



Universitatea
Transilvania
din Brașov

ȘCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea de INGINERIE MECANICĂ

Ing. Constantin NIȚOIU

Teză de doctorat

Rezumat

**STUDII ȘI CERCETĂRI PRIVIND INFLUENȚA TRAFICULUI RUTIER
ASUPRA CONSUMULUI DE COMBUSTIBIL ȘI A EMISIILOR
AUTOVEHICULELOR**

**STUDIES AND RESEARCH ON THE INFLUENCE OF ROAD TRAFFIC
ON FUEL CONSUMPTION AND VEHICLE EMISSIONS**

Conducător științific

Prof. ec. dr.ing. Corneliu COFARU

BRAȘOV, 2026

COMPONENTA

Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universității Transilvania din Brașov

Nr. din

PREȘEDINTE: Prof. dr. ing. Ioan Călin ROȘCA

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC: Prof. dr. ing. Corneliu COFARU

REFERENȚI: Prof. dr. ing. Nicolae FILIP

Prof. dr. ing. Ilie DUMITRU

Prof. dr. ing. Stelian ȚÂRULESCU

Data, ora și locul susținerii publice a tezei de doctorat: 13.11.2026,

Ora 13:30, sala NP7

Totodată, vă invităm să luați parte la ședința publică de susținere a tezei de doctorat.

Vă mulțumim.

Cuvânt înainte

În contextul actual al preocupărilor globale privind schimbările climatice, degradarea calității aerului și necesitatea tranziției către o mobilitate sustenabilă, problematica impactului transportului rutier asupra mediului a devenit una dintre cele mai importante direcții de cercetare la nivel internațional. În ultimii ani, dezbaterile științifice și decizionale s-a concentrat din ce în ce mai mult asupra rolului autovehiculelor în generarea emisiilor cu efect de seră și a poluanților atmosferici, ceea ce a condus la orientarea accelerată către electrificarea mobilității și la reducerea treptată a utilizării motoarelor cu ardere internă.

Alegerea temei a fost determinată de necesitatea unei analize științifice, riguroase și echilibrate, asupra influenței reale pe care traficul rutier o exercită asupra consumului de combustibil și a emisiilor autovehiculelor. Deși sectorul transporturilor este adesea plasat în prim-planul discuțiilor privind poluarea mediului, este esențial ca evaluarea impactului să fie fundamentată pe date experimentale solide, obținute în condiții reale de exploatare și corelate cu scenarii de simulare numerică. În acest sens, lucrarea de față își propune printr-un studiu aprofundat realizat, pe mai multe tipuri de autovehicule, să evidențieze modul în care condițiile de trafic influențează nivelul emisiilor și consumul de combustibil.

Prin cercetarea experimentală și prin simulările dezvoltate în mediul AMESIM, teza demonstrează că intervențiile asupra fluidizării traficului și menținerea unui regim de deplasare cu viteză constantă conduc la reducerea substanțială a emisiilor poluante și a consumului energetic pe anumite sectoare de drum. Această concluzie susține necesitatea integrării măsurilor de management inteligent al traficului în strategiile moderne de protecție a mediului și de optimizare a mobilității urbane.

Adresez sincere și profunde mulțumiri domnului profesor conducător al lucrării de doctorat, Corneliu Cofaru, pentru încrederea acordată, pentru sprijinul științific constant, pentru rigoarea academică și pentru efortul susținut depus în coordonarea și finalizarea acestei teze. Îndrumarea sa, exigența profesională și experiența științifică au reprezentat repere esențiale în formarea și dezvoltarea acestui demers doctoral.

Îmi exprim întreaga recunoștință față de membrii comisiei de îndrumare și integritate academică, respectiv Prof. dr. ing. Anghel Chiru, Prof. dr. ing. Nicolae Ispas, Prof. dr. ing. Adrian Șoica și Dr. ing. Alin Drosu, pentru observațiile pertinente, pentru susținerea oferită de-a lungul anilor și pentru contribuția valoroasă adusă la consolidarea direcției științifice a cercetării.

Mulțumesc colegilor din departament, în special Dr. ing. Dinu Covaciu, Prof. dr. ing. Horia Abăitancei, Prof. dr. ing. Stelian Țărulescu și Șef. Lucr. dr. ing. Adrian Budală, pentru colaborarea, sprijinul și solidaritatea manifestate în toate etapele acestui parcurs, în special în momentele dificile în care provocările științifice și profesionale au fost depășite prin muncă în echipă, perseverență și dedicare.

Îmi exprim profunda recunoștință față de Universitatea Transilvania din Brașov pentru sprijinul instituțional constant, pentru resursele logistice puse la dispoziție și pentru cadrul academic și științific de înaltă ținută oferit pe întreaga durată a studiilor doctorale, elemente care au contribuit în mod esențial la desfășurarea și finalizarea cu succes a prezentei cercetări.

În mod cu totul deosebit, adresez întreaga mea recunoștință familiei mele, care mi-a fost alături necondiționat în toți acești ani. Sprijinul moral, răbdarea, înțelegerea și încrederea lor au reprezentat fundamentul pe care s-a construit această reușită. Un gând special și cea mai sinceră apreciere se îndreaptă către soția mea, al cărui sprijin neclintit, echilibru și încurajare permanentă au făcut posibilă ducerea la bun sfârșit a acestei lucrări. Fără prezența și susținerea ei, forța interioară necesară pentru a duce la bun sfârșit ceea ce am început în urmă cu șapte ani nu ar fi fost aceeași.

Contents

1. Introducere.....	6
1.1. Evaluarea poluării generate de transporturile rutiere și efectele emisiilor asupra mediului provenite de la motoarele cu ardere internă.	6
1.2. Obiectivele cercetării	8
2. STADIUL ACTUAL AL RELAȚIEI AUTOVEHICUL – TRAFIC RUTIER – EMISII POLUANTE ȘI CONSUM DE COMBUSTIBIL (ENERGIE)	10
2.1. Stadiul actual al cercetărilor privind influența parametrilor de trafic rutier asupra consumului de combustibil și emisiilor vehiculelor	10
2.2. Generalități privind dinamica autovehiculului în trafic.....	11
2.3. Elemente de bază ale sistemului rutier	12
2.4. Sistemele de propulsie ale autovehiculelor	12
2.5. Efectele elementelor constructive ale sistemului de propulsie asupra emisiilor și consumului de combustibil (energie) în diferite condiții de trafic.....	13
2.6. Efectele factorilor funcționali ai sistemului de propulsie asupra emisiilor și consumului de combustibil (energie) în diferite condiții de trafic.....	14
2.7. Influența parametrilor constructivi ai autovehiculelor asupra emisiilor și consumului de combustibil (energie) în diferite condiții de trafic.....	14
2.8. Influența parametrilor caracteristici ai traficului rutier asupra emisiilor și consumului de combustibil (energie) ale autovehiculelor	15
2.9. Cicluri de conducere utilizate la măsurarea emisiilor și a consumului de combustibil (energie)	16
3. MODELAREA ȘI SIMULAREA CICLURILOR REALE ÎN MEDIUL AMESIM.....	18
3.1. Obiectivele urmărite în simularea ciclurilor de testare	18
3.2. Metodologia de modelare și simulare	18
3.3. Simularea ciclurilor de conducere utilizând datele din traficul real.....	20
4. CERCETAREA EXPERIMENTALĂ ȘI PRELUCRAREA DATELOR	23
4.1. Metodica cercetării experimentale	23
4.1.1. Pregătirea echipamentelor destinate cercetării experimentale.....	24
4.1.2. Criterii de selectare a traseelor pentru cercetare în vederea realizării ciclurilor de conducere reale	25
4.2. Autovehicule folosite pentru teste (caracteristicile autovehiculelor)	26
4.3. Caracteristicile echipamentelor folosite în cercetarea experimentală	26
4.3.1. Stand dinamometric.....	26
4.3.2. Analizor de gaze	27
4.3.3. Sistemul de diagnosticare OBD II – KTS 560	28
4.3.4. Debitmetrul de combustibil	28
4.3.5. Prelucrarea statistică a datelor experimentale	29
5. REZULTATELE CERCETĂRII EXPERIMENTALE.....	30
5.1. Influența caracteristicilor traficului urban asupra concentrațiilor emisiilor și consumului de combustibil (seria I de teste)	30

5.2. Studiul factorilor care influențează concentrația emisiilor și consumului de combustibil în condițiile unui trafic urban (seria a II-a de teste)	34
5.3. Studiul concentrației emisiilor și consumului de combustibil în condițiile unui trafic suburban.....	37
5.4. Studiul concentrației emisiilor și consumului de combustibil în condițiile unui trafic extraburban.....	41
5.5. Studiul concentrației emisiilor și consumului de combustibil în condițiile unui trafic rutier descris de ciclul WLTC.....	44
5.6. Compararea rezultatelor experimentale, obținute în ciclul de conducere WLTC și în condițiile reale	47
6. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE	49
6.1. Concluzii finale	49
6.2. Contribuții personale.....	50
6.3. Direcții de dezvoltare în domeniul tezei de cercetare (proponeri pentru viitor)	50

1. Introducere

Transportul rutier reprezintă o componentă esențială a dezvoltării economice și sociale, asigurând mobilitatea persoanelor și a bunurilor și contribuind la interconectarea regiunilor. Funcționarea acestui sector implică, asemenea altor activități economice bazate pe procese de conversie energetică, generarea unor emisii cu impact asupra mediului. Evaluarea acestora trebuie realizată însă într-un context mai larg, prin raportare la ansamblul surselor antropice și la contribuția diferențiată a sectoarelor energetic, industrial, agricol și de transport. În acest sens, impactul transportului rutier trebuie analizat obiectiv, pe baza ponderii sale reale în bilanțul emisiilor și în corelație cu evoluția tehnologică a autovehiculelor și cu reducerea progresivă a emisiilor specifice. [1–3].

În ultimele două decenii, dezvoltarea tehnologică a autovehiculelor și introducerea succesivă a standardelor europene de poluare au determinat reducerea emisiilor specifice și îmbunătățirea eficienței energetice. Standardele Euro au impus limite progresiv mai stricte pentru oxizii de azot (NO_x), monoxidul de carbon (CO), hidrocarburile nearse (HC) și particulele (PM), determinând dezvoltarea și implementarea unor sisteme avansate de control al emisiilor. În paralel, optimizarea proceselor de ardere, utilizarea sistemelor moderne de injecție, supraalimentarea, recircularea gazelor arse, sistemele de post-tratare, electrificarea parțială a sistemelor de propulsie, optimizarea transmisiilor și reducerea masei autovehiculelor au contribuit la diminuarea consumului de combustibil și a impactului asupra mediului.

În același timp, metodele utilizate pentru evaluarea autovehiculelor au evoluat de la ciclurile standardizate de laborator, precum NEDC (New European Driving Cycle), către proceduri și metode mai reprezentative pentru condițiile reale de exploatare, precum WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure) și testele RDE (Real Driving Emissions). Această evoluție evidențiază necesitatea evaluării comportamentului autovehiculelor nu numai în condiții standardizate, ci și prin raportare la particularitățile traficului rutier real [2–5].

Actualitatea cercetărilor din acest domeniu este susținută de obiectivele europene privind reducerea impactului transporturilor asupra mediului, creșterea eficienței energetice și tranziția către o mobilitate sustenabilă. În acest context, analiza relației dintre condițiile de trafic, regimurile de funcționare ale autovehiculelor, consumul de combustibil și concentrațiile de poluanți prezintă o importanță deosebită. Parametrii dinamici ai deplasării, precum viteza, accelerația și decelerația, perioadele de staționare, intensitatea traficului și particularitățile infrastructurii rutiere pot determina modificări semnificative ale regimului de funcționare al motorului și, implicit, ale consumului de combustibil și concentrațiilor emisiilor.

Prezenta teză de doctorat se înscrie în această direcție de cercetare și urmărește aprofundarea relației dintre condițiile de trafic rutier și comportamentul energetic al autovehiculelor. Abordarea metodologică propusă integrează datele obținute în condiții reale de trafic cu investigațiile experimentale realizate în condiții controlate de laborator. Parametrii dinamici înregistrați în trafic real sunt utilizați pentru construirea ciclurilor de conducere, care sunt ulterior reproduse pe standul dinamometric. Această metodologie permite analiza controlată și repetabilă a comportamentului autovehiculelor și evaluarea influenței diferitelor regimuri de funcționare asupra consumului de combustibil și concentrațiilor emisiilor.

1.1. Evaluarea poluării generate de transporturile rutiere și efectele emisiilor asupra mediului provenite de la motoarele cu ardere internă.

La nivel global, transporturile generează aproximativ 20–24 % din emisiile de CO_2 provenite din consumul de energie [5], transportul rutier având ponderea dominantă în cadrul acestui sector. În Uniunea Europeană, importanța transportului rutier în bilanțul emisiilor este determinată atât de volumul ridicat al transportului de persoane și mărfuri, cât și de rolul său structural în funcționarea economiei. În același timp, creșterea continuă a parcului auto trebuie analizată împreună cu evoluția

tehnologică a autovehiculelor și cu reducerea emisiilor specifice realizată prin introducerea standardelor de poluare și dezvoltarea sistemelor moderne de propulsie și post-tratare [2, 3, 5–7].

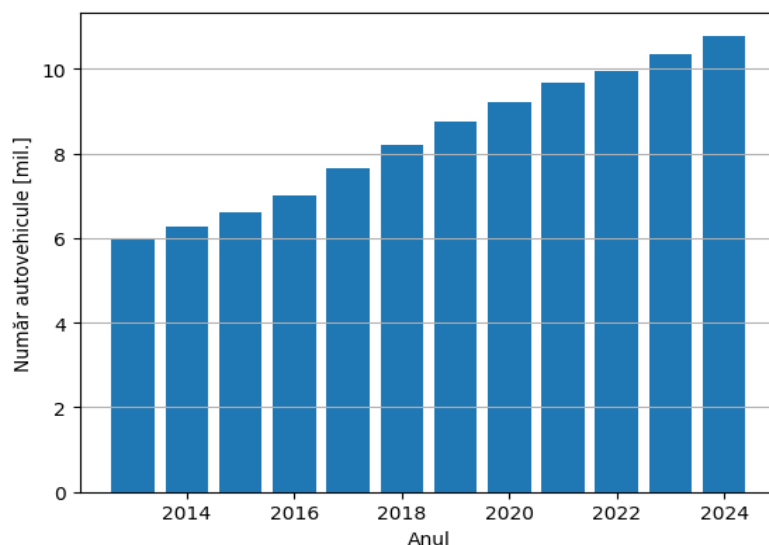


Fig. 1.1 - Evoluția parcului auto din Romania 2013-2024 [8]

Evoluția standardelor europene de poluare ilustrează diminuarea progresivă a limitelor impuse principalilor poluanți generați de autovehicule. Standardul Euro 6, introdus treptat începând cu anul 2014, a reprezentat o etapă importantă prin stabilirea unor limite reduse ale emisiilor și prin extinderea evaluării autovehiculelor către condițiile reale de trafic, prin testele RDE.

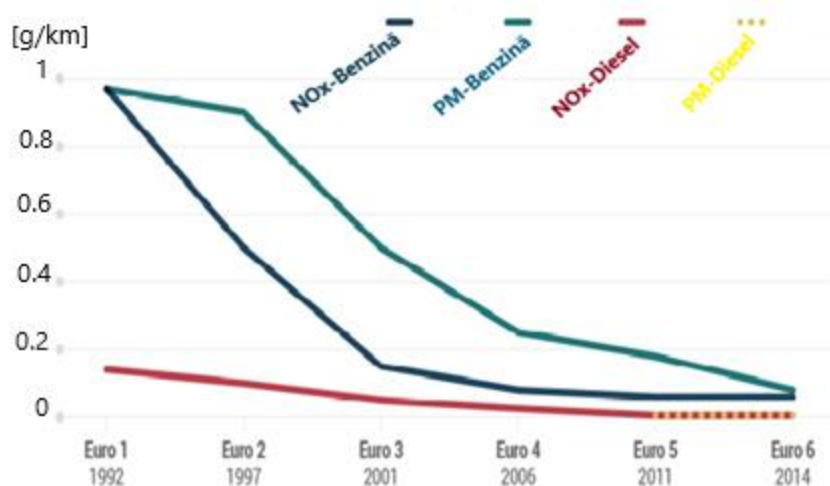


Fig. 1.2 - Influența standardelor Euro asupra emisiilor autovehiculelor [2]

O nouă etapă este reprezentată de standardul Euro 7, care extinde evaluarea impactului autovehiculelor dincolo de gazele de evacuare. Reglementarea introduce cerințe privind emisiile non-exhaust, generate inclusiv prin uzura sistemelor de frânare și a pneurilor, precum și cerințe suplimentare privind durabilitatea sistemelor de control al emisiilor și monitorizarea acestora pe durata de exploatare. Pentru autoturisme și vehicule ușoare, limitele principalilor poluanți rămân apropiate de cele prevăzute de Euro 6, însă cerințele privind menținerea performanțelor sistemelor de control al emisiilor sunt extinse la cel puțin 10 ani sau 200.000 km [9–13]. Astfel, accentul se deplasează de la evaluarea exclusivă a emisiilor provenite din funcționarea motorului către evaluarea impactului vehiculului pe o perioadă mai îndelungată de exploatare.

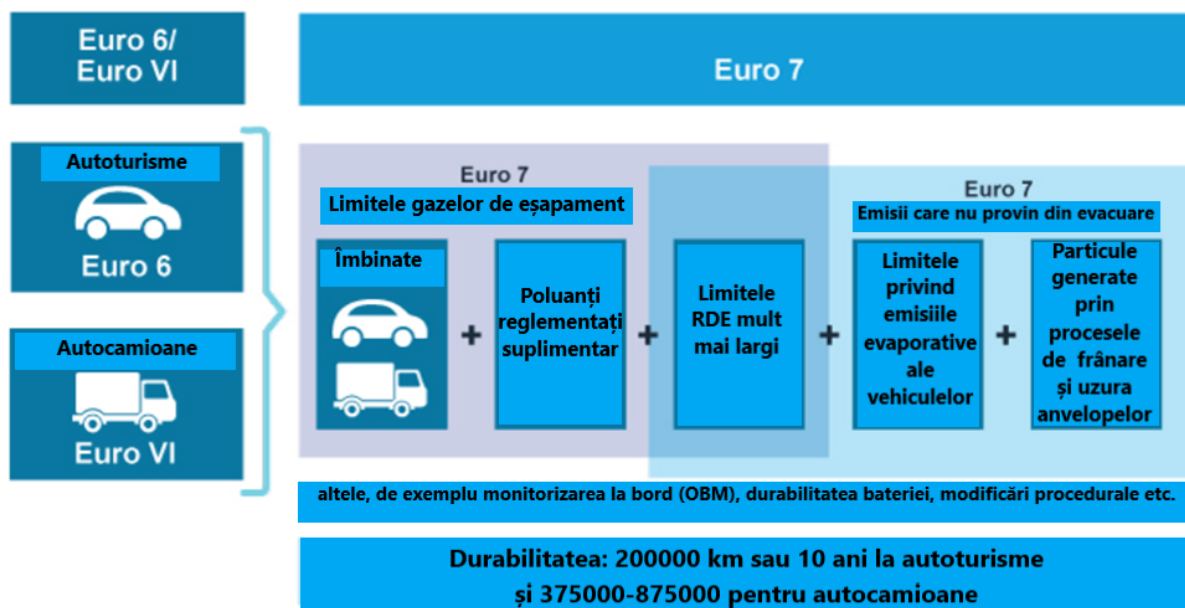


Fig. 1.3 - Evoluția standardelor de poluare europene privind emisiile – tranziția de la Euro 6 la Euro 7 [9]

Emisiile asociate transportului rutier includ atât gaze cu efect de seră, precum CO_2 , CH_4 și N_2O , cât și poluanți atmosferici precum oxizi de azot (NO_x), oxid de carbon (CO), particule în suspensie (PM), compuși organici volatili (COV) și dioxid de sulf (SO_2). Efectele acestora se manifestă atât direct, cât și prin formarea unor poluanți secundari. NO_x prezintă efecte importante asupra sistemului respirator și participă la formarea ozonului troposferic, în timp ce CO afectează transportul oxigenului în organism. Particulele fine, provenite atât din procesele de ardere, cât și din uzura frânelor și a anvelopelor, sunt asociate cu afecțiuni respiratorii și cardiovasculare. În același timp, reacțiile atmosferice dintre NO_x și COV contribuie la formarea ozonului troposferic și a particulelor secundare [10–15].

Dioxidul de carbon (CO_2) reprezintă unul dintre principalii produși ai arderii combustibililor utilizați de motoarele cu ardere internă și are un rol important în bilanțul climatic. O parte a emisiilor antropice de CO_2 este absorbită prin intermediul vegetației, solurilor și oceanelor, în timp ce partea rămasă se acumulează în atmosferă [3, 16]. Reducerea concentrației atmosferice poate fi susținută atât prin procese naturale de absorbție, precum împădurirea, reîmpădurirea și gestionarea carbonului din soluri, cât și prin tehnologii de captare și stocare a carbonului [17, 18].

În ansamblu, evaluarea impactului transportului rutier evidențiază necesitatea unei abordări integrate. Reducerea impactului asupra mediului nu depinde exclusiv de dezvoltarea sistemelor de propulsie și de post-tratare a gazelor de evacuare, ci și de condițiile concrete de exploatare a autovehiculelor și de organizarea traficului rutier. Din această perspectivă, identificarea regimurilor de funcționare asociate cu valori ridicate ale consumului de combustibil și ale concentrațiilor de poluanți reprezintă o direcție relevantă pentru optimizarea mobilității rutiere.

1.2. Obiectivele cercetării

Scopul principal al tezei îl constituie evaluarea influenței condițiilor de trafic rutier asupra concentrațiilor de CO, NO_x și CO_2 și asupra consumului de combustibil pentru autovehiculele echipate cu sisteme de propulsie bazate pe motoare cu ardere internă/hibrid, în contextul cerințelor actuale privind reducerea impactului transporturilor asupra mediului. Cercetarea pornește de la ipoteza că valorile concentrațiilor emisiilor și ale consumului de combustibil sunt influențate atât de regimul de funcționare al motorului, cât și de caracteristicile dinamice ale traficului, respectiv viteza de deplasare, opririle, accelerările și decelerările, tipul infrastructurii și intensitatea traficului rutier.

Pentru atingerea scopului propus au fost stabilite următoarele obiective specifice:

- Analiza literaturii de specialitate și a rezultatelor cercetărilor reprezentative privind influența traficului rutier asupra concentrațiilor de poluanți și consumului de combustibil;
- Dezvoltarea unui model experimental pentru evaluarea concentrațiilor emisiilor în funcție de intensitatea traficului, pe baza datelor reale și a analizei statistice a ciclurilor de conducere;
- Analiza comportamentului concentrațiilor emisiilor în regim de ralanti și în regim dinamic, în vederea identificării diferențelor determinate de regimul de funcționare al motorului;
- Determinarea variației concentrațiilor emisiilor și a consumului de combustibil în funcție de intensitatea traficului rutier – scăzută, moderată și ridicată – și de regimul de circulație urban sau extraurban;
- Identificarea secvențelor ciclurilor reale de conducere în care se produc creșteri importante ale concentrațiilor emisiilor și ale consumului de combustibil, precum și a segmentelor caracterizate prin valori semnificativ reduse;
- Compararea rezultatelor experimentale obținute pe standul dinamometric cu valorile declarate de producător conform WLTP, pentru evidențierea diferențelor dintre condițiile standardizate de testare și condițiile reale de exploatare;
- Evaluarea influenței sistemelor de management al motorului asupra concentrațiilor emisiilor și eficienței energetice;
- Analiza comparativă a ciclurilor urbane și extraurbane din perspectiva concentrațiilor emisiilor și a consumului de combustibil, în vederea identificării unor rezultate aplicabile managementului traficului rutier;
- Evaluarea posibilităților de reducere a concentrațiilor de poluanți prin optimizarea condițiilor de trafic, inclusiv prin managementul semafoarelor, utilizarea sensurilor giratorii, controlul vitezei și reducerea congestiei, prin modelarea și simularea unui ciclu real în mediul AMESIM.

2. STADIUL ACTUAL AL RELAȚIEI AUTOVEHICUL – TRAFIC RUTIER – EMISII POLUANTE ȘI CONSUM DE COMBUSTIBIL (ENERGIE)

Relația dintre autovehicul, condițiile de trafic rutier și performanța energetică necesită o abordare integrată, care să considere simultan particularitățile sistemului de propulsie, caracteristicile constructive ale vehiculului, infrastructura rutieră, parametrii fluxului de trafic și condițiile reale de exploatare. Evoluțiile tehnologice din domeniul autovehiculelor au urmărit optimizarea proceselor de ardere, reducerea pierderilor energetice, recuperarea energiei, dezvoltarea sistemelor de post-tratare și extinderea sistemelor de propulsie hibride și electrice. În paralel, dezvoltarea infrastructurii inteligente și a sistemelor moderne de management al traficului oferă posibilitatea optimizării fluxurilor de circulație și reducerii consumului de combustibil în condiții reale de exploatare.

Studiile actuale evidențiază faptul că performanța energetică și concentrațiile emisiilor nu sunt determinate exclusiv de caracteristicile motorului, ci rezultă din interacțiunea dintre vehicul, conducătorul auto, infrastructură și condițiile de trafic. Parametri precum masa și caracteristicile aerodinamice ale vehiculului, viteza, accelerația, densitatea traficului, perioadele de staționare, tipul intersecțiilor, semaforizarea și profilul longitudinal al drumului determină modificarea continuă a sarcinii sistemului de propulsie și, implicit, a consumului de combustibil și a concentrațiilor emisiilor. Această abordare constituie fundamentul analizei relației autovehicul–trafic–emisii–consum realizate în cadrul tezei.

2.1. Stadiul actual al cercetărilor privind influența parametrilor de trafic rutier asupra consumului de combustibil și emisiilor vehiculelor

Metodele de evaluare a consumului de combustibil și a emisiilor au evoluat de la testarea exclusivă în condiții standardizate de laborator către metode care combină măsurătorile efectuate în trafic real cu testările controlate pe standul dinamometric. Utilizarea sistemelor PEMS, a datelor OBD și GPS, precum și a sistemelor telematice permite caracterizarea comportamentului autovehiculelor în condiții reale de circulație, în timp ce reproducerea ciclurilor de conducere pe stand oferă controlul și repetabilitatea necesare comparării rezultatelor [19, 20].

Literatura de specialitate evidențiază influența semnificativă a regimului de trafic asupra consumului și emisiilor. Condițiile caracterizate prin viteze medii reduse, opriri frecvente și accelerări repetate determină creșterea consumului și modificarea concentrațiilor emisiilor, efectele fiind asociate în principal regimurilor tranzitorii care succed perioadelor de staționare [21]. Panta drumului și variațiile de viteză influențează suplimentar sarcina motorului și comportamentul NO_x [22], iar analiza datelor telematice confirmă corelația dintre viteza medie, durata funcționării la ralanti, numărul de opriri, profilul accelerației și consumul de combustibil [23]. De asemenea, elementele infrastructurii urbane, precum trecerile de pietoni nesemaforizate, pot determina apariția unor regimuri repetate de tip stop-and-go, cu efect asupra consumului și concentrațiilor instantanee ale emisiilor [24].

Un factor important îl reprezintă stilul de conducere. Testarea aceluiași autovehicul diesel, pe același traseu, cu 30 de conducători auto cu niveluri diferite de experiență, a evidențiat diferențe importante între stilurile de conducere. În cazul conducătorilor caracterizați prin accelerații mai intense și viteze medii mai ridicate, valorile medii ale NO_x și PM au fost cu până la 17 %, respectiv 29 % mai mari decât în cazul unui stil de conducere mai puțin agresiv. Alte cercetări confirmă creșterea consumului în cazul accelerațiilor intense și relevanța principiilor de eco-driving chiar și pentru ciclurile standardizate [25–27].

