



Universitatea
Transilvania
din Brașov

TEZĂ DE ABILITARE

Titlu:

**Contribuții la optimizarea proceselor și eficienței sistemelor
autovehiculelor prin simulare computerizată**

Domeniul: Ingineria Autovehiculelor

Autor: Conf. Dr. Ing. Dan MOLDOVANU

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

BRAȘOV, 2025

CUPRINS

Mulțumiri	2
Abrevieri.....	3
(A) Summary.....	5
(B) Realizări științifice și profesionale și planuri de evoluție și dezvoltare a carierei.....	6
Realizări științifice	6
Realizări profesionale.....	6
Realizări academice.....	7
Introducere	7
Capitol 1. Contextul Tezei de Abilitare	8
Capitol 2. Direcții de Cercetare și Competențe Dobândite	10
Capitol 3. Contextul Cercetărilor Elaborate	14
3.1. Simularea proceselor funcționale ale M.A.I.....	14
3.2. Simularea subsistemelor vehiculului.....	46
3.3. Modelarea și simularea vehiculelor electrice	53
3.4. Modelarea și simularea tehnologiilor cu pile de combustie cu hidrogen aplicate vehiculelor electrice	65
(B-ii) Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei.....	71
Obiective de carieră pe termen scurt:	71
Obiective de carieră pe termen lung:.....	71
Concluzii finale	73
(B-iii) Bibliografie.....	75
Lista de lucrări indexate în Web of Science.....	77
Lucrări indexate în Scopus (și nu au fost indexate în Web of Science).....	79
Lista figurilor.....	80
Lista tabelelor.....	81

Mulțumiri

Doresc să adresez mulțumiri în primul rând familiei care mi-a oferit tot timpul suport și susținere.

De asemenea aș dori să mulțumesc tuturor colegilor din cadrul Departamentului de Autovehicule Rutiere și Transporturi pentru munca constructivă care a dus la formarea mea personală și profesională.

Conf.Dr.Ing. Dan MOLDOVANU

Abrevieri

3D – tridimensional
Cfu, CPr - coeficienți empirici
I - curentul electric
k - constanta lui Peukert
R – rezistența
L - inductanța
t – timp
tR - scala de timp de amestecare turbulentă pentru reacție
vmin - viteza minimă
vmax - viteza maximă
vavg - viteza medie
 η_{th} - eficiența modulului termoelectric
°RAC – grade rotație arbore cotit
ADAS – sisteme avansate de asistență a soferului
AFC - celule de combustie alcaline
APb - tehnologie baterie acid-plumb
B10 (20, 50) – procent de metil ester de rapiță în volumul total de combustibil
BEB - autobuze electrice cu baterie
CFD – analiza numerică a curgerii fluidelor
CO – monoxid de carbon
D - diesel
DCT – transmisie cu dublu ambreiaj (Dual Clutch Transmission)
Eddy Break-up - model de ardere
EV – vehicul electric
EMF - forța electromotoare
F – fracție combustibil
FCEB - autobuze electrice cu celule de combustibil
GDI – injecție directă de benzină (Gasoline Direct Injection)
HC – hidrocarburi
LDV – vehicul ușor (Low Duty Vehicle)
LES - Lotus Engine Simulation
Li-ion – tehnologie bateriei litiu-ion
Li-Air – tehnologie baterie litiu-aer
LiCoO₂ - tehnologie baterie litiu-cobalt
LiFePO₄ - tehnologie baterie litiu-fier-fosfat
M.A.I. – Motor cu ardere internă
M.A.C. – Motor cu aprindere prin comprimare
M.A.S. – Motor cu aprindere prin scânteie
MCFC - celule de combustie cu carbonat topit
NiMH – tehnologie baterie nichel metal hidrid
NO_x – oxizi de azot
NUC – coeficient de uniformitate a orificiului injector (Nozzle Uniformity Coefficient)
O – fracție oxidant
P – produse de reacție
PI – controler proporțional integrator
PAFC- celule de combustie acid fosforic

PEM - celulă de combustie cu schimb de protoni
RME - metil ester de rapiță (Rapeseed Methyl Ester)
SOC - starea de încărcare a bateriei
SOH - starea de sănătate a bateriei
SOFC - celule de combustie cu oxid solid
TEG – generator termoelectric (Termoelectric Generator)
TEM – modul termoelectric
VCO – tip orificiu injector (Valve Covering Orifice)
WLTC – ciclul standard de încercări

(A) Summary

This habilitation thesis constitutes a synthesis of the scientific, professional, and academic activity undertaken by the author in the field of Automotive Engineering, with a distinct focus on the application of numerical simulation methods as essential tools for optimizing functional processes, increasing energy efficiency, and supporting the transition towards sustainable propulsion systems. The main aim of this thesis is to validate and consolidate the author's original contributions to research, while also presenting a coherent and structured account of the academic and scientific career trajectory in line with current standards in higher education and applied research.

The structure of the thesis follows a logical and thematic progression, beginning with a concise overview of its essential elements in Section (A) Summary, which offers a synthetic perspective on the author's contributions, the pursued research directions, and the prospective development plans. This is followed by Section (B), which contains the core elements of the thesis and is divided into several subsections. Subsection (B-i) includes the presentation of scientific, professional, and academic achievements, aiming to highlight the author's formative path and the activity carried out within specialized research institutions and multidisciplinary collaborations. These accomplishments provide a coherent framework that supports the development of expertise in the field of vehicle engineering with direct applicability to both academic and industrial contexts.

Building on this foundation, the present introduction sets the stage for the content developed across the three main chapters of the thesis. Chapter 1 contextualizes the habilitation thesis in relation to the objectives of the habilitation process, emphasizing the academic and professional criteria it must meet, particularly in terms of independent research capacity and doctoral supervision potential. Chapter 2 details the research directions and competencies acquired through scientific activity, with particular emphasis on the integrated approach to simulating complex engineering processes. This has been achieved through the use of advanced software platforms (such as AVL BOOST, AVL FIRE, MATLAB/Simulink, and Lotus Engine Simulation) and experimental validation performed in dedicated centers such as EMARC and TestEcoCel. Chapter 3 is devoted to the presentation of scientific results obtained in four main research directions: the simulation of functional processes of internal combustion engines, the simulation of vehicle subsystems, the modeling and simulation of electric vehicles, and the integration of hydrogen fuel cell technologies in electric vehicle applications.

Based on these contributions, Subsection (B-ii) outlines the author's career development and future evolution plans. Clear short-term and long-term objectives are formulated, aligned with the dynamic nature of the field, the societal demand for sustainable mobility, and the priorities of European research in the context of energy transition. The author expresses a strong commitment to expanding the research scope, consolidating institutional partnerships, developing international academic networks, and promoting innovative teaching methodologies to support the formation of a new generation of researchers.

Finally, Subsection (B-iii) gathers the relevant bibliography, offering a detailed view of the international visibility and impact of the author's published research. It includes lists of indexed papers in Web of Science and Scopus, highlighting the consistency and quality of the scientific contributions. The lists of figures and tables complement the final section of the thesis, serving as a useful reference for navigating the technical content.

Overall, this habilitation thesis demonstrates not only the author's scientific and academic maturity but also a strategic vision centered on sustainability, interdisciplinarity, and research excellence. It contributes to the consolidation of a modern, efficient engineering culture aligned with the current and future challenges of the mobility sector.

(B) Realizări științifice și profesionale și planuri de evoluție și dezvoltare a carierei

(B-i) Realizări științifice și profesionale

Realizări științifice

Conf. Dr. Ing. Dan Moldovanu are o activitate prolifică în cercetare, cu numeroase lucrări publicate în reviste de prestigiu indexate ISI și Scopus. A contribuit semnificativ la dezvoltarea cunoștințelor în domeniul motoarelor cu ardere internă, optimizării consumului de combustibil și energiei regenerabile aplicate în transporturi.

Printre cele mai relevante contribuții științifice se numără:

- ✓ Lucrarea de referință privind recuperarea energiei termice din motoarele cu ardere internă, publicată în *Progress in Energy and Combustion Science* (2022), cu un factor de impact de 35.339.
- ✓ Studiile aplicate asupra generatoarelor termoelectrice pentru recuperarea căldurii pierdute, publicate în *Applied Sciences* (2021).
- ✓ Cercetări inovatoare privind analiza proceselor tribologice și participarea nano-aditivilor în lubrifianți biodegradabili (Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 2017).
- ✓ Simulări avansate CFD ale proceselor de ardere și optimizării consumului de combustibil (*Thermal Science Journal*, 2011).

Candidatul (Conf.Dr.Ing. Dan Moldovanu) a fost, de asemenea, implicat în organizarea și evaluarea conferințelor internaționale de profil, fiind reviewer pentru reviste de prestigiu precum INMATEH, *Thermal Science*, *Water*, *Energies*, *Sensors*, *Sustainability* și *Applied Sciences*.

Realizări profesionale

Cu o experiență vastă în domeniul academic și al cercetării aplicate, candidatul, Conf.Dr.Ing. Dan Moldovanu a contribuit la dezvoltarea unor proiecte cu impact major în industria auto și a transporturilor sustenabile. Printre proiectele notabile se numără:

- ✓ Proiectul Nanolub: dezvoltarea unor lubrifianți biodegradabili pe bază de nanomateriale.
- ✓ Contracte de cercetare cu industria auto, inclusiv pentru evaluarea performanțelor combustibililor și consultanță pentru achiziționarea de autobuze electrice pentru municipii din România.
- ✓ Participarea la proiecte europene precum OLGA (hOListic Green Airport), finanțat prin programul Horizon 2020, și URBIVEL, un proiect de 3,5 milioane de euro axat pe tehnologii avansate pentru vehicule urbane inteligente.

Conf.Dr.Ing. Dan Moldovanu a colaborat strâns cu industria, participând activ la dezvoltarea unor tehnologii inovatoare aplicate în transporturi, fiind un specialist recunoscut în utilizarea MATLAB Simulink, AVL BOOST, AVL FIRE și alte platforme avansate de simulare.

Realizări academice

Pe plan academic, Conf.Dr.Ing. Dan Moldovanu a avut un impact semnificativ asupra educației ingineresti, contribuind la formarea a numeroase generații de studenți (peste 100 studenți coordonați la licență și disertație). A predat cursuri esențiale precum Teoria Automatizării Componentelor Autovehiculelor, Tehnici Avansate de Diagnosticare a Autovehiculelor, Control de Bază în Ingineria Autovehiculelor, Teoria Sistemelor și Automatizări și Instalații de Comandă și Control al Circulației.

Este membru activ în consiliul Facultății de Autovehicule Rutiere, Mecatronică și Mecanică, contribuind la dezvoltarea curriculumului și implementarea unor metode moderne de predare. De asemenea, a fost mentor pentru studenți în proiecte de cercetare, facilitând colaborări internaționale și participări la competiții academice.

Prin activitatea sa didactică, cercetare și contribuții în industrie candidatul, Conf.Dr.Ing. Dan Moldovanu rămâne un promotor al inovației în domeniul ingineriei autovehiculelor și al mobilității sustenabile.

Introducere

Prezenta teză de abilitare constituie o sinteză a activității științifice, profesionale și academice desfășurate de autor în domeniul Ingineriei Autovehiculelor, cu o orientare marcată către aplicarea metodelor de simulare numerică în optimizarea proceselor funcționale, în creșterea eficienței energetice și în susținerea tranziției către sisteme de propulsie sustenabile. Prin conținutul său, teza urmărește atât validarea contribuțiilor originale aduse în cadrul unor direcții de cercetare relevante, cât și argumentarea coerenței unei cariere academice desfășurate în acord cu cerințele actuale ale învățământului superior și ale cercetării aplicate.

Lucrarea este structurată într-o manieră logică, progresivă și tematică, începând cu un rezumat al elementelor esențiale prezentate în capitolul (A) Summary, destinat oferirii unei perspective sintetice asupra contribuțiilor aduse, direcțiilor de cercetare urmărite și planurilor de dezvoltare viitoare. În continuare, capitolul (B) reunește componentele centrale ale tezei și este împărțit în mai multe secțiuni. Subsecțiunea (B-i) include descrierea realizărilor științifice, profesionale și academice, acestea fiind detaliate cu scopul de a reliefa parcursul formativ și activitatea desfășurată în cadrul unor instituții de cercetare și colaborări multidisciplinare. Pe baza acestor realizări este construită o argumentație coerentă privind consolidarea unei expertize în domeniul ingineriei vehiculelor, cu aplicabilitate directă în mediul industrial și academic.

După conturarea acestei baze, introducerea de față are rolul de a pregăti cititorul pentru conținutul celor trei capitole centrale care definesc nucleul lucrării. Astfel, Capitolul 1 contextualizează teza în raport cu obiectivele procesului de abilitare, subliniind criteriile academice și profesionale pe care aceasta trebuie să le îndeplinească, în special din perspectiva capacității de cercetare independentă și a potențialului de mentorat doctoral. Capitolul 2 detaliază direcțiile de cercetare și competențele dobândite în cadrul activității științifice, punând accent pe abordarea integrată a simulării proceselor ingineresti complexe prin utilizarea unor platforme software avansate (precum AVL BOOST, AVL FIRE, MATLAB/Simulink și Lotus Engine Simulation) și prin validări experimentale în centre specializate precum EMARC și TestEcoCel. În fine, Capitolul 3 se concentrează pe prezentarea rezultatelor obținute în cadrul celor patru direcții tematice de cercetare: simularea proceselor funcționale ale motoarelor cu ardere internă, simularea subsistemelor vehiculului, modelarea și simularea vehiculelor electrice și integrarea tehnologiilor cu pile de combustie cu hidrogen.

Pe baza acestor contribuții, subsecțiunea (B-ii) este dedicată planurilor de evoluție și dezvoltare a carierei academice. Sunt formulate obiective concrete pe termen scurt și lung, în corelare cu dinamica domeniului, cu nevoile societale privind mobilitatea sustenabilă și cu prioritățile cercetării europene în contextul tranziției energetice. Autorul își exprimă angajamentul pentru extinderea ariei de cercetare, consolidarea parteneriatelor instituționale, dezvoltarea rețelilor

academice internaționale și promovarea unor metode didactice inovative în sprijinul formării unei noi generații de cercetători.

În încheiere, subsecțiunea (B-iii) reunește bibliografia relevantă, oferind o imagine detaliată asupra vizibilității și impactului internațional al lucrărilor științifice publicate. Sunt incluse listele de articole indexate în Web of Science și Scopus, evidențiind consistența și calitatea contribuțiilor științifice. Listele figurilor și tabelelor completează partea finală a lucrării, oferind un instrument util de orientare în conținutul tehnic al tezei.

În ansamblu, această teză de abilitare reflectă maturitatea științifică și academică a autorului, capacitatea de a desfășura cercetare avansată, dar și viziunea strategică necesară unei cariere academice sustenabile, în care inovația, interdisciplinaritatea și impactul aplicativ reprezintă direcții esențiale pentru dezvoltarea domeniului ingineriei autovehiculelor.

Capitol 1. Contextul Tezei de Abilitare

Conform CNATDCU (Consiliul Național de Atestare a Titlurilor, Diplomelor și Certificatelor Universitare) teza de abilitare „relevă capacitățile și performanțele didactice și de cercetare” fiind practic o oglindă a tuturor competențelor și abilităților candidatului. În general, o teză de abilitare este o dovadă sumativă a muncii, expertizei și potențialului unui cercetător de a contribui semnificativ la cunoașterea universală din disciplina academică urmată. Mai mult, în cadrul tezei de abilitare sunt prezentate și subliniate de asemenea direcțiile de cercetare urmate de candidat, dar și perspectivele acestuia în vederea îndrumării doctoranzilor spre teme de cercetare actuale și viitoare.

Elaborarea prezentei teze de abilitare are mai multe conotații în ceea ce privește scopul și efectele pe care le are în mediul academic în care candidatul își desfășoară activitatea. O enumerare sumară a scopului principal unei teze de abilitare este acela că teza de abilitare prezintă cunoștințele profunde și cuprinzătoare ale autorului într-un anumit domeniu de studiu (prin prezentarea cercetărilor, studiilor și articolelor originale care contribuie semnificativ la corpul de cunoștințe existente în domeniul vizat).

Odată cu îndeplinirea/atingerea scopului principal al elaborării tezei se mai poate afirma că pe lângă acesta o teză de abilitare:

- ✓ Demonstrează capacitatea autorului de a efectua cercetări și conduce proiecte de cercetare. Spre deosebire de teza de doctorat, care este adesea condusă de un conducător, se așteaptă ca o teză de abilitare să reflecte identitatea savantă și agenda de cercetare a autorului.
- ✓ Oferă ca și contribuție imediată la domeniul vizat noi perspective, teorii sau metodologii originale legate de domeniul de cercetare vizat. Ar trebui să fie de calitate încât să poată fi publicat în reviste academice de renume sau ca monografie.
- ✓ Prin capacitatea de a lucra și comunica în echipe de cercetare precum și datorită experienței didactice se creează premisele necesare ca autorul să poată mentora tineri cercetători aflați la începutul carierei (studenți doctoranzi),

Efectele imediate ale unei teze de abilitare pot fi reprezentate (din nou, la modul sumativ) de:

- ✓ Recunoaștere academică prin finalizarea cu succes a unei teze de abilitare, lucru ce conduce la o recunoaștere și respect sporit în cadrul comunității academice (deoarece prin prezentarea rezultatelor cercetării teza de abilitare îi conferă autorului expertiza din domeniul de interes).
- ✓ Avansare în cariera universitară, deoarece procesul de abilitare este o condiție prealabilă pentru a aplica pentru un post de profesor universitar.

- ✓ Asumarea rolului și a responsabilităților de conducător de doctorat prin mentorarea și îndrumarea studenților doctoranzi, pentru a forma abilitățile și competențele necesare viitoarei generații de cercetători.

Direcția principală de cercetare a candidatului este complet axată pe simulare, deși mediile de simulare utilizate sunt diverse și variate (în funcție de cerințele procesului de cercetare). Prin aplicarea unui proces de modelare și simulare specific s-a încercat întotdeauna ca activitatea de cercetare să fie îndreptată spre soluționarea diferitelor probleme ingineresti din domeniul de interes (Fig. 1), cum ar fi:

- ✓ Optimizarea proceselor funcționale ale motoarelor cu ardere internă (M.A.I.),
- ✓ Simularea subsistemelor autovehiculelor cum ar fi sistemul de direcție, de suspensie,
- ✓ Simularea dinamicii autovehiculului sau a cuplării ambreiajului,
- ✓ Simularea stării de încărcare a bateriei vehiculelor electrice, a carcasei bateriilor,
- ✓ Optimizarea exploatării vehiculelor electrice,
- ✓ Simularea și evaluarea comparativă din punct de vedere al performanțelor dinamice și a eficienței energetice a vehiculelor electrice și a vehiculelor cu pile de combustie cu hidrogen.

Se observă că, în timp, domeniile de interes al cercetărilor efectuate s-au axat pe studiul tehnologiilor emergente și pentru care s-au identificat metode și mijloace de a rezolva probleme specifice ingineresti. Acest lucru dovedește dorința și interesul continuu al candidatului de a fi la curent cu tendințele de dezvoltare și progres al domeniului ingineriei autovehiculelor și ingineriei mecanice și de a oferi soluții noi și/sau originale imediate prin utilizarea proceselor de simulare computerizată.

Activitățile de cercetare, rezultatele științifice și contribuțiile prezentate în cadrul acestei teze de abilitare au fost realizate integral după finalizarea tezei de doctorat intitulată Studii și cercetări privind simularea proceselor funcționale ale unui motor cu ardere internă ce funcționează cu biocombustibili. Astfel, întreaga lucrare reflectă direcții de cercetare și dezvoltare științifică ulterioare obținerii titlului de doctor.

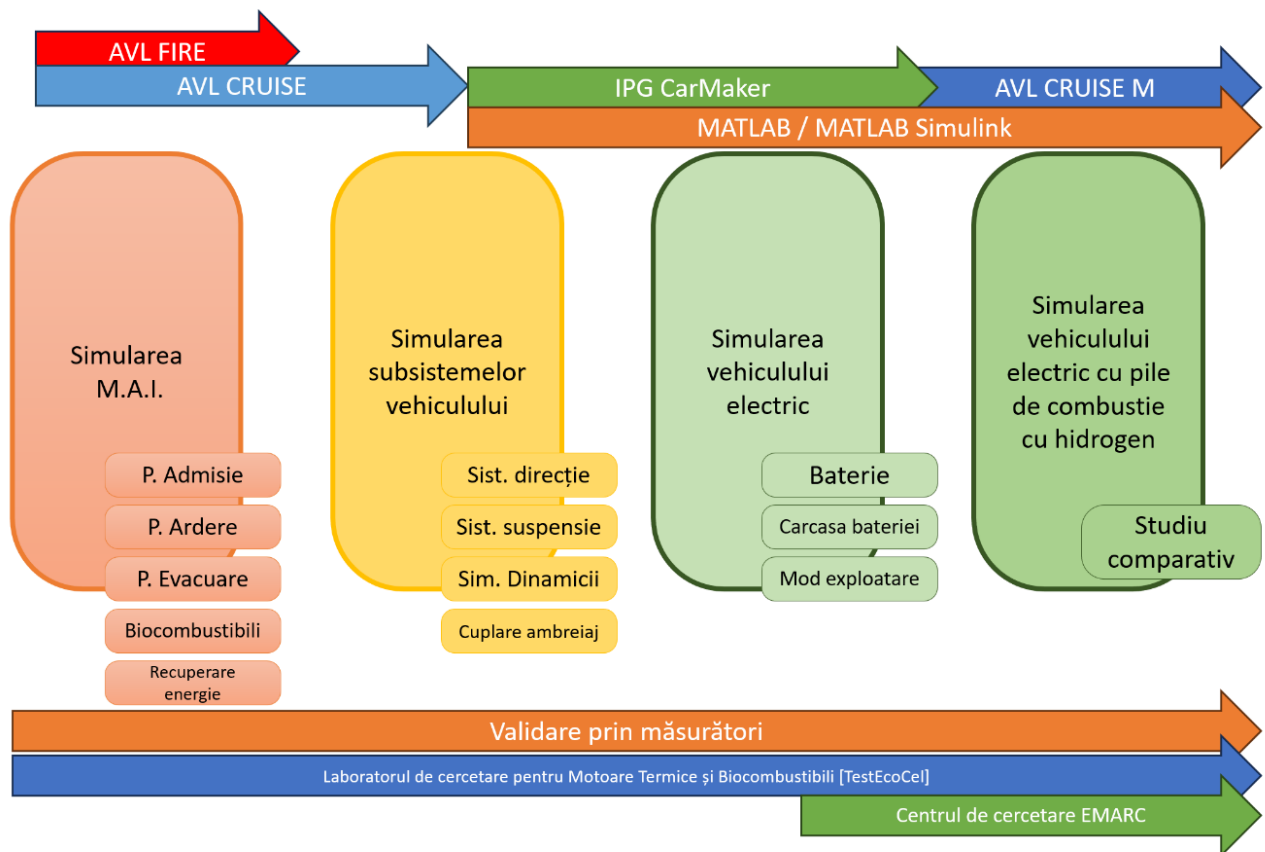


Figura 1. Direcțiile și domeniile de interes și de aplicare a proceselor de modelare și simulare aplicate în ingineria autovehiculelor

Capitol 2. Direcții de Cercetare și Competențe Dobândite

2.1. Direcții de cercetare

Direcția principală de cercetare fiind simularea computerizată, candidatul a încercat optimizarea diferitelor procese, subsisteme, sisteme dar și validarea acestora prin măsurători reale în cadrul centrelor de cercetare din care face parte: TestEcoCel (Laborator de Testare, Cercetare și Certificare a Motoarelor cu Ardere Internă ce funcționează cu Biocombustibili), respectiv EMARC (Centrul de Cercetare Aplicată pentru Mobilitate Electrică).

Domeniile în care s-au realizat simulările computerizate sunt multiple, cu un caracter interdisciplinar:

- ✓ Dinamica Fluidelor – CFD (Computational Fluid Dynamics), unde s-a încercat optimizarea suprafețelor, a formelor și validarea soluțiilor pentru galeriile de admisie și evacuare, respectiv a formei camerei de ardere;
- ✓ Ingineria Autovehiculelor, unde s-a realizat simularea și validarea sistemului de direcție, respectiv al sistemului de suspensie, studiul comparativ al soluțiilor de cutii de viteze;
- ✓ Control, unde s-a încercat optimizarea modului de control al cuplării/decuplării ambreiajului, studiul comparativ al modului de conducere al unui vehicul electric;

În urma participării în colective de cercetare, ca director sau ca și membru, prin elaborarea de lucrări științifice în colaborare cu colegii din cadrul Departamentului de Autovehicule Rutiere și Transporturi, respectiv prin munca cu studenții în cadrul orelor de laborator sau în cadrul proiectelor candidatul a dobândit o serie de competențe, enumerate în următorul subcapitol.

2.2. Competențe dobândite

Competențele profesionale, educaționale și transversale acumulate au fost cuprinse în figura 2 și prezintă evoluția candidatului de-a lungul anilor prin activitățile de cercetare efectuate, implicarea în diferite proiecte de cercetare, în diferite direcții de predare și în activități de mentorat a studenților.

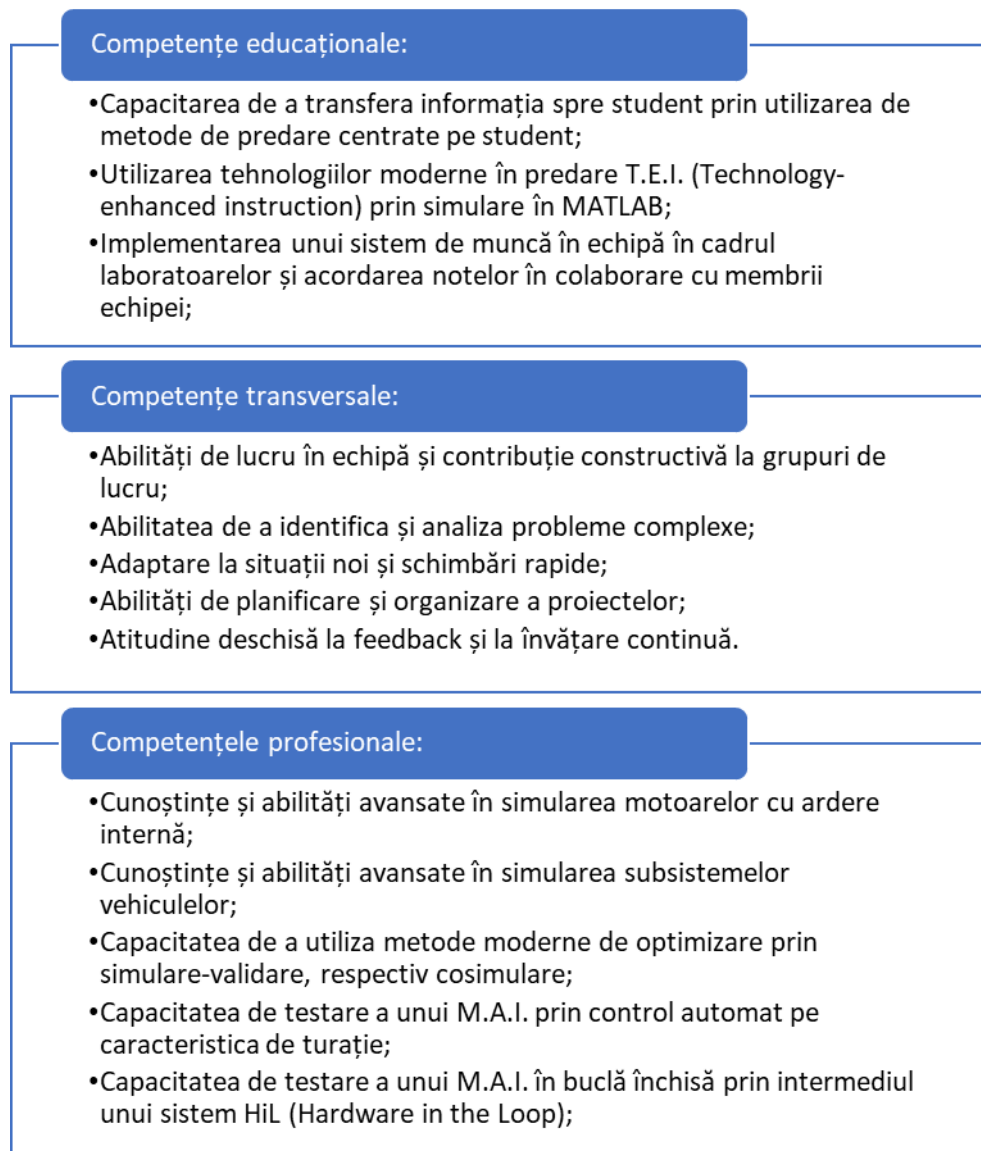


Figura 2. Competențe profesionale, educaționale și transversale dobândite

2.3. Rezultate ale activității didactice și de cercetare

Temele de cercetare abordate de candidat au fost și sunt subiecte emergente de cercetare și interes atât la nivel național cât și internațional, prin cercetări și studii privind optimizarea proceselor funcționale ale sistemelor mecanice și energetice din construcția autovehiculelor. Acest lucru a fost posibil datorită educației multidisciplinare, a cunoștințelor și a expertizei dobândite de candidatului atât prin studiu propriu cât și prin participarea la diferite programe de perfecționare continuă în domeniul de activitate.

Se poate afirma cu certitudine că una din provocările majore din activitatea de cercetare a candidatului a fost obținerea și finalizarea cu succes în calitate de director de proiect a proiectului „Efectuarea testelor specifice pentru benzina cu COR 100 și emiterea unui raport tehnic de analiză și de interpretarea rezultatelor pentru următoarele testări: teste de putere efectivă; teste de consum orar combustibil; teste de accelerație;” Tema proiectului a vizat crearea și implementarea în cadrul Laboratorului TestEcoCel a unor serii de cicluri de testare pentru evidențierea consumului orar, a puterii efective și a momentului generat de un motor cu ardere internă care funcționează cu un combustibil COR 100 pus la dispoziție de beneficiar, dar și implementarea unui test de accelerare care presupunea utilizarea unui mediu Hardware in the Loop (HiL) unde sistemul real era motorul conectat la dinamometru, iar testarea presupunea accelerarea unui vehicul virtual de la 0 la 100 km/h și se evalua timpul, singurul factor modificat fiind combustibilul. Livrarea la timp a rezultatelor cerute și managementul integral al proiectului în diferite direcții (resurse umane, resurse materiale, financiar etc.), a dus la acumularea unei experiențe ce se dorește a fi utilizată pe mai departe. Al doilea proiect ca director a fost „Servicii de consultanță și elaborare a documentației de achiziție (Caiet de sarcini) pentru achiziția vehiculelor ecologice, Proiect "Modernizarea sistemului de transport public prin achiziționarea de vehicule ecologice" contractant Primăria Municipiului Cluj-Napoca. Unde s-a creat caietul de sarcini pentru autobuze de 18 metri electrice, s-a oferit consultanță la clarificările cerute în cadrul achiziției publice, s-au analizat ofertele tehnice și s-au eliberat rapoartele tehnice și financiare, după care s-au recepționat autobuzele (stadiul actual al proiectului - în curs de recepționare).

O altă participare importantă în cadrul proiectelor de cercetare este acela în cadrul proiectului european Horizont OLGA. Contribuția directă a candidatului a fost reliefată prin obținerea de date de exploatare pentru autobuzele electrice de 12 metri și transmiterea la parteneri pentru a putea valida un model matematic de autobuz electric și optimizarea încărcării unei flote de busuri electrice; crearea unui chestionar de evaluare a opiniei călătorilor din aria de captare a aeroportului Cluj-Napoca asupra modului de transport intermodal din nodul logistic din zona aeroportului Cluj-Napoca; respectiv diseminarea rezultatelor obținute de echipa de cercetare din cadrul proiectului OLGA.

Un element important al evaluării și raportării rezultatelor cercetării este reprezentat de activitatea de diseminare. Candidatul a avut întotdeauna în obiectiv diseminarea rezultatelor cercetării în cele mai apreciate jurnale științifice, atât la nivel național cât mai ales la nivel internațional.

Din punct de vedere al activității academice educaționale (didactice) rezultatele candidatului sunt:

- ✓ 5 manuale ca autor singur sau prim;
- ✓ 5 manuale ca coautor;
- ✓ 3 curs e-learning;
- ✓ Coordonator a peste 100 de lucrări de licență și master;
- ✓ Coordonator a uni cerc studentesc legat de Teoria Sistemelor și Automatizări.

Din punct de vedere al activității de cercetare diseminarea și rezultatele candidatului sunt:

- ✓ 103 articole științifice ca autor unic/prim și coautor, din care 54 articole științifice prezentate la conferințe și simpozioane naționale și internaționale și/sau publicate în reviste științifice, 21 indexate în Web of Science și 16 indexate în Scopus (și neindexate în WoS), lucrări care au în total peste 400 de citări)
- ✓ Director de proiect, 3 proiecte: „N-C-ST 6412/04.03.2022 Consultanta procedura achiziții autobuze electrice și stații de încărcare” și „N-C-ST 12564/20.05.2019 Efectuarea testelor specifice pentru benzina cu COR 100 și emiterea unui raport tehnic de analiza și de interpretarea rezultatelor pentru următoarele testari: teste de putere efectivă; teste de consum orar combustibil; teste de acceleratie;” și „Nanolub – Posibilități de dezvoltare a unor lubrifianți biodegradabili pe bază de nanomateriale, Proiecte Intern de Cercetare-Dezvoltare-Inovare ale Universității Tehnice din Cluj-Napoca competiția 2014-2015 CI 27126/2014”.
- ✓ Membru în echipa de cercetare 8 proiecte.

Competențele, abilitățile și aptitudinile acumulate de candidat pe parcursul întregii perioade de activitate de cercetare au oferit oportunități de colaborare cu cercetători naționali și străini.

Având în vedere că pregătirea profesională continuă este o condiție necesară în atingerea (și păstrarea excelenței) în cercetare, candidatul a participat la diverse conferințe și simpozioane științifice naționale și internaționale, precum și a urmat cursuri de pregătire:

- ✓ Curs formare AVL BOOST 2010
- ✓ Curs de formare continuă DIDATEC 2014-15
- ✓ Curs PUMA Open 1.4 – sistem de automatizare Laborator TestEcoCel 2010
- ✓ Curs Visioscope, FTIR, Indimodule, SCRED, Test Facilities and Cold Chamber (AVL) 2011
- ✓ Curs formare MATLAB 2017
- ✓ Curs Control Systems 2020
- ✓ Curs MATLAB/Simulink 2020
- ✓ Curs PUMA Open 2.0 – sistem de automatizare Laborator TestEcoCel 2021

Recunoașterea calității rezultatelor activităților didactice și de cercetare s-a realizat prin:

- ✓ Diplomă de excelență pentru articolul “Second law analysis of waste cooking oil biodiesel versus ULSD during operation of a CI engine”, Consiliul FARMM, 2019
- ✓ Diplomă de excelență pentru articolul „Review of thermoelectric generation for internal combustion engine waste heat recovery”, Consiliul FARMM, 2022
- ✓ Diplomă de Ambasador UTCN, Rectorat UTCN, 2024
- ✓ Premiul „Traian Vuia” al Academiei Române pentru grupul de lucrări: „Progrese în eficiența sistemelor de propulsie pentru vehicule”, Academia Română, 2024

Trebuie menționat că activitatea candidatului în ceea ce privește managementul cercetării este reliefată și de participarea în calitate de reviewer pentru jurnale de specialitate ca:

- ✓ INMATEH, (http://www.inmateh.eu/index_eng.htm),
- ✓ Thermal Science Journal, (<http://thermalscience.vinca.rs/>),
- ✓ Water, (<https://www.mdpi.com/journal/water>)
- ✓ Energies, (<https://www.mdpi.com/journal/energies>)
- ✓ Sensors, (<https://www.mdpi.com/journal/sensors>)
- ✓ Sustainability, (<https://www.mdpi.com/journal/sustainability>)
- ✓ Applied Sciences. (<https://www.mdpi.com/journal/applsci>)
- ✓ Reviewer pentru Congresul AMMA2018
- ✓ Reviewer pentru Congresul SMAT 2019
- ✓ Reviewer pentru Congresul AITS 2021
- ✓ Reviewer pentru Congresul CONAT 2024
- ✓ Editor pentru Congresul AMMA 2025

După cum se poate observa din cele prezentate anterior, atât activitatea de cercetare, cât și cea educațională a candidatului demonstrează competențele, abilitățile și deprinderile necesare confirmării procesului de abilitare (obținerea titlului de abilitare), proces ce poate fi considerat ca un stimulent continuu pentru continuarea activității academice la standarde de calitate superioare.

Capitol 3. Contextul Cercetărilor Elaborate

Cercetările efectuate de candidat au fost realizate ținând cont în primul rând de interesul arătat de către comunitatea internațională și națională asupra temelor tratate prin utilizarea de proceduri, metode, metodologie și instrumente specifice modelării și simulării numerice a problemelor din domeniul ingineria autovehiculelor (cu aplicații legate de domeniul construcției și exploatarei autovehiculelor, domeniu în care candidatul își desfășoară activitatea).

În continuare din întreaga activitate de cercetare și diseminare a candidatului s-a ales prezentarea în detaliu a trei domenii principale de cercetare abordate:

- ✓ Simularea proceselor funcționale ale motoarelor cu ardere internă,
- ✓ Simularea subsistemelor vehiculelor,
- ✓ Modelarea și simularea vehiculelor electrice,
- ✓ Modelarea și simularea tehnologiilor cu pile de combustie cu hidrogen aplicate vehiculelor electrice.

, prezentarea rezultatelor fiind realizată pe baza articolelor și studiilor prezentate în cadrul unor manifestări de profil și/sau publicate în articole de specialitate.

3.1. Simularea proceselor funcționale ale M.A.I.

3.1.1. Optimizarea procesului de formare al amestecului în camera de ardere al unui M.A.C

Obiectivul principal al cercetării l-a constituit optimizarea proceselor de funcționare ale M.A.I. prin simulare computerizată și validarea rezultatelor obținute pentru un motor monocilindric experimental din cadrul Laboratorului TestEcoCel funcționând cu combustibili convenționali și amestecuri de biocombustibili. Simularea proceselor de funcționare ale M.A.I. a fost realizată cu ajutorul programului de simulare AVL FIRE, licență academică, în cadrul Universității Tehnice din Cluj-Napoca și în cadrul firmei AVL GmbH (Graz, Austria). Rezultatele simulării au fost validate folosind un motor de cercetare cu un singur cilindru (cod 5402) AVL cu o unitate de control a motorului deschisă pentru a controla timpii și cantitățile de injecție.

