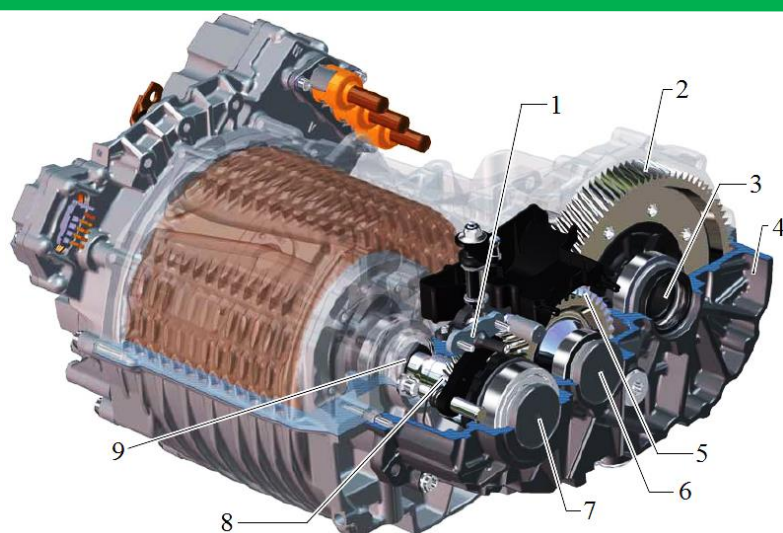
Conform schemei din figura 2.17, transmisia unui autovehicul electric, de regulă cu o singură treaptă de reducere este caracterizată de două rapoarte de transmitere și anume  $i_R$  – raportul de transmitere al reductorului și  $i_0$  – raportul de transmitere al transmisiei principale, care prin înmulțire ne oferă raportul transmisiei autovehiculului electric:  $i_R \cdot i_0$ . Soluțiile constructive multiple ale autovehiculelor electrice generează o diversitate și în modul de organizare și poziționare al transmisiei în raport cu motorul electric și sistemul de rulare, însă în general, cele două formează un corp comun, iar la ieșire, reductorul transferă fluxul de putere prin arborii planetari la roți (reductor cilindric) sau direct prin intermediul unui reductor planetar montat în roată.



**Figura 2.17.** Schema constructivă a transmisiei unui autovehicul electric.

O soluție constructivă posibilă este transmisia autovehiculului VW e-UP detaliată în figura 2.18:

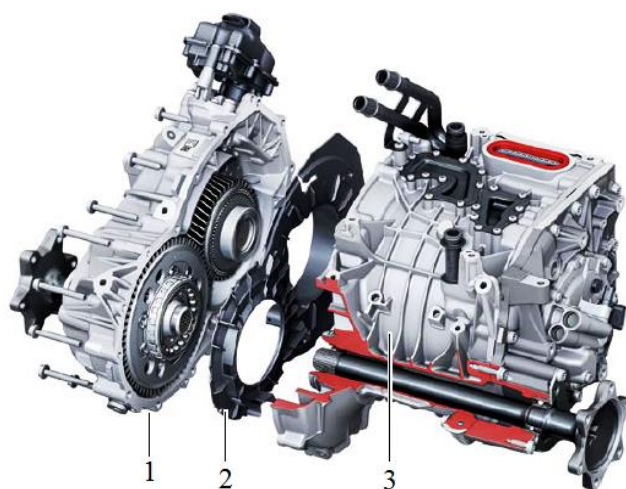




**Figura 2.18.** Ansamblul motor electric – transmisie al autovehiculului Volkswagen e-Up, [49]:

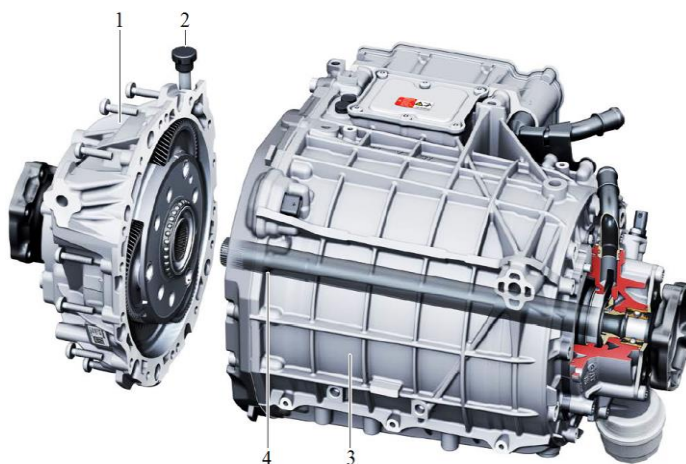
1 – Sistemul de blocare la parcare (funcția parking); 2 – Coroana transmisiei principale; 3 – Diferențial; 4 – Carcasa transmisiei; 5 – Roată dințată; 6 – Arbore secundar transmisie; 7 – Arbore primar transmisie; 8 – Pinion de intrare; 9 – Arbore rotoric.

În cazul de față, un autovehicul electric care utilizează angrenajul planetar în transmisia sa, atât pentru reductor, cât și pentru diferențial este Audi e-Tron quattro. Acest autovehicul are tracțiune integrală, cu un motor transversal la puntea din față și un motor coaxial cu roțile la puntea spate. Fiecare motor dispune evident de câte o transmisie cu o singură treaptă de viteză ce folosește un angrenaj planetar și suplimentar, diferențialul are o construcție diferită folosind tot angrenajul planetar. În cele ce urmează se prezintă aceste soluții constructive:



**Figura 2.19.a.** Ansamblul motor electric-transmisie pentru puntea motoare față, [50]:

1 – Transmisia pentru puntea motoare față; 2 – Placă pentru ghidarea uleiului; 3 – Motorul electric.



**Figura 2.19.b.** Ansamblul motor electric-transmisie pentru puntea motoare spate, [50]:

1 – Transmisia pentru puntea motoare spate; 2 – Ventil de aerisire și dispozitiv de ventilație al transmisiei; 3 – Motorul electric; 4 – Arbore planetar cu flanșă pentru antrenarea roții din dreapta.

Autovehiculul Porsche Taycan propune o soluție de transmisie cu două trepte, soluție inovată de producător și utilizată pentru puntea motoare din spate, ceea ce generează o creștere a performanțelor. În

funcție de versiune, acest autovehicul dezvoltă un cuplu total cuprins între 600...1000 Nm și viteza maximă atinsă de 260 km/h, cu un timp de accelerare de la 0 la 100 km de 2,6 s.

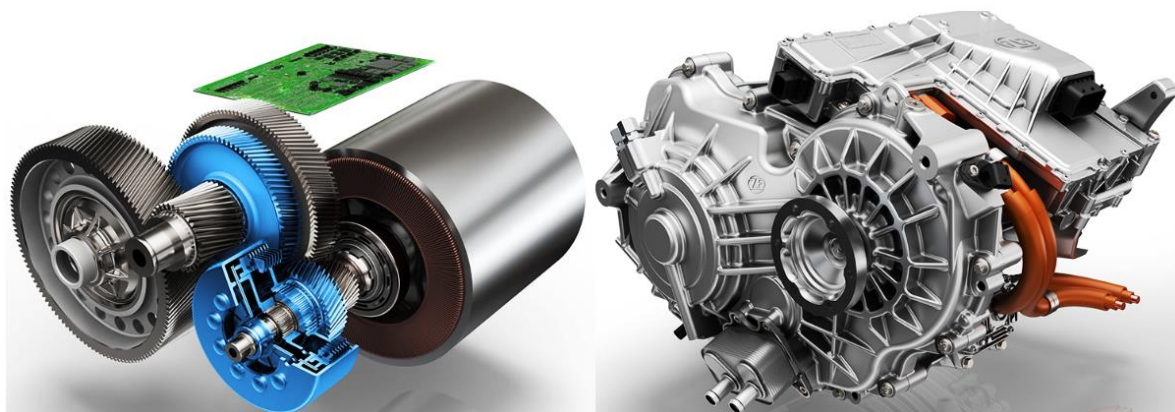


Figura 2.20. Transmisie cu două trepte utilizată de Porsche Taycan, [51].

Astfel, transmisia unui autovehicul, deși un sistem cu mult simplificat în raport cu diferitele tipuri de schimbătoare de viteze din sistemele de propulsie convenționale, este un subansamblu extrem de important în ceea ce privește performanțele unui autovehicul electric și poate constitui o soluție de îmbunătățire a performanțelor de tracțiune pentru anumite clase de vehicule.

## Surse de stocare a energiei electrice la bordul autovehiculului

### Baterii

Principalele tipuri de baterii ce vor fi prezentate, în funcție de capacitatea de stocare și de materialele utilizate, precum și de costul de producție sunt: Bateriile cu Pb; bateriile cu Ni; bateriile cu Na și bateriile Li-ion.

#### A. Bateriile cu Pb

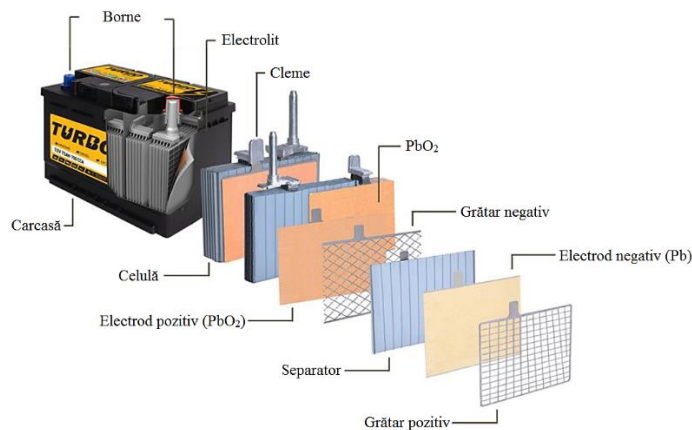


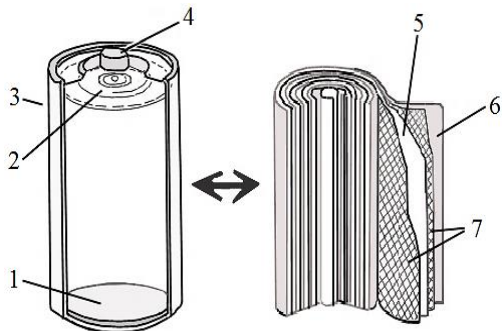
Figura 2.21. Construcția bateriei cu Pb, [52].

#### B. Bateriile cu Ni

Bateriile cu nichel sunt o altă soluție de sursă electrochimică bazată pe diferite reacții chimice în funcție de tipul acestora, având ca fundamente de dezvoltare principiile lui Edison din secolul al 19-lea. Comparativ cu plumbul, nichelul este un metal mai ușor și are proprietăți electrochimice foarte bune. Se disting astfel patru soluții constructive ale acestei baterii și anume: Ni-Fe, Ni-Zn, Ni-Cd și NiMH, cea

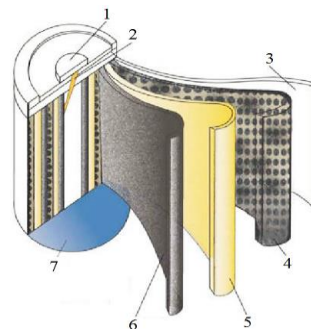
din urmă, nichel-hidruură metalică fiind în prezent o soluție utilizată de anumiți producători ca sursă de energie pentru sistemul de propulsie electric, cel mai bun exemplu fiind Toyota, care până în anul 2022, a folosit cu precădere acest tip de sursă de stocare, până au trecut ulterior la varianta litiu-ion.

Figurile 2.22 a și b prezintă comparativ o celulă Ni-Cd și o celulă Ni-MH:



**Figura 2.22.a.** Celulă Ni-Cd, [54]:

1 – Șaibă izolatoare; 2 – Orificiu de aerisire; 3 – Carcasă metalică; 4 – Capac; 5 – Anod (+) NiOOH; 6 – Catod (-) Cd; 7 – Plăcuță separatoare.



**Figura 2.22.b.** Celulă Ni-MH, [55]:

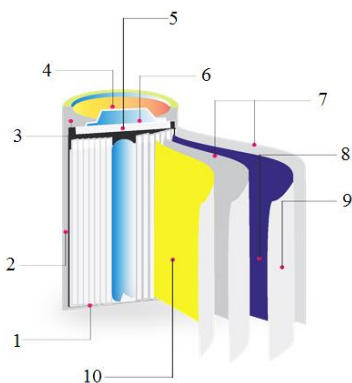
1 – Capac; 2 – Garnitură de etanșare; 3 – Carcasă; 4 – Anod (+) NiOOH; 5 – Plăcuță separatoare; 6 – Catod (-) hidruură metalică poroasă; 7 – Izolație.

### C. Bateriile cu Na

Acest tip de baterii este caracterizat de funcționarea la temperaturi ridicate, în jur de 300°...350°C, lucru ce le permite utilizarea ca surse de stocare pentru autovehiculele electrice, dar care determină un dezavantaj cu privire la controlul și monitorizarea funcționării la temperaturi înalte. Principalele tipuri de baterii pe bază de sodiu sunt: bateriile sodiu-sulf și bateriile sodiu-clorură de nichel numite (Na<sub>2</sub>S<sub>x</sub>) și ZEBRA (Zero Emissions Battery Research Association), [8].

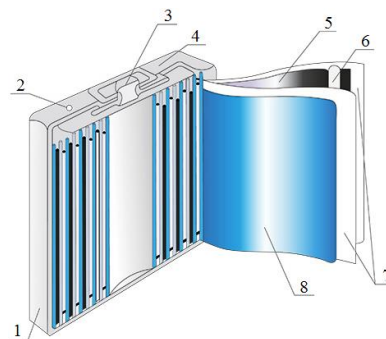
### D. Bateriile cu Li

Din punct de vedere constructiv, o celulă cu litiu poate avea mai multe forme geometrice și anume: cilindrică, prismatică și tip plic. Figura 2.23 prezintă constructiv o celulă cilindrică și a una prismatică:



**Figura 2.23.a.** Celulă cilindrică, [56]:

1 – Izolator inferior; 2 – Carcasă; 3 – Garnitură de etanșare; 4 – Capac superior; 5 – Bornă pozitivă; 6 – Orificiu de ventilație; 7 – Plăcuțe separatoare; 8 – Catod (-); 9 – Grătar de susținere; 10 – Anod (+).



**Figura 2.23.b.** Celulă prismatică, [57]:

1 – Carcasă; 2 – Orificiu de ventilație; 3 – Bornă pozitivă; 4 – Capac superior; 5 – Anod (+); 6 – Grătar de susținere al anodului; 7 – Membrană ceramică separatoare; 8 – Catod (-).



**Figura 2.24.** Construcția unei baterii litiu-ion, [50]:

1 – Sistemul de control al bateriei (BMS); 2 – Garnitură metalică; 3 – Modul de borne și contacte de înaltă tensiune; 4 – Capacul carcasei; 5 – Modul de celule; 6 – Carcasă inferioară; 7 – Garnitură metalică; 8 – Capac; 9 – Modul de celule (12 celule/modul); 10 – Structura de susținere și compartimentare a modulelor; 11 – Suport pentru 10; 12 – Cadru de susținere; 13 – Sistemul de răcire; 14 – Protecție inferioară.

### Sistemul de control al bateriei litiu-ion

**BMS (Battery Management System – sistemul de management al bateriei)** este un dispozitiv electronic de comandă și control care se ocupă în permanență de monitorizarea bateriei de înaltă tensiune (tehnologiile cu litiu) a autovehiculului și anume de următorii parametrii importanți: *starea de încărcare și desfășurarea procesului de reîncărcare; nivelul de gaze emise în timpul funcționării; valoarea tensiunii unei celule sau a întreg pachetului de baterii; temperatura bateriei și implicit modul în care aceasta este răcită.* Așadar, funcțiile de bază sunt: de monitorizare, determinare a mărimilor caracteristice ale celulei/modulului/bateriei, de protecție și de optimizare.

Schema funcțională a unui BMS în raport cu toate ieșirile și intrările și respectiv mărimile monitorizate este prezentată în figura 2.25:

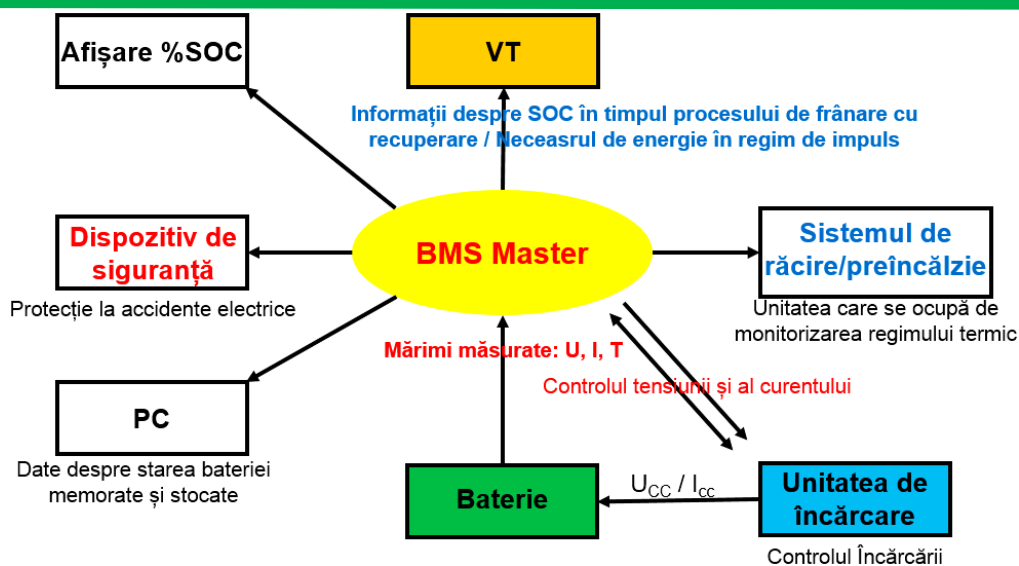



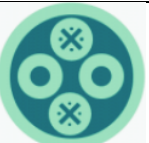
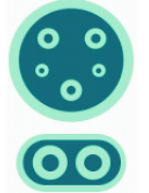





Figura 2.25. Schema funcțională a unui BMS.

### Sisteme de încărcare ale bateriilor litiu-ion

Având în vedere clasificarea stațiilor de încărcare, apare evident și o diversitate la nivelul conectorilor/mufelor de legătură dintre autovehicul și stație. În tabelul 2.2 sunt prezentate principalele tipuri de conectori existenți pe piața mondială pentru încărcarea autovehiculelor electrice:

Tabelul 2.2. Tipurile de conectori utilizați pentru încărcarea autovehiculelor electrice, [61].