Studiile comparative privind sistemele convenționale, hibride și electrice evidențiază avantajele sistemelor electrificate în special în traficul urban, unde frânarea regenerativă permite recuperarea unei părți din energia cinetică disipată în mod normal prin frânare. În regim extraurban, caracterizat prin

viteze mai stabile și un număr redus de opriri, diferențele față de sistemele convenționale se diminuează [28–30]. În paralel, dezvoltarea modelelor statistice, a metodelor de machine learning și utilizarea seturilor extinse de date permit estimarea consumului și a emisiilor pe baza vitezei, accelerației, profilului traseului, condițiilor meteorologice și caracteristicilor traficului [20, 31–33].

2.2. Generalități privind dinamica autovehiculului în trafic

Dinamica autovehiculului influențează direct necesarul energetic al deplasării. Forța totală care se opune mișcării rezultă din acțiunea cumulată a rezistenței la rulare, rezistenței aerodinamice, rezistenței datorate pantei și rezistenței la accelerare. Modificarea acestor componente determină variația sarcinii sistemului de propulsie și, în consecință, a consumului de combustibil și a concentrațiilor emisiilor.

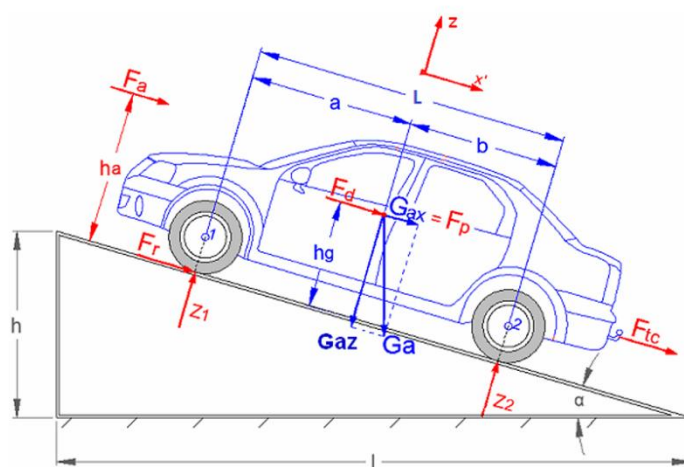


Fig. 2.1 - Forțele și momemtele care acționează asupra autovehiculului [34]

Rezistența la rulare este influențată în principal de caracteristicile pneurilor, presiunea acestora, sarcina verticală și caracteristicile suprafeței de rulare. Reducerea coeficientului de rezistență la rulare cu 10 % poate determina diminuarea consumului de combustibil cu aproximativ 1–2 % [35, 36]. Rezistența aerodinamică devine determinantă odată cu creșterea vitezei, datorită dependenței sale de pătratul vitezei. Reducerea cu 10 % a produsului dintre coeficientul aerodinamic și aria frontală poate conduce la o reducere cu aproximativ 2,5–3 % a consumului total de combustibil [37].

Tabelul 2.1 - Influența parametrilor constructivi, funcționali și de exploatare asupra consumului de combustibil.

Factor	Efect asupra consumului de combustibil	Fenomen
Masa vehicului	crește consumul proporțional cu masa	crește rezistența la rulare și energia necesară la accelerații
Coeficientul de rezistență la înaintare ($C_x \cdot A$)	crește exponențial la viteze mari	rezistența aerodinamică este proporțională cu v^2
Presiunea din anvelope	3–5 % la pneuri cu presiunea sub cea prescrisă [35]	crește rezistența la rulare
Regimul de funcționare al motorului	optim la 70–85 % din sarcina maximă [38, 39]	randament termic maxim
Stilul de conducere și condițiile de trafic	până la +40 % variație	acclerații inutile și agresive și staționări frecvente
Temperatura ambientală	Consumul crește la temperaturi negative (10-20%)	densitatea aerului și vâscozitatea uleiului cresc

Consumul de combustibil reprezintă un indicator fundamental al eficienței energetice și depinde de puterea necesară deplasării, randamentul sistemului de propulsie și regimul de funcționare. La viteze reduse, specifice traficului urban, opririle și accelerările repetate conduc la creșterea consumului raportat la distanță. În domeniul vitezelor medii, aproximativ 50–80 km/h, funcționarea sistemului de propulsie se poate desfășura într-o zonă favorabilă din punct de vedere energetic, în timp ce la viteze ridicate creșterea rezistenței aerodinamice determină majorarea necesarului energetic.

2.3. Elemente de bază ale sistemului rutier

Din punct de vedere tehnico-funcțional, sistemul rutier integrează infrastructura, mijloacele de control și siguranță împreună cu fluxul de trafic. Geometria drumurilor și a intersecțiilor, densitatea acestora, organizarea accesului și continuitatea traseelor determină vitezele de operare și distribuția fluxurilor, influențând implicit probabilitatea apariției congestiei. Sistemele de control al traficului – semafoare, indicatoare, marcaje, sisteme adaptive și măsuri de control al vitezei – modifică regimurile de oprire și pornire și durata staționărilor, având astfel implicații energetice directe.

Din perspectiva fluxului de trafic, parametrii relevanți sunt viteza medie și distribuția acesteia, densitatea, intensitatea, timpii de întârziere, numărul opririlor și lungimea cozilor. În mediul urban, succesiunea frecventă a fazelor de accelerare, decelerare și staționare determină un regim de funcționare mai variabil decât deplasarea fluentă. Densitatea ridicată a traficului conduce la viteze medii reduse și variații mai ample ale vitezei. Sistemele adaptive de semaforizare pot diminua timpul de staționare și numărul opririlor complete, contribuind la fluidizarea fluxului și la reducerea consumului de combustibil [40, 41].

2.4. Sistemele de propulsie ale autovehiculelor

Evoluția sistemelor de propulsie este determinată de raportul dintre densitatea energetică a sursei de energie, randamentul conversiei, performanțele dinamice, costuri și cerințele de mediu. Principalele arhitecturi actuale sunt sistemele convenționale bazate pe motoare cu ardere internă, sistemele hibride, care combină motorul termic și unul sau mai multe motoare electrice, și sistemele electrice alimentate de baterii.

Sistemele convenționale au cunoscut o evoluție tehnologică importantă odată cu introducerea succesivă a standardelor Euro. Integrarea convertorului catalitic cu trei căi și a sondei lambda, dezvoltarea injectiei directe, supraalimentarea, recircularea gazelor de evacuare și, ulterior, utilizarea filtrelor de particule și a sistemelor SCR au transformat motorul convențional într-un sistem complex, în care controlul procesului de ardere este strâns corelat cu managementul gazelor de evacuare. Evoluția de la Euro 1 la Euro 6 a fost însoțită de creșterea eficienței energetice și de diminuarea progresivă a emisiilor reglementate.

Sistemele hibride combină avantajele motorului cu ardere internă cu cele ale propulsiei electrice, permițând recuperarea energiei la frânare, asistarea motorului termic în fazele cu cerere ridicată de putere și, în funcție de arhitectură, deplasarea în regim exclusiv electric. Unitatea de control gestionează distribuția energiei între componente în funcție de sarcină, viteză, temperatură și starea bateriei [42–47]. Avantajele sunt mai evidente în traficul urban, unde frecvența ridicată a frânărilor permite recuperarea energiei, în timp ce masa suplimentară, complexitatea constructivă și dependența de starea bateriei constituie principalele limitări.

Sistemele electrice transformă energia electrică stocată în baterie în energie mecanică prin intermediul motorului electric și prezintă un randament ridicat al conversiei energetice. Principalele componente sunt bateria de tracțiune, sistemul de management al bateriei, electronica de putere, motorul electric și sistemele de control. Avantajele includ lipsa emisiilor locale provenite din procesul de ardere, recuperarea energiei la frânare și simplificarea transmisiei. Limitările sunt asociate densității energetice a bateriilor, masei, timpului de încărcare, infrastructurii, managementului termic și resurselor necesare fabricării bateriilor.

Tabelul 2.2 - Compararea arhitecturilor hibride: MHEV, HEV, PHEV și REE

Tip sistem hibrid	Denumire completă	Configurație energetică	Capacitate baterie	Posibilitate rulare electrică	Arhitectură mecanică	Avantaje principale	Limitări principale
MHEV	Mild Hybrid Electric Vehicle	Motor termic + generator electric de 48 V (asistență)	0,5–1 kWh	Nu (doar asistare)	Belt Starter Generator sau ISG	Consum redus 5–10%, cost mic, integrare simplă	Nu permite rulare electrică; câștig limitat în emisii
HEV	Hybrid Electric Vehicle	Motor termic + motor electric + baterie mică	1–2 kWh	Da, la viteze mici (sub 40 km/h, urban)	eCVT, transmisie planetară sau paralelă	Consum redus 15–25%, emisii mai mici, recuperare energie	Complexitate ridicată, masă suplimentară, performanță variabilă
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle	Motor termic + motor electric + baterie mare	10–25 kWh	Da, autonomie 40–80 km	Paralel/serie, încărcare la priză	Rulare electrică extinsă, emisii aproape zero în oraș, cost pe km redus	Masă mare, cost ridicat, eficiență scade dacă bateria e descărcată
REEV (opțional)	Range Extended Electric Vehicle	Tracțiune exclusiv electrică; MAI doar generator	15–40 kWh	Da, tracțiune 100% electrică	Motor termic necuplat la transmisie	Randament optim, emisii reduse, funcționare electrică permanentă	Sistem foarte complex, volum/baterie mare, producție scumpă

2.5. Efectele elementelor constructive ale sistemului de propulsie asupra emisiilor și consumului de combustibil (energie) în diferite condiții de trafic

Caracteristicile constructive ale motorului, sistemului de alimentare și transmisiei determină modul în care sistemul de propulsie răspunde variațiilor impuse de traficul rutier. În cazul motoarelor cu aprindere prin scânteie, evoluția sistemelor de injecție de la PFI/MPI către injecția directă GDI a permis un control mai precis al formării amestecului și susținerea strategiilor de downsizing (strategii de reducere a cilindrului motorului) și supraalimentare. Creșterea presiunii de injecție favorizează atomizarea combustibilului și formarea unui amestec mai omogen, dar presupune și creșterea solicitărilor sistemului de alimentare [48–53].

Tabelul 2.3 - Sinteză comparativă (presiunea de injecție)

Sistem	Domeniu tipic de presiune (ordine de mărime)	Efecte dominante asupra consumului/emisiilor
MAS – PFI/MPI	joasă presiune 2,5–4 bar (0,25–0,4 MPa)	amestec stabil, PN/PM mai redus decât GDI, dar control mai limitat la downsizing
MAS – GDI modern	până la ~35 MPa (350 bar)	atomizare mai fină, potențial consum mai mic; risc PN/PM în cazul depunerii combustibilului pe pereții cilindrului (reduc prin presiune ridicată, strategii de injecție și utilizarea filtrului de particule GPF).
MAS – GDI avansat	50 MPa (500+ bar) (tendință)	țintă: reducere particule și îmbunătățire pulverizare/ardere
MAC – Common Rail	~2.000–2.500 bar (modern)	scade soot/PM, permite injecții multiple; posibil compromis NO _x fără EGR/SCR
MAC – CR avansat	până la ~3.000 bar	țintă: eficiență și emisii mai bune, control mai fin al injecției

Pentru motoarele cu aprindere prin comprimare, dezvoltarea sistemului Common Rail a permis separarea producerii presiunii de momentul injecției și realizarea injecțiilor multiple. Evoluția presiunilor de injecție, împreună cu îmbunătățirea vitezei de răspuns a injectoarelor și strategiile electronice de control, a permis optimizarea procesului de ardere. Injecțiile pilot, principale și post-injecțiile permit modelarea ratei de eliberare a căldurii, reducerea zgomotului, controlul formării NO_x și particulelor respectiv gestionarea regenerării filtrului DPF. În sistemele moderne, injecția, EGR, supraalimentarea și sistemele DOC/DPF/SCR funcționează integrat, deoarece optimizarea izolată a unui singur parametru nu este suficientă pentru obținerea simultană a eficienței energetice și a unor concentrații reduse ale emisiilor [54, 55].

Transmisia are, la rândul său, un rol important în eficiența energetică, deoarece stabilește punctul de funcționare al motorului în raport cu cererea de putere la roți. Creșterea numărului de rapoarte, reducerea pierderilor interne, utilizarea funcției de blocare a convertizorului, strategiile de coasting și integrarea controlului motor–transmisie permit menținerea motorului în zone cu randament superior. Transmisiile automate moderne, transmisiile cu dublu ambreiaj, CVT și transmisiile destinate sistemelor hibride reduc dependența performanței energetice de modul în care conducătorul auto selectează treptele de viteză, avantaj important în condițiile unui trafic caracterizat prin variații frecvente ale vitezei și sarcinii.

2.6. Efectele factorilor funcționali ai sistemului de propulsie asupra emisiilor și consumului de combustibil (energie) în diferite condiții de trafic

Pe lângă factorii constructivi, comportamentul sistemului de propulsie în condiții reale de trafic este influențat de turația și sarcina motorului, regimul termic și gradul de electrificare. Acești parametri determină poziționarea punctului de funcționare pe harta motorului și influențează direct consumul de combustibil și concentrațiile emisiilor în regim urban, extraurban și de autostradă [56, 57].

Turația motorului influențează pierderile mecanice și de pompaj, procesul de ardere și consumul specific. Domeniul de eficiență maximă se situează, în general, la turații și sarcini intermediare, în timp ce funcționarea la turații foarte reduse sau foarte ridicate conduce la creșterea consumului specific [58]. Sarcina motorului are o influență similară, regimurile de sarcină redusă fiind asociate cu funcționarea în afara domeniului de randament maxim, iar sarcinile ridicate cu temperaturi mai mari ale procesului de ardere și modificarea formării NO_x și particulelor.

Regimul termic prezintă o importanță deosebită deoarece influențează atât procesul de ardere, cât și eficiența sistemelor de post-tratare DOC, TWC, DPF/GPF și SCR. În perioada de încălzire după pornirea la rece, temperaturile insuficiente limitează eficiența conversiei, ceea ce explică apariția unor concentrații ridicate ale emisiilor în primele minute de funcționare [59, 60].

Electrificarea sistemului de propulsie modifică regimul de funcționare al motorului cu ardere internă prin recuperarea energiei la frânare și posibilitatea deplasării punctelor de funcționare către zone cu eficiență energetică superioară. Avantajele sistemelor hibride sunt mai pronunțate în regimurile urbane și suburbane, caracterizate prin accelerări, decelerări și opriri frecvente, în timp ce la viteze ridicate aportul sistemului electric poate deveni mai redus [57, 58, 61].

2.7. Influența parametrilor constructivi ai autovehiculelor asupra emisiilor și consumului de combustibil (energie) în diferite condiții de trafic

În condiții reale de circulație, necesarul de putere la roată este influențat de masa autovehiculului, caracteristicile aerodinamice și rezistența la rulare. Principalii parametri constructivi analizați sunt masa vehiculului, aria secțiunii frontale, coeficientul aerodinamic și caracteristicile pneurilor, efectele acestora fiind diferite în funcție de regimul de trafic [62].

Masa autovehiculului influențează în special energia necesară accelerării și rezistența la rulare. Efectul său este mai pronunțat în traficul urban de tip stop-and-go, caracterizat prin accelerări și decelerări repetate, în timp ce la viteze constante ridicată influența parametrilor aerodinamici devine dominantă [63–65].

Aria secțiunii frontale și coeficientul aerodinamic determină rezistența aerului. Influența acestora este relativ redusă la viteze mici, dar crește semnificativ în regim extraurban și de autostradă, unde rezistența aerodinamică reprezintă o componentă importantă a necesarului energetic [66–69].

Pneurile influențează consumul prin rezistența la rulare, dependentă de construcția pneului, sarcină, temperatură și presiunea de umflare. Utilizarea pneurilor cu rezistență redusă la rulare și menținerea presiunii corespunzătoare contribuie la diminuarea pierderilor energetice și, implicit, a consumului de combustibil [70–72].

2.8. Influența parametrilor caracteristici ai traficului rutier asupra emisiilor și consumului de combustibil (energie) ale autovehiculelor

Parametrii traficului rutier acționează asupra consumului de combustibil și concentrațiilor emisiilor prin două mecanisme principale: modificarea puterii solicitate la roți și modificarea regimului termic al motorului și al sistemelor de post-tratare. Viteza, accelerația, decelerația, frecvența opririlor și durata funcționării la ralanti sunt, în consecință, parametri esențiali pentru caracterizarea unui ciclu real de conducere. Modelele moderne, precum COPERT, VSP și STP, utilizează viteza și/sau cererea de putere pentru descrierea acestor efecte [73–75].

Accelerațiile și decelerațiile frecvente determină variații rapide ale cererii de putere și deplasează punctele de funcționare ale motorului în afara zonelor cu eficiență energetică optimă. Energia furnizată pentru accelerarea vehiculului este ulterior disipată în mare parte prin frânare, cu excepția sistemelor capabile de recuperare regenerativă. Din acest motiv, reducerea variațiilor de viteză, anticiparea condițiilor de trafic și limitarea accelerațiilor inutile constituie principii importante ale conducerii eficiente energetic [76–78]. Deviația standard a vitezei poate fi utilizată pentru caracterizarea instabilității regimului de deplasare, valorile ridicate fiind asociate cu alternanțe frecvente între accelerare, frânare și relansare [79].

Mersul în gol prezintă o particularitate importantă, deoarece presupune consum de combustibil fără realizarea unei deplasări efective. Impactul este mai pronunțat în traficul urban, caracterizat prin opriri repetate [80, 81]. Regimul termic are, de asemenea, o influență importantă: la temperaturi reduse ale motorului, procesul de ardere și sistemele de post-tratare nu funcționează încă în domeniul optim, ceea ce determină modificarea concentrațiilor emisiilor [82–84].

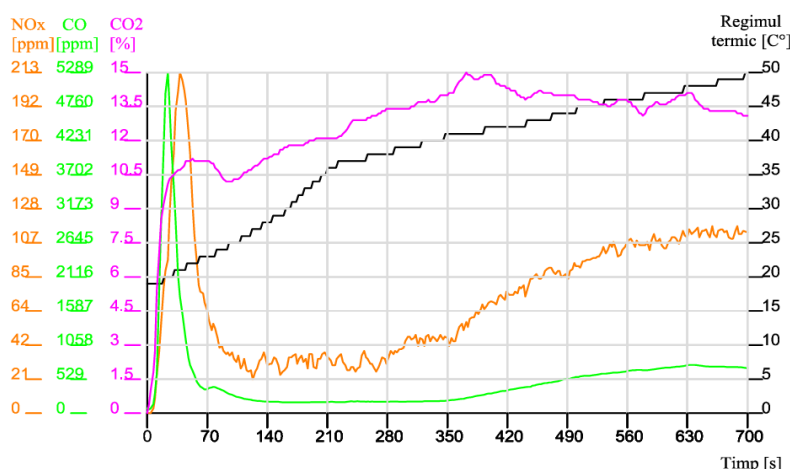


Fig. 2.2 - Diagrama de variație a concentrației emisiilor de NO_x, CO și CO₂ în funcție de regimul termic la MAS [33]

Sistemele Start–Stop permit eliminarea unei părți din consumul asociat funcționării la ralanti prin oprirea automată a motorului în timpul staționării și repornirea acestuia la reluarea deplasării [85–87]. Eficiența acestor sisteme este dependentă de temperatura motorului și de durata opririlor, beneficiile fiind mai importante atunci când staționările au o durată suficientă pentru a compensa energia necesară repornirii [88–90].

Stilul de conducere constituie un alt factor determinant. Accelerațiile intense, frânările frecvente și variațiile ample ale vitezei determină creșterea necesarului energetic, în timp ce menținerea unei viteze cât mai constante și anticiparea traficului reduc pierderile asociate regimurilor tranzitorii [91]. Sistemele de feedback, eco-coaching și eco-score utilizează parametri precum viteza, accelerația, turația motorului și poziția pedalei de accelerație pentru identificarea manevrelor cu eficiență energetică redusă și furnizarea unor recomandări conducătorului auto [92–97].

Pe lângă parametrii dinamici, condițiile ambientale și starea tehnică a autovehiculului influențează consumul și concentrațiile emisiilor. Temperaturile scăzute prelungesc perioada necesară atingerii regimului termic optim al motorului și sistemelor de post-tratare, efectul fiind relevant în special pentru deplasările urbane scurte [83]. Întreținerea necorespunzătoare, defecțiunile sistemelor auxiliare sau creșterea rezistenței la admisie pot modifica performanța energetică [80, 98]. Compoziția combustibilului poate influența procesul de ardere și formarea emisiilor [99], iar vâscozitatea lubrifiantului influențează pierderile mecanice prin frecare și, implicit, consumul de combustibil [100, 101].

2.9. Cicluri de conducere utilizate la măsurarea emisiilor și a consumului de combustibil (energie)

Evaluarea autovehiculelor moderne utilizează atât proceduri standardizate de laborator, cât și teste efectuate în condiții reale. RDE (Real Driving Emissions) a fost introdus în Uniunea Europeană pentru completarea testelor de laborator și pentru evaluarea comportamentului autovehiculelor în condiții reale de trafic, caracterizate prin variații reale ale vitezei, topografiei și condițiilor ambientale [102, 103].

Testarea RDE utilizează sisteme PEMS instalate direct pe autovehicul, care permit măsurarea continuă a emisiilor la evacuare simultan cu înregistrarea parametrilor de deplasare și a condițiilor ambientale. Un traseu RDE include condiții urbane, rurale și de autostradă, fiind astfel caracterizat printr-o variabilitate mai ridicată decât un ciclu standardizat de laborator. Criteriile de validitate, condițiile de testare, echipamentele și metodele de procesare sunt stabilite prin reglementări specifice [104–107].

În comparație, WLTP asigură condiții controlate și repetabile, necesare omologării și comparării autovehiculelor, în timp ce RDE permite evaluarea comportamentului acestora în condiții reale de exploatare. Cele două metode au, prin urmare, roluri complementare: WLTP furnizează o referință standardizată, iar RDE permite verificarea măsurii în care performanța observată în condiții controlate se menține în exploatarea reală.

Tabelul 2.4 - Compararea dintre testele RDE și WLTP

Aspect	RDE (condiții reale)	WLTP (laborator)
Mediu de testare	Drumul public, trafic real	Banc dinamometric, condiții controlate
Variabilitatea profilului de viteză	Variabil, specific fiecărui traseu	Standardizat, predeterminat
Reprezentativitate pentru utilizare reală	Ridicată	Limitată
Poluanți monitorizați	Poluanți în trafic real (NO _x , PM)	Poluanți reglementați în laborator
Echipament	PEMS portabil	Măsurare fixă, controlată

Analiza stadiului actual al cercetărilor evidențiază astfel faptul că evaluarea consumului de combustibil și a concentrațiilor emisiilor nu poate fi realizată exclusiv prin raportare la caracteristicile constructive ale autovehiculului sau la valorile obținute într-un ciclu standardizat. Viteza și variația acesteia, accelerațiile și decelerațiile, perioadele de staționare, intensitatea traficului, infrastructura,

regimul termic, stilul de conducere și caracteristicile sistemului de propulsie interacționează și determină comportamentul energetic și nivelul concentrațiilor emisiilor în exploatarea reală. Această constatare fundamentează necesitatea utilizării unor cicluri de conducere obținute din trafic real și a reproducerii acestora în condiții controlate, astfel încât influența parametrilor de trafic asupra consumului de combustibil și a concentrațiilor emisiilor să poată fi evaluată experimental în condiții comparabile și repetabile

3. MODELAREA ȘI SIMULAREA CICLURILOR REALE ÎN MEDIUL AMESIM

Modelarea și simularea numerică permit evaluarea comportamentului autovehiculului în condiții controlate și analiza influenței diferiților parametri funcționali asupra consumului de combustibil și a concentrațiilor emisiilor. Utilizarea modelelor numerice permite integrarea principalelor subsisteme ale autovehiculului și reproducerea ciclurilor reale de conducere, definite prin variația vitezei în timp [108, 109]. Prin modificarea controlată a profilului de viteză pot fi analizate comparativ diferite condiții de trafic și poate fi evaluat efectul uniformizării deplasării asupra eficienței energetice și a concentrațiilor emisiilor [110].

3.1. Obiectivele urmărite în simularea ciclurilor de testare

În cadrul cercetării a fost realizată simularea unui ciclu urban real pentru autovehiculul 2 (V2), echipat cu motor cu aprindere prin scânteie (MAS), utilizând un model numeric dezvoltat în mediul AMESIM. Obiectivul principal a constat în reproducerea unui ciclu real de deplasare și evaluarea influenței uniformizării vitezei asupra consumului de combustibil și a concentrațiilor emisiilor de CO, CO₂ și NO_x.

În acest scop, a fost identificată o secțiune caracterizată prin viteze reduse și variații frecvente ale acestora, reprezentativă pentru traficul urban congestionat. Tronsonul analizat este situat pe B-dul 15 Noiembrie, între intersecțiile cu strada Castanilor și strada Mihail Kogălniceanu (Fig. 3.1), unde profilul experimental de viteză evidențiază variații frecvente în intervalul 15–40 km/h. Condițiile de circulație sunt influențate și de utilizarea infrastructurii: dintre cele trei benzi disponibile, una este destinată transportului public, iar o alta este afectată de manevrele de parcare, circulația desfășurându-se predominant pe banda centrală.



Fig. 3.1 - Organizare infrastructură rutieră - B-dul 15 Noiembrie cu cele trei benzi de circulație

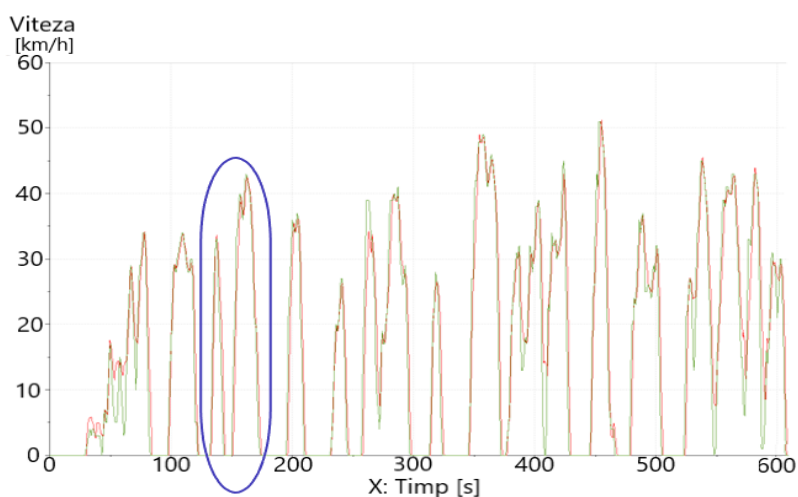
Pornind de la aceste condiții, a fost analizat un scenariu ipotetic de optimizare prin creșterea capacității de circulație și uniformizarea regimului de deplasare. În modelul numeric, intervenția a fost reprezentată prin impunerea unei viteze constante de 30 km/h pe secțiunea selectată a ciclului, pentru a evalua efectele reducerii regimurilor tranzitorii asupra parametrilor analizați.