În ultimii ani, modelarea dinamicii fluidelor computaționale (CFD) a fost îmbunătățită pentru a putea simula cu acuratețe fluxurile 3D, formarea amestecurilor, arderea și formarea poluanților pentru motoarele cu injecție directă. În procesul de dezvoltare a motorului, modelarea CFD a unui motor este utilizată pentru a analiza interacțiunea dintre combustibil și mișcarea aerului de admisie în interiorul camerei de ardere. Scopul este de a minimiza timpul de prototipare și de a identifica soluții cu o rată de succes ridicată, într-o fază incipientă a proiectului. Succesul se bazează pe capacitatea de a face numeroase studii/simulări, inclusiv diferite forme pentru camera de ardere, pentru piston, pentru conductele de admisie, într-un timp relativ scurt, pe baza puterii de calcul [1-11].

Pentru simulare, s-au introdus datele de intrare legate de motor, inclusiv cele măsurate pe motorul real, cum ar fi: date dimensionale, debite de intrare/ieșire din motor, temperaturi la admisie și evacuare, presiunea din interiorul cilindrului la diferite turații. După aceea s-a creat domeniul de simulare în Solid Works și s-au impus mișcările supapelor și al pistonului. Modelul de simulare a fost Eddy break-up, iar coeficienții legați de ardere au fost aleși astfel încât presiunea din cilindru să se suprapună peste presiunea măsurată pe motorul real (validare cu date măsurate în cadrul AVL Graz).

Modelul Eddy break-up este exemplul tipic de model de ardere mixtă, și se bazează pe lucrările [12-16] și poate fi găsit în toate pachetele comerciale CFD. Modelul presupune că reacțiile sunt finalizate în momentul amestecării, astfel încât viteza de reacție este complet controlată prin amestecare turbulentă.

Combustia este apoi descrisă printr-o reacție chimică globală într-o singură etapă:



, în care F reprezintă combustibilul, O pentru oxidant și P pentru produsele reacției. Alternativ, putem avea o schemă în mai multe etape, în care fiecare reacție are propria sa viteză medie de reacție.

În AVL FIRE viteza medie de reacție este scrisă:

$$\overline{\rho \dot{r}_{fu}} = \frac{C_{fu}}{\tau_R} \bar{\rho} \min \left(\bar{y}_{fu}, \frac{\bar{y}_{O_x}}{S}, \frac{C_{Pr} \bar{y}_{Pr}}{1 + S} \right) \quad (3.2)$$

Primii doi termeni ai „valoarea minimă a” operatorului „min” determină pur și simplu dacă combustibilul sau oxigenul este prezent în cantitate limită, iar al treilea termen este o probabilitate de reacție care asigură că flacăra nu se răspândește în absența produselor fierbinți. C_{fu} și C_{Pr} sunt coeficienți empirici și τ_R este scala de timp de amestecare turbulentă pentru reacție. S-a demonstrat că valoarea coeficientului empiric C_{fu} depinde de turbulența și parametrii combustibilului. Prin urmare, C_{fu} necesită ajustare în ceea ce privește datele experimentale de ardere pentru cazul investigat [17].

Datele obținute au fost procesate și prezentate în figurile 3 și 4, reprezentând vitezele de curgere pentru portul de admisie tangențial și cel elicoidal, scoțându-se în evidență mișcarea de swirl generată de portul elicoidal.

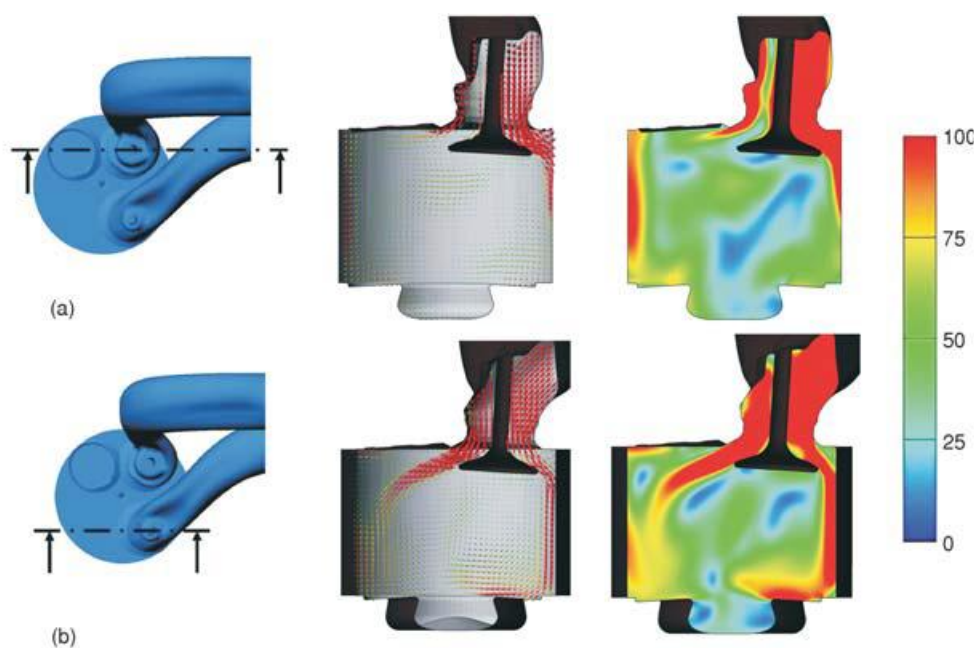


Figura 3. Vedere vectorială și a suprafețelor de curgere la 450° RAC

(a) în portul elicoidal, (b) în portul tangențial

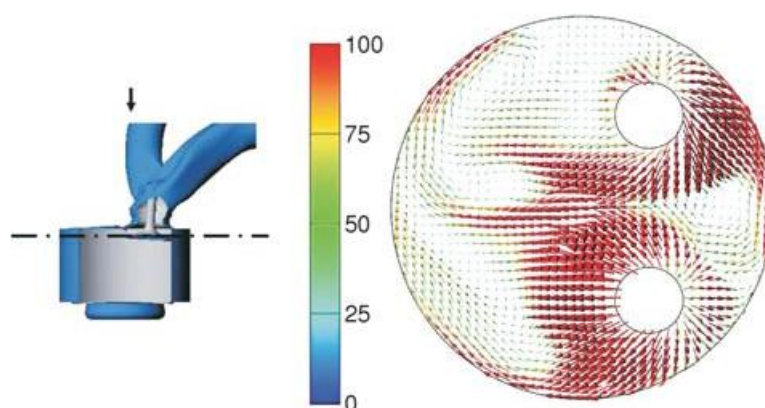


Figura 4. Vedere vectorială a curgerii la deschidere maximă a supapelor

Analiza axei de rotație a mișcării de swirl din interiorul cilindrului s-a făcut prin intermediul secțiunilor laterale din figura 5.

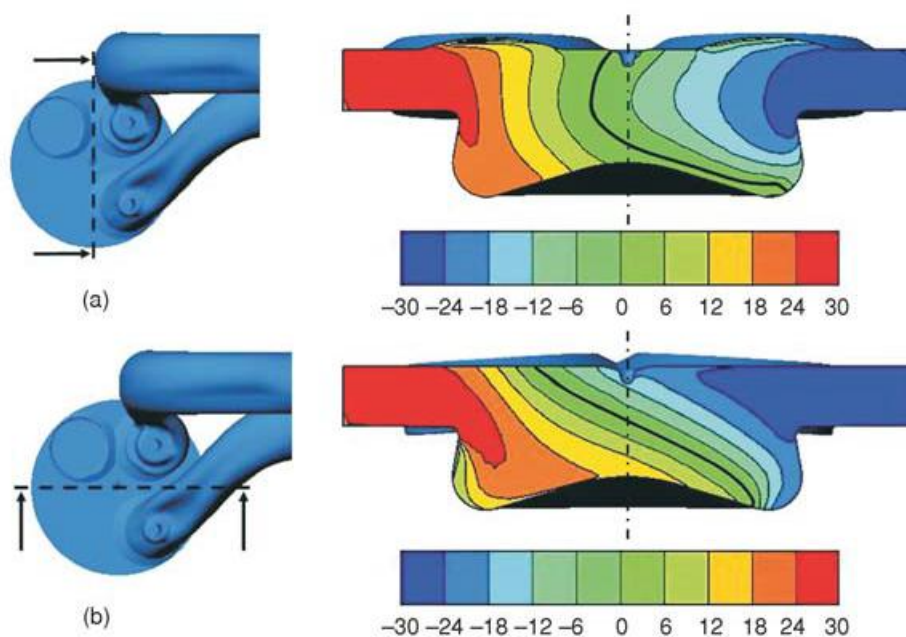


Figura 5. Analiza mișcării de swirl la 690° RAC

(a) secțiune perpendiculară pe axa Oy (b) secțiune perpendiculară pe axa Ox

Pentru a scoate în evidență injecția de combustibil, s-au creat secțiuni laterale și longitudinale la diferite unghiuri ale arborelui cotit astfel încât să se surprindă injecția pilot și injecția principală. Acestea pot fi observate în figurile 6 și 7. După validarea simulării prin suprapunerea curbelor de presiune și de temperatură, s-au introdus noi combustibili: B10, B20, respectiv B50 pentru care s-au analizat: penetrația jetului de combustibil (Figura 8), presiunea din interiorul cilindrului și temperatura generată în urma arderii.

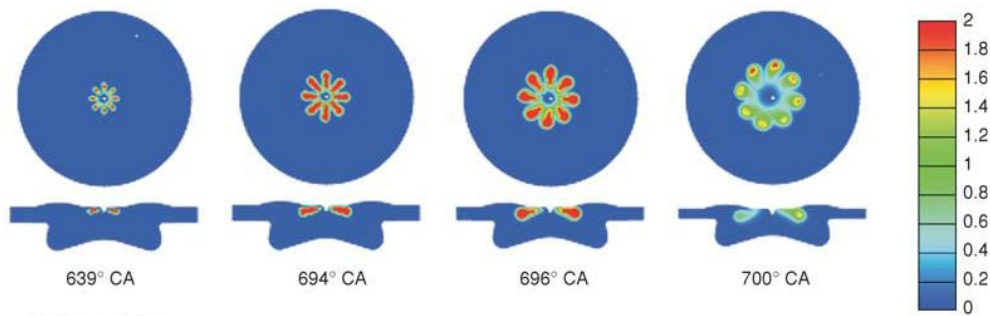


Figura 6. Evoluția arderii pentru injecția pilot

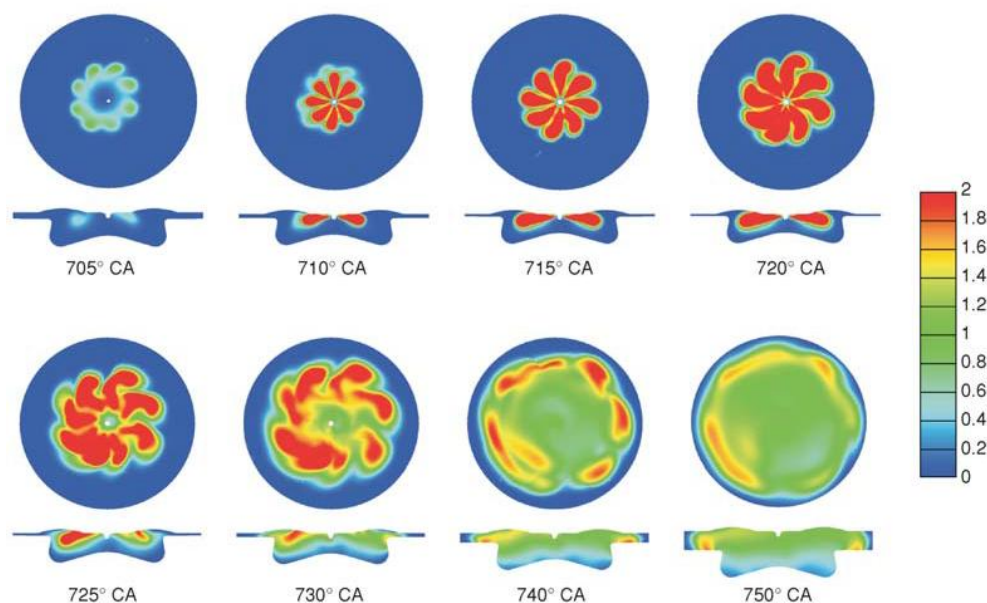


Figura 7. Evoluția arderii pentru injecția principală

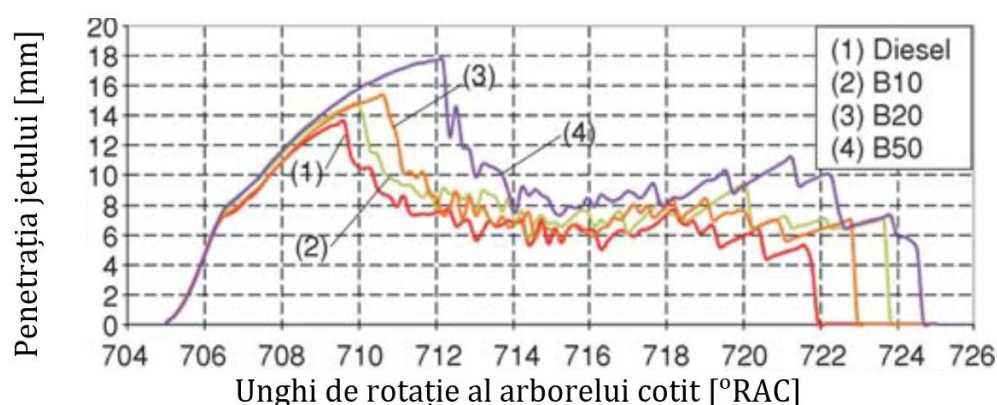


Figura 8. Penetrația jetului de combustibil pentru diferiți combustibili

Ca și concluzii generale se poate afirma că în studiu au fost analizate vitezele de curgere în timpul admisiei, a fost subliniat rolul orificiului de admisie tangențial și elicoidal și a fost analizată și axa de turbionare. Axa vârtejului este bine centrată, astfel încât influența asupra conurilor de injecție de combustibil este uniformă.

De asemenea, a fost simulată arderea următorilor combustibili: motorină, B10, B20 și B50 și au fost investigați parametrii ca: raportul de echivalență, presiunea cilindrului, temperatura cilindrului și lungimea de penetrare a jetului de combustibil. Presiunea cilindrului pentru motorina a fost măsurată și pe bancul de testare, datorită constantelor A și B din modelul Eddy break-up utilizat pentru ardere. După validare, valorile constantelor au fost păstrate și simularea a fost repornită folosind B10, B20 și, respectiv, B50; au fost extrase curbele de presiune și temperatură.

La utilizarea amestecurilor de biocombustibil-motorină, datorită densității mai mari, pătrunderea jetului crește odată cu procentul de biocombustibil din motorină, dar datorită scăderii puterii calorice mai mici, presiunea cilindrului motorului scade la 97%, iar temperatura scade și ea la 87%. Studiul arată că avantajul la utilizarea biocombustibililor este în principal emisiile mai scăzute [18-20].

De asemenea s-a subliniat importanța măsurătorilor pe bancul de încercare înainte de a simula procesele din interiorul motorului de cercetare cu un singur cilindru.

Metodologia cercetării a urmat câțiva pași logici: în primul rând, măsurătorile pe bancul de încercare s-au făcut într-un punct de lucru foarte bine ales, pentru a obține cele mai bune vederi pentru deplasarea aerului în interiorul cilindrului; în al doilea rând, suprafața chiulasei, capul pistonului, vârful injectorului, supapele și alte suprafețe importante au fost măsurate și construite într-un software de proiectare asistată de computer și importate în AVL FIRE; în al treilea rând, limitele procesului de simulare au fost definite pentru a crea diferite dimensiuni de celule pentru diferite zone, pentru procesul de discretizare; Pasul al patrulea, s-a creat fișierul de intrare pentru procesul de simulare în care intrările au fost temperaturile, presiunile din bancul de încercare pentru a crea condițiile reale de simulare.

Diseminarea rezultatelor cercetărilor s-a realizat prin publicarea unui articol de specialitate: Moldovanu, D., Burnete, N.: Computational Fluid Dynamics Simulation Of A Single Cylinder Research Engine Working With Biodiesel. Thermal Science: Year 2013, Vol. 17, No. 1, pp. 195-203

Lucrarea urmărește prezentarea rezultatelor unei simulări numerice de tip Computational Fluid Dynamics (CFD) aplicată unui motor monocilindru cu injecție directă, folosind drept combustibil motorină clasică, biodiesel, precum și diverse amestecuri ale acestora în proporții diferite. Rezultatele obținute prin simulare sunt comparate cu cele experimentale măsurate pe bancul de testare pentru același punct de funcționare al motorului. Motorul utilizat în vederea verificării validității simulării este un motor monocilindru de cercetare furnizat de compania AVL, prevăzut cu o unitate de control deschisă, ceea ce permite ajustarea parametrilor de injecție, cum ar fi momentul și cantitatea combustibilului injectat. Contextul legislativ specific României, conform căruia până în anul 2020 toate stațiile de alimentare sunt obligate să comercializeze motorină cu un conținut de cel puțin 10% biodiesel, motivează suplimentar cercetările privind impactul utilizării acestui tip de combustibil regenerabil asupra comportamentului motorului cu ardere internă.

Avantajele utilizării biodieselului sau a amestecurilor sale cu motorina sunt multiple: caracterul său prietenos cu mediul înconjurător, faptul că nu necesită modificări structurale ale motorului pentru utilizare, costul mai redus comparativ cu motorina convențională, eficiența energetică superioară în procesul de producere, capacitatea de a oferi o mai bună lubrifiere motorului, prelungind astfel durata de viață a componentelor acestuia, precum și contribuția sa la protejarea sănătății umane prin reducerea emisiilor poluante.

Modelarea numerică prin CFD a cunoscut progrese semnificative, permițând simularea detaliată a fluxurilor tridimensionale, formarea amestecului, arderea și formarea poluanților în motoarele cu injecție directă. În procesul de dezvoltare a motoarelor, utilizarea simulărilor CFD pentru a analiza interacțiunea dintre combustibil și aerul de admisie în camera de ardere este esențială pentru reducerea timpului de prototipare și pentru identificarea, într-un stadiu incipient, a soluțiilor cu șanse mari de succes. Platforma de simulare utilizată în acest studiu este AVL FIRE, una dintre cele mai performante soluții comerciale pentru modelarea CFD, cu suport pentru integrarea de coduri personalizate. Modelul de combustie adoptat este „Eddy Break-Up” (EBU), iar modelul de autoaprindere este Diesel_MIL (Multiple Ignition Locations), în timp ce pentru formarea oxidului de azot (NO) se folosește modelul original Heywood.

Modelul implementat în majoritatea pachetelor CFD comerciale, se bazează pe ipoteza că reacțiile chimice se finalizează în momentul în care amestecul combustibil-aer este complet omogenizat, rata de reacție fiind astfel determinată integral de amestecul turbulent. În acest context, combustia este descrisă printr-o reacție chimică globală de tipul „combustibil]mpreun[cu oxidant, formeaz[produse de reacție”, rata medie de reacție fiind exprimată în AVL FIRE printr-o formulare care ține cont de concentrațiile relative ale reactanților, de o probabilitate de reacție și de o constantă empirică C_{fu} , ajustată în funcție de parametrii de turbulență și caracteristicile combustibilului.

Simulările CFD efectuate au urmărit investigarea detaliată a proceselor care au loc în camera de ardere, mai precis comportamentul amestecului aer-combustibil, influența geometriei conductelor de admisie asupra curgerii aerului, forma bolului pistonului, caracteristicile injecției și parametrii locali ai combustiei, precum coeficientul de swirl, presiunea, temperatura și raportul de echivalență. Rezultatele simulărilor au fost comparate cu date experimentale obținute în laboratorul Universității Tehnice din Cluj-Napoca, Departamentul de Autovehicule Rutiere, utilizând același punct de funcționare: 4000 rot/min și presiune medie efectivă indicată (IMEP) de 4 bar.

Precizia simulărilor depinde de capabilitatea modelelor utilizate de a prezice corect procesul de injecție, propagarea jetului, arderea și formarea emisiilor. Geometria motorului utilizat este caracterizată de un diametru al alezajului de 85 mm, o cursă a pistonului de 90 mm, un sistem de injecție common rail și o viteză maximă de 4200 rot/min. Momentele și cantitățile de injecție utilizate sunt redate în lucrare, pentru două faze de injecție: pilot și principală. Datorită comportamentului specific al deschiderii acului injector, curba reală de injecție diferă ușor de cea teoretică, având un decalaj în timp, însă păstrând aceeași cantitate de combustibil injectat.

Geometria camerei de ardere și rețeaua de calcul generată pentru simulare includ până la 1,5 milioane de celule în regim de mișcare. Vitezele curgerii aerului în camera de ardere au fost analizate în detaliu, pentru a înțelege dinamica amestecului și a îmbunătăți caracteristicile de curgere. Importanța coeficientului de swirl este accentuată, având un impact major asupra pulverizării combustibilului. Datele privind swirl-ul, obținute cu ajutorul funcționalităților AVL FIRE, indică o creștere de la 0°RAC până la 2.4 la 480°RAC, urmată de o scădere până la 1.9 la 680°RAC. Cele mai relevante momente din punct de vedere al swirl-ului sunt închiderea supapelor de admisie, la 580°RAC, când coeficientul este 2.04, și începutul injecției, la 692°RAC, cu un coeficient de 2.09.

S-a demonstrat că axa de rotație a curgerii aerului coincide aproape perfect cu axa cilindrului, ceea ce asigură o distribuție uniformă a conurilor de injecție și, implicit, o combustie mai eficientă. Evoluția raportului de echivalență a amestecului în timpul injecției pilot și principale a evidențiat efectul pozitiv al swirl-ului asupra calității amestecului aer-combustibil.

Studiul a inclus și analiza penetrării jetului de combustibil, pentru motorină și amestecuri B10, B20 și B50 (amestecuri de biodiesel din ulei de rapiță în proporții de 10%, 20% și 50% cu motorină). Penetrarea jetului crește proporțional cu densitatea combustibilului: valorile obținute variază de la 13.6 mm pentru motorină, până la 18 mm pentru amestecul B50. Aceste rezultate sunt corelate cu literatura de specialitate, în special cu cercetările lui Mariasiu, care subliniază influența turbulenței din camera de ardere asupra penetrării jetului și reducerea emisiilor de fum ca efect direct al utilizării biocombustibililor.

Presiunea în cilindru, măsurată cu un senzor piezoelectric și analizată cu un modul AVL INDI, a evidențiat o scădere ușoară în cazul amestecurilor cu biodiesel. Astfel, presiunea maximă în cilindru atinge 63.29 bar pentru motorină pură, 62.18 bar pentru B10, 62.32 bar pentru B20 și 61.26 bar pentru B50. Această scădere este atribuită valorii calorice mai reduse a amestecurilor cu biodiesel, evidențiată și în tabelul comparativ al valorilor calorice și al densităților. În mod similar, temperaturile maxime din camera de ardere înregistrează valori de 1761 K pentru motorină, 1715 K pentru B10, 1652 K pentru B20 și 1534 K pentru B50, confirmând reducerea temperaturii maxime odată cu creșterea proporției de biodiesel.

Concluzia generală a studiului este că utilizarea amestecurilor de biodiesel nu necesită modificări constructive ale motorului și conduce la o ardere mai uniformă și mai curată, cu presiuni și temperaturi reduse în camera de ardere, fără a afecta semnificativ performanțele. Rezultatele obținute demonstrează fiabilitatea metodelor CFD utilizate și confirmă utilitatea biodieselului ca alternativă viabilă la combustibilii fosili, în contextul obiectivelor globale de reducere a emisiilor și promovare a sustenabilității energetice.

3.1.2. Analiza impactului diferitelor caracteristici ale combustibilului asupra curgerii prin orificiul injector

O altă posibilitate de optimizarea a proceselor funcționale ale M.A.I. este optimizarea curgerilor prin orificiul injector în scopul creării unui jet de combustibil uniform atât ca și structură cât și ca formă geometrică. Cercetarea efectuată în acest scop prezintă rezultatele unui studiu numeric (abordare euleriană multifazică) asupra influenței caracteristicilor fizice ale unor combustibili diferiți (densitate și vâscozitate dinamică) asupra uniformității debitului de combustibil la ieșirea din duza de injecție, luând în considerare diferiți combustibili și parametri de funcționare ai unui motor diesel (temperatura combustibilului și raportul de compresie). Un nou termen, Nozzle Uniformity Coeficient (NUC) a fost propus și introdus de autori pentru a defini modelul de curgere a fluidului la ieșirea duzei de injecție și pentru a corela valoarea acestuia cu o dezvoltare ulterioară a calității pulverizării combustibilului în camera de ardere.

Pentru a investiga efectele caracteristicilor combustibilului și ale parametrilor de funcționare ai motorului asupra jetului de combustibil prin duza injectorului, au fost aleși doi combustibili: diesel (D) și metil ester de rapiță (rapeseed methyl ester - RME).

Pentru analiza rezultatelor obținute, a fost utilizat noul coeficient care poate caracteriza uniformitatea câmpului de viteză al combustibilului la ieșirea din duza injectorului.

$$NUC = \frac{area [v_{avg}, v_{max}]}{area [v_{min}, v_{max}]} \quad (3.3)$$

unde: v_{min} , v_{max} și v_{avg} reprezintă viteza minimă, viteza maximă și viteza medie a combustibilului la ieșirea din duză. Coeficientul NUC poate varia între 0 și 1. Dacă valoarea NUC tinde la 0, viteza picăturilor de combustibil este scăzută, rezultând picături mari în structura jetului de combustibil. Acest lucru duce la o vaporizare lentă și este necesar un grad mai mare de turbulență a camerei de combustie. În mod similar, în cazul în care NUC tinde la 1, viteza picurilor este mare la ieșirea duzei și diametrul picurilor sunt mai mici ca o consecință. Acest lucru duce la o formare mai rapidă a amestecului aer-combustibil și implicit, este necesară o turbulență scăzută în camera de ardere.

Pachetul software AVL FIRE a fost utilizat pentru a simula jetul de combustibil în duza injectorului și a fost adoptat un model multi-fluid pentru simularea jetului multifazic de combustibili (abordarea Eulerian-Eulerian), cu ajutorul căruia se poate analiza și efectul de cavitație. Modelul multi-fluid calculează setul de ecuații de conservare (moment și energie) pentru fazele lichid și gazos folosind metoda aleasă.

A fost luat în considerare un injector cu mai multe orificii de tip VCO, cu modelul său geometric și caracteristicile transferate într-un model numeric. Deoarece orificiile injectorului sunt într-o distribuție simetrică de-a lungul axei injectorului și pentru că sunt de asemenea, într-o distribuție circumferențială simetrică, pentru simulare a fost adoptat doar un model de segment de 30°. Modelul de injector era de tip rețea discretizată mobilă îmbinată pentru a permite captarea mișcării acului injectorului în procesul de injectare. Densitatea finală a celulelor a fost aleasă după mai multe simulări, utilizată fiind aceea care a dat aceleași rezultate și un timp bun de simulare (180.522 de celule). De remarcat că dacă rețeaua discretizată are celule mai mari, precizia este afectată, iar dacă este foarte fină, timpul de simulare este afectat.

Rezultatele au fost luate în considerare pentru un timp de simulare de 1,2 ms, cu o ridicare maximă a acului injectorului de 0,5 mm. Rețeaua discretizată a orificiului injector a fost de 116.448 de celule, iar corpul injectorului a fost modelat cu o rețea discretizată de 74.564 de celule. Domeniul vasului cu volum constant (unde are loc dezvoltarea jetului de combustibil) a constat din aproximativ 400.000 de celule, caracterizate printr-o dimensiune constantă a celulelor de 0,30 mm. Unghiul dintre axa duzei cilindrice și conul injectorului a fost stabilit la 75°, iar lungimea și diametrul de ieșire al duzei au fost de 1,05 și, respectiv, 0,22 mm. Pentru ambii combustibili, presiunea de injecție a fost 150MPa, iar temperaturile de injecție au variat de la

40°C la 100°C cu increment de 20°C. Contrapresiunile din camera de ardere a fost 0,5MPa, 1,5MPa, 2,5MPa, respectiv 3,5MPa rezultând în 16 simulări diferite pentru cei doi combustibili.

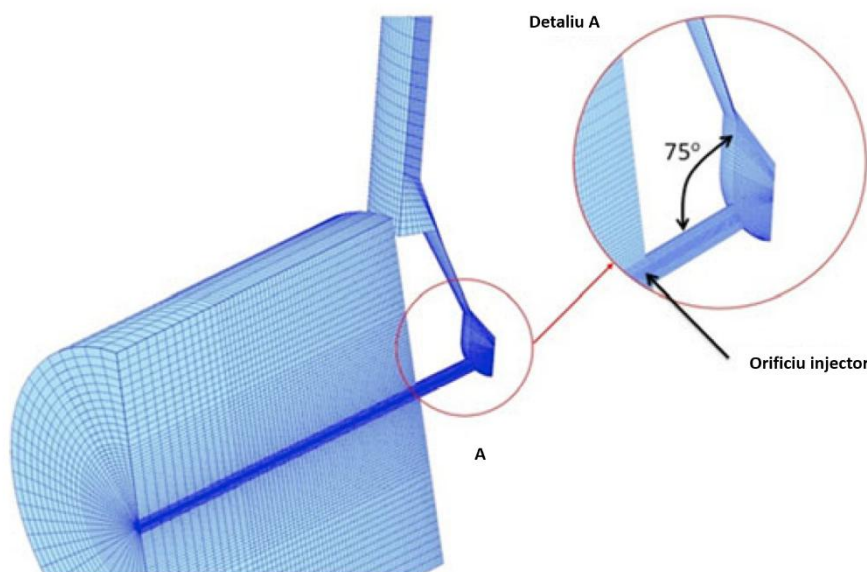


Figura 9. Modelul injectorului în AVL FIRE

Pentru a reduce din timpul de simulare, modelul 3D a fost realizată pentru jumătate din orificiu, rezultatele fiind identice față de planul longitudinal al orificiului injectorului. O parte din rezultate sunt prezentate în figurile 10 și 11, unde se poate observa pentru ambii combustibili vitezele la ieșirea din duza combustibilului.

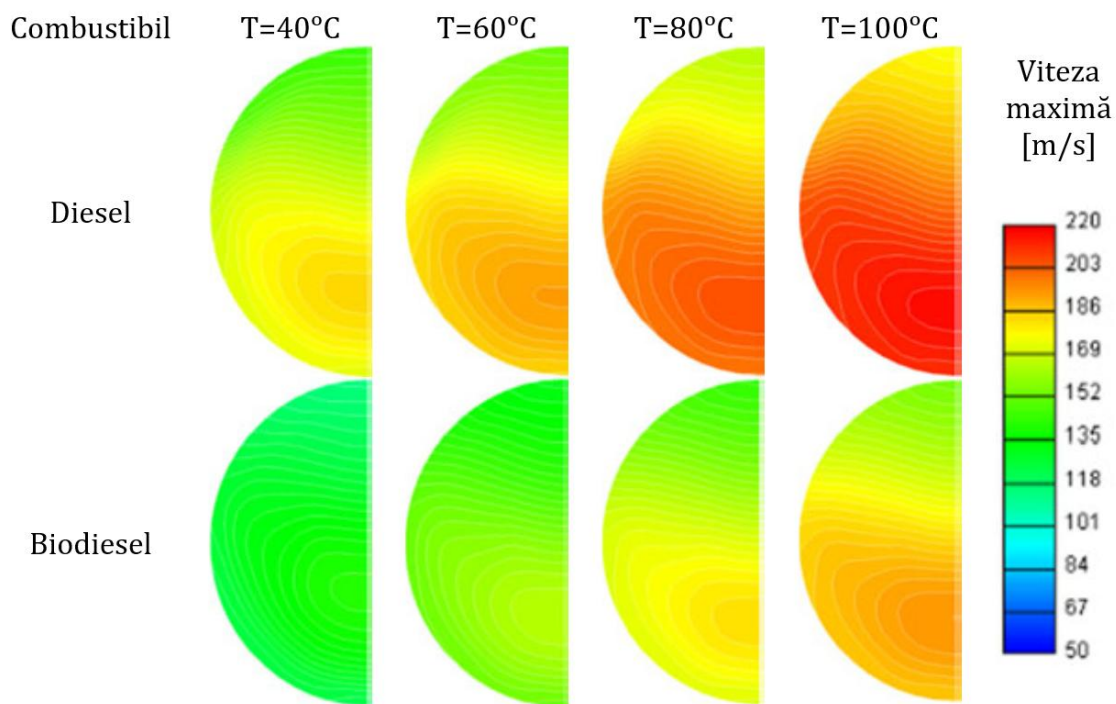


Figura 10. Jetul combustibilului la ieșirea din injector cu o contrapresiune 0,5MPa

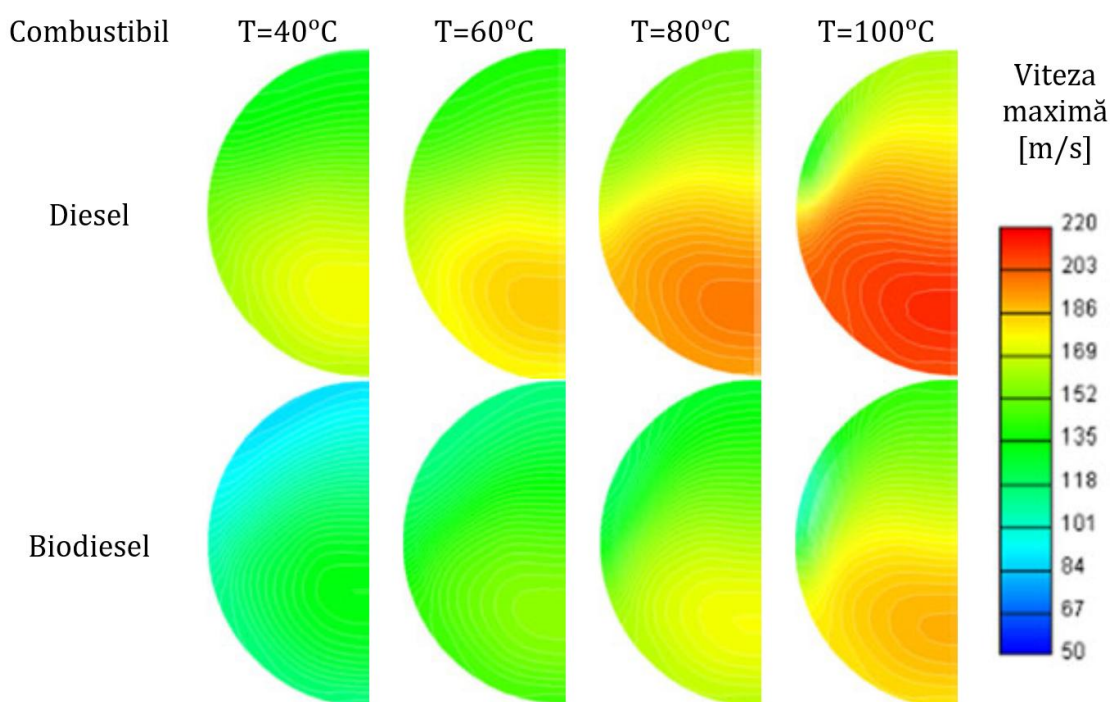


Figura 11. Jetul combustibilului la ieșirea din injector cu o contrapresiune 1,5MPa

Studiul a analizat comportamentul combustibililor convenționali diesel și biodiesel, constatând că dieselul convențional are o viteză mai mare la ieșirea din duza injectorului în toate situațiile. Diferențele devin mai mari pe măsură ce temperatura combustibilului și contrapresiunea scade, pentru ambii combustibili. Viteza la ieșire a biodieselului este influențată de vâscozitatea dinamică care este direct dependentă de temperatură, care crește brusc atunci când temperaturile scad sub 60°C.

În tabelul 1 se prezintă rezultatele ale coeficientului NUC pentru ambii combustibili la 60°C, obținute prin simulare.

Tabel 1. Coeficientul NUC pentru combustibilii diesel și biodiesel cu diferite contrapresiuni simulate

Contrapresiune [MPa]	Coeficient NUC		Diferențe [%]
	Diesel	Biodiesel	
0,5	0,681	0,704	3,38
1,5	0,516	0,533	3,29
2,5	0,495	0,511	3,23
3,5	0,260	0,268	3,08

Luând în considerare toți factorii care influențează coeficientul NUC, se poate observa creșterea coeficientului NUC pentru diesel și biocombustibil, fiind direct corelată cu creșterea temperaturii combustibilului și a contrapresiunii din camera de ardere.

Injectoarele unui M.A.C. se confruntă cu provocări în obținerea unei pulverizări perfect omogene datorită cavității din interiorul orificiului injectorului. Această cercetare a studiat impactul proprietăților combustibilului, parametrii de funcționare a motorului și "coeficientul de uniformitate a duzelor" NUC asupra jetului de combustibil la ieșirea din duză. Un jet uniform de combustibil pe tot canalul injectorului este esențial pentru o pulverizare simetrică, dar în realitate

apare cavitația ceea ce e problematic. Temperatura combustibilului și presiunea camerei de ardere influențează, de asemenea, structura inițială a pulverizării.

Propunerea de utilizare în cercetarea și proiectarea injectoarelor a unui "coeficient de uniformitate a curgerii" NUC a fost inovativă din acest punct de vedere și poate fi utilizată în proiectarea M.A.C. pentru a optimiza fluxul de aer la admisie cu modul spațio-temporal de dezvoltare a jetului de combustibil și implicit arderea. Acest lucru poate ajuta la reducerea timpului necesar pentru amestecul combustibilului cu aerul.

Diseminarea rezultatelor cercetărilor s-a realizat prin publicarea unui articol de specialitate: Marius Simion Motogna, Dan Moldovanu, Florin Mariasiu: Numerical Analysis Of Fuel Flow Patterns At The Nozzle Exit Considering Different Fuels And Operating Parameters Of A Diesel Engine, Transactions Of Famena, XLII-4 (2018), pp. 63-74.

Articolul prezintă o cercetare numerică detaliată, realizată printr-o abordare Euleriană multifazică, privind influența caracteristicilor fizice ale diferitelor tipuri de combustibili, precum densitatea și viscozitatea dinamică, asupra modelului de curgere a combustibilului la ieșirea injectorului de motor diesel. Studiul ia în calcul și parametrii de funcționare ai motorului, cum ar fi temperatura combustibilului și raportul de compresie. O contribuție originală a acestei lucrări o reprezintă introducerea unui nou parametru, denumit Coeficientul de Uniformitate al Injectorului (Nozzle Uniformity Coefficient - NUC), care caracterizează modelul de curgere a fluidului la ieșirea injectorului și permite corelarea valorii sale cu dezvoltarea ulterioară a jetului în camera de ardere.