Tipul Stației	Denumire și Utilizare	Simbolizare	Descriere
AC	J1772 (type 1) - Japonia și America de Nord		Este format din 3 conectori pentru cele trei faze de alimentare și 2 conectori care asigură conectarea și comunicarea optimă între autovehicul și stație. Parametri: $U=240\text{ V}/P_{\max}=7,68\text{ kW}$
	Mennekes (type 2) - Europa		Este cel mai comun tip de conector din Europa și are cea mai mare utilizare în rândul autovehiculelor electrice. Poate fi utilizat la rețele monofazate, dar și trifazate. Parametri: $U=400\text{ V}/P_{\max}=12,8\text{ kW}$
	GB/T - China		După standardul „Guobiao”, această stație este de fapt opusul din punct de vedere constructiv al variantei Type2. Parametri: $U=380\text{ V}/P_{\max}=12,16\text{ kW}$
DC	CHAdeMO - Japonia		Utilizat pentru încărcarea autovehiculelor electrice în curent continuu, în Japonia. Comunicarea cu autovehiculul o realizează prin rețeaua CAN. Parametri: $U=500\text{ V}/P_{\max}=200\text{ kW}$
	CCS1 – America de Nord		„Combined Charging System”-Modelul Type 1 care permite încărcarea și în curent continuu. Parametri: $U=600\text{ V}/P_{\max}=75\text{ kW}$

	CCS2 - Europa		„Combined Charging System”-Modelul Type 1 care permite încărcarea și în curent continuu. Parametri: $U=1000V/P_{max}=200\text{ kW}$
	GB/T - China		Soluția chinezească pentru încărcarea în curent continuu. Parametri: $U=750V/P_{max}=187,5\text{ kW}$
<b>Tesla</b>	Tesla – în toată lumea		Soluția chinezească pentru încărcarea în curent continuu. Parametri: $U=480V/P_{max}=140\text{ kW}$

Se definesc, pe baza tipurilor de stații de încărcare și al conectorilor existenți, trei nivele de încărcare ale autovehiculelor electrice:

1. Nivelul 1 (Lent) – 1...1,8 kW
2. Nivelul 2 (Rapid) – 3...22 kW
3. Nivelul 3 (Ultra-rapid) – 15...350+ kW

### Supercondensatoare (SUPERCAP)

O altă sursă de energie ce poate fi utilizată ca variantă alternativă de către un sistem de propulsie electric sunt supercondensatoare/supercapacitoarele (SUPERCAP). Schema de principiu a unui autovehicul hibrid-electric echipat cu supercondensatoare este regăsită în figura 2.26:

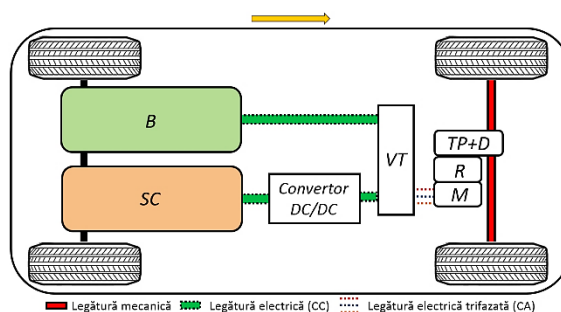


Figura 2.26. Arhitectura unui autovehicul echipat cu baterie de supercondensatoare.

### Pile de combustibil

Tendențele din ultimii 20 de ani în ceea ce privește utilizarea unor soluții alternative de combustibil, care să reducă poluarea la nivel global, au generat de-a lungul timpului în industria transporturilor și a ingineriei autovehiculelor un amplu proces de cercetare și dezvoltare în mai multe direcții de interes; una dintre aceste direcții constă în dezvoltarea pilelor de combustibil și utilizarea acestora ca surse de energie ce pot alimenta sistemul de propulsie al unui autovehicul având o eficiență foarte ridicată și de asemenea, reducând poluarea la zero.

În funcție de soluția de organizare a modelului Mirai, s-a realizat o schemă de principiu ce cuprinde toate componentele sistemului de propulsie electric:

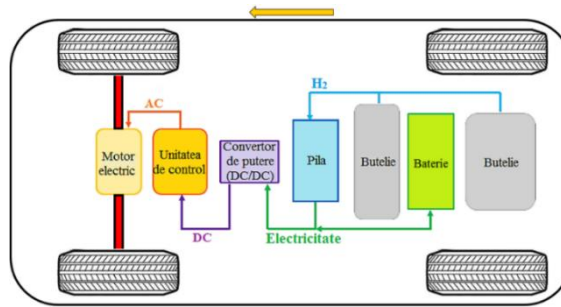


Figura 2.27. Arhitectura generală a unui autovehicul electric echipat cu pilă de combustie, [67].

### Alte surse moderne de energie pentru autovehiculele electrice

Având în vedere procesul accelerat de dezvoltare și tendințele tot mai largi cu privire la răspândirea autovehiculelor electrice, industria pregătește soluții noi, inovative și cu o eficiență cât mai ridicată cu privire la sursele ce pot deveni alternative pentru bateriile cu litiu, care sunt caracterizate de performanțe ridicate, însă cu toate acestea implică și anumite compromisuri când vine vorba de costuri, fabricare și reciclare, sensibilitatea și necesitatea unui sistem complex de monitorizare și control. Astfel, pe lângă soluțiile prezentate: supercondensatoare și pile de combustie, apar tot mai multe zvonuri și idei legate de anumite surse de energie care să determine o creștere a autonomiei astfel încât aceasta să nu mai constituie un dezavantaj al autovehiculelor electrice. Câteva dintre aceste surse moderne sunt menționate în cele ce urmează: *celule fotovoltaice*, *salt-water battery* sau *miroreactorul nuclear*.

### Regimurile de funcționare ale unui autovehicul electric

După ce s-au stabilit particularitățile funcționale ale fiecărei componente ce alcătuiește un autovehicul electric, se va analiza comportamentul acestuia în timpul funcționării în cele două regimuri fundamentale și anume:

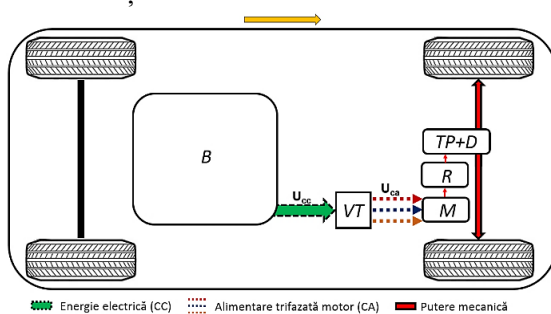


Figura 2.28. Traseul fluxului de putere în regimul de tracțiune al unui autovehicul electric

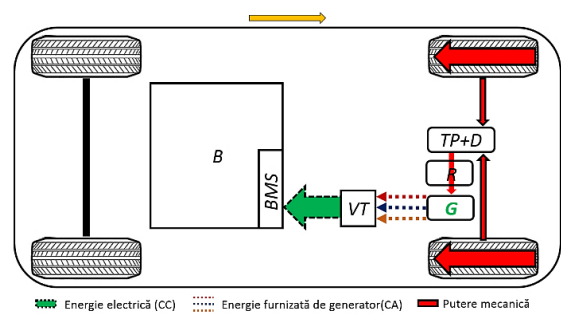


Figura 2.29. Traseul fluxului de putere în regimul de frânare al unui autovehicul electric.

## BIBLIOGRAFIE:

1. Mehrdad, Ehsani; Yimin, Gao; Ali, Emadi – *Modern Electric, Hybrid and Fuel Cell Vehicles – Fundamentals, Theory and Design* – Second Edition; Texas A&M University College Station, Texas, U.S.A.
2. Racicovschi V., Danciu Gr., Chefneux M. – *Automobile Electrice și Hibride* (in English „*Electric and Hybrid Vehicles*”) – Ed. a 2-a, Editura Electra, București 2007, ISBN 978-973-7728-98-2.
3. KISCK D.O., NĂVRĂPESCU V. – *Sisteme de propulsie pentru vehicule electrice* – Vol. 1, Editura Electra, București 2007, ISBN 978-973-7728-95-1.
4. Larminie, J. Lowry, J. – *Electric Vehicle Technology Explained* – Oxford Brookes University, Oxford, U.K, ISBN 0-470-85163-5.
5. \*\*\* <https://electrek.co/2017/09/22/tesla-model-3-powertrain-chassis-first-responders-guide/>, ultima accesare la 02.02.2024
6. \*\*\* <https://www.repairerdrivenews.com/2020/09/25/electric-2021-vw-id-4-includes-steel-chassis-removable-aluminum-underbody-panel-2/>, ultima accesare la 02.02.2024
7. \*\*\* <https://www.busnews.com.au/zf-ave-130-electric-portal-bus-axle/>, ultima accesare la 02.02.2024
8. \*\*\* [https://www.turbosquid.com/pt\\_br/3d-models/3d-tesla-roadster-2020-chassis-1327170](https://www.turbosquid.com/pt_br/3d-models/3d-tesla-roadster-2020-chassis-1327170), ultima accesare la 02.02.2024
9. \*\*\* <https://chargedevs.com/features/in-wheel-house-protean-electrics-in-wheel-drive-system-nears-production/>, ultima accesare la 02.02.2024
10. \*\*\* <https://aip.scitation.org/topic/aipthesaurus/p2736p1529?SeriesKey=rse&>, ultima accesare la 20.03.2023
11. \*\*\* Program de studiu individual 527 (PDF) – VOLKSWAGEN e-up! catalog Service , nepublicat.
12. \*\*\* Program de studiu individual 675 (PDF) – Audi e-Troin, catalog Service , nepublicat.
13. \*\*\* <https://www.whichcar.com.au/advice/zf-2-speed-ev-transmission-explained>, ultima accesare la 02.02.2024
14. Yakup ŞİRİN, Yıldırım EYDEMİR, Çağatay AYHAN, Enes DEMİRYÜREK, Emre KOÇ – „*Lead acid batteries for micro hybrid electrical vehicles – influence of different type expanders on the performance of the negative plates*” – 5<sup>th</sup> International Anatolian Energy Symposium 24-26 March 2021, Karadeniz Technical University, Trabzon/Turkey.
15. \*\*\* <http://derekcarrsavvy-chemist.blogspot.com/2017/03/redox-ii-storage-cells-nickel-cadmium.html>, ultima accesare la 21.03.2023
16. \*\*\* [https://www.researchgate.net/publication/286969372\\_Characterization\\_of\\_Spent\\_Nickel-Metal\\_Hydride\\_Batteries\\_and\\_a\\_Preliminary\\_Economic\\_Evaluation\\_of\\_the\\_Recovery\\_Processes/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/286969372_Characterization_of_Spent_Nickel-Metal_Hydride_Batteries_and_a_Preliminary_Economic_Evaluation_of_the_Recovery_Processes/figures?lo=1), ultima accesare la 21.03.2023
17. \*\*\* <https://www.techsciresearch.com/blog/manufacturing-lithium-ion-batteries/29.html>, ultima accesare la 28.03.2023
18. \*\*\* <https://www.onecharge.biz/lithium-cell-design/>, ultima accesare la 28.03.2023
19. \*\*\* <https://www.versinetic.com/news-blog/ev-charging-connector-types-guide/>, ultima accesare la 02.02.2024



20. **Ancuța Alexandru-Adrian** – *„Utilizarea Pilelor de Combustibil la Autovehiculele Rutiere”* –  
Lucrare de Disertație, Departamentul Autovehicule Rutiere, Facultatea de Transporturi,  
Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București; București, Iunie  
2021.

## CAPITOLUL III. MODELAREA ȘI SIMULAREA NUMERICĂ A UNUI AUTOVEHICUL ELECTRIC

### Dezvoltarea modelului utilizat pentru simulare

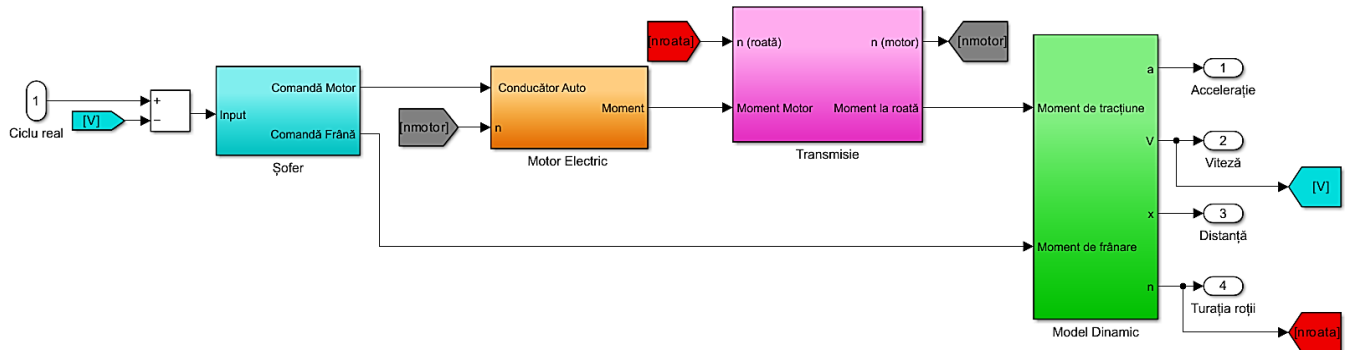


Figura 3.1. Sistemul „Autovehicul electric”.

Pentru a simplifica structura finală a modelului autovehiculului, ansamblul din figura 3.1 s-a redus la un subsistem cu o intrare și 4 ieșiri (figura 3.2). Acestui subsistem i se vor adăuga alte ramuri necesare pentru a determina performanțele de interes din cadrul lucrării, ramuri ce vor fi construite folosind operații matematice implementate folosind blocuri deja existente ce vor ajuta la modelarea și simularea completă a autovehiculului electric utilizat, ținând cont de toți factorii interni sau externi ce pot influența rezultatele.

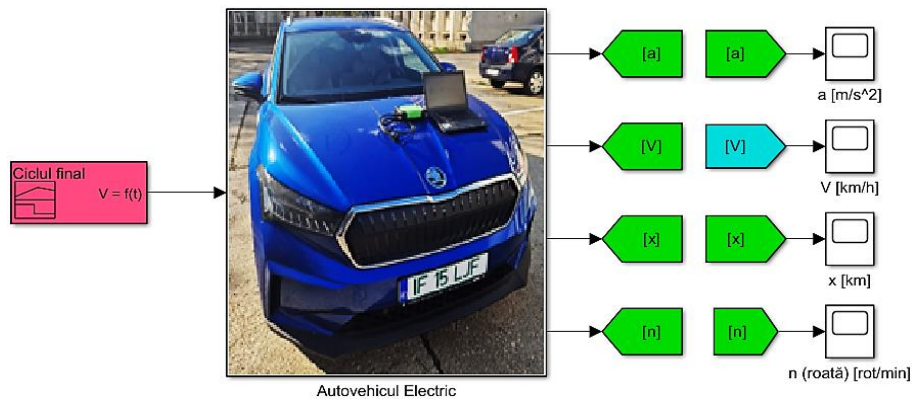


Figura 3.3. Modelul final al autovehiculului electric.

### Simularea numerică a unui autovehicul electric în condiții reale de rulare

Acest subcapitol are ca scop definitivarea modelului de simulare dezvoltat prin analiza performanțelor unui autovehicul electric tip SUV în condiții reale de rulare. Pentru acest lucru, modelul a necesitat unele modificări astfel încât să poată oferi informațiile necesare legate de performanțele și comportamentul principalelor componente ce alcătuiesc sistemul de propulsie electric.

Implementarea datelor aferente ciclului real a constituit o limitare din punct de vedere al utilizării unui bloc de tip „RepeatingSequence” deoarece pachetul de date folosit a fost format dintr-un număr foarte mare de valori de timp și viteză, iar acest lucru a făcut imposibilă importarea datelor cu blocul inițial ales. Astfel, pentru ciclul real de rulare s-a folosit un bloc „SignalBuilder” care nu are limitări

## „Cercetări privind determinarea performanțelor dinamice și energetice ale autovehiculelor electrice”

legate de numărul de valori introduse și permite importarea semnalului ca fișier *.xlsx* unde datele trebuie să fie așezate în coloane consecutive, iar fiecare „sheet” să fie particular și să conțină o singură mărime ca funcție de timp. Figura 3.4 prezintă interfața de lucru a blocului „SignalBuilder” și ciclul obținut prin transferul pachetului de date din Excel în Simulink:

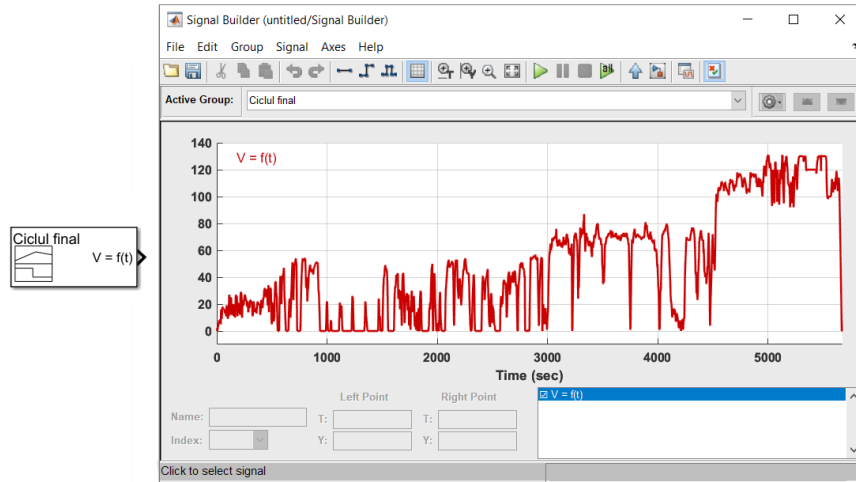


Figura 3.4. Implementarea ciclului real în modelul de simulare dezvoltat.

### Rezultate obținute prin simulare:

Prin folosirea modelului dezvoltat pentru simularea pe ciclul real considerat s-a extras profilul de viteză pentru a verifica și identifica abaterea minimă și maximă în raport cu profilul de referință – măsurat. În figura 3.5 se prezintă profilul rezultat din simulare:

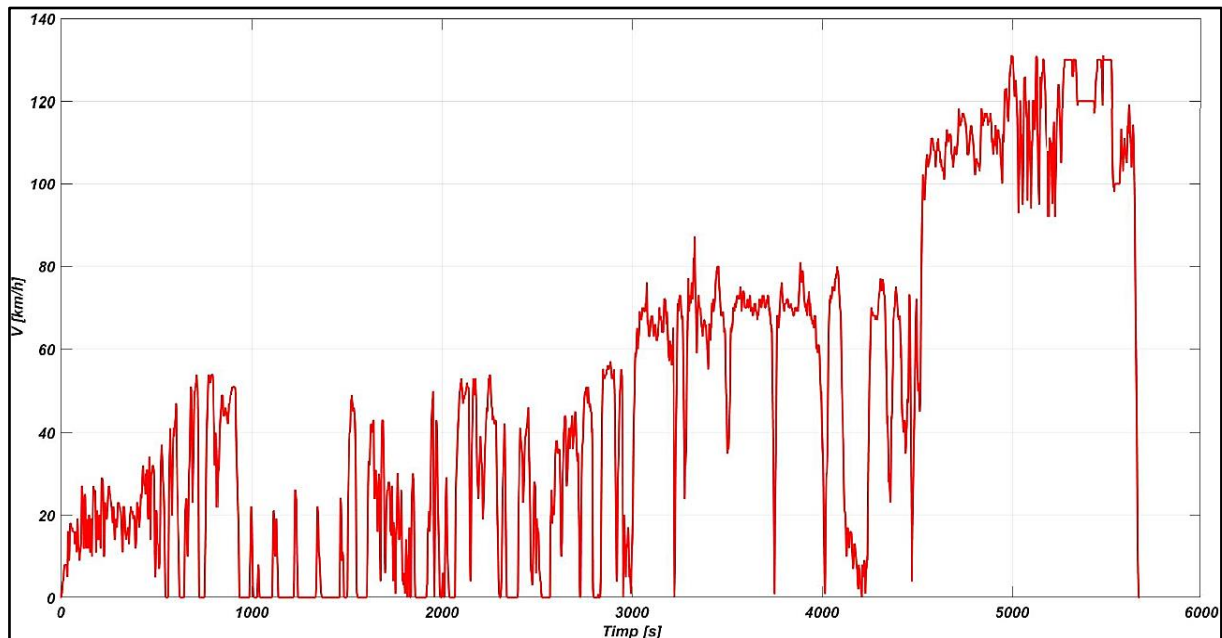


Figura 3.5. Viteza rezultată din simulare.