3.2. Metodologia de modelare și simulare

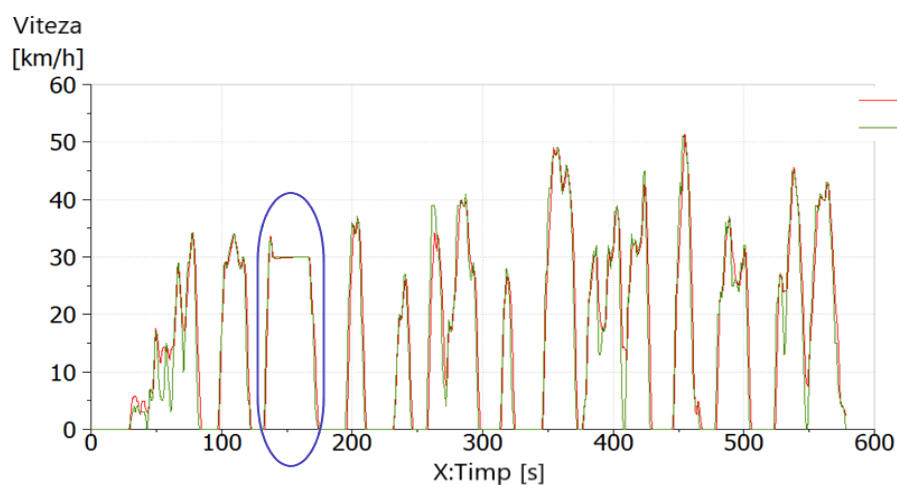
Modelarea a fost realizată printr-o abordare de tip „forward-looking”, în care comportamentul dinamic al autovehiculului este determinat în funcție de condițiile de rulare impuse. Modelul autovehiculului a fost configurat utilizând parametrii tehnici ai motorului, transmisiei și vehiculului, precum și

caracteristicile rezistențelor la înaintare și condițiile de mediu. Structura modulară integrează conducătorul auto, unitatea de control a motorului (ECU), motorul cu ardere internă, transmisia și dinamica longitudinală a vehiculului. Motorul a fost definit prin hărți caracteristice turație–sarcină, iar transmisia prin rapoartele de transmitere, randamentele mecanice și strategia de schimbare a treptelor.

Ciclul urban real a fost introdus în model sub forma unui semnal viteză–timp, pe baza căruia blocul „Driver” generează comenzile de accelerație și frânare necesare reproducerii profilului impus. În intervalul 130–175 s, ciclul inițial prezintă oscilații repetate ale vitezei, între 0 și 40 km/h, caracteristice traficului congestionat. Pentru scenariul optimizat, acest regim a fost înlocuit cu deplasarea la o viteză constantă de 30 km/h.



a)



b)

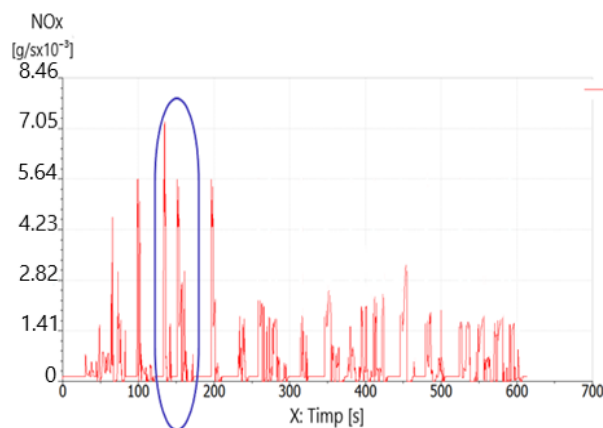
Fig. 3.2 - Ciclul urban realizat în mediul AMSIM (culoarea verde-reprezintă viteza impusă iar cea roșie viteza reală simulată de vehicul): a) Ciclul de referință; b) Ciclul optimizat

Analiza comparativă a celor două scenarii urmărește consumul de combustibil și concentrațiile emisiilor, modelul determinând în mod iterativ parametrii dinamici și funcționali ai autovehiculului. Această metodologie permite evaluarea directă a influenței uniformizării vitezei asupra funcționării sistemului de propulsie.

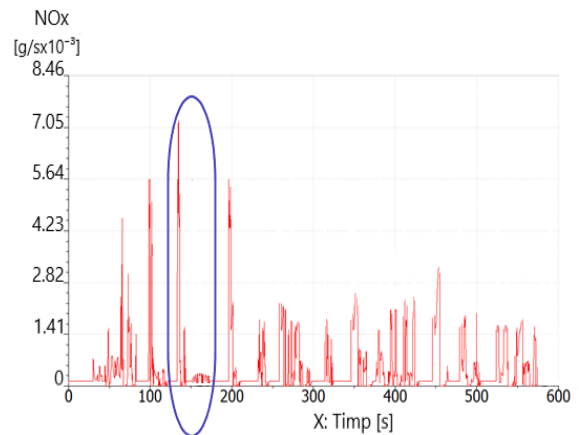
3.3. Simularea ciclurilor de conducere utilizând datele din traficul real

Înainte de evaluarea scenariului de optimizare a fost realizată validarea modelului AMESIM prin compararea rezultatelor simulate cu cele experimentale obținute pe standul dinamometric pentru același profil de viteză. Validarea este necesară pentru verificarea capacității modelului de a reproduce comportamentul autovehiculului în condițiile ciclului urban analizat și pentru fundamentarea utilizării ulterioare a acestuia în evaluarea scenariului modificat.

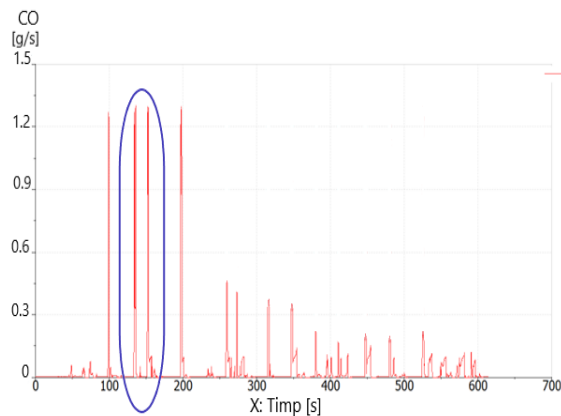
Compararea rezultatelor experimentale cu cele simulate evidențiază o concordanță bună a evoluției parametrilor analizați. Pentru concentrațiile emisiilor de NO_x , CO și CO_2 , modelul reproduce tendințele observate experimental, inclusiv valorile ridicate din prima parte a ciclului și reducerea acestora după stabilizarea regimului termic și intrarea în funcțiune eficientă a sistemului de post-tratare. În cazul CO, valorile maxime simulate în primele 200 s ajung la aproximativ 1,3 g/s, comparativ cu valori experimentale care nu depășesc 1 g/s.



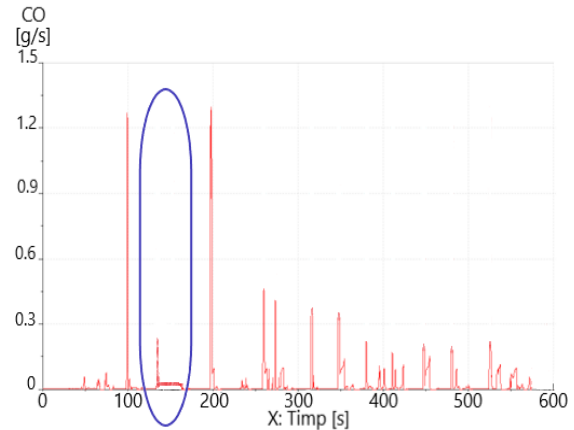
a)



b)



c)



d)

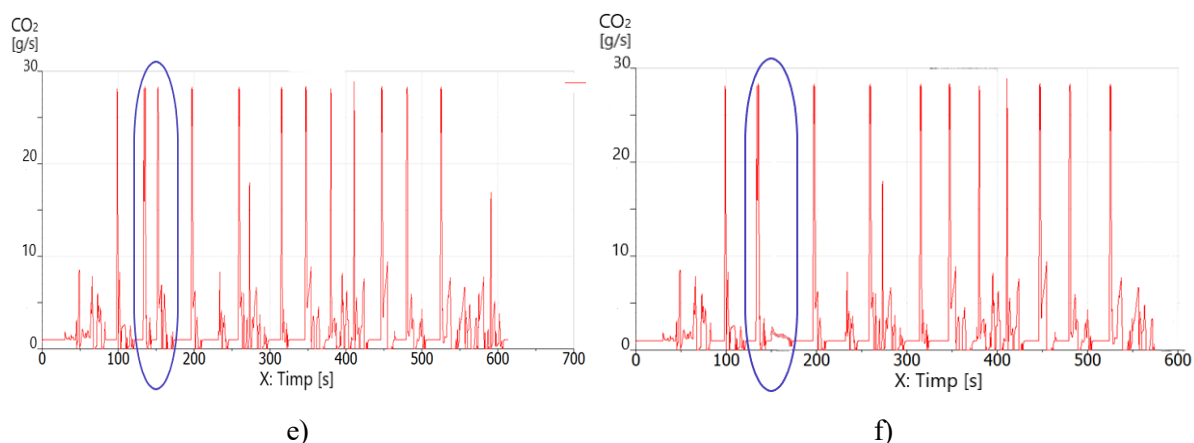


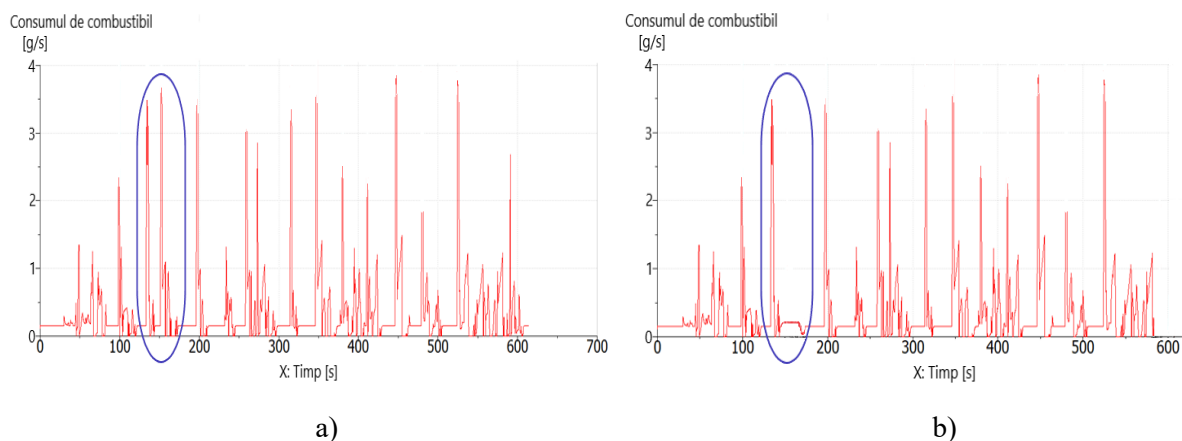
Fig. 3.3 - Valorile emisiei instantanee (V2-MAS + convertor catalitic cu 3 căi): a); c) și e) în condiții de laborator; b); d) și f) în mediul AMSIM

O concordanță foarte bună a fost obținută și pentru consumul de combustibil. Consumul total determinat experimental a fost de 355 g, echivalent cu 10,2 l/100 km, în timp ce simularea AMESIM a indicat 362 g, respectiv 10,4 l/100 km. Diferența redusă dintre cele două rezultate confirmă capacitatea modelului de a reproduce comportamentul energetic al autovehiculului și justifică utilizarea acestuia pentru analiza scenariului de optimizare.

Analiza regimului tranzitoriu evidențiază o corelație directă între variațiile vitezei, solicitarea motorului și consumul instantaneu de combustibil. Vârfurile de consum apar în special în fazele de accelerație, când crește necesarul de putere și cantitatea de combustibil injectată. În zona din jurul secunde 153, creșterea vitezei până la aproximativ 35–40 km/h determină o majorare a consumului cu aproximativ 300 % față de secvențele anterioare, concomitent cu creșterea valorilor CO_2 și CO.

Pentru evaluarea efectului fluidizării traficului, profilul de viteză a fost modificat numai pe segmentul 130–170 s, restul ciclului fiind menținut neschimbat. Impunerea vitezei constante de 30 km/h a redus fluctuațiile parametrilor analizați, ca urmare a eliminării accelerărilor și decelerărilor repetate și a stabilizării sarcinii motorului.

În cazul CO, valorile din intervalul optimizat tind spre un regim aproape constant, sub 0,1 g/s, iar variațiile CO_2 sunt, de asemenea, diminuate. Acest comportament este asociat reducerii solicitărilor tranzitorii și uniformizării debitului de combustibil necesar deplasării.



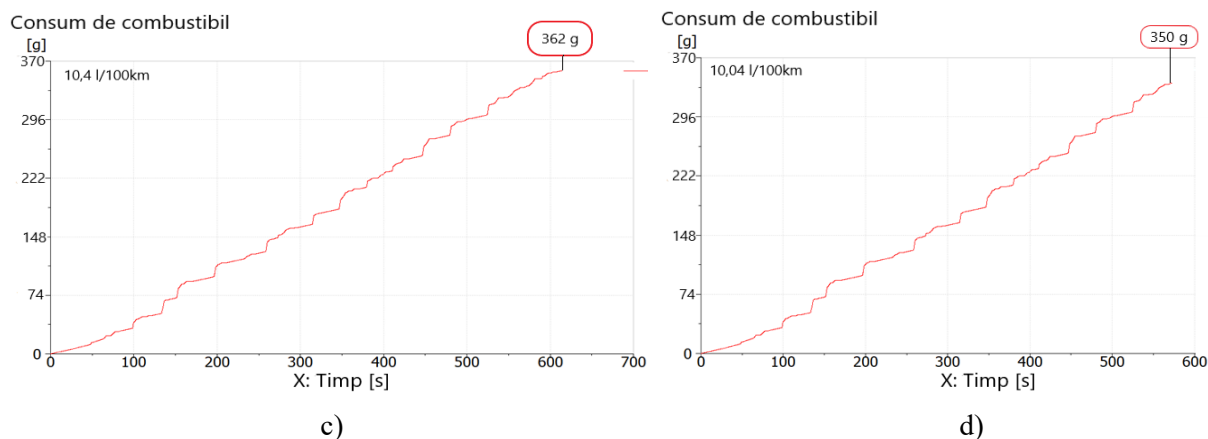


Fig. 3.4 - Valorile consumului de combustibil (V2-MAS + convertor catalitic cu 3 căi): a) și c) în condiții de laborator; b) și d) în mediul AMSIM

Rezultatul cantitativ principal al simulării îl reprezintă reducerea consumului total de combustibil de la 362 g la 350 g pe ciclu, corespunzătoare unei diminuări de aproximativ 3,31 %. Consumul specific s-a redus de la 10,4 l/100 km la 10,04 l/100 km, respectiv cu 0,36 l/100 km. Rezultatele evidențiază astfel faptul că uniformizarea vitezei pe segmentul analizat conduce la reducerea consumului de combustibil și la diminuarea variațiilor concentrațiilor emisiilor de NO_x , CO și CO_2 în zona asupra căreia s-a intervenit.

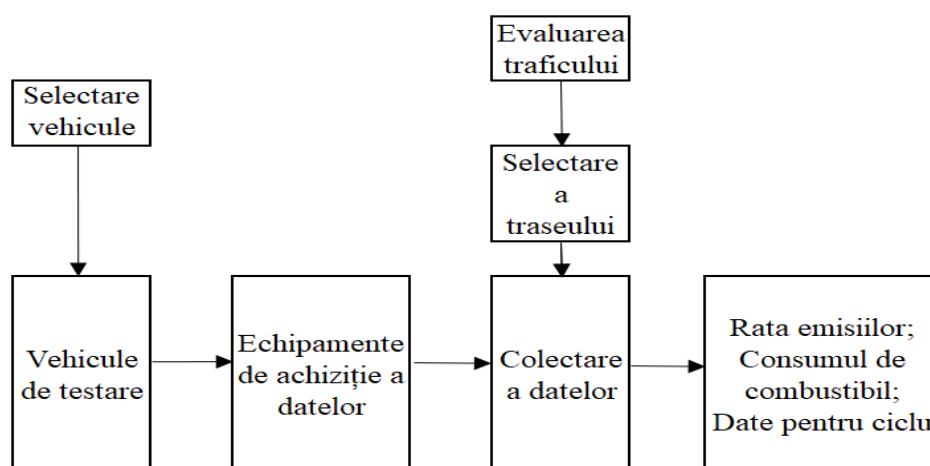
Prin urmare, modelarea numerică confirmă influența directă a regimului de trafic asupra funcționării sistemului de propulsie. Reducerea regimurilor tranzitorii și menținerea unei viteze uniforme pot îmbunătăți eficiența energetică a autovehiculului, rezultatele obținute constituind baza pentru evaluarea unor măsuri de fluidizare a traficului urban.

4. CERCETAREA EXPERIMENTALĂ ȘI PRELUCRAREA DATELOR

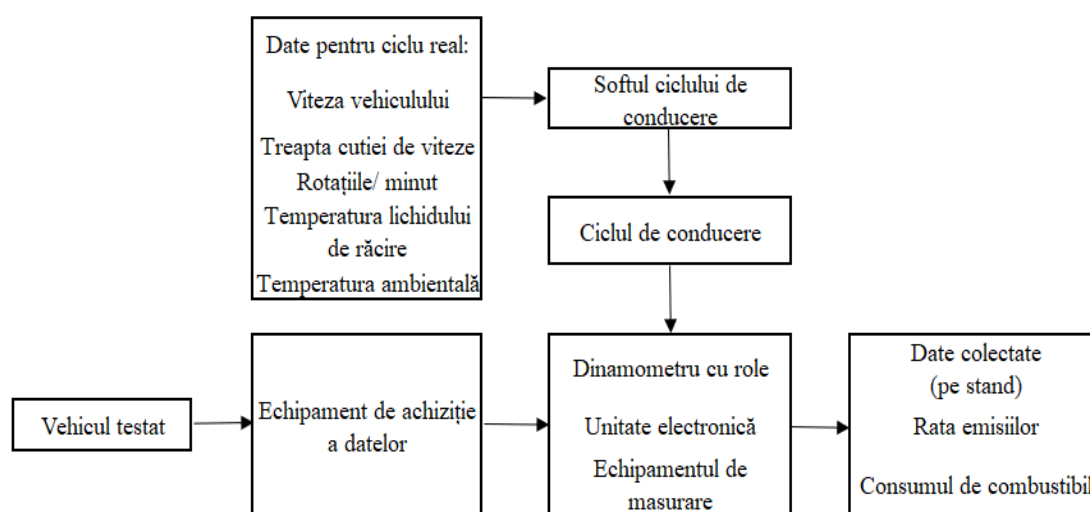
4.1. Metodica cercetării experimentale

Cercetarea experimentală a fost concepută astfel încât să permită evaluarea influenței condițiilor reale de trafic asupra consumului de combustibil și concentrațiilor emisiilor, asigurând în același timp repetabilitatea și comparabilitatea măsurătorilor. Metodologia adoptată a urmărit corelarea comportamentului autovehiculelor în trafic real cu rezultatele obținute în condiții controlate de laborator.

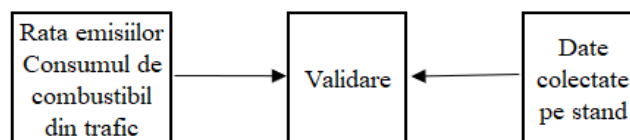
Programul experimental a fost structurat în două etape complementare. Prima etapă a constat în efectuarea cercetărilor în trafic real, pe trasee prestabilite, reprezentative pentru condițiile urbane, suburbane și extraurbane. În această etapă au fost înregistrați parametri dinamici ai deplasării, în principal viteza, accelerațiile, decelerațiile și opririle. În cea de-a doua etapă, ciclurile de conducere obținute din traficul real au fost reproduse pe standul dinamometric, în condiții controlate și repetabile, fiind înregistrate concentrațiile emisiilor, consumul de combustibil și parametri de funcționare ai autovehiculului.



a)



b)



c)

Fig.4.1 - Diagrama generală a cercetării: a) Organizarea cercetării experimentale în trafic real, b) Organizarea cercetării experimentale în trafic simulat în laborator, c) Schema de validare a rezultatelor

4.1.1. Pregătirea echipamentelor destinate cercetării experimentale

În etapa inițială, fiecare autovehicul a fost testat în trafic pe același traseu prestabilit, iar traseul respectiv a fost ulterior reprodus pe standul dinamometric MAHA LPS 3000. Analiza preliminară a evidențiat însă că variațiile inevitabile ale vitezei, accelerațiilor și decelerațiilor dintre două parcurgeri ale aceluiași traseu nu permiteau realizarea unei comparații riguroase între autovehicule.

Pentru eliminarea acestei limitări metodologice, cercetarea a fost extinsă prin înregistrarea și analiza a peste 220 de cicluri reale de conducere, corespunzătoare unor condiții diferite de trafic urban, extrurban și mixt. Din totalitatea acestora au fost selectate cicluri reprezentative, care au fost ulterior reproduse în laborator în condiții identice. Această abordare a permis reducerea variabilității asociate traficului real și realizarea unor comparații relevante între autovehiculele analizate.

Datele viteză-timp înregistrate în trafic au fost introduse în programul standului dinamometric, acesta generând profilul ciclului pe care conducătorul auto trebuia să îl urmărească în timpul testului. Pentru asigurarea fidelității reproducerii, abaterea admisă față de viteza ciclului real a fost limitată la ± 2 km/h. Depășirea acestui interval era semnalată vizual conducătorului auto, permițând corectarea imediată a vitezei.

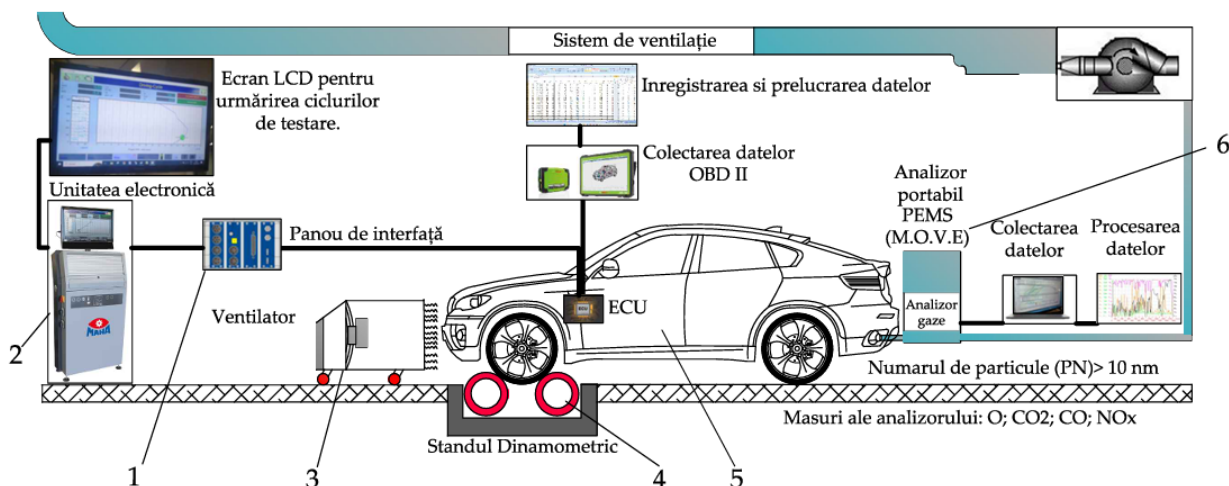
4.1.1.1. Pregătirea autovehiculelor pentru cercetarea experimentală

Înainte de testele, autovehiculele au fost verificate pentru a elimina influența unor factori tehnici care ar fi putut modifica rezultatele. Acestea trebuiau să fie în stare tehnică corespunzătoare, fără defecțiuni mecanice sau electronice și fără neetanșeități ale sistemului de evacuare. Nu au fost admise modificări ale sistemelor de control al emisiilor, unității electronice de comandă sau sistemului de injecție. Au fost verificate, de asemenea, sistemele de frânare și direcție, starea pneurilor și presiunea de umflare recomandată de producător.

Masa fiecărui autovehicul a fost determinată împreună cu conducătorul auto și echipamentele necesare testării, valoarea fiind utilizată la stabilirea masei echivalente de inerție aplicate pe stand. Testele au fost realizate cu motorul inițial rece, la o temperatură sub 20 °C, iar temperatura laboratorului a fost menținută în intervalul stabilit pentru cercetare.

4.1.1.2. Pregătirea echipamentelor de cercetare experimentală

Configurația experimentală a inclus standul dinamometric MAHA LPS 3000, analizorul de gaze Madur GA 21 Plus, debitmetrul de combustibil AIC 1200, calculatorul de bord BC 3329 LOG 20 și sistemul de diagnosticare Bosch KTS 560. Utilizarea integrată a acestor echipamente a permis înregistrarea simultană a concentrațiilor emisiilor, consumului de combustibil și parametrilor funcționali ai autovehiculului. Analizorul de gaze a fost supus periodic operațiilor de calibrare pentru menținerea acurateței măsurărilor.



a)



b)

Fig. 4.2 - Laborator pentru cercetarea experimentală: a) Schema standului de cercetare; b) Vedere a standului de cercetare; 1. Sistem de conectare al instalației electronice al sistemul vehiculului (OBD II), 2. Sistem de control, 3. Ventilatoare (2 bucăți), 4. Role cu sisteme de frânare cu curenți turbionari, 5. Vehicul testat, 6. Sistem de eșantionare a gazelor de evacuare pentru analizor.

Pregătirea standului a presupus calibrarea acestuia, verificarea rolor și a sistemului de frânare, precum și introducerea parametrilor caracteristici fiecărui autovehicul. Totodată, au fost verificate sistemul frontal de ventilare, evacuarea gazelor și ventilarea laboratorului. Aceste operații au avut rolul de a limita influența factorilor externi și de a asigura reproducerea corespunzătoare a condițiilor de deplasare.

4.1.2. Criterii de selectare a traseelor pentru cercetare în vederea realizării ciclurilor de conducere reale

Traseele au fost selectate astfel încât să fie reprezentative pentru condițiile de circulație din municipiul Brașov și zonele adiacente. Alegerea acestora a luat în considerare atât intensitatea traficului, cât și complexitatea infrastructurii rutiere, caracterizată prin intersecții semaforizate, intersecții dirijate prin indicatoare, sensuri giratorii, treceri pentru pietoni și stații ale transportului public.

Un criteriu important a fost variația fluxurilor de trafic în funcție de intervalul orar, fiind urmărite atât perioadele de vârf, cât și cele caracterizate printr-o intensitate redusă a circulației. Traseele au fost stabilite astfel încât să reflecte mobilitatea specifică orașului și legăturile către instituții administrative,

unități de învățământ, spitale, zone economice și alte rute importante de transport. Pentru fundamentarea selecției a fost realizat un studiu de trafic.

4.2. Autovehicule folosite pentru teste (caracteristicile autovehiculelor)

Selecția autovehiculelor a urmărit evidențierea influenței condițiilor de trafic asupra unor sisteme de propulsie cu particularități constructive și funcționale diferite. Cercetarea a fost organizată în două etape. **În prima etapă** au fost analizate patru autovehicule, două echipate cu motoare cu aprindere prin scânteie (MAS) și două cu motoare cu aprindere prin comprimare (MAC), pentru evaluarea influenței condițiilor de trafic urban la diferite ore ale zilei asupra consumului de combustibil și concentrațiilor emisiilor.

În etapa a doua au fost incluse cinci autovehicule: două cu motoare cu aprindere prin scânteie, două cu motoare cu aprindere prin comprimare și un autovehicul cu sistem de propulsie hibrid. Testele au urmărit influența regimului termic al motorului, accelerațiilor și decelerațiilor și structurii traficului asupra parametrilor analizați. Alegerea autovehiculelor a avut în vedere diferențe privind producătorul, tipul sistemului de propulsie, caroseria, cilindrul, puterea și masa, vehiculele fiind încadrate în normele Euro 6 și Euro 6d-temp.

