Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București

FACULTATEA DE TRANSPORTURI

Departamentul Autovehicule Rutiere

Ing. Constantin Răzvan Cornel

Studiul impactului măsurilor de reducere a emisiilor de CO_2 în condiții reale de deplasare

– REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT –

Conducător științific

Prof.univ.dr.ing. Gheorghe Frățilă

BUCUREȘTI 2025

PREFAȚĂ

Schimbările climatice reprezintă una dintre cele mai mari provocări ale secolului XXI, iar emisiile de bioxid de carbon (CO_2) generate de sectorul transporturilor contribuie semnificativ la această problemă globală. Autovehiculele sunt responsabile pentru o proporție considerabilă din emisiile totale de gaze cu efect de seră provocate de oameni, ceea ce face ca reducerea acestora să fie o prioritate esențială în lupta împotriva încălzirii globale și un pas major către un viitor sustenabil.

Pentru a dezvolta soluții viabile în această direcție, este crucial ca analiza emisiilor de CO_2 să fie realizată pe baza unor date cât mai apropiate de condițiile reale de utilizare ale autovehiculelor. Studiile tradiționale bazate pe cicluri standardizate de testare nu reflectă întotdeauna fidel comportamentul real al șoferilor și caracteristicile specifice ale fiecărui vehicul în condiții variate de trafic și mediu. Astfel, utilizarea înregistrărilor reale ale autovehiculelor în timpul deplasării acestora pe traseele obișnuite ale utilizatorilor oferă o perspectivă mult mai precisă asupra consumului de combustibil și a emisiilor generate. Această abordare permite identificarea unor strategii de reducere a emisiilor adaptate fiecărui tip de utilizator și condițiilor specifice de exploatare. În plus, analiza bazată pe profiluri reale de conducere poate sprijini autoritățile și industria autovehiculelor în elaborarea unor politici mai eficiente și a unor tehnologii inovatoare capabile să reducă impactul negativ asupra mediului.

Lucrarea de față își propune să exploreze impactul măsurilor de reducere a emisiilor de CO_2 ale autovehiculelor, utilizând atât cicluri de omologare cât și cicluri reale de deplasare obținute prin înregistrări pe autovehiculele aflate în circulație. Prin această abordare, se dorește nu doar evidențierea importanței unei analize cât mai fidele a metodelor de reducere a emisiilor de CO_2, ci și sublinierea potențialului enorm pe care astfel de studii îl au în definirea unor soluții eficiente și sustenabile pentru viitorul mobilității.

De asemenea, în cadrul lucrării, s-a dezvoltat un program pentru a facilita lucrul cu cicluri și înregistrări pe autovehiculele clienților. Acesta permite crearea unei baze de date de înregistrări, vizualizarea semnalelor, conversia și salvarea acestora în diferite formate. Adițional se pot calcula diferiți parametrii de caracterizare ale ciclurilor, se pot realiza grafice comparative cu aceștia și crea o bază de înregistrări personalizată prin filtrarea lor. Programul poate fi extins prin introducerea și a altor tipuri de calcule, precum calculul unui semnal de Stop & Start.

Pentru calcularea emisiilor de CO_2 s-a optat pentru dezvoltarea și utilizarea unor modele LMS Imagine.Lab AMESim, un mediu de modelare și simulare pentru inginerie. Acestea se bazează pe biblioteca IFP Drive, dar conțin și componente (submodele) din bibliotecile Mechanical și Signal and Control și permit urmărirea unui ciclu de viteză impus ținând cont de regimul termic al motorului și al cutiei de viteze și oferă posibilitatea implementării a diferite strategii precum cea de Stop & Start. Ulterior, pornind de la emisiile de CO_2 calculate, se prezintă o metodă de a transforma rezultatele obținute pe cicluri reale de deplasare în unele la obiectiv de fiabilitate. Metoda prezentată putând fi extrapolată la un parc de automobile pentru a putea cuantifica exact eficiența diferitelor tehnologii de reducere a respectivelor emisii și a calcula cantitatea de CO_2 emisă pe durata de viată a unui autovehicul.

Lucrarea este structurată în cinci capitole după cum urmează:

Capitolul I analizează stadiul actual al cercetărilor în domeniul emisiilor de CO_2 și al impactului acestora asupra climei precum și al necesității utilizării ciclurilor reale de deplasare și felul în care acestea sunt utilizate astăzi în domeniul automobilelor.

Capitolul II prezintă procesul de realizare al înregistrărilor pe autovehicule și modul de gestionare al acestora precum și programul de gestiune al înregistrărilor dezvoltat în cadrul lucrării.

Capitolul III cuprinde diferite studii ale măsurilor de reducere a emisiilor de CO_2. S-a început cu o analiză pe cicluri de omologare pentru a evalua eficiența diferitelor tehnologii utilizate cu acest scop dar și a strategiei de mers în pluton care poate fi implementată cu ușurință pe autovehiculele moderne. Se continuă cu calcularea emisiilor de CO_2 pentru un automobil din clasa C de tip SUV, al cărui traseu a fost înregistrat și procesat conform procedurii RDE. Aceste analize sunt realizate și pentru autovehicule electrice pentru evaluarea impactului asupra consumului de electricitate ale acestora și se prezintă o metodă de echivalare al acestuia în emisii de CO_2.

Capitolul IV prezintă o metodă de utilizare ale înregistrărilor dintr-o bază de date de înregistrări pe autovehiculele clienților ale unui producător important de automobile. Ele vor fi folosite pentru a analiza impactul sistemului Stop & Start asupra emisiilor de CO_2 în condiții reale de deplasare. Impactul fiecărei strategii de Stop & Start va fi calculat și analizat precum și oportunitatea utilizării acestui sistem în funcție de modul de deplasare al autovehiculelor studiate. În final se va prezenta o metodă de a evalua impactul măsurilor de reducere a emisiilor de CO_2 asupra unui parc de automobile la un anumit obiectiv de fiabilitate.

Capitolul V cuprinde concluziile diferitelor studii realizate în cadrul lucrării, o sinteză a contribuțiilor originale aduse în acest domeniu precum și perspectivele de continuare.

* * * * *

Această lucrare reprezintă o etapă esențială în parcursul meu academic, desăvârșind anii de studii superioare în cadrul Facultății de Transporturi a Universității Naționale de Știință și Tehnologie Politehnica București și înglobând de asemenea experiența acumulată în peste 10 ani de muncă în domeniul automobilelor.

Cu această ocazie adresez cele mai sincere mulțumiri conducătorului meu de doctorat, domnul profesor Gheorghe Frățilă, pentru profesionalismul, suportul științific și moral și exigența academică demonstrate pe parcursul întregii cercetări.

De asemenea doresc să-mi exprim recunoștința față de domnul Marius Bățăuș, pentru sfaturile sale valoroase, observațiile pertinente și sprijinul acordat ce au contribuit la dezvoltarea acestei lucrări.

Nu în ultimul rând, doresc să le mulțumesc părinților, soției și fiicei mele, care m-au susținut în momentele în care atenția și timpul meu nu au putut fi direcționate către ei și au crezut în reușita mea.

I. Necesitatea reducerii emisiilor de bioxid de carbon

Încălzirea globală, poate fi astăzi resimțită de fiecare dintre noi, anul 2023 fiind cel mai călduros, cu o temperatură medie globală de 14,98°C (figura 1.1). Industrializarea unui număr din ce în ce mai mare de țări a făcut ca emisia gazelor cu efect de seră să crească (figura 1.1), făcând necesare eforturi pentru a reduce rata de emisie și, eventual, obținerea unei neutralități din acest punct de vedere.

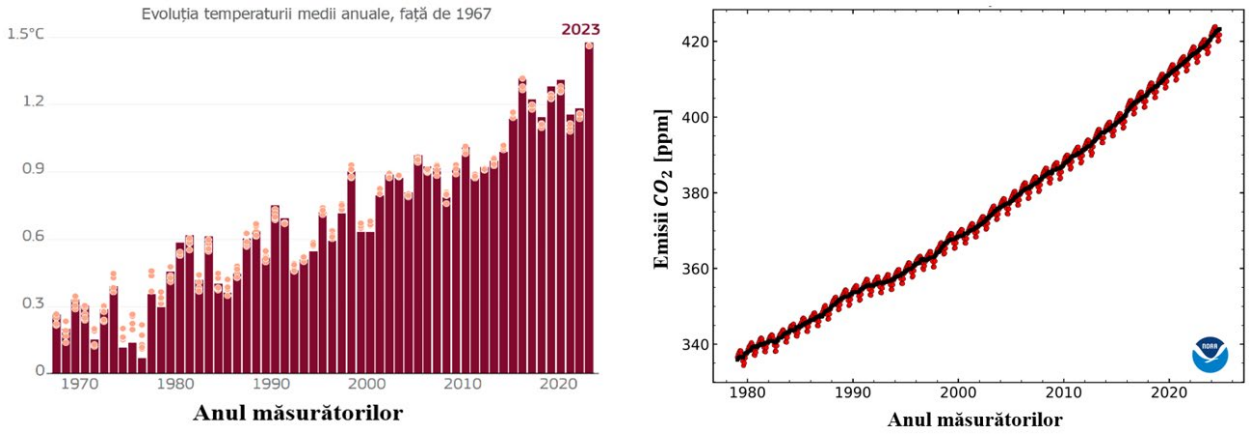


Figura 1.1 – Evoluția temperaturii medii anuale și a emisiilor de CO_2

Uniunea Europeană a reușit să reducă emisiile de bioxid de carbon cu 31% față de 1990, dorindu-se a se obține neutralitate climatică până în 2050 (figura 1.2).

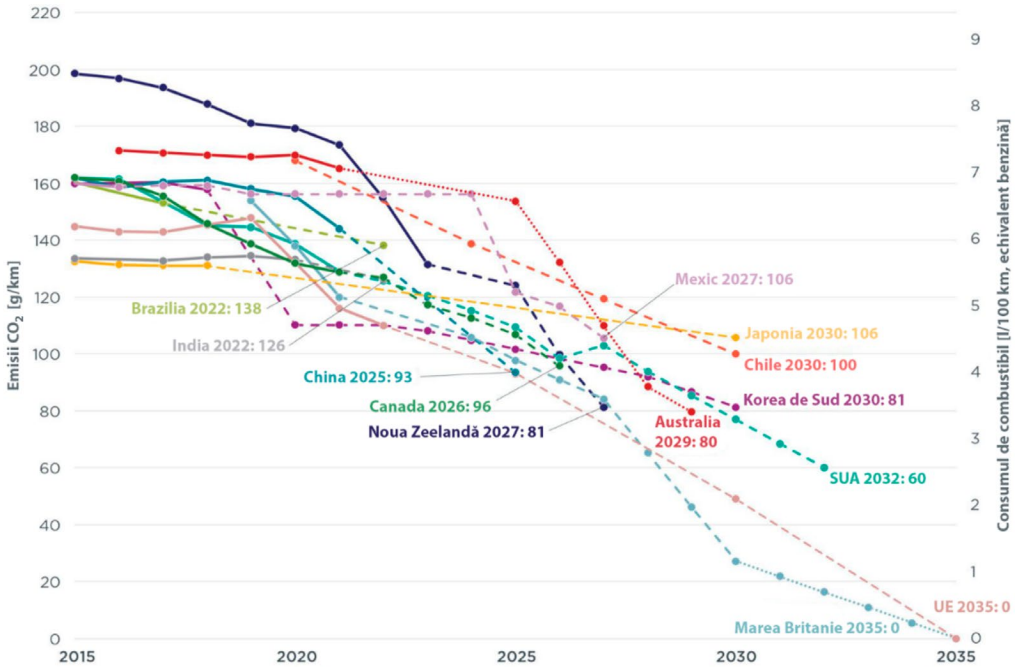


Figura 1.2 – Țintele de emisii de CO_2 normalizate la ciclul WLTP

Conform Comisiei Europene de Mediu sectorul transporturilor rutiere este responsabil pentru aproximativ 23% din totalul emisiilor de CO_2, adică 803 milioane de tone în 2022 și se estimează că în 2030 se va ajunge la 639Mt CO_2. Astăzi există 12 țări la care se adaugă cele 27 din Uniunea Europeană, care au stabilit standarde de consum de combustibil și emisii de gaze cu efect de seră pentru autovehiculele particulare, cât și utilitare. Împreună, acestea acoperă mai mult de 85% din vânzările globale de autovehicule, forțând astfel producătorii să dezvolte tehnologii mai curate.

Cele mai ambițioase ținte au fost stabilite de către Uniunea Europeană și Marea Britanie, cu emisii de 0 g/km de CO_2 până în 2035. Atingerea lor presupune creșterea vânzărilor de vehicule complet electrice, iar obstacolele cu care acestea se confruntă (autonomie redusă, preț ridicat, infrastructură deficitară) pun, momentan, sub semnul întrebării fezabilitatea lor.