De asemenea, din simulare s-a extras starea de încărcare a bateriei, care pe durata ciclului a scăzut de la 100% la 82,31% ceea ce înseamnă o descărcare cu 17,69% pentru cei 77 km parcurși. Variația stării de încărcare este prezentată în figura 3.6:

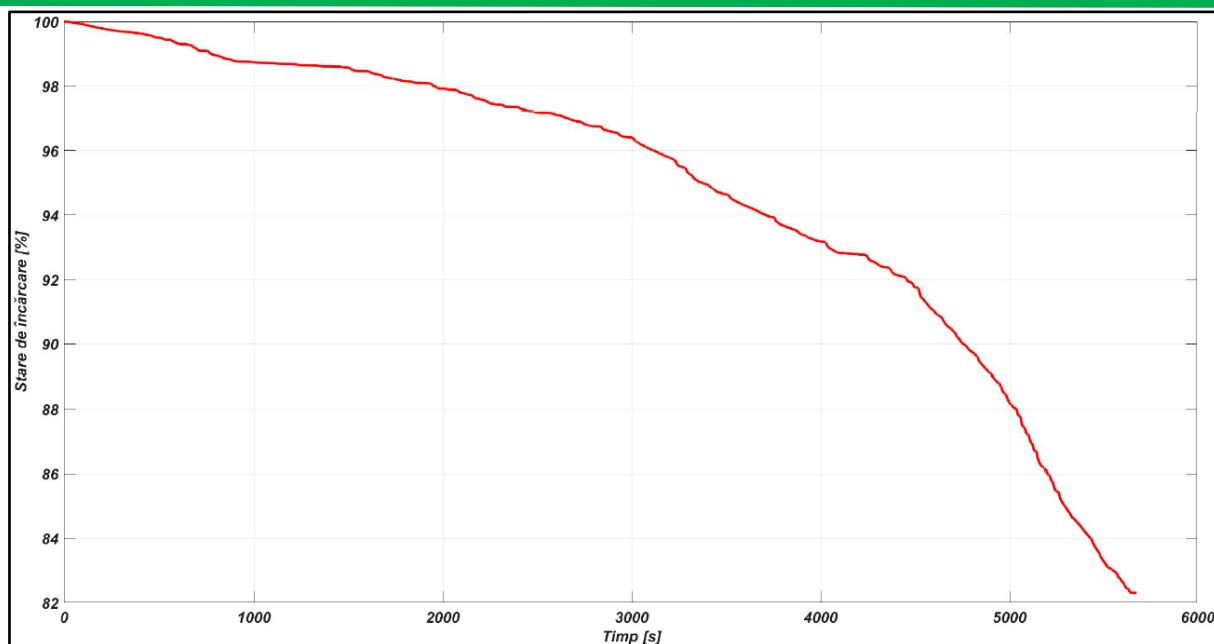


Figura 3.6. Starea de încărcare a bateriei rezultată din simulare.

Așa cum s-a explicat anterior prin intermediul figurii 3.5 s-a determinat prin simulare folosind operația matematică de integrare a puterii în timp și energia totală consumată din baterie pe parcursul ciclului de rulare, variație ce ține cont și de energia consumată de sistemele auxiliare active pe durata ciclului, prezentă în figura 3.7 și consumul de energie prezentat în figura 3.8:

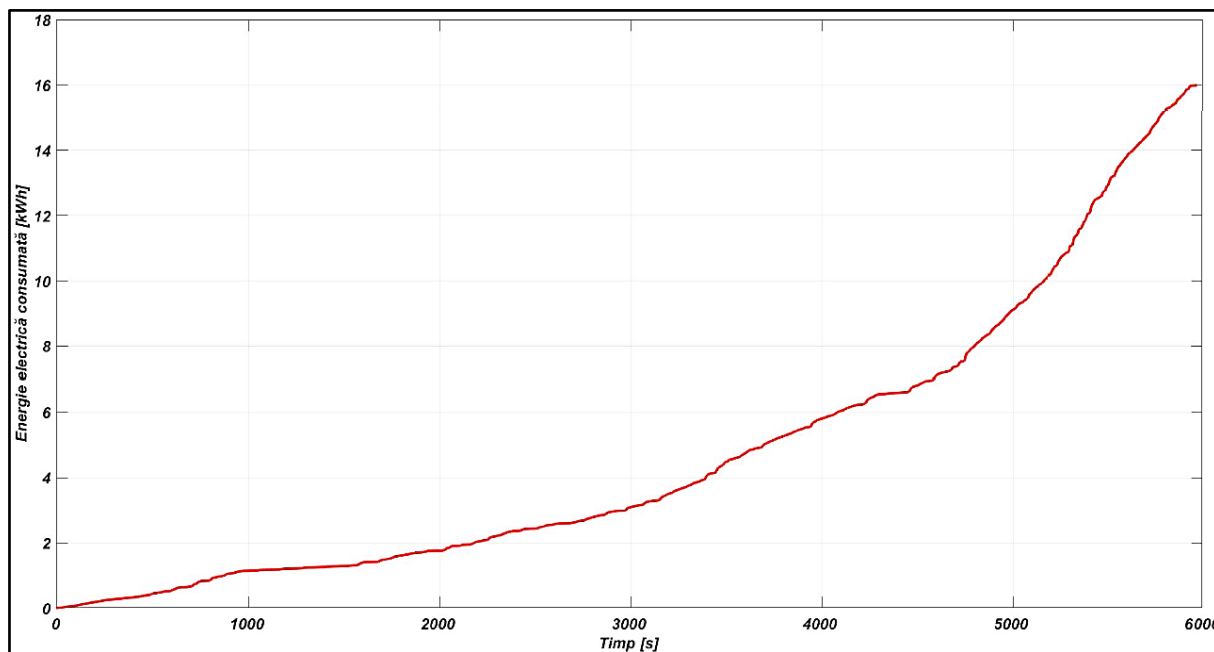


Figura 3.7. Energia totală consumată rezultată din simulare.

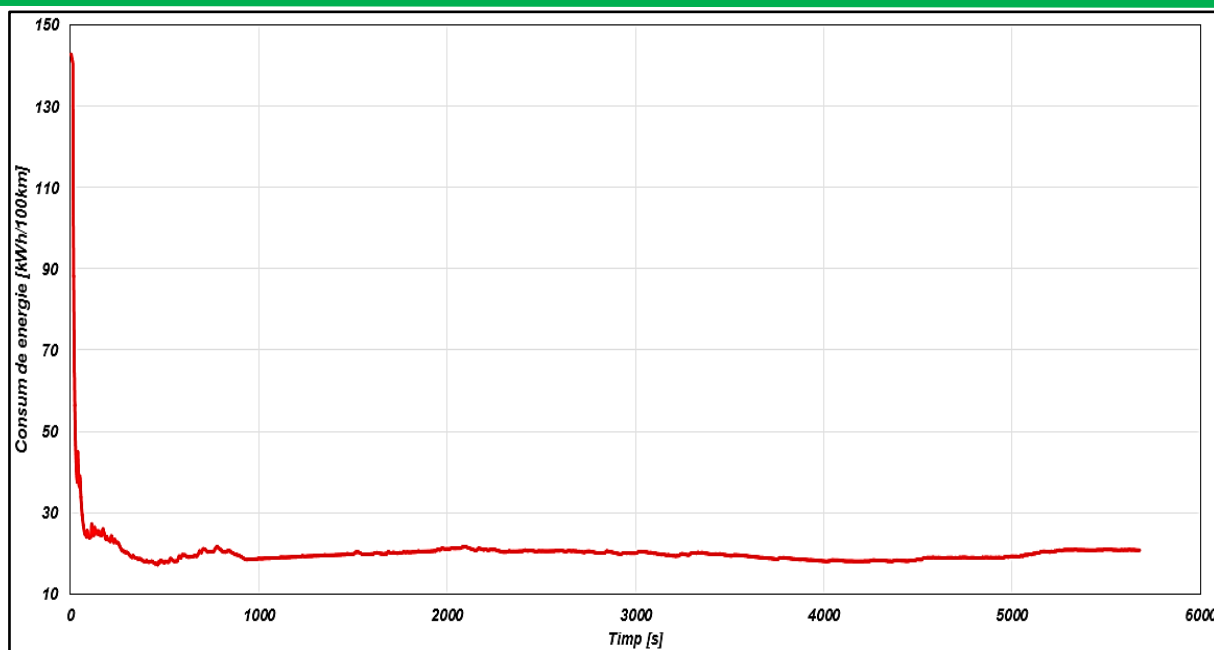


Figura 3.8. Consumul de energie rezultat din simulare.

#### **Determinarea autonomiei autovehiculului:**

Pentru a determina autonomia autovehiculului pe ciclul real propus, cel mai simplu mod este de a implementa o condiție prin care modelul să funcționeze până în momentul în care bateria se descarcă la valoarea la care devine necesară reîncărcarea. De regulă, sistemul BMS permite funcționarea bateriei de tracțiune până la starea de încărcare 20% și în general, această valoare este specifică bateriilor cu litiu întrucât dacă se descarcă sub 20% procesul de încărcare devine complicat, există riscul apariției unor dezechilibre la nivelul celulelor ceea ce poate cauza deteriorarea iremediabilă a acestora, [3]. Astfel, condiția impusă a fost formată din semnalul „Stare de încărcare” conectat la un operator de tip „Compare To Constant” și un bloc de tip „Stop Simulation”. În acest fel, operatorul de comparare verifică în timp real pe parcursul simulării valorile stării de încărcare, iar în momentul în care aceasta atinge valoarea de 20%, intră în funcțiune blocul „Stop Simulation”, care oprește simularea.

Evident, timpul setat pentru o astfel de simulare este unul foarte mare, în cazul simulării pe ciclul real s-a setat un timp de 40000 secunde. Odată cu atingerea valorii de 20% a stării de încărcare și oprirea simulării, se obține valoarea distanței parcurse care reprezintă de fapt autonomia autovehiculului modelat și simulat în raport cu ciclul considerat. În cazul simulării pe ciclul real considerat, autonomia rezultată a fost de ~ 374 km.

### **Studiul performanțelor dinamice și energetice ale unui autovehicul de tip SUV electric la rulare pe un ciclu de încercare standardizat folosind modelul de simulare**

Pentru acest subcapitol se propune o analiză a performanțelor autovehiculului de referință prin intermediul căruia s-au realizat măsurătorile experimentale și s-a dezvoltat ciclul real de rulare folosind principalele două cicluri standardizate de încercare pentru determinarea consumului de combustibil și a emisiilor poluante, în cazul autovehiculelor convenționale echipate cu motor termic și cu sistem de

propulsie hibrid-electric, respectiv pentru determinarea consumului de energie și al autonomiei autovehiculelor electrice. Cele două cicluri sunt:

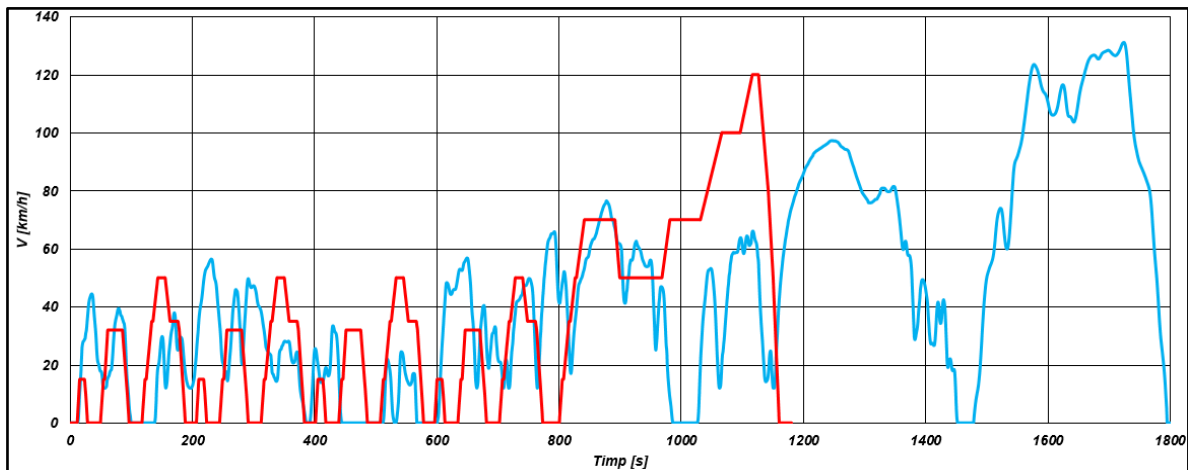
- ✚ WLTC (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle)
- ✚ NEDC (New European Driving Cycle)

Practic, NEDC este predecesorul lui WLTC în ceea ce privește procedurile de omologare pentru autovehiculele ușoare. În perioada 2017-2019 s-a făcut tranziția de la ciclul european de omologare la WLTC, ce poate fi și este utilizat la nivel mondial în prezent. Noul ciclu este mai avantajos din punct de vedere al stilului de condus, fiind caracterizat de accelerări puternice și dese, urmate de frânări scurte, ceea ce determină ca noua procedură să fie mult mai apropiată de condițiile reale de rulare. În tabelul 3.1 este prezentată o comparație între cele două cicluri:

**Tabel 3.1.** Comparație între ciclurile NEDC și WLTC, [7].

	NEDC	WLTC
Distanță [km]	~11	~23,3
Durață [s]	1180	1800
Faze	2	4
Viteza maximă [km/h]	120	131,1
Viteze medie [km/h]	33,6	46,5
Accelerație maximă [m/s <sup>2</sup> ]	~ 1	~ 1,7

Autovehiculul de referință utilizat în modelul de simulare elaborat în prima parte a acestui capitol are o putere specifică de ~ 72,3 W/kg, deci se încadrează în Clasa 3, iar din punct de vedere al vitezei de deplasare, în clasa 3b având o viteză maximă de 160 km/h. În figura 3.9 se prezintă o comparație a celor două cicluri:



**Figura 3.9.** Comparație între ciclurile NEDC – WLTC.

Pentru studiul propus în acest subcapitol a fost necesară implementarea celor două profile de viteză ale ciclurilor în modelul de simulare. Setul de valori fiind mult mai restrâns, blocul „RepeatingSequence” a permis importarea profilurilor din fișierul .xlsx în Simulink. Pentru WLTC setul de date a fost extras din [8], iar pentru NEDC folosind datele din [7].

**Studiul comparativ al rezultatelor obținute:**

În acest caz se urmărește analiza comparativă a rezultatelor obținute în urma simulărilor pe cele două cicluri considerate, respectiv în raport cu informațiile oferite de site-urile oficiale sau de producător cu privire la valorile de referință indicate de aceștia pentru cele două cicluri. În figura 3.51 se prezintă comparativ variația consumului de energie simulat pe cele două cicluri:

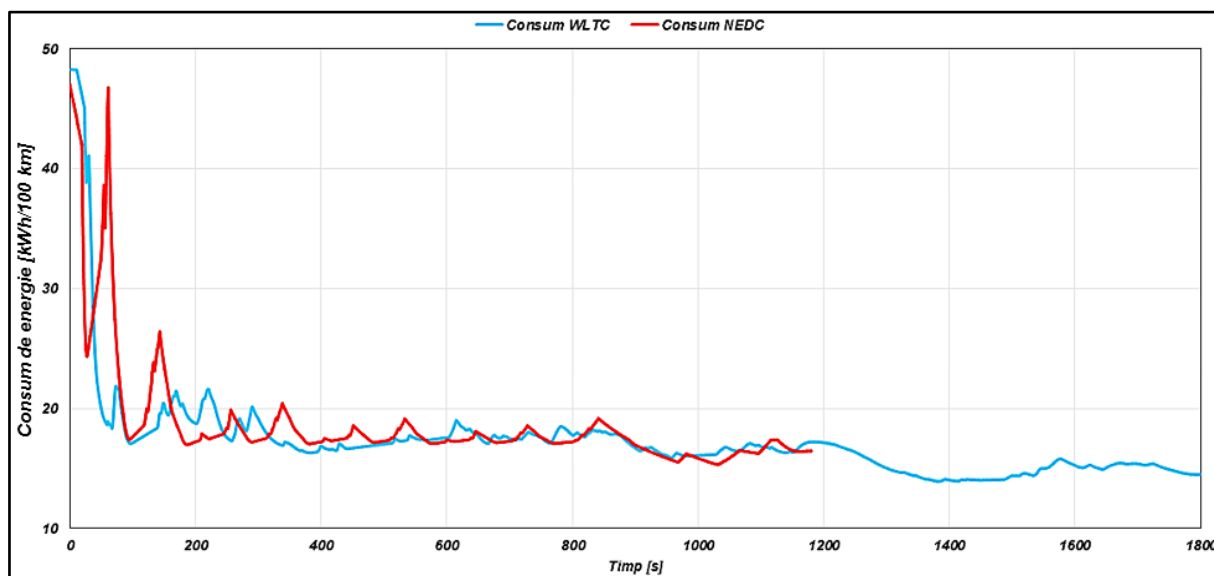


Figura 3.10. Consumul de energie rezultat din simulare – comparație între NEDC și WLTC.

În continuare, se va prezenta în tabelul 3.2 comparația rezultatelor obținute prin simulare pentru cele două cicluri:

Tabel 3.2. Comparație între rezultatele obținute prin simulare pentru ciclurile NEDC și WLTC.

	NEDC	WLTC
Abatere viteză [km/h]	+0,112/-0,09	+0,015/-0,021
Turație maximă [rot/min]	~11635	~12720
Accelerație maximă [m/s <sup>2</sup> ]	1,694	1,189
Stare de încărcare [%]	97,82	95,95
Energie totală consumată [kWh]	1,82	3,36
Energie consumată – sisteme auxiliare [kWh]	0,23	0,35
Consum de energie [kWh/100 km]	16,45	14,49
Autonomie [km]	389	512

Luând în considerare informațiile oferite de producător [6, 9] cu privire la consumul de energie și autonomie în tabelul 3.3 se prezintă comparația dintre rezultatele obținute prin simulare și valorile reale:

Tabel 3.3. Comparație între rezultatele obținute prin simulare și valorile pentru ciclurile NEDC și WLTC.

	Simulat		Real			Eroare		
	NEDC	WLTC	NEDC	WLTC, [6]	WLTC, [9]	NEDC	WLTC, [6]	WLTC, [9]
Consum de energie [kWh/100 km]	16,45	14,49	15,8	15,2	14,1...15,3	4,12%	4,67%	2,77...5,3%
Autonomie [km]	389	512	-	537	502...548	-	4,65%	1,99...6,56%

## Studiul influenței transmisiei cu două trepte asupra performanțelor unui autovehicul electric utilitar folosind modelul de simulare

Pentru modelul transmisiei cu două trepte s-a adăugat un bloc de tip „Switch” care să permită comutarea între cele două valori ale raportului de transmitere, deci practic să comande schimbarea treptelor. Pentru a comanda schimbarea treptelor, a fost nevoie să se determine valoarea vitezei la care să aibă loc schimbarea între cele două trepte. În acest sens, s-au realizat o serie de simulări a performanțelor de demarare ale autovehiculului ales folosind modelul de bază echipat cu transmisia simplă cu o treaptă la care s-au implementat pe rând cele două valori calculate ale rapoartelor de transmitere, după care semnalele rezultate au fost extrase folosind comanda „ToWorkspace” și prelucrate în excel, astfel încât s-a obținut variația accelerației în funcție de viteza de deplasare, pentru  $i_{t1}$  și  $i_{t2}$  și s-au suprapus cele două grafice astfel încât să se determine primul punctul de intersecție al celor două accelerații din care a fost identificată viteza de **35 km/h**, valoare ce va reprezenta punctul de interschimbare a celor două trepte.