Această diversitate a permis evaluarea comparativă a răspunsului diferitelor sisteme de propulsie la aceleași condiții de deplasare a efectelor determinate de traficul rutier de cele asociate particularităților constructive ale autovehiculelor.

4.3. Caracteristicile echipamentelor folosite în cercetarea experimentală

Cercetarea experimentală a necesitat măsurarea simultană a parametrilor dinamici ai autovehiculului, parametrilor funcționali ai motorului, concentrațiilor emisiilor și consumului de combustibil. În acest scop au fost utilizate standul dinamometric MAHA LPS 3000, analizorul de gaze GA 21 Plus, sistemul de diagnosticare Bosch KTS 560 și sistemul de măsurare a consumului de combustibil format din debitmetrul AIC 1200 și calculatorul BC 3329. Integrarea acestor echipamente a permis corelarea temporală a regimului de funcționare al autovehiculului cu valorile concentrațiilor emisiilor și ale consumului de combustibil.

4.3.1. Stand dinamometric

Standul dinamometric MAHA LPS 3000 a reprezentat elementul central al instalației experimentale, deoarece permite reproducerea în laborator a ciclurilor de conducere înregistrate în trafic real. Sistemul cu role și frână cu curenți turbionari aplică o sarcină controlată roților motoare, simulând rezistențele întâlnite în timpul deplasării.

Un avantaj esențial pentru cercetarea realizată îl constituie repetabilitatea: același profil viteză–timp poate fi reprodus pentru autovehicule diferite, în condiții controlate, eliminând variațiile inevitabile care apar în traficul real. Standul permite, de asemenea, măsurarea vitezei, cuplului și puterii și integrarea datelor furnizate de analizorul de gaze și de sistemul OBD II. Acuratețea măsurărilor standului este de aproximativ $\pm 2\%$.

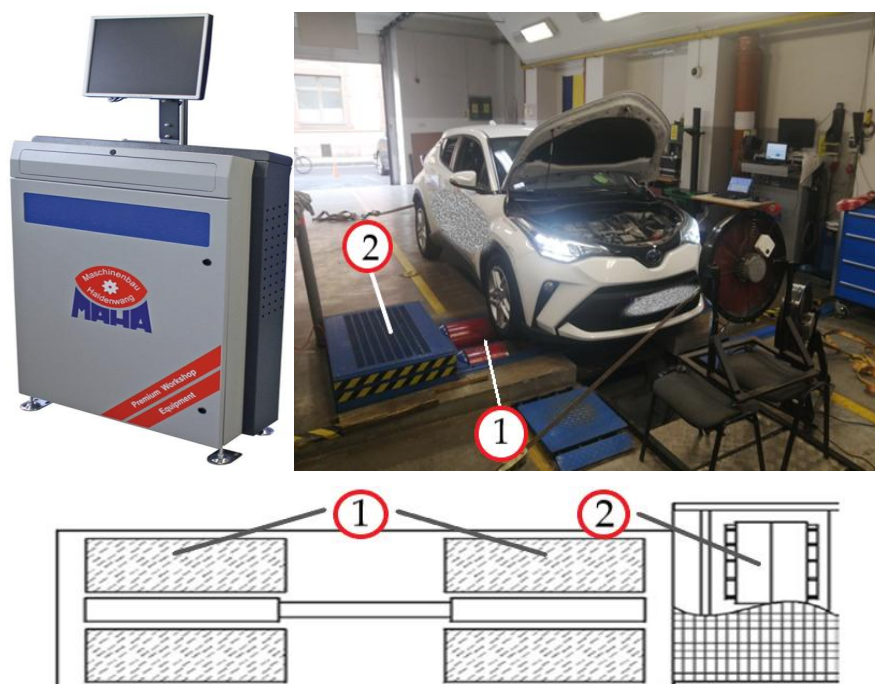


Fig. 4.3 - Standul Maha LPS 3000: 1 – Rolele standului dynamometric; 2 – Motorul standului dynamometric.

Pentru reproducerea solicitărilor reale, în programul standului au fost introduși parametrii specifici fiecărui autovehicul. Rezistența totală la înaintare este stabilită prin considerarea componentelor asociate rezistenței la rulare, rezistenței aerodinamice, inerției autovehiculului și, după caz, înclinării drumului. Coeficienții Cf A, Cf B și Cf C permit particularizarea încărcării standului în funcție de caracteristicile fiecărui vehicul. Astfel, pentru fiecare punct al ciclului real, standul generează la nivelul rolelor rezistența corespunzătoare condițiilor simulate.

Tabelul 4.1 - Exemplu de calcul, realizat de software-ul standului MAHA LPS 3000, al coeficienților CfA, CfB și CfC pentru o viteză de referință de 90 km/h.

Vehicul	Vehicul 1 (MAS)	Vehicul 2 (MAS)	Vehicul 3 (MAC)	Vehicul 4 (MAC)	Vehicul 5 (Hibrid)
Cf A [KW]	3,46	4,75	5,87	6,95	4,71
Cf B [KW]	0	0	0	0	0
Cf C [KW]	9,8	7,82	12,25	7,44	11,2

4.3.2. Analizor de gaze

Analizorul GA 21 Plus a fost utilizat pentru determinarea în timp real a concentrațiilor emisiilor din gazele de evacuare. Echipamentul permite înregistrarea parametrilor necesari cercetării și transferul datelor pentru prelucrarea ulterioară. Înaintea fiecărei serii de teste au fost verificate integritatea sistemului de prelevare, funcționarea modulelor de măsurare, etanșeitatea circuitului și atingerea temperaturii normale de funcționare.

Pentru testele în trafic real, analizorul a fost fixat în autovehicul, iar sonda de prelevare a fost introdusă în sistemul de evacuare. Această configurație a permis înregistrarea continuă a concentrațiilor emisiilor pe parcursul ciclurilor reale și compararea ulterioară cu valorile obținute prin reproducerea acelorași cicluri în laborator.

4.3.3. Sistemul de diagnosticare OBD II – KTS 560

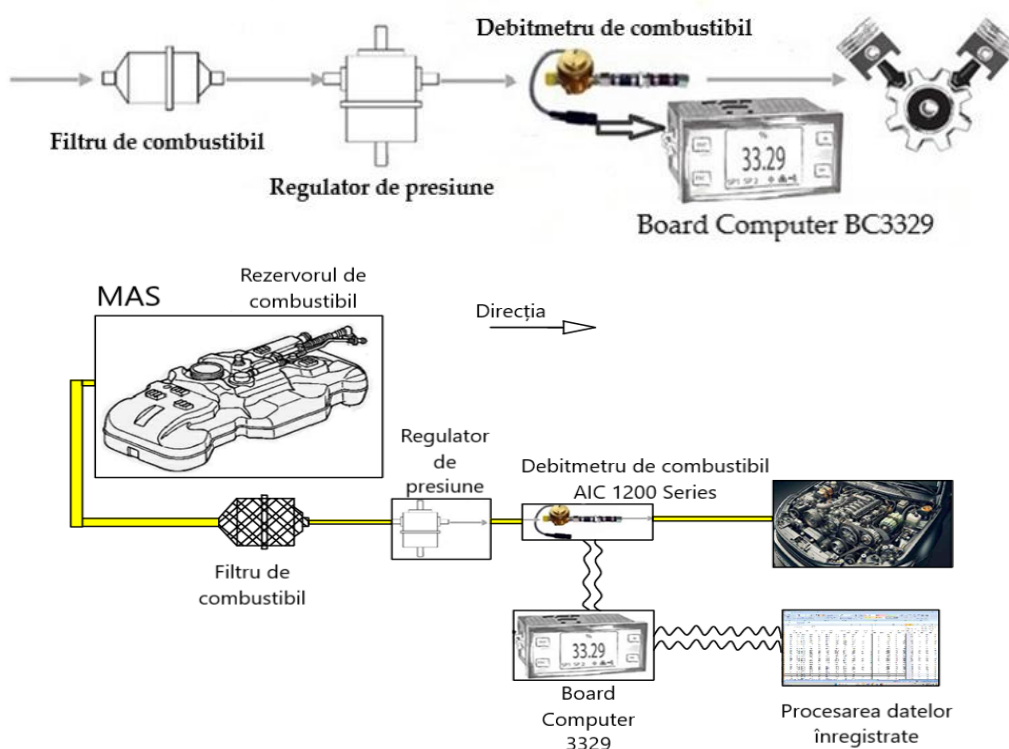
Parametrii de funcționare ai autovehiculelor au fost preluați prin intermediul sistemului OBD II și al sistemului de diagnosticare Bosch KTS 560. Au fost monitorizați parametri precum turația motorului, temperatura lichidului de răcire, temperatura și presiunea aerului admis, sarcina motorului și alți parametri disponibili în funcție de particularitățile fiecărui autovehicul.

Monitorizarea temperaturilor a avut o importanță deosebită pentru cercetare, deoarece a permis corelarea regimului termic al motorului cu variațiile concentrațiilor emisiilor și ale consumului de combustibil. Datele astfel obținute au fost sincronizate cu informațiile provenite de la celelalte echipamente de măsurare.

4.3.4. Debitmetrul de combustibil

Consumul de combustibil a fost determinat cu ajutorul debitmetrului AIC 1200, conectat la calculatorul de bord BC 3329 și montat pe circuitul de alimentare al autovehiculului.

Montarea și pregătirea corespunzătoare a sistemului au fost necesare pentru evitarea acumulării aerului în circuit și pentru menținerea preciziei măsurărilor. Datele obținute au fost corelate temporal cu viteza autovehiculului, regimul de funcționare al motorului și concentrațiile emisiilor, ceea ce a permis identificarea secvențelor ciclului caracterizate prin consum ridicat sau redus.



a)

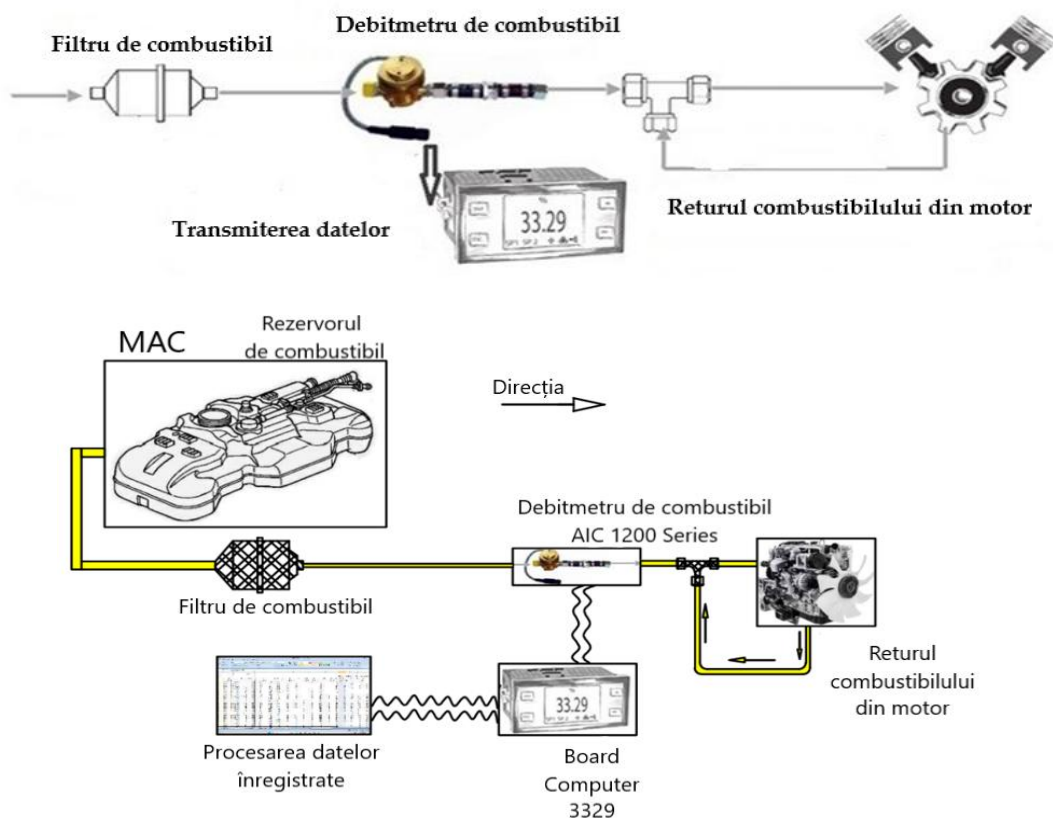


Fig. 4.4 - Sistem de măsurare a consumului de combustibil la bord: a) Vehicule cu motoare pe benzină (densitatea benzinei – 0,74 kg/l); b) Vehicule cu motoare diesel (densitatea motorinei – 0,84 kg/l)

4.3.5. Prelucrarea statistică a datelor experimentale

Prelucrarea datelor experimentale a urmărit transformarea înregistrărilor provenite de la diferitele sisteme de măsurare într-un ansamblu unitar de informații, necesar pentru analiza relațiilor dintre regimul de conducere, condițiile de trafic, caracteristicile autovehiculului, consumul de combustibil și concentrațiile emisiilor.

Datele au fost înregistrate continuu, la intervale de 2 secunde. Datele provenite de la standul dinamometric, analizorul de gaze, debitmetrul de combustibil și sistemele autovehiculului au fost sincronizate, operație necesară deoarece echipamentele utilizate prezintă particularități diferite de achiziție.

Înregistrările provenite din surse diferite au fost convertite și uniformizate într-un format comun de prelucrare. Această etapă a permis corelarea directă a variațiilor vitezei, accelerațiilor și decelerațiilor cu modificările consumului de combustibil și ale concentrațiilor emisiilor. Prin sincronizarea parametrilor a devenit posibilă identificarea regimurilor de funcționare care generează valori maxime sau minime și compararea acestora între diferitele cicluri și autovehicule.

5. REZULTATELE CERCETĂRII EXPERIMENTALE

Analiza rezultatelor experimentale reprezintă etapa centrală a cercetării, fiind orientată către evaluarea influenței condițiilor de trafic și a caracteristicilor sistemului de propulsie asupra consumului de combustibil și concentrațiilor emisiilor. Spre deosebire de evaluările realizate exclusiv prin cicluri standardizate, metodologia utilizată a permis reproducerea controlată, pe standul dinamometric, a unor cicluri obținute din traficul real, păstrând particularitățile dinamice ale deplasării: variațiile vitezei, accelerațiile și decelerațiile, opririle și perioadele de funcționare la ralanti.

În cadrul studiului s-a urmărit obținerea și utilizarea unor cicluri de conducere care să evidențieze următoarele aspecte :

- Influența caracteristicilor traficului rutier asupra concentrației emisiilor și consumului de combustibil utilizând cicluri reale urbane de conducere (seria I a de teste);
- Influența caracteristicilor sistemului de propulsie în aceleași condiții de trafic asupra concentrației emisiilor și consumului de combustibil utilizând cicluri reale urbane, suburbane și extraurbane (Seria a II-a de teste);
- Influența caracteristicilor sistemului de propulsie în aceleași condiții de trafic asupra concentrației emisiilor și consumului de combustibil utilizând un ciclu de conducere reglementat (WLTC).

Astfel, ciclurile reale utilizate în laborator constituie fundamentul analizelor prezentate în capitolele următoare.

5.1. Influența caracteristicilor traficului urban asupra concentrațiilor emisiilor și consumului de combustibil (seria I de teste)

Prima serie de (Fig. 5.1) teste a urmărit evidențierea influenței traficului rutier asupra funcționării autovehiculelor (două vehicule MAS și două vehicule MAC) prin parcurgerea aceluiași traseu urban în trei intervale orare: dimineața, după-amiaza și seara. Analiza ciclurilor obținute evidențiază diferențe importante ale duratei deplasării, numărului de opriri, timpului de staționare și vitezei medii, determinate de variația intensității traficului și de interacțiunea cu elementele infrastructurii rutiere.

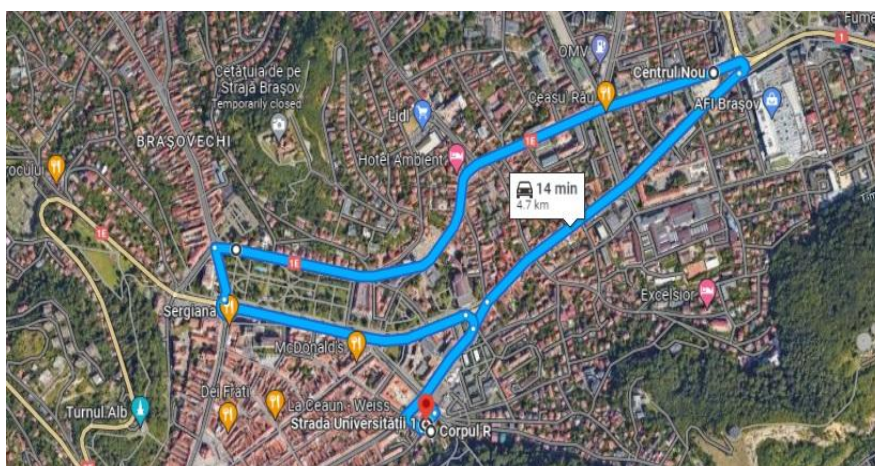


Fig. 5.1 - Traseul urban selectat

Pentru toate autovehiculele analizate se constată aceeași tendință generală a caracteristicilor deplasării, ceea ce confirmă rolul determinant al condițiilor de trafic. Numărul opririlor scade de la intervalele cu trafic intens către cele cu circulație mai fluidă. Spre exemplu, pentru V1 acesta se reduce de la 14 opriri la 7, iar pentru V2 de la 16 la 8. În același timp, perioada de staționare se diminuează

considerabil. Vitezele medii, numărul opririlor și duratele ciclurilor demonstrează că diferențele dintre ciclurile înregistrate sunt determinate în principal de condițiile de trafic și de infrastructură și într-o măsură mai redusă de particularitățile autovehiculelor.

Tabelul 5.1 - Caracteristicile ciclului urban (seria I de teste) pentru fiecare autovehicul

Ciclul Urban (CU) - prima serie de teste				
Vehicul	Caracteristicile ciclului	Dimineată	După-amiază	Seară
V1	Etapă de conducere [%]	CU 100 %	CU 100 %	CU 100 %
	Durată [s]	594	760	550
	Distanță [km]	4,7	4,7	4,7
	Nr. opriri	14	10	7
	Faza de staționare [s]	213	115	69
	Viteza max. [km/h]	60	60	60
	Viteza med. cu stop [km/h]	28,4	22,3	30,7
	Viteza medie fara stop [km/h]	44,4	26,2	35,1
	Acceleratia maxima [m/s ²]	1,57	1,52	1,49
	Deceleratia maxima [m/s ²]	-1,56	-1,51	-1,5
V2	Etapă de conducere [%]	CU 100 %	CU 100 %	CU 100 %
	Durată [s]	612	847	700
	Distanță [km]	4,7	4,7	4,7
	Nr. opriri	16	14	8
	Faza de staționare [s]	225	169	106
	Viteza max. [km/h]	50	60	60
	Viteza med. cu stop [km/h]	27,6	19,9	24,1
	Viteza medie fara stop [km/h]	43,7	24,9	28,4
	Acceleratia maxima [m/s ²]	1,52	1,5	1,43
	Deceleratia maxima [m/s ²]	-1,51	-1,49	-1,42
V3	Etapă de conducere [%]	CU 100 %	CU 100 %	CU 100 %
	Durată [s]	680	825	650
	Distanță [km/h]	4,7	4,7	4,7
	Nr. opriri	19	13	8
	Faza de staționare [s]	282	198	102
	Viteza max. [km/h]	52	60	60
	Viteza med. cu stop [km/h]	24,8	20,4	26
	Viteza medie fara stop [km/h]	42,5	26,8	30,8
	Accelerația maximă [m/s ²]	1,56	1,53	1,47
	Decelerația minimă [m/s ²]	-1,57	-1,52	-1,46
V4	Etapă de conducere [%]	CU 100 %	CU 100 %	CU 100 %
	Durată [s]	636	860	770
	Distanță [km/h]	4,7	4,7	4,7
	Nr. opriri	19	15	10
	Fază de staționare [s]	225	153	156
	Viteza max. [km/h]	57	60	60
	Viteza med. cu stop [km/h]	26,6	19,6	21,9
	Viteza medie fara stop [km/h]	41,1	23,9	27,5
	Accelerația maximă [m/s ²]	1,61	1,59	1,55
	Decelerația maximă [m/s ²]	-1,6	-1,58	-1,56
V1;V2	Viteza med. cu stop [km/h]	26,8	20,5	25,6
V3;V4	Viteza medie fara stop [km/h]	42,9	25,4	30,4

V1-Vehicul 1 (MAS); Vehicul 2 (MAS); Vehicul 3 (MAC); Vehicul 4 (MAC)

Analiza parametrilor funcționali ai motoarelor evidențiază, de asemenea, diferențe între autovehiculele MAS și MAC. În ciclul de dimineată, V1 și V2 au înregistrat viteze medii de 28,4 km/h, respectiv 27,6 km/h, însă valoarea medie a sarcinii calculate a motorului a fost de 25,7 % pentru V1 și 51 % pentru V2. Pentru V3 și V4, valorile medii ale sarcinii au fost de 29,6 %, respectiv 27,1 %. Variațiile turației și sarcinii urmăresc îndeaproape modificările vitezei, demonstrând legătura dintre dinamica traficului și regimul de funcționare al sistemului de propulsie.

Un factor cu influență importantă asupra rezultatelor îl reprezintă regimul termic. Cercetările au fost realizate în sezonul rece, în lunile februarie–martie, iar temperaturile motoarelor au rămas semnificativ sub domeniul nominal de funcționare de 90–105 °C. Pentru cele patru autovehicule din prima serie, temperaturile înregistrate s-au situat, în funcție de ciclu, între aproximativ 9 și 47 °C. În aceste condiții, pierderile mecanice sunt mai mari, procesul de ardere și sistemele de post-tratare nu

funcționează încă în domeniul termic optim, iar consumul de combustibil și concentrațiile emisiilor sunt influențate în special în prima parte a deplasării.

Tabelul 5.2 - Compararea parametrilor traficului urban: dimineață, după-amiază și seară.

Ciclu urban (prima serie)									
Vehicule	Dimineață			După-amiază			Seară		
	Vmed [km/h]	V.S.C.med [%]	Media Rot/min	Vmed [km/h]	V.S.C.med [%]	Media Rot/min	Vmed [km/h]	V.S.C.med [%]	Media Rot/min
V 1	28,4	25,7	1272	22,3	22,5	1321	30,7	29,5	1596
V 2	27,6	51	1305	19,9	36,3	1322	24,1	35,7	1401
V 3	24,8	29,6	1066	20,4	24,4	969	26	29,9	1199
V 4	26,6	27,1	1337	19,6	19,6	1491	21,9	20,6	1380

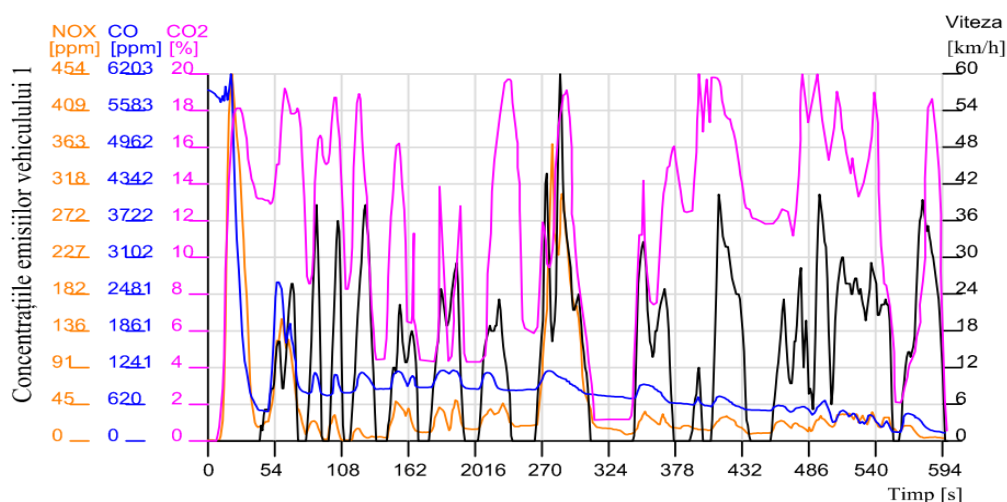
V.S.C.- Valoare sarcină calculată a motorului

Tabelul 5.3 - Regimul termic al motorului din timpul testelor

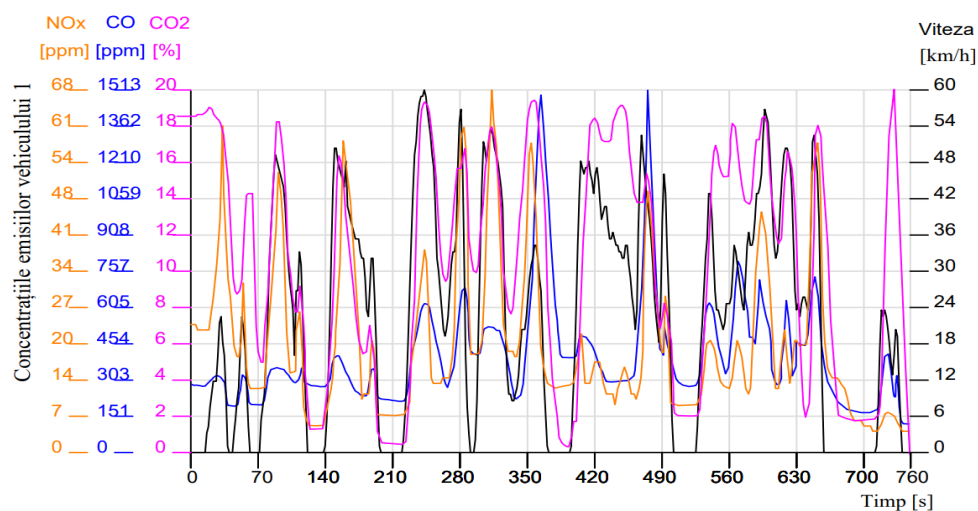
Vehiculul testat	Ciclu		
	Dimineață	După amiază	Seară
Vehicul 1 (°C)	11-42	12-47	10-40
Vehicul 2 (°C)	10-46	11-43	12-43
Vehicul 3 (°C)	12-38	11-39	12-40
Vehicul 4 (°C)	10-36	11-37	9-34

Rezultatele privind concentrațiile emisiilor confirmă influența simultană a regimului termic și a caracterului tranzitoriu al traficului urban. În cazul autovehiculelor MAS, valorile ridicate ale CO apar predominant în prima parte a ciclurilor și în fazele de accelerare, fiind asociate temperaturii reduse a convertorului catalitic cu trei căi și îmbogățirii temporare a amestecului în regimurile de sarcină tranzitorie. După încălzirea sistemului de post-tratare, concentrațiile se reduc semnificativ.