Rezultatele obținute evidențiază faptul că structura modelului de curgere a combustibilului este cea mai omogenă în condiții de temperaturi scăzute ale combustibilului și presiuni de retur reduse. Vitezele combustibilului exercită un efect imediat asupra dezvoltării jetului, procesului de amestecare aer-combustibil și adâncimii de penetrare a jetului în camera de ardere. Valorile medii ale vitezelor pentru combustibilul biodiesel sunt mai mici în comparație cu cele pentru motorină. Având în vedere utilizarea în creștere a combustibililor proveniți din surse regenerabile, concluzia logică este că este necesară corelarea componentelor sistemului de injecție cu proprietățile fizico-chimice ale combustibililor utilizați.

Contextul general al cercetării pornește de la preocuparea globală pentru reducerea poluării generate de sectorul transporturilor. La nivel european, o soluție pe termen scurt o reprezintă utilizarea unei proporții crescânde de combustibili regenerabili amestecați cu cei fosili. Studiile anterioare au demonstrat o compatibilitate ridicată între biofueluri și motoarele cu ardere internă proiectate inițial pentru combustibili fosili, însă această reducere a emisiilor poluante este adesea însoțită de o diminuare a performanțelor motorului, în special datorită valorii calorice inferioare a biocombustibililor. Astfel, eficiența termică a motoarelor alimentate cu amestecuri care conțin biodiesel poate varia semnificativ în funcție de raportul de compresie și de compoziția amestecului, iar optimizarea parametrilor de injecție reprezintă o direcție esențială de cercetare.

Pentru îmbunătățirea eficienței termice a motoarelor cu biocombustibili, este esențială optimizarea procesului de combustie, care depinde direct de caracteristicile jetului de combustibil și de procesul de amestecare aer-combustibil. Un jet de combustibil bine structurat, cu particule fine și o penetrare optimă în camera de ardere, corelată cu geometria acesteia și cu dezvoltarea uniformă a pulverizării, este necesar pentru a asigura o combustie eficientă și curată. Aceste cerințe sunt influențate atât de caracteristicile fizice ale combustibilului, cât și de caracteristicile geometrice ale injectorului și parametrii de operare, precum presiunea de injecție. Literatura de specialitate relevă că o creștere graduală a presiunii de injecție conduce la rafinarea structurii jetului și la o penetrare mai adâncă în camera de ardere. De asemenea, temperatura mediului ambiant influențează penetrarea conului de pulverizare, cu îmbunătățiri observate la creșterea temperaturii camerei de ardere. Proprietățile combustibilului, în special densitatea și viscozitatea, afectează semnificativ viteza și structura jetului, biodieselul determinând o reducere

a vitezei de injecție comparativ cu motorina, fenomen mai pronunțat în cazul injectoarelor cu un singur orificiu. Aceste proprietăți influențează și lungimea nucleului intact al jetului, rata de scădere a vitezei și intensitatea turbulenței în centrul jetului.

În plus, fenomene precum cavitația și presiunea de retur au un impact major asupra curgerii interne a fluidului și asupra procesului de injecție. Cavitația se manifestă mai ales la scăderea presiunii de retur și induce o creștere a energiei cinetice turbulente, accelerând fluxul și crescând viteza la ieșirea jetului. Studiile combinate experimentale și numerice au demonstrat o relație invers proporțională între apariția cavitației și presiunea de retur.

Influența proprietăților combustibililor grei asupra caracteristicilor spray-ului a fost investigată cu sisteme de injecție common-rail, evidențiindu-se scăderea densității și viscozității dinamice odată cu creșterea temperaturii combustibilului. Totodată, creșterea temperaturii conduce la întârzierea timpului de injecție și la scăderea penetrației vârfului spray-ului, în condiții de densitate ambiantă ridicată. Alte cercetări au pus în evidență faptul că parametrii importanți ai geometriei conului spray, precum unghiul și penetrarea vârfului, sunt determinați în principal de viscozitate, tensiune superficială și densitate, cu efectul că o creștere a acestor parametri conduce la reducerea valorilor unghiului conului și a penetrației vârfului spray-ului.

Diferența majoră față de cercetările anterioare constă în faptul că acestea s-au concentrat pe structura jetului dezvoltat în camera de ardere, în timp ce prezentul studiu investighează formarea și dezvoltarea jetului încă din faza primară, adică la ieșirea din injector, prin analiza modelului de curgere a combustibilului. Astfel, s-a urmărit analiza și caracterizarea modelului de curgere la ieșirea injectorului în funcție de tipul combustibilului și parametrii de funcționare ai motorului diesel.

Pentru investigarea acestor aspecte, au fost selectate două tipuri de combustibili: motorină (D) și ester metilic de rapiță (RME), reprezentativ pentru biocombustibili. Proprietățile fizice relevante ale acestor combustibili, precum densitatea și viscozitatea dinamică, au fost luate în considerare la diverse temperaturi, împreună cu condițiile de injecție (presiunea la intrare de 150 MPa și presiuni de retur variabile între 0,5 și 3,5 MPa).

Pentru analiza uniformității curgerii combustibilului la ieșirea injectorului, a fost definit un nou parametru, denumit Coeficientul de Uniformitate al Injectorului (NUC). Acesta reprezintă raportul dintre o suprafață caracterizată de viteze apropiate de valoarea medie și o suprafață cu viteze extreme (minimă și maximă) în fluxul de combustibil la ieșirea injectorului. Valoarea NUC variază între 0 și 1, unde valori apropiate de zero indică prezența unor viteze scăzute și, implicit, a unor picături mari în structura jetului, ceea ce conduce la o vaporizare lentă și inefficientă și necesită un grad mai mare de turbulență în camera de ardere. În schimb, valori ale NUC apropiate de 1 indică viteze ridicate ale picăturilor, cu diametre mai mici, facilitând formarea rapidă a amestecului aer-combustibil și reducând necesarul de turbulență.

Pentru simulările numerice a fost utilizat pachetul software AVL FIRE CFD, folosind un model multifazic Eulerian-Eulerian pentru a descrie curgerea multiphase a combustibilului, în special efectele cavitației. Modelul multifazic rezolvă ecuațiile de conservare a impulsului și energiei pentru fazele lichidă și gazoasă, folosind o metodă de cuplare a acestora la interfața lor. Turbulența este tratată cu ajutorul metodei RANS, iar simulările au fost realizate în regim staționar pentru a permite o analiză extinsă a efectelor parametrilor menționați.

Rezultatele obținute evidențiază o influență semnificativă a temperaturii combustibilului asupra vitezei de injecție și a distribuției vitezelor în zona de ieșire a injectorului. Pentru motorină, creșterea temperaturii de la 295 K la 360 K conduce la o scădere a vitezei maxime și la o concentrare crescută a vitezelor reduse în fluxul de ieșire, reducând gradul de penetrare al jetului. Similar, pentru RME, vitezele obținute sunt în general mai mici, iar distribuția acestora indică o mai slabă uniformitate în comparație cu motorina.

În ceea ce privește presiunea de retur, rezultatele arată că o presiune mai mică duce la o intensificare a cavitației, creșterea energiei cinetice și, implicit, la o viteză mai mare a combustibilului la ieșirea din injector. Această tendință este valabilă pentru ambele tipuri de

combustibil, însă efectul este mai accentuat în cazul RME, unde diferențele de viteză și uniformitate sunt mai pronunțate.

NUC-ul s-a dovedit un instrument valoros în evaluarea calitativă a jetului, corelând direct proprietățile fizice ale combustibilului și condițiile de injecție cu comportamentul acestuia la ieșirea injectorului. Se observă că valorile NUC sunt mai mari pentru motorină decât pentru RME în toate scenariile analizate, indicând un jet mai omogen și mai potrivit pentru o combustie eficientă.

Concluziile generale ale studiului subliniază necesitatea adaptării designului sistemului de injecție și a parametrilor săi de funcționare la tipul de combustibil utilizat, în special în contextul utilizării biocombustibililor. O corelare optimă între proprietățile fizice ale combustibilului și geometria injectorului poate conduce la îmbunătățirea performanțelor motorului și la reducerea emisiilor poluante.

3.1.3. Optimizarea conductelor de admisie și evacuare pentru un motor cu ardere internă

Dacă se dorește o simulare holistică a proceselor funcționale ale unui M.A.I., respectiv optimizarea proceselor de admisie și evacuare, softurile recomandate sunt Lotus Engine Simulation (LES) sau AVL BOOST.

În această lucrare au fost analizate procesele de admisie și evacuare, s-au simulat geometria și construcția galeriei de admisie și evacuare pentru a sublinia importanța parametrilor de construcție ai influenței colectoarelor asupra proceselor de admisie și evacuare. În final s-a ales construcția optimă a colectoarelor în ceea ce privește cele mai bune performanțe ale motorului, pe baza unor analize ce au fost realizate folosind software-ul Lotus Engine Simulation.

În mediul de modelare și simulare LES, modelarea unui M.A.S. presupune crearea modelului din componente predefinite personalizabile (motor simulat C18NZ, Opel Astra F 2000): galeria de admisie, conform figurii 12, urmat de datele despre camera de ardere, respectiv galeria de evacuare inclusiv sistemele de depoluare și atenuatori de zgomot (figura 13). Principalele componente ale motorului care trebuie modelate sunt: blocul motor (alezajul, cursa, lungimea bielei, excentricul bolțului, raportul de comprimare), chiulasa (numărul de supape, unghiul de deschidere al supapei, unghiul de închidere al supapei, unghi la ridicarea maximă), ale supapelor, diametrul supapelor), sistemul de admisie (filtru de aer, conducte, galeria de admisie și modulul de injecție cu geometria și dimensiunile constructive), precum și sistemul de evacuare (colectorul de evacuare, catalizatorul, amortizoarele de zgomot).

Pentru blocul motor trebuie introduși doar parametrii constructivi și funcționali, fiind utilizați aceia din specificațiile motorului date de constructor. Cel mai important obiectiv în modelarea motorului a fost măsurarea tuturor elementelor de admisie și evacuare, determinarea formei exacte a acestor componente și apoi crearea modelului folosind datele măsurate.

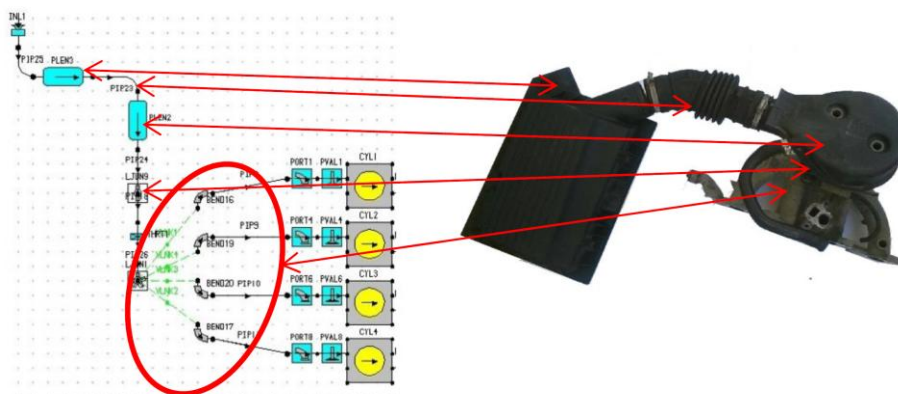


Figura 12. Galeria de admisie introdusă în model LES

După introducerea datelor de intrare, modelul trebuie validat prin verificarea suprapunerii curbelor de putere efectivă și moment efectiv. Pentru optimizarea proceselor de admisie și evacuare, se impune crearea simulării de la turația minimă la turația maximă a modelului introdus, în cazul de față de la 800 rot/min la 6400 rot/min și ajustarea diametrului interior al tubulaturii de la 10 mm la 50 mm, respectiv lungimea tubulaturii de admisie de la 50 mm la 1500 mm prin simulări succesive.

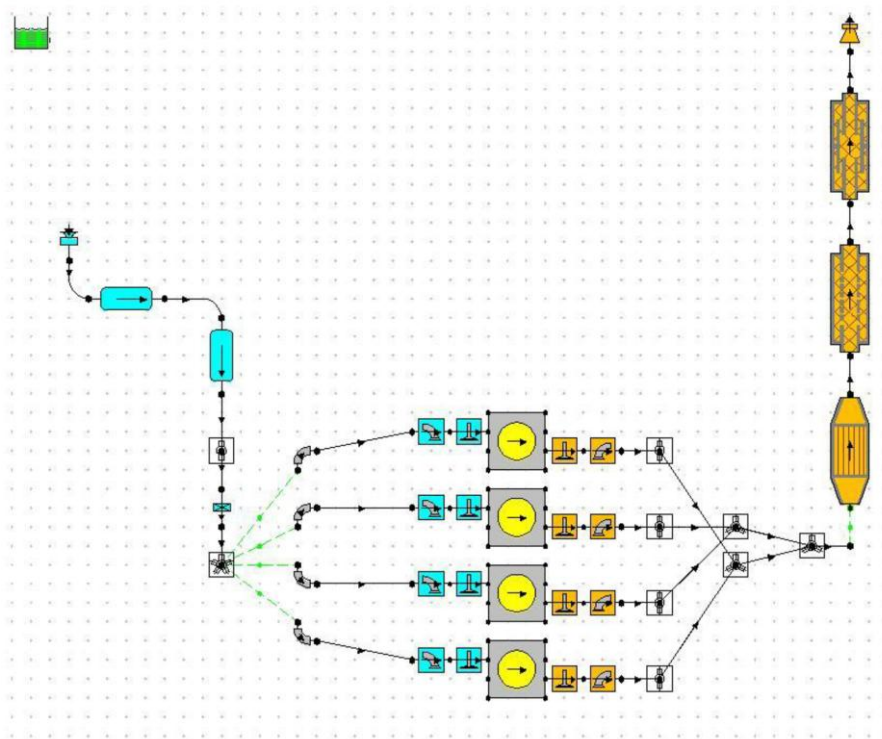


Figura 13. Model final al unui M.A.S. implementat în LES

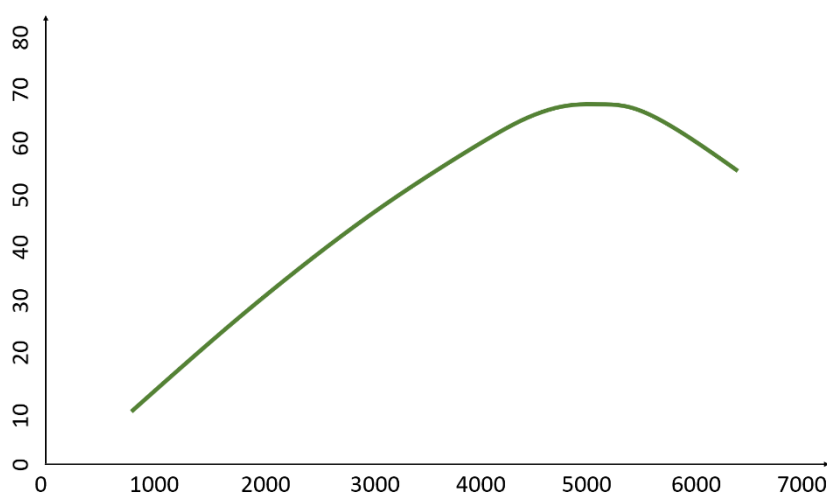


Figura 14. Curba de putere pentru simularea/validarea standard a M.A.S.

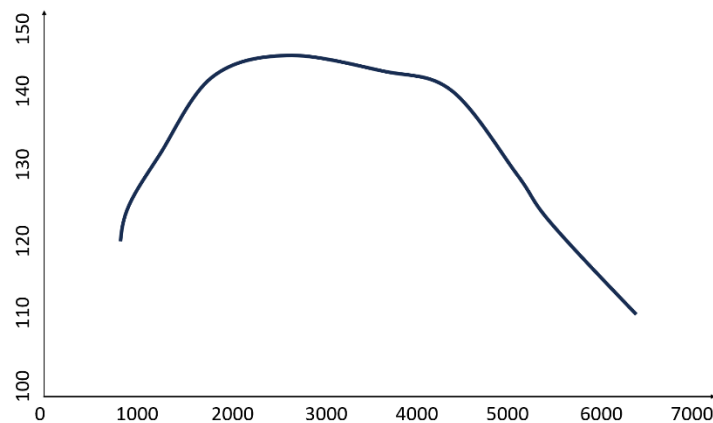


Figura 15. Curba de moment pentru simularea/validarea standard a M.A.S.

Scopul a fost îmbunătățirea eficienței volumetrice a procesului de admisie, identificată ca fiind maxim 75% la un diametru de 30 mm și o lungime de 250 mm. Pentru îmbunătățirea tubulaturii de evacuare, pe lângă geometria tubulaturii, s-a încercat și o optimizare a designului general pentru a reduce contrapresiunea. Soluția este prezentată în figura 16.

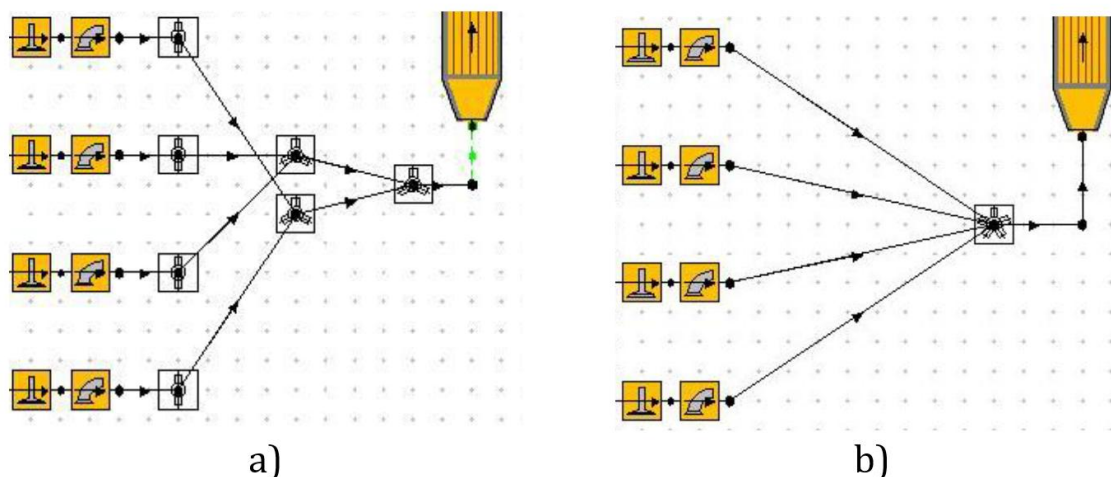


Figura 16. Soluția standard (a) și cea optimizată (b) pentru galeria de evacuare

Prin implementarea soluției noi, s-a îmbunătățit puterea generată de motor cu 8,7% (la 72.2 kW), respectiv momentul motor cu 7,3% (la 155,2 Nm).

În concluzie, prin utilizarea proceselor de simulare computerizată s-a demonstrat că galeria de admisie și evacuare are o influență semnificativă asupra performanțelor motorului. În cazul galeriei de admisie (așa cum se vede în rezultatele simulării prezentate anterior), cea mai bună alegere pentru acest tip de motor este lungimea de 300 mm și diametrul de 30 mm al conductelor de admisie. Totuși, dacă cei doi parametri sunt combinați, există posibilitatea de a descoperi combinații mai bune între lungimea și diametrul conductei de admisie. Pentru galeria de evacuare, cele mai bune rezultate au fost atinse cu colectorul de ramificare individual și lungimea de 1300 mm. În acest caz, contrapresiunea a fost scăzută și a fost subliniată o creștere vizibilă a puterii și a cuplului. Problema cu acest tip de colector este costul de producție, deoarece în producția de serie implică un procedeu simplu de turnare, întregul colector fiind

ieftin, în contradicție cu colectoarele ramificate care implică costuri suplimentare (sunt utilizate la motoarele de înaltă performanță).

Diseminarea rezultatelor cercetării a fost realizată în articolul: V.B. Magdas, D. Moldovanu, and D.C. Mastan, Intake and exhaust pipe optimization for an internal combustion engine, Annual Session of Scientific Papers „IMT ORADEA 2019”, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 568 (2019) 012048.

Motivația studiului derivă din presiunile legislative și ecologice tot mai stringente impuse asupra emisiilor vehiculelor echipate cu motoare cu ardere internă. Autorii consideră că, pe lângă dezvoltarea de noi propulsoare, optimizarea motoarelor deja existente reprezintă o direcție de cercetare justificată și viabilă, în special pentru reducerea emisiilor la nivelul întregului parc auto. În plus, în această abordare integrată sunt luate în calcul și soluții conexe, precum utilizarea biocombustibililor și a catalizatorilor performanți. Totuși, accentul lucrării cade pe optimizarea mecanică și fluidodinamică a circuitului aerului și al gazelor arse, în vederea îmbunătățirii eficienței volumetrice și reducerii gazelor reziduale.

Motorul utilizat ca model de studiu este un propulsor aspirat natural, cu codul C18NZ, produs de Vauxhall pentru modelul Opel Astra F (an de fabricație 2000). Acesta are patru cilindri în linie, sistem de injecție monopunct și o cilindree de 1796 cm³. Puterea maximă nominală este de 66 kW la 5400 rot/min, iar cuplul maxim de 145 Nm la 3000 rot/min. Toate aceste date au fost utilizate pentru validarea modelului implementat în Lotus Engine Simulation.

Modelarea motorului s-a realizat prin introducerea parametrilor constructivi esențiali: geometria blocului motor (alesaj, cursă, lungimea bieiei, raportul de compresie), caracteristicile chiulasei (numărul și cursa supapelor, diametrul și timpul de deschidere/închidere al acestora), configurația completă a sistemului de admisie (filtru de aer, galerie, modulul de injecție) și a sistemului de evacuare (colector de evacuare, convertor catalitic și tobe de eșapament). Modelarea componentelor nu a presupus exclusiv introducerea parametrilor numerici, ci și reconstrucția topologică a traseelor, pe baza măsurărilor efectuate pe motorul fizic.

Sistemul de admisie a fost descris ca un ansamblu complex ce include corpul clapetei de accelerație, injectorul, regulatorul de aer de ralanti, galeria de admisie propriu-zisă, valva EGR, conducta de vacuum pentru servofrană și elementele de fixare. Pentru sistemul de evacuare, au fost modelate galeria de evacuare, conductele de legătură, convertorul catalitic și două elemente de amortizare fonică. De menționat este configurarea specifică a galeriei de evacuare: cilindrii 1 și 4 sunt racordați la o ieșire comună, iar cilindrii 2 și 3 la cealaltă, în vederea minimizării migrării gazelor arse în timpul suprapunerii temporale a fazelor de admisie și evacuare. Această arhitectură influențează direct calitatea amestecului aer-combustibil și, implicit, gradul de oxidare completă a combustibilului.

Modelul complet simulat în Lotus Engine Simulation a inclus toate componentele descrise anterior, cu reprezentarea secvențială a traseului aerului de la intrarea în filtrul de aer până la ieșirea gazelor arse prin tobele finale. Pentru simulări, s-au utilizat condiții standardizate: turație minimă de 800 rot/min, turație maximă de 6400 rot/min, presiune atmosferică de 1 bar și temperatură ambientală de 20°C.

Analiza s-a desfășurat în două etape distincte: optimizarea admisiei și optimizarea evacuării. Pentru admisie, s-au analizat două variabile esențiale: lungimea și diametrul conductelor. Ca punct de referință, s-a simulat comportamentul galeriei din configurația standard (240 mm lungime, 30 mm diametru). Rezultatele au indicat o putere de 65 kW la 5000 rot/min și un cuplu de 140 Nm la 3800 rot/min, în concordanță cu datele oficiale ale producătorului.

Simulările parametrice au implicat variația lungimii conductelor între 50 și 500 mm, cu pas de 50 mm. S-a observat că eficiența volumetrică crește odată cu lungimea până la un prag de 300 mm, după care descrește brusc peste 4000 rot/min. În consecință, lungimea optimă a fost identificată la 300 mm. Ulterior, diametrul conductelor a fost variat între 10 și 50 mm. Eficiența maximă a fost atinsă la diametrul de 20 mm, însă scăderea abruptă a performanței la turații

ridicate a determinat păstrarea valorii de 30 mm ca opțiune echilibrată, fapt ce susține alegerea inițială a producătorului.

Pentru evacuare, s-au analizat trei variante constructive ale galeriei: configurația standard cu ramificații încrucișate (interferență), o galerie cu ramificații scurte și una cu ramificații individuale lungi. În cazul configurației standard, lungimea conductelor aferente cilindrilor 1 și 4 a fost de 270 mm, iar pentru cilindrii 2 și 3 de 250 mm, toate cu diametrul de 35 mm. Simulările au evidențiat variația coeficientului de gaze reziduale între 3% și 13.2%, cu valori relevante în intervalul de turații 2000-3000 rot/min, corespunzător regimului de croazieră.

Configurarea cu ramificații scurte a dus la o scădere a puterii de vârf cu 4.8% (63.2 kW) și a cuplului maxim cu 4.01% (139.9 Nm). Totodată, coeficientul de gaze reziduale a crescut semnificativ pe întreg intervalul de turații, ceea ce indică o evacuare inefficientă, atribuită rezistenței sporite la curgerea gazelor.

Cea mai performantă configurație s-a dovedit a fi galeria cu ramificații individuale lungi, variind între 800 și 1500 mm. La o lungime de 1300 mm, s-au obținut performanțe maxime: 72.2 kW la 5300 rot/min (o creștere de 8.7% față de standard) și 155.2 Nm la 2200 rot/min (o creștere de 7.3%). Scăderea contra-presiunii și îmbunătățirea evacuării au fost evidente în aceste scenarii, validând eficiența configurației independente în contextul performanțelor sporite.

Rezultatele obținute confirmă influența substanțială a dimensiunilor colectoarelor asupra parametrilor de funcționare ai motorului. Se subliniază faptul că lungimea și diametrul conductelor din galeria de admisie trebuie echilibrate în funcție de turația de funcționare preponderentă, în timp ce, pentru evacuare, soluțiile constructive independente conduc la performanțe net superioare, cu condiția spațiului fizic disponibil pentru implementare.

Autorii notează că, deși simulările individuale ale fiecărui parametru oferă date relevante, explorarea simultană a combinațiilor dintre lungime și diametru ar putea genera rezultate și mai precise. În același timp, alegerea unor galerii performante este limitată de constrângeri spațiale, economice și de compatibilitate structurală. Totuși, utilizarea software-urilor avansate de simulare, precum Lotus Engine Simulation, permite anticiparea comportamentului dinamic al motorului fără costuri ridicate asociate prototipurilor fizice.

Concluziile studiului oferă o perspectivă valoroasă asupra modului în care optimizarea geometriei colectoarelor de admisie și evacuare poate contribui semnificativ la creșterea eficienței globale a unui motor termic, chiar și în cazul unui model relativ vechi. Această abordare are potențialul de a susține tranziția ecologică în transporturi, prin îmbunătățirea performanțelor flotei existente fără înlocuirea completă a acesteia, o strategie sustenabilă pe termen mediu.

3.1.4. Posibilități de optimizare a curgerii aerului în galeria de admisie

O altă cercetare în direcția optimizării performanței galeriei de admisie prin simulare în AVL Boost (pentru datele de intrare) și optimizare în mediul AVL Fire (simulare CFD) este aceea de a investiga efectul de implementare a unor adâncituri de formă circulară/sferică pe interiorul tubulaturii de admisie.

Prin utilizarea software-ului CFD, se studiază fenomenele care apar în interiorul galeriei de admisie. Modificarea admisiei duce la o creștere a debitului masic de aer și implicit la creșterea performanței motorului. Viteza de curgere a aerului permisă la stratul limită dintre conductă și aer tinde să fie zero. De asemenea s-a studiat efectul unei suprafețe rugoase create prin adâncituri de formă circulară în conducta de admisie. Prin aplicarea acestor adâncituri mici pe suprafața conductei, distribuția vitezei devine mai uniformă în interiorul tubului, deoarece adânciturile determină scăderea presiunii la intrare, crescând astfel debitul de aer. Stratul limită, care are viteze de curgere reduse comparativ cu viteza din centrul tubului, devine mai subțire. Prin aplicarea acestei metode, debitul de aer în galeria de admisie poate fi îmbunătățit.

Utilizarea adânciturilor pe suprafața interioară este similară cu creșterea rugozității suprafeței, iar efectul asupra stratului limită ar trebui să fie similar cu curgerea peste o suprafață rugoasă. La

stratul limită din adâncituri se creează vârtejuri, așa cum se poate observa în figura 17. Curgerea peste suprafața cu adâncituri poate genera vârtejuri stabile, ceea ce îmbunătățește sau înrăutățește curgerea local și în centul tubulaturii de admisie. De aceea s-au analizat diferite tipuri de adâncituri, care nu generează turbulențe verticale pe adâncituri.

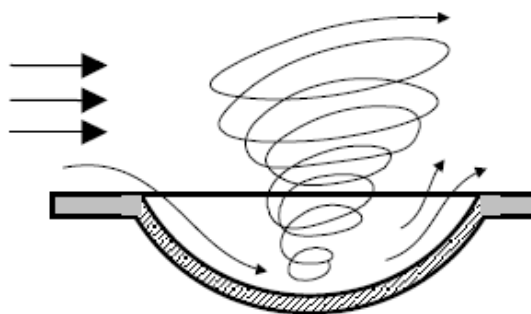


Figura 17. Vârtejul format în adâncitura din galeria de admisie

Motorul ales (Toyota 3VZ-E) a fost simulat în AVL Boost (figura 18) și validat prin suprapunerea curbelor de putere efectivă și moment efectiv. S-au introdus puncte de măsurare, pentru a observa presiunea, temperatura și viteza prin galeria de admisie (MP8 – Measuring Point 8).

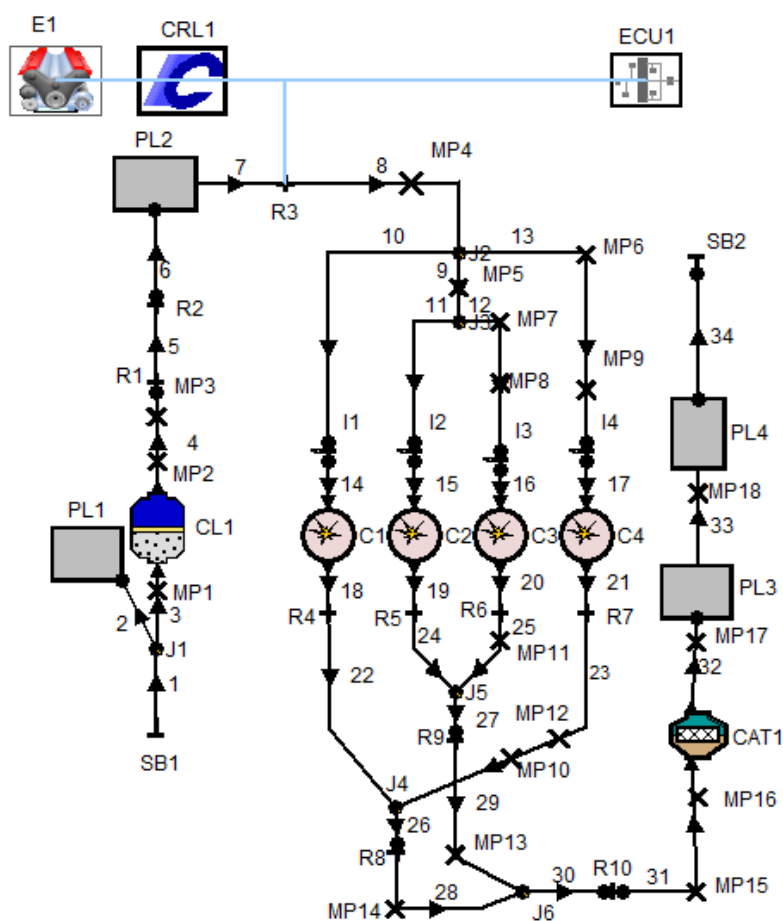


Figura 18. Modelul motorului simulat în AVL Boost

Turațiile de interes sunt 2000 rot/min și 6000 rot/min, de aceea simulările s-au făcut pentru cele două puncte de operare. Rezultatele obținute sunt prezentate în figurile 19 și 20.

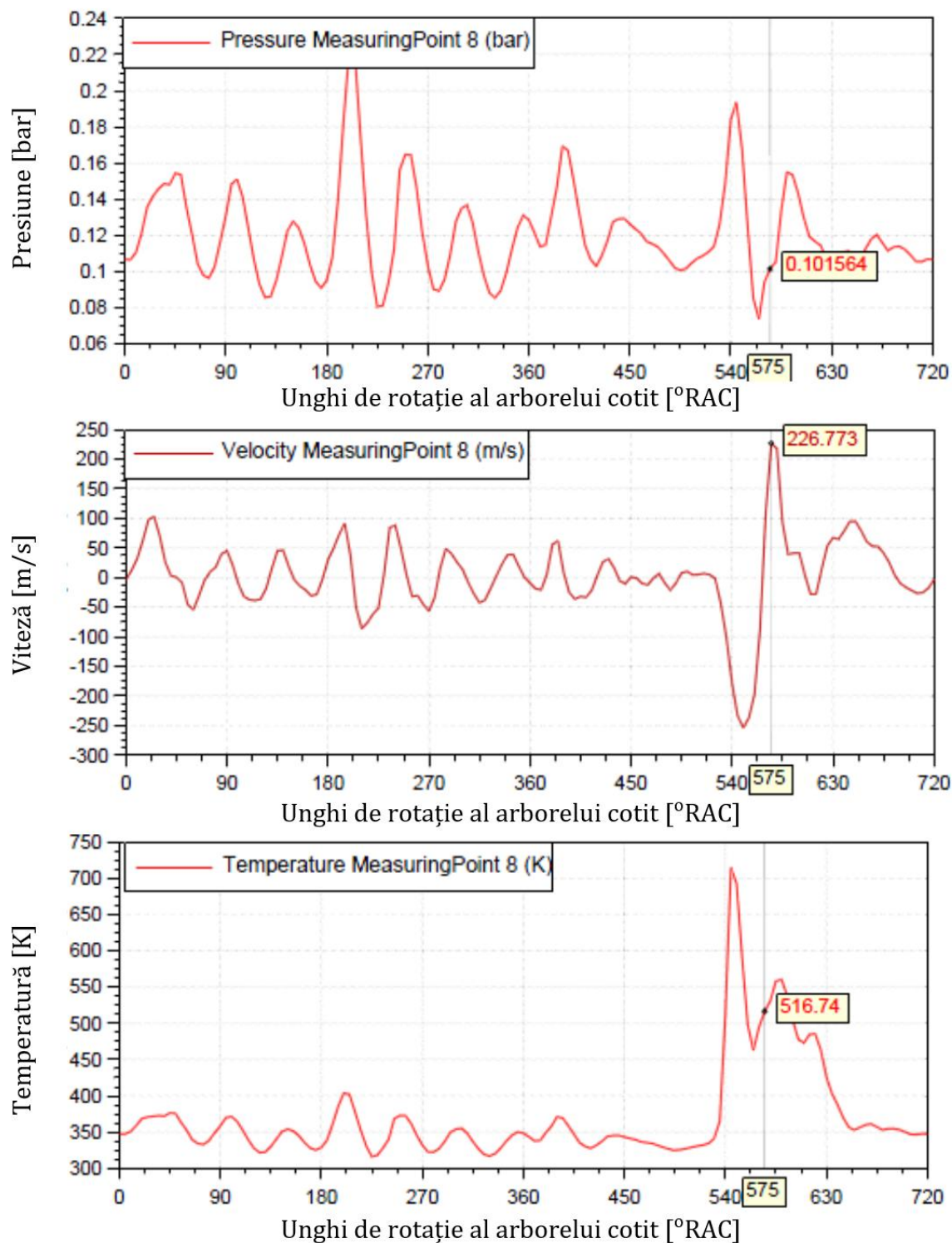


Figura 19. Rezultate în punctul de măsurare MP8 pentru 2000 rot/min

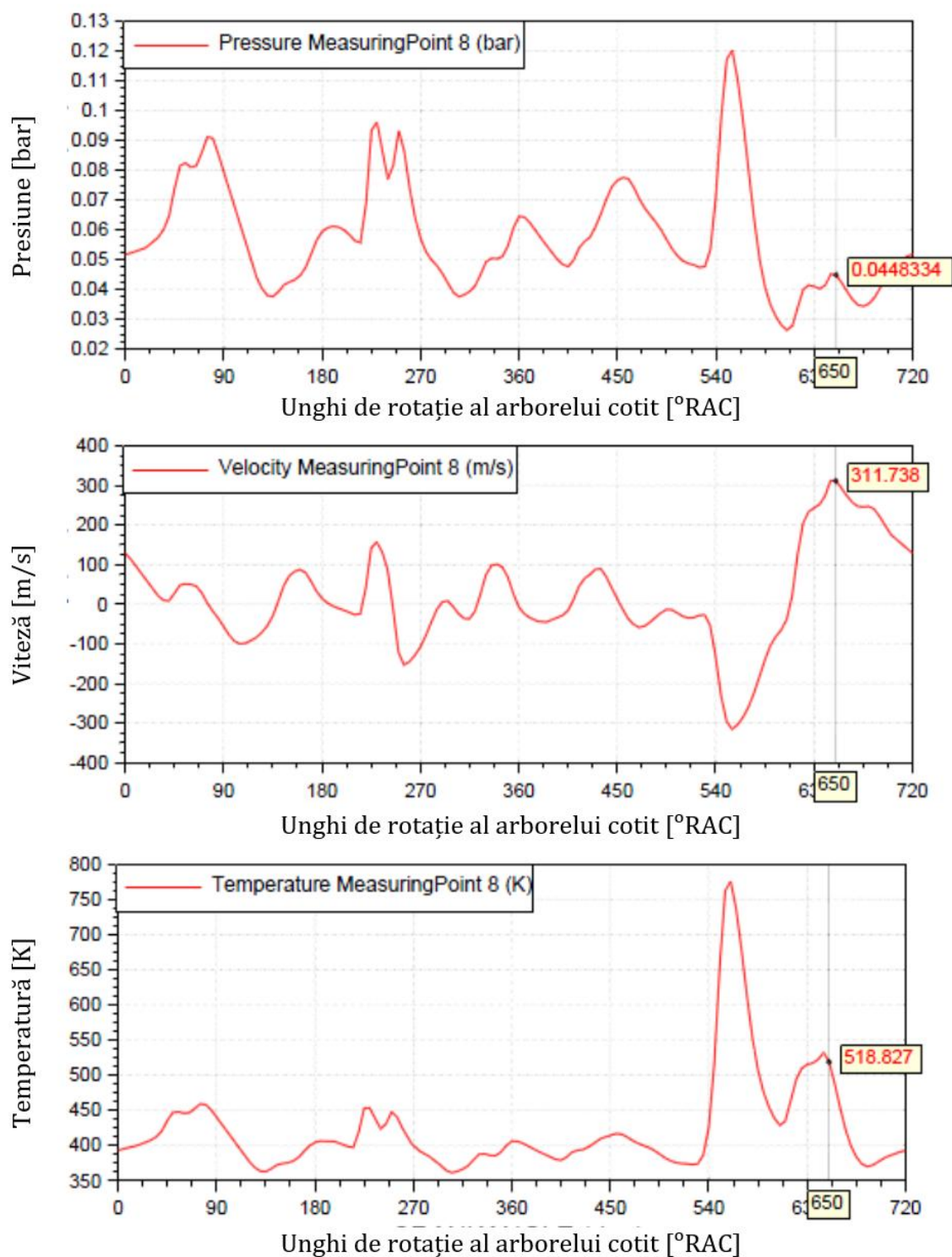


Figura 20. Rezultate în punctul de măsurare MP8 pentru 6000 rot/min

Cunoscându-se datele de intrare pentru modelul din AVL Fire, s-a implementat un model 3D care este prezentat în figura 21 și s-au testat cinci tipuri de adâncituri posibile pe suprafața interioară (figura 22).