Graficul de determinare al vitezei de schimbare a treptelor este prezentat în figura 3.11:

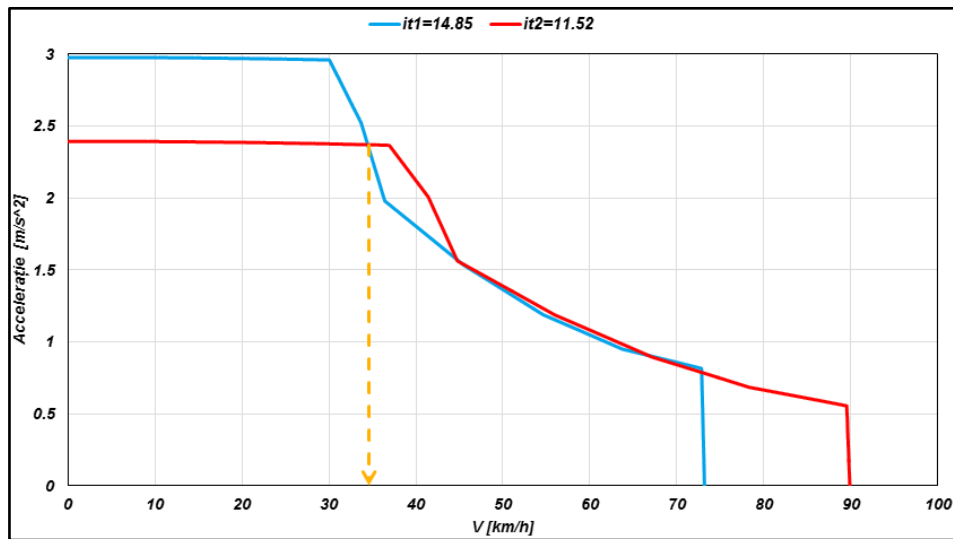


Figura 3.11. Variația accelerației pentru  $i_{t1}$  și  $i_{t2}$ .

Astfel, odată stabilite aceste condiții, s-a implementat în modelul transmisiei cu două trepte (figura 3.12).

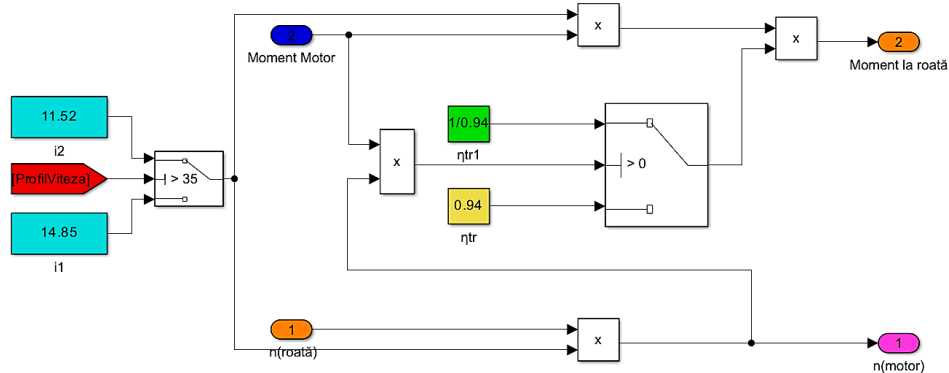


Figura 3.12. Modelul transmisiei cu două trepte.



Blocul „Switch” analizează semnalul de referință reprezentat de profilul de viteză al ciclului de rulare la care este supus modelul, iar în momentul în care viteza de deplasare depășește valoarea de 35 km/h, blocul schimbă treapta trecând de la  $i_{t1}$  la  $i_{t2}$  și evident fenomenul se petrece și în sens invers, în momentul în care viteza pe ciclul este egală sau scade sub valoarea referință, schimbă în treapta 1.

Pentru implementarea celor două porțiuni din ciclurile standardizate s-a folosit tot blocul „RepeatingSequence”, în timp ce pentru cele două faze ale ciclului real blocul „SignalBuilder”. Din punct de vedere al setărilor de baze ale modelului, pentru ciclurile standardizate s-a folosit pasul de 1 s, cu durată de 1022 s pentru WLTC (finalul fazei medium, [8]) și 1054 s pentru NEDC. În cazul ciclului real, pasul a fost setat la 0,7 s conform perioadei de măsurare cu care a fost obținut ciclul, iar durată de 4516 s reprezentând momentul de terminare al porțiunii de ciclu extra-urban și încadrarea pe autostradă. Solver-ul utilizat a fost în continuare „ode45Dormand-Prince” alături de blocul „powergui” cel care stabilește tipul simulării și parametrii, opțiunea setată fiind „Continuous”.

În continuare se vor prezenta grafic și tabelar rezultatele obținute pentru cele trei porțiuni de cicluri alese, mărimile de interes fiind: energia consumată pe ciclu, consumul specific, starea de încărcare, autonomia și gradul de utilizare al celor două trepte implementate.

#### **Analiza comparativă a rezultatelor obținute pentru cele trei cicluri de rulare (real, WLTC, NEDC):**

Această parte a tezei are ca scop prezentarea detaliată a rezultatelor obținute în urma simulărilor pentru a putea identifica principalele avantaje al utilizării transmisiei cu două trepte pe autovehiculul ales și nu numai, precum și identificarea limitărilor ce pot influența rezultatele experimentale obținute prin simulare. În tabelul 3.5 sunt sintetizate rezultatele obținute pentru cele trei cicluri, în cazul transmisiei cu o treaptă și în cazul celei cu două trepte.

**Tabel 3.4.** Rezultatele obținute cu privire la performanțele autovehiculului în raport cu cele trei cicluri considerate.

	1 treaptă			2 trepte		
	Ciclul real	WLTC	NEDC	Ciclul real	WLTC	NEDC
Stare de încărcare [%]	79,78	96,11	96,68	80	96,18	96,73
Energie totală consumată [kWh]	8	1,57	1,372	7,924	1,55	1,356
Energie consumată – sisteme auxiliare [kWh]	0,76	0,18	0,18	0,76	0,18	0,18
Consum de energie [kWh/100 km]	19,57	20,13	16,41	19,34	19,81	16,61
Distanță parcursă [km]	40,92	7,82	8,3	40,92	7,82	8,3
Autonomie [km]	162	161	199	164	164	201

Pe baza tabelului 3.4 s-au putut calcula și diferențele rezultate între cele două cazuri pentru a observa evident și sublinia câștigul implementării transmisiei cu două trepte. De asemenea, se poate observa faptul că distanța parcursă și energia consumată de sistemele auxiliare nu sunt influențate în niciun fel de modificarea transmisiei. În tabelul 3.5 sunt prezentate diferențele rezultate:

**Tabel 3.5.** Analiza comparativă a rezultatelor obținute.

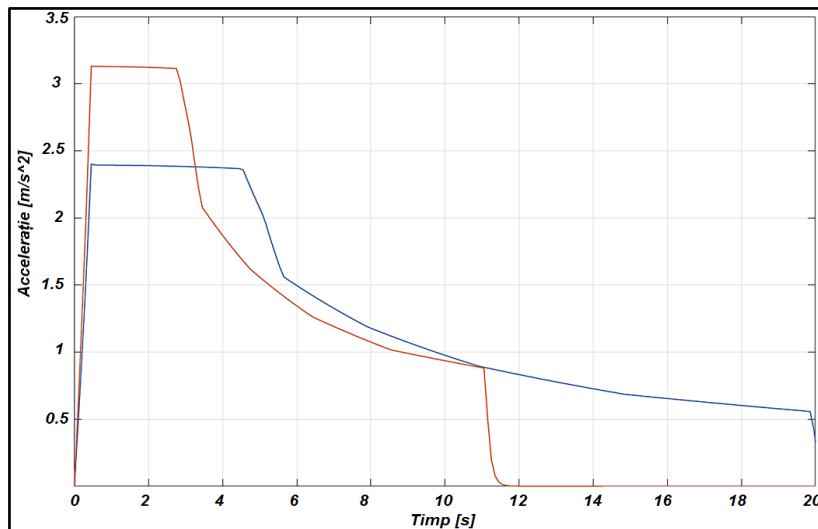
	Eroare maximă [%]		
	Ciclul real	WLTC	NEDC
Stare de încărcare [%]	0,27	0,07	0,05
Energie totală consumată [kWh]	0,95	1,27	1,17
Consum de energie [kWh/100 km]	1,18	1,6	1,22
Autonomie [km]	1,24	1,86	1

Un aspect foarte important ce trebuie subliniat în cadrul acestui studiu este gradul de utilizare al fiecărei trepte pentru fiecare profil de viteză utilizat, astfel s-au exportat valorile din model în excel pentru a putea folosi funcția de numărare „COUNTIF” prin intermediul căreia s-a putut urmări și calcula ulterior, procentual gradul de utilizare al celor două trepte (în tabelul 3.6).

**Tabel 3.6.** Gradul de utilizare al celor două trepte comparativ pentru cele trei cicluri considerate.

	Treapta 1 ( $i_{d1}=14,85$ )	Treapta 2 ( $i_{d2}=11,52$ )	Total
Ciclul real	53%	46%	100 %
WLTC	62,5%	37,5%	
NEDC	68,2%	31,8%	

Se observă din tabelul de mai sus faptul că predominant s-a utilizat treapta I, cu un procent de peste 50% lucru validat evident de faptul că porțiunile de ciclu alese sunt caracterizate de viteze de deplasare reduse, predominant sub valoarea de referință de 35 km/h, astfel încât s-a identificat în urma studiului, principalul avantaj al implementării transmisiei cu două trepte legat de performanțele de demarare ce pot fi prezentate prin variația accelerației în timp, care a cunoscut o creștere semnificativă a valorii maxime odată cu utilizarea a două trepte, evident valoare influențată de raportul de transmitere în treapta I față de cazul standard (figura 3.13).



**Figura 3.13.** Variația accelerației pentru o treaptă (linia albastră) și pentru două trepte (linia roșie), [10].

Analizând accelerațiile se poate observa că pentru transmisia cu o singură treaptă, accelerația maximă a fost de  $2,4 \text{ m/s}^2$ , iar pentru două trepte a fost de  $3,1 \text{ m/s}^2$ , ceea ce înseamnă o creștere cu  $0,7 \text{ m/s}^2$  respectiv  $22,6\%$ . Valorile s-au obținut pentru o accelerare de la 0 la 90 km/h, pe o durată a simulării setată la 30 s, de unde a rezultat un timp de demarare 20 s pentru primul caz și  $\sim 11,5 \text{ s}$  pentru al doilea caz ceea ce înseamnă prin implementarea transmisiei cu două trepte s-au îmbunătățit considerabil performanțele de demarare.

Se poate deci concluziona faptul că pentru autovehiculul ales în cadrul studiului este de preferat folosirea unei transmisii cu două trepte având în vedere că viteza medie cu care se deplasează este sub 50 km/h, iar necesitatea de creștere performanțelor de demarare prin sporirea accelerației maxime, deci implicit și prin modul de utilizare al cuplului la maxim, constituie un avantaj important mai ales în cazul unui autovehicul destinat transportului de marfă.

## Soluții de optimizare ale performanțelor autovehiculelor electrice folosind modelul de simulare

Pentru acest studiu, folosind modelul de simulare alături de caracteristicile dinamice și energetice ale autovehiculului de referință s-au efectuat o serie de cercetări cu privire la modul în care pot influența anumite mărimi sau coeficienți, performanțele energetice ale autovehiculului. Influențele sunt studiate și determinate folosind ciclul real propus, în concordanță cu condițiile inițiale impuse și ipotezele simplificatoare considerate de la începutul modelării și simulării folosind variația mărimilor considerate în diferite intervale.

Mărimile analizate au fost următoarele: coeficientul de rezistență la rulare  $f$ , masa autovehiculului  $m_a$ , [kg] și temperatura mediului ambiant  $t$ , [°C].

### Coeficientul de rezistență la rulare

În urma simulărilor aferente fiecărei valori a lui  $f_0$  s-au determinat: energia consumată pe ciclu, consumul specific de energie, starea de încărcare a bateriei și autonomia autovehiculului de referință la rulare pe ciclul real după cum se prezintă în tabelul 3.7:

Tabel 3.7. Variația performanțelor energetice ale autovehiculului de referință în raport cu variația lui  $f_0$ .

Nr.crt.	$f_0$ [-]	$f$ [-]	Energie [kWh]	Consum de energie [kWh/100km]	Stare de încărcare [%]		Autonomie [km]
					Finală	Scădere	
1	<b>0,005</b>	0,005...0,0102	14,13	18,36	84,36	15,64	427
2	<b>0,006</b>	0,006...0,0112	14,5	18,83	83,96	16,04	415
3	<b>0,007</b>	0,007...0,0122	14,87	19,31	83,55	16,45	404
4	<b>0,008</b>	0,008...0,0132	15,24	19,79	83,14	16,86	393
5	<b>0,009</b>	0,009...0,0142	15,61	20,28	82,72	17,28	383
6	<b>0,01</b>	0,01...0,0152	<b>15,99</b>	<b>20,76</b>	<b>82,31</b>	<b>17,69</b>	<b>374</b>
7	<b>0,011</b>	0,011...0,0162	16,36	21,25	81,9	18,1	364
8	<b>0,012</b>	0,012...0,0172	16,74	21,74	81,48	18,52	356
9	<b>0,013</b>	0,013...0,0182	17,11	22,23	81,07	18,93	347
10	<b>0,014</b>	0,014...0,0192	17,49	22,71	80,65	19,35	339
11	<b>0,015</b>	0,015...0,0202	17,87	23,2	80,23	19,77	332

Din tabelul 3.7 a rezultat faptul că odată cu creșterea lui  $f$  atât energia electrică, cât și consumul specific capătă o alură liniară crescătoare, iar pentru intervalul global obținut din figura 3.64 și anume **0,005...0,02** s-a obținut o variație a consumului cuprinsă între **18,36...23,2 kWh/100 km**, iar energia cuprinsă în intervalul **14,13...17,87 kWh**. Starea de încărcare rezultată în urma simulărilor pe ciclul real a variat în intervalul **84,36...80,23%** cu o reducere în medie de **17,7%** și un interval cuprins între **15,64...19,77%**.

Intervalul autonomiei obținut este cuprins între **332...427 km**, deci o reducere globală de **95 km** între un coeficient minim de **0,005** și cel maxim obținut de **0,02**.

## Masa autovehiculului

În tabelul 3.8 au fost înregistrate rezultatele obținute în urma simulărilor prin modificarea masei autovehiculului în condițiile ciclului real propus:

**Tabel 3.8.** Variația performanțelor energetice ale autovehiculului de referință în raport cu masa.

Nr.crt.	$m_{simulare}$ [kg]		Energie [kWh]	Consum de energie [kWh/100km]	Stare de încărcare [%]		Autonomie [km]
	Formulă	Valoare			Finală	Scădere	
1	$m_0+75$	2150	15,18	19,71	83,21	16,79	395
2	$m_0+75+75$	2225	15,53	20,16	82,82	17,18	385
3	$m_0+75+2*75$	2300	15,87	20,61	82,47	17,53	377
4	<b>Masa de încercare</b>	<b>2325</b>	15,99	20,76	82,31	17,69	374
5	$m_0+75+3*75$	2375	16,22	21,06	82,05	17,95	368
6	$m_0+75+4*75$	2450	16,57	21,51	81,67	18,33	360
7	$m_0+ m_{un}$	2540	16,98	22,02	81,21	18,79	350

A rezultat astfel o variație a energiei cuprinsă între **15,18...16,98 kWh**, valori limită corespunzătoare masei minime în condiții de conducere (masa proprie + masa șoferului) și masei maxime corespunzătoare masei totale a autovehiculului conform producătorului, așadar energia consumată pe ciclul real propus crește global cu **1,8 kWh** odată cu creșterea progresivă a masei. Consumul de energie obținut variază în intervalul **19,71...22,02 kWh/100 km**, deci o crește globală de **2,31 kWh/100 km**. Starea de încărcare s-a redus de la valoarea inițială de **100%** cu **16,79...18,79%** deci o reudcere globală în raport cu variația **masei de 2%**.

Autonomia scade de la 395 km atunci când  $m_a$  este egală cu 2150 kg până la 350 km atunci când se atinge valoarea maximă conform producătorului.

## Temperatura mediului ambiant

Pentru realizarea încercărilor s-au utilizat ciclul WLTC conform cu lucrarea [15], alături de ciclul real obținut experimental. Pentru acest tip de simulare, timpii de oprire au fost setați la 1800 s pentru WLTC și 5676 s pentru ciclul real, însă în conformitate cu sugestiile exemplilor din Simulink pentru acest tip de încercări la care solicitarea modelului este destul de mare, s-a modificat solver-ul fiind folosit unul de tip discret și anume „ode23tb(stiff/TR-BDF2)”. Modelul utilizat pentru implementarea efectului termic este format din două blocuri „Baterie”, unul fără niciun fel de influență din punct de vedere al temperaturii, iar altul la care s-a adăugat semnalul de intrare „ $T_a$ ” care reprezintă temperatura mediului ambiant ce poate fi o constantă sau un ciclu termic. Pe lângă aceste modificări, bateriile sunt conectate la o sursă de curent de tip „Controlled Current Source” care primește ca semnal de intrare variația curentului de descărcare calculat și implementat în model astfel încât s-a obținut sistemul din figura 3.14:

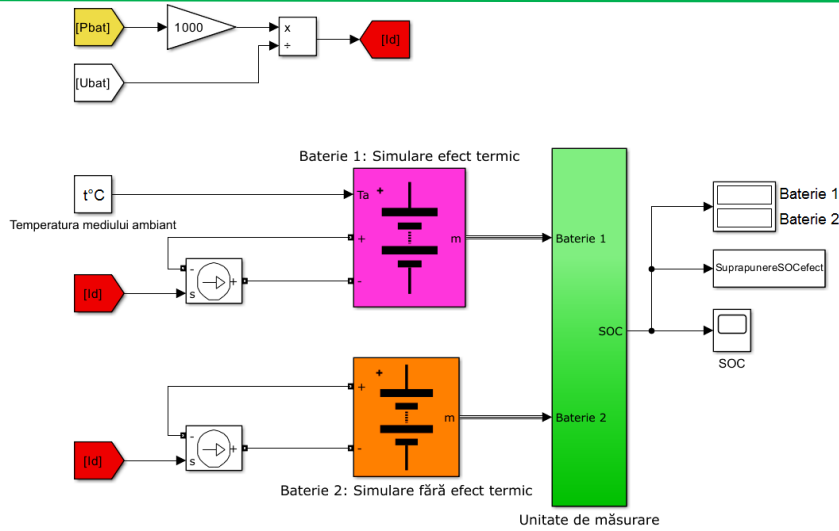


Figura 3.14. Modelul de simulare al bateriei cu efect termic implementat.

Modelul conține și un bloc „Scope” pentru vizualizarea rezultatelor sub formă grafică, un operator de tip „Display” pentru a înregistra valorile finale obținute și o comandă „ToWorkspace” pentru a putea prelucra ulterior semnalele obținute. În tabelul 3.9 sunt prezentate rezultatele simulărilor pentru cele două cicluri menționate în raport cu valorile temperaturii din ciclul termic propus:

Tabel 3.9. Variația stării de încărcare a bateriei în raport cu temperatura mediului ambiant.