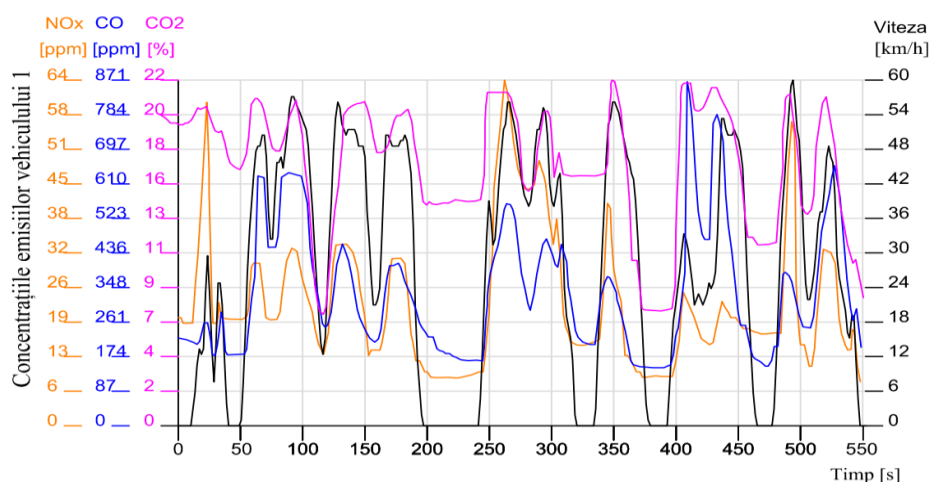
În cazul V1, peste 90 % dintre valorile concentrațiilor de NO_x nu depășesc 45 ppm, iar creșterile punctuale sunt asociate fazelor de accelerare, când sarcina și temperatura procesului de ardere cresc. În ciclul de după-amiază, concentrația maximă de NO_x a fost de aproximativ 68 ppm, iar concentrația maximă de CO a fost de 1513 ppm. Concentrațiile de CO₂ au ajuns până la aproximativ 20 %, variațiile acestora urmărind solicitarea energetică a motorului.



a)



b)



c)

Fig. 5.2 - Valorile instantanee ale concentrației emisiilor 1 (V1 - MAS+convertor catalitic cu 3 căi) în regim urban dinamic seria I de teste: a) ciclul de dimineață (07:00–08:00), b) ciclul de după amiază (15:00–16:00), c) ciclul de seară (18:30–19:30).

În cazul vehiculelor MAC, comportamentul NO_x este mai sensibil la creșterea sarcinii motorului și la regimul termic al sistemului SCR. În primele minute de funcționare, temperatura redusă a gazelor de evacuare limitează eficiența post-tratării, iar accelerările determină creșteri rapide ale concentrațiilor. Pe măsură ce motorul și sistemul de post-tratare se încălzesc, nivelul de bază al NO_x și CO se reduce. Acest comportament confirmă faptul că interpretarea rezultatelor nu poate fi realizată exclusiv în funcție de viteza autovehiculului, fiind necesară considerarea simultană a sarcinii, regimului tranzitoriu și temperaturii sistemului de propulsie.

Analiza globală a primei serii demonstrează că traficul urban caracterizat prin opriri repetate, funcționare la ralanti și accelerări succesive conduce la variații importante ale concentrațiilor emisiilor și consumului de combustibil. În schimb, creșterea fluidității traficului reduce numărul regimurilor tranzitorii și favorizează stabilizarea funcționării motorului și a sistemelor de post-tratare.

În ceea ce privește consumul de combustibil, rezultatele evidențiază o corelație directă cu dinamica deplasării. Cele mai importante creșteri instantanee apar în fazele de accelerare, când necesarul de putere și sarcina motorului cresc. În perioadele de decelerare, consumul se reduce considerabil, iar în anumite condiții sistemul de alimentare poate diminua temporar alimentarea cu combustibil.

Funcționarea la ralanti, deși caracterizată printr-un consum instantaneu redus, devine relevantă la nivelul întregului ciclu atunci când durata cumulată a staționărilor este mare.

Rezultatele primei serii de teste confirmă astfel că evaluarea consumului și a concentrațiilor emisiilor în mediul urban trebuie raportată la structura întregului ciclu de deplasare și nu numai la viteza medie. Două cicluri cu viteze medii apropiate pot genera rezultate diferite dacă prezintă un număr diferit de opriri, accelerații, decelerații sau perioade de funcționare la ralanti.

5.2. Studiul factorilor care influențează concentrația emisiilor și consumului de combustibil în condițiile unui trafic urban (seria a II-a de teste)

Pentru separarea influenței traficului de influența caracteristicilor autovehiculului, în cea de-a doua serie de teste cele cinci vehicule (două vehicule MAS-V1/V2, două vehicule MAC V3/V4 și un hibrid V5) au fost supuse aceluiași profil de conducere. Ciclul urban selectat are o durată de 612 s (Fig. 5.3), o distanță de 4,7 km, 225 s de staționare, o viteză maximă de 50 km/h și o viteză medie, incluzând opririle, de 27,6 km/h. Utilizarea aceluiași ciclu permite atribuirea diferențelor rezultate în principal caracteristicilor sistemelor de propulsie, procesului de ardere, strategiilor de comandă și sistemelor de post-tratare.

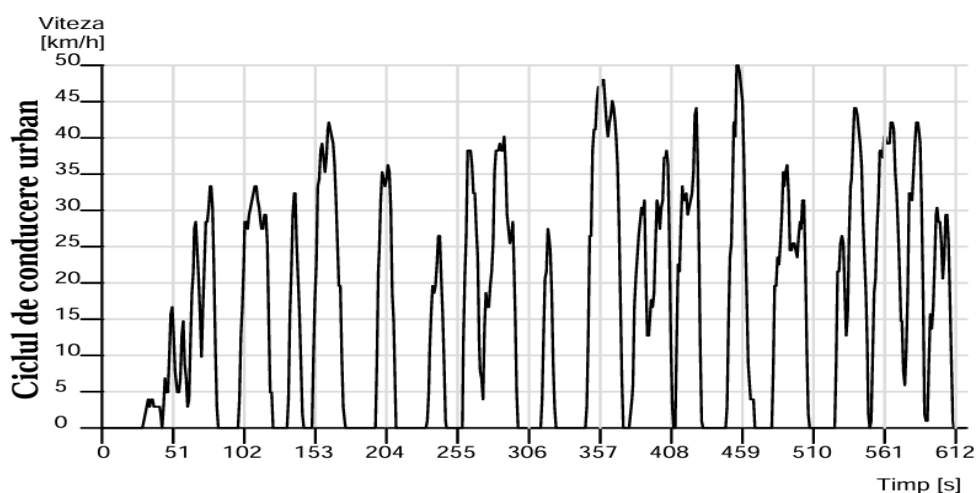
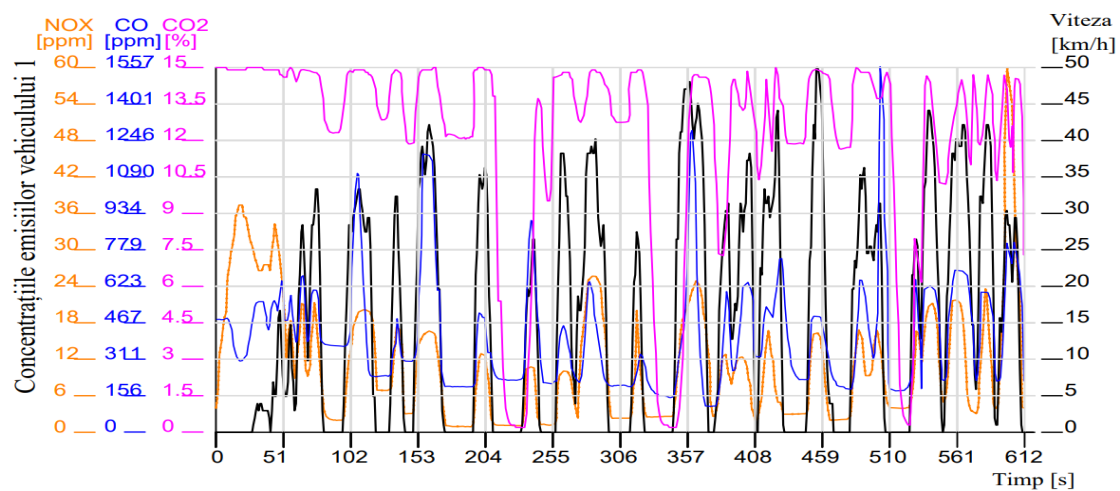


Fig. 5.3- Ciclu de conducere urban real (seria a II-a de teste)

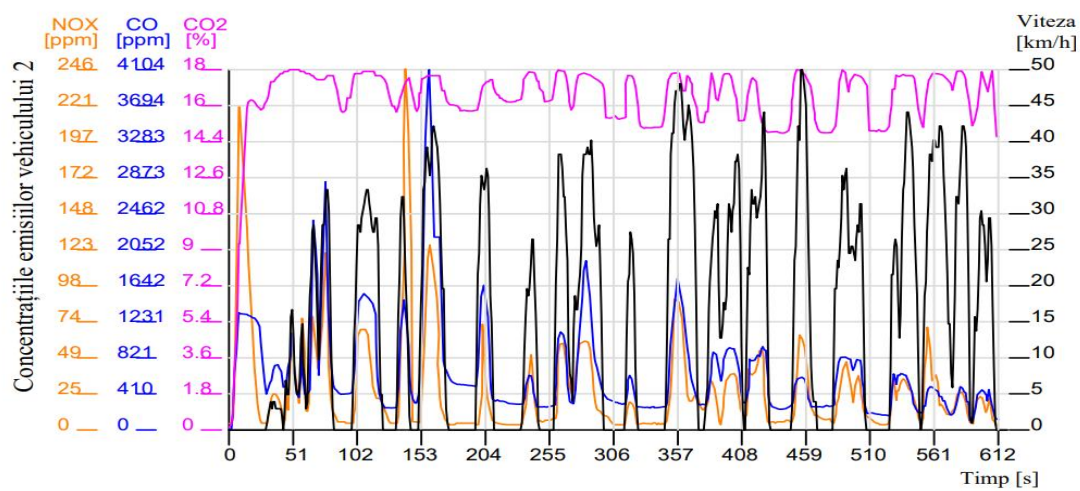
În aceste condiții, comportamentul celor cinci autovehicule prezintă diferențe clare. Pentru V1 și V2, echipate cu MAS, concentrațiile de NO_x sunt relativ reduse, dar apar creșteri în fazele de accelerare. Concentrațiile de CO sunt mai sensibile la regimurile tranzitorii, ca urmare a îmbogățirii temporare a amestecului și a condițiilor de funcționare ale convertorului catalitic cu trei căi. V1 atinge valori ale CO de aproximativ 1557 ppm, iar V2 până la aproximativ 4104 ppm în prima parte a ciclului. După stabilizarea regimului termic, concentrațiile scad considerabil (Fig. 5.4).

Pentru vehiculele MAC, concentrațiile de CO sunt considerabil mai reduse. V3 înregistrează valori de aproximativ 5 ppm, în timp ce pentru V4 apare în prima parte a ciclului un maxim de aproximativ 718 ppm, urmat de reducerea concentrației spre aproximativ 60 ppm după stabilizarea funcționării. În schimb, pentru aceste autovehicule devine mai important comportamentul NO_x , dependent de sarcina motorului, temperatura gazelor de evacuare și eficiența sistemului SCR.

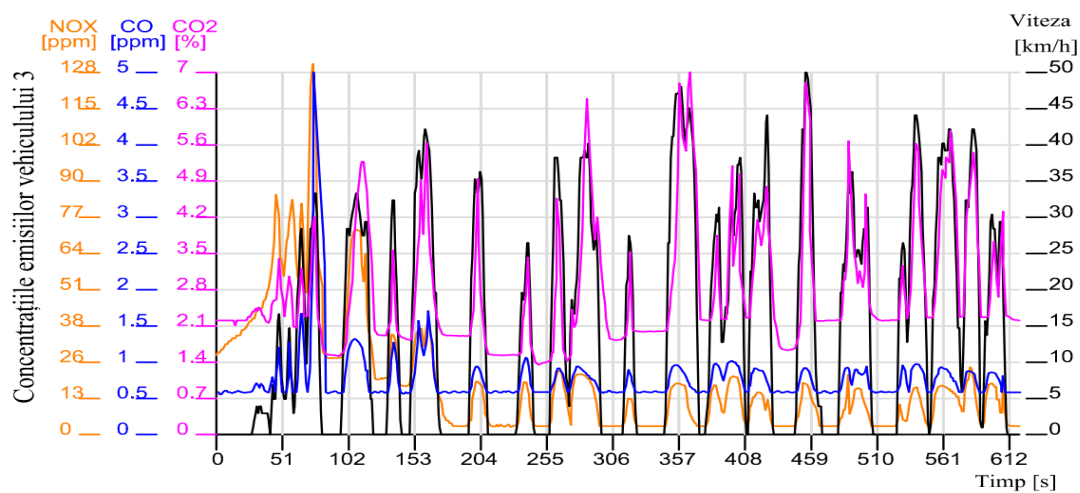
Vehiculul hibrid V5 înregistrează cele mai reduse valori ale concentrațiilor de NO_x în ciclul urban, acestea menținându-se în general sub 25 ppm. Creșteri apar în principal în intervalul aproximativ 50–120 s, când motorul termic este activ. Concentrațiile de CO sunt, de asemenea, reduse pe majoritatea ciclului; maximum de aproximativ 573 ppm este înregistrat în prima parte, iar ulterior valorile se mențin în general sub 170 ppm.



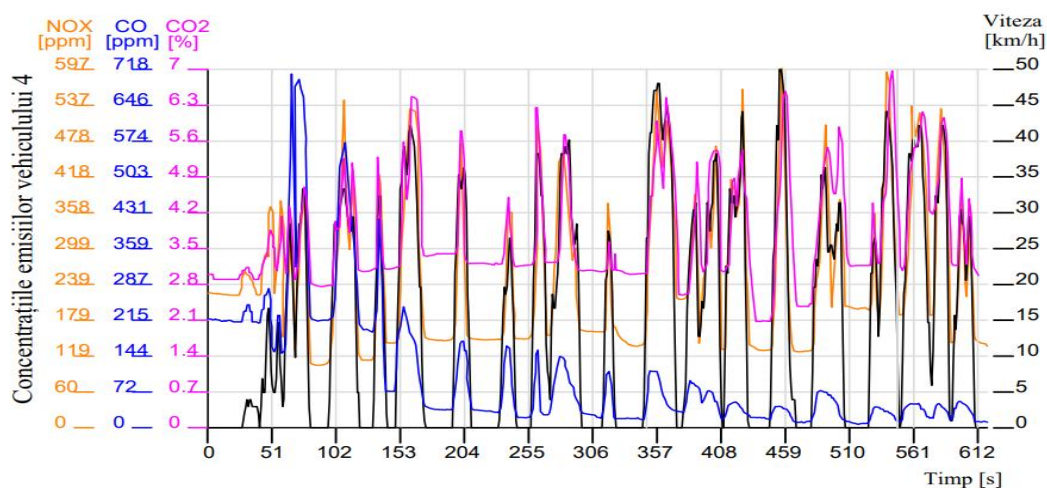
a)



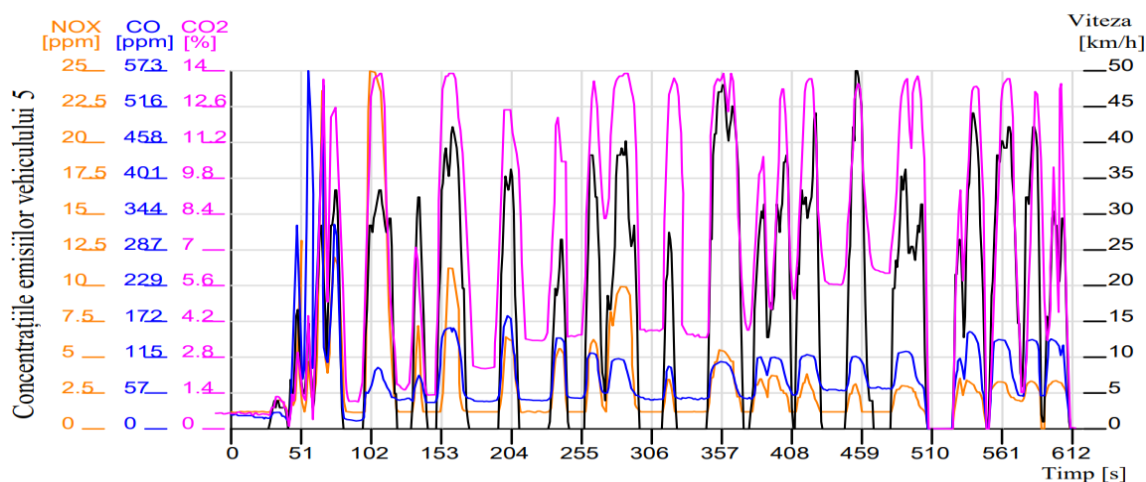
b)



c)



d)



e)

Fig. 5.4 - Efectul regimului dinamic la rularea ciclului real de conducere urban (ciclul U-BV) asupra concentrațiilor de NO_x , CO și CO_2 ; a) și b) MAS - Vehiculul 1 (injecție directă - supraalimentat) și 2 (injecție indirectă - aspirație naturală); c) și d) MAC - Vehiculul 3 și 4 (Injecție indirectă - supraalimentat); e) - Vehiculul 5 (Hibrid)

În ceea ce privește CO_2 , autovehiculele MAS prezintă valori situate în general între aproximativ 12 și 18 %, iar V5 între aproximativ 5 și 14 %. Variația CO_2 urmărește îndeaproape modificarea sarcinii și a consumului de combustibil, valorile crescând în timpul accelerărilor și diminuându-se în fazele de decelerare. CO_2 este analizat în acest context ca indicator asociat procesului de ardere și consumului de combustibil, fără a fi încadrat în categoria poluanților clasici.

Compararea celor cinci autovehicule în același ciclu evidențiază astfel două componente distincte. Profilul de viteză impune momentele în care apar solicitările dinamice, în timp ce amplitudinea răspunsului este determinată de caracteristicile sistemului de propulsie și de eficiența sistemelor de post-tratare. Această diferențiere reprezintă unul dintre avantajele importante ale reproducerii aceluiași ciclu real în condiții controlate.

5.3. Studiul concentrației emisiilor și consumului de combustibil în condițiile unui trafic suburban

Ciclul suburban a fost introdus pentru evaluarea autovehiculelor într-un regim intermediar între circulația urbană și cea extraurbană. Acesta are o durată de 640 s și o lungime de 5,4 km, cu o viteză maximă de 90 km/h, o viteză medie cu opriri de 30,3 km/h și 107 s de staționare. Comparativ cu ciclul urban, profilul de deplasare include perioade mai lungi de rulare stabilă și un număr mai redus de opriri, ceea ce conduce la o solicitare mai uniformă a sistemului de propulsie.

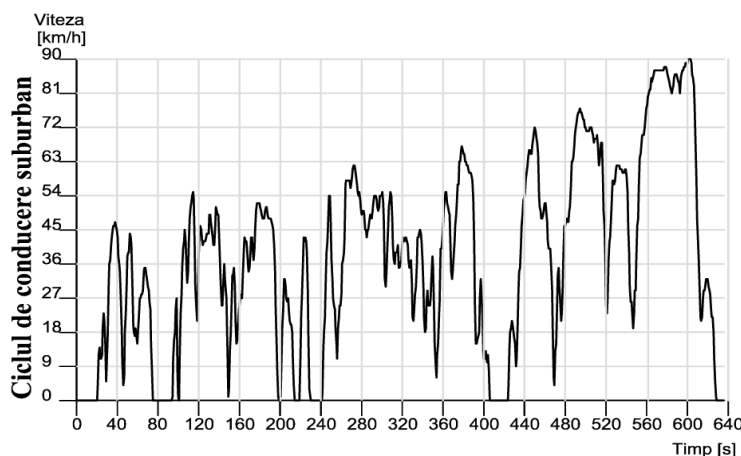
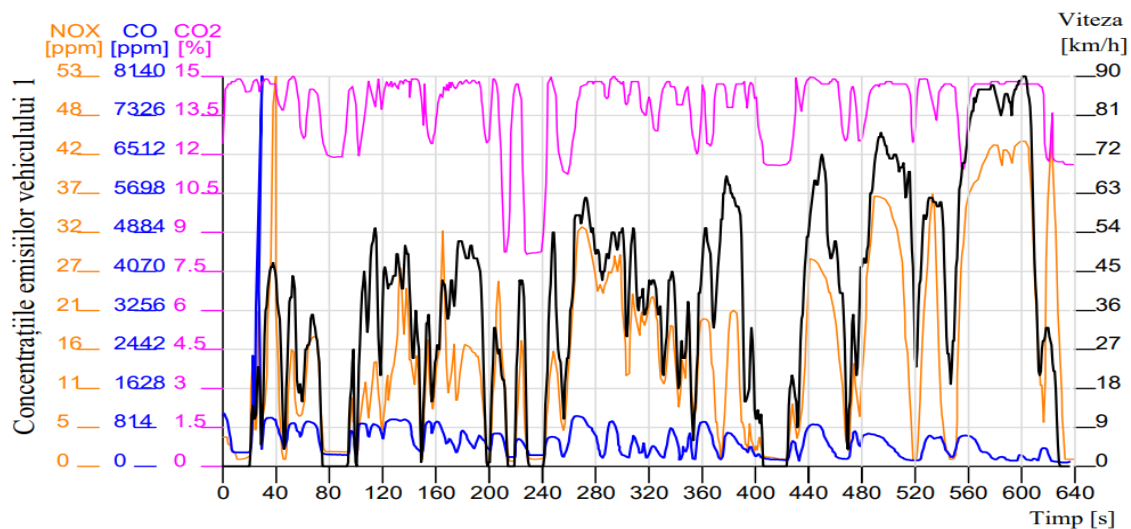


Fig. 5.5 - Ciclul de conducere suburban

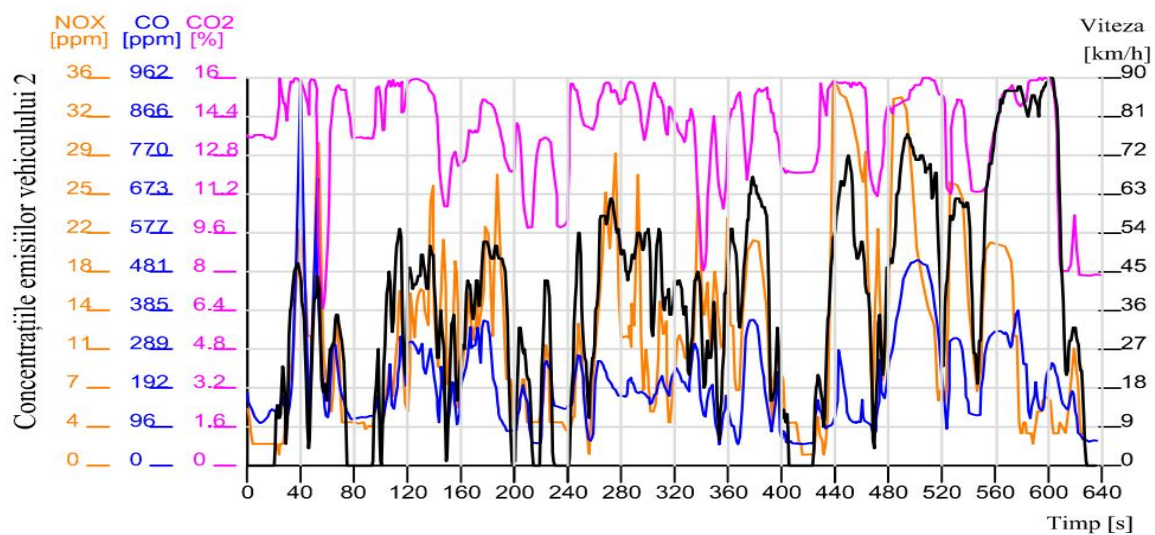
Pentru V1 și V2, concentrațiile de NO_x rămân reduse pe majoritatea ciclului, valorile maxime fiind de aproximativ 50 ppm pentru V1 și 35 ppm pentru V2. Creșterile apar predominant în timpul accelerărilor către 60–80 km/h. După primele minute, concentrațiile se stabilizează, ca urmare a funcționării convertorului catalitic cu trei căi într-un domeniu termic favorabil. Concentrațiile de CO apar sub forma unor vârfuri tranzitorii, în timp ce valorile CO_2 se situează aproximativ în intervalul 12–15 % (Fig. 5.6).

Pentru V3 și V4, rezultatele evidențiază influența mai puternică a sarcinii și a temperaturii asupra concentrațiilor de NO_x . V3 înregistrează valori maxime de aproximativ 160 ppm în prima parte a ciclului, urmate de o reducere după aproximativ 240 s, odată cu creșterea temperaturii și activarea eficientă a sistemului SCR. V4 prezintă valori mai ridicate, confirmând diferențele de eficiență ale sistemelor de post-tratare și strategiilor de comandă dintre cele două autovehicule MAC.

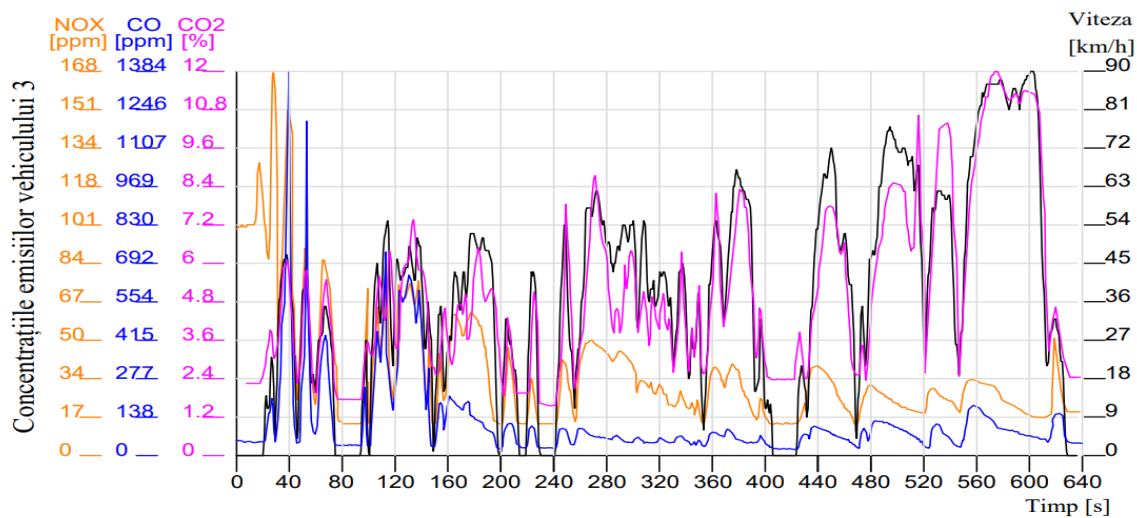
Vehiculul hibrid prezintă valori reduse ale concentrațiilor de NO_x și CO pe majoritatea ciclului, după faza inițială valorile menținându-se până la aproximativ 50 ppm pentru NO_x și în intervalul 200–400 ppm pentru CO. Totuși, avantajul sistemului hibrid este limitat de regimul termic. În condițiile experimentale, motorul electric nu a asigurat propulsia pe parcursul ciclului, deoarece nu au fost îndeplinite condițiile termice necesare, iar motorul cu ardere internă a rămas activ. Funcția de oprire automată a motorului s-a activat în jurul secunde 400, reducând consumul în perioada de staționare.