II. Dezvoltarea unui program pentru analiza ciclurilor de deplasare

Pentru a facilita lucrul cu ciclurile standardizate dar și cele înregistrate din capitolele următoare, a fost creat un program ce permite gestionarea, conversia, vizualizarea și analiza acestora. Programul, intitulat „CycleBox”, a fost construit în mediul de programare MATLAB dezvoltat de către MathWorks. Dorind să se obțină un mediu prietenos de interacțiune, s-a utilizat un modul MATLAB intitulat „App Designer” ce permite crearea unei interfețe grafice și programarea butoanelor acesteia.

În continuare, sunt prezentate facilitățile programului și modul de utilizare.

Fereastra principală a programului (figura 2.1) dispune de 5 opțiuni principale: „Database”, „Analysis”, „Study”, „Stop & Start” și „Help”. Aceasta permite încărcarea de baze de date și cicluri, vizualizarea lor dar și salvarea acestora în diferite formate.

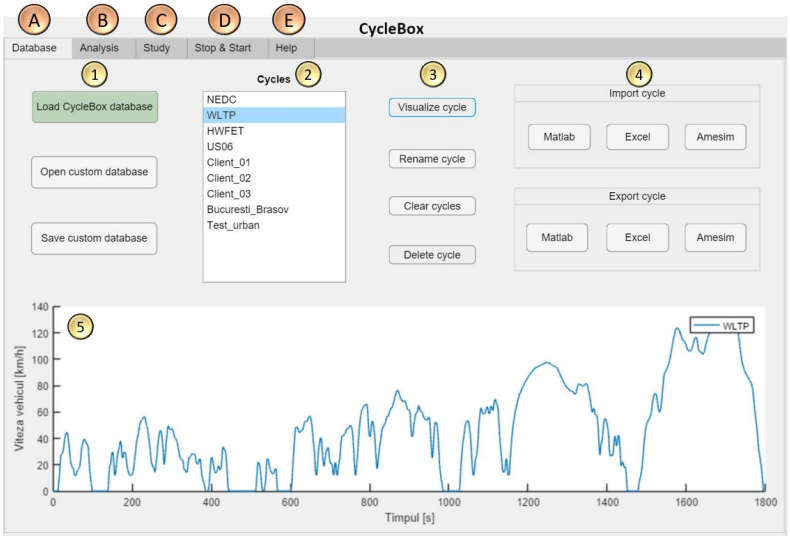


Figura 2.1 Interfața principală a programului

Modulul de analiză (B) este prezentat în figura 2.2. Principalul sau rol este de a realiza cu ușurință anumite calcule de caracterizare a ciclurilor și de a le integra în baza de date.

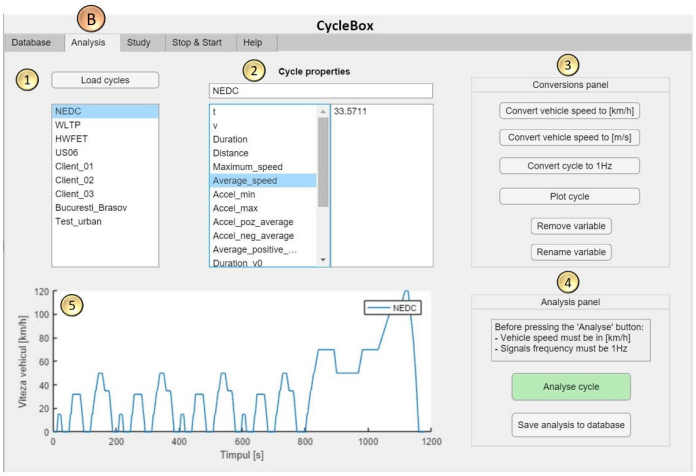


Figura 2.2 Interfața modulului de analiză

Modulul de studiu (C – figura 2.3) are rolul de a realiza grafice comparative între ciclurile din baza de date pe baza proprietăților calculate în modulul de analiză. De asemenea se pot realiza baze de date personalizate prin punerea de condiții pe parametrii calculați anterior.



Figura 2.3 Interfața modului de studiere a ciclurilor

În modulul de Stop & Start (D) prezentat în figura 2.4 se poate genera un semnal pentru o versiune simplificată a acestui sistem pe baza condițiilor impuse pe viteza de deplasare a vehiculului sau a altor semnale înregistrate.

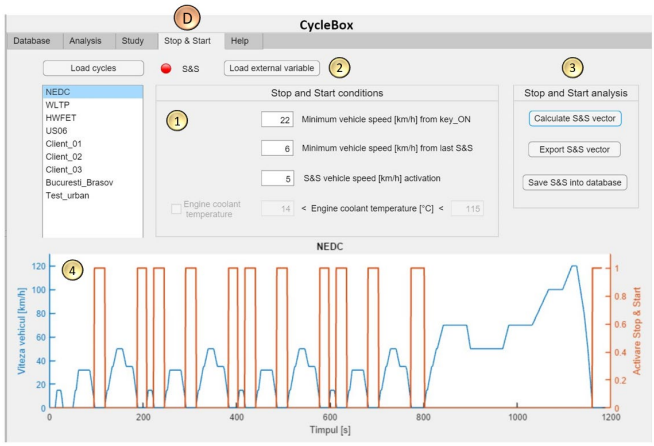


Figura 2.4 Interfața modulului Stop & Start

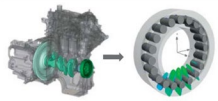
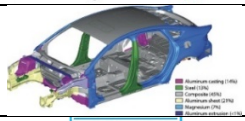
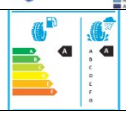
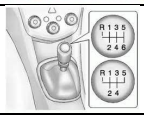
Programul dezvoltat reprezintă o propunere interactivă și vizuală de lucru cu cicluri din diferite surse și de diferite formate ce poate fi accesibilă oricărei persoane fără a necesita cunoștințe de programare. În funcție de cerințele proiectului se pot crea baze de date/înregistrări extinse iar opțiunea de analiză a acestora și de filtrare după parametrii calculați oferă o unealtă puternică în selectarea celor mai reprezentative înregistrări. Programului poate fi personalizat în funcție de înregistrările ce îl vor alimenta și în funcție de disponibilitatea unor parametrii înregistrați, calcule adiționale similare cu cel de Stop & Start pot fi implementate.

III. Eficiența măsurilor de reducere a emisiilor de CO_2

3.1 Eficiența măsurilor de reducere a emisiilor de CO_2 in ciclurile standardizate

Pentru reducerea emisiilor de CO_2, în continuare se va studia impactul implementării unor pachete de eficientizare disponibile cu tehnologiile existente prezentate în tabelul 3.1. Acestea vor fi implementate pe un autovehicul de tip sedan din clasa C dar și pe unul de tip SUV, ambele din clasa economica.

Tabelul 3.1 Măsuri de reducere a emisiilor de CO_2

Alternator îmbunătățit	
Sistem Stop & Start	
Reducerea frecării în mecanismul motor	
Reducerea masei vehiculului	
Reducerea rezistenței la rulare	
Aerodinamicitate îmbunătățită	
Creșterea numărului de trepte ale transmisiei	

Studiul este realizat utilizând un model dezvoltat în LMS Imagine.Lab AMESim, un mediu de modelare și simulare pentru inginerie. Acesta este prezentat detaliat în figura 3.1 și permite determinarea emisiilor de CO_2 ale celor două vehicule de-a lungul deplasării lor și implementarea respectivelor pachete de eficientizare. Simulările au for realizate pe ciclurile WLTC și CADC.

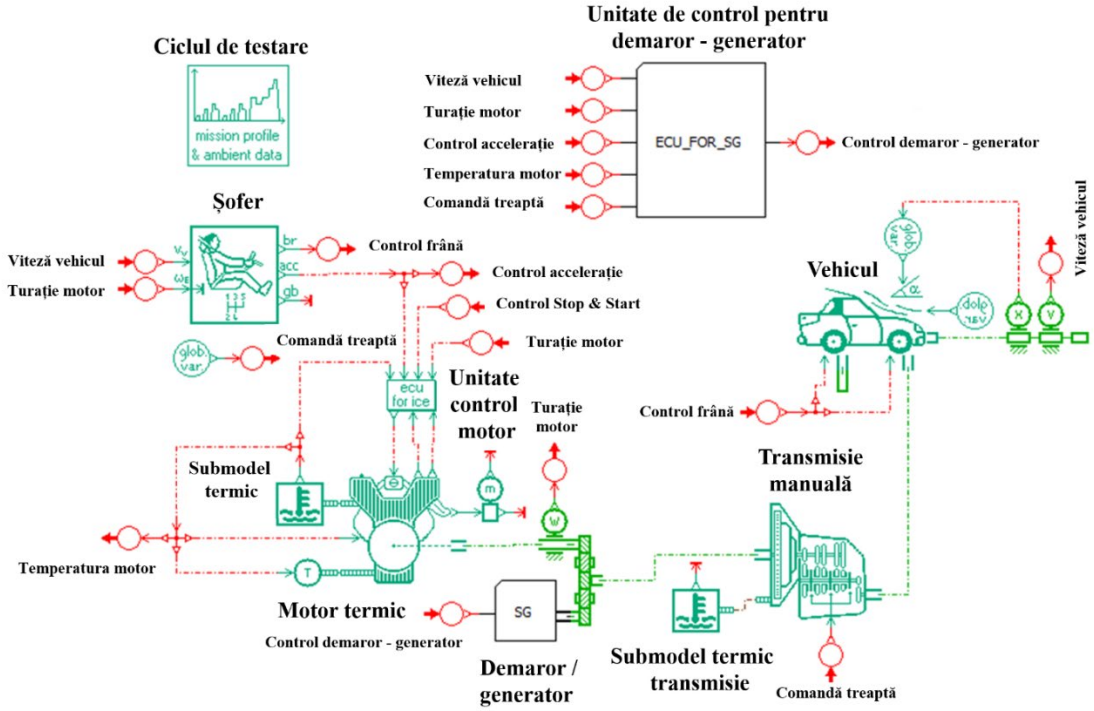


Figura 3.1 Modelul de calculul al emisiilor de CO_2 pentru vehiculului echipat cu sistem de propulsie convențional.

În ciclul WLTP (figura 3.2) s-a obținut o reducere de 13,7 % a emisiilor de CO_2 pentru vehiculul de tip SUV respectiv 16,3 % pentru cel din clasa C. Cel mai mare impact l-a avut utilizarea anvelopelor cu rezistență mică la înaintare (4,6%) iar eficientizarea alternatorului și reducerea frecărilor din motor au avut contribuția cea mai mică de (sub 1%).

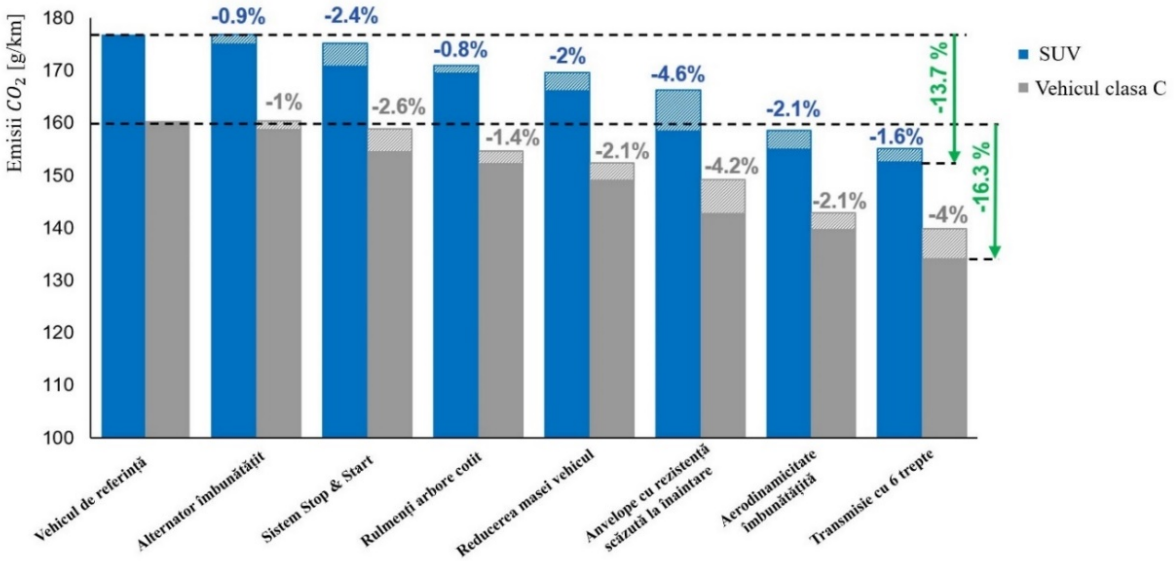


Figura 3.2 Reducerea emisiilor de CO_2 pentru ciclul WLTC.