		-20°C	-15°C	0°C	15°C	25°C	35°C	45°C
Stare de încărcare [%]	WLTC	82,69	85,52	90,29	92,69	93,73	94,51	95,11
	Ciclul real	36,25	46,67	64,23	73,09	76,9	79,77	82

În tabelul 3.10 sunt prezentate valorile autonomiei pentru temperaturile utilizate în simulare raportat la cele două cicluri:

Tabel 3.10. Variația autonomiei în raport cu temperatura mediului ambiant.

		-20°C	-15°C	0°C	15°C	25°C	35°C	45°C
Autonomie [km]	WLTC	108	129	192	255	297	340	381
	Ciclul real	97	116	172	229	267	304	342

Variația stării de încărcare în raport cu temperatura mediului ambiant este prezentată în figura 3.15:

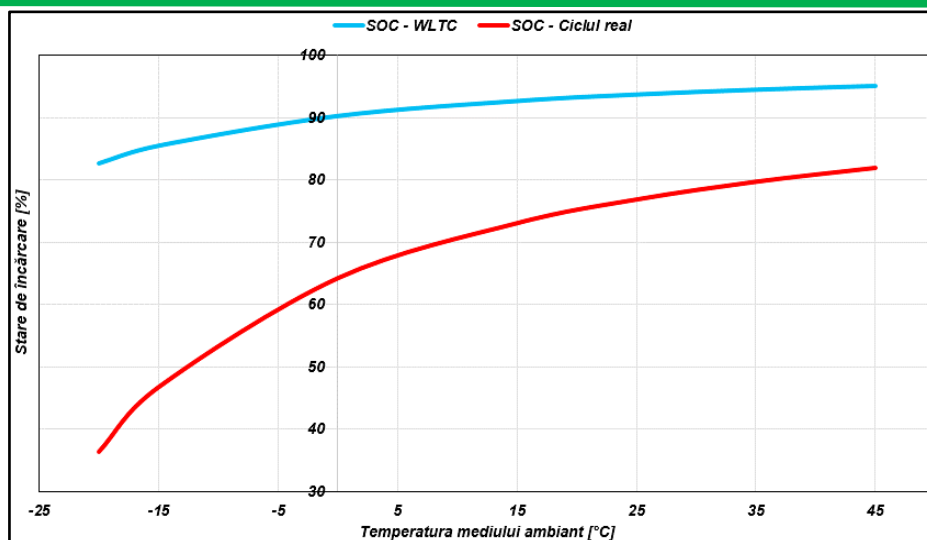


Figura 3.15. Variația stării de încărcare în funcție de temperature mediului ambiant.

S-au extras din simulare și variațiile stării de încărcare a bateriei pentru cele două cicluri în funcție de ciclul termic propus din care au rezultat curbele aferente comparativ cu situația în care bateria nu ține cont de efectul termic (figurile 3.16 și 3.17).

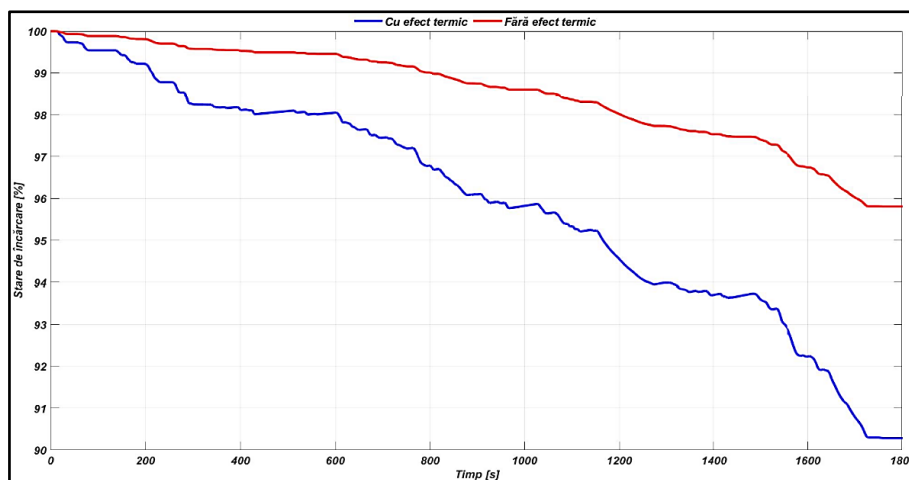


Figura 3.16. Variația stării de încărcare în funcție de ciclul termic implementat - WLTC.

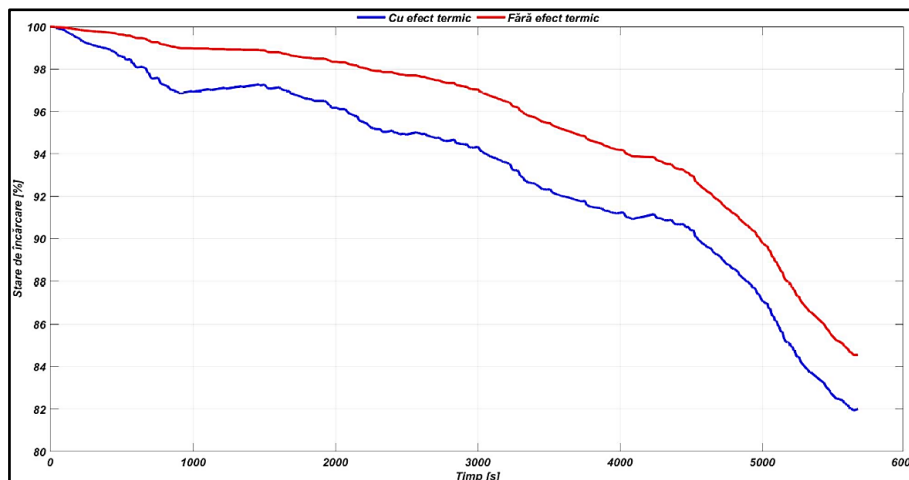


Figura 3.17. Variația stării de încărcare în funcție de ciclul termic implementat – Ciclul real.

**MODELUL FINAL DE SIMULARE:**

Rezultatele obținute prin simulare prezentate în subcapitolele anterioare, structura finală a modelului de bază ce folosește caracteristicile autovehiculului de referință Eniaq iV80, cel prin intermediul căruia s-au realizat și încercările experimentale propuse în condiții reale de rulare, este reprezentat în figura 3.18. Modelul poate fi optimizat în funcție de cerințele aplicate acestuia și i se pot adăuga subsisteme noi pentru diferite teste și încercări ce se poate extinde la prelucrarea unor fenomene interne din cadrul componentelor sistemului de propulsie electric. Modelul propus a plecat de la o serie de informații extrem de prețioase, bine structurare și detaliate de către autor în lucrarea [2], lucrare ce a constituit unul din pilonii de bază pentru extinderea cunoștințelor legate de mediul de modelare și simulare MatLAB – Simulink.

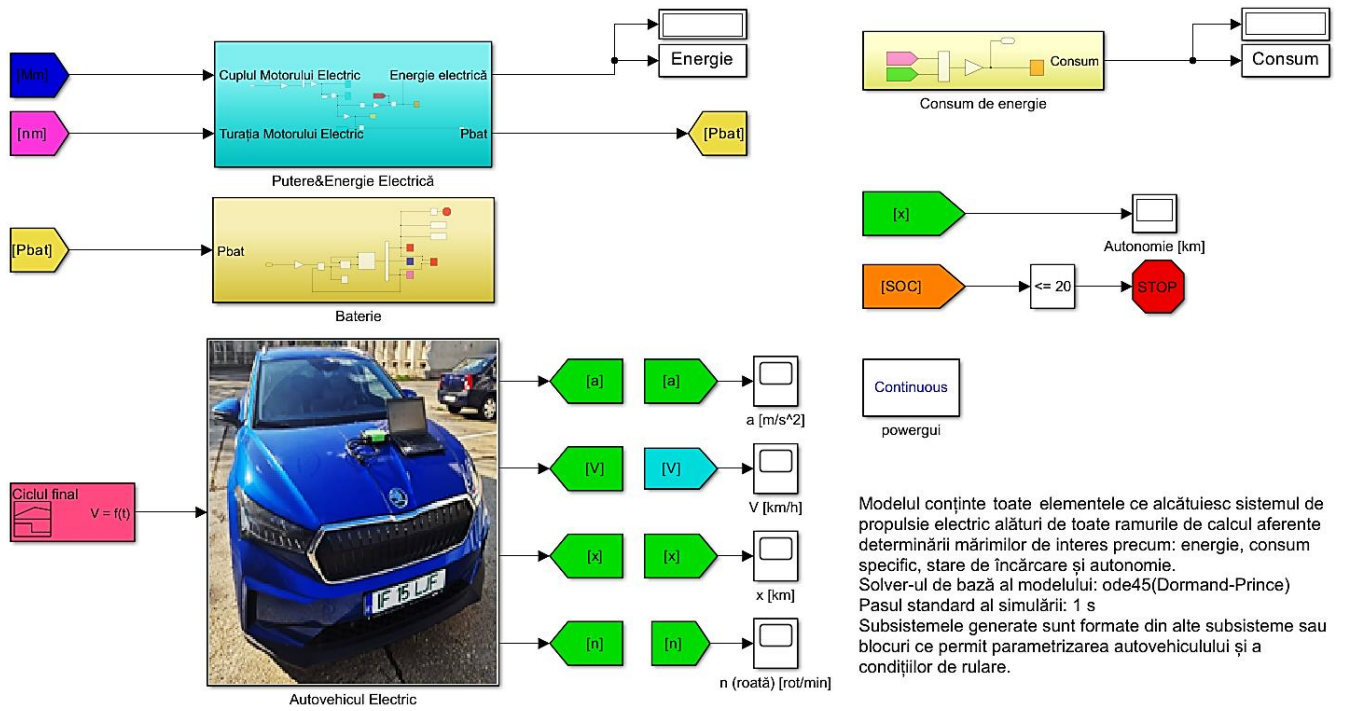


Figura 3.18. Structura finală a modelului de simulare.

## BIBLIOGRAFIE

1. Andreescu, Cr., *Dinamica autovehiculelor pe roți*, vol. I, Editura Politehnica Press, 20101.
2. Bățăuș M., *Transmisii moderne pentru automobile: introducere în modelare și simulare*, Politehnica Press, București, 2018, ISBN 978-606-515-806-1.
3. Larminie, J. Lowry, J., *Electric Vehicle Technology Explained* – Oxford Brookes University, Oxford, U.K, ISBN 0-470-85163-5.
4. Manfred Mitschke, Henning Wallentowitz, *Dynamik der Kraftfahrzeuge – 5.*, überarbeitete und ergänzte Auflage (Ediția a 5-a revizuită și completată), Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014, DOI 10.1007/978-3-658-05068-9, ISBN 978-3-658-05067-2.
5. \*\*\*<https://x-engineer.org/rolling-resistance/>, ultima accesare la 29.03.2024.
6. \*\*\*[https://www.automobile-catalog.com/auta\\_perfl1.php#gsc.tab=0](https://www.automobile-catalog.com/auta_perfl1.php#gsc.tab=0), ultima accesare la 27.03.2024.
7. \*\*\*[https://en.wikipedia.org/wiki/Worldwide\\_Harmonised\\_Light\\_Vehicles\\_Test\\_Procedure](https://en.wikipedia.org/wiki/Worldwide_Harmonised_Light_Vehicles_Test_Procedure), ultima accesare la 27.03.2024.
8. Regulamentul (UE) 2017/1151 al COMISIEI din 01.06.2017, accesibil la <https://eur-lex.europa.eu/search.html?scope=EURLEX&text=2017%2F1151&lang=en&type=quick&qid=1709127536185>, ultima accesare la 27.03.2024.
9. \*\*\*<https://ev-database.org/car/1280/Skoda-Enyaq-iV-80>, ultima accesare la 27.03.2024.
10. **Ancuța, A.A.**, Rențea, C.A. – *The Influence Of The Two-Speed Transmission On The Performances Of An Commercial Electric Vehicle*, publicată în Revista Ingineria Automobilului Nr. 70, martie 2024, ISSN 1842-4074.
11. Rențea, C., Oprean, M., Bățăuș, M., Frățilă, G. – *The influence of multi-speed transmissions on electric vehicles energy consumption*, ImanEE Conference 2029, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering **564** (2019) 012107,doi:10.1088/1757-899X/564/1/012107.
12. \*\*\*<https://www.car.info/en-se/volkswagen/crafter/crafter-35-358-kwh-s-2019-26988990/specs>, last access 22.08.2023.
13. \*\*\* SSP 530 Document – VOLKSWAGEN e-CRAFTER catalog Service, nepublicat.
14. \*\*\* Program de studiu individual - SSP (PDF) – Skoda ENIAQ, catalog Service , nepublicat.
15. **Ancuța , A.A.** „*Analysis of Thermal Influence on the Operation of a Li-Ion Battery Used by an Electric Vehicle*” – 46<sup>th</sup> International Spring Seminar on Electronic Technology (ISSE, May 10-14 2023, Timișoara, Romania) accesibil în IEEE Xplore, DOI: <https://doi.org/10.1109/ISSE57496.2023.10168455>, ISBN 979-8-3503-3484-5, ISSN 2161-2536.



## **CAPITOLUL 4. CERCETAREA EXPERIMENTALĂ A UNUI AUTOVEHICUL ELECTRIC**

### **Considerente generale**

Cercetarea experimentală în cazul unui autovehicul în general constă în determinarea anumitor mărimi și caracteristici ale acestuia la rularea pe un ciclu de testare stabilit sau în condiții reale de rulare pe un traseu prestabilit. Pentru realizarea unor măsurători pe un ciclu de testare (ex. WLTC, UDDS, FTP) este necesară utilizarea unui stand dinamometric care să poată simula condițiile de rulare și să permită determinarea unor rezultate experimentale cât mai prompte și mai corecte, care să permită optimizarea performanțelor unui autovehicul sau omologarea acestuia. Pentru autovehiculele convenționale, ciclurile anterior menționate se utilizează pentru determinarea consumului de combustibil și pentru nivelul emisiilor poluante în vederea omologării acestora; pentru autovehiculele electrice, nu mai este vorba de emisii poluante ci de consum de energie electrică și de autonomia autovehiculului în condițiile impuse de ciclul utilizat. Măsurarea în condiții reale de rulare are la bază standardul RDE (Real Driving Emissions) pentru autovehiculele convenționale prin care se determină emisiile poluante produse de un autovehicul în condiții reale de rulare folosind echipamente portabile care să permită acest lucru (ex. PEMS). Pentru un autovehicul electric, așa cum s-a specificat deja, emisiile poluante sunt inexistente, deci măsurarea pe un ciclu real se reduce la determinarea consumului de energie electrică, a autonomiei, precum și a altor mărimi de interes ce pun în evidență performanțele dinamice și energetice ale acestor autovehicule.

Pentru a studia comportamentul unui autovehicul electric și pentru a lua în considerare toți factorii de influență existenți, această lucrare abordează determinarea performanțelor în condiții reale de rulare pentru un autovehicul electric, cu scopul de a identifica toate avantajele, precum și dezavantajele utilizării unui autovehicul electric în diferite zone de rulare (ex. urban, extra-urban sau autostradă). Principalul scop al măsurătorilor experimentale este analiza detaliată a variației consumului de energie electrică pe un traseu prestabilit și variația autonomiei, ținând cont de factori interni și externi ce influențează aceste mărimi și de ce nu, analiza ulterioară a unor soluții sustenabile de optimizarea performanțelor dinamice și energetice ale unui autovehicul electric.

Un alt scop fundamental al cercetării experimentale este verificarea și validarea modelului de simulare realizat în Capitolul III prin intermediul căruia ulterior se pot modela și simula și alte autovehicule în situația rulării pe un ciclu real prestabilit fără a mai fi nevoie de măsurători detaliate în prealabil.

Deși nu se urmărește determinarea emisiilor poluante neavând substrat logic acest lucru pentru un sistem de propulsie electric, este nevoie totuși de câteva echipamente hardware și software care să faciliteze comunicarea cu autovehiculul și să permită întregirarea unor date de interes ce pot fi ulterior utilizate și în validarea modelului de simulare realizat, cum ar fi de exemplu profilul de viteză al ciclului real, consumul de energie obținut și autonomia autovehiculului.

Pentru atingerea tuturor acestor puncte și pentru respectarea unor condiții de bază cu privire la măsurarea pe un ciclu real se vor analiza și utiliza reglementările existente în regulamentele europene **(UE) 2017/1151** și **(UE) 2018/1832** cu modificările aduse acestuia. Condițiile de bază se aplică și pentru

un autovehicul electric atunci când se urmărește determinarea consumului de energie și a autonomiei acestuia.

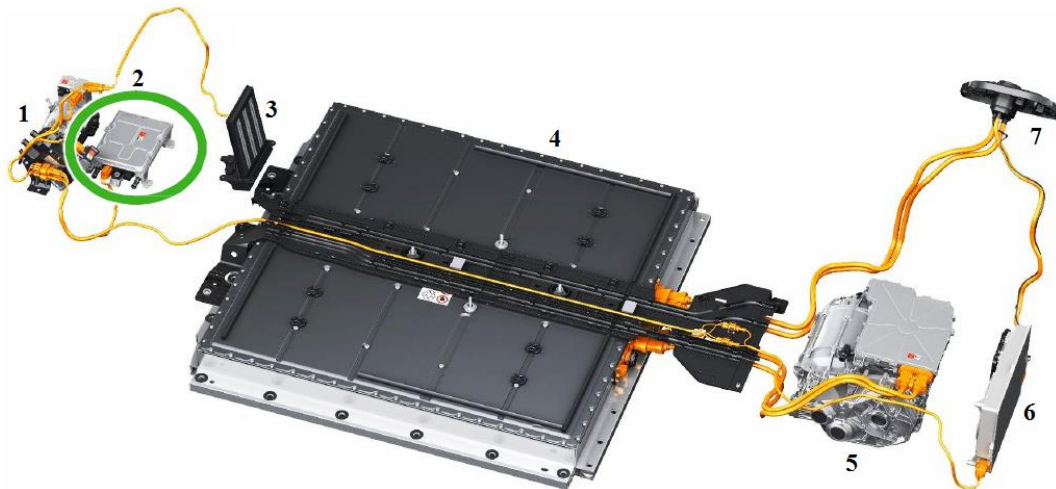
În următoarele subcapitole se vor analiza pe rând: structura autovehiculului utilizat pentru cercetările experimentale, condițiile de care s-a ținut cont în conformitate cu reglementele menționate și rezultatele experimentale obținute în comparație cu cele rezultate din modelare și simulare.

### Structura sistemului de propulsie ce echipază autovehiculul electric utilizat pentru încercări

Pentru încercările experimentale luând în considerare cerințele necesare pentru rularea în toate zonele menționate în regulamentul (UE) 2018/1832 s-a ales modelul *Skoda ENIAQ iV 80*, care este primul autovehicul electric produs de cei de la Skoda. Particularitatea constructivă a acestui autovehicul este legată de platforma pe care se montează sistemul de propulsie numită **MEB (Modularer E-Antriebs-Baukasten)** [1], în traducere un kit modular ce permite implementarea unui sistem de propulsie electric. Această platformă este comună în grupul VAG și are avantajul că poate fi utilizată pe mai multe modele de autovehicule electrice.