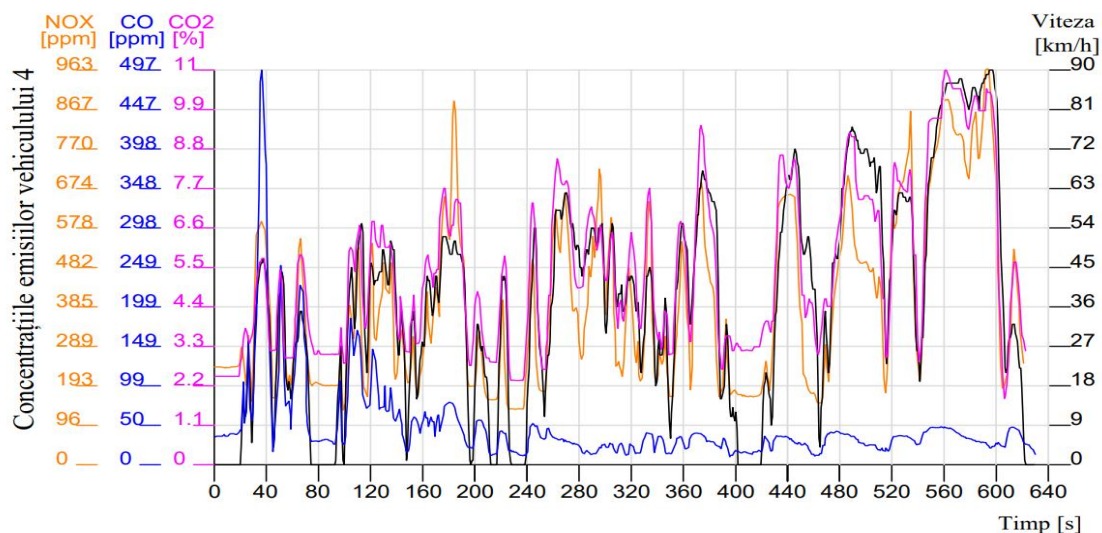
a)



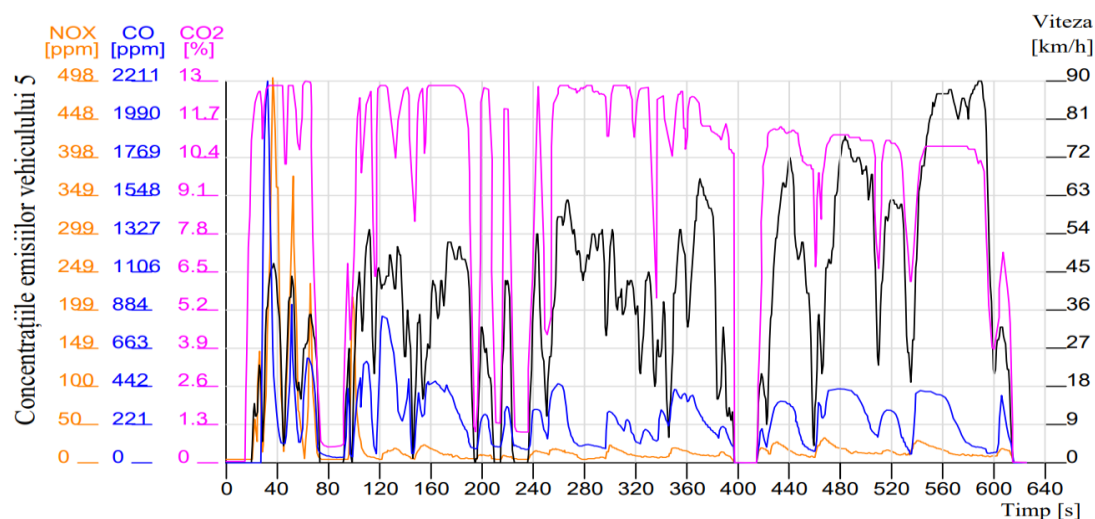
b)



c)



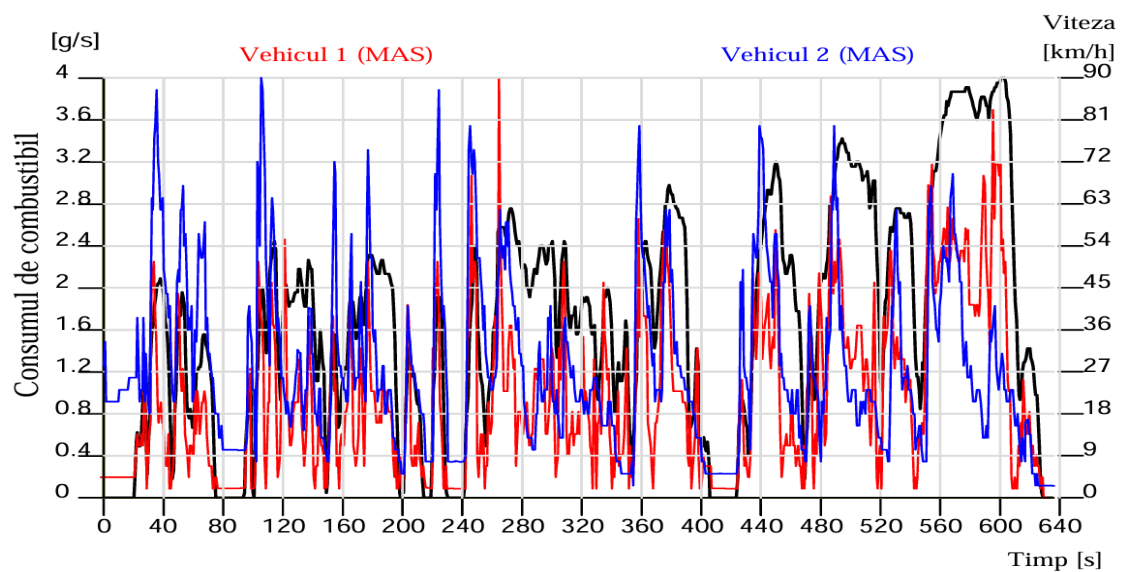
d)



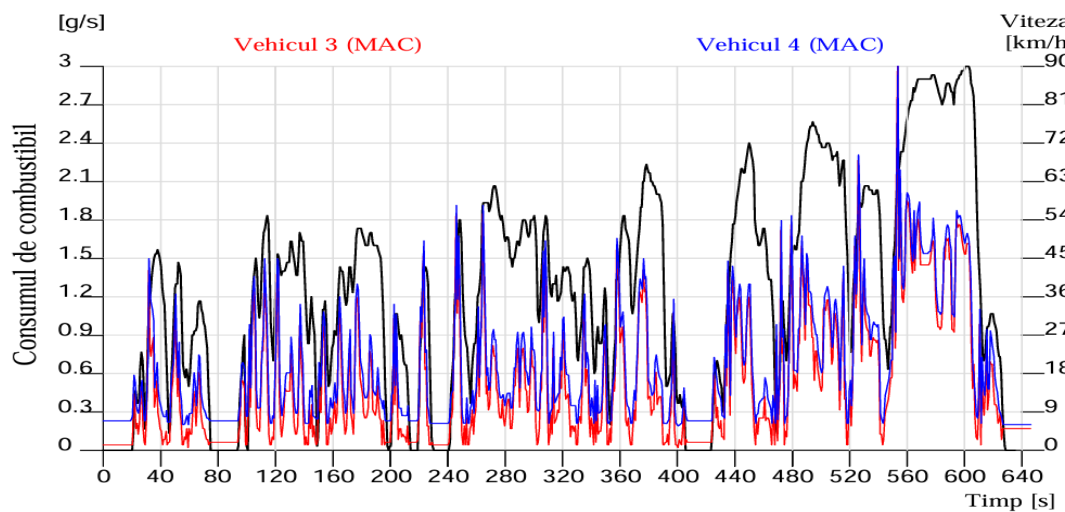
e)

Fig. 5.6 - Efectul regimului dinamic la rulara ciclului real de conducere suburban (ciclul S-BV) asupra concentrațiile de NO_x, CO și CO₂; a) și b) MAS - Vehiculul 1 (injecție directă - supraalimentat) și 2 (injecție indirectă - aspirație naturală); c) și d) MAC - Vehiculul 3 și 4 (Injecție indirectă - supraalimentat); e)-Vehiculul 5 (Hibrid)

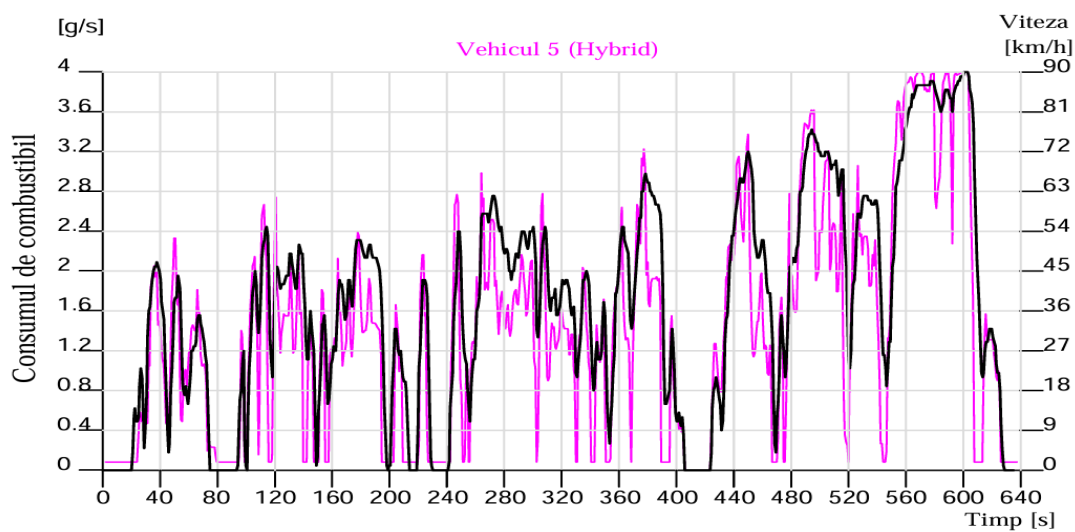
Analiza consumului de combustibil confirmă influența regimului dinamic. Pentru toate autovehiculele, valorile instantanee cresc în timpul accelerațiilor și la viteze ridicate. Vehiculele MAC prezintă valori mai reduse comparativ cu cele MAS: pentru V4 maximele sunt de aproximativ 1,6–1,8 g/s, iar pentru V3 de aproximativ 0,8–1 g/s. Acest comportament este asociat randamentului termic mai ridicat al motoarelor MAC și funcționării acestora cu exces de aer.



a)



b)



c)

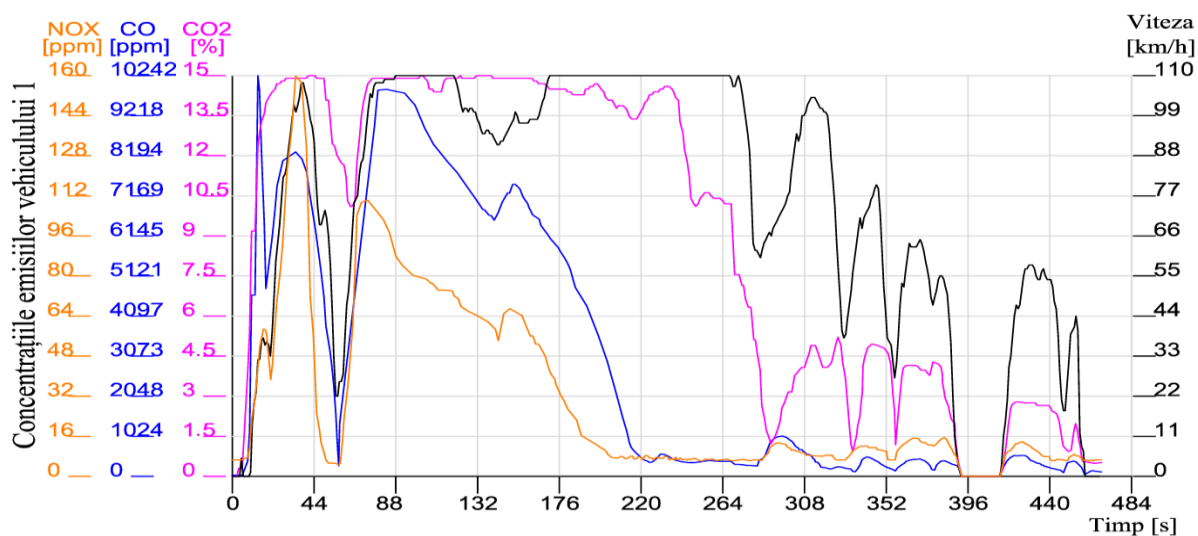
Fig. 5.7 - Valorile instantanee ale consumului de combustibil în ciclul suburban (seria a II-a): a) Autovehicule MAS, b) Autovehicule MAC, c) Autovehicul hibrid

Comparativ cu regimul urban, ciclul suburban evidențiază avantajele unei deplasări mai uniforme: reducerea frecvenței accelerărilor și decelerațiilor limitează fluctuațiile consumului și permite sistemelor de post-tratare să funcționeze mai mult timp într-un domeniu termic favorabil.

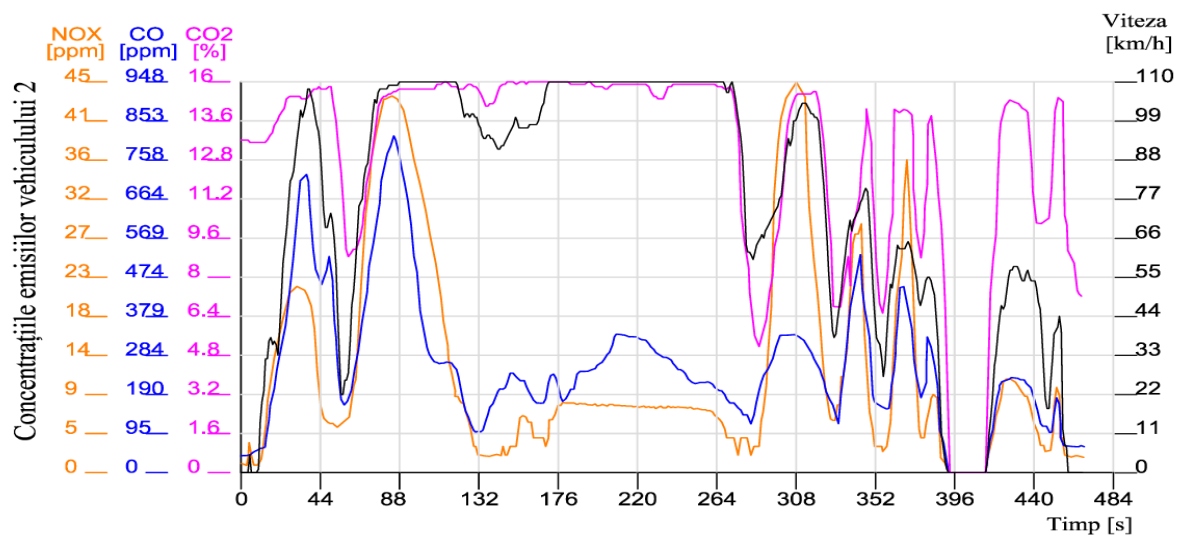
5.4. Studiul concentrației emisiilor și consumului de combustibil în condițiile unui trafic extrurban

Ciclul extraurban completează analiza prin introducerea unui regim caracterizat prin viteze mai ridicate și perioade extinse de deplasare stabilă. Viteza maximă atinge 110 km/h, viteza medie cu opriri este de 52,8 km/h, iar cea fără opriri de 57,8 km/h. Numărul opririlor este redus la patru, iar durata totală a staționărilor este de 42 s. În aceste condiții, influența opririlor și pornirilor repetate se diminuează, în timp ce crește importanța sarcinii motorului și a rezistenței aerodinamice.

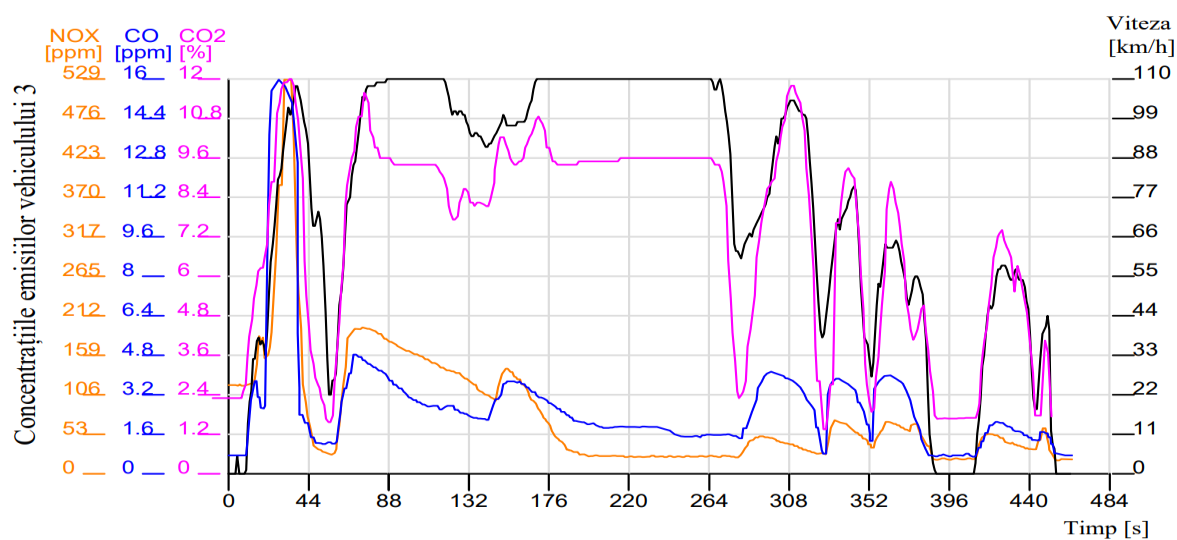
În cazul V1 și V2, concentrațiile de NO_x rămân în general scăzute, cu maxime de aproximativ 160 ppm pentru V1 și 45 ppm pentru V2. Creșterile sunt asociate accelerărilor inițiale, iar după stabilizarea vitezei la aproximativ 90–100 km/h concentrațiile scad, indicând funcționarea eficientă a convertorului catalitic cu trei căi. Concentrațiile de CO se reduc, de asemenea, după stabilizarea regimului termic, în timp ce CO_2 se menține aproximativ în intervalul 14–16 %, corespunzător cererii energetice necesare deplasării la viteze ridicate.



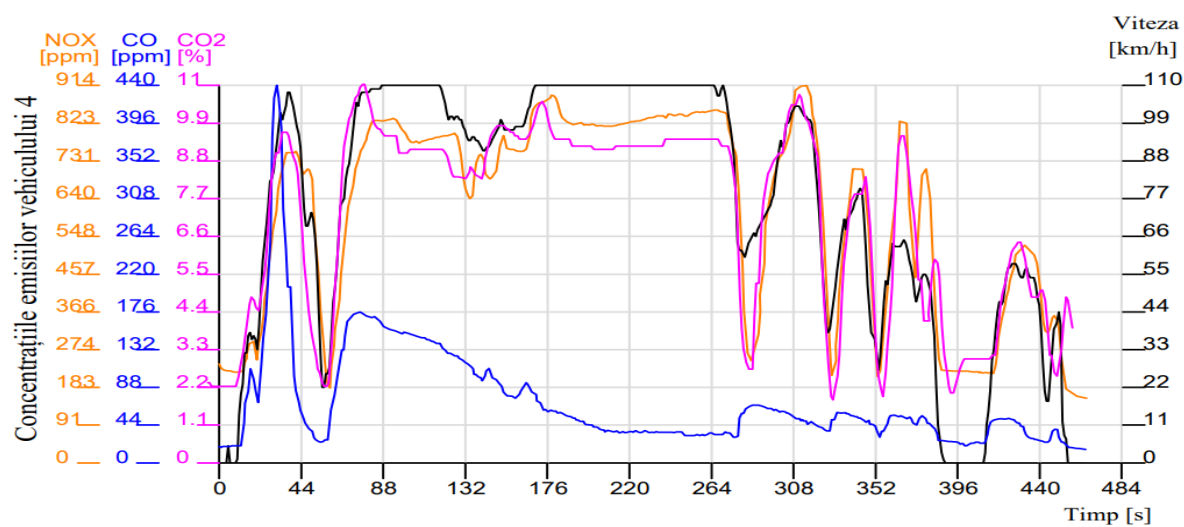
a)



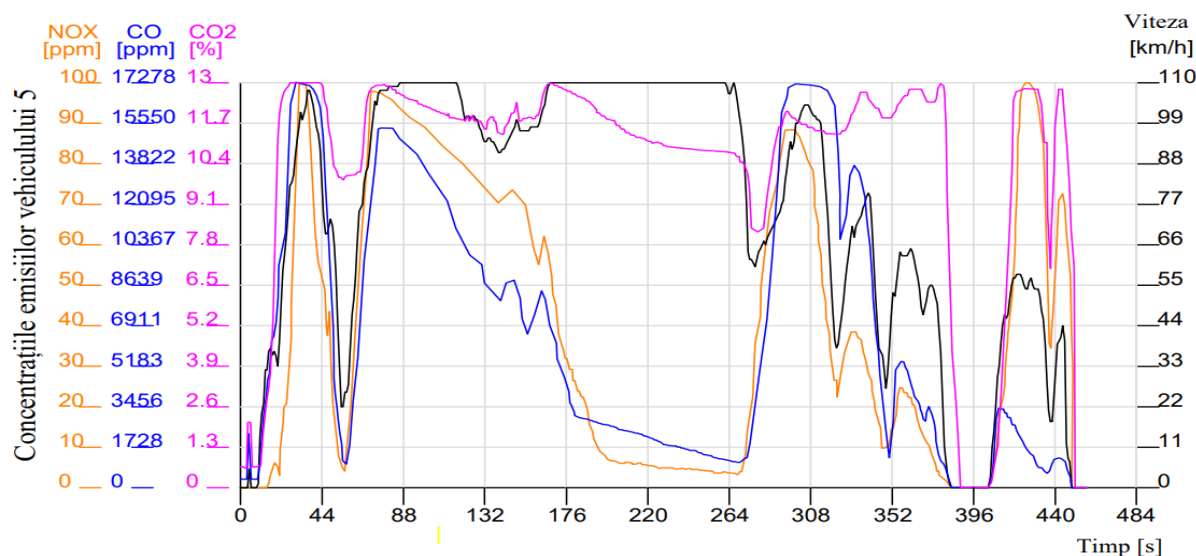
b)



c)



d)

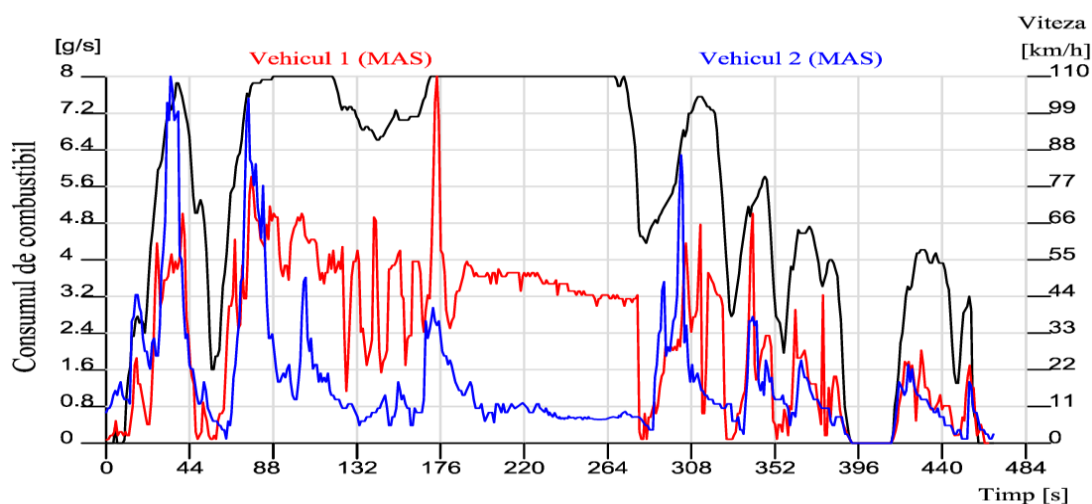


e)

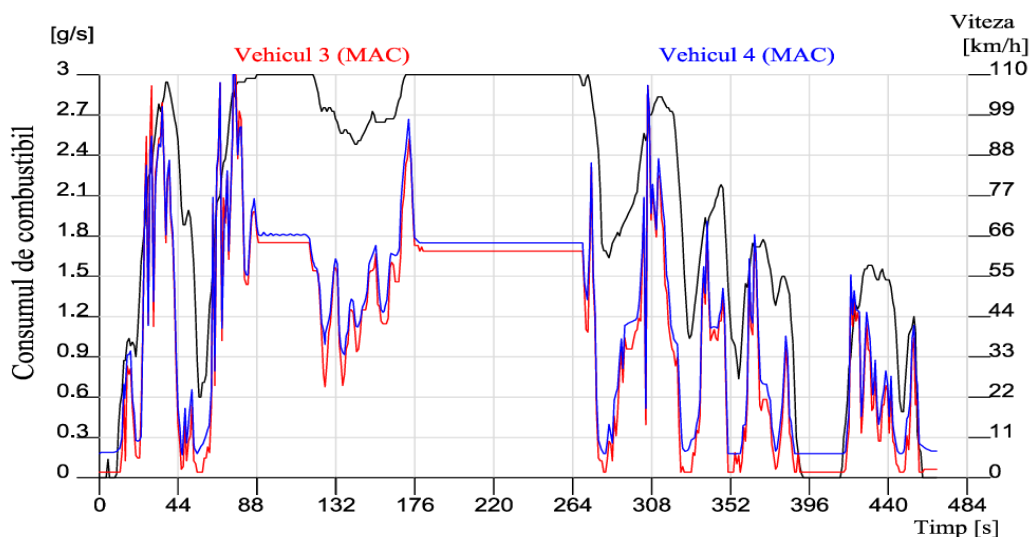
Fig. 5.8 - Efectul regimului dinamic la rularea ciclului real de conducere extraurban (ciclul E-BV) asupra concentrațiilor de NO_x , CO și CO_2 ; a) și b) MAS - Vehiculul 1 (injecție directă - supraalimentat) și 2 (injecție indirectă - aspirație naturală); c) și d) MAC - Vehiculul 3 și 4 (Injecție indirectă - supraalimentat); e)-Vehiculul 5 (Hibrid).

Pentru autovehiculele MAC, creșterea sarcinii conduce la o evoluție diferită a NO_x . V3 prezintă un vârf inițial de aproximativ 529 ppm, urmat de reducerea concentrației către aproximativ 50 ppm după intrarea sistemului SCR în domeniul termic corespunzător. V4 înregistrează valori considerabil mai ridicate, de aproximativ 900 ppm în fazele cu sarcină mare și viteze apropiate de 100 km/h. Diferența dintre V3 și V4 demonstrează influența caracteristicilor constructive și a strategiilor de post-tratare chiar și pentru autovehicule aparținând aceleiași categorii de motorizare.