Pentru ciclul CADC (figura 3.2) s-a obținut o reducere de 14,5 % a emisiilor de CO_2 pentru vehiculul de tip SUV respectiv 16,7 % pentru cel din clasa C. Cel mai mare impact l-a avut utilizarea anvelopelor cu rezistență mică la înaintare (4,1%) urmată în de aproape de utilizarea

sistemului Stop & Start (3,8%) iar eficientizarea alternatorului și reducerea frecărilor din motor au avut contribuția cea mai mică de (sub 0,7%).

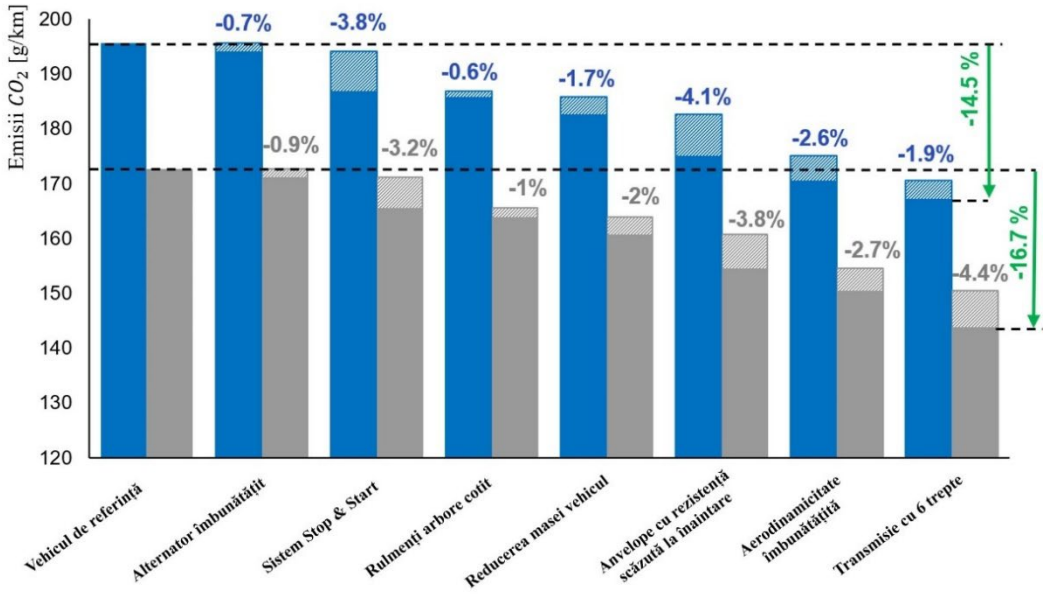


Figura 3.3 Reducerea emisiilor de CO_2 pentru ciclul CADC.

Pentru a evalua corect impactul măsurilor, a fost realizată și o simulare a performanței dinamice a vehiculului. Pentru SUV, s-a determinat o creștere de 3,5% a vitezei maxime și o scădere de 8,9% a timpului de accelerație de la 0 la 100 km/h. Pentru vehiculul din clasa C, s-a determinat o mică creștere de 0,2% a vitezei maxime și o scădere de 6,1% a timpului de accelerație de la 0 la 100 km/h.

3.2 Studiul emisiilor de CO_2 la mersul în convoi

Introducerea condusului autonom este acum posibil datorită îmbunătățirilor aduse sistemelor avansate de asistență pentru șofer (ADAS) și comunicației vehicul-la-vehicul (V2V). Aceste tehnologii permit acum conducerea în convoi coordonat ca mijloc de reducere a consumului de combustibil.

Evoluția profilului de viteză al vehiculului într-un convoi poate fi observată utilizând un model de urmărire a liderului a cărui diagramă este prezentată în figura 3.4.

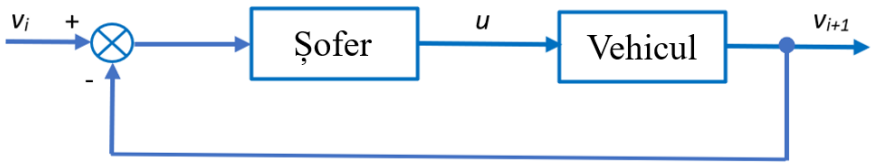


Figura 3.4 Diagrama sistemului conducător-autovehicul pentru urmărirea vehiculului din față

Pornind de la ecuația de mișcare rectilinie a vehiculului, se poate deduce următoarea ecuație.

$$\dot{v_{i+1}} = k \cdot \left[v_f(t-T) - v_s(t-T)\right] \quad (3.1)$$

unde:

- v_f este viteza vehiculului din față,
- v_s este viteza vehiculului din spate,
- t este timpul curent,
- T este timpul de reacție al șoferului,
- k este o constantă de proporționalitate.

Integrarea numerică a ecuației 3.1 se realizează utilizând biblioteca Signal&Control din AMESim, așa cum este prezentat în figura 3.5. Modelul conține și un calcul al distanței relative dintre vehicule pentru a determina posibilele coliziuni.

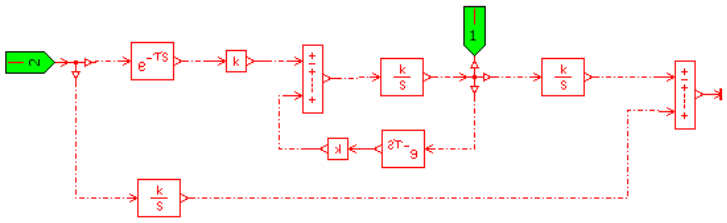


Figura 3.5 Model liniar de urmărirea liderului pentru un singur vehicul

Pornind de la primul vehicul, prin integrarea succesivă (figura 3.6), este posibil să se obțină profilurile de viteză ale vehiculelor într-o coloană de vehicule care nu sunt într-un convoi coordonat.

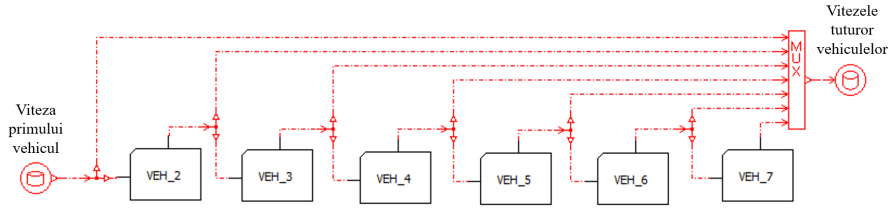


Figura 3.6 Model lider-urmăritor pentru un convoi de 7 vehicule

Prin vizualizarea evoluției profilelor de viteză dintr-un convoi necoordonat de 6 vehicule (figura 3.7) este evidentă degradarea vitezei de deplasare ale vehiculelor cu cât acestea sunt mai în spatele convoiului, fapt care va conduce la emisii de CO_2 mai ridicate.

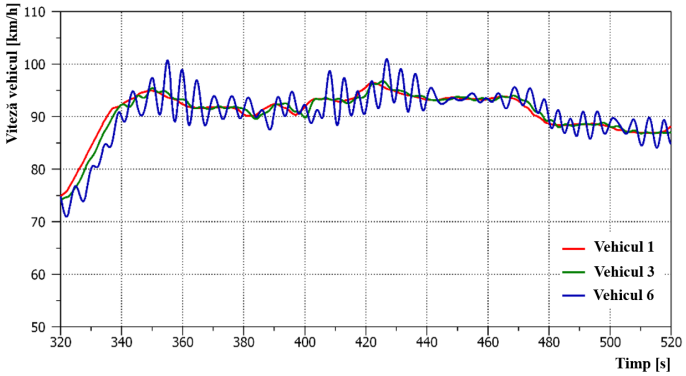


Figura 3.7 Variația vitezei vehiculelor 1, 3 și 6 din convoiul necoordonat

Simulările au fost realizate pentru un singur vehicul și pentru plutoane cu distanțe mici între vehicule (1 metru), formate din 2, 3, 4, 5 și 7 vehicule identice de pasageri. Au fost considerate trei viteze constante ale vehiculului pentru simulări: 70 km/h, 100 km/h și 130 km/h.

După cum se observă în figura 3.8, pentru aplicația studiată, îmbunătățirea începe de la 3,5% pentru 2 vehicule la 70 km/h și ajunge la 18,7% pentru 7 vehicule la 130 km/h față de o îmbunătățire minimă a C_x de 8,8% și maximă de 24,2%. Se poate concluziona că o simplă comparație utilizând coeficientul mediu de rezistență aerodinamică nu este suficientă pentru a trage o concluzie privind reducerea emisiilor de CO_2.

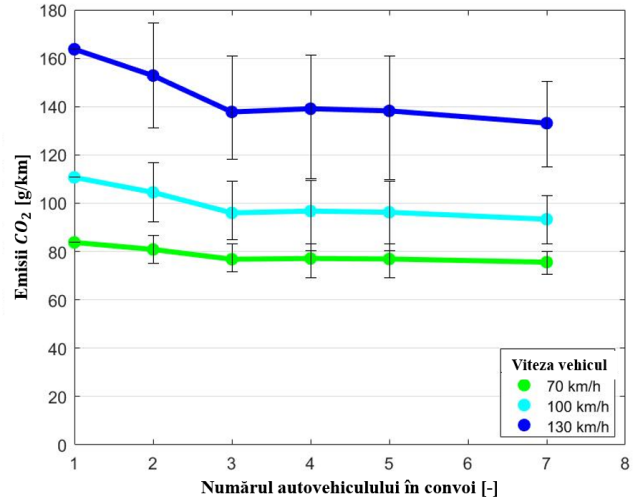


Figura 3.8 Reducerea emisiilor de CO_2 pentru conducerea în convoi coordonat la viteză stabilizată mare

Pentru ciclul standardizat de mare viteză (HWFET) emisiile medii de CO_2 pentru convoaie de 2 până la 7 vehicule, sunt prezentate în figura 3.9.

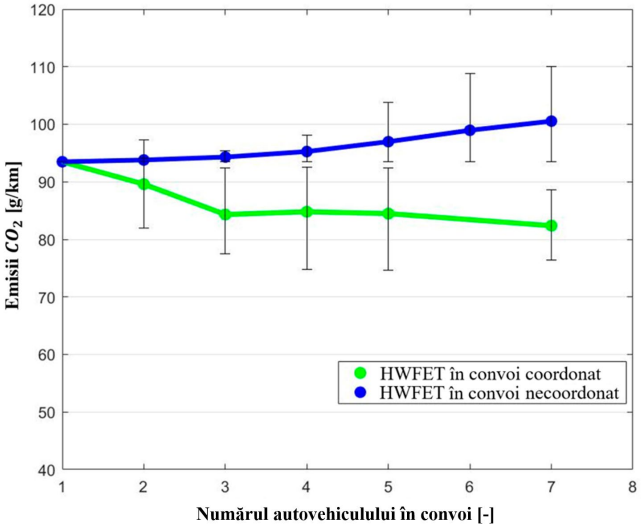


Figura 3.9 Reducerea emisiilor de CO_2 pentru conducerea în convoi în cadrul ciclului HWFET

Este important să se ia în considerare influența variației vitezei în convoi pentru un ciclu de viteză variabilă, pentru a obține o emisie medie de CO_2 mai realistă. Această influență poate ajunge la mai mult de o treime din îmbunătățirea totală pentru un pluton de șapte vehicule. Față de

un vehicul izolat s-a obținut o reducere a emisiilor de CO_2 de 11,9% (7 vehicule) iar față de convoi necoordonat 18,1% (7 vehicule). Utilizarea convoaielor cu distanțe scurte între vehicule, formate din trei vehicule, este foarte eficientă din punct de vedere al aerodinamicii, dar este important ca acestea să se coordoneze între ele pentru a maximiza reducerea emisiilor de CO_2, prin uniformizarea vitezelor vehiculelor.

3.3 Studiul impactului mersului în convoi coordonat asupra consumului de energie al autovehiculelor electrice

Urmărind tendințele pieței, studiul este realizat pentru un vehicul electric de tip SUV prin modelare dinamică și simulare, utilizând un model dezvoltat în LMS Imagine.Lab AMESim. Specificațiile vehiculului au fost alese pentru a se asemăna cu media pieței de SUV-uri electrice, având un raport masă/putere de 9. Au fost selectate caracteristicile modelului Nissan Ariya: masă vehicul: 2200 kg, coeficient de rezistență aerodinamică (Cd): 0,297, suprafață frontală: 2,6 m² și capacitate utilizabilă a bateriei: 87 kWh. Pentru realizarea studiului s-a dezvoltat modelul prezentat in figura 3.10 dezvoltat în LMS Imagine.Lab AMESim.