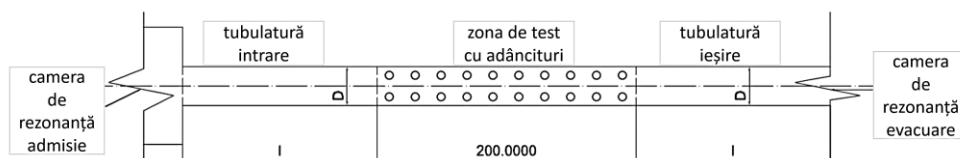


Figura 21. Model implementat în AVL Fire

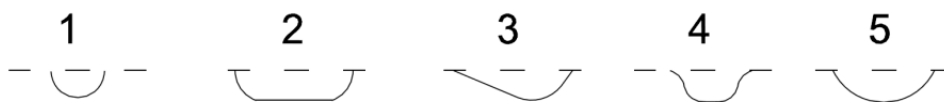


Figura 22. Modele de adâncituri simulate

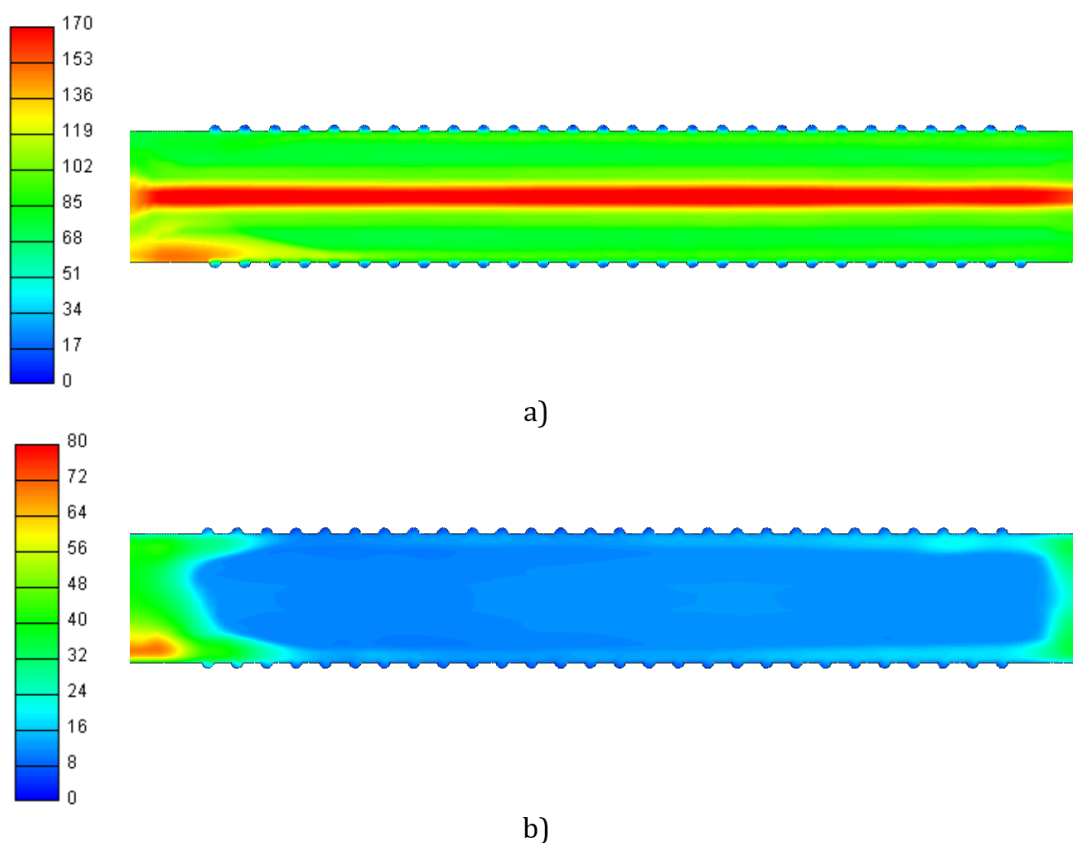


Figura 23. Viteza de curgere (a) și Viteza turbulenței (b) prin tubulatura de admisie cu adâncituri de forma 1

Din setul de simulări realizate s-a constatat faptul că forma 1 de adâncitură este optimă datorită faptului că aceasta generează cea mai mică lungime de reatașare a fluxului aerului și creează cel mai înalt vortex, prin urmare a fost luat în considerare pentru investigații / simulări ulterioare. Tubulatura de testare a fost populată cu adâncituri de forma 1 și s-a analizat fluxul de aer. Rezultatele simulării au scos în evidență faptul că prin aplicarea adânciturilor de forma 1 se

crează în centrul tubulaturii de admisie o venă de aer care are o viteză stabilă mai mare cu 39,5% față de viteza inițială de la admisie. Ca și direcții viitoare de cercetare sub acest aspect, se poate analiza modul de amplasare și densitatea adânciturilor și de asemenea se poate analiza influența acestora asupra tubulaturilor îndoite.

Rezultatele acestei cercetări au fost diseminate în articolul: D. Moldovanu, A. Csato, N. Bagameri, Flow studies on increasing the efficiency of the inlet manifold, Annual Session of Scientific Papers "IMT ORADEA 2019", IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 568 (2019) 012050.

3.1.6. Influența mișcării compuse a aerului admis în interiorul camerei de ardere a unui motor asupra formării zonelor de turbulență

Pachetele software specializate în cercetarea fenomenelor ce au loc în funcționarea M.A.I. (AVL Fire) pot fi de asemenea utilizate și la analiza mișcării aerului și/sau al amestecului din interiorul camerei de ardere a și mai departe, optimizarea procesului de amestec al combustibilului cu aerul, pentru a obține o ardere cât mai completă.

Cercetarea efectuată în acest scop prezintă interes deoarece legile europene actuale limitează emisiile prin mai multe amendamente, în special pentru motoarele Diesel. Prin urmare, un număr mare de lucrări investighează toate direcțiile posibile pentru această cauză. Payri et.al. a ales direcția de măsurare a componentelor de viteză tangențială și radială a unui vehicul ușoară (LDV) cu accent pe modelele de curgere din interiorul motorului diesel cu un singur cilindru cu 4 supape pentru diferite turații ale motorului, subliniind numerele de turbulență și geometria pistonului, în condiții similare la cele ale unui motor de producție [21]. Munca lor s-a concentrat pe regiunea de lângă pereții camerelor de ardere axisimetrice din cauza formării emisiilor. Iar concluzia lor a fost că forma pistonului și configurația de admisie afectează modelele de curgere și nivelul de turbulență [21].

Principala mișcare în cilindru în interiorul unui motor cu aprindere prin scânteie este mișcarea de tumble care afectează amestecul aer-combustibil și prin urmare, emisiile. Kim și colab. a folosit un cod comercial (STAR-CD) pentru a investiga formarea amestecului și caracteristicile de ardere într-un motor GDI. Pentru a prezice forma jetului, modelul de jet al lui Reitz-Diwakar a fost utilizat pentru modul de funcționare al amestecului. Rezultatele au arătat că viteza mișcării de tumble poate deteriora distribuția amestecului și prin urmare, scade viteza de ardere [22].

Hill și Zhang au scris o lucrare cu privire la fluxul rotativ al aerului (swirl și tumble) în motoare și efectele acestuia asupra generării de turbulențe și propagării flăcării. Ambele mișcări, swirl și tumble, au avut multe cercetări dedicate acestora, în ultimii ani atenția din ce în ce mai mare fiind acordată mișcării de tumble. Deoarece cele două mișcări au caracteristici diferite și interacționează diferit cu mișcarea pistonului, s-a ajuns la concluzia că un câmp de rotație optim se poate crea prin combinarea celor două tipuri de mișcare de rotație. În lucrarea lor, autorii au revizuit principalele caracteristici ale câmpurilor medii de viteză și turbulență asociate cu aceste mișcări de rotație, mecanismele de dezintegrare, generare, transport și îmbunătățire a turbulenței în cilindru [23].

O altă lucrare referitoare la cele două mișcări a fost cea scrisă de Lee și colab., referitoare la efectele curgerilor swirl și tumble asupra propagării flăcării într-un motor cu patru supape. Prin multe experimente, autorii au subliniat că există o corelație între mișcarea de tumble mai puternică în timpul admisiei și nivelurile de turbulență în momentul aprinderii, ceea ce duce la o dezvoltare mai rapidă a flăcării. Mai mult, s-a dovedit că amestecul influențat de mișcările de swirl și tumble este mai eficient decât tumble pur în efectuarea unei arderi rapide și stabile [24].

Cercetarea efectuată prin simulare computerizată a presupus alegerea unui motor, (1.5 DCi, Dacia) și crearea camerei de ardere prin măsurarea unui piston secționat real. După crearea camerei de ardere, s-a creat rețeaua de noduri care delimitează geometria modelului simulat în 3D și s-au ales secțiunile pentru capul pistonului, cilindru, chiulasa și zona de simetrie (deoarece

din 4 jeturi de combustibil s-a simulat un singur jet, presupunând că jeturile sunt identice – în vederea reducerii timpului de simulare).

În figura 24 se prezintă modelul final pentru camera de ardere:

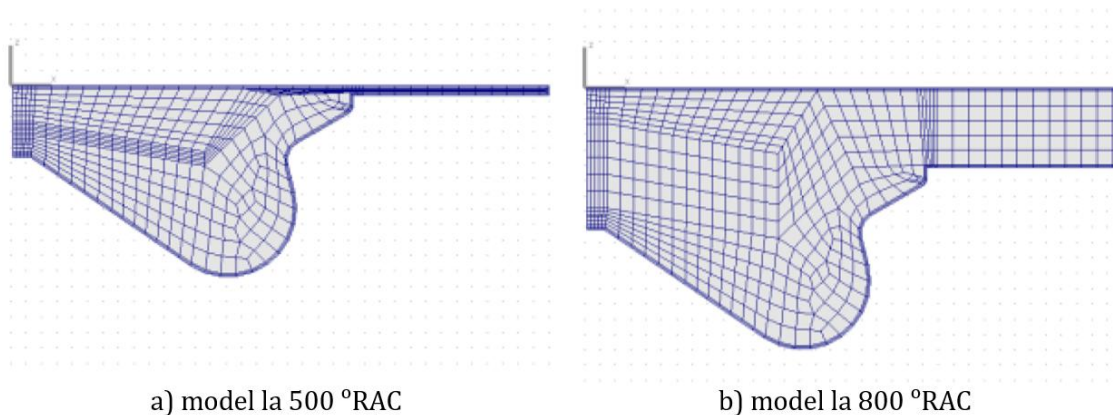


Figura 24. Modelul 3D final pentru simularea camerei de ardere în AVL FIRE

Deoarece interesul este simularea formării jetului de combustibil, a amestecului combustibilului cu aerul, respectiv al arderii, simularea începe la 500 °RAC și se termină la 800 °RAC, (720 °RAC fiind notația pentru PMS cu ardere în AVL FIRE), și mai departe s-au creat 13 variante de simulare (prezentate în tabelul 2).

Rezultatele obținute sunt prezentate tabelar în tabelul 3, care prezintă vitezele maxime obținute pentru toate cazurile de simulare, în timp ce Figurile 25 și 26 prezintă zonele de formare a curenților din interiorul cilindrului.

Tabel 2. Cazuri de simulare și mișcarea specifică creată în camera de ardere (S – Swirl, T – Tumble)

Caz	Mișcare generată
1	50%T 50%S
2	70%T 70%S
3	50%T 70%S
4	50%T 100%S
5	70%T 50%S
6	70%T 100%S
7	0%T 0%S

Caz	Mișcare generată
8	0%T 50%S
9	0%T 100%S
10	100%T 0%S
11	100%T 50%S
12	100%T 70%S
13	100%T 100%S

Tabel 3. Vitezele maxime obținute prin simulare în camera de ardere

Caz	Viteza la 718°RAC [m/s]	Viteza la 736°RAC [m/s]	Caz	Viteza la 718°RAC [m/s]	Viteza la 736°RAC [m/s]

1	17.77	74.51	8	20.42	71.96
2	17.7	73.7	9	20.41	71.07
3	18.7	72.63	10	15.9	75.65
4	19.52	72.29	11	16.65	77.2
5	17.17	75.91	12	17.12	75.33
6	18.87	73.21	13	17.79	74.51
7	16.2	76.4			

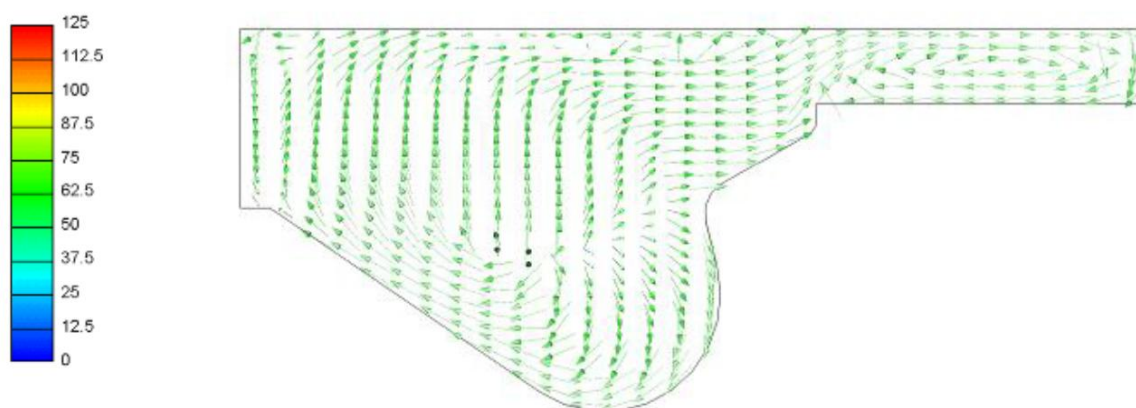


Figura 25. Zonele de formare a curenților din interiorul cilindrului la 736°RAC pentru cazul de simulare 13

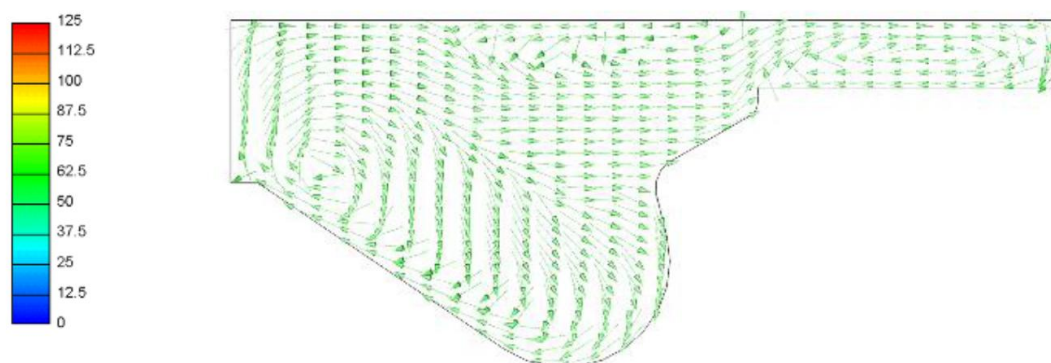


Figura 26. Zonele de formare a curenților din interiorul cilindrului la 736°RAC pentru cazul de simulare 10

Prin analiza rezultatelor obținute s-a observat că cea mai mare viteză a mișcării aerului în cilindru a fost atinsă atunci când a fost indusă o mișcare de 100% tumble și 50% swirl (caz 11), în timp ce viteza cea mai mică a fost observată la 100% swirl și 0% tumble. Zonele de formare a curenților din interiorul camerei de ardere influențează în mod semnificativ amestecul aer-combustibil și implicit emisiile, de aceea este recomandată soluția funcțională din cazul 11 (100% tumble și 50% swirl), deoarece zona de formare a curenților este de asemenea în zona jetului de combustibil și are viteza cea mai mare, asigurând un amestec uniform al combustibilului cu aerul din interiorul cilindrului.

Rezultatele acestei cercetări au fost diseminate în articolul: D. Moldovanu, F. Mariașiu, N. Bagameri, Influence of swirl and tumble motion inside the combustion chamber of a

compression ignited engine on vertices formation, Annual Session of Scientific Papers "IMT ORADEA 2018", MATEC Web of Conferences 184, 01022 (2018).

3.1.7. Creșterea eficienței globale a exploatării unui vehicul prin recuperarea energiei termice

O altă zonă/direcție de cercetare prin simulare ce a atras interesul candidatului, pe lângă cele prezentate anterior, este cea creșterii eficienței globale a M.A.I. prin investigarea posibilităților de recuperare a energiei pierdute de motorul cu ardere internă prin căldura degajată spre mediul în care motorul este operat (prin lichidul de răcire, gazele de evacuare, etc.)

Deoarece nu există un mediu specific, specializat pe acest subiect, s-a recurs la scrierea ecuațiilor de bază și rezolvarea acestora într-un mediu de simulare de tip Model Based (unde utilizatorul are blocuri care au roluri specifice, fără a fi necesară înțelegerea procesului din interiorul acestor blocuri, ci a întregului format prin conectarea acestora), mediul de simulare ales fiind MATLAB Simulink.

Ceea ce s-a dorit prin dezvoltarea ideii de cercetare este simularea unui TEG (Termoelectric Generator – generator termoelectric) și ulterior după validare a unor grupări de TEG-uri montate în diferite zone calde ale motorului în vederea recuperării de energie. Pentru realizarea simulării, s-au implementat ecuații care stau la baza operării unui TEG, cum ar fi: tensiunea generată în funcție de temperaturile din zona caldă respectiv rece a TEG-ului în circuit deschis, Tensiunea generată de TEG cu consumator, rezistența interioară a TEG; cu ajutorul căror s-a putut determina curentul care poate fi generat de TEG.

Implementând ecuațiile care stau la baza unui singur TEG, s-a putut implementa modelul unui modul de TEG-uri format din 127 astfel de termocuple. Datele de intrare au fost extrase din datele de fabricare ale producătorului pentru modulele TGM-199-1.4-0.8 și TGM-127-1.4-2.5, temperaturile pentru zona caldă, respectiv pentru zona rece fiind de 200°C și 30°C (recomandate pentru ambele module), restul datelor fiind prezentate în tabelul 4.

Tabel 4. Date de intrare ale modulului de termogeneratoare (TEM)

TEM	Număr de termocuple	Putere maximă [W]	Curent maxim [A]	Randament maxim [%]
TGM-199-1.4-0.8	199	11,4	5,1	4,3
TGM-127-1.4-2.5	127	4,46	2,37	5,5

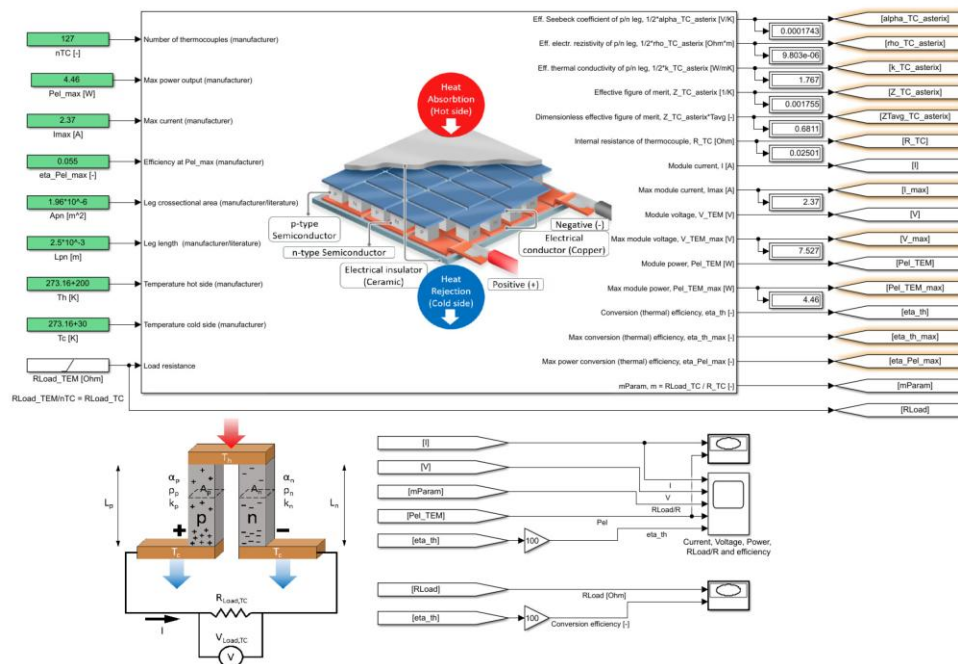


Figura 27. Modelul de TEM TGM-127-1.4-2.5 implementat în MATLAB Simulink

Prin crearea modelului în mediul Simulink și rularea simulării, s-a obținut variația puterii în funcție de temperatura în zona caldă (figura 28.), curentul generat în funcție de temperatura în zona caldă (figura 29.), variația tensiunii în funcție de temperatura în zona caldă (figura 30.), eficiența modului în funcție de rezistență (figura 31.), respectiv puterea și tensiunea în funcție de curent (figura 32.). Toate graficele menționate au fost comparate cu valorile date de către producător, în vederea validării simulării.

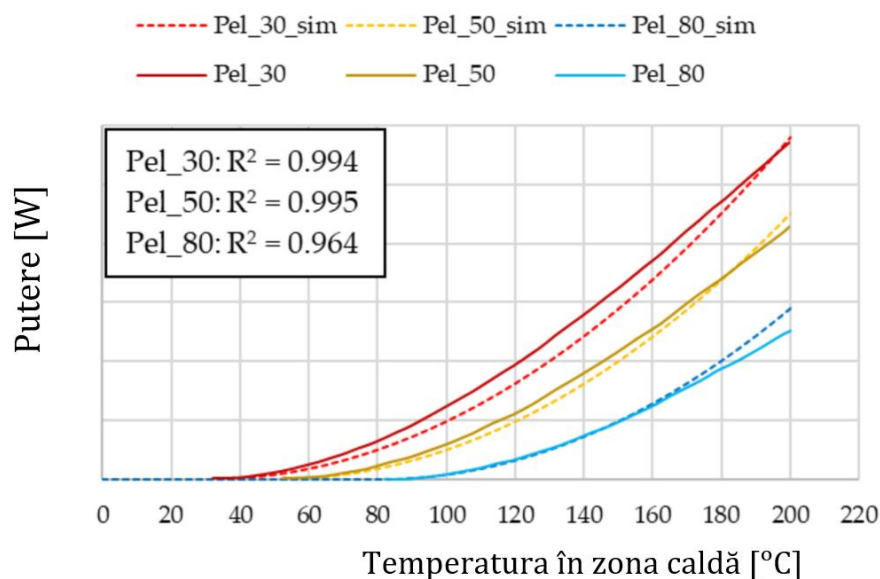


Figura 28. Variația puterii în funcție de temperatura în zona caldă

Unde P_{el_30} este putere electrică generată cu temperatura din zona rece de 30°C, $P_{el_30_sim}$ este putere electrică generată în simulare cu temperatura din zona rece de 30°C, P_{el_50} este putere electrică generată cu temperatura din zona rece de 50°C, $P_{el_50_sim}$ este putere electrică generată în simulare cu temperatura din zona rece de 50°C, P_{el_80} este putere electrică generată cu temperatura din zona rece de 80°C, $P_{el_80_sim}$ este putere electrică generată în simulare cu temperatura din zona rece de 80°C.

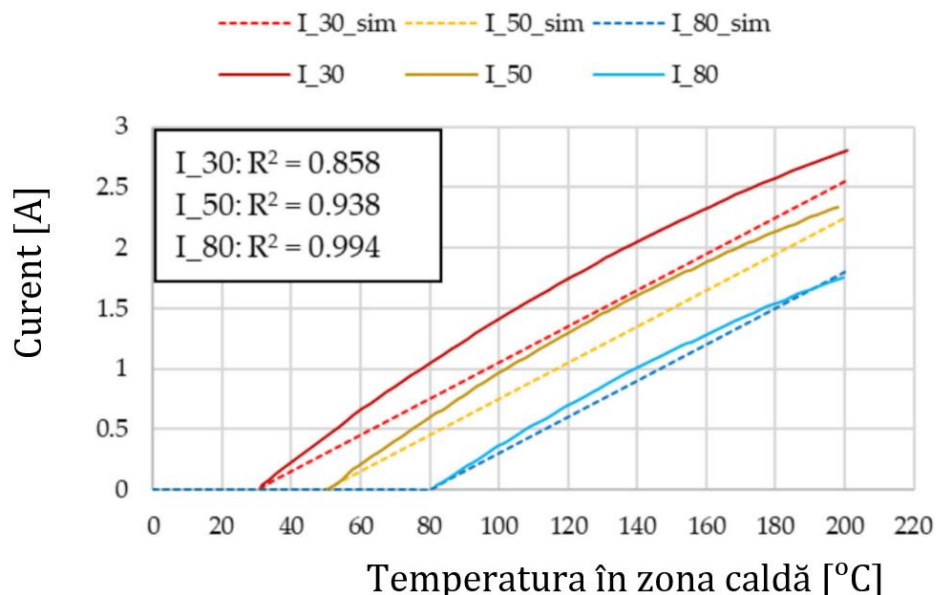


Figura 29. Variația curentului în funcție de temperatura în zona caldă

Unde I_{30} este curentul generat pentru o temperatură din zona rece de 30°C, I_{30_sim} este curentul generat în simulare pentru o temperatură din zona rece de 30°C, I_{50} este curentul generat pentru o temperatură din zona rece de 50°C, I_{50_sim} este curentul generat în simulare pentru o temperatură din zona rece de 50°C, I_{80} este curentul generat pentru o temperatură din zona rece de 80°C, I_{80_sim} este curentul generat în simulare pentru o temperatură din zona rece de 80°C.

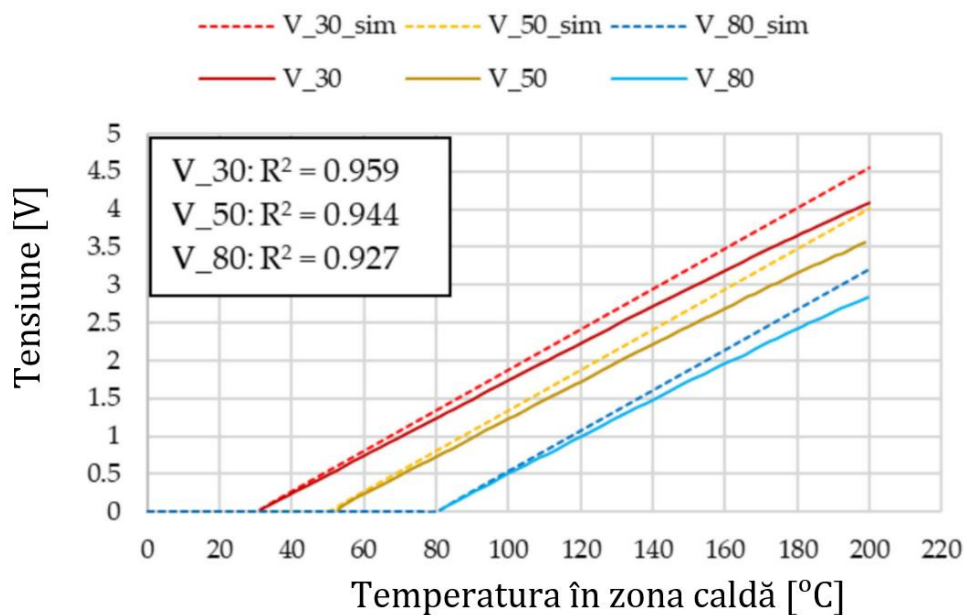


Figura 30. Variația tensiunii în funcție de temperatura în zona caldă

Unde V_{30} este tensiunea generată pentru o temperatură din zona rece de 30°C, V_{30_sim} este tensiunea generată în simulare pentru o temperatură din zona rece de 30°C, V_{50} este tensiunea generată pentru o temperatură din zona rece de 50°C, V_{50_sim} este tensiunea generată în simulare pentru o temperatură din zona rece de 50°C, V_{80} este tensiunea generată pentru o temperatură din zona rece de 80°C, V_{80_sim} este tensiunea generată în simulare pentru o temperatură din zona rece de 80°C.

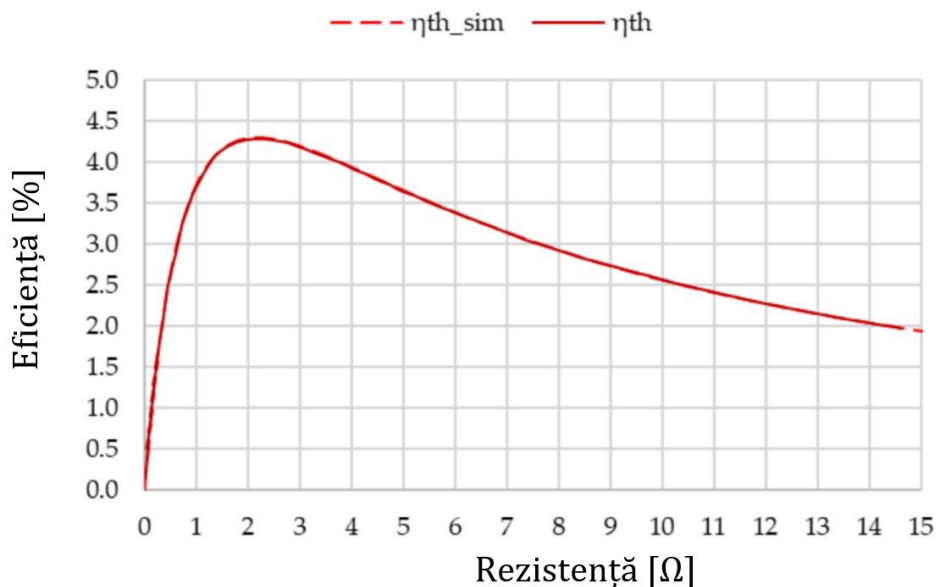


Figura 31. Variația eficienței în funcție de rezistență

Unde η_{th} este eficiența modului, η_{th_sim} este eficiența modului rezultată din simulare.

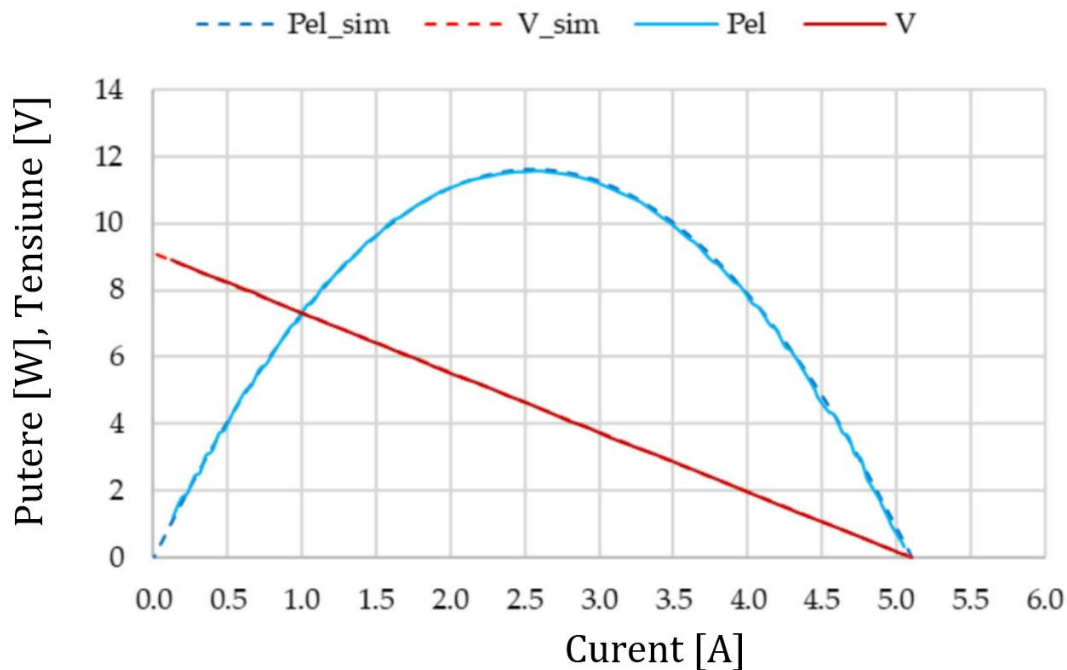


Figura 32. Variația puterii și a tensiunii în funcție de curent

Unde V este tensiunea, V_{sim} este tensiunea obținută prin simulare, Pel este puterea electrică, Pel_{sim} este puterea electrică obținută prin simulare.

Având modelul de TEM validat, s-a trecut la simularea aplicativă, respectiv recuperarea energiei pierdute de un motor cu ardere internă. Sistemul a fost analizat în condiții de stare stabilă. Domeniul a fost discretizat de-a lungul direcției de curgere în volume de control având aceeași lungime ca un TEM. Inițial a fost luat în considerare doar un singur volum de control pentru calcul; după care s-a construit un domeniu mai mare prin adăugarea mai multor volume de control cu datele de intrare din volumul de control anterior.

Modificările proprietăților fluidului cu temperatura sunt luate în considerare separat pentru fiecare volum de control și sunt definite la temperatura medie a volumului (media dintre temperatura de intrare și ieșire din volum). Pentru simplitate, parametrii termoelectrice sunt considerați constanți, dar modelul poate fi actualizat cu ușurință cu ecuații pentru acești parametri, fie din literatură, fie de la producător. Modelul luat în considerare este prezentat în figura 33.

Implementarea modelului de ansamblu TEM montat pe galeria de evacuare în MATLAB Simulink conține subsisteme de calcul unde au fost implementate ecuațiile pentru: calculul suprafeței de schimb de căldură pentru zona caldă, calculul suprafețelor pentru blocul de aluminiu dintre suprafața caldă și TEM (Figura 34.), calculul suprafeței de schimb de căldură pentru zona rece (Figura 36.), respectiv calculul rezistențelor termice (Figura 37.).

Simulările s-au făcut pentru diferite viteze de deplasare a vehiculului (50, 80, 90, 120 km/h), la diferite temperaturi ale aerului ambiental (-5, 10, 20, 30 °C), cu o temperatură a zonei calde setate la 250°C, cu o distribuție uniformă a temperaturii atât în zona caldă cât și în zona rece, iar rezultatele obținute în urma simulărilor sunt prezentate în figurile 39 și 40.