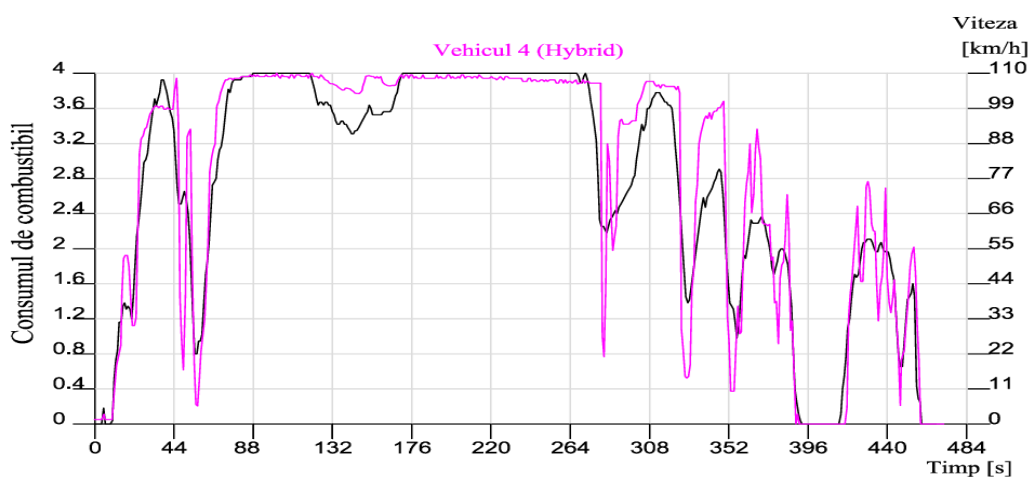
Pentru V5, condițiile termice limitează din nou utilizarea sistemului electric, motorul termic rămânând activ pe aproape întreaga durată a ciclului. Consumul urmărește astfel profilul vitezei și ajunge la valori apropiate de 4 g/s în zonele de viteză maximă (Fig. 5.9). În consecință, în condițiile experimentale analizate, comportamentul energetic al vehiculului hibrid în regim extraurban se apropie de cel al unui autovehicul convențional cu motor cu aprindere prin scânteie.



a)



b)



c)

Fig. 5.9 - Valorile instantanee ale consumului de combustibil în ciclul extraurban (seria a II-a): a) Autovehicule MAS, b) Autovehicule MAC, c) Autovehicul hibrid

La nivelul tuturor autovehiculelor, consumul crește din nou în intervalele de viteză de aproximativ 90–110 km/h. Acest rezultat este important deoarece arată că reducerea consumului prin fluidizarea traficului nu presupune o creștere nelimitată a vitezei. La viteze reduse, regimurile tranzitorii și opririle frecvente determină consumuri ridicate; în domeniul intermediar funcționarea este mai favorabilă, iar la viteze ridicate creșterea rezistenței aerodinamice majorează din nou necesarul energetic.

5.5. Studiul concentrației emisiilor și consumului de combustibil în condițiile unui trafic rutier descris de ciclul WLTC

Ciclul WLTC a fost utilizat pentru completarea cercetării prin evaluarea celor cinci autovehicule într-un profil standardizat, alcătuit din faze succesive de viteză redusă, medie, ridicată și foarte ridicată. Spre deosebire de ciclurile reale efectuate la temperaturi ambientale de aproximativ 9–12 °C, testarea WLTC a fost realizată în condiții termice cu temperatură mai ridicată (23°C), ceea ce permite

evidențierea mai clară a influenței profilului de conducere și a încălzirii progresive a motorului și sistemelor de post-tratare.

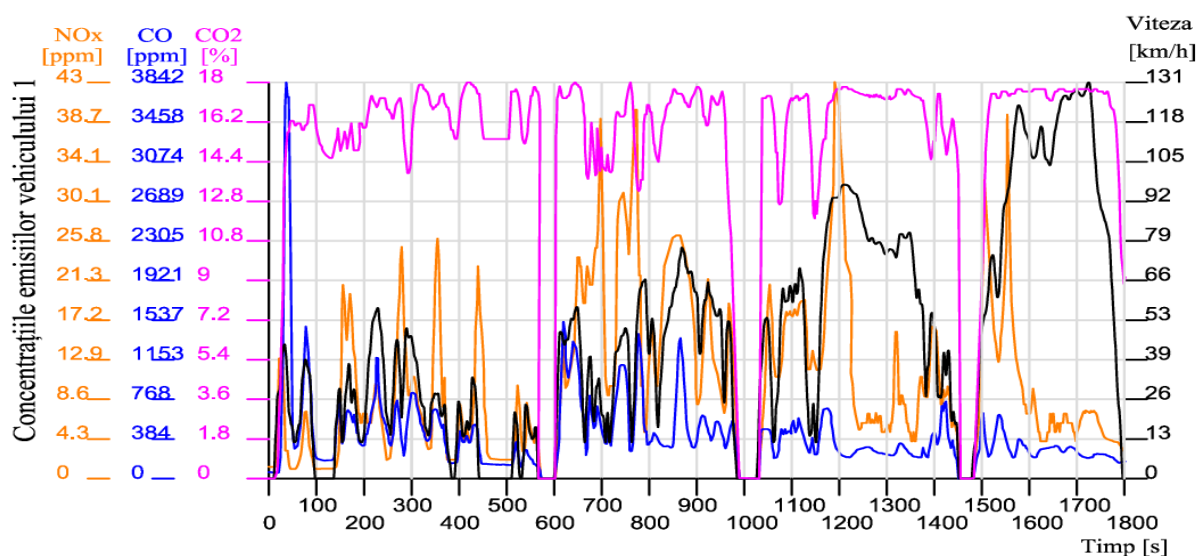
Pentru V1 și V2, concentrațiile de NO_x rămân reduse pe cea mai mare parte a ciclului, valorile maxime fiind de aproximativ 40–45 ppm pentru V1 și sub 30 ppm pentru V2 (Fig. 5.10). Vârfurile sunt asociate accelerărilor, în timp ce în perioadele de rulare stabilă concentrațiile scad datorită funcționării eficiente a convertorului catalitic cu trei căi. CO prezintă valori mai ridicate în fazele inițiale, după care se stabilizează la niveluri reduse. Concentrațiile de CO_2 se situează aproximativ între 14 și 18 %, în special în fazele cu viteze ridicate.

Comparația cu ciclurile reale evidențiază importanța condițiilor termice. În seria I, pentru V1 și V2 au fost înregistrate vârfuluri ale NO_x de peste 450 ppm, respectiv aproximativ 240 ppm în anumite secvențe ale ciclului urban, în timp ce în WLTC valorile maxime sunt mult mai reduse. Diferența confirmă influența majoră exercitată de pornirea la rece, temperatura mediului și temperatura sistemelor de post-tratare asupra concentrațiilor măsurate în condiții reale.

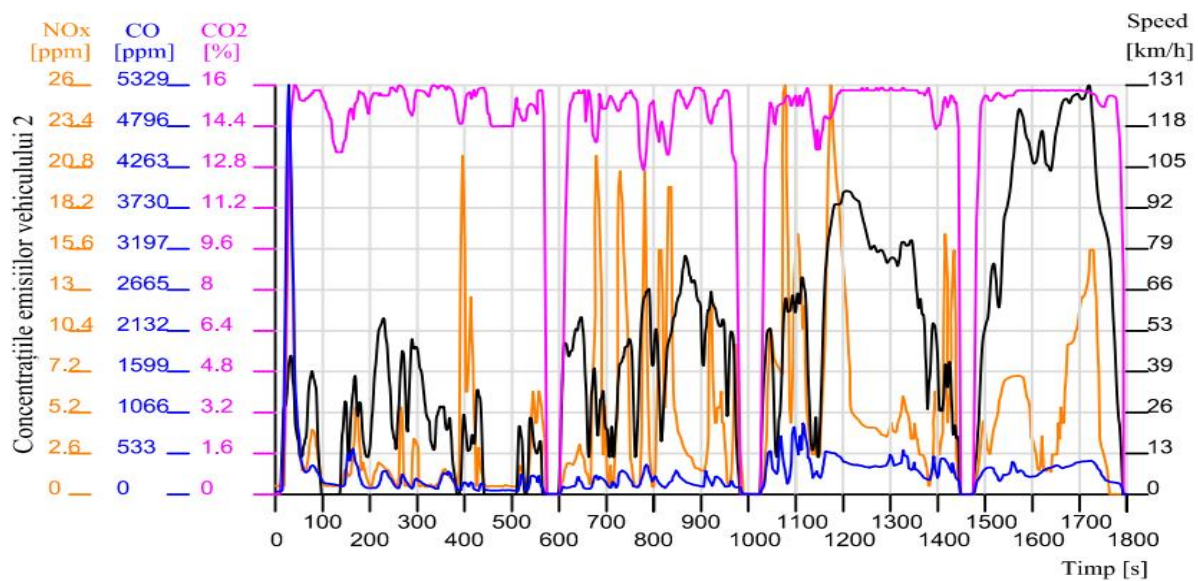
Pentru V3, concentrațiile maxime de NO_x sunt de aproximativ 220 ppm în primele faze, după care scad progresiv odată cu încălzirea gazelor de evacuare și creșterea eficienței sistemului SCR. V4 prezintă cele mai mari valori dintre vehiculele analizate, depășind 1000 ppm în anumite faze de viteză și sarcină ridicate. Pentru ambele vehicule MAC, concentrațiile de CO rămân reduse pe cea mai mare parte a ciclului, iar CO_2 se situează în general sub 12 %.

V5 prezintă un comportament intermediar, concentrațiile de NO_x menținându-se în general sub 90 ppm. Concentrațiile de CO scad după stabilizarea regimului de funcționare, iar cele de CO_2 se situează aproximativ între 8 și 12 %. Funcția de oprire automată a motorului s-a activat pentru V1, V2 și V5 în jurul secunde 550, iar pentru V3 și V4 după aproximativ 1000 s, evidențiind influența condițiilor termice și a strategiilor proprii de comandă asupra funcționării acestui sistem.

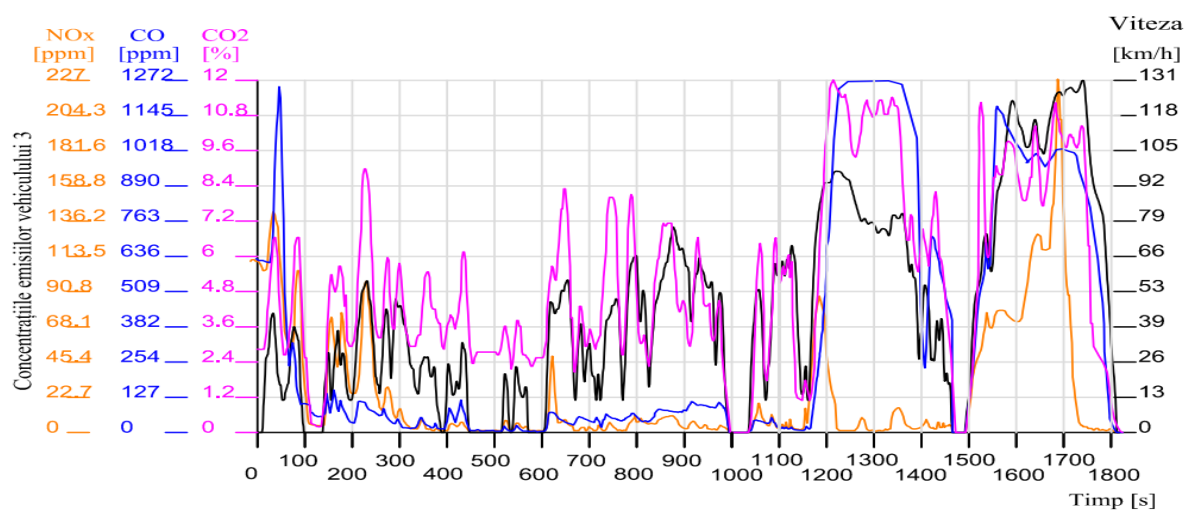
este observata si in cazul concentrațiilor de CO.



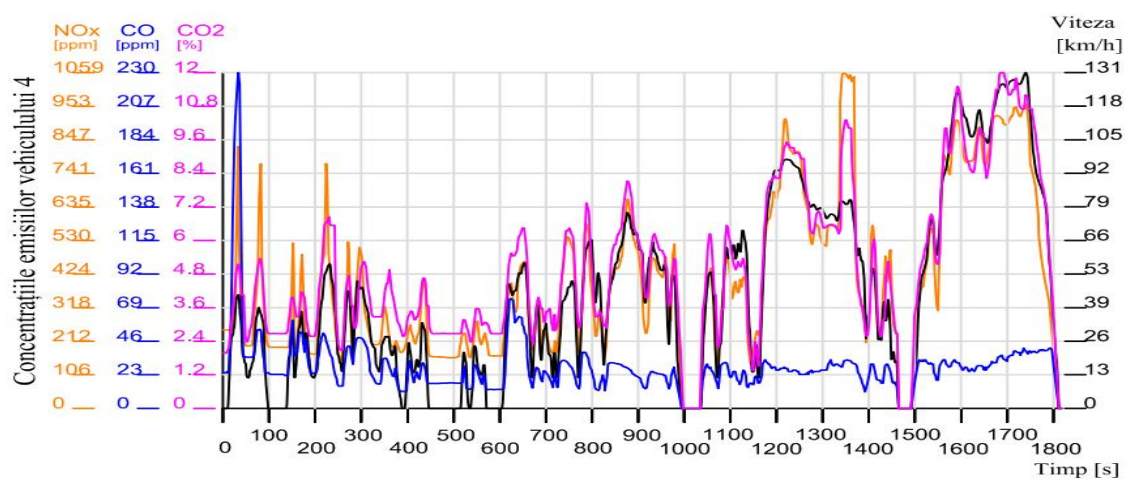
a)



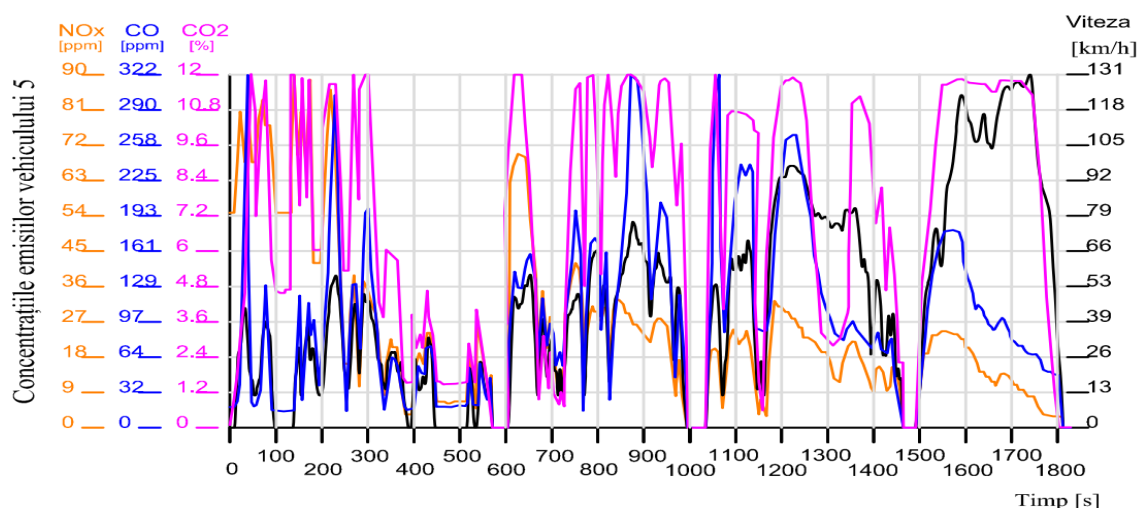
b)



c)



d)



e)

Fig. 5.10 - Efectul regimului dinamic la rularea ciclului WLTC asupra concentrațiilor de NO_x , CO și CO_2 ; a) și b) MAS - Vehiculul 1 (injecție directă - supraalimentat) și 2 (injecție indirectă - aspirație naturală); c) și d) MAC - Vehiculul 3 și 4 (Injecție indirectă - supraalimentat); e) - Vehiculul 5 (Hibrid).

Analiza consumului în cele patru faze WLTC confirmă dependența acestuia de viteza și sarcina motorului. În faza de viteză redusă, opririle și accelerațiile succesive determină variații importante ale consumului instantaneu. În fazele de viteză medie, funcționarea devine mai stabilă, iar consumul specific tinde către valori mai favorabile. În fazele de viteză ridicată și foarte ridicată, necesarul de putere crește progresiv, în principal ca urmare a rezistenței aerodinamice, ceea ce determină o nouă creștere a consumului.

5.6. Compararea rezultatelor experimentale, obținute în ciclul de conducere WLTC și în condițiile reale

Analiza integrată a ciclurilor reale și a ciclului WLTC evidențiază faptul că influența traficului asupra consumului de combustibil și concentrațiilor emisiilor nu poate fi caracterizată numai prin viteza medie. Numărul și durata opririlor, frecvența accelerațiilor și decelerațiilor, amplitudinea variațiilor de viteză, sarcina motorului și regimul termic reprezintă factori determinanți pentru comportamentul sistemului de propulsie.

Regimul urban este cel mai sensibil la aceste fenomene. Succesiunea frecventă a opririlor, pornirilor și accelerațiilor conduce la variații ample ale consumului și concentrațiilor emisiilor, iar efectele sunt amplificate atunci când motorul și sistemele de post-tratare funcționează sub temperatura optimă. Fluidizarea traficului reduce numărul regimurilor tranzitorii și permite funcționarea mai stabilă a sistemului de propulsie.

În regimul suburban, creșterea vitezei și reducerea numărului de opriri conduc la o funcționare mai uniformă. Sistemele de post-tratare beneficiază de temperaturi mai favorabile, iar variațiile consumului și concentrațiilor emisiilor sunt mai reduse decât în regimul urban. La trecerea către regimul extraurban, avantajele stabilizării funcționării se mențin, însă creșterea vitezei determină majorarea necesarului energetic, în special prin creșterea rezistenței aerodinamice.

Rezultatele evidențiază, de asemenea, diferențe clare între sistemele de propulsie. Autovehiculele MAS prezintă concentrații reduse de NO_x după atingerea regimului termic corespunzător al convertorului catalitic cu trei căi, dar pot înregistra vârfuri ale CO în fazele de pornire și accelerare. Autovehiculele MAC prezintă concentrații reduse de CO și un consum de combustibil mai redus în numeroase regimuri, dar concentrația de NO_x este puternic dependentă de sarcină și de eficiența

sistemului SCR. Diferențele importante constatate între V3 și V4 demonstrează că simpla clasificare a autovehiculelor după tipul motorului nu este suficientă, fiind necesară considerarea tehnologiei de post-tratare și a strategiei de comandă.

În cazul vehiculului hibrid, avantajele sistemului de propulsie sunt dependente de condițiile de funcționare. În ciclul urban, acesta prezintă valori reduse ale concentrațiilor emisiilor, însă la temperaturi scăzute și în regimurile suburban și extraurban utilizarea propulsiei electrice este limitată. În aceste situații, motorul cu ardere internă rămâne activ pentru perioade extinse, iar comportamentul energetic se apropie de cel al unui autovehicul convențional.

Un rezultat important al cercetării îl reprezintă evidențierea influenței regimului termic. Diferențele dintre ciclurile reale efectuate la temperaturi ambientale reduse și ciclul WLTC realizat în condiții controlate demonstrează că eficiența sistemelor de post-tratare nu poate fi considerată constantă. Perioada necesară încălzirii motorului, convertorului catalitic și sistemului SCR influențează direct valorile înregistrate, în special în primele minute de deplasare.

În ansamblu, rezultatele experimentale demonstrează existența unei relații directe între dinamica traficului, regimul de funcționare al sistemului de propulsie, consumul de combustibil și concentrațiile emisiilor. Cele mai nefavorabile condiții sunt asociate combinației dintre temperaturi reduse, opriri frecvente și accelerații repetate. Regimurile caracterizate prin viteze moderate și relativ constante permit funcționarea motorului în zone cu eficiență superioară și reduc amplitudinea variațiilor parametrilor analizați. La viteze ridicate, consumul crește din nou ca urmare a necesarului energetic suplimentar, în special a creșterii rezistenței aerodinamice.

Această concluzie experimentală susține abordarea utilizată în modelarea numerică: reducerea numărului de opriri și a variațiilor inutile ale vitezei, fără creșterea excesivă a vitezei de deplasare, constituie o direcție eficientă pentru diminuarea consumului de combustibil și pentru limitarea variațiilor concentrațiilor emisiilor în traficul rutier.

6. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

6.1. Concluzii finale

Prezenta teză de doctorat demonstrează, printr-o abordare experimentală integrată și prin validare numerică, că influența traficului rutier asupra consumului de combustibil și a emisiilor autovehiculelor este directă, cuantificabilă și puternic dependentă de regimul real de exploatare. Rezultatele obținute confirmă ipoteza de cercetare formulată inițial, conform căreia valorile emisiilor poluante și ale consumului nu pot fi evaluate riguros exclusiv prin cicluri standardizate, ci trebuie analizate în corelație cu parametrii dinamici ai traficului, cu regimul termic al motorului și cu particularitățile infrastructurii rutiere.

O contribuție științifică majoră a tezei constă în dezvoltarea și validarea unei metodologii experimentale hibride, bazate pe corelarea ciclurilor reale de conducere, achiziționate în trafic urban, suburban și extraurban, cu reproducerea fidelă a acestora pe standul dinamometric. Această abordare a permis eliminarea variabilelor necontrolabile specifice traficului real și compararea obiectivă a performanțelor energetice și de mediu pentru vehicule cu sisteme de propulsie diferite.

Analiza experimentală a evidențiat faptul că regimurile de trafic caracterizate prin viteze medii reduse, opriri frecvente, accelerări și decelerări repetate conduc la cele mai ridicate valori ale consumului de combustibil și ale emisiilor poluante. În mod particular, mediul urban a fost identificat ca regimul cu cel mai ridicat impact energetic și de mediu, datorită densității mari a punctelor de conflict și a frecvenței ridicate a fazelor tranzitorii. În opoziție, ciclurile cu viteze ridicate și regim stabilizat au evidențiat cea mai bună eficiență energetică, confirmând că fluidizarea traficului reprezintă una dintre cele mai eficiente măsuri de reducere simultană a consumului și a poluării.

Din punct de vedere al mecanismelor fizico-chimice, cercetarea a evidențiat că nivelul temperaturii gazelor din camera de ardere reprezintă parametrul esențial care influențează reacțiile de formare a NO_x . Formarea acestor concentrații este determinată decisiv de calitatea amestecului aer-combustibil, de fracțiunea de gaze arse reziduale sau recirculate și de cantitatea de amestec care arde înainte de atingerea punctului mort superior, acești factori manifestându-se diferit în funcție de tipul motorului, MAS sau MAC. Parametrii funcționali ai motorului, în special turația și sarcina instantanee, influențează direct temperatura gazelor de ardere și, implicit, nivelul NO_x format, explicând variațiile considerabile ale concentrațiilor emisiilor chiar și pentru aceleași condiții aparente de deplasare.

Un rezultat important al tezei constă în demonstrarea faptului că aceeași viteză de deplasare poate fi obținută prin combinații diferite de turație și sarcină ale motorului, fiecare conducând la niveluri distincte ale concentrațiilor emisiilor. Acest aspect explică riguros de ce, pentru aceeași viteză a vehiculului, valorile emisiilor poluante pot fi diferite. În plus, sistemele de post-tratare a gazelor de evacuare prezintă randamente de conversie diferite în funcție de debitul gazelor și de regimul termic, ceea ce contribuie suplimentar la variațiile emisiilor înregistrate experimental.

Rezultatele au demonstrat diferențe clare între tipurile de sisteme de propulsie. Vehiculele echipate cu motoare MAC au prezentat, în mod constant, un consum de combustibil inferior vehiculelor MAS, în special în regimurile stabilizate și la viteze medii și ridicate, ceea ce confirmă randamentul termic superior al acestui tip de motorizare. Cu toate acestea, pentru anumite vehicule diesel, în special pentru autovehiculul fabricat în 2015, s-au înregistrat niveluri ridicate ale emisiilor de NO_x , ceea ce evidențiază limitările sistemelor de post-tratare în condiții reale de exploatare.

O concluzie deosebit de relevantă este faptul că regimul termic al motorului și al sistemelor de post-tratare influențează decisiv profilul de emisii pe traseu. Pornirea la rece și primele sute de secunde de funcționare generează vârfuri ridicate ale emisiilor de CO, HC și NO_x , transformând zonele cu porniri frecvente și opriri repetate în puncte critice pentru calitatea aerului urban. Acest rezultat are implicații directe pentru managementul traficului în zonele intens circulate și pentru strategiile de control al emisiilor în exploatare.

Rezultatele obținute și prezentate în lucrare demonstrează totodată valoarea modelării și simulării numerice în analiza comportamentului energetic al autovehiculelor. Modelul dezvoltat și validat în

mediul AMESIM a confirmat fidelitatea reproducerii ciclurilor reale și a permis evaluarea unor scenarii ipotetice de optimizare a traficului. Rezultatele simulărilor au arătat că uniformizarea vitezei și reducerea regimurilor tranzitorii conduc la scăderi măsurabile ale debitului de combustibil și ale emisiilor cumulative, susținând fundamentat introducerea unor sisteme inteligente de management al traficului urban. Diferențele reduse dintre testele în laborator și cele din mediul AMSIM, de ordinul a 2–3%, confirmă robustețea metodologiei și validitatea rezultatelor obținute.

Din perspectivă aplicativă, concluziile tezei susțin necesitatea trecerii de la evaluarea exclusivă prin cicluri standardizate la metodologii integrate, bazate pe cicluri reale de conducere și pe validare experimentală în condiții controlate. Această abordare oferă o imagine mult mai fidelă asupra impactului real al transportului rutier asupra mediului și poate constitui un instrument valoros pentru proiectarea politicilor de mobilitate sustenabilă, optimizarea infrastructurii urbane și fundamentarea viitoarelor reglementări privind emisiile în exploatare.

În ansamblu, cercetarea confirmă faptul că reducerea impactului transportului rutier asupra mediului nu depinde exclusiv de evoluția tehnologiilor de propulsie, ci și de modul în care traficul este organizat, controlat și adaptat la specificul infrastructurii și al mediului urban. Prin caracterul experimental, prin validarea numerică și prin relevanța practică a concluziilor, teza aduce o contribuție originală, solid fundamentată științific și direct aplicabilă în domeniul ingineriei autovehiculelor și al protecției mediului.

6.2. Contribuții personale

- Elaborarea și validarea unui cadru metodologic original de cercetare, fundamentat pe simularea traficului rutier și pe reproducerea condițiilor reale de exploatare, pentru evaluarea influenței regimului dinamic de deplasare asupra emisiilor poluante și a consumului de combustibil, prin dezvoltarea unor noi cicluri de testare reprezentative
- Dezvoltarea unor cicluri reale de conducere reprezentative pentru regimurile urban, suburban și extraurban, obținute pe baza parametrilor dinamici colectați în trafic real (viteză, accelerație, decelerație, opriri, regim termic), utilizate ulterior în reproducerea experimentală pe standul dinamometric
- Identificarea și cuantificarea influenței intensității traficului asupra nivelului emisiilor poluante, prin analiza comparativă a ciclurilor desfășurate în intervale orare distincte și în condiții diferite de fluidizare a traficului
- Dezvoltarea și validarea unei aplicații software dedicate în mediul AutoCAD, concepută pentru integrarea și prelucrarea datelor experimentale obținute în timpul testelor, cu generarea automată a reprezentărilor grafice necesare analizei comparative a emisiilor poluante și a consumului de combustibil
- Demonstrarea, prin simulare și validare experimentală, a efectului benefic al uniformizării vitezei asupra reducerii consumului de combustibil și a emisiilor poluante, contribuind la fundamentarea unor soluții de management inteligent al traficului urban.
- Evidențierea diferențelor dintre valorile obținute în condiții standardizate WLTC și cele determinate în condiții reale de exploatare, cu relevanță directă pentru evaluarea performanței reale a autovehiculelor.

6.3. Direcții de dezvoltare în domeniul tezei de cercetare (proponeri pentru viitor)

- Analiza pe faze individuale ale ciclului WLTC (low, medium, high, extra-high), prin corelarea consumului de combustibil, turației motorului, sarcinii și emisiilor poluante, în vederea identificării regimurilor critice de funcționare. Această abordare este utilizată frecvent în literatura de specialitate pentru evidențierea variațiilor dinamice ale emisiilor în condiții tranzitorii.
- Analiza influenței accelerațiilor și a sarcinii dinamice asupra emisiilor, inclusiv la pornirea de pe loc și în regimuri de variație rapidă a sarcinii, corelată cu parametri precum

presiunea în pneuri și masa vehiculului. Studiile recente arată că aceste condiții au un impact important asupra emisiilor instantanee, în special pentru NO_x și CO.