Modelul ENIAQ se produce în mai multe variante constructive ce depind de dimensiunea bateriei, deci de capacitatea de stocare a energiei. Acestea sunt: *modelul 50* cu o baterie de 55 kWh, *modelul 60* cu o baterie de 62 kWh și *modelele 80, 80x și RS* cu bateria de 82 kWh, [1]. De asemenea, soluția de organizare generală standard indiferent de model este „totul în spate”, care utilizează o acționare electrică prin intermediul unui motor sincron cu magneți permanenți și o transmisie cu o singură treaptă. La această soluție există și posibilitatea configurării soluției cu tracțiune integrală prin adăugarea unui motor asincron la puntea din față.

În cadrul cercetărilor experimentale modelul utilizat este cel organizat după soluția „totul în spate”. Bateria de tracțiune este cea mai mare dintre cele trei variante, cea de 82 kWh, fiind montată în zona centrală a autovehiculului între cele două punți și cântărește cca. 500 kg. În figura 4.1 este prezentat sistemul de propulsie electric pentru *Skoda ENIAQ iV 80*:



**Figura 4.1.** Sistemul de propulsie electric al autovehiculului Skoda Eniaq iV 80, [1]:

1 – Compresorul de aer condiționat, 2 – Convertor de tensiune CC/CC 12 V, 3 – Sistem de încălzire de înaltă tensiune, 4 – Bateria de înaltă tensiune, 5 – Ansamblul variator de turație-motor electric-transmisie, 6 – Unitatea de încărcare, 7 – portul de încărcare.

## Condiții impuse pentru cercetarea experimentală

În ANEXA III A din Regulamentul (UE) 2018/1832 sunt prezentate mai multe tipuri de cerințe și condiții de care trebuie să se țină cont atunci când se realizează încercări de omologare RDE. Având în vedere că această lucrare abordează strict autovehiculele echipate cu sistem de propulsie electric, pentru realizarea încercărilor s-au extras doar o parte din respectivele condiții ce se aplică indiferent de tipul combustibilului sau al sistemului de propulsie utilizat. Aceste condiții au fost urmărite și luate în considerare în cadrul măsurătorilor experimentale din această teză.

## Echipe utilizate în realizarea încercărilor experimentale

Având în vedere faptul că încercările experimentale se bazează pe rulare pe un ciclu real prestabilit, pentru a se putea face achiziția de date necesară s-a utilizat un echipament din dotarea laboratoarelor și anume modulul **Bosch KTS 590** de la ESI[tronic] cu conexiune prin cablu cu mufa OBD II. Acest dispozitiv permite conectarea rapidă și eficientă între autovehicul și un laptop prin intermediul unui cablu ce se conectează prin mufa OBD și permite comunicarea cu calculatorul autovehiculului. KTS face parte din categoria dispozitivelor multimarca având posibilitatea de conectare la majoritatea autovehiculelor din piață și este un modul ce se ocupă de diagnosticarea unităților de comandă.

Folosind conexiunea cu calculatorul autovehiculului prin mufa OBD și prin comunicarea cu rețeaua CAN, modulul KTS permite măsurarea mai multor mărimi caracteristice în timp real, pe ciclul de rulare stabilit, iar pe lângă acest lucru, permite și salvarea graficelor obținute ca funcție de timp și ulterior conversia fișierelor sub forma cărora se salvează automat în memoria dispozitivului, în fișiere de tip *.xlsx* ce permit prelucrarea rapidă a datelor măsurate și ajută la analiza detaliată a rezultatelor experimentale obținute.

În figura 4.2 este prezentată o schemă de principiu a planului de conexiuni pentru conectarea modului KTS la mufa OBD a autovehiculului alături de laptop-ul utilizat ca interfață pentru comanda și controlul modului și pentru achiziția de date.

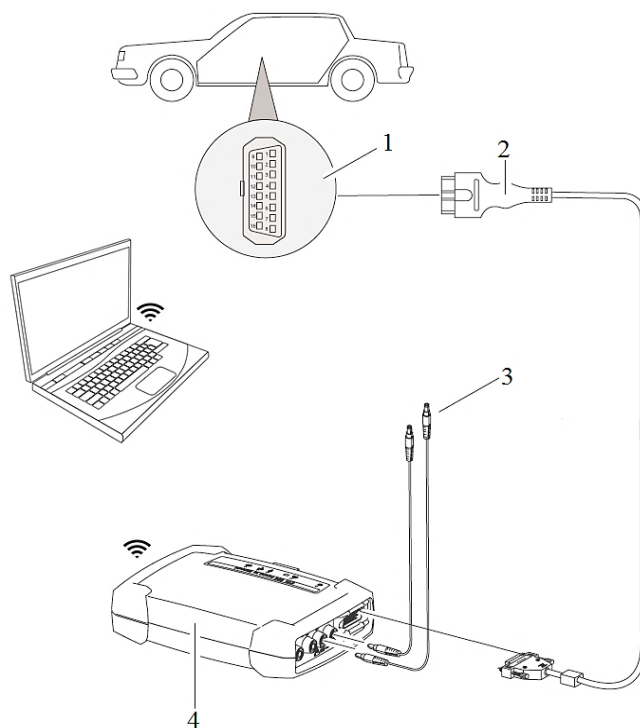


Figura 4.2. Schemă de principiu a planului de conexiuni pentru KTS 560/590, [4]:

1 – Conexiunea OBD la bordul autovehiculului; 2 – Cablu de conexiune OBD; 3 – Cabluri de măsurare; 4 – Modul KTS.

## Realizarea încercărilor

### Alegerea traseului și pregătirea autovehiculului

Odată ce s-a stabilit autovehiculul utilizat pentru încercări, a fost nevoie ca în conformitate cu condițiile impuse prin regulamentul (UE) 1832/2018 cu privire încercările în condiții reale de rulare, a fost nevoie de alegerea și stabilirea unui traseu care să îmbine și să îndeplinească cât mai bine respectivele condiții extrase în subcapitolul 4.3. Încercările s-au realizat în București și în exterior, în vecinătatea acestuia, iar punctul de pornire a fost din curtea interioară a Facultății de Transporturi, din zona laboratoarelor Departamentului Autovehicule Rutiere acolo unde a fost încărcat autovehiculul la o stație de 11 kW/32A și unde s-a realizat instrumentarea acestuia. Mai apoi, pentru a evita modificarea înclinării drumului, s-a evitat ieșirea direct prin Bulevardul Iuliu Maniu și s-a ales zona dinspre Bulevardul Doinea Cornea, după care traseul și-a urmat cursul către Șoseaua Virtuții prin Bulevardul Iuliu Maniu, mai apoi pe Splaiul Independenței către Gara de Nord și în final pe Calea Griviței către ieșirea din București spre Chitila. Această porțiune a constituit partea de rulare în zona urbană, până la ieșirea pe Centura București. Apoi, s-a continuat traseul pe centură până la intrarea pe Autostrada A3 București-Ploiești, porțiune considerată ciclul extra-urban, iar în final s-a parcurs o parte din Autostradă pentru a încheia ciclul. Evident că prin vitezele superioare impuse pentru realizarea ciclului extra-urban și cel pe autostradă, au determinat creșterea distanței parcurse astfel încât timpul să fie proporțional cu cel din mediul urban.

Traseul este prezentat în figura 4.3 prin intermediul unor puncte de interes care au ajutat la modelarea acestuia:

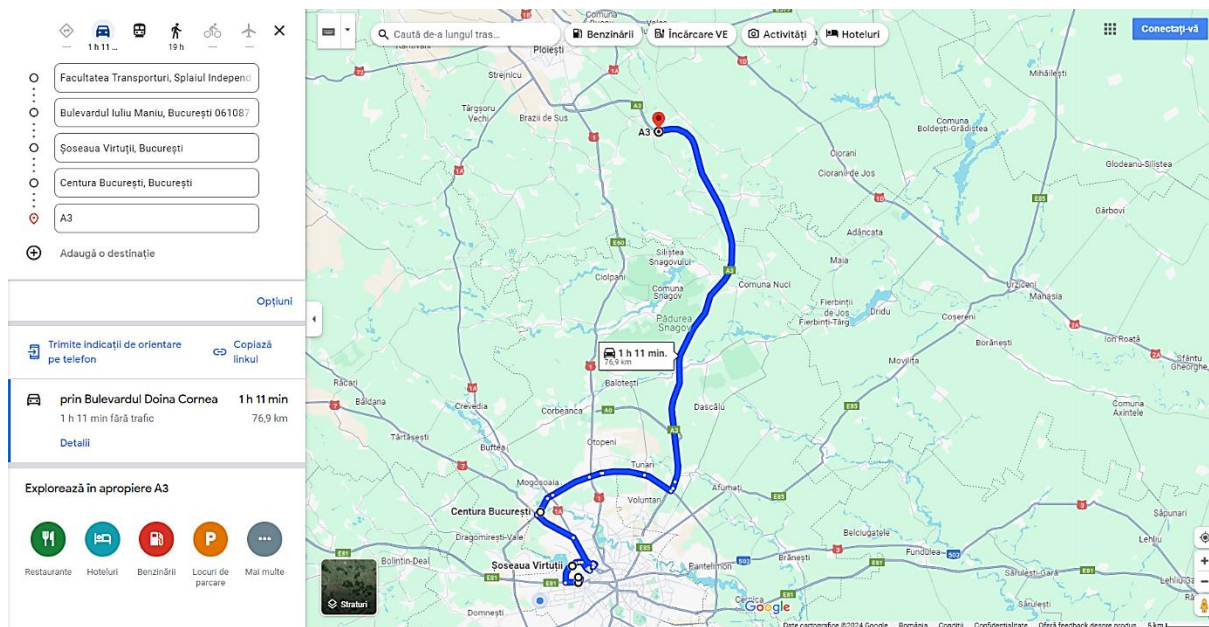


Figura 4.3. Harta traseului stabilit pentru încercări, [8].

În figura 4.4 este prezentată o imagine din timpul încercărilor experimentale din mediul urban alături autovehiculului Skoda Eniaq iV80:



Figura 4.4. Imagine din timpul încercărilor experimentale (stânga) / autovehiculul Skod Eniaq iV 80 (dreapta).

Comunicarea prin intermediul meniului GLOBAL OBD II permite monitorizarea simultană în timp real a cel mult opt mărimi selectate din listă, iar acest lucru a constituit o limitare pentru realizarea probelor deoarece trebuiau monitorizați mai mulți parametrii. În acest sens, s-a folosit o conexiune „Y” cu două mufe OBD mamă și una tată pentru a conecta în paralel un al doilea dispozitiv de măsurare prin care să se poată stoca și alți parametrii de interes. Dispozitivul ales a fost modulul ELM327 cu conexiune Bluetooth alături de aplicația pentru smartphone „CarScannerPro”. Astfel, folosind telefonul mobil și modulul ELM327, s-au extras prin dubla conexiune folosind conectorul „Y” și alte mărimi importante în studiul de bază al prezentei lucrări. Prin modulul KTS s-au extras următoarele mărimi:

- *Variația vitezei în timp*
- *Variația turației motorului electric în timp*
- *Cuplul motorului electric – opțiunea șoferului*
- *Starea de încărcare a bateriei în timp*
- *Variația tensiunii de lucru a bateriei de tracțiune*
- *Variația intensității curentului electric absorbit de invertor din bateria de tracțiune*
- *Energia consumată pe ciclul real realizat [kWh]*
- *Consumul de energie pe ciclul real realizat [kWh/100 km]*

Prin modulul ELM327, s-au extras și alte mărimi de interes pentru studiul propus în această lucrare și anume:

- *Puterea consumată de sistemele auxiliare aflate în funcționare pe parcursul rulării*
- *Energia consumată de sistemele auxiliare aflate în funcționare pe parcursul rulării*
- *Variația temperaturii mediului ambiant în timp*
- *Variația temperaturii interne a bateriei în timp*

## Rezultate experimentale obținute

În urma măsurătorilor experimentale, ciclul real realizat a avut o durată de 5676 secunde, deci aproximativ 95 minute, iar distanța totală parcursă pe traseul stabilit a fost de 77 km. Viteza medie în mediul urban a fost de 19,7 km/h, iar viteza maximă atinsă pe autostradă a fost de 131 km/h în conformitate cu legislația în vigoare. Prin respectarea tuturor regulilor de circulație și adaptarea vitezei de rulare în funcție de condițiile de trafic, s-a obținut următorul ciclu real de rulare fundamentat de condițiile specificate în regulamentul (UE) 1832/2018, Anexa III, prezentat în figura 4.5:

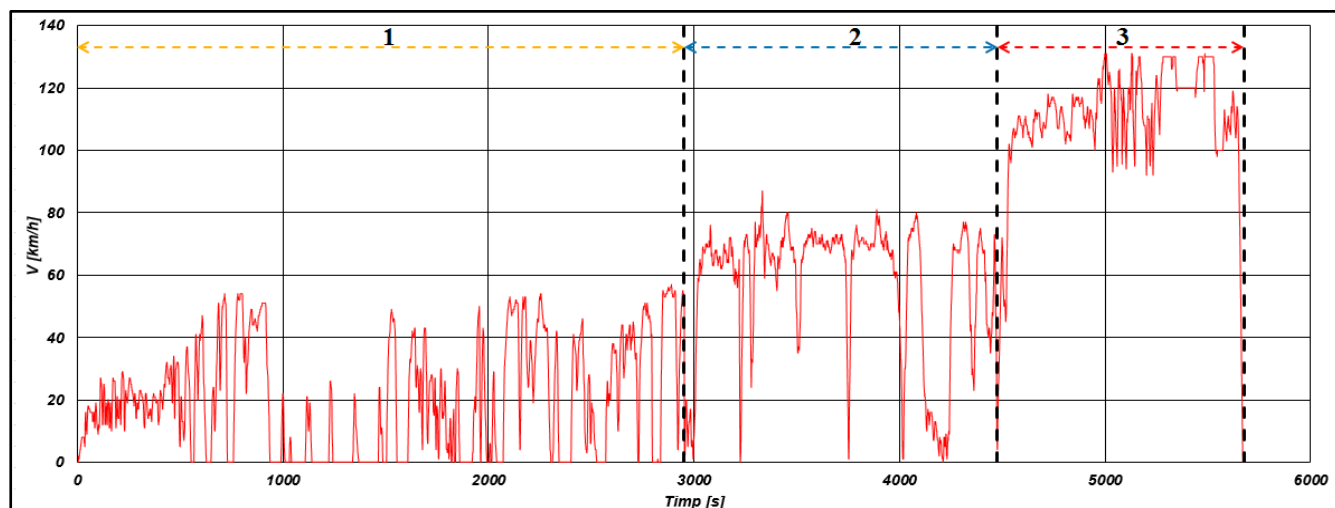


Figura 4.5. Ciclu real obținut din măsurători experimentale: 1 – Urban; 2 – Extra-urban (rural); 3 – Autostradă.

Prelucrarea datelor în Excel a permis și determinarea altor mărimi de interes ce caracterizează performanțele autovehiculului încercat respectiv accelerația și distanța parcursă pe ciclul propus (4.6 și 4.7):

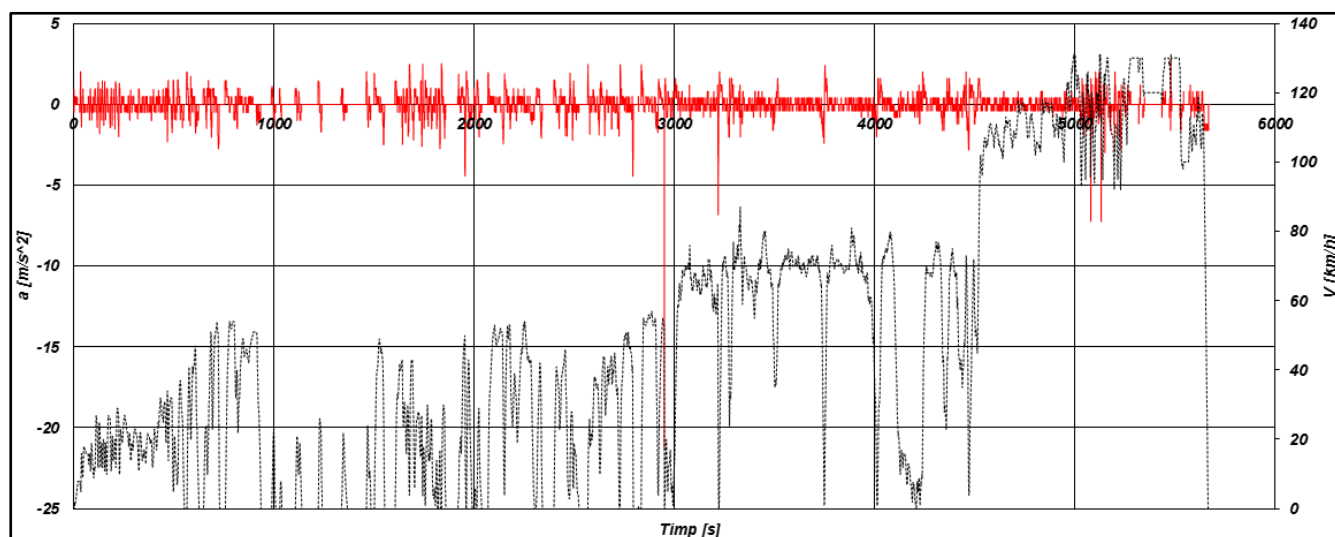


Figura 4.6. Variația accelerației pe parcursul ciclului propus.

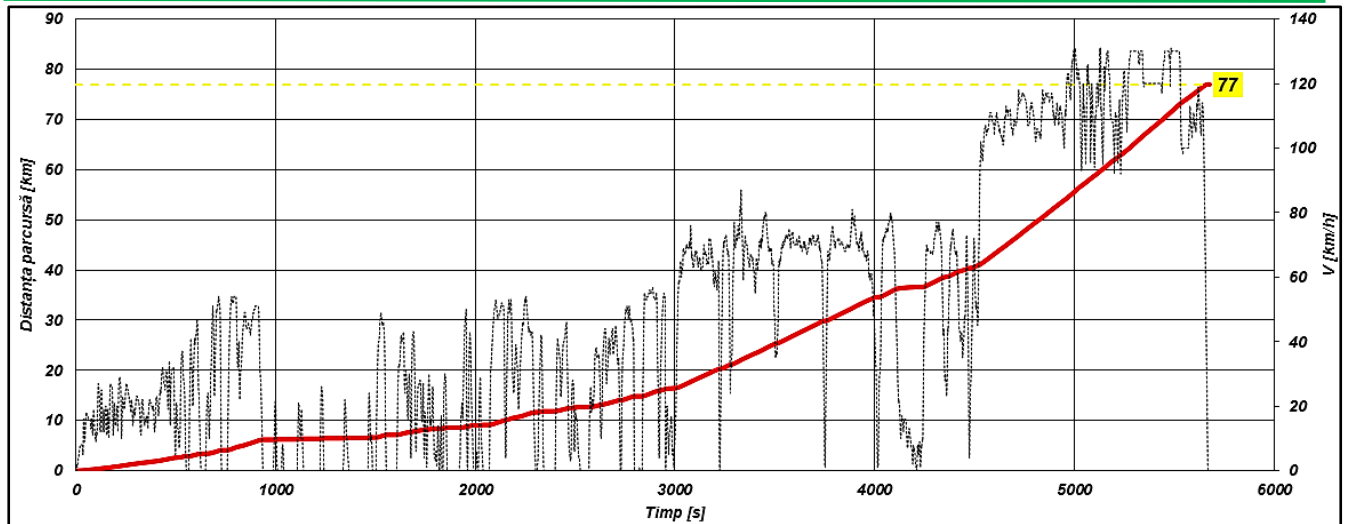


Figura 4.7. Distanța parcursă în timpul ciclului.