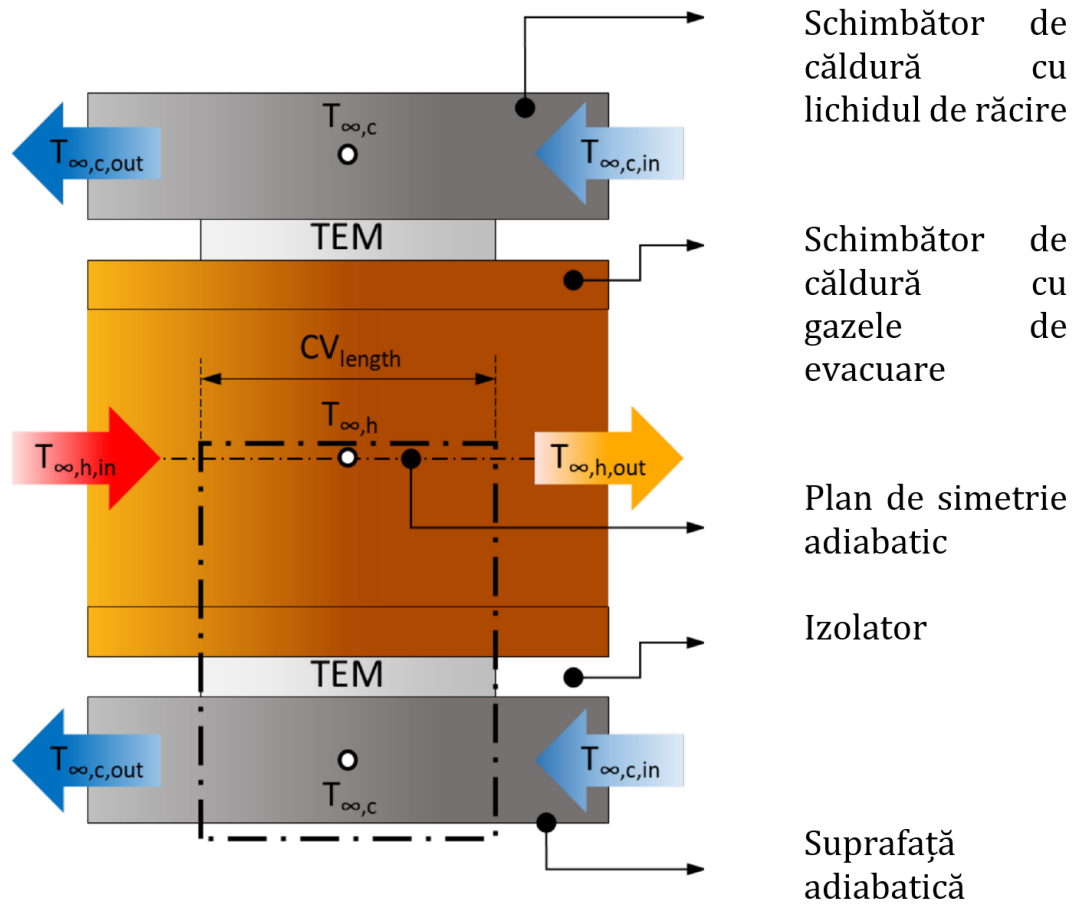


Figura 33. Schiță a modului, în secțiune

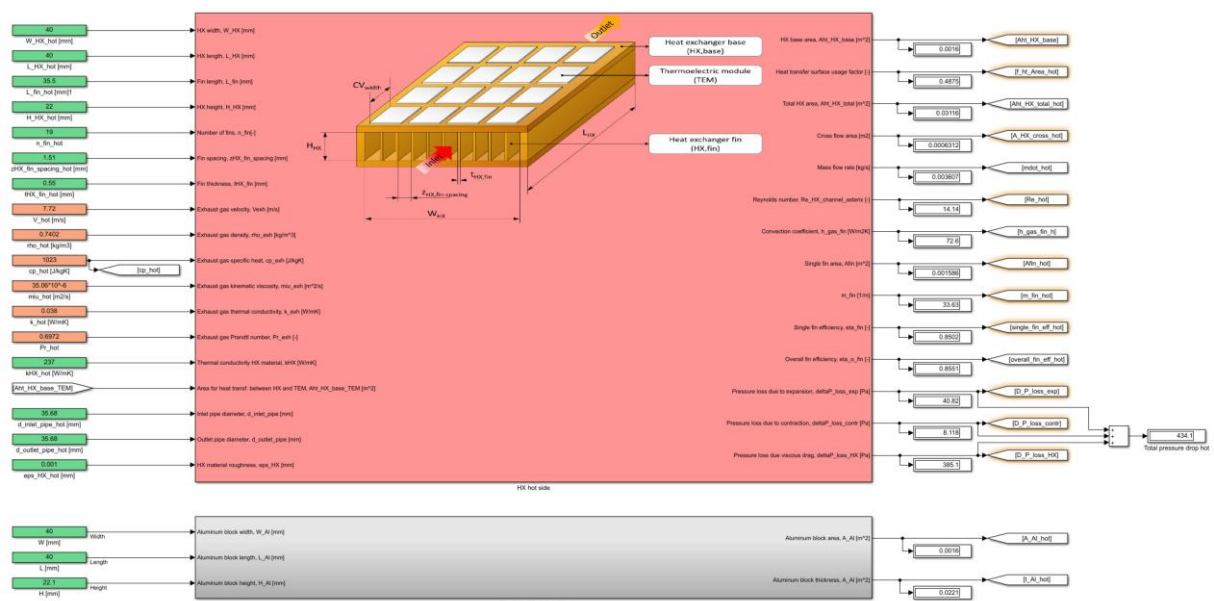


Figura 34. Implementare în MATLAB Simulink a calculului pentru zona caldă și a blocului de aluminiu

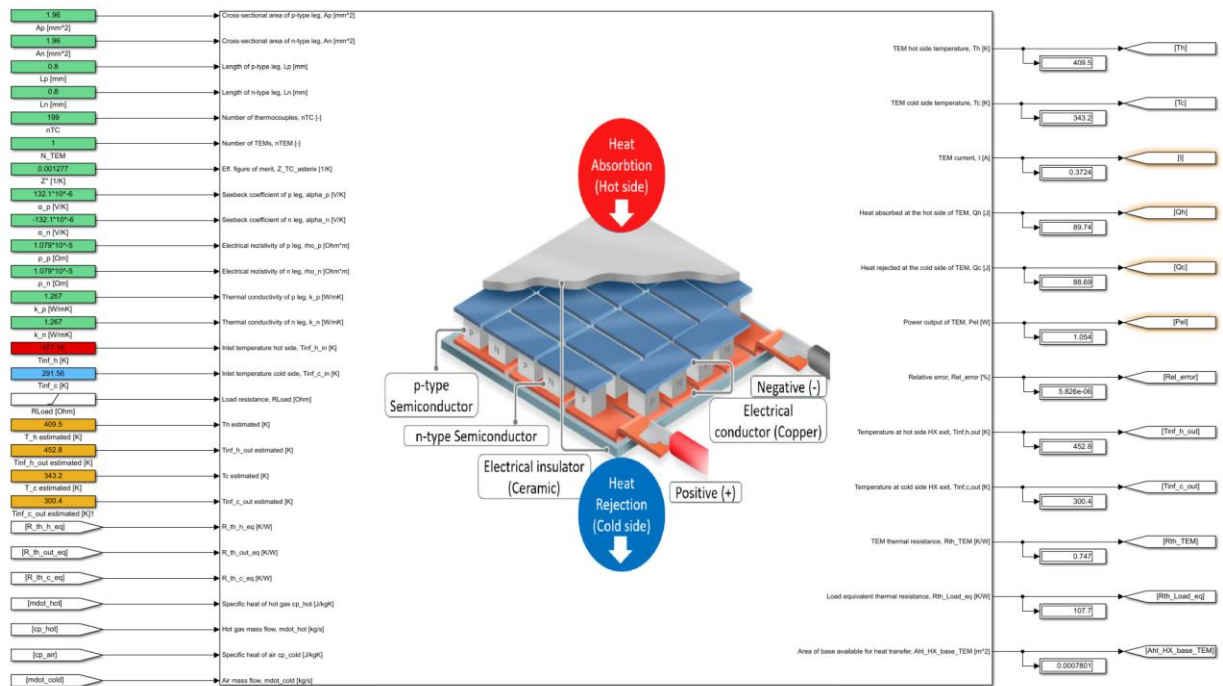


Figura 35. Implementarea în MATLAB Simulink a TEM

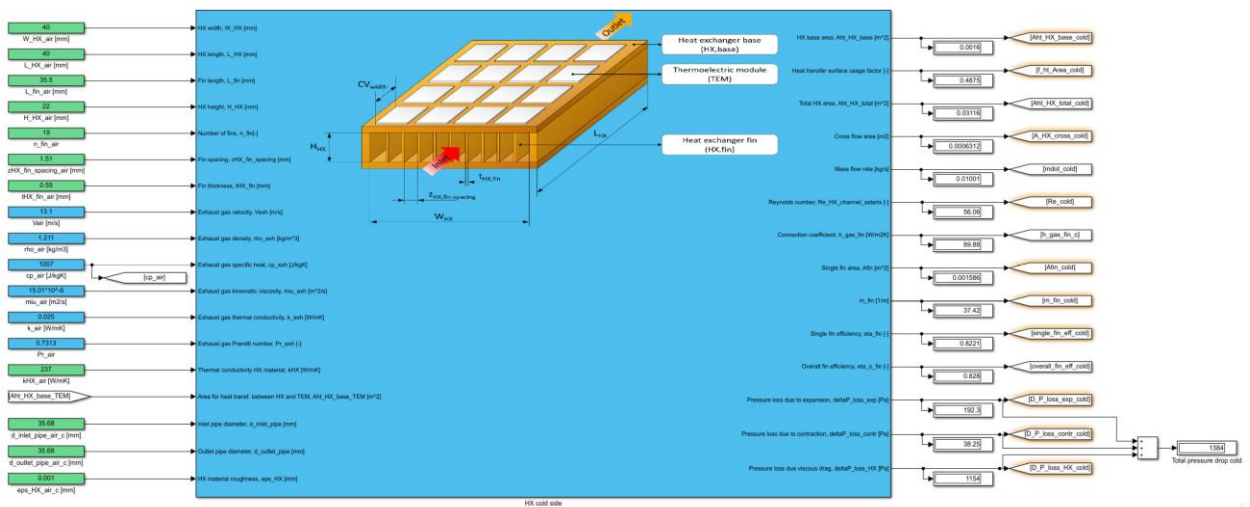


Figura 36. Implementarea în MATLAB Simulink a calculului zonei reci

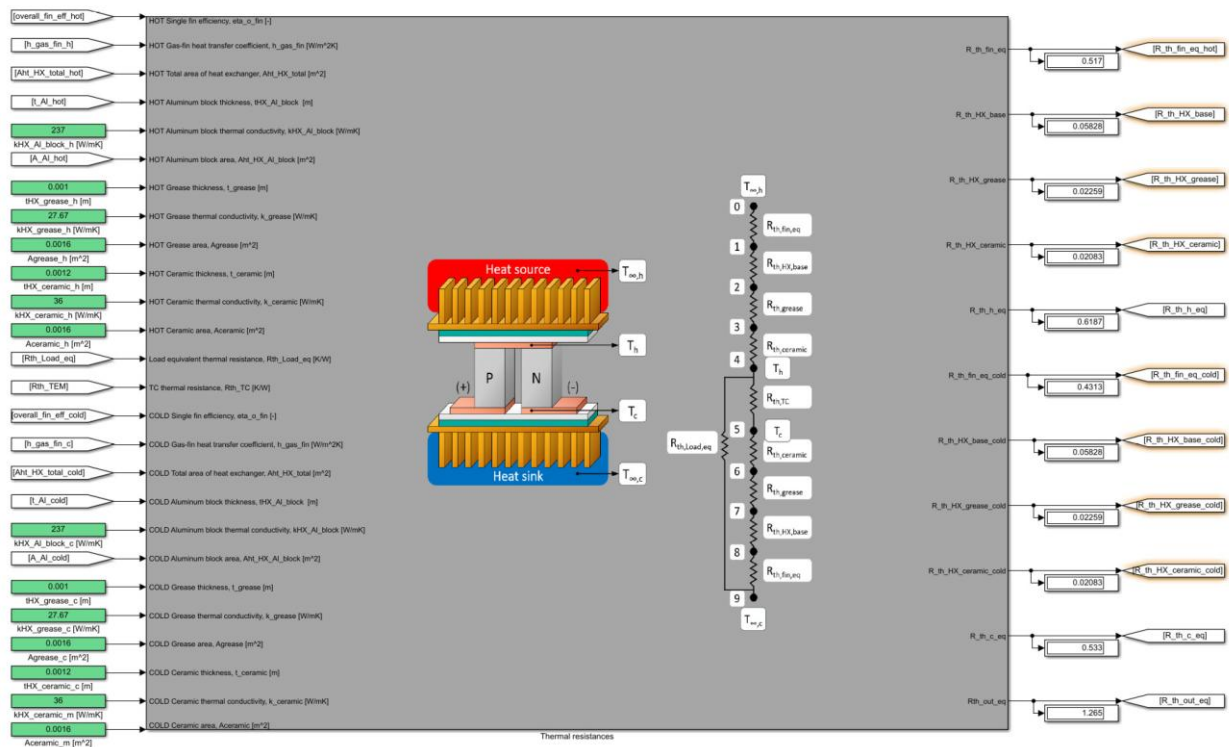


Figura 37. Implementarea în MATLAB Simulink a calculului rezistențelor termice

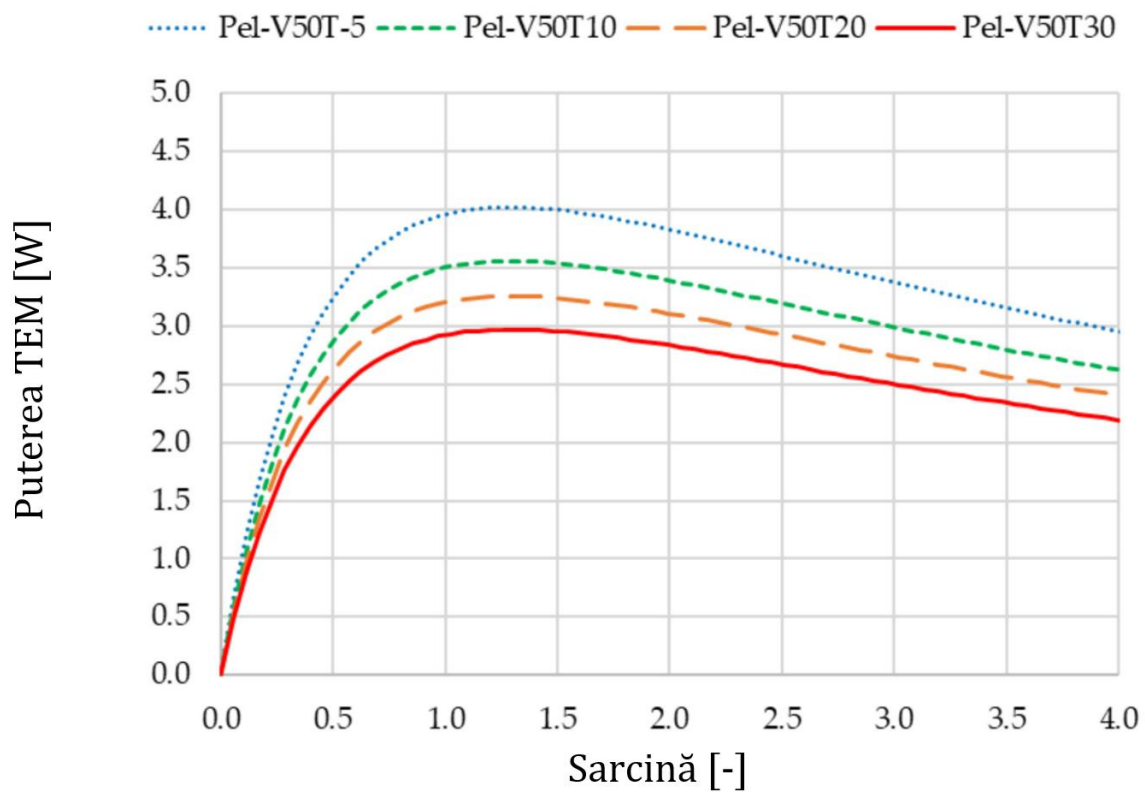


Figura 38. Variația puterii TEM în funcție de sarcină

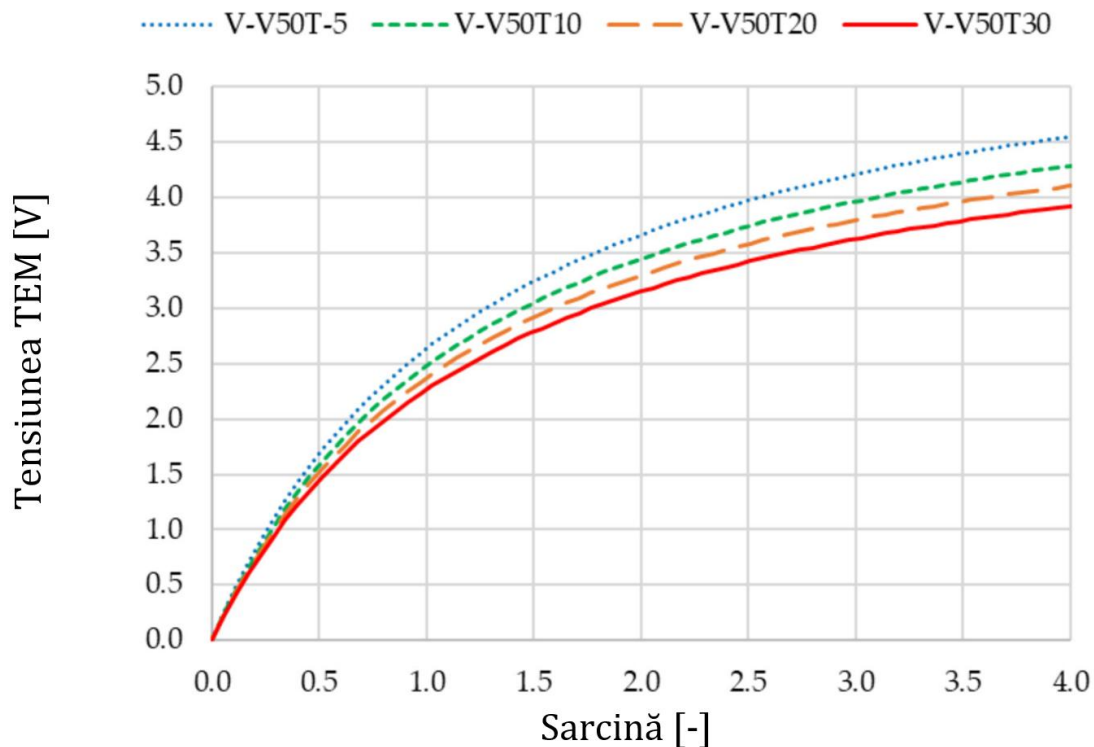


Figura 39. Variația tensiunii TEM în funcție de sarcină

Cazurile de simulare au fost notate V50 (pentru viteza de deplasare a vehiculului de 50 km/h) și T-5 (pentru o temperatură ambientală de -5°C).

Având în vedere energia termică pierdută din motoarele cu ardere internă, studiul generării de energie termoelectrică prin recuperarea acestui potențial energetic este necesar ca fiind o posibilitate de creștere a eficienței energetice globale ale motorului termic. Dispozitivele termoelectrice sunt ecologice și au numeroase alte avantaje, inclusiv lipsa de piese mobile, fiabilitate ridicată, conversia directă a energiei termice în energie electrică, precum și cerințe reduse de întreținere. Cu toate acestea, principalul dezavantaj al unor astfel de dispozitive este eficiența lor scăzută. Din simulările realizate, puterea maximă de ieșire a fost de 4,568 W pentru un gradient de temperatură de 108,3 K și s-a demonstrat faptul că este avantajoasă montarea de TEM pentru cazul simulat, de motor care funcționează la turație constantă, iar modulul termoelectric este răcit cu aer.

Rezultatele acestei cercetări au fost diseminate în articolul: Burnete, N.V.; Mariasiu, F.; Moldovanu, D.; Depcik, C. Simulink Model of a Thermoelectric Generator for Vehicle Waste Heat Recovery. Appl. Sci. 2021, 11, 1340.

3.2. Simularea subsistemelor vehiculului

Simularea subsistemelor vehiculului poate fi realizată cu ajutorul softurilor specializate de tipul IPG CarMaker, IPG Truck Maker, AVL CRUISE, unde utilizatorul introduce datele de intrare într-un mod Model Based (selecție modele preexistente, iar fiecare bloc are în spate ecuațiile de calcul specifice) sau poate fi realizată cu ajutorul programelor de simulare unde utilizatorul trebuie să introducă manual toate ecuațiile. Ambele variante prezintă avantaje și dezavantaje. Avantajul major al utilizării modelelor preexistente este faptul că utilizatorul nu trebuie să

implementeze ecuațiile care stau la baza modelului, dar apar limitări pentru o cercetare mai avansată a temei de cercetare.

3.2.1. Analiza funcționalității unui sistem de direcție prin modelare și simulare în MATLAB Simulink

Un exemplu unde nu s-a utilizat programe specializate, este la simularea geometriei direcției unui autovehicul, realizată în MATLAB Simulink. Sistemul de direcție joacă un rol crucial în comportamentul dinamic al vehiculului, afectând stabilitatea și manevrabilitatea. Majoritatea vehiculelor utilizează sistemul de direcție cu pinion și cremalieră. Modelul implementat este un model simplificat de legătură planar cu șase bare a sistemului de direcție cu pinion și cremalieră, care folosește relații cinematice pentru a determina pozițiile conexiunilor în diferite situații. Modelul este introdus în MATLAB Simulink și utilizează calcule numerice pentru optimizare și verificare. Dimensiunile acestui model au fost estimate în funcție de eroarea minimă dintre componentele calculate și este un sistem bazat pe principiul Ackerman. Din analiza sistemului de direcție problema care se pune este rezolvarea ecuațiilor neliniare, care fac legătura între poziția cremalierii și unghiul de virare al roții. S-a definit o eroare a unghiului de virare a roții între mecanism și principiul Ackerman, iar scopul este de a minimiza eroarea, devenind o problemă de optimizare a unui singur parametru și este rezolvată folosind poziția cremalierii. Principiul Ackerman este prezentat în ecuația (3.4) și figura 40. Acest principiu face legătura între unghiurile de virare a roților δ_i și δ_o respectiv ecartamentul w și ampatamentul l .

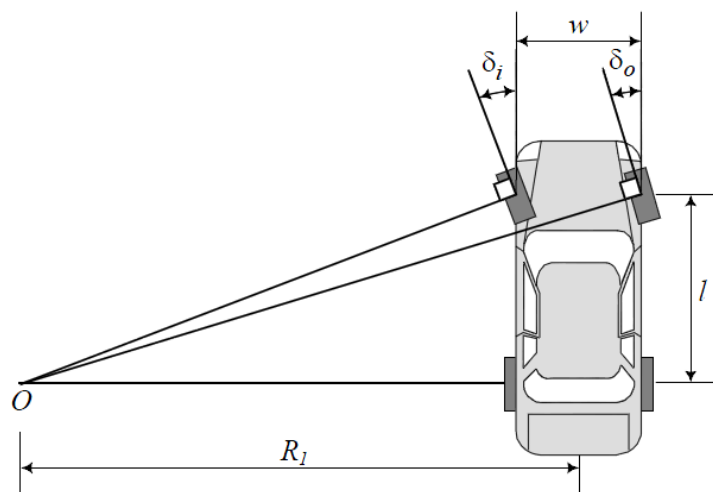


Figura 40. Principiul Ackerman pentru vehicul cu sistem de direcție față

$$\cot \delta_o - \cot \delta_i = \frac{w}{l} \quad (3.4)$$

Pentru a simplifica calculele, s-au rezolvat ecuațiile pentru jumătate din sistemul de direcție, partea opusă fiind identică (Figura 42.).

Unghi de virare a roții exterioare
 δ_o [°]

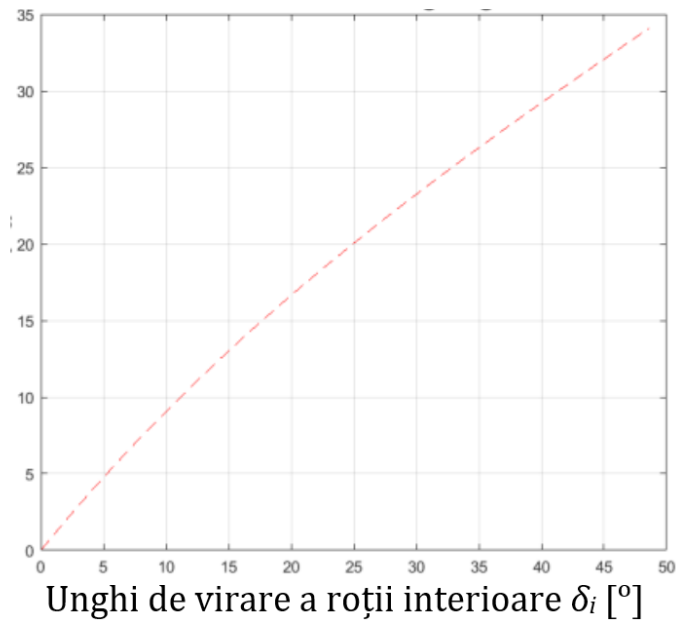


Figura 41. Dependența între unghiurile de virare interior și exterior conform principiului Ackerman

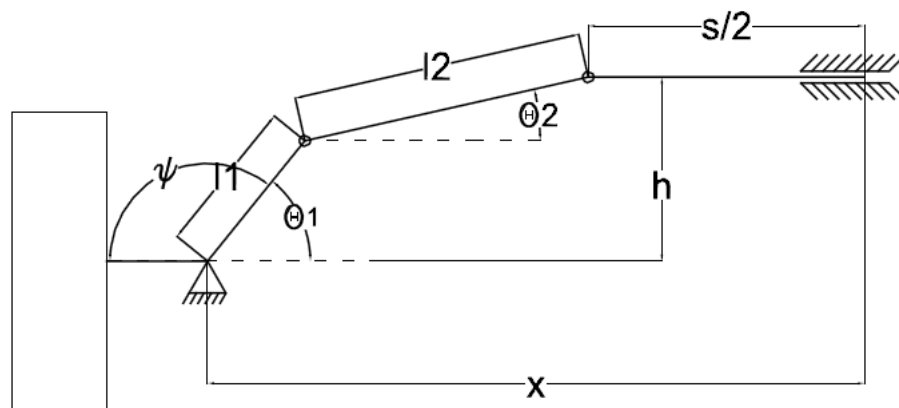


Figura 42. Schema cinematică pentru jumătate din sistemul de direcție

Modelul implementat în MATLAB Simulink poate fi observat în figura 43. Datele de intrare pentru geometria direcției au fost implementate pentru un Volkswagen Golf V, iar ca și dată de intrare, în blocul Signal Builder s-a introdus mișcarea cremalierei de la 0 la 80mm, la fiecare iterație calculându-se unghiurile roților.

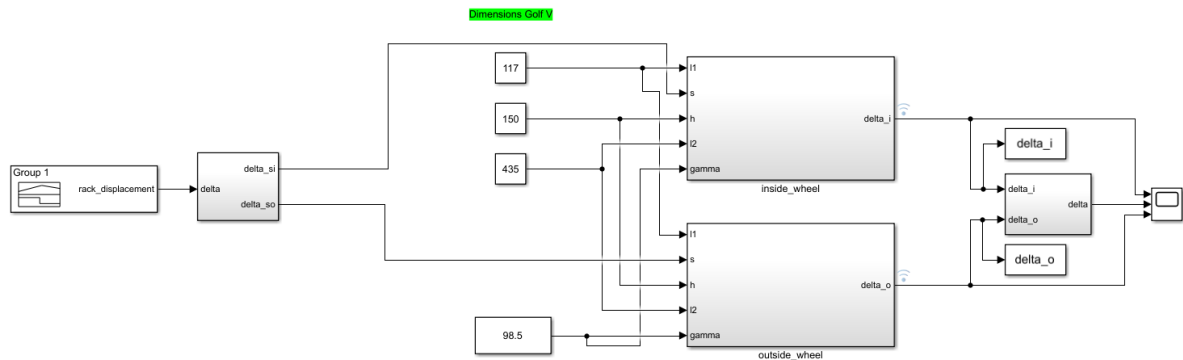


Figura 43. Modelul de direcție implementat în MATLAB Simulink

Rezultatele obținute pentru sistemul modelat actual, respectiv pentru sistemul care respectă principiul Ackerman au fost comparate în figura 44, respectiv s-a prezentat dependența între unghiurile de virare și deplasarea cremalierii (figura 45.).

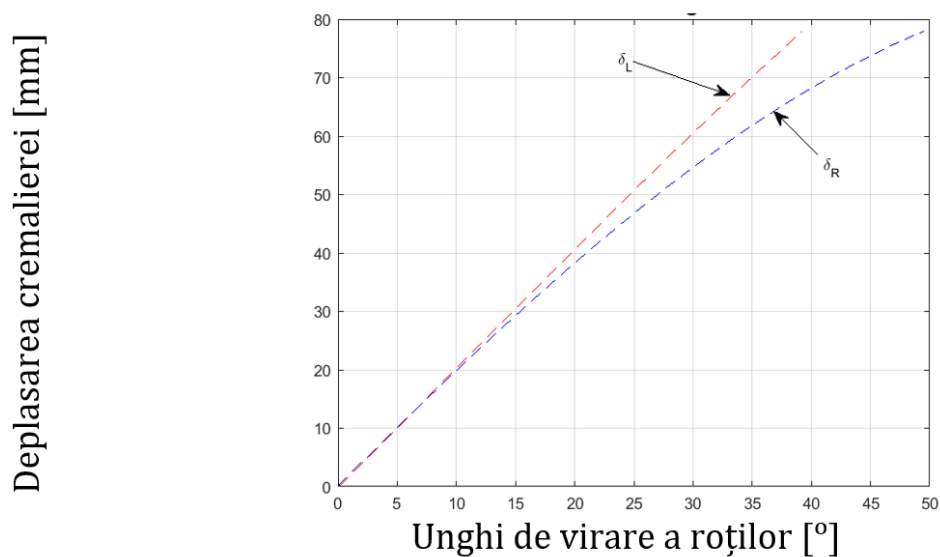


Figura 44. Dependența între unghiurile de virare și deplasarea cremalierii

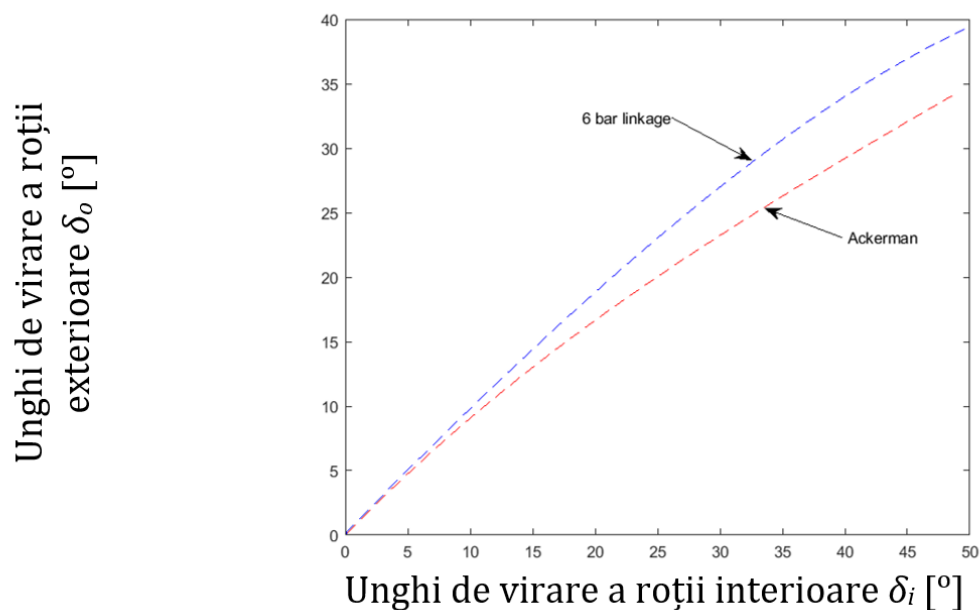


Figura 45. Dependența între unghiurile de virare interior și exterior conform principiului Ackerman, comparat cu modelul actual

Având în vedere diferența între cele două grafice, s-a optimizat eroarea utilizând un program ‘fmincon’ care utilizează algoritmi de minimizare a erorilor. Rezultatul a fost obținut după 18 iterații, iar comportamentului mecanismului optimizat este reprezentat în figura 46.

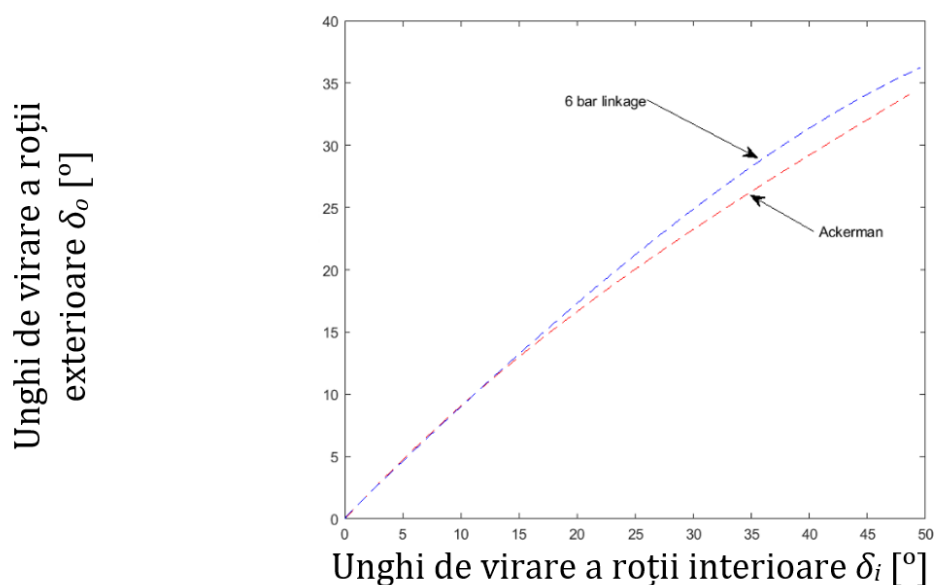


Figura 46. Dependența între unghiurile de virare interior și exterior conform principiului Ackerman, comparat cu modelul actual optimizat

În concluzie, scopul cercetării prin modelare și simulare a fost acela de a arăta modelarea condiției Ackerman ca model simplificat cu o legătură de șase bare. Folosind MATLAB Simulink, calculele au fost realizate și optimizate prin utilizarea „fmincon” care folosește

matricea Hessian pentru a minimiza funcția de cost în acest caz suma erorilor, ceea ce a adus relațiile dintre unghiul interior și exterior al roții pentru condiția Ackerman foarte apropiate. Pe baza rezultatelor obținute, o nouă direcție de cercetare poate fi cea care poate lua în considerare controlul direcției ca sistem în buclă închisă.

Rezultatele acestei cercetări au fost diseminate în articolul: D. Moldovanu, A. Csato, N. Bagameri, Study regarding the implementation of an Ackerman steering geometry in MATLAB, Annual Session of Scientific Papers "IMT ORADEA 2019", IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 568 (2019) 012092.

3.2.2. Analiza eficienței energetice a unui autovehicul în funcție de tipul transmisiei

Un exemplu al activității de cercetare unde s-a utilizat programe specializate pentru simularea funcționării unui autovehicul este cea legată de identificarea posibilităților de optimizare a sistemelor autovehiculului pentru creșterea eficienței energetice globale în exploatare. În acest scop s-au analizat comparativ două vehicule identice dar cu transmisii diferite: manuală și automată, pe ciclul WLTC (World-wide harmonized Light duty Test Cycle). Softul AVL CRUISE a fost folosit ca platformă de simulare pentru a analiza comparativ emisiile de CO, HC, NO_x și consumul de combustibil (folosind cele două tipuri de transmisii).

Condițiile funcționale ale autovehiculului sunt bazate pe caracteristicile ciclului standard WLTC, prezentat în figura 47, iar diagrama modelului implementat în AVL CRUISE este prezentată în figura 48.

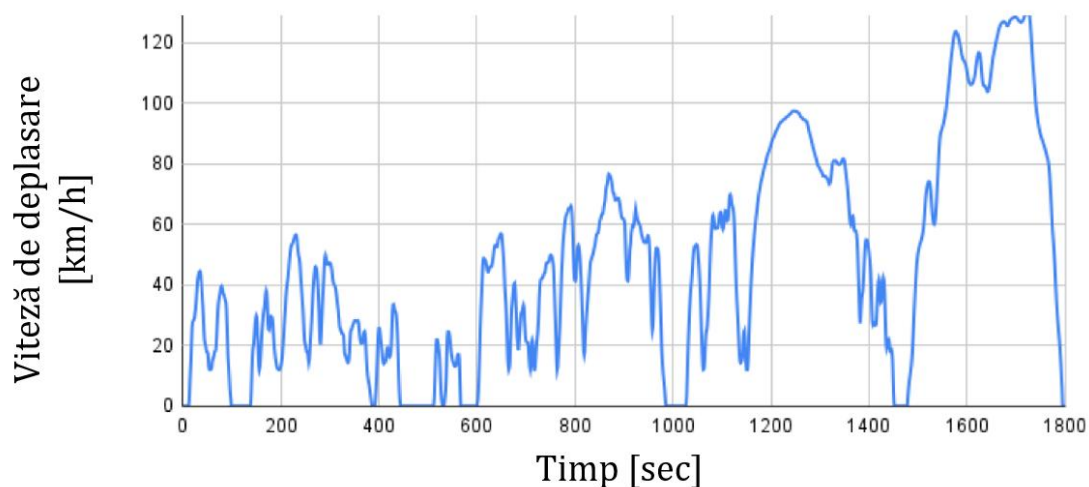


Figura 47. Ciclul WLTC

La modul general un modelul de vehicul creat în pachetul de modelare și simulare AVL Cruise include diferitele sub-modele. Modelul vehiculului este o structură care a fost dezvoltată pentru a simula cu acuratețe cele două tipuri de trenuri de propulsie, iar modelul dezvoltat constă din componente care există în vehicule, cum ar fi motorul cu ardere internă, transmisia, controlul și programul transmisiei, sistemul de frânare, sistemul de direcție, roți și conexiunile corespunzătoare dintre acestea care pot fi fie mecanice, fie electrice. Fiecare componentă este descrisă de mai mulți parametri și este configurabilă în așa fel încât să poată reprezenta fidel un vehicul ales pentru studiu/cercetare.

Componentele principale ale modelului de simulare sunt motorul cu ardere internă și consumatorul mecanic atașat, transmisia manuală/automată împreună cu controlerul care controlează funcționarea cutiei de viteze precum programul schimbătorului de viteze,

diferențialul împreună cu transmisia finală, frânele, cockpitul, caroseria vehiculului, sistemul electric care include bateria și alte module esențiale pentru inițierea simulării. În condițiile specifice contextului prezentului studiu, pentru a crea modelul, s-au introdus datele de intrare pentru motorul cu ardere internă, ambreiaj (dublu ambreiaj cu control separat pentru treptele pare și impare), transmisia propriu-zisă (DCT Dual Clutch Transmission), transmisie finală, diferențial, sistem frânare, roți și control pentru transmisie, control general (din blocul de cockpit).

Datele de intrare utilizate sunt prezentate în tabelul 5.