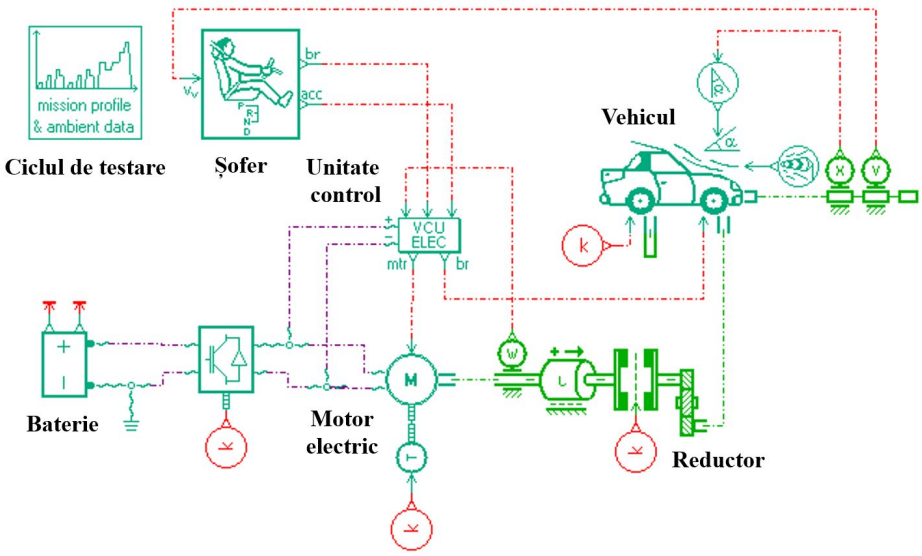


Figura 3.10 Modelul autovehiculului pentru calculul consumului energetic

Simulările au fost realizate pentru un singur vehicul și pentru plutoane cu distanțe mici între vehicule (1 metru), formate din 2, 3, 4, 5 și 7 vehicule identice de pasageri. Variația coeficientului de rezistență al aerului (C_x) a fost preluată din literatura de specialitate și aplicată pentru vehiculul studiat.

Pentru simulări au fost considerate trei viteze constante ale vehiculului: 70 km/h, 100 km/h și 130 km/h. Rezultatele sunt prezentate în figura 3.11 în care sunt marcate pentru fiecare caz limitele superioare și inferioare pentru fiecare vehicul din convoi.

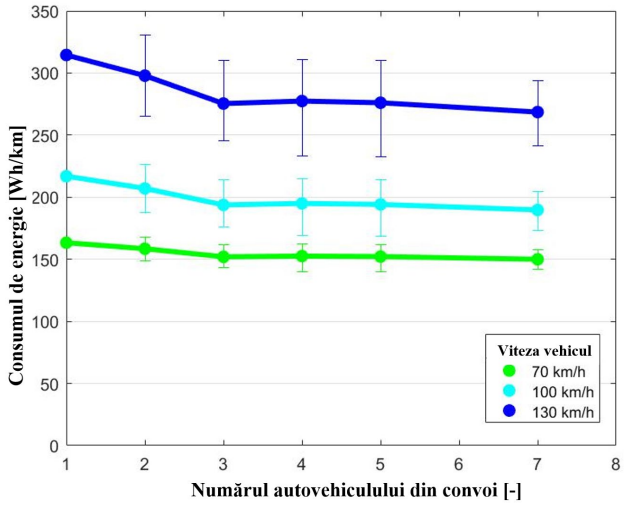


Figura 3.11 Reducerea consumului de energie pentru conducerea în convoi la viteză stabilizată

Poziția vehiculului în convoi are o influență semnificativă asupra consumului de energie. Cele mai mari câștiguri sunt obținute pentru primul vehicul, cu economii de 26% comparativ cu un vehicul izolat, în timp ce ultimul vehicul obține doar 6,5%. Pentru viteze stabilizate, îmbunătățirile variază de la 2,9% pentru 2 vehicule la 70 km/h și ajung la 14,6% pentru 7 vehicule la 130 km/h. Aceste câștiguri sunt mai mici decât cele obținute pentru un sistem de propulsie convențional, care pornesc de la 3,5% pentru 2 vehicule la 70 km/h și ajung la 18,7% pentru 7 vehicule la 130 km/h, așa cum se arată în subcapitolul anterior.

Pentru un ciclu standardizat de viteză mare (HWFET), folosind frânare regenerativă, îmbunătățirile încep de la 3,6% pentru un convoi de 2 vehicule și ajung până la 9,8% pentru un convoi de 7 vehicule (figura 3.12).

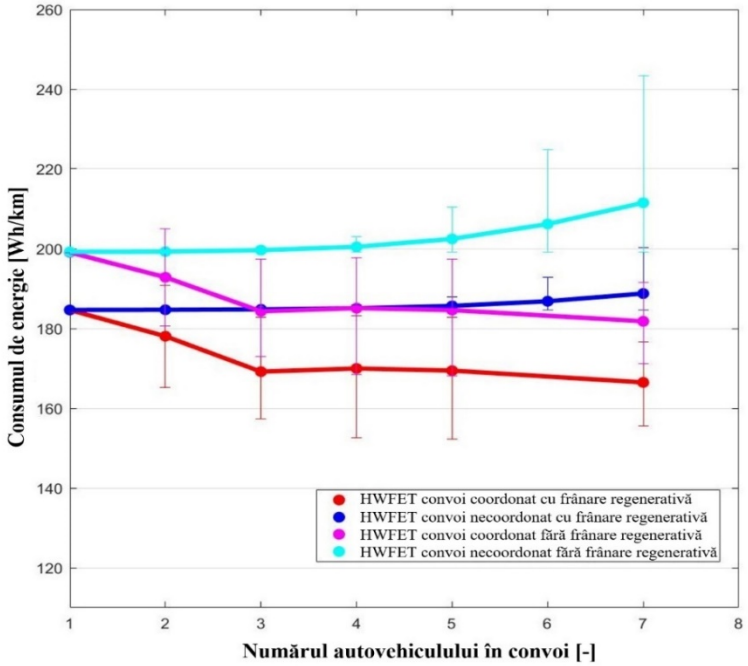


Figura 3.12 Consumul de energie pentru ciclul HWFET la mersul în convoi

Cele mai mari îmbunătățiri se obțin atunci când se utilizează un convoi de 3 vehicule, acesta fiind cea mai eficientă configurație folosind cel mai mic număr de vehicule. Condusul în convoi oferă beneficii reale acolo unde vehiculele electrice au punctele lor slabe, în special la viteze mari stabilizate, și oferă rezultate tangibile, cum ar fi creșterea autonomiei de până la 17,6% la 130km/h.

Deși autovehiculele electrice nu utilizează combustibili fosili, există emisii de CO_2 asociate producerii curentului electric utilizat la încărcarea bateriilor. Prin urmare putem evalua emisiile de CO_2 produse de autovehiculele electrice utilizând formula 3.2:

$$E_{ev} = \frac{E_{mix} \cdot C_{ev}}{\eta_t \cdot \eta_{\hat{i}}} \quad (3.2)$$

unde:

- E_{ev} - emisiile echivalente de CO_2 produse de autovehiculul electric [g/km],
- E_{mix} - emisiile de CO_2 pe kWh obținute la producerea electricității din mix-ul European [g CO_2e/kWh],
- C_{ev} - consumul energetic al autovehiculului electric [kWh/km],
- η_t - randamentul de transport al curentului electric (92%),
- $\eta_{\hat{i}}$ - randamentul de încărcare al bateriei (80%).

Pentru a realiza o echivalență cât mai corectă trebuie ca în cazul autovehiculelor cu motor cu ardere internă să ținem cont și de randamentul de rafinare și transport al combustibilului care variază între 86% și 90%. Rezultatele consumul de energie pentru ciclul HWFET cu frânare regenerativă au fost convertite în emisii echivalente de CO_2 (în tabelul 3.2).

Tabelul 3.2 Emisiile echivalente de CO_2 ale autovehiculelor electrice (cu frânare regenerativă) și a celor convenționale pentru ciclul HWFET

Număr de vehicule	**Emisii echivalente de CO_2 [g/km] - vehicul EV**		**Emisii totale de CO_2 [g/km] – vehicul ICE**		**Îmbunătățire față de vehicul ICE [%]**	
	Convoi coordonat	Convoi necoordonat	Convoi coordonat	Convoi necoordonat	Convoi coordonat	Convoi necoordonat
1	52,67	52,67	106,25	106,25	50,43	50,43
2	50,79	52,70	101,82	106,59	50,12	50,56
3	48,28	52,73	95,80	107,16	49,60	50,79
4	48,51	52,81	96,36	108,30	49,66	51,23
5	48,33	52,96	96,02	110,23	49,66	51,96
7	47,51	53,87	93,64	114,20	49,26	52,83

În urma simulărilor s-a arătat faptul că emisiile echivalente de CO_2 ale unui automobil electric de-a lungul exploatării sale ajung la aproximativ 50% din cele ale unui autovehicul cu motor cu ardere internă. Regiunea geografică are un impact ridicat asupra acestor rezultate datorită procentului diferit de energie verde din mix-ul total. Drept urmare, dacă pentru Europa și Statele Unite ale Americii se obține o reducere de 50% a emisiilor de CO_2, pentru China aceasta scade la 32%. Trebuie sa ținem cont totuși de faptul că autovehiculele electrice au emisii inițiale de CO_2 mai ridicate din cauza procesului elaborat și poluant de fabricare al bateriei, drept urmare, dacă le includem și pe acestea reducerea de emisii de CO_2 scade la 36%.

3.4 Impactul ciclurilor reale de deplasare asupra emisiilor de CO_2

Conducerea unui vehicul convențional pe drumuri reale, cu o strategie liberă de schimbare a treptelor de viteză, un stil de condus variabil, cu variație de altitudine și condiții ambientale necontrolate, este de așteptat să genereze valori diferite ale emisiilor, inclusiv CO_2, comparativ cu cele obținute într-un experiment de laborator controlat, care urmează un profil de viteză standardizat.

Stilul de condus este definit practic prin strategia de schimbare a treptelor de viteză și dinamica condusului. Dinamica condusului în timpul călătoriei poate fi evaluată folosind parametri globali specifici, cum ar fi: VSF (fluctuația vitezei vehiculului), accelerația pozitivă medie, accelerația RMS (rădăcina pătrată a valorii medii pătratice a accelerației), RPA (Accelerația Pozitivă Relativă), etc.

În continuare se va investiga impactul stilului de condus, caracterizat de dinamica condusului, asupra emisiilor de CO_2 ale unui autoturism echipat cu un motor cu ardere internă.

Înregistrările au fost realizate cu un autoturism din clasa C, pe o perioadă de 27 de zile, însumând un total de 920 km de condus combinat în zone urbane, rurale și pe autostrăzi. Datele sunt postprocesate conform procedurii RDE a Uniunii Europene și analizate pentru a selecta cele mai relevante segmente de călătorie care urmează să fie evaluate utilizând un model detaliat dezvoltat în LMS Imagine.Lab AMESim, validat anterior.

Înregistrările au fost realizate utilizând un dispozitiv DAWN OBD Mini Logger prezentat pe un autoturism de tip Dacia Logan. Acesta se conectează la portul OBD al autovehiculul (figura 3.13) și înregistrează când detectează activitate pe magistrala CAN.

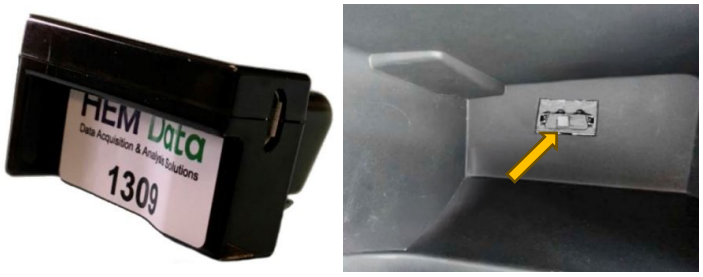


Figura 3.13 Dispozitivul DAWN OBD Mini Logger

Înregistrarea (figura 3.14) a durat 27 de zile în care autoturismul a fost exploatat în condiții normale care să reflecte modul sau de utilizare zilnică. În aceasta perioadă au fost înregistrați 920 km de călătorii în 46 de călătorii pe parcursul a 11 de zile de condus combinat urban, rural și pe autostradă.