Distanța parcursă pe traseul stabilit a fost de **77 km**, iar accelerația maximă atinsă a fost de **2,81 m/s<sup>2</sup>**, în timp ce decelerația maximă a fost **-21,32 m/s<sup>2</sup>**, aceasta din urmă fiind influențată de apariția unui pieton într-o zonă cu vizibilitate redusă ceea ce a necesitat o frână bruscă și puternică.

În urma prelucrării rezultatelor obținute, s-a identificat turația corespunzătoare vitezei de 100 km/h în jurul valorii de **9620 rot/min** și valoarea maximă atinsă pe acest ciclu de **~12690 rot/min** ce corespunde vitezei de **131 km/h**.

De asemenea, se observă că cerința de cuplu a fost superioară în mediul urban unde viteza de rulare a fost mică, accelerațiile având valori mari, iar valorile turației nu depășesc cu mult valoarea de **4500 rot/min**, valoare ce reprezintă turația de bază din caracteristica mecanică a motorului electric.

Pe lângă mărimile specifice motorului electric, s-au măsurat caracteristicile principale ale bateriei de tracțiune și anume: starea de încărcare, tensiunea de lucru și curentul de descărcare:

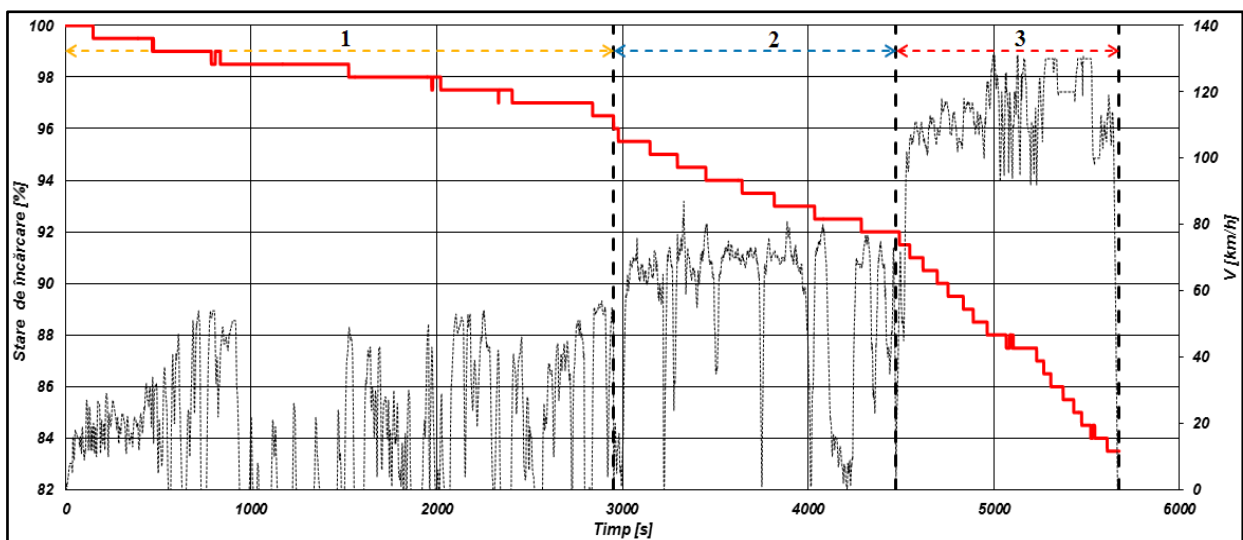


Figura 4.8. Variația stării de încărcare a bateriei.

Starea de încărcare a bateriei în momentul începerii ciclului de rulare a fost de  $100\%$ , după o încărcare controlată și un timp suficient pentru stabilizare. Pe porțiunea de rulare în mediul urban, starea de încărcare s-a diminuat cu  $3,5\%$ , deci a ajuns la  $96,5\%$ , după care pe porțiunea de rulare extra-urbană s-a mai diminuat cu încă  $4,5\%$ , însemnând deci  $92\%$  și în final pe porțiunea de rulare în regim de autostradă, acolo unde vitezele au fost superioare, stare de încărcare a scăzut la  $83,5\%$ , deci cu încă  $8,5\%$  moment în care autovehiculul a fost oprit, iar măsurătorile încheiate. Astfel, pe traseul ales starea de încărcare a bateriei a scăzut cu un total de  $16,5\%$  (figura 4.8).

Energia totală consumată pe durata ciclului de rulare a fost o altă mărime măsurată și înregistrată, iar variația acesteia este reprezentată în figura 4.9. După parcurgerea traseului și finalizarea ciclului de măsurare s-a obținut valoarea de  $16,77 \text{ kWh}$ , energie consumată pentru parcurgerea celor  $77 \text{ km}$ .

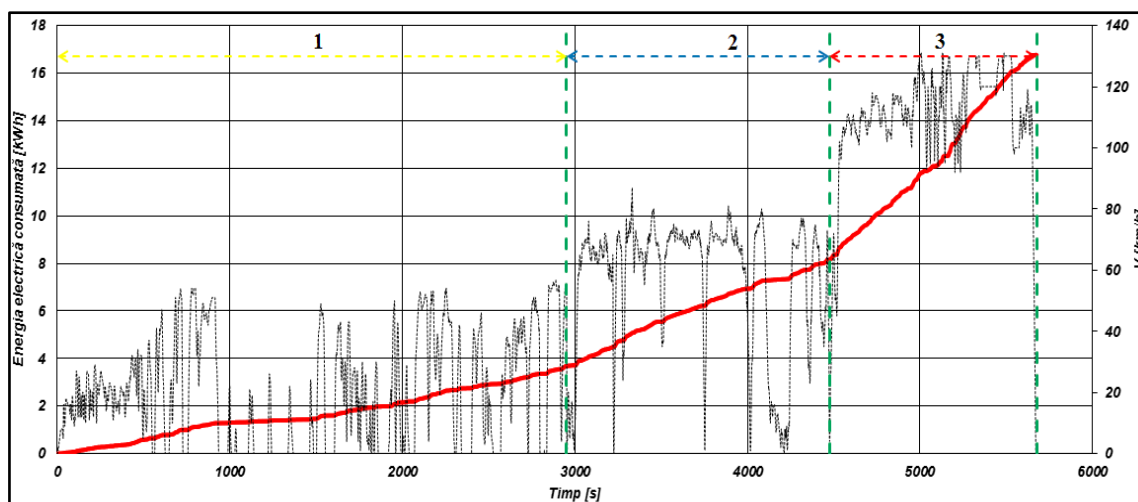


Figura 4.9. Variația energiei electrice.

Totodată s-a înregistrat și variația consumului de energie pe traseul stabilit, iar valoarea obținută a fost de  $21,78 \text{ kWh}/100 \text{ km}$ . Variația consumului de energie electrică se poate observa în figura 4.10:

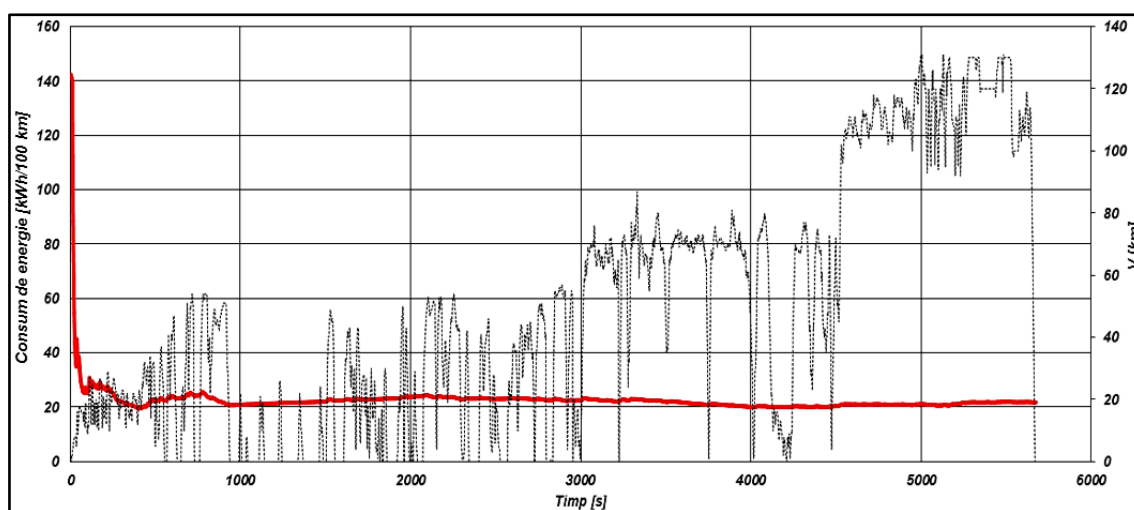


Figura 4.10. Variația consumului de energie electrică.

Pentru un studiu cât mai detaliat al performanțelor de consum, un alt parametru extrem de important ce a fost măsurat pe durata ciclului a fost puterea absorbită de consumatorii auxiliari. Pe



parcursul ciclului de rulare, s-au folosit luminile de zi și sistemul de climatizare setat la o temperatură de 22°C, iar ventilatorul a fost setat pe „poziția 2”. Sistemul audio, precum și alți consumatori nu au fost puși în funcțiune în această perioadă. Astfel, variația puterii consumate de sistemele auxiliare este prezentată în figura 4.11:

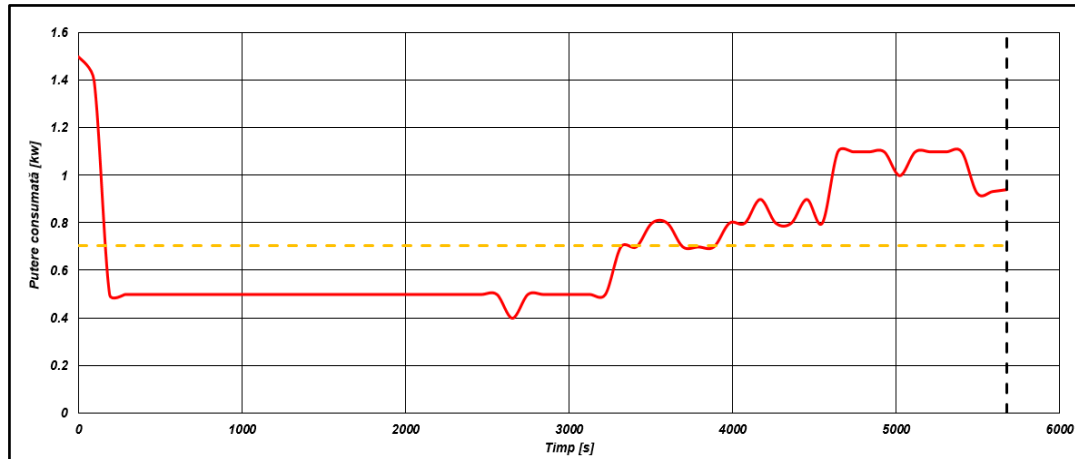


Figura 4.11. Puterea absorbită de consmatorii auxiliari.

Valoarea medie a puterii consumate de sistemele auxiliare aflate în funcțiune pe parcursul ciclului de rulare a fost de **0,7 kW** din care a rezultat o energie de **1,103 kWh**. Un avantaj important de menționat prin achiziția acestor valori este faptul că modelul de simulare dezvoltat poate fi optimizat și se va ține cont în modelarea și simularea performanțelor energetice de această pierdere de energie datorată consumatorilor auxiliari.

### Comparație între măsurătorile experimentale și rezultatele obținute prin modelare și simulare

Principala mărime de interes este viteza de deplasare a autovehiculului de-a lungul ciclului propus. În figura 4.12 este reprezentată grafic caomparația între cele două profile, cel real (măsurat) și cel simulat:

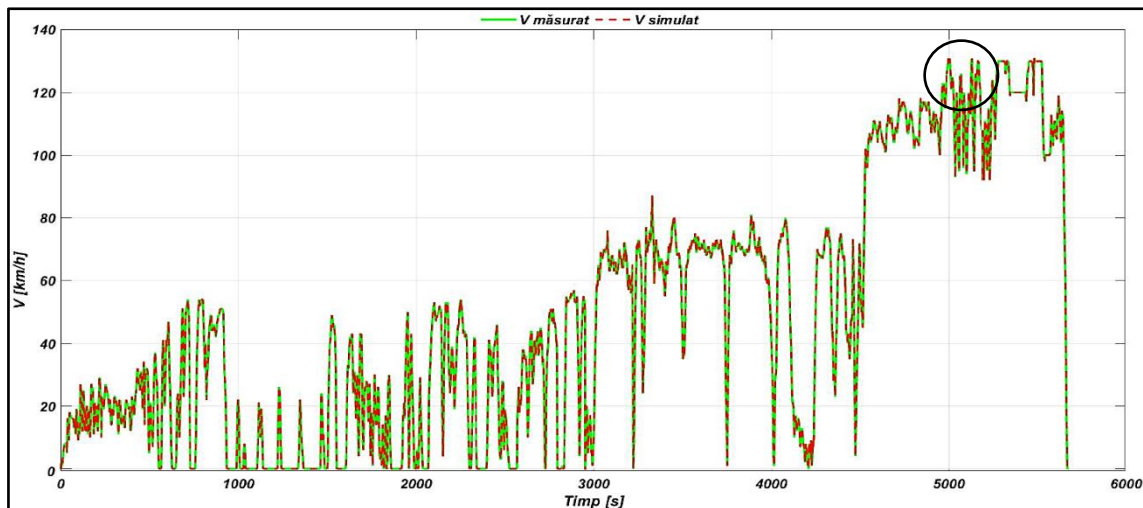


Figura 4.12. Suprapunerea profilelor de viteză.

În conformitate cu [3] se admite și se acceptă o abatere a profilului de viteză în raport cu cel de referință cu o marjă de  $\pm 2$  km/h. În acest sens s-a urmărit verificarea acestei abateri în mai multe puncte ale diagramei din figura 4.12 și s-a identificat o zonă unde abaterea maximă a fost de + **0,15 km/h**, iar minimă de - **0,2 km/h**, valori care respectă intervalul din regulament. În figura 4.13 se prezintă detaliul cu privire la abaterea celor două profile de viteză:

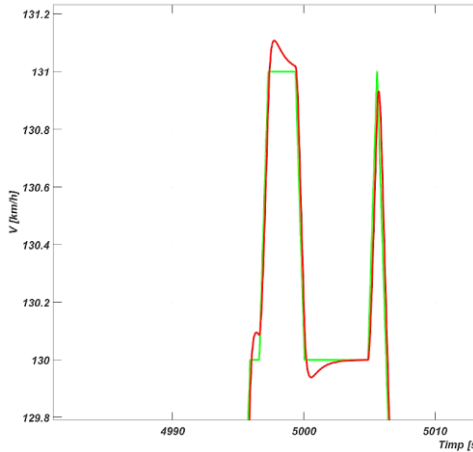


Figura 4.13. Detaliu privind abaterea dintre cele două profile de viteză.

S-a constatat faptul că accelerația simulată urmărește foarte bine punctele profilului real cu excepția unor zone care reprezintă cca. 5% din grafic și anume momentul decelerației maxime pe ciclul real, atunci când a existat o situație neprevăzută, iar pilotul a fost nevoit să acționeze pedala prompt și puternic, iar în cazul simulării, timpul de răspuns al subsistemului „Șofer” prin intermediul regulatorului PID a generat acea inadvertență producând o decelerație de  $\sim -12,5 \text{ m/s}^2$ , respectiv punctele de creștere a vitezei pe ciclul real, acolo unde setările privind valoarea maximă și minimă a blocului „Saturation” din comanda motorului au limitat accelerația.

În cazul profilului real, turația maximă a fost **12689 rot/min**, iar din simulare a rezultat o valoare de **12696 rot/min** ceea ce înseamnă o eroare de **0,06%**, generată și influențată tot de către setările aferente subsistemului „Șofer” în zona comenzii motorului electric.

Studiul comparativ pentru stare de încărcare a bateriei și pentru variația energiei consumate pe parcursul ciclului sunt prezentate în figurile 4.14 și 4.15:

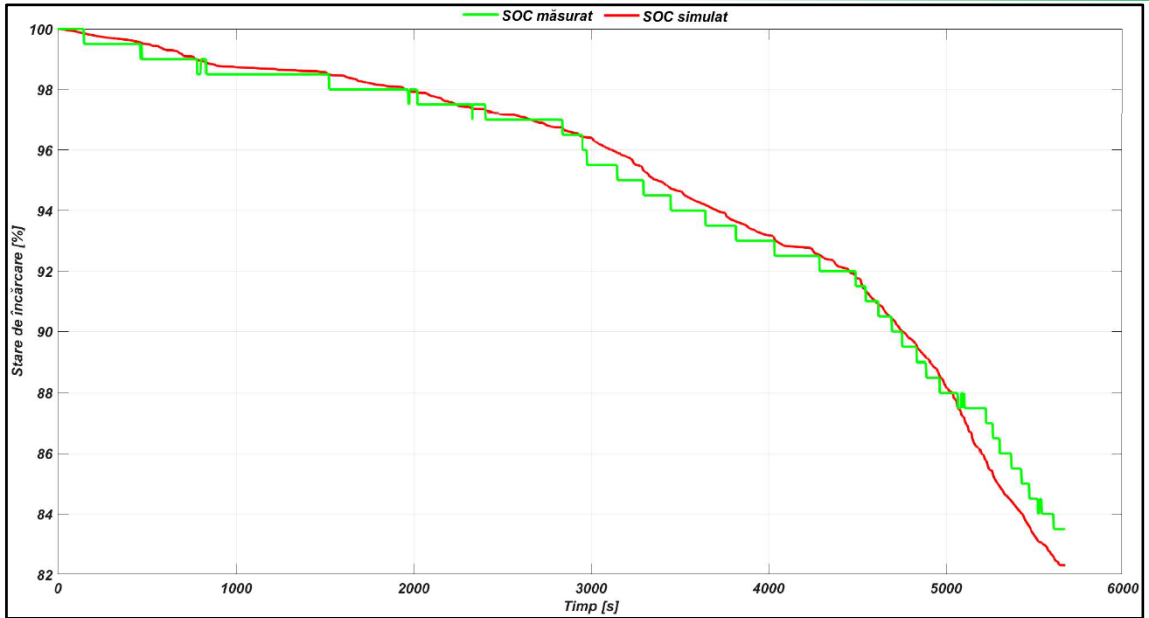


Figura 4.14. Suprapunerea stării de încărcare.