Tabel 5. Date de intrare pentru vehiculul simulat

Parametru	Valoare
Masă vehicul	1490 [kg]
Capacitate motor	2497 [cm ³]
Putere maximă a motorului	160 [kW]
Suprafața frontală	1,88 [m ²]
Coeficientul de rezistență la înaintare	0,32 [-]

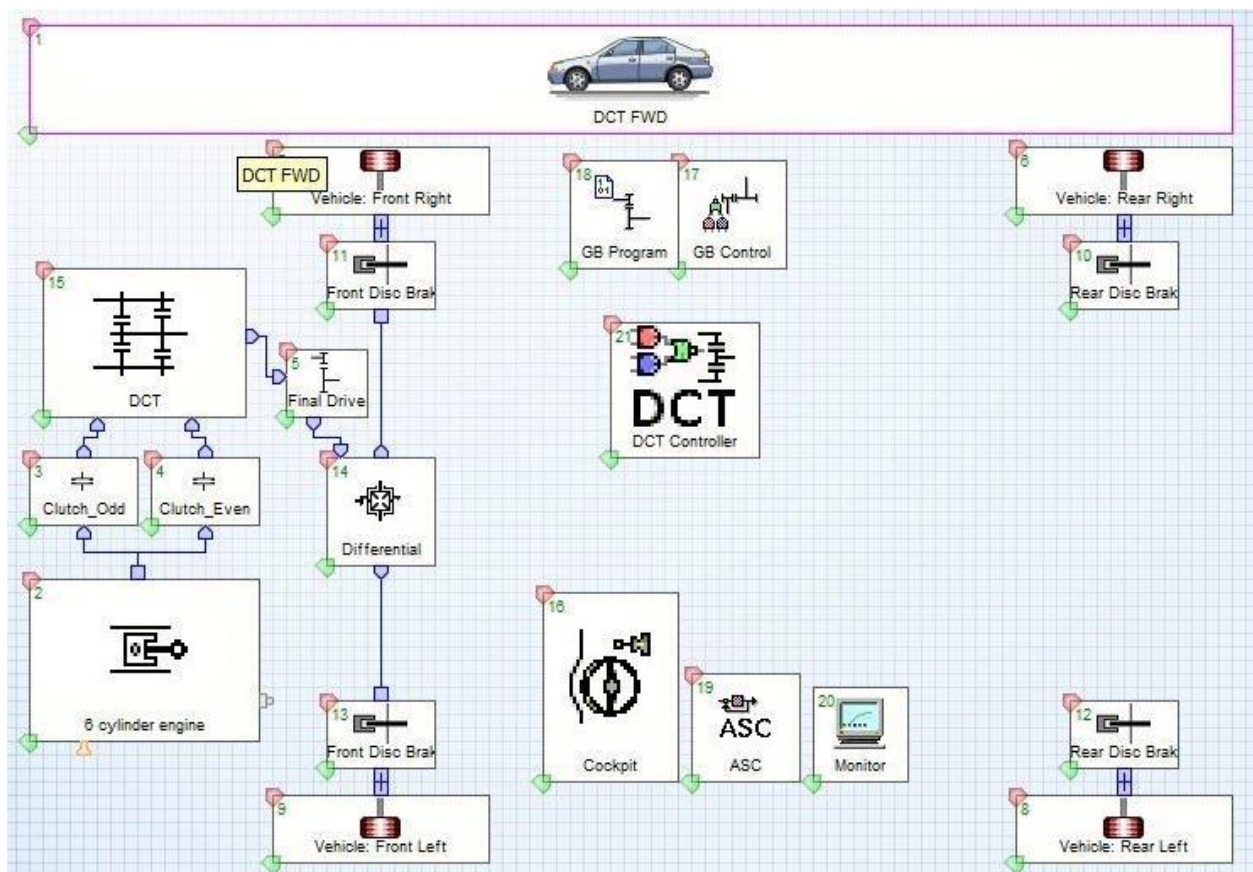


Figura 48. Implementarea modelului de vehicul cu transmisie automată în AVL CRUISE

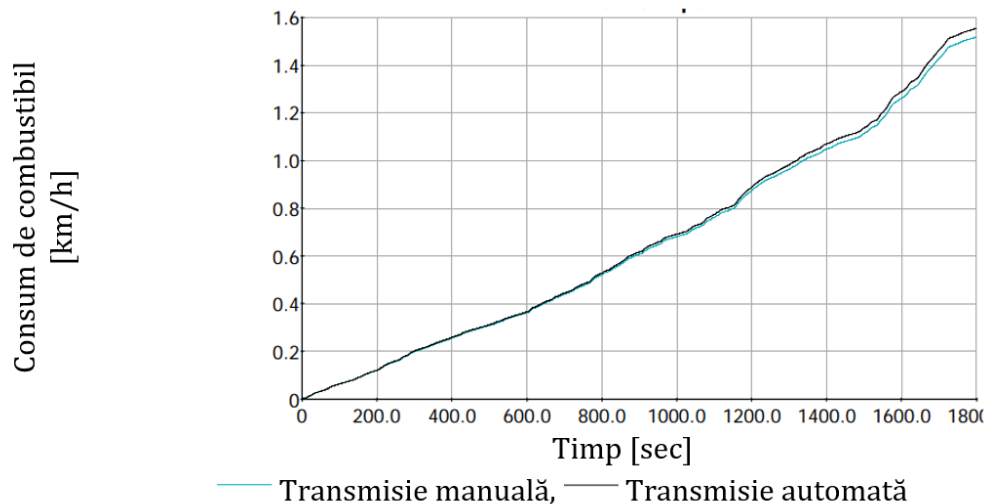


Figura 49. Consumul de combustibil pentru cele două vehicule simulate

În urma rezultatelor procesului de simulare al analizei comparative al eficienței energetice a unui autovehicul în funcție de tipul transmisiei se pot emite următoarele concluzii:

- Consumul de combustibil pentru transmisia cu dublu ambreiaj (automat) este mai mic cu 3,43 % comparativ cu transmisia manuală pe durata ciclului de WLTC, datorită eliminării întreruperii momentului motor asociat transmisiei manuale;
- Emisiile totale de CO au fost mai mari cu 6% în cazul utilizării transmisiei automate;
- Cele mai ridicate valori ale emisiilor de HC au fost de 0,015 kg, obținute pentru utilizarea transmisiei manuale, în mare parte datorate regimului de schimbare a vitezelor specific acestor transmisii;
- La modul general momentul mediu necesar deplasării vehiculului conform caracteristicilor dinamice ale ciclului WLTC a fost de 24 Nm pentru utilizarea transmisiei automate și de 27 Nm pentru transmisia manuală.

Rezultatele acestei cercetări au fost diseminate în articolul: N. Bagameri, B. Varga, A. Csato, D. Moldovanu, Comparative analysis of automatic transmission and manual transmission behaviour on the worldwide harmonized light duty test cycle, Annual Session of Scientific Papers "IMT ORADEA 2018", MATEC Web of Conferences 184, 01020 (2018).

3.3. Modelarea și simularea vehiculelor electrice

Procesele de modelare și simulare sunt instrumente contemporane indispensabile în procesul de dezvoltare a vehiculelor electrice, permițând producătorilor să creeze vehicule mai fiabile, mai eficiente și mai sigure - prin răspunsurile imediate ce le pot oferi multitudinii de provocări existente în domeniu.

Principalele motive de aplicare a proceselor de modelare și simulare rezidă și în avantajele imediate obținute:

- Reducerea și/sau eficientizarea costurilor de proiectare și dezvoltare prin proiectarea de vehicule electrice eficiente și rentabile, optimizarea constructiv-funcțională a sistemelor și componentelor;
- Identificarea incipientă a problemelor potențiale de proiectare la începutul procesului de dezvoltare;

- Optimizarea performanțelor energetice și dinamice prin simularea într-o multitudine de scenarii a performanța a vehiculelor electrice.

Indiferent de mediul de simulare, este important ca prin activități de cercetare și dezvoltare caracteristice să se dezvolte o bibliotecă de modele pentru analiza performanțelor vehiculelor electrice și a subsistemelor acestora. Numeroase lucrări au fost studiate de candidat pentru a identifica o perspectivă clară asupra pașilor care trebuie urmați atunci când se cercetează modul de implementare în medii de modelare și simulare a unui vehicul electric. Pe baza competențelor și abilităților dobândite în continuare sunt prezentate o selecție de rezultate privind modelarea și simularea vehiculelor electrice.

3.3.1. Analiza factorilor de influență a capacității energetice a unei baterii

Integrarea pe scară largă a EV în sistemele de transport implică depășirea barierelor actuale ale pieței, definite în general ca fiind [25-27]:

- Satisfacția distanței (autonomie);
- Tehnologie durabilă;
- Prețul de achiziție al vehiculului;
- Reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră;
- Costurile de exploatare și întreținere.

Se observă că una dintre barierele critice în acceptarea EV de către consumatori este cea legată de autonomia unui EV. Autonomia unui EV depinde de trei factori principali de influență: designul vehiculului, conducătorul și mediul de exploatare [28]. La rândul lor, acești factori pot fi direcți sau indirecti și sunt caracterizați prin parametri precum: dimensiunile geometrice ale vehiculului, capacitatea pasagerilor, tipul caroseriei, trenul rulant și anvelopele, zona frontală specifică, anvelopele, tipul de încălzire, sisteme de ventilație și aer condiționat, comportamentul conducătorului, condițiile climatice, traficul, traseul, infrastructura rutieră, starea de încărcare (SOC), starea de sănătate (SOH), tipul bateriei și capacitatea energetică etc.

Rolul cel mai crucial în autonomia unui vehicul electric, este cea mai mare cantitate de energie stocată în sursa de energie (bateria) estimată de parametrul SOC și evaluată de diferiți cercetători ca fiind 50-60% din totalul autonomiei [28]. Parametrul SOC definește cantitatea de energie instantanee din baterie, disponibilă pentru a fi furnizată grupului de propulsie electrică, fiind un parametru caracteristic pentru fiecare electrochimie utilizată la construirea celulelor bateriilor.

Parametru SOC al bateriei este calculat folosind legea lui Peukert ca [29]:

$$SOC_t = SOC_0 - 100 \cdot \int_0^t \frac{1}{C_{nom}} \cdot I \left(\frac{I}{I_{nom}} \right)^{k-1} dt \quad (3.5)$$

unde: SOC_0 este starea inițială de încărcare a bateriei, C_{nom} este capacitatea nominală a bateriei măsurată pentru curentul electric nominal I_{nom} , I curentul electric, k este constanta lui Peukert și t este timpul. Deoarece constanta lui Peukert are o valoare specifică pentru fiecare tip de celulă a bateriei (electrochimie), valoarea/variația SOC va fi diferită pentru diferite electrochimii ale celulelor.

În prezent există mai multe tipuri de baterii folosite ca surse de energie pentru vehiculele electrice (Li-ion, NiMH, Zebra, Li-Air etc.), fiecare dintre ele având caracteristici diferite în ceea ce privește performanța energetică, dar tehnologia Li-Ion s-a dovedit a fi sa fie soluția pe deplin acceptată pentru bateriile EV, datorită avantajelor imediate pe care le oferă: durată mare de viață (8 până la 15 ani), cicluri de viață (2000 ... 5000) și interval mare de temperatură de funcționare (-20 ... + 60°C) [25-26]. Tehnologia bateriei pe bază de litiu oferă, de asemenea, multe avantaje

funcționale, cum ar fi potențialul ridicat al unui electrod, tensiunea de funcționare ridicată, rata mare de descărcare, posibilitatea de încărcare rapidă, rata scăzută de auto-descărcare și lipsa efectului de memorie.

Au fost utilizate metode de simulare numerică (software IPG CarMaker), iar modelul tipic EV considerat a fost Tesla Model S, pentru că este un model validat în software-ul IPG CarMaker și a fost implementat pentru ciclul de testare WLTC. Comportamentul șoferului a fost selectat ca șofer „normal”, ceea ce înseamnă că șoferul poate merge cu o viteză maximă de 150 km/h, accelerație longitudinală maximă 3 m/s², decelerație longitudinală maximă -4 m/s², accelerație laterală maximă 4 m/s². Drumul a fost o linie dreaptă fără pante sau rampe, așa cum este specificat pentru ciclul de testare WLTC. Manevrelor au fost implementate ca cerințe de viteză pe care șoferul trebuie să le urmeze.

Tipurile de baterii care au fost luate în considerare în studiul au fost LiCoO₂, LiFePO₄ și o baterie clasică acid-plumb (APb). Diferența semnificativă între bateriile alese este factorul de influență SOC asupra variației tensiunii de mers specifică chimiei fiecărei baterii. Pentru fiecare tip de baterie s-au făcut simulări cu încărcarea inițială a bateriei la 10%, 20%, 40, %, 60, 80% și respectiv 100%. Cei mai importanți factori de ieșire ai simulărilor care au fost urmăriți, au fost autonomia vehiculului, viteza vehiculului și variația SOC a fiecărei baterii luate în considerare.

Analiza influenței diferitelor tipuri de baterii care pot echipa un vehicul electric este necesară deoarece una dintre barierele majore care împiedică pătrunderea masivă a pieței auto de către vehiculul electric este anxietatea consumatorului (șoferului) de a rămâne fără energie. Din acest punct de vedere, la proiectarea și construirea unui vehicul electric, este necesar să se țină cont de capacitatea bateriei de a furniza energia necesară cât mai mult timp posibil.

Din analiza numerică, putem observa că există diferențe majore în ceea ce privește autonomia ce poate fi realizată atât între tipurile de baterii utilizate, cât și condiția inițială de încărcare (considerată ca momentul inițial al simulărilor) (figura 50). Dacă bateria LiCoO₂ a atins distanța de 24078 m pentru o încărcare inițială de 10%, bateria LiFePO₄ a ajuns la 19788 m iar pentru tehnologia Acid-plumb rezultatul a fost doar 3127 m. În cazul bateriilor Acid-plumb se poate susține că obținerea unei distanțe atât de reduse s-a datorat și greutateii mari a acumulatorului, greutate care a fost luată în considerare în analiza numerică efectuată.

Prin urmare, se poate spune că cele mai bune rezultate (pentru fiecare caz luat în considerare) sunt bateria bazată pe tehnologia LiCoO₂, bateria considerată a doua generație de baterii Li-Ion. Bateria LiFePO₄ are performanțe mai mici decât bateria LiCoO₂ dar oferă avantajul de a avea un preț de producție mult mai mic (aprox. 15%), ceea ce justifică prezența acestui tip de baterie în echiparea multor vehicule electrice (atât autoturisme, cât și autobuze). Bateria LiCoO₂ are o eficiență energetică mai mare prin faptul că viteza maximă atinsă este de 134 km/h față de 120 km/h pentru bateria LiFePO₄. Toate aceste date duc la concluzia primară că bateria LiCoO₂ oferă cele mai bune performanțe în ceea ce privește funcționarea eficientă a unui vehicul electric, mai ales

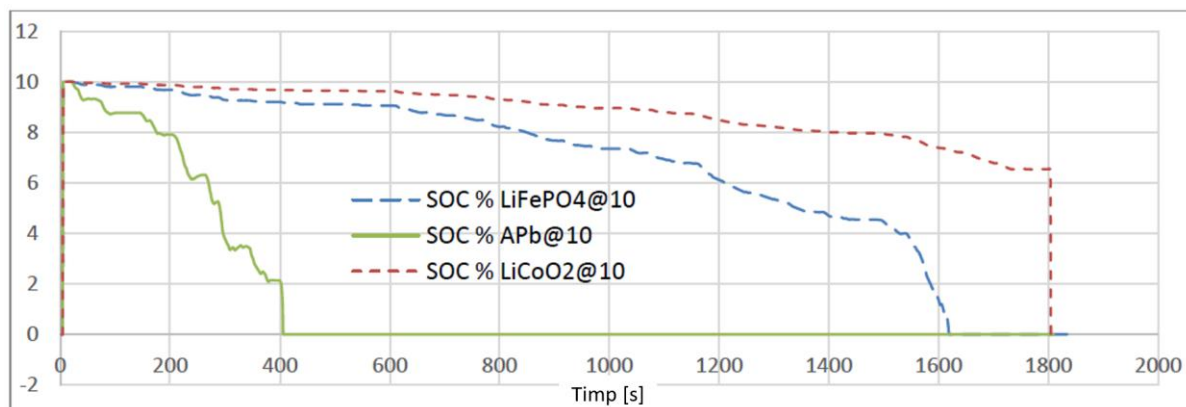


Figura 50. SOC pentru bateriile cu încărcare inițială de 10%

Concluzia majoră a acestei cercetări este aceea că studiul a scos în evidență comportamentul vehiculului electric în ceea ce privește performanțele sale funcționale (autonomia/distanța care poate fi atinsă în diferite condiții de încărcare a bateriei), ținând cont de tipul și capacitatea totală de încărcare a bateriei unui vehicul electric. Pentru valori mari de încărcare a bateriilor, cuprinse între 60 și 100%, nu au existat diferențe majore în ceea ce privește distanța/autonomia realizată între bateriile luate în considerare în studiu.

Această diferență a apărut pentru condițiile speciale în care bateriile sunt descărcate (SOC redus) și când sistemele vehiculelor electrice trebuie să ofere informații precise despre autonomia rămasă a vehiculelor electrice. Cele mai eficiente baterii la acest capitol au fost cele care foloseau tehnologia LiCoO₂, cele mai proaste rezultate fiind date de utilizarea bateriilor tip Acid-plumb.

Este de menționat faptul că viitoarele soluții hardware și software dezvoltate pentru estimarea SOC trebuie să țină cont și de electrochimia celulelor din care este formată bateria care echipează vehiculele electrice.

Diseminarea rezultatelor obținute din cercetare s-a realizat prin prezentarea lucrării în cadrul unei conferințe științifice internaționale Annual Session of Scientific Papers "IMT ORADEA 2019" și publicarea lucrării într-un jurnal de specialitate: L Scurtu, B O Varga, F Mariasiu, T Buidin, A Borzan, D Moldovanu, 2019, Numerical analysis of the SOC factor variations' influence on the autonomy of an electric vehicle. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 568 012046.

Lucrarea analizează influența variației factorului SOC (state of charge) asupra autonomiei unui vehicul electric, utilizând metode de simulare numerică. În contextul unei tranziții energetice accelerate și al eforturilor de reducere a emisiilor poluante provenite din transporturi, vehiculul electric este promovat drept soluția tehnologică imediată și eficientă. Cu toate acestea, una dintre principalele bariere în calea adoptării pe scară largă a acestor vehicule o constituie anxietatea consumatorilor cu privire la autonomie. Această neliniște este alimentată de incertitudinile legate de distanța maximă ce poate fi parcursă cu o singură încărcare, fapt care influențează decisiv decizia de cumpărare și uzul cotidian al vehiculelor electrice.

Articolul pornește de la premisa că autonomia unui vehicul electric este determinată în mod direct de tehnologia bateriei cu care acesta este echipat. Printre diversele tehnologii existente, cel mai frecvent acceptate sunt bateriile pe bază de litiu-ion, care oferă o serie de avantaje în termeni de densitate energetică, durată de viață, ciclicitate de încărcare-descărcare și comportament la temperaturi extreme. Studiul de față își propune să evalueze comparativ trei tipuri de baterii: LiCoO₂ (oxid de litiu-cobalt), LiFePO₄ (fosfat de litiu-fier) și o baterie clasică cu plumb-acid (VRLA), pentru a evidenția influența curbelor de variație ale SOC asupra performanței funcționale, în special autonomia vehiculului electric.

Studiul pornește de la modelul teoretic care definește parametrul SOC drept cantitatea de energie disponibilă la un moment dat în baterie, ce poate fi furnizată grupului de propulsie electric. Acest parametru este calculat în baza legii lui Peukert, care introduce un raport între capacitatea nominală a bateriei și curentul electric consumat, ajustat în funcție de o constantă specifică fiecărui tip de baterie. Se subliniază astfel faptul că variația SOC este dependentă de electrochimia celulelor, ceea ce presupune diferențe semnificative între diferitele tehnologii de acumulatori.

Pentru analiza comparativă a fost utilizat software-ul IPG CarMaker, un instrument de simulare numerică avansată, care permite evaluarea comportamentului unui vehicul electric în condiții standardizate de rulare. Modelul selectat pentru simulare a fost Tesla Model S, datorită validării sale anterioare în cadrul mediului de simulare utilizat. Testul de rulare s-a bazat pe ciclul WLTC (Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycle), care impune un profil de viteză ce trebuie

urmat de șofer. Condițiile de simulare au presupus o conducere normală, pe un traseu drept, fără denivelări, pentru a minimiza influențele externe asupra consumului energetic.

În cadrul simulării, fiecare tip de baterie a fost evaluat în condiții de încărcare inițială de 10%, 20%, 40%, 60%, 80% și 100%. Particularitatea fiecărui test a fost analizarea evoluției SOC în timp, a vitezei vehiculului și a distanței parcurse. Dintre parametrii de interes, cel mai relevant a fost autonomia exprimată în metri, ca rezultat direct al eficienței energetice oferite de fiecare tehnologie de baterie.

Rezultatele obținute indică diferențe majore între cele trei tehnologii studiate, în special în condiții de încărcare redusă a bateriei. La un nivel inițial de 10% SOC, bateria pe bază de LiCoO_2 a permis parcurgerea unei distanțe de 24078 metri, în timp ce bateria LiFePO_4 a permis 19788 metri, iar cea cu plumb-acid doar 3127 metri. Diferențele devin mai puțin semnificative la nivele mai ridicate de încărcare (60-100%), unde autonomia oferită este suficientă pentru a acoperi cerințele ciclului WLTC, iar diferențele în consum devin neglijabile.

Analiza curbelor de variație a SOC evidențiază o descărcare mult mai rapidă și inefficientă pentru tehnologia cu plumb-acid, care suferă și de un dezavantaj notabil legat de masa totală a bateriei. În cadrul simulării, acest aspect a fost integrat ca parametru corectiv, reflectând impactul suplimentar al greutatei asupra performanței energetice generale. Pe de altă parte, bateriile LiCoO_2 , considerate de a doua generație în cadrul tehnologiilor Li-ion, se remarcă printr-o densitate energetică mai mare și o eficiență ridicată la descărcări rapide, menținând performanțe bune chiar și la niveluri scăzute de încărcare.

Performanțele bateriilor LiFePO_4 sunt mai modeste în raport cu cele ale LiCoO_2 , dar justifică utilizarea lor în contextul unui cost de producție mai redus (cu aproximativ 15%) și a unui număr mai mare de cicluri de încărcare-descărcare. În plus, aceste baterii sunt frecvent utilizate în aplicații comerciale (autoturisme de transport pasageri sau autobuze) datorită stabilității termice și a siguranței crescute în exploatare. În termeni de viteză maximă, rezultatele indică un plafon de 134 km/h pentru bateriile LiCoO_2 , față de 120 km/h în cazul celor LiFePO_4 , ceea ce subliniază superioritatea primului tip și din perspectiva livrării puterii în regim dinamic.

Concluziile lucrării evidențiază faptul că alegerea tehnologiei de baterie este esențială pentru proiectarea și exploatarea optimă a unui vehicul electric. De asemenea, se subliniază necesitatea corelării algoritmilor de estimare a SOC cu tipologia electrochimică a celulelor utilizate, în vederea furnizării unor informații precise privind autonomia rămasă, în special în condiții de încărcare redusă. Această corelare devine deosebit de importantă în contextul sistemelor avansate de management energetic al vehiculului, unde predicția exactă a resurselor disponibile poate influența semnificativ siguranța și confortul utilizatorului.

În ansamblu, cercetarea realizată în cadrul proiectului URBIVEL susține utilizarea simulării numerice ca instrument eficient în procesul de validare și optimizare a soluțiilor tehnologice pentru mobilitate electrică urbană. Rezultatele obținute validează performanțele superioare ale bateriilor LiCoO_2 în condiții de încărcare limitată, susținând ideea că aceste tehnologii trebuie prioritar considerate în configurațiile energetice ale vehiculelor electrice destinate utilizării intensive sau în scenarii urbane cu acces limitat la stații de încărcare. Complementar, se subliniază valoarea adăugată a bateriilor LiFePO_4 în aplicații unde costul redus și durabilitatea sunt priorități, în ciuda unei autonomii ușor reduse.

Pe termen lung, integrarea cunoștințelor privind curbele de variație SOC și optimizarea arhitecturilor bateriilor în funcție de utilizarea estimată a vehiculului poate conduce la un echilibru eficient între cost, performanță și fiabilitate. Studiul demonstrează că nu doar capacitatea nominală a bateriei, ci și natura electrochimică și comportamentul specific de descărcare determină performanța reală a vehiculului, o perspectivă esențială pentru cercetarea și dezvoltarea viitoare în domeniul mobilității electrice.

3.3.2. Modelarea în mediul MATLAB Simulink al unui vehicul electric

Pentru ca în procesul didactic aplicativ al procesului de simulare studenților să identifice și să înțeleagă mai bine factorii de influență la proiectarea unui vehicul electric, autorul a creat un model în MATLAB Simulink al unui vehicul electric de bază. Modelul ia în considerare dinamica vehiculului, aerodinamica de bază a vehiculului, motorul electric (implementat prin funcție de transfer) și determinarea vitezei vehiculului. Validarea modelului a fost realizată prin compararea datelor de ieșire (cum ar fi viteza vehiculului) cu datele reale înregistrate de producător însuși. După validarea modelului, a fost implementat un controler PI și au fost comparate două variante ale acestuia.

Este foarte important pentru ca în procesul didactic sau de cercetare să fie creat un model sau o bibliotecă de modele și sisteme/subsisteme în MATLAB Simulink, deoarece acestea pot fi folosite ulterior pentru dezvoltare, dimensionare sau aproximări diferite în timpul fazei de proiectare a vehiculului. Au fost studiate și analizate mai multe lucrări pe această temă pentru a avea o perspectivă clară asupra pașilor și direcțiilor de urmat la implementarea unui vehicul electric.

Butler et. al. [30] au modelat un vehicul electric și unul hibrid folosind MATLAB, cu pachetul V-Elph, care oferă blocuri pentru transmisie, motorul cu ardere internă (pentru vehicul hibrid), baterie, diferiții arbori de transmisie, motorul cu inducție și controler, cu o implementare inteligentă a ciclului de conducere dintr-un fișier „.mat”. Pentru toate cele patru cicluri de conducere considerate, rezultatele au fost analizate pentru toate strategiile de control și configurația vehiculului, cu concluzia majoră a studiului că toate componentele introduse în model au nevoie de o reglare fină pentru a avea rezultate precise. Lakshmi et. al. [31] au implementat o simulare a conducerii vehiculului electric pentru a investiga fluxul de putere atât pentru cazurile de motorizare, cât și pentru cele de regenerare, cu ecuații foarte detaliate pentru toate blocurile, cum ar fi modelul bateriei, motorul și diferitele controlere.

Ma [32] a implementat un controler pentru sistemul de propulsie al unui vehicul electric pentru a sublinia formele de undă ale tensiunii și curentului de fază, dar și forma de undă a puterii electrice (în condițiile în care s-a analizat un sistem de propulsie electric care necesită o densitate mare de putere). Sri Kaloko et. al. [33] au dezvoltat un model în MATLAB pentru vehicul electric mic și prin simulare s-a cercetat capacitatea necesară a unei baterii pentru a atinge o anumită specificație a parametrilor de performanță dinamică, iar Fan [34] a folosit mediile de simulare MATLAB Simulink și ADAMS pentru a modela și simula un vehicul electric hibrid. În mediul ADAMS, modelul vehiculului a fost dezvoltat cu date de intrare constructive despre șasiu, suspensie, transmisie, anvelope, frânare, direcție și informații despre traseu, iar în mediul MATLAB, funcționarea motorului cu ardere, bateria, sistemele de control, sistemele de management al energiei și comportamentul șoferului (un model complex care ia în considerare ciclul de conducere dorit și ia în considerare viteza reală a vehiculului).

Așa cum s-a prezentat anterior, modelul de vehicul electric a fost conceput ca un instrument educațional pentru studenți, pentru a explora principiile de proiectare și performanță ale vehiculelor electrice (figura 51). Dinamica vehiculului a fost modelată folosind ecuații fizice standard, luând în considerare forțe precum rezistența aerodinamică, rezistența la rulare și tracțiunea mecanică. Motorul electric a fost modelat ca un circuit simplificat R-L-EMF în serie, unde rezistența (R), inductanța (L) și forța electromotoare (EMF) sunt utilizate pentru a calcula comportamentul motorului și a momentului dezvoltat. În procesul de modelare și simulare s-a luat în considerare dinamica vehiculului (Tesla Model S), un ciclu de testare generat simplu pentru a vedea răspunsul a două configurații diferite de controler PI. Validarea vehiculului s-a făcut pentru atingerea vitezei maxime dată de producător (aproximativ 250 km/h) iar accelerația să se potrivească cu accelerația dată de producător (aproximativ 6,2 m/s²).

Ca parametru de intrare în sistem, a fost ales viteza vehiculului iar ciclul care a fost implementat constă din atingerea unei viteze de 50 km/h, urmată de un pas până la 100 km/h (fiecare timp de

50 de secunde), urmată de o oprire (0km/h) și apoi o demarare până la viteză maximă (timp de 200 de secunde) urmată de frânarea motorului timp de 300 de secunde. La frânarea motorului, viteza scade treptat deoarece masa totală a vehiculului este de 2308 kg iar forțele care acționează sunt cele prezentate anterior.

Pentru comparație, au fost comparate două reglatoare PI (folosind un bloc PID dar coeficienți numai pentru P și I, cu D=0): PI1: P=100, I=2; și PI2: P1000, I=5; pentru a sublinia importanța coeficienților.

Modelul Motor a fost implementat ca funcție de transfer cu numărătorul Kt și numitorul $L \cdot s + R$, iar intrarea ia în considerare viteza de rotație a motorului $\omega(t)$ calculată din viteza vehiculului, cunoscând raza roții și raportul de transmisie.

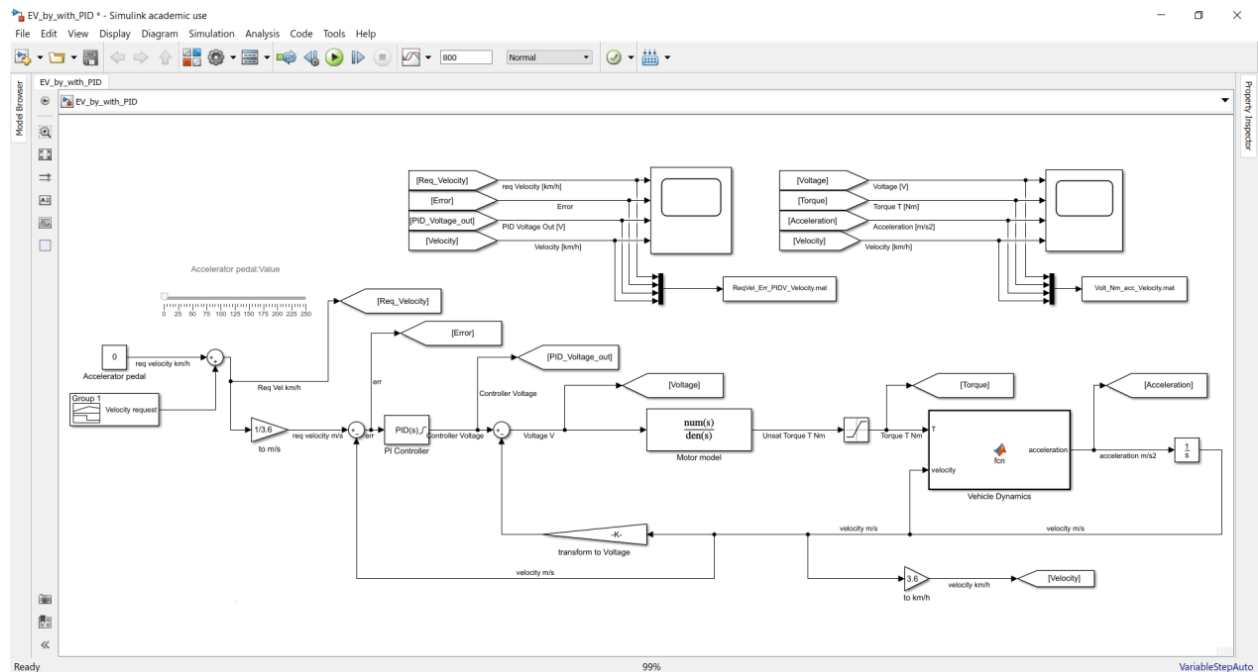


Figura 51. Modelul de vehicul electric simplificat implementat în MATLAB

Simularea a avut ca scop validarea modelului prin compararea rezultatelor sale cu datele reale măsurate pe Tesla Model S. Modelul a fost testat în diverse condiții de conducere, inclusiv accelerație, croazieră la viteză constantă și frânare, iar pentru a controla viteza vehiculului, au fost implementate două controlere PI diferite, pentru a evidenția modul de control și pentru a putea fi utilizat în scop educațional (aplicarea metodelor de tuning al controlerului PI, respectiv înlocuirea cu alte tipuri de control).

Pe baza acestui model de bază, studenții sunt încurajați să studieze dinamica unui vehicul electric prin: introducerea alunecării roților, modificarea funcției de transfer la un model bazat pe timp, introducerea gradientului drumului, filtrarea accelerației și implementarea altor cicluri de conducere și analiza acestora asupra performanțelor dinamice ale vehiculului.

Diseminarea rezultatelor obținute s-a realizat prin publicarea lucrării într-un jurnal de specialitate: „MATLAB Simulink of a Basic Electric Vehicle”, Dan Moldovanu în IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 898 (2020), 012015.

Lucrarea analizează procesul de implementare a unui model simplificat de vehicul electric utilizând platforma MATLAB Simulink, în scop didactic și de cercetare aplicată. În contextul în care tranziția de la motoarele cu ardere internă către propulsia electrică este considerată ireversibilă, dezvoltarea de modele precise și flexibile pentru simularea vehiculelor electrice

devine o cerință esențială atât pentru educația inginerască, cât și pentru cercetarea aplicată. Articolul propune un model de bază care poate fi utilizat în contexte educaționale pentru a facilita înțelegerea dinamicii vehiculelor electrice și pentru a permite testarea diverselor configurații de control și parametri fizici.

În introducere se subliniază importanța dezvoltării unei biblioteci de modele și subsisteme în MATLAB Simulink, care să permită dimensionarea și optimizarea componentelor vehiculului încă din faza de proiectare conceptuală. Având în vedere creșterea exponențială a numărului de vehicule electrice disponibile comercial, cu autonomii medii de peste 250 km per încărcare, accentul cercetării se mută dinspre fezabilitatea tehnologică spre îmbunătățirea performanțelor energetice și dinamice. În sprijinul acestui demers, autorul recurge la analiza unor lucrări relevante din literatură, care au implementat modele similare fie pentru vehicule electrice pure, fie pentru sisteme hibride.

Obiectivul principal al lucrării este crearea unui model funcțional și validabil de vehicul electric, implementat în MATLAB Simulink, care să includă dinamica vehiculului, modelul motorului electric, ciclul de testare și elemente de control prin regulatori de tip PI. Modelul are la bază dinamica unui vehicul de tip Tesla Model S și este conceput în așa fel încât să poată fi extins și rafinat în studii ulterioare, inclusiv prin introducerea de noi componente precum derapajul roților, pantele drumului sau cicluri de conducere variate.

Modelarea motorului electric reprezintă una dintre componentele centrale ale lucrării. Din considerente de simplitate și claritate didactică, motorul electric ales este de tip cu perii, deși în realitate vehiculele electrice moderne utilizează motoare asincrone trifazate. Autorul argumentează această alegere prin faptul că un motor cu perii poate oferi performanțe comparabile pentru scopuri educaționale și este mai ușor de modelat ca circuit serie R-L-EMF, unde R este rezistența, L este inductanța, iar EMF reprezintă forța electromotoare generată de motor în funcție de viteza de rotație. Pe baza ecuațiilor fundamentale ale circuitului electric și a celor de generare a cuplului și a EMF, autorul derivă funcția de transfer care permite implementarea motorului în mediul Simulink, cu tensiunea de alimentare ca intrare și cuplul generat ca ieșire.

Subsystemul de dinamică a vehiculului este construit prin integrarea forțelor fundamentale care acționează asupra acestuia: forța de tracțiune mecanică, rezistența aerodinamică, rezistența la rulare și efectele inerțiale. Forța de tracțiune este calculată în funcție de cuplul motor, raportul de transmisie, eficiența transmisiei și raza roții. Forța aerodinamică depinde de densitatea aerului, viteza vehiculului, aria frontală și coeficientul de rezistență aerodinamică. Rezistența la rulare este proporțională cu masa totală a vehiculului (inclusiv pasagerii) și accelerația gravitațională, multiplicată cu coeficientul de rulare. Prin aplicarea principiului fundamental al dinamicii, suma forțelor conduce la determinarea accelerației, care este apoi integrată pentru a obține viteza vehiculului, folosind un bloc de integrare Simulink.

Toți parametrii constanți sunt definiți într-un fișier „.m” care permite reutilizarea modelului pentru alte vehicule. Implementarea se face modular, iar blocurile Simulink includ atât subsistemele electrice cât și cele mecanice. Modelul este validat prin compararea performanțelor simulate cu specificațiile oferite de producătorul Tesla, respectiv o viteză maximă de aproximativ 250 km/h și o accelerație de circa $6,2 \text{ m/s}^2$. Ciclul de conducere impus presupune variații graduale ale vitezei: o solicitare inițială de 50 km/h urmată de un pas la 100 km/h, apoi o reducere la zero, urmată de o solicitare maximă (250 km/h) și, în final, o fază de frânare regenerativă de 300 secunde. Masa totală a vehiculului este considerată 2308 kg, iar toate forțele prezentate anterior sunt reintroduse pentru calculul realist al decelerării.

În etapa finală a simulării sunt introduse două regulatoare PI (proporțional-integrativ), implementate prin blocuri de tip PID, dar cu coeficientul derivativ setat la zero. Prima configurație (PI1) are coeficienți $P=100$ și $I=2$, iar cea de-a doua (PI2) are $P=1000$ și $I=5$. Scopul acestei comparații este de a demonstra influența valorilor câștigurilor asupra performanței sistemului de control, în special în răspunsul la variații bruște de viteză. Modelul motorului este implementat sub forma unei funcții de transfer cu numitorul dependent de inductanță și rezistență

și cu un numărător definit de constanta de cuplu. Intrarea este tensiunea electrică, iar ieșirea este cuplul mecanic, iar viteza de rotație este dedusă din viteza vehiculului, ținând cont de raportul de transmisie și raza roții.

Rezultatele sunt prezentate în două seturi de grafice. Primul set ilustrează eroarea între viteza cerută și cea actuală, respectiv tensiunea furnizată de controler, în timp ce al doilea set oferă date despre accelerația vehiculului și cuplul generat de motor. Se observă că, în cazul regulatorului PI1, viteza crește lent în faza finală a ciclului (cerere de 250 km/h), din cauza câștigurilor scăzute. În contrast, regulatorul PI2 oferă o răspuns mai rapid și mai stabil, în special în fazele de solicitare intensă. Această comparație evidențiază importanța alegerii corecte a coeficienților de reglare pentru a optimiza performanțele vehiculului electric.

În concluzie, autorul subliniază valoarea didactică a modelului propus și potențialul său de extindere. Printre direcțiile viitoare de cercetare se numără introducerea derapajului roților, integrarea unor pante de drum, rafinarea modelului motorului pentru a include timpii de reacție și pierderile interne, precum și testarea pe cicluri de conducere reale. De asemenea, se propune integrarea unui model de frânare regenerativă mai complex și a unor algoritmi avansați de management energetic.

Lucrarea contribuie la dezvoltarea unui cadru experimental coerent și ușor de utilizat pentru studenți și cercetători, oferind o platformă extensibilă pentru testarea și validarea de noi ipoteze legate de mobilitatea electrică. Prin utilizarea MATLAB Simulink, o platformă consacrată în domeniul ingineriei electrice și auto, se asigură un nivel ridicat de flexibilitate și compatibilitate cu cerințele curriculare moderne. Astfel, modelul propus îmbină rigoarea analitică cu aplicabilitatea practică, facilitând învățarea activă și înțelegerea profundă a principiilor care guvernează vehiculele electrice.

3.3.3. Analiza influenței modurilor de exploatare ale unui vehicul electric asupra consumului energetic

Introducerea și utilizarea pe scară largă a vehiculelor electrice în traficul (în special în mediul urban) reprezintă soluția adoptată la nivel global pentru reducerea/eliminarea poluării cauzate de emisiile poluante ale motoarelor cu ardere internă. Încă de la început, producătorii de vehicule electrice au fost nevoiți să rezolve marile probleme (bariere) cauzate de cerințele clienților, în special legate de autonomia vehiculului pentru o încărcare completă a bateriei. Din acest motiv, cercetările au devenit numeroase în direcția creșterii eficienței energetice a bateriei prin: dezvoltarea de noi materiale și tehnologii electrochimice, sisteme inteligente de comandă și control al fluxurilor de energie, reducerea greutateii vehiculelor, sisteme eficiente de management termic, etc.