Figura 3.14 Traseul autovehiculului înregistrat

Postprocesarea călătoriilor în termeni de dinamică a condusului și clasificare a fost realizată conform procedurii RDE, prin codarea în limbajul Matlab a condițiilor din această procedură. În continuare pentru fiecare segment de călătorie, se calculează valoarea procentuală de 95% a $v \cdot a_{pos}$ prin următoarea metodă. Se ordonează valorile $(v \cdot a)_i$ cu $a_i \geq 0.1\ m/s^2$ pentru fiecare segment de călătorie și se determină M_k, numărul total al acestora. Ulterior, fiecărei valori $(v \cdot a_{pos})_{j,k}$, se alocă o pondere procentuală începând de la cea mai mică $1/M_k$, continuând cu $2/M_k$, $3/M_k$ și așa mai departe, până la cea mai mare valoare pentru care $M_k / M_k = 100$ %.

Viteza medie, procentuală de 95% a $v \cdot a_{pos}$ și RPA pentru fiecare segment de călătorie sunt calculate și prezentate în figurile 3.15 și 3.16, împreună cu media fiecărei clase de segmente de călătorie și a limitei impuse de procedura RDE.

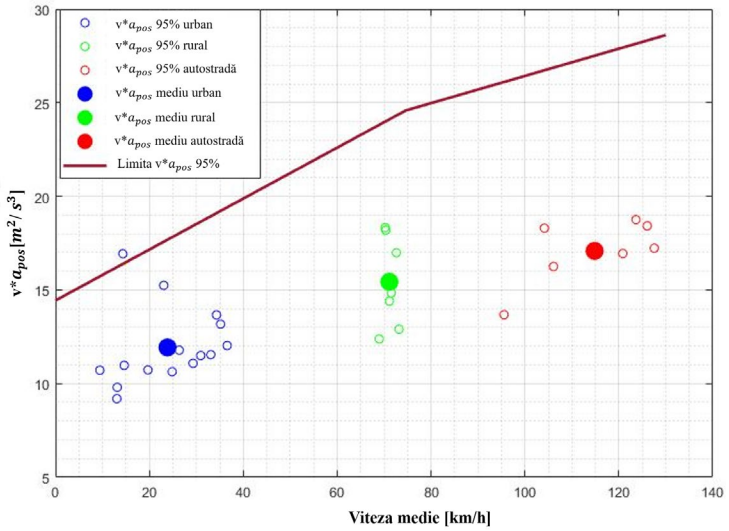


Figura 3.15 Valorile ($v \cdot a_{pos}$) 95% și viteza medie pentru fiecare segment de călătorie.

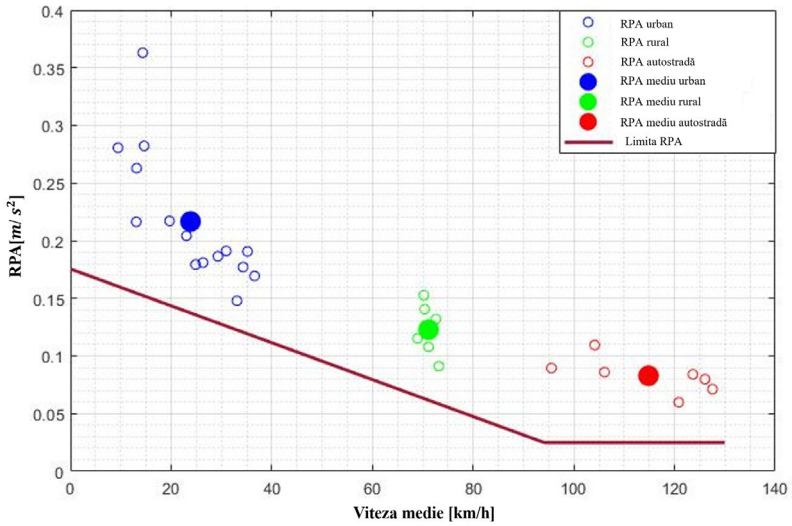


Figura 3.16 Valorile RPA și viteza medie pentru fiecare segment de călătorie.

În urma calculelor au rămas 15 segmente de călătorie urbană ($v \leq 60$ km/h), 6 segmente de călătorie rurală (60 km/h < $v \leq 90$ km/h) și 7 segmente de călătorie pe autostradă ($v > 90$ km/h). Pofilele de viteză concatenate pe fiecare tip de deplasare sunt disponibile în figura 3.17

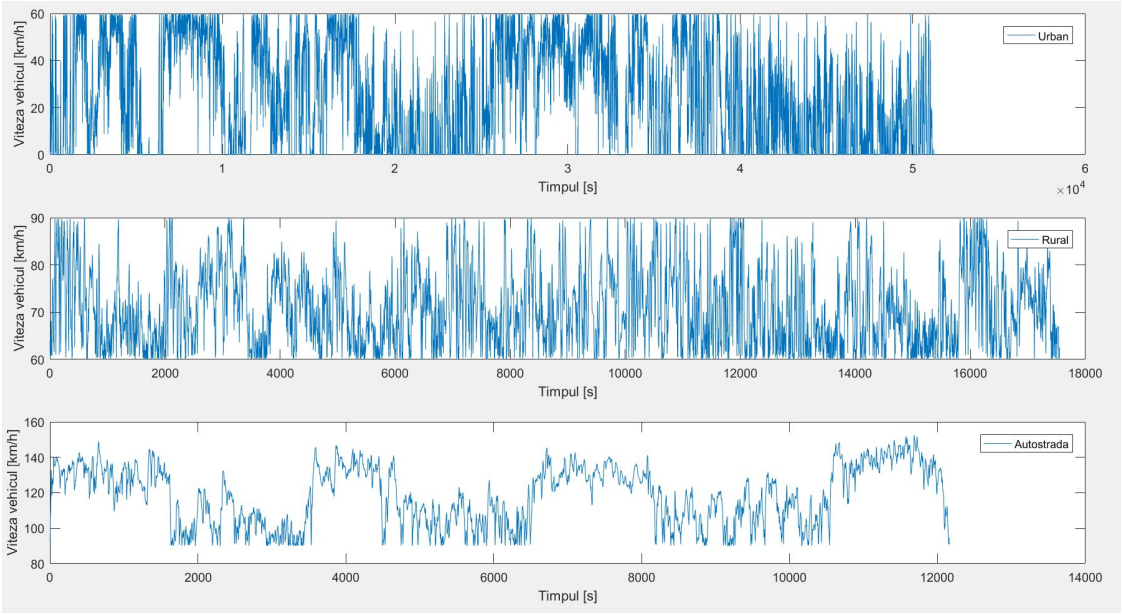


Figura 3.17 Profilurile de viteză a traseelor concatenate pentru fiecare tip de deplasare

Profilurile de viteză pentru segmentele relevante de călătorie sunt utilizate ca date de intrare pentru ciclul de test într-un model complex de SUV de clasă C dezvoltat utilizând LMS Imagine.Lab AMESim. Utilizând modelul prezentat în figura 3.1, emisiile de CO_2 au fost determinate pentru cicluri cu dinamică scăzută și ridicată în fiecare categorie (urban, drum și autostradă) pentru a evalua influența utilizării criteriilor de clasificare propuse.

Tabelul 3.3 Emisiile de CO_2 pentru ciclurile cu dinamică scăzută și ridicată.

Segment	Dinamicitate	RPA [m/s²]	(v·a_pos)_[95] [m²/s³]	V_med [km/h]	Emisii CO₂ [g/km]		Raport emisii CO₂ [-]
					Pentru segment	Pentru v_med	
Urban	Ridicată	0,363	16,94	14,87	194,1	151,2	1,284
	Scăzută	0,147	11,55	33,37	110,9	78,4	1,414
Rural	Ridicată	0,152	18,33	70,2	95,9	91,4	1,049
	Scăzută	0,091	12,9	73,08	96,1	92	1,045
Autostradă	Ridicată	0,109	18,3	104,1	145,6	138	1,055
	Scăzută	0,059	16,95	120,8	185,1	176,6	1,048

Pentru a compara influența asupra consumului emisiilor de CO_2 a diferitelor cicluri de testare, definim un parametru denumit raportul emisiilor de CO_2 (CO_2_re), formula 3.9, într-un mod similar cu raportul de consum de combustibil (FCV):

$$CO_2_re = \frac{CO_2_ciclu}{CO_2_v_ct} \cdot 100\ [\%] \tag{3.9}$$

unde:

- CO_2_ciclu este emisia de CO_2 obținută în ciclul testat;
- $CO_2_v_ct$ este emisia de CO_2 obținută la o viteză constantă egală cu viteza medie a ciclului respectiv;

Din datele tabelului 3.3, putem observa că nu există o corelație simplă între parametrii dinamicii ciclurilor alese și emisiile de CO_2. În conducerea urbană, dinamica ridicată corespunde unui ciclu cu viteză medie scăzută. Motorul va funcționa într-un punct defavorabil, iar consumul de combustibil (astfel și emisiile de CO_2) vor fi ridicate, în acest caz particular cu 75% mai mari decât în cazul conducerii cu dinamică scăzută. Pentru conducerea pe autostradă, dinamica scăzută corespunde unui ciclu cu viteză medie mare, ceea ce va crește emisiile de CO_2. Pentru exemplele simulate, este cu 27% mai mare atunci când dinamica de conducere este scăzută. În conducerea rurală, cele două tendințe se compensează, iar diferențele dintre conducerea cu dinamică ridicată și scăzută sunt sub 0,2%.

O limitare a segmentelor de călătorie rezultate este puterea specifică scăzută a vehiculului de test, care poate influența dinamica generală a conducerii. Prin urmare, înregistrările trebuie utilizate pentru studii pe vehicule cu putere specifică similară. Totuși, pentru fiecare tip de segment de conducere, s-a obținut o diferență semnificativă între parametrii de caracterizare a dinamicii conducerii: de la 67% la 145% pentru RPA și de la 8% la 47% pentru $v \cdot a_{pos}$ 95%.

Dacă influența vitezei medii a vehiculului este eliminată utilizând raportul emisiilor de CO_2, se observă că influența dinamicii ciclului este redusă de la 75% la 9% în conducerea urbană și devine nesemnificativă (mai puțin de 0,7%) în conducerea rurală și pe autostradă.

IV. Evaluarea impactului real al măsurilor de reducere a emisiilor de CO_2

În continuare se propune o metodă de evaluare a impactului real al măsurilor de reducere a emisiilor de CO_2 folosind bazele de date cu înregistrări. Acestea ne permit a avea o mai bună reprezentativitate a rezultatelor prin furnizarea unui eșantion de date cât mai mare, ce acoperă o gamă largă de moduri de utilizare a autovehiculelor.

Pentru a avea acces la o astfel de bază de date cu înregistrări, un acord de colaborare doctorală a fost încheiat între cele 3 părți implicate:

- Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București (UPB), Școala Doctorală „Transporturi";
- HORSE POWERTRAIN SA, în calitate de proprietar al bazei de date de înregistrări;
- Constantin Răzvan Cornel, în calitate de doctorand și angajat HORSE POWERTRAIN SA în departamentul HORSE R&D CUSTOMER PERFORMANCE.

Prin acesta se oferă accesul la o bază de date de înregistrări de peste 7000 de autovehicule, vehicule personale dar și autoutilitare înregistrate în peste 35 de țări. Ea însumează aproape 900.000 de călătorii de-a lungul a 250.000 de ore înregistrate și 8,6 milioane de kilometri parcurși.

Pentru a obține rezultate relevante pentru autovehiculul studiat (prin simulare cu un model dezvoltat în LMS Imagine.Lab AMESim) va fi necesară filtrarea înregistrărilor în funcție de tipul vehiculului și soluția sa constructivă dar și în funcție de parametrii înregistrați disponibili. Astfel se va crea o bază de date mai mică dar reprezentativă și se va reduce timpul de simulare la o valoare rezonabilă.

Pentru a studia impactul tehnologiei Stop & Start asupra emisiilor de CO_2, s-a optat pentru analiza unui segment de autovehicul de tip SUV din clasa C. Selecția înregistrărilor s-a realizat în funcție de parametrii înregistrați disponibili și necesari pentru analiza Stop & Start, și anume: viteza vehiculului, semnalul de mers înapoi, semnalul de frână, temperatura exterioară și temperatura lichidului de răcire. Există și alți parametri care pot influența activarea sistemului Stop & Start, precum: starea de încărcare a bateriei, diferiți consumatori electrici, climatizarea habitaclului, starea centurii de siguranță, etc. Semnale pentru astfel de parametri nu au fost găsite însă în baza de date, prin urmare, filtrarea înregistrărilor s-a efectuat după parametrii menționați mai sus. În urma filtrării au rezultat 24 de înregistrări pentru vehicule de tipul Dacia Duster cu motor cu aprindere prin scânteie, din două țări din Europa. Acestea au împreună următoarele caracteristici: 326 zile înregistrate, 412 ore de condus, 16286 km parcurși și 1562 trasee.