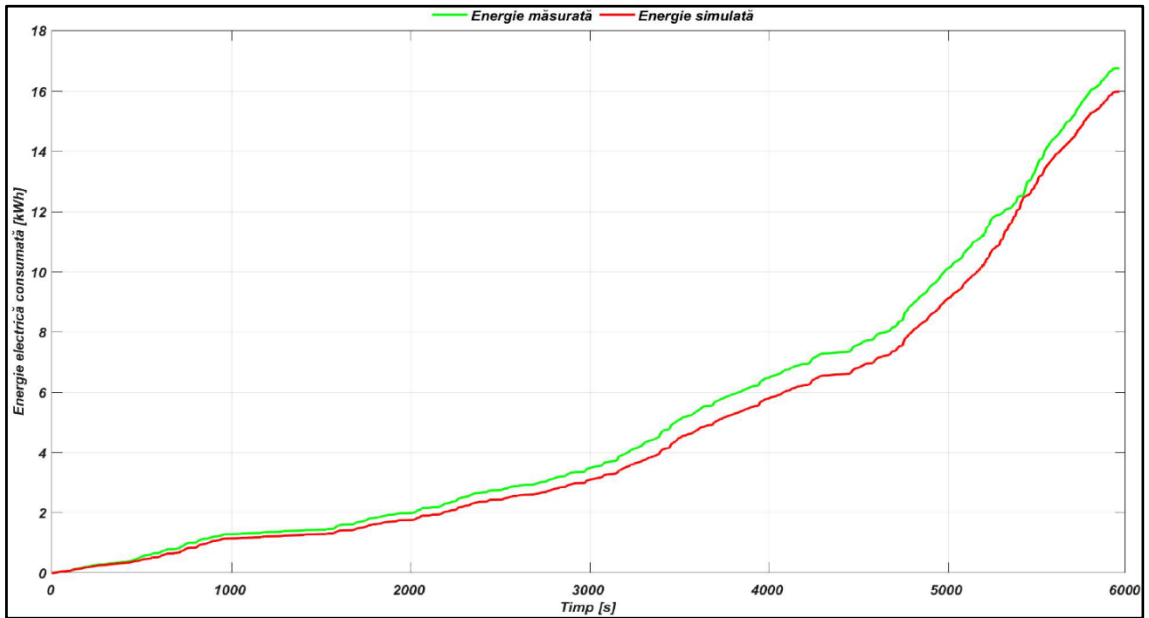


Figura 4.15. Suprapunerea energiei consumate.

În ceea ce privește starea de încărcare a bateriei, valorile finale obținute atât prin măsurare, cât și prin simulare sunt extrem de apropiate: **83,5% - real (măsurat)** și **82,31% - din simulare**. Din punct de vedere al energiei consumate pe parcursul ciclului de rulare, valoarea măsurată în conformitate cu variația în timp a fost de **16,77 kWh**, în timp ce din simulare a rezultat **15,99 kWh**, deci o diferență de **0,78 kWh** între cazul real și simulare din care rezultă o eroare de **4,65%**.

De asemenea, s-a realizat o comparație între consumul specific măsurat și cel rezultat din simulare din care s-au obținut următoarele valori: **21,78 kWh/100km - real (măsurat)** și **20,76 kWh/100km - din simulare**, situație în care a rezultat o eroare de **4,68%**. Variația comparativă a consumului de energie este redată în figura 4.39:

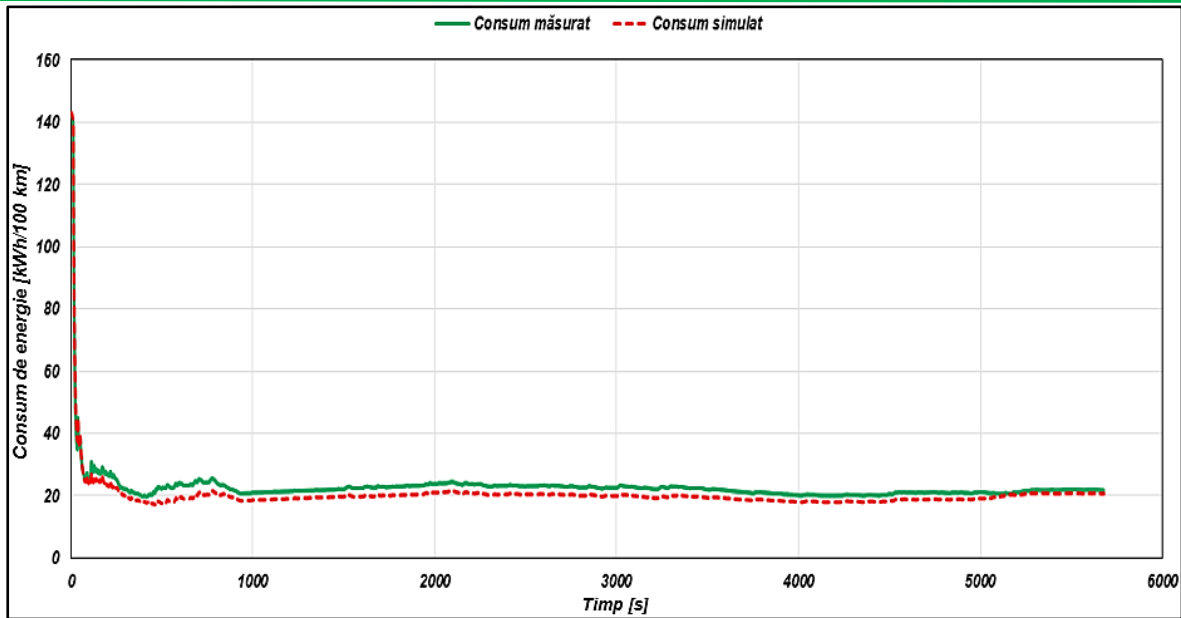


Figura 4.16. Suprapunerea consumului.

În [7] unde se prezintă valorile consumului în funcție de regimul de rulare și de zonă, o medie a consumului de energie electrică între rularea în oraș (mediul urban), extra-urban și autostrada este de **22,9 kWh/100km**, astfel încât rezultă o diferență de **1,12 kWh/100km** între valoarea de referință prezentată în analiza respectivă și ciclul propus în această lucrare, care a vizat de asemenea toate cele trei zone de rulare, iar consumulul obținut a fost: **21,78 kWh/100km - real (măsurat)**, rezultă astfel o diferență de **4,89%**.

Așadar, conform rezultatelor obținute din simulare, comparativ cu cele măsurate, erorile rezultate sunt sub 5%, iar mărimile modelului urmăresc foarte bine valorile reale, cu mici inadvertențe generate evident de precizia subsistemelor dezvoltate, de anumite setări din opțiunile programului cu privire la pasul ales, la tipul de solver, precum și de anumite condiții ce nu se pot fizic modela sau simula asemănător cu realitatea din trafic.

Modelul realizat poate astfel constitui un instrument de studiu al performanțelor dinamice și energetice ale autovehiculelor electrice, cu precădere în cazul autoturismelor și vehiculelor utilitare de mici dimensiuni.

## BIBLIOGRAFIE

1. \*\*\* Program de studiu individual - SSP (PDF) – Skoda ENIAQ, catalog Service , nepublicat.
2. Regulamentul (UE) 2017/1151 al COMISIEI din 01.06.2017, accesibil la <https://eur-lex.europa.eu/search.html?scope=EURLEX&text=2017%2F1151&lang=en&type=quick&qid=1709127536185>, ultima accesare la 28.02.2024.
3. Regulamentul (UE) 2018/1832 al COMISIEI din 05.11.2018, accesibil la <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A32018R1832#d1e39-105-1>, ultima accesare la 28.02.2024.
4. Robert Bosch GmbH KTS, „560/590 (KTS 5a series) Module for control unit diagnosis”, 1 689 989 223, 24.09.2021, accesibil la [http://mediathek.bosch-automotive.com/files/bosch\\_wa/989/223.pdf?\\_gl=1\\*q6h7u\\*\\_ga\\*NDY5MTIzNzgwLjE2OTY5NDUwMzk.\\*\\_ga\\_913VVKMZ46\\*MTcwNzIyNjUxMC40LjEuMTcwNzIyNjUyMS4wLjAuMA](http://mediathek.bosch-automotive.com/files/bosch_wa/989/223.pdf?_gl=1*q6h7u*_ga*NDY5MTIzNzgwLjE2OTY5NDUwMzk.*_ga_913VVKMZ46*MTcwNzIyNjUxMC40LjEuMTcwNzIyNjUyMS4wLjAuMA), ultima accesare la 28.02.2024.
5. \*\*\* <https://www.flexihub.com/oobd2-pinout/>, ultima accesare la 08.02.2024.
6. \*\*\* <https://www.evspecs.org/tech-specs/skoda/enyaq-iv/80>, ultima accesare la 28.02.2024.
7. \*\*\*[https://www.automobile-catalog.com/auta\\_perfl.php#gsc.tab=0](https://www.automobile-catalog.com/auta_perfl.php#gsc.tab=0), ultima accesare la 28.02.2024.
8. \*\*\*<https://www.google.com/maps/dir/Facultatea+Transporturi,+Splaiul+Independen%C8%9Bei+313,+Bucure%C8%99ti+060042/44.434564,26.0525023/44.4500898,26.0439699/44.5011509,26.001602/44.8602648,26.1589277/@44.6363703,26.1029962,10.5z/data=!4m12!4m11!1m5!1m1!1s0x40b201c22627580f:0x3d80a5d14830a769!2m2!1d26.0526221!2d44.4396374!1m0!1m0!1m0!1m0!3e0?entry=ttu>, ultima accesare la 16.03.2024.
9. \*\*\*<https://ev-database.org/car/1280/Skoda-Enyaq-iV-80>, ultima accesare la 27.03.2024.

## CAPITOLUL V. CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII PERSONALE. DISEMINAREA REZULTATELOR

### Concluzii finale

Principalele concluzii rezultate în urma cercetărilor teoretice și experimentale din cadrul tezei de doctorat sunt:

- ❖ Tendințele actuale arată o creștere la nivel global al numărului de autovehicule electrice, iar factorii negativi precum infrastructura, timpul de încărcare sau autonomia încep să capete rezolvări prin care să i se permită autovehiculului electric să se răspândească puternic mai ales la nivel de autoturisme (categoria M1) și autoutilitare ușoare (categoria N1);
- ❖ Prin analiza detaliată a modelelor actuale de autovehicule electrice s-a constatat o flexibilitate arhitecturală mare care permite dezvoltarea unei game largi de soluții de organizare a acestora;
- ❖ Ciclul real propus a fost utilizat într-o perioadă cu temperaturi scăzute, aspect care a constituit un factor de influență negativ asupra performanțelor energetice;
- ❖ Profilul de viteză rezultat experimental a fost influențat de stilul de condus al pilotului și totodată de porțiunile alese pentru realizarea ciclului, dar mai ales limitele de viteză în vigoare conform legii din România;
- ❖ În zona extra-urbană și anume șoseaua de centură a capitalei, partea de nord acolo unde limitele de viteză au permis realizarea celei de-a doua faze a ciclului unde viteza de rulare a putut fi menținută în intervalul *60...90 km/h*, au existat totuși porțiuni unde au fost necesare decelerări până la viteze foarte mici, sau uneori chiar până la oprire acolo unde s-au întâlnit treceri de pietoni sau sensuri giratorii;
- ❖ În urma măsurărilor experimentale s-a constatat faptul că la rularea în mediul urban, pe cca. *18 km* parcurși starea de încărcare a bateriei a scăzut cu *3,5 %*,
- ❖ La deplasarea cu viteze sub *60 km/h*, cu o viteză medie de *19,7 km/h* și frânări scurte și dese datorită existenței semafoarelor și a intersecțiilor aglomerate, starea de încărcare a resimțit ușoare creșteri generate de frânarea regenerativă, ceea ce demonstrează din punct de vedere practic, faptul că un autovehicul electric se pretează extrem de bine pentru rularea în mediul urban;
- ❖ Deplasarea pe autostradă în regim de viteză mare a produs o reducere cu *8,5%* a stării de încărcare deci de *2,5* ori mai mare decât în mediul urban, ceea ce demonstrează faptul că viteza de deplasare constituie un factor principal de influență asupra performanțelor energetice ale autovehiculelor electrice;
- ❖ Prin analiza comparativă dintre rezultatele obținute experimental și cele din simulare au rezultat erori cuprinse între *0...5 %*, ceea ce conferă modelului de simulare un grad ridicat de încredere în utilizarea sa pentru alte studii mai complexe;

- ❖ Diferențele dintre valorile obținute experimental și cele din simulare folosind profilul de viteză real sunt generate de faptul că anumite condiții și situații întâlnite în realitate nu pot fi 100% implementate într-un model matematic de simulare;
- ❖ Prin implementarea transmisiei cu două trepte în cazul unui autovehicul electric utilitar a rezultat o reducere a consumului de energie cu maxim 2% față de cazul transmisiei cu o treaptă;
- ❖ S-a pus în evidență faptul că implementarea transmisiei cu două trepte generează o îmbunătățire semnificativă a performanțelor dinamice;
- ❖ Cercetările realizate în cadrul tezei cu privire la influența coeficientului de rezistență la rulare asupra performanțelor energetice au scos în evidență impactul semnificativ pe care acesta îl are asupra consumului de energie și asupra autonomiei autovehiculului;
- ❖ Prin simulare s-a pus în evidență faptul că încărcarea autovehiculului influențează performanțele energetice și autonomia pe parcursul ciclului de rulare. În exemplul prezentat în teză s-a înregistrat o creștere cu 10,5% a consumului de energie și o scădere a autonomiei cu 12,85%;
- ❖ Cercetările experimentale cu privire la variația regimului termic față de cazul în care acesta s-a considerat constant, au scos în evidență faptul că starea de încărcare a bateriei a scăzut pe ciclul WLTC cu 5,32%, iar pe ciclului real cu 2,56%;
- ❖ În urma cercetărilor experimentale, precum și a simulărilor a rezultat faptul că modul de exploatare al unui autovehicul electric influențează considerabil autonomia reală a acestuia;

### **Contribuții personale**

Cercetările teoretice realizate prin modelare-simulare și cercetările experimentale scot în evidență o serie de contribuții personale ale autorului dintre care se menționează:

- Realizarea unui studiu complex cu privire la tendințele actuale și viitoare legate de evoluția autovehiculelor electrice la nivel mondial corelat cu principalele limitări existente în acest moment și posibilele soluții pentru eliminarea lor.
- Prezentarea detaliată a soluțiilor actuale existente pe piața autovehiculelor electrice la nivel mondial corelat cu soluțiile inovative propuse de producători pentru viitorul apropiat.
- Analiza flexibilității arhitecturale și a diversității constructive de care dispun autovehiculele electrice în momentul de față.
- Realizarea unor scheme constructive de principiu care reflectă soluțiile de organizare generală a unui autovehicul electric.
- Alegerea și implementarea unui traseu format din trei faze: urban, extra-urban și autostradă pentru realizarea cercetărilor experimentale, care să respecte condițiile impuse de regulamentul în vigoare.

- Determinarea experimentală a performanțelor dinamice și energetice ale unui autovehicul electric de tip SUV în condiții reale folosind un echipament specializat în diagnosticarea unui autovehicul.
- Elaborarea unui model matematic original folosind programul de modelare-simulare MATLAB-Simulink care să permită analiza performanțelor dinamice și energetice ale unui autovehicul electric, în special din categoriile M1 și N1 folosind un ciclu real de rulare sau unul standardizat (în prezenta lucrare: WLTC și NEDC).
- Validarea modelului elaborat prin analiza comparativă a rezultatelor obținute prin simulare cu cele obținute experimental în condiții reale.
- Punerea în evidență a principalelor posibilități și avantaje oferite de modelul dezvoltat pentru programul de modelare-simulare MATLAB-Simulink și utilitatea acestei metodologii pentru activitatea de optimizare și dezvoltare a autovehiculelor electrice.
- Elaborarea unui studiu folosind modelul de simulare cu privire la factorii principali de influență asupra performanțelor dinamice și energetice ale autovehiculelor electrice și identificarea unor soluții de optimizare aplicabile în practică.
- Analiza comparativă prin simulare a performanțelor dinamice și energetice ale unui autovehicul electric SUV la rulare pe un ciclu real și pe diferite cicluri de încercare standardizate.
- Prin multitudinea rezultatelor obținute folosind modelul de simulare în concordanță cu anumiți factori interni și externi de influență s-a dezvoltat un instrument de cercetare a performanțelor autovehiculelor electrice ce poate fi utilizat de către specialiștii în domeniu elaborarea unor studii viitoare cu rol de optimizare sau dezvoltare a autovehiculelor electrice.

### **Diseminarea rezultatelor**

Pe parcursul celor trei ani destinați studiilor doctorale s-au elaborat mai multe lucrări prezentate la diferite conferințe naționale și internaționale, respectiv în reviste de specialitate despre performanțele autovehiculelor electrice, precum și despre etapele elaborării modelului de simulare conceput. Din aceste lucrări, **6** au fost realizate ca prim autor, iar **3** din postura de coautor după cum urmează:

1. Danciu, Gr., **Ancuța, A.A.** „*Optimisation Analysis of the Hybrid Vehicles Powertrain*” – Congresul EV2019. Publicată în IEEE Xplore la 11.11.2019 – Cod 19136028, accesibilă la <https://doi.org/10.1109/EV.2019.8893117>.
2. **Ancuța, A.A.**, Danciu, Gr., Frățilă G. „*Modeling and simulation of an electric propulsion system equipped with Fuel Cell*” – Conferința AITS 2021, Universitatea Tehnică din Chișinău. Publicată în *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1220 012011*, DOI 10.1088/1757-899X/1220/1/012011.
3. **Ancuța, A.A.**, Voloacă, Ș., Danciu, Gr., Frățilă G. „*Modeling the characteristics of an electric propulsion system for a small electric vehicle*” – Congresul ICOME, Universitatea din Craiova, Facultatea de Mecanică, 2022.



4. **Ancuța, A.A.**, Voloacă, Ș., Danciu, Gr., Frățilă G. „*Simulation of the Parameters of a Lithium-Ion Battery that Equips an Electric Vehicle*” – Congresul EAEC-MVT, Universitatea din Timișoara, 2022.
5. Mînzatu, C., Nișulescu, V., Bancă, G., Toma, M., Rențea, C., **Ancuța, A.A.** „*Research Regarding The Simulation Of The Autonomy For The Electric Vehicles In The Case Of The WLTC Test Cycle*” – Congresul EAEC-MVT, Universitatea din Timișoara, 2022.
6. Voloacă, Ș., Toma, M., **Ancuța, A.A.** – „*The Optimization of a Cost-Effective Journey Data Recorder Used in the Automotive Industry*” – publicată în Revista Ingineria Automobilului Nr.66, martie 2023, ISSN 1842-4074, WOS:001156834100007.
7. **Ancuța, A.A.** „*Analysis of Thermal Influence on the Operation of a Li-Ion Battery Used by an Electric Vehicle*” – 46<sup>th</sup> International Spring Seminar on Electronic Technology (ISSE, 10-14 Mai 2023, Timișoara, Romania) publicată în IEEE Xplore, DOI: <https://doi.org/10.1109/ISSE57496.2023.10168455>, ISBN 979-8-3503-3484-5, ISSN 2161-2536.
8. **Ancuța, A.A.**, Voloacă, Ș., Frățilă G., Danciu, Gr. „*Analysis of Energetic and Traction Performances for an Electric Vehicle in Real Driving Conditions*” – Congresul EAEC-ESFA, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București, Noiembrie 2023. Publicată în *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1303 012006*, DOI 10.1088/1757-899X/1303/1/012006.
9. **Ancuța, A.A.**, Rențea, C.A. „*The Influence Of The Two-Speed Transmission On The Performances Of An Commercial Electric Vehicle*” – publicată în Revista Ingineria Automobilului Nr. 70, martie 2024, ISSN 1842-4074.

#### **Participări la diferite activități cu legături în domeniu:**

- Speaker la conferința „**Green Vehicles**” din cadrul festivalului *POLI AUTOFest 2022* cu prezentarea „*Current Status and Trends Regarding the Evolution and Development of Electric Vehicles*”.
- Speaker în dezbaterile „**Vehiculul Electric**” din cadrul festivalului *POLI AUTOFest, 19 mai 2023* având ca tematică situația prezentă și perspectiva de viitor cu privire la răspândirea autovehiculelor electrice.
- Coordinator de grup, specialist în domeniul autovehiculelor electrice în cadrul participării la vizita de studiu a fabricii TESLA: Giga Factory Berlin – mai 2023.