Pe lângă abordarea tehnică a problemei utilizarea/exploatarea eficientă a unui vehicul (dinamica accelerării și frânării, folosirea excesivă a regimurilor de deplasare cu viteză mare, planificarea traseelor, starea tehnică a vehiculului și a sistemelor acestuia etc.), în general, de comportamentul șoferului depinde consumul energetic al vehiculului, comportament ce este influențat mai mulți factori cheie [35-39]:

- Caracteristici individuale: trăsăturile personale precum vârsta, sexul, experiența, atitudinea și percepția riscului pot afecta comportamentul șoferului. De exemplu, șoferii mai tineri și mai puțin experimentați pot prezenta comportamente mai riscante în comparație cu șoferii mai în vârstă și mai experimentați.
- Factori cognitivi: atenția, percepția, luarea deciziilor și timpul de reacție sunt procese cognitive care influențează comportamentul șoferului. Distragerile, oboseala și stările mentale

afectate (de exemplu, din cauza alcoolului sau a drogurilor) pot afecta în mod semnificativ acești factori.

- Factori sociali și culturali: normele culturale, presiunile sociale și influența colegilor pot modela comportamentul șoferului. De exemplu, atitudinile culturale față de depășirea vitezei sau folosirea centurii de siguranță pot afecta alegerile individuale ale șoferului.
- Factori de mediu: condițiile de drum și de trafic, condițiile meteorologice și proiectarea infrastructurii pot influența comportamentul șoferului. Traficul intens, condițiile proaste ale drumului sau vremea nefavorabilă pot crește nivelul de stres și pot afecta luarea deciziilor.
- Factori juridici și de reglementare: legile rutiere, aplicarea și sancțiunile joacă un rol în modelarea comportamentului șoferului. Aplicarea strictă și sancțiunile dure pentru încălcările rutiere pot acționa ca elemente de descurajare și pot promova practici de conducere mai sigure.
- Caracteristicile vehiculului: designul, performanța și starea unui vehicul pot afecta comportamentul șoferului. Factori precum viteza vehiculului, capacitățile de manevrare și caracteristicile avansate de siguranță pot influența alegerile și acțiunile șoferului.

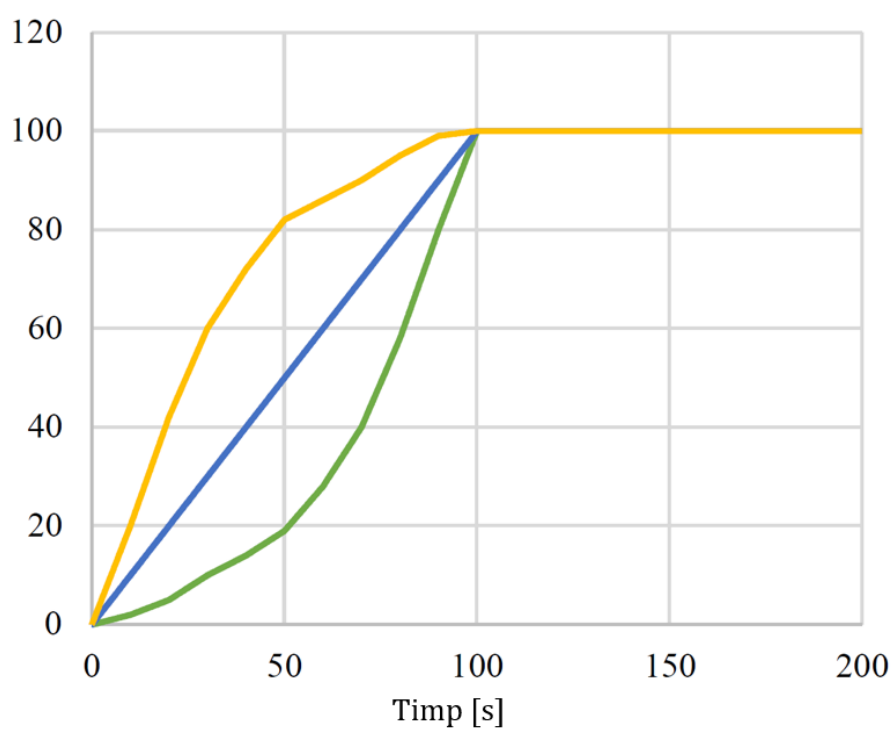
Studiul efectuat s-a bazat pe un proces de simulare realizată folosind mediul MATLAB Simulink, cu obiectivul principal al studiului fiind acela de a explora modul în care diferite moduri de conducere – defensiv, normal și agresiv – combinate cu pante de drum variabile (0%, 5% și 10%), influențează indicatorii cheie de consum de energie, cum ar fi nivelul de încărcare a bateriei (SOC), momentul motorului și curentul consumat din baterie (Figura 52 a). Comportamentul conducătorului a fost un punct central al analizei, deoarece așa cum s-a presupus, are un impact semnificativ asupra consumului de energie și eficienței generale a vehiculului.

Modelul de simulare este realizat în MATLAB Simulink (EvReferenceApplication din MATLAB Library) și constă dintr-un vehicul electric realizat cu:

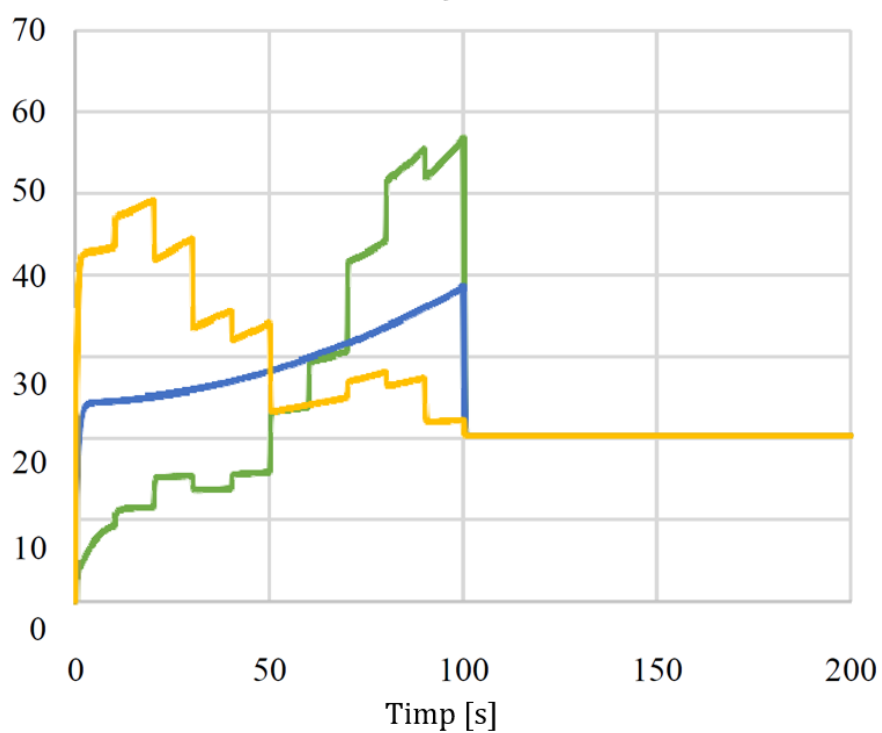
- un subsistem șofer (driver) longitudinal care utilizează varianta buclă închisă;
- subsistemul de mediu de exploatare care include panta drumului, viteza vântului și condițiile atmosferice;
- subsistemul de control care include modulul de control al grupului de propulsie;
- subsistem autoturism, care are propulsie electrică, caroserie cu 3 grade de libertate, model de roată longitudinală, diferențial și grup motopropulsor care constă dintr-o hartă a unui motor (map), baterie EV (vehicul electric) și tracțiune integrală.

Rezultatele simulării au confirmat ipoteza că modul de conducere agresiv crește semnificativ consumul de energie. De exemplu, la o înclinație a traseului (drumului) de 10%, în cazul șoferului agresiv motorul electric al vehiculului a necesitat un curent al bateriei de 362,03 A, comparativ cu 284,70 A pentru șoferul defensiv și 314,24 A pentru șoferul normal (Figura 52 b). Această diferență substanțială în cererea de energie subliniază importanța stilului de conducere în determinarea eficienței generale a unui vehicul electric. Modul de conducere agresiv a dus, la un moment motor mai mare, în special în fazele de accelerare, ceea ce a crescut și mai mult consumul de energie. Conducerea defensivă, în schimb, nu numai că a redus curentul bateriei și momentul motorului, dar a și conservat mai eficient SOC, permițând vehiculului să parcurgă distanțe mai mari cu o singură încărcare.

Diseminarea rezultatelor obținute s-a realizat prin prezentarea și publicarea lucrării în cadrul unei conferințe științifice internaționale: „Analysis of the Modes of Operation of an Electric Vehicle on Energy Consumption” publicat de Dan Moldovanu, Adela Ioana Borzan, Florin Mariașiu, Horațiu Cărăușan, Bogdan Ovidiu Varga și Dan Doru Micu, 2023 in Proceedings of 10th International Conference on Modern Power Systems (MPS) | 979-8-3503-2682-6/23/\$31.00 ©2023 IEEE, DOI: 10.1109/MPS58874.2023.10187463.



a)



b)

Conducător: — defensiv — normal — agresiv

Figura 52. Viteza impusă conducătorului [km/h] (a) și Momentul motor [Nm] (încălțare 0%) pentru cele trei tipuri de conducător

Lucrarea investighează influența modurilor de operare ale unui vehicul electric asupra consumului de energie, cu scopul de a evidenția rolul comportamentului șoferului și al condițiilor de drum în determinarea eficienței energetice. Într-un context marcat de extinderea accelerată a utilizării vehiculelor electrice în trafic, în special în mediul urban, optimizarea performanței energetice și creșterea autonomiei constituie priorități fundamentale ale cercetării aplicate. Studiul este fundamentat pe simulări numerice desfășurate în mediul MATLAB Simulink, folosind un model complex al unui vehicul electric, asupra căruia au fost aplicate trei stiluri de conducere distincte (agresiv, normal, defensiv) și trei grade de înclinare ale drumului (0%, 5%, 10%).

În introducere este prezentată problematica generală a mobilității electrice și se evidențiază faptul că anxietatea privind autonomia și degradarea bateriei sunt încă bariere majore în adoptarea pe scară largă a acestor tehnologii. Astfel, cercetarea se înscrie într-o direcție recentă și insuficient explorată: influența comportamentului șoferului asupra consumului energetic, autonomiei și stării de sănătate (SOH – State of Health) a bateriei. Sunt discutate rezultatele unor cercetări anterioare care au reliefat importanța unor factori precum accelerația și frânarea, menținerea vitezei constante, evitarea ralantiului și întreținerea corespunzătoare a vehiculului pentru reducerea consumului și a emisiilor. Totodată, sunt identificați factori determinanți ai comportamentului șoferului precum caracteristicile individuale, normele sociale și culturale, condițiile de mediu și reglementările legale.

Modelul de simulare utilizat în lucrare este derivat din aplicația EvReferenceApplication din biblioteca MATLAB și include mai multe subsisteme interconectate: subsistemul șoferului longitudinal cu buclă închisă, subsistemul mediului care integrează panta drumului și condițiile atmosferice, subsistemul de control al sistemului de propulsie și modelul vehiculului electric propriu-zis, format dintr-un motor mapat, o baterie electrică și tracțiune integrală, toate conectate într-un model cu trei grade de libertate. Bateria este de tip „datasheet battery”, iar calculul SOC (State of Charge) se realizează conform unei relații integrate între capacitatea bateriei, curentul de descărcare și timpul simulat.

Pentru fiecare combinație dintre tipul de șofer și înclinarea drumului au fost definite profile distincte de viteză solicitată. Astfel, șoferul agresiv a fost caracterizat printr-o creștere rapidă a vitezei până la 100 km/h, urmată de menținerea acesteia; cel normal printr-o creștere liniară pe parcursul a 100 de secunde; iar cel defensiv printr-o solicitare parabolică lentă. În total au fost efectuate nouă simulări, corespunzătoare combinațiilor posibile dintre cele trei tipuri de șoferi și cele trei pante de drum.

Rezultatele au fost analizate din perspectiva a trei indicatori principali: cuplul motor, curentul bateriei și variația SOC. În cazul cuplului motor, pentru drum drept (0% pantă), șoferul agresiv a solicitat un cuplu maxim la începutul ciclului de 49,19 Nm, șoferul defensiv a atins un maxim de 56,01 Nm spre finalul intervalului de accelerație, iar cel normal a avut o creștere progresivă de la 24,61 la 38,6 Nm. În toate cazurile, după 100 de secunde, cuplul s-a stabilizat la aproximativ 24,44 Nm.

Pentru analiza curentului bateriei, valorile maxime au variat în funcție de înclinarea drumului și comportamentul șoferului. Pe un drum fără pantă, valorile au fost 56,46 A pentru șoferul agresiv, 80,65 A pentru cel normal și 114,88 A pentru cel defensiv. Pe drumuri cu pante de 5% și 10%, curenții au crescut semnificativ, ajungând până la 362,03 A în cazul cel mai solicitant (șofer defensiv, pantă de 10%). Deși aparent contraintuitiv, această situație este explicată de faptul că șoferul defensiv tinde să mențină un regim constant, ceea ce duce la cereri energetice mai mari în faza de final a accelerației.

Analiza SOC a evidențiat diferențe relativ reduse între comportamentele de conducere pe drum plat, dar diferențiate clar în condiții de pantă. Astfel, după 200 de secunde de simulare, nivelul SOC rămas a fost, în medie, mai mare pentru șoferul defensiv, urmat de cel normal și apoi cel agresiv. De exemplu, la pantă de 10%, SOC-ul final a fost de 68,20% pentru conducerea defensivă, comparativ cu 66,14% pentru cea agresivă. Aceste rezultate sunt coroborate cu

valorile medii ale curentului bateriei, care au fost cele mai reduse în cazul șoferului defensiv, fapt ce sugerează o exploatare mai economică a resurselor bateriei.

În concluzie, lucrarea susține ipoteza că stilul de conducere defensiv, deși presupune uneori cereri de curent instantaneu mai ridicate, oferă în medie o exploatare mai eficientă energetic a vehiculului electric, contribuind la conservarea stării de sănătate a bateriei și extinderea autonomiei. Prin urmare, promovarea unui stil de conducere precaut și previzibil este recomandată în contextul utilizării curente a vehiculelor electrice. De asemenea, se menționează că în scopul dezvoltării ulterioare a cercetării, se propune eliminarea constrângerii de a atinge viteza de 100 km/h în 100 secunde, astfel încât diferențele între stiluri să fie generate de timpii proprii de accelerare. Se prevede, de asemenea, integrarea unui scenariu urban realist cu viteză maximă limitată la 50 km/h.

Lucrarea se încadrează într-o direcție de cercetare aplicativă cu implicații directe în optimizarea strategiilor de conducere, proiectarea sistemelor de control al energiei și instruirea utilizatorilor finali. Contribuția acesteia este una semnificativă nu doar prin modelarea detaliată a sistemului vehiculului electric, ci și prin introducerea unor variabile umane în analiza consumului energetic, oferind astfel o viziune integrată asupra exploatării eficiente a mobilității electrice în condiții reale de trafic.

3.4. Modelarea și simularea tehnologiilor cu pile de combustie cu hidrogen aplicate vehiculelor electrice

3.4.1. Analiza comparativă a soluțiilor de propulsie sustenabilă destinate transportului în comun

Experiența și colaborarea candidatului prin apartenența la Centrul de cercetare EMARC a fost utilizată în oferirea de soluții sustenabile în domeniul transportului urban de călători (transportul în comun) către cei interesați. O direcție de cercetare emergentă este cea legată de identificarea posibilităților de a crește eficiența energetică globală a vehiculelor de transport călători prin identificarea (studierea) tehnologiilor emergente în domeniul propulsiei electrice. Astfel prin colaborarea cu ceilalți membrii ai grupului de cercetare s-au efectuat cercetări prin care utilizând procese specifice de modelare și simulare s-au comparat două tehnologii esențiale în transportul public sustenabil: autobuzele electrice cu baterie (BEB) și autobuzele electrice cu celule de combustibil (FCEB). Obiectivul principal al studiului este evaluarea performanței acestor tehnologii în ceea ce privește eficiența energetică, autonomia și impactul asupra mediului.

Sustenabilitatea în sectorul/domeniul transporturilor a devenit una dintre cele mai mari provocări la nivel European și internațional, în lumina provocărilor actuale legate de protecția mediului înconjurător. Măsurile legislative imediate aplicate în aceste sens au fost introducerea unor reglementări mai stricte privind emisiile poluante și stabilirea unui calendar de reducere masivă/eliminare al grupurilor propulsoare ce folosesc combustibili fosili. Principalele opțiuni durabile în ceea ce privește transportul durabil cu autobuzul au fost BEB (Autobuze electrice cu baterii) și FCEB (Autobuze electrice cu pile de combustie). Ambele soluții tehnice se bazează pe utilizarea energiei electrice ca mijloc de propulsie, dar diferența fundamentală dintre aceste vehicule este mijloacele prin care acestea stochează energia electrică. Ambele tipuri folosesc baterii pentru a gestiona și a livra energia necesară propulsiei, dar, cu toate acestea FCEB folosesc celulele de combustie ca sursă principală de energie, reducând efortul bateriei, folosită în principal pentru stocarea și livrarea ulterioară a energiei către sistemele vehiculului. Această caracteristică face ca FCEB să fie mai puțin vulnerabile la posibile defecte ale bateriei, reducând drastic costul de funcționare.

Mai mult, din punct de vedere funcțional, având în vedere faptul că BEB-urile au fost adoptate pe scară largă și într-o fereastră de timp relativ scurtă, s-au înregistrat progrese limitate în

dezvoltarea noilor tehnologii de baterii. Acest lucru a dus la câteva deficiențe privind funcționarea pe termen lung a unor astfel de autobuze. BEB-urile oferă posibilitatea reducerii drastice a emisiilor locale și a poluării fonice cu prețul unui proces de reciclare dificil și complex. Acest dezavantaj semnificativ poate fi depășit prin utilizarea unei modalități alternative de a oferi energia necesară propulsiei electrice [40].

Pilele de combustibil reprezintă sisteme energetice capabile să transforme hidrogenul și oxigenul în energie electrică, putând fi utilizate pentru a alimenta sistemele de tracțiune electrică deoarece au o eficiență energetică superioară și o reducere totală a emisiilor poluante. Aceste caracteristici majore oferă FCEB-urilor posibilitatea de a parcurge distanțe mai mari în comparație cu BEB-urile convenționale. În acest fel, stocarea energiei este compensată în rezervoare special concepute, capabile să stocheze cantități adecvate de hidrogen pentru intervale extinse de funcționare [41].

Există mai multe tipuri de pile de combustie disponibile pe piață, fiecare prezentând o serie de avantaje și dezavantaje. Cel mai utilizat tip de celulă de combustie este cu membrană cu schimb de protoni (PEM) care utilizează un tip solid de electrolit sub forma unei membrane. Pilele de combustibil PEM funcționează într-un interval restrâns de temperatură de 80-100 oC și sunt capabile să dezvolte puteri de până la 100 kW cu o eficiență de aproximativ 40-60 %. Acest tip de pile de combustibil a găsit o utilizare largă în domeniul mobilității sustenabile, deoarece are un timp de pornire redus, cu dimensiuni geometrice (volum) relativ mici și greutate redusă. Cu toate acestea, celulele de combustibil PEM manifestă o sensibilitate ridicată la nivelul de umiditate, salinitatea apei și temperatura mediului. Alte tipuri de tehnologii de celule de combustie sunt: alcaline (AFC), acid fosforic (PAFC), carbonat topit (MCFC) și oxid solid (SOFC). Cu toate acestea, aceste tipuri de celule de combustibil nu se găsesc (momentan) în mod normal în aplicațiile de mobilitate electrică, din cauza timpilor lungi de pornire și a costurilor ridicate de producție și funcționare [5-7].

Astfel, în mod logic analiza managementului energetic al celor două soluții energetice de propulsie descrise anterior s-a realizat prin metode de modelare și simulare computerizată, fiind utilizate pachetul software de simulare AVL Cruise M, dezvoltat de AVL List GmbH.

Procesul de modelare a cuprins o serie de procese de parametrizare. Modelele au o construcție modulară, fiecare element funcțional al unui BEV și FCEV fiind reprezentat de un modul dedicat. Pentru a obține rezultate valide, toate componentele au fost modelate după specificațiile publicate de producător. Modelul electric este compus dintr-un pachet de baterii, un ansamblu de 2 motoare electrice ZF AVE 130 montate în roți, un modul de consum și un subsistem cu funcții de control. Pe lângă componentele enumerate anterior, varianta cu celulă de combustibil a lui Urbino 12 este echipată cu o celulă de combustibil Ballard HD60.

Pachetul de baterii a fost configurat având ca referință puterea de ieșire, tensiunea și curentul, pentru a fi cât mai precis. Sistemul de tracțiune este compus din 2 motoare electrice, modelate după mașinile reale folosite de Solaris și fabricate de ZF. Fiecare motor dezvoltă o putere de vârf de 250 kW și o tensiune nominală de 650V cu un curent maxim de 340A [42]. Subsistemul funcții de control conține algoritmi utilizați pentru controlul fiecărui motor, precum și funcțiile de calcul ale autonomiei și performanțelor vehiculului. Funcțiile utilizate pentru implementarea ciclului de testare sunt de asemenea cuprinse în acest subsistem. Modelul cu celulă de combustie conține celula de combustibil Ballard HD60, precum și o funcție dedicată care controlează fluxul de energie dintre baterie și celula de combustibil. Modelul BEB a fost echipat cu o baterie cu o putere mare (350kW) de tip litiu-ion, în timp ce modelul FCEB a prezentat o pilă de combustibil cu membrană de schimb de protoni (PEM) și o baterie cu o putere mai mică decât BEB (100kW).

Ciclul WLTC a fost ales ca ciclu de testare, fiind inclus în suita AVL. Acest profil conține viteze apropiate de cele cu care s-ar deplasa un autobuz urban integrând limitele inferioare și superioare între care trebuie situată viteza vehiculului modelat. Pe lângă aceste limite, este inclusă viteza reală de deplasare, împreună cu punctele de schimbare a vitezei (dacă este cazul).

Pentru validarea ambelor modele au fost observate performanța dinamică, consumul de energie, starea de încărcare a bateriei și autonomia. În urma simulării, ambele modele au obținut performanțe similare cu cele declarate de producător. Modelele pot fi observate în Figura 53 a și b.

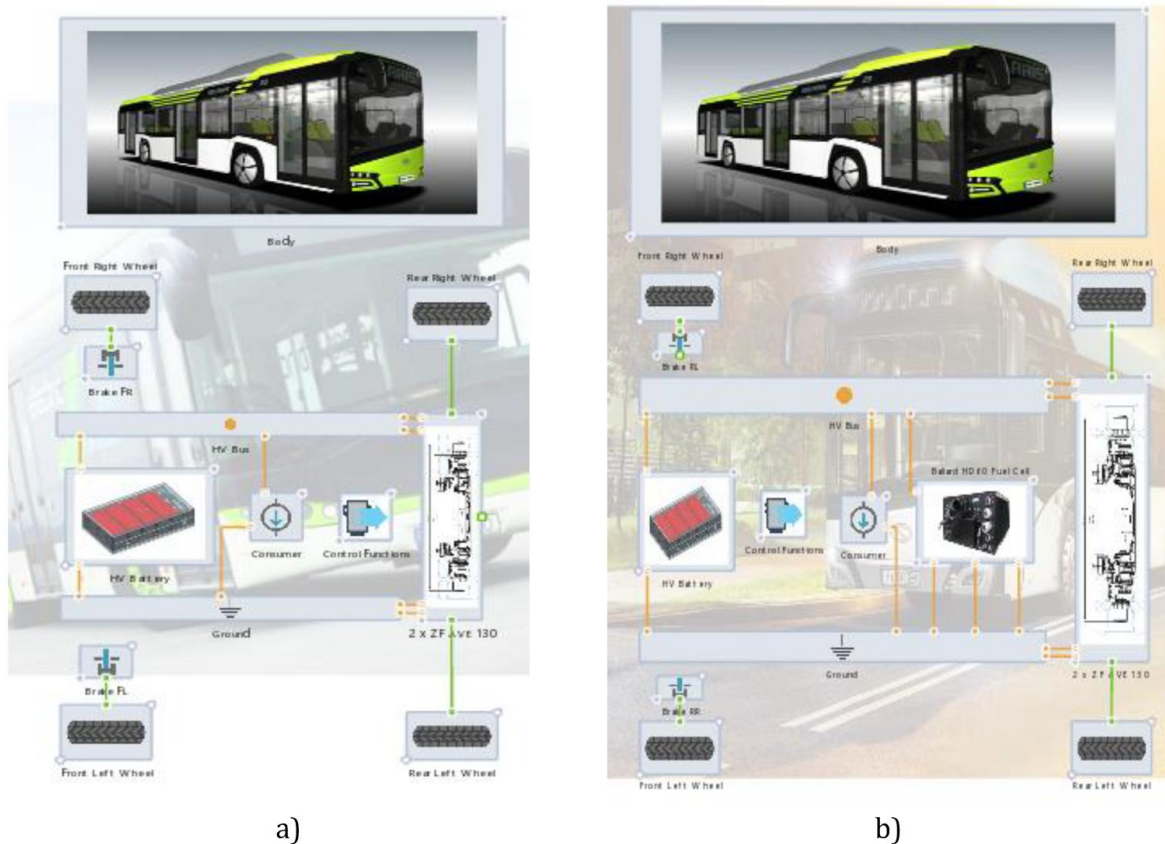


Figura 53. Modelul în AVL Cruise al (a) autobuzului electric și (b) al autobuzului cu pilă de combustibil

Studiul a constatat că FCEB oferă un avantaj clar în termeni de autonomie, în principal datorită eficienței stocării hidrogenului. FCEB pot parcurge distanțe mai mari fără a avea nevoie de realimentare sau reîncărcare, ceea ce le face mai potrivite pentru rute mai lungi sau în regiunile cu infrastructură de încărcare limitată. În ceea ce privește consumul de energie, studiul a constatat că BEB consumă în general aproximativ 1,3 kWh pe kilometru, în funcție de condițiile de mediu și de sarcina vehiculului.

Autobuzul cu pilă de combustibil, deși este mai puțin eficient în ceea ce privește conversia energiei, compensează acest lucru prin autonomia extinsă și prin reducerea solicitării asupra bateriei, unul dintre avantajele cheie ale FCEB este capacitatea de a reduce degradarea bateriei, deoarece pila de combustibil acționează ca un tampon energetic, oferind o livrare constantă de energie fără a se baza excesiv pe baterie.

Prin parcurgerea ciclului WLTP, s-a evidențiat pentru ambele tipuri de autobuze evoluția autonomiei, iar pentru FCEB s-au creat 5 cazuri de simulare, unde s-au luat în considerare diferite grosimi ale stratului catalitic dintre anod și membrana PEM (de la 1mm pentru cazul 1 la 5mm pentru cazul 5). Rezultatele simulării privind evoluția autonomiei și evoluția consumului energiei din baterie pentru FCEB sunt prezentate în figura 54 și 55.

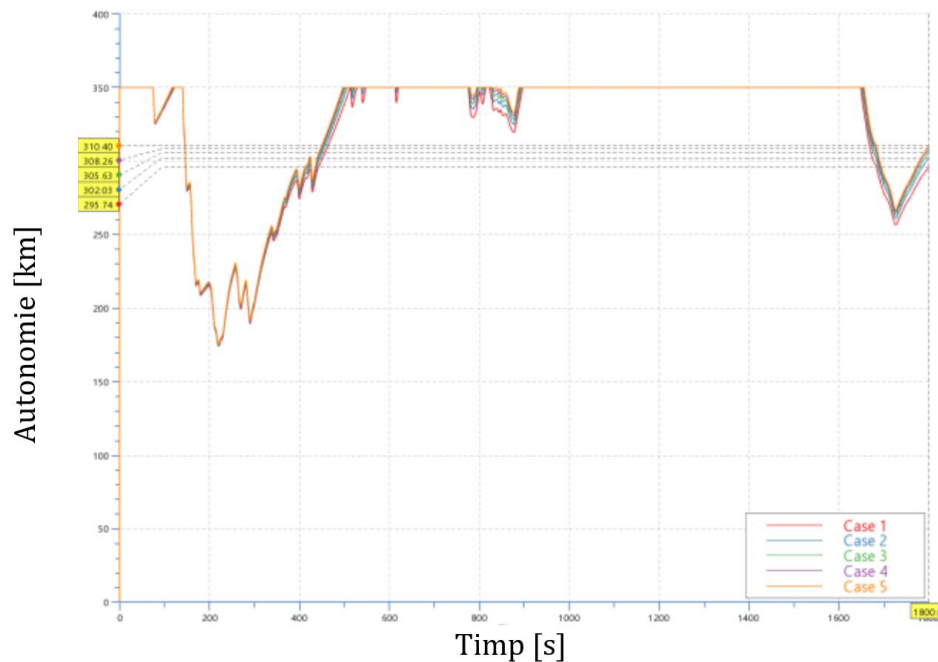


Figura 54. Evoluția autonomiei pentru FCEB pe ciclul WLTP

Având în vedere aspectele și premisele aplicării procesului de simulare menționate anterior, precum și datele obținute în urma analizei comparative a celor două soluții de mobilitate electrică propuse se pot concluziona următoarele:

- ✓ Vehiculele echipate cu celule de combustie oferă o durată de viață mai mare a bateriei, prin capacitatea lor de a-și menține starea de încărcare la un prag stabilit, bateriile având mai puține cicluri de încărcare complete. Durabilitatea vehiculelor cu celule de combustibil provine din capacitatea lor de a utiliza o varietate de dispozitive de stocare a energiei, ce duce în mod direct la prelungirea duratei de viață a pachetelor de baterii.
- ✓ Consumul energetic al autobuzelor este direct afectat de regimul de conducere, de condițiile de mediu, precum și de caracteristicile infrastructurii rutiere pe care circulă vehiculul. În cazul soluțiilor de pile de combustie, evoluția autonomiei este mult mai previzibilă prin monitorizarea directă a consumului de hidrogen, estimările fiind mai apropiate de valorile reale.
- ✓ În urma simulărilor efectuate s-a constatat că, consumul total de energie în cazul FCEB, a fost întotdeauna mai mare decât consumul obținut în urma simulării cazului BEB. Cea mai mică valoare a consumului obținută în cazul modelului cu pile de combustie este mai mare cu 8,45 kWh decât valoarea de referință stabilită de modelul electric. Cu toate acestea, datorită progresului în materie de pile de combustie ca și producție și tehnologie, această diferență poate fi redusă semnificativ.

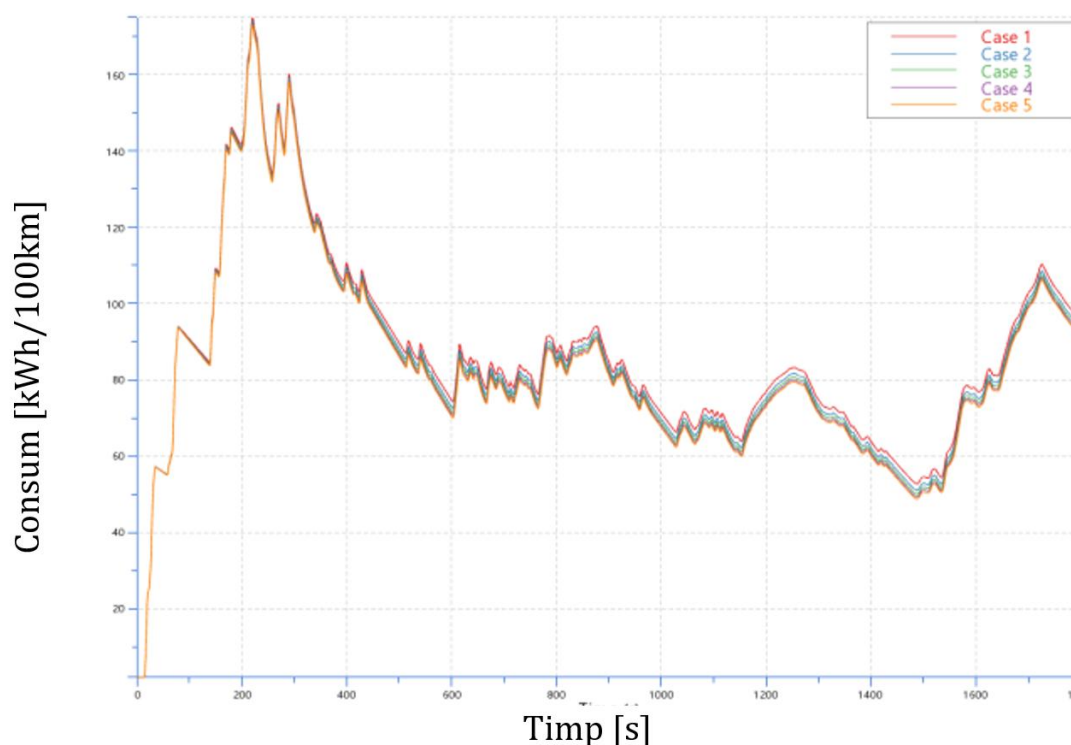


Figura 55. Evoluția consumului energiei din baterie pentru FCEB pe ciclul WLTP

- ✓ Eficiența maximă înregistrată a celulei de combustie din modelele de simulare a fost de 60,8%, cea mai mică valoare fiind de 56%. Masa maximă de hidrogen reacționată a fost înregistrată în cazul constructiv numărul 1 spre deosebire de cazul constructiv numărul 5 care a manifestat cea mai mică cantitate de hidrogen reacționat.
- ✓ Analizând consumul de energie al bateriei în corelație cu consumul de hidrogen, se poate afirma că, în cazul unei îmbunătățiri semnificative a eficienței celulei de combustibil, consumul total de energie al acestor vehicule poate fi redus drastic la un nivel care concurează sau depășește complet vehiculele electrice bazate ca și sursă energetică exclusiv pe baterii.

Diseminarea rezultatelor obținute s-a realizat prin publicarea lucrării într-un jurnal de specialitate: H. Cărăușan, B. O. Varga, D. Moldovanu, A. A. Sirca, 2022, Comparative analysis of fuel cell and electric public for transport busses, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering IOP Publishing, 1256 (2022) 012041, doi:10.1088/1757-899X/1256/1/012041.

Analiza comparativă prezentată examinează două clase de autobuze pentru transport public, bazate pe propulsie electrică: autobuzele cu baterii (Battery Electric Busses – BEB) și cele cu celule de combustibil pe bază de hidrogen (Fuel Cell Electric Busses – FCEB), utilizând modelul Solaris Urbino 12 în cadrul simulărilor efectuate cu ajutorul platformei AVL Cruise M. Studiul își propune să evalueze avantajele și dezavantajele ambelor tehnologii în termeni de autonomie, consum energetic, eficiență a componentelor și sustenabilitate pe termen lung.

Introducerea subliniază contextul generat de schimbările climatice și intensificarea legislației de mediu, care impun reînnoirea rapidă a parcului de transport public și adoptarea soluțiilor nepoluante. În acest cadru, autobuzele electrice au devenit opțiunea predominantă, însă apariția autobuzelor FCEB deschide noi perspective prin utilizarea hidrogenului ca element de stocare și furnizare a energiei electrice. Se precizează diferența esențială: BEB utilizează baterii pentru

furnizarea directă a energiei, pe când FCEB combină un rezervor de hidrogen cu o celulă de combustibil PEM și un pachet de baterii de dimensiuni reduse, cu scopul de a îmbunătăți durabilitatea bateriilor și a extinde autonomia.

Secțiunea dedicată materialelor și metodei detaliază modul în care au fost construite modelele în AVL Cruise M, folosind specificațiile tehnice exacte ale Autobuzelor Solaris Urbino 12 în variantele electrică și FCEB. Ambele modele au fost echipate cu două motoare electrice ZF AVE 130 de câte 150 kW fiecare. Pachetul de baterii ale autobuzului electric este de 350 kW, în timp ce varianta FCEB utilizează o baterie de 100 kW, alături de o celulă de combustibil Ballard HD60. Sunt indicate masele proprii, aria frontală, coeficientul de frecare și dimensiunile caracteristice, subliniind similitudinea constructivă dintre cele două versiuni, diferența fundamentală rezidând în sistemul de gestiune a energiei.

Testele utilizează ciclul WLTC, relevant pentru operațiunile urbane, iar validarea se face prin compararea rezultatelor simulării cu datele declarate de producător. Pentru autobuzul BEB, simularea reconstituie o autonomie de cca. 100 km, cu consum mediu de aproximativ 1,8 kWh/km, în concordanță cu așteptările. În cazul FCEB, au fost implementate cinci scenarii în care grosimea stratului catalitic al celulei PEM variază între 0,001 și 0,005 cm. Acest parametru influențează direct eficiența energetică și implicit consumul de hidrogen și autonomie.

Rezultatele obținute pentru FCEB arată o creștere a autonomiei de la 295 km până la 310 km odată cu creșterea grosimii stratului catalitic. Consumul mediu al bateriei scade ușor de la 86,6 la 83,3 kWh/100 km, iar reacția hidrogenului variază între 0,934 și 0,914 kg pentru ciclul WLTC. Calculul consumului total de energie include echivalentul energetic al hidrogenului ($1 \text{ kg H}_2 \approx 33,6 \text{ kWh}$). Eficiența sistemului FCEB crește progresiv, de la 56 % la 60,8 %, reflectând performanța optimizată a stratului catalitic.

Analiza comparativă evidențiază că, deși FCEB asigură o autonomie semnificativ mai mare și reducerea stresului asupra bateriei, consumul total de energie rămâne superior celui al autobuzului BEB cu aproximativ 8,45 kWh/100 km în scenariul cel mai favorabil. Totuși, potențialul de îmbunătățire al eficienței celulelor PEM indică posibilitatea egalării sau depășirii performanței energetice a autobuzelor complet electrice.

Concluziile formulează câteva direcții majore: autobuzele FCEB oferă beneficii notabile în ceea ce privește durabilitatea bateriei, predictibilitatea autonomiei și extinderea acesteia, precum și costuri de înlocuire rezonabile pentru componente. Din contra, răspunsul BEB este sensibil la condițiile de operare și necesită reciclarea complexă a bateriilor. Pe termen lung, progresul tehnologic al celulelor de combustibil PEM ar putea elimina diferențele actuale de consum și ar putea transforma FCEB în soluția preferată pentru transportul public sustenabil, mai ales în rutele de lungă durată.