Semnalele înregistrate vin la diferite frecvențe, de regulă între 50 Hz și 5 Hz, în funcție de importanța parametrilor și a vitezei lor de variație. Pentru a înlesni calculele și simulările pe aceste cicluri, semnalele au fost convertite la frecvența de 1 Hz conform procedurii RDE prin utilizarea instrumentului dezvoltat în cadrul tezei.

Utilizând limbajul de programare Matlab, pentru fiecare autovehicul selectat din baza de înregistrări, s-au extras date precum: numărul de trasee parcurse, numărul de zile trecute de la începerea înregistrării până la sfârșitul acesteia, timpul petrecut conducând și distanța parcursă. S-a putut observa variabilitatea mare a înregistrărilor, de la 4 la 23 de zile înregistrate, cu un număr de trasee variind de la 12 la 110 în funcție de obiceiurile conducătorului auto. De asemenea, atât durata efectivă a înregistrării (de la 4 ore la 33,8 ore) cât și distanța parcursă (117 km la 2519 km)

oferă fluctuații semnificative, neexistând o corelare precisă între acestea și numărul de trasee sau zile înregistrate. Acest lucru este un bun indicator al modului foarte variat în care conducătorii auto își utilizează autovehiculele și al necesității studierii deplasării acestora în realitate.

Adițional s-a calculat procentul de timp petrecut și distanța parcursă în mediile de rulare urban, rural și autostradă definite conform procedurii RDE. S-a descoperit faptul că pentru toate autovehiculele majoritatea timpului este petrecut în mediul de deplasare urban, fapt ce v-a favoriza activarea sistemului Stop & Start iar din punctul de vedere al distanței parcurse în cele 3 moduri de deplasare există un amestec mai echilibrat.

4.1 Definirea și verificarea diferitelor tehnologii de Stop & Start

Sistemul Stop-Start, cunoscut și ca Stop & Start (S&S), reprezintă o strategie de control a motorului care permite oprirea lui când acesta funcționează la ralanti, pentru a reduce consumul de carburant și emisiile poluante, în special în deplasările din mediul urban.

Sistemul Stop & Start poate avea diferite evoluții în funcție de tehnologiile disponibile pe vehiculul pe care este implementat. Pornind de la parametrii înregistrați disponibili, au fost definite următoarele tipuri de Stop & Start (tabelul 4.1) pentru a evalua impactul fiecărei strategii.

Condiții de activare	Viteza vehiculului la activare	Temperatura lichidului de răcire	Temperatura exterioară	Viteza vehiculului de la inceputul călătoriei	Viteza vehiculului de la ultima oprire	Viteza vehiculului de la ultima cuplare a treptei de mers înapoi	Treapta de mers înapoi decuplată	Pedala de frână apăsată la inceputul fazei	Gradientul vitezei vehicul negativ
Stop & Start simplificat	0 km/h								
Stop & Start clasic	< 3 km/h	40°C < T_lr < 95°C	-5°C < T_ext < 35°C	> 20 km/h	> 6 km/h		DA		
Rulare liberă la viteză redusă (CLS)	<= 8 km/h	40°C < T_lr < 95°C	-5°C < T_ext < 35°C	> 20 km/h	>= 8 km/h	> 9 km/h	DA	DA	> 1 s
Rulare liberă la viteză mărită (CHS)	<= 21 km/h	40°C < T_lr < 95°C	-5°C < T_ext < 35°C	> 21 km/h	>= 21 km/h	> 9 km/h	DA	DA	> 2 s
Stop & Start Complet	În funcție de tip	40°C < T_lr < 95°C	-5°C < T_ext < 35°C	În funcție de S&S	În funcție de S&S	În funcție de S&S	DA	În funcție de S&S	În funcție de S&S

Tabelul 4.1 Condițiile fiecărei strategii de Stop & Start

În continuare s-a calculat numărul de activări ale fiecărui tip de sistem Stop & Start pentru fiecare vehicul înregistrat, rezultatele fiind prezentate în figura 4.1.

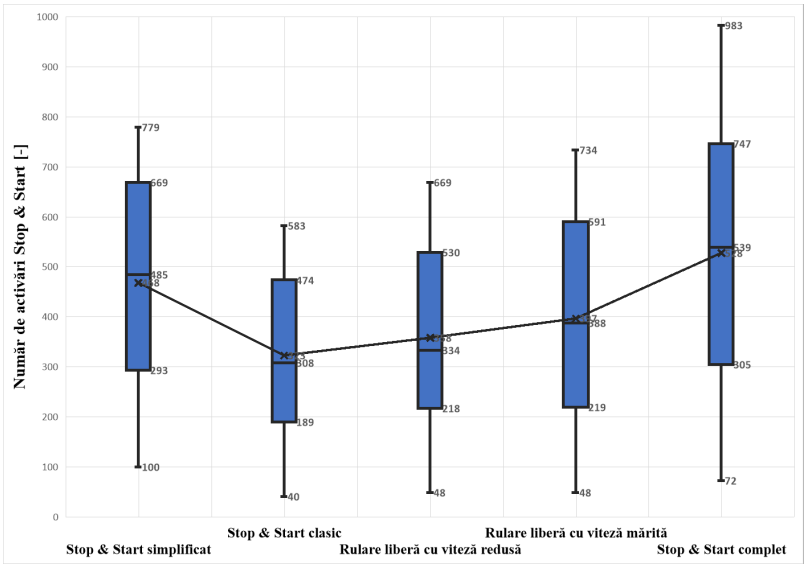


Figura 4.1 Numărul de activări ale fiecărui tip de sistem Stop & Start pentru populația înregistrată

Pe măsură ce plaja de condiții este lărgită (prin mărirea vitezei de activare a sistemului) potențialul apariției unui eveniment de Stop & Start se mărește. Astfel un autovehicul ce beneficiază de toate sistemele de Stop & Start va putea obține cea mai mare reducere a emisiilor de CO_2. Mărimea ridicată a cutiei ne indică o dispersie mare a datelor iar poziția medianei sugerează o distribuție aproximativ simetrică a datelor.

4.2 Modelul utilizat pentru simularea emisiilor de CO_2

Studiul este realizat utilizând un model dezvoltat în LMS Imagine.Lab AMESim, și permite modificarea strategiilor de Stop & Start și evaluarea emisiilor de CO_2 (figura 4.2).

Pentru a schimba strategia de Stop & Start, s-au calculat 3 semnale pe baza parametrilor disponibili și a condițiilor fiecăruia din cele 4 cazuri prezentate anterior. Pentru aceasta s-a utilizat mediul de programare MATLAB unde au fost codate condițiile respective iar codul rezultat a fost rulat pe populația de 24 de înregistrări.

Semnalele respective sunt:

- semnalul de S&S care intră în unitatea de control a motorului
- semnalul pentru pornirea demarorului
- semnalul de comutare între demaror și alternator

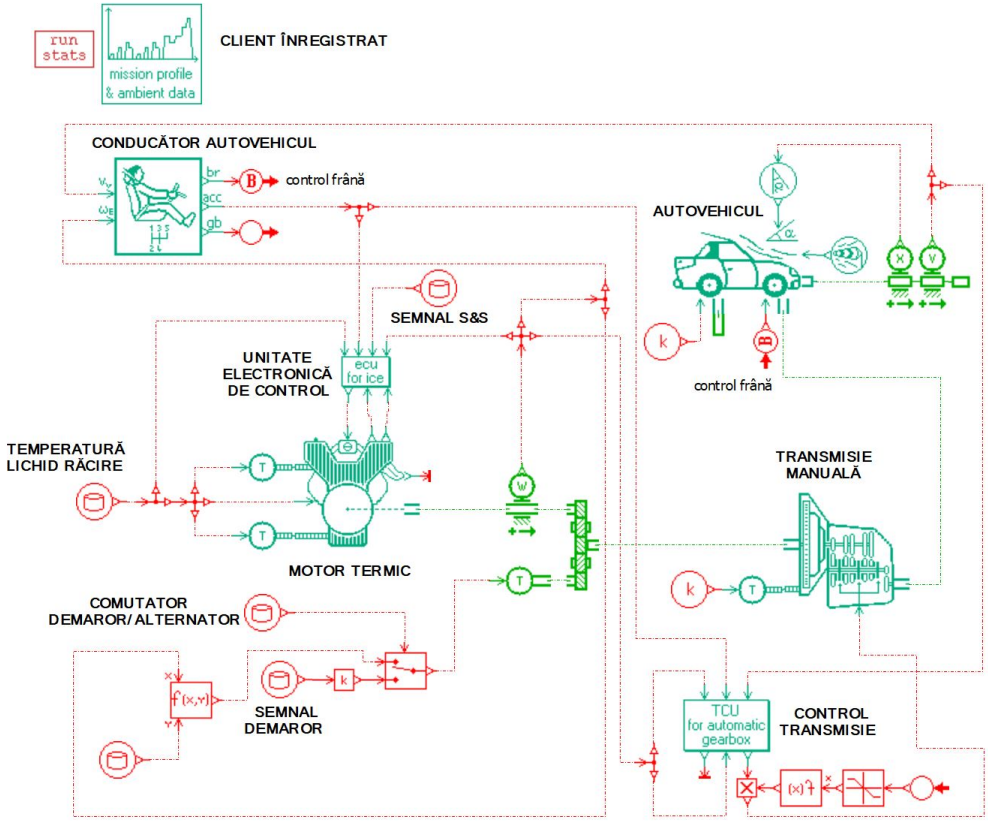


Figura 4.2 Modelul vehiculului și al sistemului de propulsie pentru calculul emisiilor de CO_2 prin implementarea strategiilor de Stop & Start

Adițional, semnalele pentru viteza vehiculului, activarea mersului înapoi, temperatura exterioară, temperatura lichidului de răcire și frână au fost salvate pentru a putea fi utilizate

împreună cu cele calculate pentru Start & Stop ca date de intrare în model. Traseele fiecărui client au fost concatenate pentru a reduce numărul total al simulărilor necesare.

Pentru a evalua eficiența sistemelor de Stop & Start se vor efectua simulări și pentru un vehicul care nu dispune de aceste sisteme.

4.3 Rezultatele emisiilor de CO_2 obținute prin simulare

Rezultatele simulărilor sunt prezentate în figura 4.3 unde putem vedea emisiile de CO_2 pentru fiecare tip de Stop & Start cât și pentru cazul în care automobilul nu este echipat cu această tehnologie. Automobilul care beneficiază de toate tehnologiile de Stop & Start va oferi cele mai reduse emisii de CO_2, cu o valoare medie de 158 g/km față de 169 g/km pentru un vehicul fără Stop & Start.

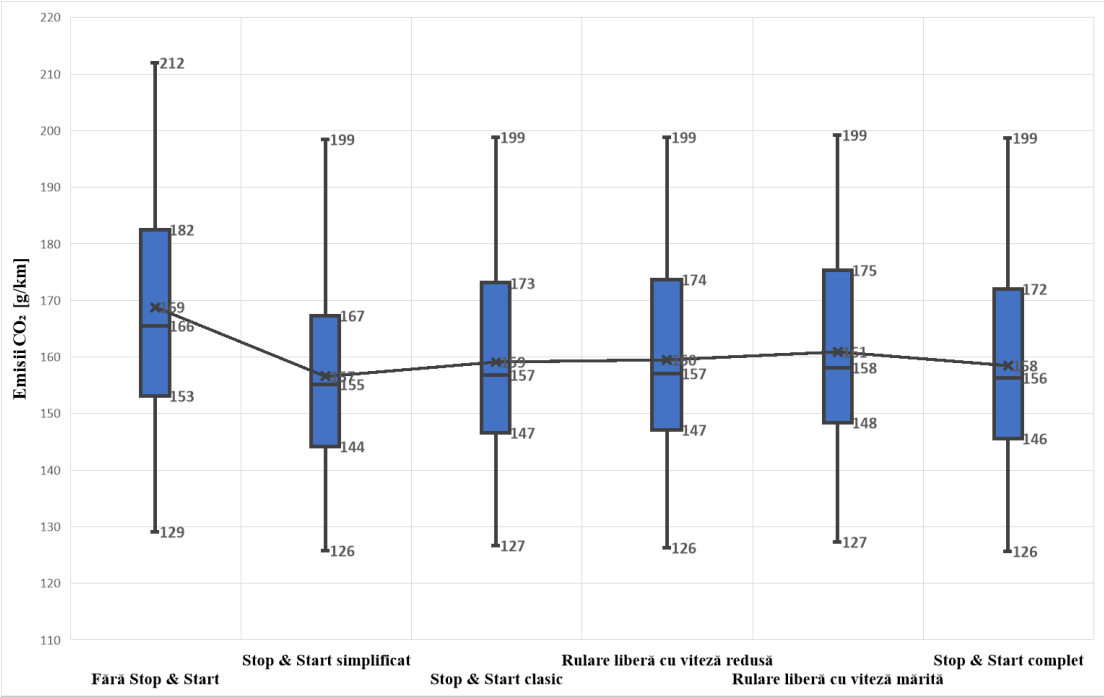


Figura 4.3 Emisiile de CO_2 pentru fiecare tip de Stop & Start

Cu toate acestea diferențele de emisii între cele 4 tipuri de Stop & Start nu sunt atât de semnificative pe cât am fi crezut daca ne-am fi luat doar după numărul de activări. De exemplu, un număr mediu de activări ale sistemului Stop & Start complet cu 36% mai mare față de cel al rulării libere cu viteză mărită rezultă în emisii medii de CO_2 cu doar 1,3% mai mici.