(B-ii) Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei

Direcția didactică viitoare principală vizează continuarea și îmbunătățirea procesului de formare a studenților, cu accent pe dezvoltarea specialiștilor în ingineria autovehiculelor capabili să răspundă dinamicii cerințelor pieței muncii contemporane. Acest obiectiv poate fi realizat prin abordări multi- și interdisciplinare în cadrul cursurilor și laboratoarelor de specialitate, cu accent pe implicarea practică a studenților în utilizarea instrumentelor moderne de simulare a fenomenelor ingineresti.

Astfel de implementări au fost deja realizate în cadrul materiei “Teoria Automatizării Componentelor Autovehiculelor II”, unde participă studenți masteranzi care provin din diferite domenii de licență care includ telecomunicații, automatizări, inginerie mecanică, mecatronică și ingineria autovehiculelor, studenții pot excela în zonele de competență dar pot și învăța de la colegii de grupă/echipă prin constituirea unor echipe mixte de studiu.

Obiective de carieră pe termen scurt:

În următorii (1-5) ani, candidatul își propune să își consolideze poziția de expert în domeniu prin obținerea titlului de profesor universitar. În paralel, va continua să își dedice timpul îndrumării a doi doctoranzi anual, contribuind astfel la formarea noii generații de cercetători. Pentru a extinde vizibilitatea internațională a Universității Tehnice din Cluj-Napoca, se vor publica în mod regulat articole științifice în reviste de prestigiu și va participa activ la conferințe naționale și internaționale.

De asemenea, se va valorifica experiența în managementul proiectelor pentru a transfera cunoștințe către tineri cercetători și pentru a dezvolta noi propuneri de cercetare. Prin intermediul colaborărilor cu centre de cercetare precum EMARC, TestEcoCel și ENTREC, s-a propus promovarea cercetării la nivel național și internațional și antrenarea activă la consolidarea parteneriatelor cu industria prin proiecte de cercetare ce vizează direcții precum: simularea vehiculelor și a componentelor acestora, evaluarea și exploatarea energiilor verzi aplicate în domeniul autovehiculelor, testarea tehnologiilor emergente prin intermediul Laboratoarelor din cadrul Departamentului de Autovehicule Rutiere și Transporturi.

Obiective de carieră pe termen lung:

Pe termen lung, candidatul își propune să contribuie la îmbunătățirea continuă a procesului de învățământ prin adaptarea cursurilor și laboratoarelor la cerințele actuale ale industriei. Cursurile vor fi configurate pentru a răspunde direct nevoilor actuale ale pieței muncii. Printr-o strânsă legătură între teorie și practică, studenții vor dobândi competențe specifice și vor fi pregătiți pentru o integrare rapidă în mediul profesional. Laboratoarele vor fi orientate către aplicații practice, iar procesul de predare va fi optimizat prin utilizarea de metode moderne și a platformelor electronice de învățare.

De asemenea, se va dezvolta infrastructura necesară pentru a facilita cercetarea în domeniul simulării și integrării modelelor în soluții practice, cum ar fi microcontrolerele. Prin obținerea de finanțare pentru proiecte de cercetare, se vor putea pune în aplicare aceste cunoștințe și implicit se va contribui la dezvoltarea de soluții inovatoare cu impact direct asupra industriei.

Capacitatea individuală de coordonare a echipelor de cercetare și atragerea doctoranzilor:

Un element central în dezvoltarea carierei academice îl reprezintă capacitatea de coordonare și consolidare a colectivelor de cercetare. De-a lungul activității sale științifice și didactice, candidatul a acumulat o experiență semnificativă în această direcție, atât prin implicarea în proiecte complexe cu finanțare națională și europeană, cât și prin activitatea de mentorat desfășurată în cadrul programelor de studii masterale și doctorale.

În prezent, există un interes crescut din partea studenților și tinerilor cercetători pentru a desfășura teze de doctorat sub îndrumarea candidatului, fapt confirmat prin numeroasele solicitări primite în acest sens. Deși, din motive administrative, coordonarea oficială a doctoranzilor nu a fost posibilă până în acest moment, activitatea desfășurată a presupus în permanență atragerea, integrarea și mentoratul acestora în cadrul proiectelor de cercetare și al activităților didactice. Prin urmare, se poate afirma că formarea colectivelor de doctoranzi a fost realizată într-un mod indirect, dar constant, prin implicarea lor în teme de cercetare de actualitate și prin crearea unui cadru propice dezvoltării lor academice și profesionale.

Atragerea și motivarea doctoranzilor:

Un rol important în acest proces l-a avut colaborarea cu echipa Formula Student Electric, unde activitățile complexe desfășurate, ce implică simulări numerice, testări experimentale și integrarea tehnologiilor de mobilitate electrică, au constituit un teren fertil pentru atragerea studenților performanți spre cercetare. Participarea la o astfel de echipă interdisciplinară a permis selectarea celor mai motivați și bine pregătiți studenți, care ulterior au devenit masteranzi și doctoranzi interesați de continuarea cercetării în domeniu.

De asemenea, în cadrul proiectelor europene derulate prin EMARC și prin colaborările instituționale cu industria, candidatul a creat oportunități de finanțare pentru doctoranzi și masteranzi. Aceste proiecte nu doar că au asigurat resursele materiale și logistice necesare, dar au constituit și o platformă de expunere la cercetare aplicată și la colaborări interdisciplinare, ceea ce reprezintă un factor esențial în formarea tinerilor cercetători.

Coordonarea echipelor de cercetare:

Un aspect esențial al activității candidatului este experiența acumulată în calitate de director de proiect.

Astfel, în cadrul proiectului „Efectuarea testelor specifice pentru benzina cu COR 100”, candidatul a coordonat integral activitatea de cercetare, implicând resurse umane diverse (cadre didactice, masteranzi și doctoranzi), gestionând logistic și financiar întreg procesul și livrând rezultatele conform cerințelor beneficiarului. Prin natura sa, proiectul a presupus implementarea unor teste complexe, inclusiv dezvoltarea și validarea unui mediu Hardware-in-the-Loop, unde aportul doctoranzilor a fost deosebit de valoros. Această experiență a demonstrat nu doar capacitatea de a gestiona colective de cercetare, ci și abilitatea de a integra doctoranzi în activități de cercetare aplicată de înalt nivel.

Un al doilea exemplu este proiectul „Modernizarea sistemului de transport public prin achiziționarea de vehicule ecologice”, desfășurat în colaborare cu Primăria Municipiului Cluj-Napoca. Rolul de director de proiect a presupus coordonarea echipei în elaborarea caietului de sarcini pentru autobuze electrice, analiza ofertelor tehnice și financiare, precum și consultanță pe parcursul procesului de achiziție și recepție. În acest cadru, doctoranzi și masteranzi au fost implicați activ, fiind responsabilizați cu sarcini precise și beneficiind de un proces de mentorat direct. Această implicare a facilitat formarea lor profesională și i-a familiarizat cu procese complexe de analiză tehnică, economică și de reglementare.

Mentorarea doctoranzilor în activitatea didactică:

O altă dimensiune a coordonării colectivelor de cercetare este reprezentată de activitatea didactică. Candidatul a implicat doctoranzii în procesul de predare, aceștia fiind responsabili cu desfășurarea unor laboratoare sub coordonarea sa. Această strategie nu doar că a facilitat dezvoltarea competențelor pedagogice ale doctoranzilor, dar a creat și un mediu de învățare bidirecțional, în care experiența lor de cercetare a putut fi transmisă direct studenților. Prin

mentorat constant, candidatul a asigurat calitatea procesului didactic și a oferit doctoranzilor un model de dezvoltare profesională echilibrată între activitatea de cercetare și cea didactică.

Pe baza acestor realizări, se poate concluziona că experiența acumulată de candidat în gestionarea proiectelor complexe, în atragerea și mentorarea studenților performanți și în crearea de cadre colaborative interdisciplinare demonstrează în mod evident capacitatea individuală de a coordona echipe de cercetare. Prin activitățile desfășurate până în prezent, s-au pus bazele unor colective de cercetare dinamice, cu implicarea directă a doctoranzilor, care au beneficiat atât de sprijin logistic și financiar prin proiectele derulate, cât și de o îndrumare profesională și didactică adecvată. Aceste experiențe reprezintă garanția unei capacități consolidate de coordonare a activității doctorale în viitor.

Concluzii finale

Activitatea de cercetare a candidatului s-a desfășurat într-un mod coerent și bine structurat, urmărind o direcție clară în utilizarea tehnicilor avansate de simulare numerică pentru abordarea și rezolvarea unor probleme specifice din domeniul ingineriei. Aceste simulări au fost realizate în medii software variate, fiecare oferind funcționalități distincte care au permis explorarea unor perspective multiple asupra sistemelor analizate. Un aspect esențial al acestui demers științific a fost validarea modelelor dezvoltate, un proces riguros care a presupus atât testarea lor în condiții simulate, cât și compararea rezultatelor cu date experimentale sau studii anterioare relevante. Prin această abordare, s-a asigurat un nivel ridicat de acuratețe și aplicabilitate a modelelor, crescând astfel valoarea lor atât din punct de vedere teoretic, cât și practic.

Un rezultat semnificativ al acestei activități de cercetare a fost dezvoltarea unei biblioteci extinse de modele, care acoperă o gamă largă de scenarii și configurații. Aceste modele nu doar că facilitează înțelegerea unor fenomene complexe, dar oferă și posibilitatea de a analiza diferite strategii de control, de implementare și de operare a sistemelor studiate. Datorită flexibilității lor, acestea pot fi utilizate în diverse scopuri, atât pentru aprofundarea cunoștințelor în mediul academic, cât și pentru desfășurarea unor activități de cercetare aplicată în industrie. În plus, aceste resurse constituie un suport valoros pentru dezvoltarea unor soluții inovatoare și eficiente, având un impact pozitiv asupra procesului educațional și a progresului în domeniul ingineriei.

În mediul academic, candidatul și-a menținut o prezență activă, concentrându-se pe identificarea și implementarea unor soluții inovatoare la provocările întâlnite în analiza și optimizarea sistemelor funcționale și constructive specifice autovehiculelor. Aceste soluții au fost dezvoltate printr-o combinație echilibrată de metode tradiționale, care și-au demonstrat eficiența în timp, și tehnici moderne, care permit explorarea unor noi direcții de cercetare.

Această abordare integrată a permis nu doar îmbunătățirea performanței sistemelor analizate, dar și dezvoltarea unor modele predictive capabile să ofere rezultate fiabile și aplicabile în practică.

Diseminarea rezultatelor cercetării a fost un alt aspect important al activității desfășurate, având ca scop atât creșterea gradului de conștientizare cu privire la importanța utilizării unor instrumente avansate de analiză, cât și facilitarea accesului la informații relevante pentru alți cercetători și specialiști din domeniu. Pentru a atinge acest obiectiv, rezultatele obținute au fost publicate în diverse formate, incluzând articole științifice în reviste de specialitate, lucrări prezentate la conferințe naționale și internaționale și cărți academice. De asemenea, au fost elaborate manuale și îndrumătoare de laborator menite să sprijine procesul educațional și să ofere studenților un instrument util pentru aprofundarea cunoștințelor în domeniul ingineriei autovehiculelor și al metodelor de simulare numerică.

Candidatul a acumulat o experiență vastă în îndrumarea și mentoratul tinerilor cercetători, având o implicare activă în cadrul a cinci comisii de coordonare a doctoranzilor. Această activitate a presupus nu doar asigurarea unui suport tehnic și științific pentru elaborarea tezelor de doctorat, ci și oferirea unei perspective strategice asupra dezvoltării viitoare a carierei academice a doctoranzilor. Prin ghidare constantă și prin schimburi de idei cu alți conducători de doctorat,

candidatul a reușit să creeze un mediu favorabil progresului științific, contribuind astfel la formarea unei noi generații de cercetători bine pregătiți.

În plus, colaborarea frecventă cu alți experți din domeniu și participarea la rețele de cercetare au consolidat abilitățile de coordonare și mentorat ale candidatului, oferindu-i oportunitatea de a adapta și îmbunătăți continuu metodele de îndrumare. Aceste experiențe creează premise solide pentru viitoarea activitate de coordonare a doctoranzilor, asigurând nu doar succesul individual al acestora în finalizarea tezelor de doctorat, dar și integrarea lor eficientă în comunitatea științifică internațională.

Pentru viitor, direcțiile de cercetare pe care candidatul le are în vedere includ:

- ✓ Modelarea și simularea diverselor sisteme componente ale autovehiculelor;
- ✓ Modelarea pilelor de combustie cu hidrogen în mediul de simulare Cruise M;
- ✓ Testarea pilelor de combustie cu hidrogen în mediu HiL (Hardware in the Loop);
- ✓ Crearea și implementarea sistemelor de control pentru pile de combustie cu hidrogen în mediul de simulare Cruise M;
- ✓ Explorarea unor noi metode de integrare a proceselor de modelare și simulare în activitățile educaționale și didactice.

(B-iii) Bibliografie

- [1] Priesching, P., Ramusch, G., Ruetz, J., & Tatschl, R. (2007). 3D-CFD modeling of conventional and alternative diesel combustion and pollutant formation-a validation study (No. 2007-01-1907). SAE Technical Paper.
- [2] Ranjbar, A. A., Sedighi, K., Farhadi, M., & Pourfallah, M. (2009). Computational study of the effect of different injection angle on heavy duty diesel engine combustion. *Thermal Science*, 13(3), 9-21.
- [3] Tatschl, R., Gabriel, H. P., & Priesching, P. (2001, March). FIRE–A Generic CFD Platform for DI Diesel Engine Mixture Formation and Combustion Simulation. In *International Multidimensional Modeling User's Group Meeting at the SAE Congress, Detroit, Mich., USA.*
- [4] Tatschl, R., Künsberg Sarre, C., Priesching, P., & Putz, N. (2000). A Comprehensive CFD Workflow for the Modeling of Gasoline DI Engines. In *The 1st National Congress on Fluids Engineering, Muju Resort, Korea.*
- [5] C. Chen, X. Zhao, Y. Yao, Y. Zhang, J. Rong, and X. Liu, "Driver's eco-driving behavior evaluation modeling based on driving events," *J Adv Transp*, vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/9530470.
- [6] Jafarmadar, S., Shafee, S., & Barzegar, R. (2010). Numerical investigation of the effect of fuel injection mode on spray/wall interaction and emission formation in a direct injection diesel engine at full load state. *Thermal Science*, 14(4), 1039-1049..
- [7] Abe-El Aziz, M. S., Effect of Variable Viscosity and Suction/Injection on Thermal Boundary Layer of a Non-Newtonian Power-Law Fluids Past a Power-Law Stretched Surface, *Thermal Science*, 14 (2010), 4, pp. 1111-1120.
- [8] Pitta, S. R., & Kuderu, R. (2008). A computational fluid dynamics analysis on stratified scavenging system of medium capacity two-stroke internal combustion engines. *Thermal Science*, 12(1), 33-42.
- [9] Ganapathy, T., Gakkhar, P. R., & Murugesan, K. (2009). Artificial neural network modeling of jatropha oil fueled diesel engine for emission predictions. *Thermal Science*, 13(3), 91-102.
- [10] Khalilarya, S., & Lotfiani, A. (2010). Determination of flow pattern and its effect on NOx emission in a tangentially fired single chamber square furnace. *Thermal Science*, 14(2), 493-503.
- [11] Kozic, M. S., Ristić, S. S., Puharic, M. A., & Katavic, B. T. (2011). Numerical simulation of multiphase flow in ventilation mill and channel with louvers and centrifugal separator. *Thermal Science*, 15(3), 677-689.
- [12] Heywood, J.B. *Internal Combustion Engine Fundamentals*, Second Series, McGrawHill Book Company, New York, USA, 1988
- [13] Magnussen, B. F., Hjertager, B. H., *On Mathematical Modeling of Turbulent Combustion with Special Emphasis on Soot Formation and Combustion*, Proceedings, 16th International Symposium on Combustion, Boston, Mass., USA, The Combustion Institute, Pittsburgh, Penn., USA, 1977, pp. 719-729
- [14] Spalding, D. B., *Combustion and Mass Transfer*, Pergamon Press, Oxford, UK, 1979
- [15] Pešić, R. B., Davinić, A. L., Taranović, D. S., Miloradović, D. M., & Petković, S. D. (2010). Experimental determination of double vibration function parameters in diesel engines with biodiesel. *Thermal science*, 14(suppl.), 197-208.
- [16] Stojiljkovic, D., et al., *Mixtures of Bioethanol and Gasoline as a Fuel for SI Engines*, *Thermal Science*, 13 (2009), 3, pp. 219-228
- [17] Mariasiu, F., *Contemporary Diesel Engine* (in Romanian), Sincron Publishing House, Cluj-Napoca, Romania, 2005

- [18] Burnete, N., et al., Biofuels– Alternative Energy Source in Romania, International Congress on Automotive and Transport Engineering, CONAT 2010, Vol III, ISSN 2069-0401, Paper no. CONAT20102064
- [19] Burnete, N., et al., Diesel Engines and Biofuels for Urban Transportation (in Romanian), Mediamira Publishing House, Cluj-Napoca, Romania, 2008
- [20] Demirbas, A., Biodiesel, A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines, Springer Publishing House, Berlin, 2008
- [21] S., Kim, Y., Kim, J., Lee, "Analysis of the In Cylinder Flow, Mixture Formation and Combustion Processes in a Spray-Guided GDI Engine," SAE Technical Paper 2008-01-0142, (2008), <https://doi.org/10.4271/2008-01-0142>.
- [22] P. G., Hill, and D. Zhang. "The effects of swirl and tumble on combustion in spark-ignition engines." *Progress in energy and combustion science* 20(5) 373, 429 (1994).
- [23] K., Lee, B., Choongsik and K., Kernyong, "The effects of tumble and swirl flows on flame propagation in a four-valve SI engine." *Applied thermal engineering* 27,11-12, 2122-2130 (2007).
- [24] Park, E.; Lim, J.; Cho, Y. 2018 Understanding the Emergence and Social Acceptance of Electric Vehicles as Next-Generation Models for the Automobile Industry. *Sustainability* 10, 662-675.
- [25] Franke, T.; Günther, M.; Trantow, M.; Krems, J.F. 2017 Does this range suit me? Range satisfaction of battery electric vehicle users. *Appl Ergon*, 65, 191-199.
- [26] Labeye, E.; Hugot, M.; Brusque, C.; Regan, 2016 M.A. The electric vehicle: a new driving experience involving specific skills and rules. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.*, 37, 27-40.
- [27] Varga B.O, Sagoian A., Mariasiu F. 2019 Prediction of Electric Vehicle Range: A Comprehensive Review of Current Issues and Challenges, *Energies*, 12, 946-965.
- [28] Vatanparvar K., Al Faruque M.A. 2015 Battery Lifetime-Aware Automotive Climate Control for Electric Vehicles, DAC '15 Conference, June 07 - 11 San Francisco, CA, USA.
- [29] Butler K L, Ehsani M, Kamath P 1999 *IEEE Trans. Veh. Technol.* 48, 6, 1770-8 .
- [30] Lakshmi G S, Fatima K, Madhavi B K 2017 *IEEE Reg. 10 Annu. Int. Conf. Proceedings/TENCON*, 147-151.
- [31] Ma X, 2002 *Proc. World Congr. Intell. Control Autom.* 1, 815-18.
- [32] Sri Kaloko B, Soebagio M, Hery Purnomo M 2011 *Int. J. Comput. Appl.* 24, 6, 19-23
- [33] P. Yamin, S. Lahlou, S. Ortega, and V. Skrickij, "Local determinants of driving behaviours: Installation Theory interventions to reduce fuel consumption among truck drivers in Colombia," *Transport*, vol. 35, no. 6, pp. 616–634, Dec. 2020, doi: 10.3846/TRANSPORT.2020.14195.
- [34] Bethoux, O. (2020). Hydrogen fuel cell road vehicles: State of the art and perspectives. *Energies*, 13(21), 5843.
- [35] D. Hari, C. J. Brace, C. Vagg, J. Poxon, and L. Ash, "Analysis of a driver behaviour improvement tool to reduce fuel consumption," *Proceedings - 2012 International Conference on Connected Vehicles and Expo, ICCVE 2012*, pp. 208–213, 2012, doi: 10.1109/ICCVE.2012.46.
- [36] E. M. Szumska and R. Jurecki, "The Effect of Aggressive Driving on Vehicle Parameters," *Energies* 2020, Vol. 13, Page 6675, vol. 13, no. 24, p. 6675, Dec. 2020, doi: 10.3390/EN13246675.
- [37] E. Michelaraki, A. Kontaxi, P. Papantoniou, and G. Yannis, "Correlation of driver behaviour and fuel consumption using data from smartphones".
- [38] Skeete J. P., Wells P., Dong X., Heidrich O., Harper G. (2020). "Beyond the EVent horizon: Battery waste, recycling, and sustainability in the United Kingdom electric vehicle transition", *Energy Research & Social Science*, Volume 69.
- [39] ***, AVL FIRE Physics and Chemistry Help Manual

[40] ZF Product Overview https://www.zf.com/products/media/en/pim/tu_axle_transmission_systems_for_buses_coaches/chassis_7/TU_Product_Overview_202206_DE_EN_LowRes_Opt_pdf.pdf

Lista de lucrări indexate în Web of Science

Web of Science ResearcherID: GUU-0033-2022

1. Oargă, Ioan-Tudor, Gabriel Prunean, Bogdan Ovidiu Varga, Dan Moldovanu, and Dan Doru Micu. "Comparative Analysis of Energy Efficiency between Battery Electric Buses and Modular Autonomous Vehicles." *Applied Sciences* 14, no. 11 (2024): 4389, factor impact 2.5, Q1
2. Cărauşan, Horaţiu, Bogdan Ovidiu Varga, Dan Moldovanu, Gabriel Prunean, and Ioan-Tudor Oargă. "Energy efficiency analysis of a Fuel Cell Bus model using real scenarios generated by data collection." *Sustainability* 16, no. 5 (2024): 1863, factor impact 3.3, Q2.
3. Oargă, Ioan-Tudor, Bogdan Ovidiu Varga, Dan Moldovanu, Horaţiu Cărauşan, and Gabriel Prunean. "Modular Autonomous Vehicles' Application in Public Transport Networks: Conceptual Analysis on Airport Connection." *Sustainability* 16, no. 4 (2024): 1512, factor impact 3.3, Q2.
4. Burnete, Nicolae Vlad, Florin Mariasiu, Christopher Depcik, Istvan Barabas, and Dan Moldovanu. "Review of thermoelectric generation for internal combustion engine waste heat recovery." *Progress in Energy and Combustion Science* 91 (2022): 101009, factor impact 32, Q1.
5. Burnete, Nicolae Vlad, Florin Mariasiu, Dan Moldovanu, and Christopher Depcik. "Simulink model of a thermoelectric generator for vehicle waste heat recovery." *Applied Sciences* 11, no. 3 (2021): 1340, factor impact 2.5, Q1.
6. Moldovanu, Dan, Molea, Andreia, and István Barabás. "Preliminary results on nano-diamond and nano-graphite testing as additive for an engine lubrication oil." In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 724, no. 1, p. 012047. IOP Publishing, 2020. – prim autor, ISI Proceeding
7. Burnete, Nicolae Vlad, Richard János Balint, Corneliu Adrian Măgherusan, and Dan Moldovanu. "Performance, combustion and emissions study of a di diesel engine running on several types of diesel fuels." In *The 30th SIAR International Congress of Automotive and Transport Engineering: Science and Management of Automotive and Transportation Engineering*, pp. 153-159. Springer International Publishing, 2020, ISI Proceeding.
8. Mattson, Jonathan, Nicolae Vlad Burnete, Christopher Depcik, Dan Moldovanu, and Nicolae Burnete. "Second law analysis of waste cooking oil biodiesel versus ULSD during operation of a CI engine." *Fuel* 255 (2019): 115753, factor impact 6.7, Q1.
9. Varga, Bogdan Ovidiu, Florin Mariasiu, Dan Moldovanu, and Calin Iclodean. "Electric and plug-in hybrid vehicles." Cham: Springer International Publishing (2015): 524.
10. Vlad, Burnete Nicolae, Şerdean Florina, Burnete Nicolae, and Moldovanu Dan. "Combustion Analysis for Single Cylinder Engine Running on Various Types of Diesel." In *Proceedings of the 4th International Congress of Automotive and Transport Engineering (AMMA 2018) IV*, pp. 593-600. Springer International Publishing, 2019, ISI Proceeding.
11. Dan, Moldovanu, Varga Bogdan, Mariasiu Florin, Iclodean Calin, Burnete Nicolae Vlad, Mihali Liviu, and Ola Sebastian. "Van Dynamics Performance analysis for different battery pack placement." In *Proceedings of the 4th International Congress of Automotive and Transport Engineering (AMMA 2018) IV*, pp. 338-345. Springer International Publishing, 2019. – prim autor, ISI Proceeding.
12. Norbert, Bagameri, Varga Bogdan-Ovidiu, Moldovanu Dan, Csato Aron, and Karamousantas Dimitrios. "Optimizing Shifting Schedule and Hardware-in-the-Loop Simulation of a Hybrid Vehicle Based on Dual Clutch Transmission." In *Proceedings of the 4th*

- International Congress of Automotive and Transport Engineering (AMMA 2018) IV, pp. 320-327. Springer International Publishing, 2019. – autor corespondent, ISI Proceeding.
13. Norbert, Bagameri, Varga Bogdan-Ovidiu, Moldovanu Dan, Csato Aron, and Karamousantas Dimitrios. "Analysis of Range Extended Hybrid Vehicle with Rotary Internal Combustion Engine Using AVL Cruise." In Proceedings of the 4th International Congress of Automotive and Transport Engineering (AMMA 2018) IV, pp. 312-319. Springer International Publishing, 2019. – autor corespondent, ISI Proceeding.
14. Levente, Kocsis, Moldovanu Dan, Baldean Doru, and Gaspar Ferenc. "Optimizing the responsiveness of a turbocharged ICE through a new design of the exhaust line." In Proceedings of the 4th International Congress of Automotive and Transport Engineering (AMMA 2018) IV, pp. 144-151. Springer International Publishing, 2019.
15. Moldovanu, Dan, and F. MARIAȘIU. "Studies and research regarding optimal cargo load of a transport van using carmaker software." Journal of Automotive Engineering (2018): 135. – prim autor, ISI Proceeding.
16. Băldean, Doru-Laurean, Bogdan-Ovidiu Varga, Dan Moldovanu, Levente Kocsis, and Adela Borzan. "Contributions in developing advanced engineering methods for researching the NVH aspects in Porsche Cayman operation conditions at Technical University from Cluj-Napoca." In Proceedings of the 11th Edition of the International Congress of Automotive and Transport engineering Mobility Engineering and Environment, pp. 13-20. 2018, ISI Proceeding.
17. Motogna, Marius Simion, Dan Moldovanu, and Florin Mariasiu. "Numerical analysis of fuel flow patterns at the nozzle exit considering different fuels and operating parameters of a diesel engine." Transactions of FAMENA 42, no. 4 (2018): 63-74. – autor corespondent, factor impact 1.4, Q3.
18. Moldovanu, Dan, and Florin Mariasiu. "Influences of chemical characteristics and nanoadditive participation on raw vegetable oils' tribological properties." Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering 39 (2017): 2713-2720. – prim autor, factor impact 1.8, Q3.
19. Moldovanu, Dan, and Adela-Ioana Borzan. "Studies Regarding the Influence of the Squish In-Cylinder Movement of the Air in a Diesel Engine." (2016). – prim autor, ISI Proceeding.
20. Burnete, Nicolae Vlad, Călin Iclodean, Dan Moldovanu, and Nicolae Filip. "Direct injection of diesel and ethanol in a diesel engine-a numerical analysis." In CONAT 2016 International Congress of Automotive and Transport Engineering 12, pp. 379-386. Springer International Publishing, 2017, ISI Proceeding.
21. Baldean, Doru, Nicolae Vlad Burnete, Dan Moldovanu, Ferenc Gaspar, Adela Ioana Borzan, and Mihai Aurel Crișan. "Experimental research regarding the possibility of biofuel fumigation supply method on a single cylinder compression ignited engine." In CONAT 2016 International Congress of Automotive and Transport Engineering 12, pp. 264-273. Springer International Publishing, 2017, ISI Proceeding.
22. Gaspar, Ferenc, Teodora Deac, Lucian V. Fechete Tutunaru, and Dan Moldovanu. "Experimental study on the sun tracking ability of a spherical solar collector." Energy Procedia 85 (2016): 220-227, ISI Proceeding.
23. Mariasiu, Florin, Nicolae V. Burnete, Dan Moldovanu, Bogdan O. Varga, Calin Iclodean, and Levente Kocsis. "Effects of bioethanol ultrasonic generated aerosols application on diesel engine performances." Thermal science 19, no. 6 (2015): 1931-1941, factor impact 1.1, Q4.
24. Moldovanu, Dan, and Nicolae Burnete. "Computational fluid dynamics simulation of a single cylinder research engine working with biodiesel." Thermal Science 17, no. 1 (2013): 195-203. – prim autor, factor impact 1.1, Q4.
25. Moldovanu, Dan, and Nicolae Burnete. "CFD Simulation Possibilities." INGINERIA AUTOMOBILULUI 21 (2012): 20-21. – prim autor, factor impact 0.1, Q4.

Lucrări indexate în Scopus (și nu au fost indexate în Web of Science)

Scopus id: 55672236500

1. Duma, Irina, Andreia Molea, Nicolae Vlad Burnete, and Dan Moldovanu. "Empowering Students in Technical Higher Education Through Teamwork and Alternative Assessment Methods. A Case Study." In *Interactive Mobile Communication, Technologies and Learning*, pp. 33-42. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023.
2. Cărașan, Horațiu, Bogdan Ovidiu Varga, Dan Moldovanu, Florin Mariasiu, Gabriel Prunean, Ioan-Tudor Oargă, and Dan Doru Micu. "Energy Efficiency Assessment of Sustainable Public Transport Solutions: a Comparative Analysis Fuel Cell vs Battery in Real Life Scenarios." In *2023 58th International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, pp. 1-6. IEEE, 2023.
3. Moldovanu, Dan, Florin Mariasiu, Bogdan Ovidiu Varga, Adela Ioana Borzan, Horațiu Cărașan, and Dan Doru Micu. "Analysis of the modes of operation of an electric vehicle on energy consumption." In *2023 10th International Conference on Modern Power Systems (MPS)*, pp. 1-5. IEEE, 2023. – prim autor
4. Moldovanu, Dan, and Aron Csato. "Clutch model and controller development in MATLAB Simulink." In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 898, no. 1, p. 012014. IOP Publishing, 2020.
5. Moldovanu, Dan "Implementation in MATLAB Simulink of a basic electric vehicle." In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 898, no. 1, p. 012015. IOP Publishing, 2020.
6. Scurtu, L., B. O. Varga, F. Mariasiu, T. Buidin, Adela Borzan, and Dan Moldovanu. "Numerical analysis of the SOC factor variations' influence on the autonomy of an electric vehicle." In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 568, no. 1, p. 012046. IOP Publishing, 2019. – autor corespondent
7. Moldovanu, Dan, A. Csato, and N. Bagameri. "Flow studies on increasing the efficiency of the inlet manifold." In *IOP conference series: materials science and engineering*, vol. 568, no. 1, p. 012050. IOP Publishing, 2019. – prim autor
8. Scurtu, L., I. Szabo, F. Mariasiu, Dan Moldovanu, L. Mihali, and Ancuta Jurco. "Numerical analysis of the influence of mechanical stress on the battery pack's housing of an electric vehicle." In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 568, no. 1, p. 012054. IOP Publishing, 2019. – autor corespondent
9. Motogna, M. S., Dan Moldovanu, and F. Mariasiu. "Numerical study on the effects of using different concentrations of FAME blends on the spray structure of the injection process." In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 568, no. 1, p. 012047. IOP Publishing, 2019. – autor corespondent
10. Magdas, V. B., Dan Moldovanu, and D. C. Mastan. "Intake and exhaust pipe optimization for an internal combustion engine." In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 568, no. 1, p. 012048. IOP Publishing, 2019. – autor corespondent
11. Moldovanu, Dan, A. Csato, and N. Bagameri. "Study regarding the implementation of an Ackerman steering geometry in MATLAB." In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 568, no. 1, p. 012092. IOP Publishing, 2019. – prim autor
12. Bagameri, Norbert, Bogdan Varga, Aron Csato, and Dan Moldovanu. "Optimization of shifting strategy for a dual clutch transmission through mathematical model." In *MATEC Web of Conferences*, vol. 184, p. 01021. EDP Sciences, 2018. – autor corespondent
13. Moldovanu, Dan, and Florin Mariasiu. "Numerical analysis of the injection law influence on NOx emissions for a compression ignited engine." In *MATEC Web of Conferences*, vol. 184, p. 01019. EDP Sciences, 2018. – prim autor

14. Moldovanu, Dan, Florin Mariașiu, and Norbert Bagameri. "Influence of swirl and tumble motion inside the combustion chamber of a compression ignited engine on vertices formation." In MATEC web of conferences, vol. 184, p. 01022. EDP Sciences, 2018. – prim autor
15. Bagameri, Norbert, Bogdan Varga, Aron Csato, and Dan Moldovanu. "Comparative analysis of automatic transmission and manual transmission behaviour on the worldwide harmonized light duty test cycle." In MATEC Web of Conferences, vol. 184, p. 01020. EDP Sciences, 2018. – autor correspondent

Lista figurilor

Figura 1. Direcțiile și domeniile de interes și de aplicare a proceselor de modelare și simulare aplicate în ingineria autovehiculelor	10
Figura 2. Competențe profesionale, educaționale și transversale dobândite.....	11
Figura 3. Vedere vectorială și a suprafețelor de curgere la 450° RAC	16
Figura 4. Vedere vectorială a curgerii la deschidere maximă a supapelor.....	16
Figura 5. Analiza mișcării de swirl la 690° RAC.....	17
Figura 6. Evoluția arderii pentru injecția pilot	17
Figura 7. Evoluția arderii pentru injecția principală	18
Figura 8. Penetrația jetului de combustibil pentru diferiți combustibili	18
Figura 9. Modelul injectorului în AVL FIRE	22
Figura 10. Jetul combustibilului la ieșirea din injector cu o contrapresiune 0,5MPa	22
Figura 11. Jetul combustibilului la ieșirea din injector cu o contrapresiune 1,5MPa	23
Figura 12. Galeria de admisie introdusă în model LES	26
Figura 13. Model final al unui M.A.S. implementat în LES.....	27
Figura 14. Curba de putere pentru simularea/validarea standard a M.A.S.	27
Figura 15. Curba de moment pentru simularea/validarea standard a M.A.S.	28
Figura 16. Soluția standard (a) și cea optimizată (b) pentru galeria de evacuare	28
Figura 17. Vârtejul format în adâncitura din galeria de admisie.....	31
Figura 18. Modelul motorului simulat în AVL Boost.....	31
Figura 19. Rezultate în punctul de măsurare MP8 pentru 2000 rot/min	32
Figura 20. Rezultate în punctul de măsurare MP8 pentru 6000 rot/min	33
Figura 21. Model implementat în AVL Fire	34
Figura 22. Modele de adâncituri simulate	34
Figura 23. Viteza de curgere (a) și Viteza turbulenței (b) prin tubulatura de admisie cu adâncituri de forma 1.....	34
Figura 24. Modelul 3D final pentru simularea camerei de ardere în AVL FIRE	36
Figura 25. Zonele de formare a curenților din interiorul cilindrului la 736°RAC pentru cazul de simulare 13.....	37
Figura 26. Zonele de formare a curenților din interiorul cilindrului la 736°RAC pentru cazul de simulare 10.....	37
Figura 27. Modelul de TEM TGM-127-1.4-2.5 implementat în MATLAB Simulink	39
Figura 28. Variația puterii în funcție de temperatura în zona caldă	39
Figura 29. Variația curentului în funcție de temperatura în zona caldă	40
Figura 30. Variația tensiunii în funcție de temperatura în zona caldă.....	41
Figura 31. Variația eficienței în funcție de rezistență	41
Figura 32. Variația puterii și a tensiunii în funcție de curent.....	42
Figura 33. Schiță a modulului, în secțiune	43
Figura 34. Implementare în MATLAB Simulink a calculului pentru zona caldă și a blocului de aluminiu.....	43
Figura 35. Implementarea în MATLAB Simulink a TEM.....	44
Figura 36. Implementarea în MATLAB Simulink a calculului zonei reci.....	44

Figura 37. Implementarea în MATLAB Simulink a calculului rezistențelor termice	45
Figura 38. Variația puterii TEM în funcție de sarcină	45
Figura 39. Variația tensiunii TEM în funcție de sarcină	46
Figura 40. Principiul Ackerman pentru vehicul cu sistem de direcție față	47
Figura 41. Dependența între unghiurile de virare interior și exterior conform principiului Ackerman	48
Figura 42. Schema cinematică pentru jumătate din sistemul de direcție	48
Figura 43. Modelul de direcție implementat în MATLAB Simulink	49
Figura 44. Dependența între unghiurile de virare și deplasarea cremalierei	49
Figura 45. Dependența între unghiurile de virare interior și exterior conform principiului Ackerman, comparat cu modelul actual	50
Figura 46. Dependența între unghiurile de virare interior și exterior conform principiului Ackerman, comparat cu modelul actual optimizat	50
Figura 47. Ciclul WLTC	51
Figura 48. Implementarea modelului de vehicul cu transmisie automată în AVL CRUISE	52
Figura 49. Consumul de combustibil pentru cele două vehicule simulate	53
Figura 50. SOC pentru bateriile cu încărcare inițială de 10%	55
Figura 51. Modelul de vehicul electric simplificat implementat în MATLAB	59
Figura 52. Viteza impusă conducătorului [km/h] (a) și Momentul motor [Nm] (înclinație 0%) pentru cele trei tipuri de conducător	63
Figura 53. Modelul în AVL Cruise al (a) autobuzului electric și (b) al autobuzului cu pilă de combustibil	67
Figura 54. Evoluția autonomiei pentru FCEB pe ciclul WLTP	68
Figura 55. Evoluția consumului energiei din baterie pentru FCEB pe ciclul WLTP	69

Lista tabelelor

- Tabel 1. Coeficientul NUC pentru combustibilii diesel și biodiesel cu diferite contrapresiuni simulate
- Tabel 2. Cazuri de simulare și mișcarea specifică creată în camera de ardere (S – Swirl, T – Tumble)
- Tabel 3. Vitezele maxime obținute prin simulare în camera de ardere
- Tabel 4. Date de intrare ale modului de termogeneratoare (TEM)
- Tabel 5. Date de intrare pentru vehiculul simulat