Putem observa o variație mare a emisiilor de CO_2 între rezultatele simulărilor celor 24 de clienți. Acestea variază între 129g/km și 212g/km pentru un autovehicul standard și 126g/km la 199g/km pentru un autovehicul echipat cu Stop & Start complet. Aceste rezultate evidențiază necesitatea realizării de înregistrări și simulări pe cicluri reale de deplasare. Comparând rezultatele din capitolul 3.1.4 unde s-a calculat reducerea emisiilor de CO_2 pentru un autovehicul de tip SUV echipat cu un sistem Stop & Start simplificat pe ciclul WLTP putem observa faptul că acel câștig de 2,4% obținut atunci nu are corespondent în realitate. Rezultatele obținute în urma simulărilor

pe înregistrări au produs o valoare medie de 7%. Însă, introducând și restul variabilelor care țin cont de condițiile de deplasare valoarea este redusă la 4,92% pentru un sistem Stop & Start clasic.

În figura 4.4 este prezentat procentajul de reducere a emisiilor de CO_2 pentru fiecare tip de Stop & Start față de un autovehicul care nu este echipat cu această tehnologie. Cea mai mică reducere a emisiilor de CO_2 o oferă sistemul de rulare liberă cu viteză mărită cu o valoare medie de 4,48% cu toate că acesta se activează de mai multe ori față de primele două sisteme. Acest lucru se datorează faptului că, prin condițiile impuse, sistemul se activează foarte des în condiții de trafic bara la bară, unde vehiculul nu ajunge însă la o oprire completă. Opririle pentru perioade scurte de timp ce au loc în aceste condiții determină un număr mare de porniri ce va atrage după sine o creștere a consumului, diminuând astfel beneficiile sistemului. Prin urmare strategia de Stop & Start la rulare liberă necesită o implementare mai complexă care să țină cont de condițiile de trafic. Sistemul de Stop & Start complet oferă cea mai mare reducere a emisiilor de CO_2 cu o valoare medie de 5,93%, ajungând până la 16,37% pentru clientul cu condițiile cele mai favorabile.

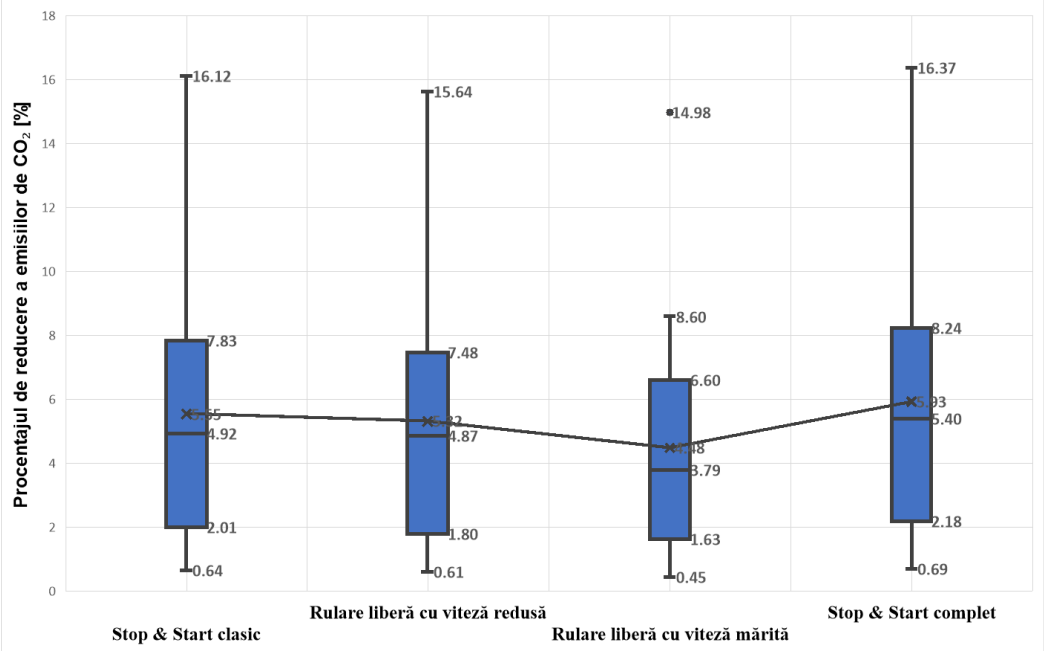


Figura 4.4 Procentajul de reducere a emisiilor de CO_2 pentru fiecare tip de Stop & Start

4.4 Studiu aprofundat al clienților cu rezultate extreme

Rezultatele obținute ne indică o variabilitate mare a câștigului de emisii de CO_2, de la 0,45% pentru cel mai nefavorabil caz al rulării libere cu viteză mărită la 16,37% pentru cel mai favorabil caz cu Stop & Start complet. Pentru a înțelege mai bine rezultatele ne vom concentra atenția pe cazurile extreme din simulările cu Stop & Start complet. Drept urmare a fost selectat vehiculul 8 cu o reducere a emisiilor de CO_2 de 16,37% ca fiind cazul cel mai favorabil și vehiculul 21 cu o reducere a emisiilor de CO_2 de 0,69% situat la capătul opus.

Pentru a înțelege mai bine modul de deplasare al acestor două autovehicule înregistrate ne vom uita în primul rând la timpul petrecut pe clase de viteză (figura 4.5) și la numărul de activări Stop & Start pe kilometru (figura 4.6).

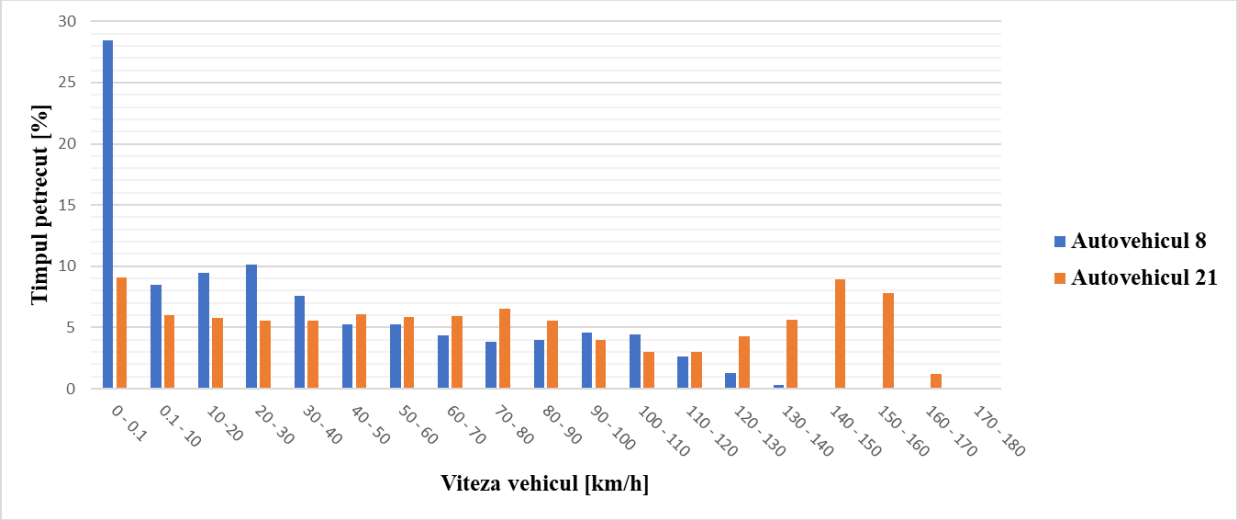


Figura 4.5 Procentajul de timp petrecut pe clase de viteză pentru autovehiculele selectate

Se poate observa faptul că autovehiculul 8 a petrecut mai mult timp la viteze reduse ceea ce i-a permis să poată activa sistemul Stop & Start mult mai des față de autovehiculul 21, care a avut un procentaj considerabil de timp petrecut la regimuri de autostradă. De asemenea se poate observa cum sistemul Stop & Start clasic s-a activat de 4,8 ori mai des pentru autovehiculul 8 iar cel complet de 4,2 ori mai des.

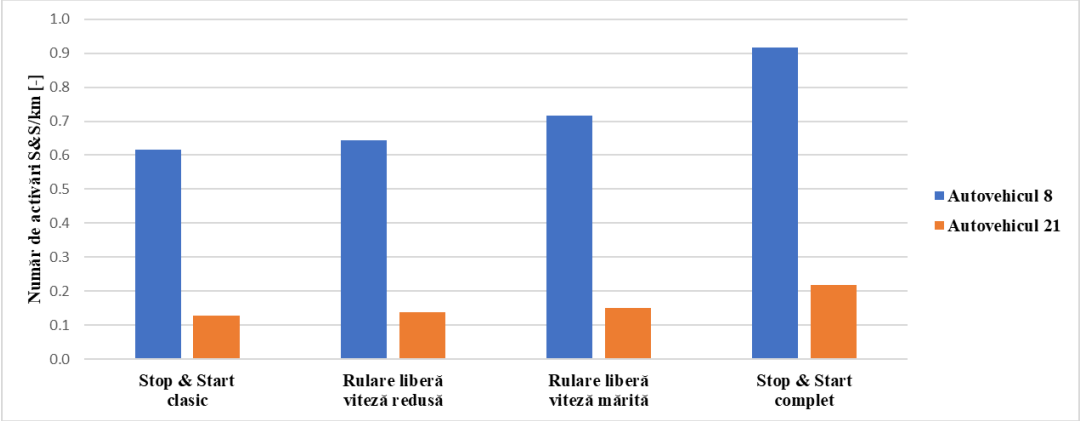


Figura 4.6 Numărul de activări Stop & Start pe kilometru pentru autovehiculele selectate

Pe baza acestor analize putem concluziona că rezultatele obținute pe aceste două înregistrări sunt în concordanță cu modul lor de deplasare. Trebuie menționat faptul că nu toți parametrii care influențează activarea sistemul Stop & Start au fost disponibili pentru analiză (starea de încărcare a bateriei, climatizarea, consumatori electrici, etc.), prin urmare rezultatele reale ar fi și mai mici. De asemenea temperatura exterioară a înregistrărilor selecționate s-a aflat în limitele de activare a sistemului Stop & Start și nu au avut un impact puternic în rezultate.

4.5 Calcularea reducerii emisiilor de CO_2 pentru un parc de automobile

Pentru calcularea emisiilor de CO_2 la un obiectiv de fiabilitate se va utiliza o metodă ce utilizează formula 4.1. prin dezvoltarea unui cod în Matlab și aplicarea acestuia pe rezultatele anterioare obținute în cadrul simulărilor. Pentru a ne asigura că amestecul este reprezentativ, rezultatele emisiilor de CO_2 vor fi înmulțite doar cu kilometrajul din NCBS (New Car Buyer Survey) care este cu maxim ±20% diferit de cel al înregistrărilor. Sondajele NCBS conțin distanța anuală declarată de sute de mii de șoferi pentru cele 4 moduri de deplasare dar și alte date legate de modul de utilizare al autovehiculelor (număr pasageri, bagaje, remorcare, etc.)

$$R(n,p) = R(n) \cdot D(p); \qquad (4.1)$$

unde:

- $R(n,p)$ reprezintă rezultatul final calculat pentru un client(n) mixat cu unul (p) din NCBS;
- $R(n)$ reprezintă rezultatul pe kilometru pentru un client (n) simulat;
- $D(p)$ reprezintă distanța parcursă declarată în NCBS pentru un client (p);

Rezultatele, care sunt calculate pentru un obiectiv de fiabilitate de 1 an sau 30000km, sunt sortate în ordine crescătoare iar fiecărei valori îi este alocată o pondere în funcție de numărul total de rezultate. Reprezentarea lor grafică în funcție de procentajul de participare al fiecărei valori va purta denumirea de curbă în S și este disponibilă în figura 4.7. Privind în detaliu graficul putem observa cum curbele cu Stop & Start sunt deplasate către stânga față de rezultatele fără acest sistem. Prin urmare se poate vedea că sistemul de Stop & Start complet oferă cea mai bună reducere a emisiilor de CO_2 iar la capătul opus se află rularea liberă cu viteză mărită.

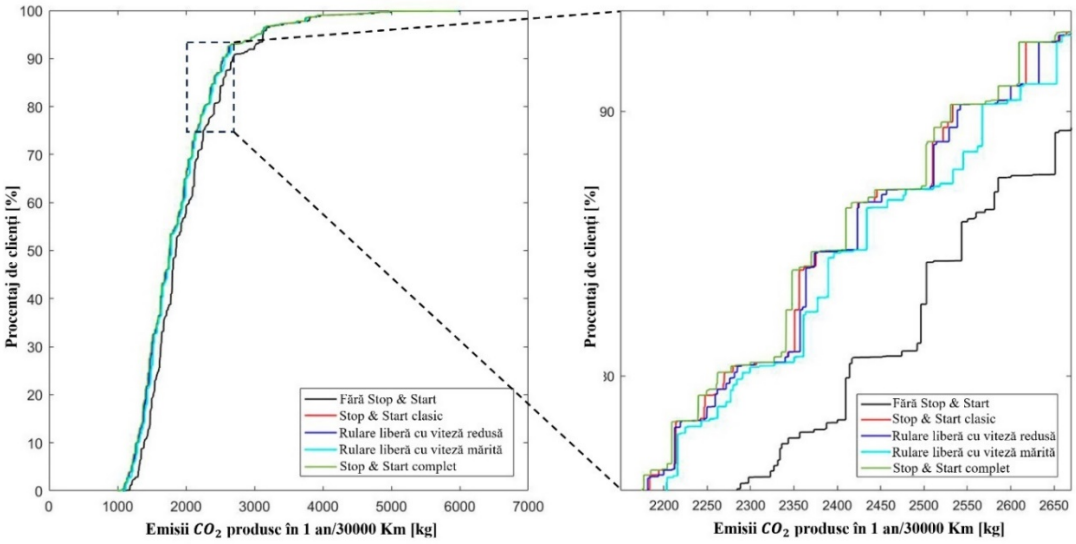


Figura 4.7 Curbele în S cu emisiile de CO_2 produse în 1an sau 30000km

Pentru a cuantifica aceste rezultate pentru fiecare tip de Stop & Start se vor calcula rezultatele pentru clienții severi 50%, 90%, 96%, 99% si cel mediu precum exemplul din figura 4.8 pentru emisiile de CO_2 produse fără sistemul Stop & Start. Rezultatele vor fi centralizate în tabelul 4.2.

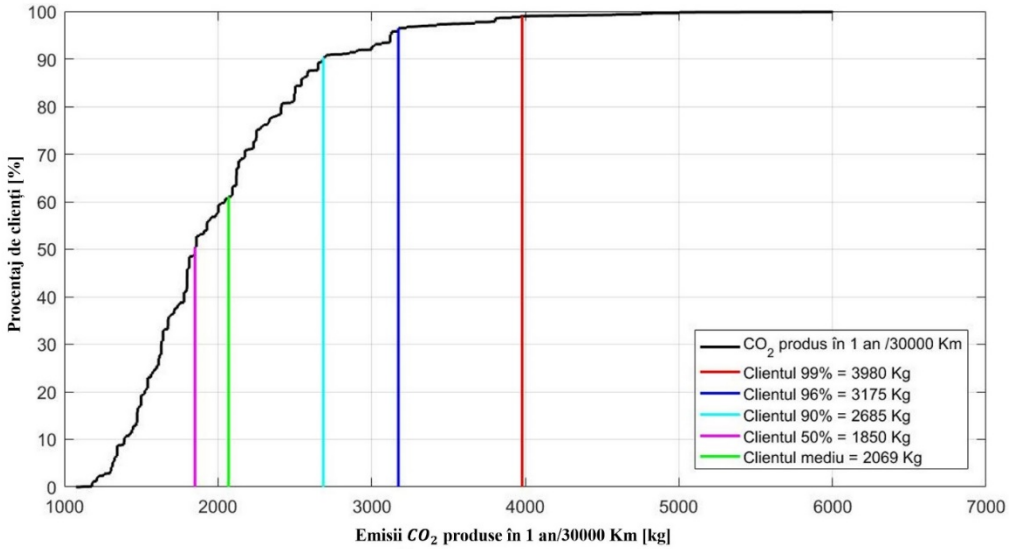


Figura 4.8 Emisiile de CO_2 produse în 1an sau 30000km fără sistemul Stop & Start.

Tabelul 4.2 Emisiile de CO_2 produse în 1an sau 30000km

Sistemul utilizat:	Emisiile de CO_2 [kg]				
	Clientul mediu	Clientul 50%	Clientul 90%	Clientul 96%	Clientul 99%
Fără Stop & Start	2069	1850	2685	3175	3980
Stop & Start clasic	1958	1767	2533	3137	3921
Rulare liberă cu viteză scăzută	1962	1769	2539	3138	3924
Rulare liberă cu viteză mărită	1978	1784	2567	3143	3933
Stop & Start complet	1950	1754	2531	3133	3916

Privind datele din tabelul 4.4 putem observa o variabilitate mare a rezultatelor între clientul mediu și cel mai sever (99%) ce a înregistrat rezultate de două ori mai mari. În medie un autovehicul va produce cu 119 kg de CO_2 mai puțin într-un an sau 30000km dacă va fi echipat cu un sistem de Stop & Start complet față de un automobil convențional.

În continuare putem extrapola rezultatele la vânzările de automobile noi ale unui producător auto, de exemplu Dacia, care în 2023 a vândut 200633 de modele Duster noi în Europa. Daca în medie câștigul de emisii de CO_2 pentru parcul respectiv de automobile este similar cu cel obținut mai sus atunci putem concluziona că într-un an se poate obține o reducere medie a emisiilor de CO_2 de 23875 tone prin utilizarea unui sistem Stop & Start complet.

Putem de asemenea calcula care vor fi emisiile de CO_2 produse pe întreaga durată de viață a automobilului utilizând formula 4.2:

$$\mathrm{E}_{tot} = \sum_{k=1}^{m} \mathrm{R}_n \cdot D_p \cdot \frac{100-\theta_k}{100}; \tag{4.2}$$

unde:

- E_{tot} reprezintă rezultatul total al emisiilor de CO_2 produse pe întreaga durată de viață a automobilului măsurată în ani (m);
- R_n reprezintă rezultatul pe kilometru pentru un client (n) simulat;
- D_p reprezintă distanța parcursă declarată în NCBS pentru un client (p);
- θ_k reprezintă coeficientul din legea de rulaj corespunzător anului k.

Rezultatele emisiilor de CO_2 produse pe întreaga durată de viață a automobilului sunt disponibile în tabelul 4.2.

Tabelul 4.2 Emisiile de CO_2 produse în 20 ani sau 300000km

Sistemul utilizat:	Emisiile de CO_2 [tone]				
	Clientul mediu	Clientul 50%	Clientul 90%	Clientul 96%	Clientul 99%
Fără Stop & Start	25,52	23,97	31,62	36,24	40,26
Stop & Start clasic	24,09	23,08	29,3	33,19	39,62
Rulare liberă cu viteză scăzută	24,15	23,07	29,39	33,2	39,7
Rulare liberă cu viteză mărită	24,36	23,26	29,81	33,26	39,79
Stop & Start complet	23,99	22,98	29,19	33,15	39,57

Se poate observa că în medie un automobil echipat cu sistemul Stop & Start va produce aproximativ 24 tone de CO_2 pe parcursul exploatării sale, ceea ce va reprezenta o reducere de 1,54 tone de CO_2 față de un automobil fără această tehnologie.

Pentru un bilanț complet al emisiilor de CO_2 ale unui automobil de-a lungul vieții sale trebuie de asemenea să ținem cont de emisiile produse cu producerea combustibilului, fabricarea automobilului și mentenanța acestuia. Pentru un automobil de tip SUV cu motor pe benzină, emisiile rezultate cu producerea combustibilului pot ajunge la 20% din emisiile rezultate în timpul funcționării, cele din fabricarea automobilului la 17% iar cele produse de procesul de mentenanță la 3%. Astfel emisiile totale de CO_2 are unui automobil de tip SUV pe durata sa de viață pot ajunge în medie la aproximativ 33,6 tone.

V. Sinteza contribuțiilor originale și perspective de continuare a cercetărilor

5.1 Principalele contribuții originale din cadrul lucrării

1. Lucrarea evidențiază necesitatea studierii ciclurilor reale de deplasare în domeniul reducerii emisiilor de CO_2 al automobilelor și propune o soluție în patru etape pentru evaluarea impactului diferitelor tehnologii din acest domeniu:
    a) Realizarea de înregistrări pe autovehiculele aflate în circulație, unde sunt prezentate soluții de înregistrare a semnalelor, chiar trecând de protecția CAN sau prin utilizarea unor baze de date preexistente;
    b) Stocarea și manipularea unor astfel de înregistrări, în cadrul lucrării fiind creat un program cu acest scop;
    c) Modelarea autovehiculului ce se dorește studiat prin implementarea diferitelor tehnologii de reducere a emisiilor de CO_2 și simularea sa pe ciclurile reale de deplasare pentru a calcula emisiile de CO_2;
    d) Calcularea impactului real al măsurilor respective prin prezentarea unei metode de aducere a rezultatelor la un obiectiv de fiabilitate.
2. În cadrul lucrării s-a dezvoltat un program ce facilitează lucrul cu înregistrări și cicluri de omologare. Acesta permite gestionarea, conversia, vizualizarea și analiza acestora dar și

calcularea a diferitor caracteristici ale ciclurilor sau a unui semnal simplificat de Stop & Start.

3. S-a demonstrat că, utilizând tehnologiile disponibile, se poate obține o reducere semnificativă a emisiilor de CO_2 între 13,7% și 16,7%, în funcție de tipul vehiculului și ciclul de testare adoptat.
4. S-a analizat în detaliu eficiența mersului în pluton coordonat în scopul reducerii emisiilor de CO_2 unde s-a arătat ca este posibilă o îmbunătățire a emisiilor cu 18,1% față de un vehicul izolat prin utilizarea unui pluton coordonat de 7 autovehicule.
5. Pentru automobilele electrice s-a prezentat o metodă de conversie al consumului de electricitate în emisii de CO_2 și calcularea lor pentru diferite tehnologii de îmbunătățire a acestora.
6. S-au realizat înregistrări CAN pe un autovehicul de tip SUV și s-a aplicat procedura RDE pentru evaluarea dinamicității acestora și a analiza impactul acesteia asupra emisiilor de CO_2.
7. Pentru realizarea de analize pe o bază de date de înregistrări pe autovehiculele clienților s-a încheiat un acord de colaborare între Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București (UPB), Școala Doctorală „Transporturi” și HORSE ROMÂNIA SA, în calitate de proprietar al bazei de date de înregistrări.
8. A fost dezvoltată o metodă de analiză a impactului măsurilor de reducere a emisiilor de CO_2 prin folosirea înregistrărilor din bazele de date și a fost exemplificată prin implementarea pe aceasta prin simulare a tehnologiei Stop & Start.
9. Modul de deplasare al automobilelor înregistrate a fost analizat și s-a demonstrat dependența dintre aceasta și eficiența sistemului Stop & Start în a reduce emisiile de CO_2.
10. Pentru evaluarea impactului real total al sistemului Stop & Start asupra emisiilor de CO_2 s-a prezentat o metodă de calculare a acestora pe întreaga durată de viață a autovehiculului.

5.1 Perspectivele de continuare a studiilor

Etapele de lucru propuse în cadrul lucrării pot fi utilizate și pentru evaluarea impactului real al altor tehnologii și metode de reducere a emisiilor de CO_2. Cu toate că lucrarea s-a concentrat pe un subiect aflat în prim-plan și anume decarbonizarea cu scopul încetinirii încălzirii globale, metodele și modelele folosite pot fi utilizate și pentru a calcula emisiile poluante sau consumul de combustibil al autovehiculelor.

Programul de gestiune al înregistrărilor poate fi de asemenea adaptat altor nevoi. În funcție de parametrii înregistrați pot fi adăugate noi funcții sau calcule pentru a răspunde altor cerințe.

Concret, munca depusă în realizarea tezei de doctorat va fi utilizată în cadrul unui proiect de cercetare cu finanțare publică națională și anume „Studiul impactului măsurilor de optimizare energetică în transportul rutier” (programul GNAC ARUT 2023) al Universității Naționale de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București. Ca membru al acestui proiect voi aplica cunoștințele dobândite prin conceperea acestei lucrări pentru a realiza înregistrări pe autovehicule, a alcătui o bază de înregistrări prin adaptarea la noile nevoi a programului dezvoltat deja și a analiza impactului măsurilor de optimizare energetică ce vor fi implementate.