- Analiza emisiilor în condiții reale de exploatare (RDE – Real Driving Emissions), prin extinderea testelor în afara standului dinamometric, pentru a evalua diferențele dintre condițiile controlate și cele reale de trafic.
- Studiul comportamentului sistemelor de post-tratare (TWC, SCR, DPF) în funcție de temperatură, sarcina, starea de degradare (eficiență/ ineficiență) și regim de funcționare, cu accent pe eficiența conversiei poluanților în condiții tranzitorii și la pornire la rece.
- Analiza momentului de intervenție și a strategiilor de control ale motorului electric la vehiculele hibride, prin corelarea funcționării acestuia cu sarcina motorului termic, nivelul de încărcare al bateriei și profilul de viteză. Această direcție este esențială pentru optimizarea consumului și reducerea emisiilor.
- Analiza comparativă între vehicule convenționale, hibride și electrice, din punct de vedere al consumului de energie și al emisiilor echivalente de CO₂, în condiții similare de exploatare.
- Evaluarea emisiilor pe întreg ciclul de viață (LCA – Life Cycle Assessment) pentru vehicule electrice, hibride și convenționale, incluzând:
 - o producția vehiculului (în special bateria pentru EV),
 - o utilizarea în exploatare,
 - o reciclarea și sfârșitul ciclului de viață. Această abordare permite determinarea emisiilor totale de CO₂ „de la producție la casare”, fiind intens studiată în cercetările recente.
- Analiza consumului de energie la vehicule electrice în funcție de:
 - o stilul de conducere,
 - o condițiile de trafic,
 - o temperatură ambientală,
 - o utilizarea sistemelor auxiliare (HVAC). Studiile arată variații pronunțate ale autonomiei și eficienței energetice în funcție de acești parametri.
- Studiul degradării performanței în timp, prin analiza evoluției emisiilor și consumului pe măsură ce vehiculul acumulează kilometri, inclusiv degradarea catalizatorilor și a bateriilor.
- Integrarea metodelor bazate pe inteligență artificială și machine learning pentru:
 - o predicția emisiilor în funcție de parametri de funcționare,
 - o optimizarea strategiilor de control al motorului,
 - o identificarea anomaliilor în funcționare.

Bibliografie

- [1] GHG emissions of all world countries 2023 Report. *European Commission, Joint Research Centre (JRC), Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR)*, 2023, <https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report> (2023).
- [2] European Environment Agency (EEA). Greenhouse gas emissions from transport in Europe (Indicator report). 2024.
- [3] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). AR6 – Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change, Working Group III.
- [4] Moskalik A., Hula A., Barba D., et al. Investigating the Effect of Advanced Automatic Transmissions on Fuel Consumption Using Vehicle Testing and Modeling. *SAE International*; 1142. Epub ahead of print 5 April 2016. DOI: doi:10.4271/2016-01-1142.
- [5] International Energy Agency (IEA). CO₂ Emissions from Fuel Combustion Highlights.
- [6] Number of Cars in the World 2025: Key Stats & Figures. *Autokunbo*, 30 March 2025, <https://autokunbo.com> (30 March 2025).
- [7] World Vehicle Population Tops 1 Billion Units. *WardsAuto*, 15 August 2011, https://transportsafety.ir/wp-content/uploads/RoadSafetyManagement/Resources/VehiclePopulation.pdf?utm_source=chatgpt.com (15 August 2011).
- [8] Stan Robert. In Romania sunt inmatriculate 10,8 milioane de vehicule. Parcul auto s-a majorat cu 4 % anul trecut. *EconomiaNet*, <https://www.economica.net> (2025).
- [9] Euro 7 emission standards. Assessing the potential implications for automotive engine lubricants. *Insight*, 18July2023, <https://www.infineuminsight.com/en> (18July2023).
- [10] European Environment Agency. 10 December 2024, https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/air-pollution/air-pollution-country-fact-sheets-2024/romania-air-pollution-country-fact-sheet-2024?utm_source=chatgpt.com (10 December 2024).
- [11] London Atmospheric Emissions Inventory 2019 Update. April 2023, <https://data.london.gov.uk.pdf> (April 2023).
- [12] Cristina T. Decoding Urban Traffic Pollution: Insights on Trends, Patterns, and Meteorological Influences for Policy Action in Bucharest, Romania. *Atmosphere*; 16. Epub ahead of print 29 July2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos16080916>.
- [13] Gregor S, et al. New NO_x and NO₂ vehicle emission curves, and their implications for emissions inventories and air pollution modelling. *Urban Climate*; 57. Epub ahead of print September 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102103>.
- [14] Park J, et al. NO_x reduction scenarios under real-world driving conditions for light-duty diesel vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*; 36. Epub ahead of print November 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104467>.
- [15] Chiritescu RV, Iorga G, Luca E. OBSERVATIONAL STUDY OF MAJOR AIR POLLUTANTS OVER URBAN ROMANIA IN 2020 IN COMPARISON WITH 2019. *Romanian Reports in Physics*; 76. Epub ahead of print 2024. DOI: <https://doi.org/10.59277/RomRepPhys.2024.76.702>.

- [16] Global Monitoring Laboratory: Mauna Loa CO₂ Monthly Mean Data. *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*, 2023.
- [17] Blue Carbon Ecosystems and Their Role in Climate Mitigation. *United Nations Environment Programme (UNEP)*, 23october2023.
- [18] Special Report on Climate Change and Land (SRCCL). *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, 2019.
- [19] Nitoiu C., Cofaru C., Popescu M. Influence of road and traffic conditions on emissions and fuel consumption of light vehicles in a real urban driving cycle. *Environmental Science and Pollution Research*. Epub ahead of print 21 May 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-025-36573-3>.
- [20] Yushan Y., Nuoya G., Keying X., et al. Predicting Gasoline Vehicle Fuel Consumption in Energy and Environmental Impact Based on Machine Learning and Multidimensional Big Data. *Energies*; 15(5). Epub ahead of print 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15051602>.
- [21] Shahariar G., Mojibul S., Kabir A., et al. On-Road CO₂ and NO_x Emissions of a Diesel Vehicle in Urban Traffic. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*; 107. Epub ahead of print 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103326>.
- [22] Jianbing G., Haibo C., Junyan C., et al. Fuel economy and exhaust emissions of a diesel vehicle under real traffic conditions. *Energy Science and Engineering*; 8(5). Epub ahead of print 22 February 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/ese3.632>.
- [23] Bagheri E., Tehrani M., Azadi M., et al. Impact of driving characteristic parameters and vehicle type on fuel consumption and emissions performance over real driving cycles. *Plos One*. Epub ahead of print 13 January 2025. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0317098>.
- [24] Cruz P., Lakouari N. Effect of Interactions between Vehicles and Mid-Block Crosswalks on Traffic Flow and CO₂ Emission. *Applied Sciences*; 11(24). Epub ahead of print 12 November 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/app112411794>.
- [25] Graba M., Mamala J., Zrota Z. Impact of the acceleration intensity of a passenger car in a road test on energy consumption. *Energy*; 226. Epub ahead of print 7 January 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120429>.
- [26] Jiangbing G., Haibo C., Ying C., et al. Fuel consumption and exhaust emissions of diesel vehicles in worldwide harmonized light vehicles test cycles and their sensitivities to eco-driving factors. *Energy Conversion and Management* 2019; 196: 605–613.
- [27] Huang Y., Ng Y., Zhou L., et al. Impact of drivers on real-driving fuel consumption and emissions performance. *National Library of Medicine*. Epub ahead of print 12 January 2021. DOI: [doi:10.1016/j.scitotenv.2021.149297](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149297).
- [28] Skuza A., Szumska M., Jureki S. Fuel consumption and CO₂ emission analysis of hybrid and conventional vehicles in urban conditions. *Combustion Engines*. Epub ahead of print August 2023. DOI: [DOI:10.19206/CE-169569](https://doi.org/10.19206/CE-169569).
- [29] Pielecha J., Skobieć K., Kurtyka K. Exhaust Emissions and Energy Consumption Analysis of Conventional, Hybrid, and Electric Vehicles in Real Driving Cycles. *Energies*; 13(23). Epub ahead of print 12 April 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13236423>.
- [30] Rojans-Reinoso V., Fernandez A., Alomoto U., et al. Comparative Study of Fuel and Greenhouse Gas Consumption of a Hybrid Vehicle Compared to Spark Ignition Vehicles. *World*

- Electric Vehicle Journal*; 16(1). Epub ahead of print 26 January 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/wevj16010004>.
- [31] Fernando Redondo Puelles. Experimental characterisation of real driving cycles in diesel passenger vehicles under different environmental conditions.
 - [32] Zhuoqian Yang. Real-driving Emission Performance and Potential Reduction from Vans.
 - [33] Nitoiu C., Cofaru C. Modeling Real Cycles Using Driving Cycle Software to Analyze the Influence of Road Traffic Characteristics on the Emission of Different Types of Vehicles. Epub ahead of print November 2024. DOI: DOI:%2010.20944/preprints202411.1003.v1.
 - [34] Soica A., Campian G., Ciolan G., et al. *Elemente de dinamica autovehiculului*. Brasov, 2014.
 - [35] THE Effect of Road Rolling Resistance on Carbon Emissions. *Scottish Road Research Board*, March 2024, <https://www.transport.gov.scot> (March 2024).
 - [36] Fathi H., El-Sayegh Z., Ghoreishy H. Prediction of rolling resistance and wheel force for a passenger car tire: A comparative study on the use of different material models and numerical approaches. *Sage Journals*; 239 (7). Epub ahead of print May 2024. DOI: <https://doi.org/10.1177/09544070241244556>.
 - [37] Komnos D., Broekaert S., Grigoratos T., et al. In use determination of aerodynamic and rolling resistances of heavy-duty vehicles. *Environment and climate change*; JRC122044. Epub ahead of print 5 February 2021. DOI: <https://dx.doi.org/10.3390/su13020974>.
 - [38] Shounik D., Hongsheng G., Brian L. A Study on the High Load Operation of a Natural Gas-Diesel Dual-Fuel Engine. *Energy*; 6. Epub ahead of print 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmech.2020.545416>.
 - [39] Dahham R. Y., Wei H., Pan J. Improving Thermal Efficiency of Internal Combustion Engines: Recent Progress and Remaining Challenges. *Energies*; 15(17). Epub ahead of print 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15176222>.
 - [40] Yu C., Yang X., Mu J., et al. A systematic review of urban road traffic CO2 emission models. *Carbon Footprints*; 4. Epub ahead of print 6 October 2025. DOI: [doi:10.20517/cf.2025.12](https://doi.org/10.20517/cf.2025.12).
 - [41] Santos O., Ribeiro F., Metrôlho J., et al. Using Smart Traffic Lights to Reduce CO2 Emissions and Improve Traffic Flow at Intersections: Simulation of an Intersection in a Small Portuguese City. *Applied System Innovation*; 7. Epub ahead of print 25 December 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/asi7010003>.
 - [42] Global EV Outlook 2023. *IEA*, 2023, <https://www.iea.org> (2023).
 - [43] Albert N. Link, Alan C. O'Connor, Troy J. Scott, et al. Benefit-Cost Evaluation of U.S. DOE Investment in Energy Storage Technologies for Hybrid and Electric Cars and Trucks. *RTI International is a trade name of Research Triangle Institute*, https://www.energy.gov/sites/default/files/2015/05/f22/2013_bca_vto_edvs.pdf (2013).
 - [44] Ameya Joshi, Corning Inc. Review of Vehicle Engine Efficiency and Emissions. *Sustainability, Power and Propulsion*. Epub ahead of print 6 April 2021. DOI: <https://doi.org/10.4271/2021-01-0575>.
 - [45] Real Driving Emissions testing: A game-changer for NOx to promote cleaner vehicles in the EU. *European Commission*, 2023.

- [46] Dafeng Song, Shiyuan W., Xiaohua Z., et al. Coordinated Control of Continuously Variable Transmission Speed Ratio in Engine Starting-Up for Hybrid Electric Vehicle. *Sae Mobility*. Epub ahead of print 16 March 2021. DOI: <https://doi.org/10.4271/2021-01-5003>.
- [47] Making the Transition to Zero Emission Mobility. *ACEA Driving Mobility for Europe*, 2022, https://www.acea.auto/files/ACEA_progress_report-2022.pdf (2022).
- [48] Opetnik M., Hausberger S., Matzer C. U., et al. The Impact of Vehicle Technology, Size Class, and Driving Style on the GHG and Pollutant Emissions of Passenger Cars. *Energies*; 17(9). Epub ahead of print 26 April 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/en17092052>.
- [49] Ashrafur Rahman S. M., Rizwanul Fattah I. M., Ong H. C., et al. State-of-the-Art of Establishing Test Procedures for Real Driving Gaseous Emissions from Light- and Heavy-Duty Vehicles. *Energies*; 14(14). Epub ahead of print 7 December 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14144195>.
- [50] Climent J., Redondo F. Analysis of pollutant emissions and fuel consumption, during real driving cycles in different intake temperature scenarios. *Sage Journals, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*; 237. Epub ahead of print 2 November 2022. DOI: <https://doi.org/10.1177/09544070221078402>.
- [51] High-pressure pump. *Bosch Mobility*, <https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/pumps/high-pressure-pump>.
- [52] From excellence in motorsport to performance on the road, <https://www.boschaftermarket.com/>.
- [53] Sreelekha Etikyala. *Particulate Formation in GDI Engines, Towards sustainable transportation with zero emissions*. SE-412 96 Gothenburg Sweden: Department of Mechanics and Maritime Sciences Division of Combustion and Propulsion Systems Chalmers University of Technology, 2022.
- [54] Cofaru Corneliu. *Autovehiculul si Poluarea Mediului, Evaloare si Control*. Brasov: Editura Universitatii Transilvania din Brasov.
- [55] DENSO Develops a New Diesel Common Rail System With the World's Highest Injection Pressure. *Denso*, <https://www.denso.com> (2013).
- [56] Katreddi S., Thiruvengadam A. Trip Based Modeling of Fuel Consumption in Modern Heavy-Duty Vehicles Using Artificial Intelligence. *Energies*; 14. Epub ahead of print 29 December 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14248592>.
- [57] Tansini A., Marin A., Suarez J., et al. Learning from the real-world: Insights on light-vehicle efficiency and CO2 emissions from long-term on-board fuel and energy consumption data collection. *Elsevier*; 135. Epub ahead of print 7 January 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2025.119816>.
- [58] Szabó A.I., Mursi Z.T., Wégerer A., et al. Comprehensive Efficiency Analysis of Ethanol–Gasoline Blends in Spark Ignition Engines. *Eng*; 6. Epub ahead of print 10 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/eng6100256>.
- [59] Wu G., Feng G., Li Y., et al. A Review of Thermal Energy Management of Diesel Exhaust after-Treatment Systems Technology and Efficiency Enhancement Approaches. *Energies* 2024; 17: 584.

- [60] Hu J., Frey H. C., Boroujeni B. Contribution of Cold Starts to Real-World Trip Emissions for Light-Duty Gasoline Vehicles. *Atmosphere* 2023; 14: 35.
- [61] Zhang Y., Fan P., Lu H., et al. Fuel consumption of hybrid electric vehicles under real-world road and temperature conditions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*; 142. Epub ahead of print May 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2025.104691>.
- [62] Suarez J., Tansini A., Ktistakis M.A., et al. Towards zero CO2 emissions: Insights from EU vehicle on-board data. *Science of The Total Environment*; 1001. Epub ahead of print 25 October 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180454>.
- [63] Sandrini G., Chindamo D., Gadola M., et al. Exploring the Impact of Vehicle Lightweighting in Terms of Energy Consumption: Analysis and Simulation on Real Driving Cycle. *Energies*; 17. Epub ahead of print 19.12.2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/en17246398>.
- [64] Díaz S., Tietge U., Dornoff J., et al. CO2 emissions from new passenger cars in Europe: Car manufacturers' performance in 2024, <https://theicct.org/wp-content/uploads/2025/12/ID-482-%E2%80%93EEA-briefing-Research> (2025).
- [65] Yang F., Brooker A., Kleinbaum S., et al. Lightweighting cost impacts on market adoption and GHG emissions in U.S. light-duty vehicle fleet. *Environmental Research Communications*; 6. Epub ahead of print 24 October 2024. DOI: <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ad82b3>.
- [66] Isilti A., Tate J. E. Technical performance evolution of BEVs: range, consumption and weight projections to 2050. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*; 152. Epub ahead of print March 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2025.105172>.
- [67] Askerdal M., Fredriksson J., Laine L. Development of simplified air drag models including crosswinds for commercial heavy vehicle combinations. *International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, Vehicle System Dynamics*; 62. Epub ahead of print 2024. DOI: <https://doi.org/10.108/00423114.2023.2213786>.
- [68] Sarbu Gabriel. Rolul calculului aerodinamic în reducerea emisiilor de CO2 ale automobilelor.
- [69] Fong E., Lane B., Samuelson S. Impact of vehicle-to-everything connectivity on fuel economy. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*; 136. Epub ahead of print November 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104423>.
- [70] Na X., Cebon D. Quantifying fuel-saving benefit of low-rolling-resistance tyres from heavy goods vehicle in-service operations. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*; 113. Epub ahead of print December 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103501>.
- [71] Zhang Q., Wang J., Sun N., et al. Tire pressure monitoring methods for vehicles: Review and research perspectives. *Measurement, Part D*; 256. Epub ahead of print December 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2025.118379>.
- [72] Das R. K., Hossain A. M., Islam T., et al. Effect of Tire Inflation Pressure and Wheel Front Toe Angle on Fuel Consumption of a Light-Duty Vehicle. 2023; 24: 1459–1473.
- [73] Gao C., Xu J., Jia M., et al. Correlation between carbon emissions, fuel consumption of vehicles and speed limit on expressway. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)* 2024; 11: 631–642.

- [74] Perdikopoulos M., Karageorgiou T., Ntziachristos L., et al. Developing Emission Factors from Real-World Emissions of Euro VI Urban Diesel, Diesel-Hybrid, and Compressed Natural Gas Buses. *Atmosphere* 2025; 16: 293.
- [75] Energy consumption and emission factors for PHEV passenger cars, What's new in version 5.4. *COPERT Training*, https://copert.emisia.com/wp-content/uploads/files/docs/COPERT_v5.4_Report.pdf.
- [76] Pecman J., Sarkan B., Lizbetinova B., et al. The Impact of acceleration style on vehicle emissions and perspectives for improvement through transportation engineering solutions. 104: 48–62.
- [77] Fellendorf M., Vortisch P. Microscopic Traffic Flow Simulator VISSIM, DOI: 10.1007/978-1-4419-6142-6_2 (2010).
- [78] Jack N. Barkenbus. Eco-driving: An overlooked climate change initiative. *Energy Policy* 2010; 38: 762–769.
- [79] Wang X., Huang J., Song G., et al. Speed-stratified, energy-balanced VSP models for high-resolution fuel use. *Energy Reports* 2025; 14: 3105–3117.
- [80] Smit R., Ayala A., Kadijk G., et al. Excess Pollution from Vehicles—A Review and Outlook on Emission Controls, Testing, Malfunctions, Tampering, and Cheating. *Sustainability* 2025; 17: 5362.
- [81] Smit R., Ayala A., Kadijk G., et al. Driving Change: A Scoping Review of Psychological Interventions to Reduce Engine Idling and Air Pollution. *Journal of Environmental Psychology*; 17. Epub ahead of print 6 October 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17125362>.
- [82] Jaworski A., Kuszewski H., Balawender K. Cold-Start Energy Consumption and CO₂ Emissions—A Comparative Assessment of Various Powertrains in the Context of Short-Distance Trips. *Energies* 2025; 18: 6114.
- [83] Abediasl A., Meresht N. B., Alizadeh H., et al. Road transportation emissions and energy consumption in cold climate cities. *Urban Climate*; 52. Epub ahead of print November 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101697>.
- [84] Cofaru C., Ispas N., Chiru A., et al. *Autovehiculul si Mediul*. Editura Universitatea Transilvania Brasov. 1999.
- [85] Mera Z., Rosero F., Rosero R., et al. Effect of idling and power demand on fuel consumption and CO₂ emissions from taxis. *Enfoque*; 16. Epub ahead of print 1 January 2025. DOI: [doi:10.29019/enfoqueute.1100](https://doi.org/10.29019/enfoqueute.1100).
- [86] Maksymilian Mądział. Instantaneous CO₂ emission modelling for a Euro 6 start-stop vehicle based on portable emission measurement system data and artificial intelligence methods. *National Library of Medicine* 2023; 31: 6944–6959.
- [87] Karrouchi M., Rhiat M., Nasri I., et al. Practical investigation and evaluation of the Start/Stop system's impact on the engine's fuel use, noise output, and pollutant emissions. *Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*; 6. Epub ahead of print December 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prime.2023.100310>.

- [88] Zhang X., Liu H., Mao C., et al. The intelligent engine start-stop trigger system based on the actual road running status. *Plos One*. Epub ahead of print 25 June 2021. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253201>.
- [89] Reiter M. S., Kockelman K. M. The problem of cold starts: A closer look at mobile source emissions levels. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 2016; 43: 123–132.
- [90] Tseng W. K., Mai T. J. The Study of Fuel Consumption for Idling Stop Systems in Different Traffic Conditions. *European Journal Applied Science Engineering and Technology*; 3.
- [91] Moawad A., Zebiak M., Han J., et al. The Double-Edged Sword of Cruise Control: Balancing Fuel Efficiency Across Driver Profiles. *SSRN*.
- [92] Petraki V., Ziakopoulos A., Yannis G. State-of-the-art review on sustainable driving behavior: trade-offs between road safety, fuel consumption and emissions. *Accident Analysis & Prevention*; 225. Epub ahead of print February 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2025.108253>.
- [93] Seraji M. H., Haghshenas S. S., Haghshenas S. S., et al. A state-of-the-art review on machine learning techniques for driving behavior analysis: clustering and classification approaches. *Complex & Intelligent Systems*; 11. Epub ahead of print 15 July 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40747-025-01988-5>.
- [94] Goedertier F., Weijters B., Vanpaemel P. The Longitudinal Effect of Digitally Administered Feedback on the Eco-Driving Behavior of Company Car Drivers. *Sustainability*; 15. Epub ahead of print 12 May 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su152416571>.
- [95] Sekadakis M., Kourenti P., Garefalakis T., et al. Eco-driving in rural areas: a sustainable approach to reducing emissions and enhancing road safety. *Case Studies on Transport Policy*; 21. Epub ahead of print August 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2025.101486>.
- [96] Michailidis E.T., Panagiotopoulou A., Papadakis A. A Review of OBD-II-Based Machine Learning Applications for Sustainable, Efficient, Secure, and Safe Vehicle Driving. *Sensors*; 25. Epub ahead of print 29 June 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/s25134057>.
- [97] Garfan S., Zaidan B., Zaidan A., et al. Can smartphones serve as an instrument for driver behavior of intelligent transportation systems research? A systematic review: Challenges, motivations, and recommendations. *Pervasive and Mobile Computing*; 105. Epub ahead of print December 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2024.101978>.
- [98] Dziubak T., Karczewski M., Dziobek I. Empirical study of the effect of the air filter on the performance and exhaust emissions of a diesel engine. *Combustion Engines*; 193. Epub ahead of print March 2023. DOI: <https://doi.org/10.19206/CE-161881>.
- [99] Fuel quality. *European Commission, Climate Action*, https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-decarbonisation/fuel-quality_en.
- [100] Rodríguez J. B., Montero X. S., García M. C., et al. Modelling the impact of reducing lubricant viscosity on a conventional passenger car fuel economy and wear protection. *Results in Engineering*; 24. Epub ahead of print December 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103159>.

- [101] Tobar M. G., Ojeda O. C., Montaña F. C. Impact of Oil Viscosity on Emissions and Fuel Efficiency at High Altitudes: A Response Surface Methodology Analysis. *Lubricants* 2024; 12: 227.
- [102] What is the real driving emissions (RDE) test? *Car emissions testingsfacts.EU*, <https://www.caremissionstestingfacts.eu/rde-real-driving-emissions-test>.
- [103] Emission Standards. *DieselNet*.
- [104] Regulamentul (UE) 2017/1151 al Comisiei, Document 32017R1151, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT> (2017).
- [105] Regulamentul (UE) 2018/1832, Document 32018R1832, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT> (2018).
- [106] Commission Regulation (EU) 2016/646, Document 32016R0646, <https://eur-lex.europa.eu/> (2016).
- [107] Generate Drive Cycles for Real Driving Emissions, <https://www.mathworks.com/help/autoblks/ug/generate-drive-cycles-for-real-driving-emissions>.
- [108] Lino Guzzella, Antonio Sciarretta. Vehicle Propulsion Systems: Introduction to Modeling and Optimization. *Springer*.
- [109] Kunal Patil, Sisay Molla, Tino Schulze. Hybrid Vehicle Model Development using ASM-AMESim-Simscape Co-Simulation for Real-Time HIL Applications. *SAE Mobilus*; 0932. Epub ahead of print 2012. DOI: <https://doi.org/10.4271/2012-01-0932>.
- [110] Matthew Barth, Kanok Boriboonsomsin. Real-World Carbon Dioxide Impacts of Traffic Congestion. *Sage Journals*; 2058. DOI: <https://doi.org/10.3141/2058>.

LISTA LUCRĂRILOR PUBLICATE

In perioada de relizare a tezei de doctorat, am elaborate 4 lucrari stiintifice, la care sunt prim autor, publicate in buletine de conferinte (cu proceedings ISI):

1. Constantin Nitoiu^[0009-0004-5899-9985], Corneliu Cofaru^[0000-0001-5076-0671], Mihaela Virginia Popescu and Cristian Klement, The Study of Vehicle Emissions using a Dynamic Cycle Performed on the Base of Real Urban Traffic, EAEC – CONAT 2024, The International Congress of Automotive and Transport Engineering, Transylvania University Brasov, 6-8 november 2024, <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:001462624600002>; https://doi.org/10.1007/978-3-031-77631-1_2, pp. 15-30.
2. Constantin Nitoiu^[0009-0004-5899-9985], Corneliu Cofaru^[0000-0001-5076-0671], Mihaela Virginia Popescu, Comparative Analysis of the Emissions Obtained on the Dynamometer Stand During Use the WLTP Cycle and the Real Urban Driving Cycle on Two Types of Ve-hicles, EAEC – CONAT 2024, The International Congress of Automotive and Transport Engineering, Transylvania University Brasov, 6-8 november 2024, <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:001462624600003> ; https://doi.org/10.1007/978-3-031-77631-1_3, pp. 31-43,.
3. Pampa V.M., Ispas N., Cofaru C., Nastasoiu M., Ionita D.T., Nitoiu C.: An Estimation of the Energy Consumption of Electric, Hybrid and Classic Road Vehicles Starting from the Equivalent WLTP Driving Cycles, Ingineria Automobilului, No. 72/ September 2024, pp. 5-11, ISSN 1842-4074, <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:001340317100002>; <https://www.peeref.com/works/84377770>.
4. Constantin Nitoiu, Corneliu Cofaru, Mihaela Popescu, Influence of road and traffic conditions on emissions and fuel consumption of light vehicles in a real urban driving cycle, Environmental Science and Pollution Research, 21 May 2024, <https://doi.org/10.1007/s11356-025-36573-3>.
5. Constantin Nitoiu, Corneliu Cofaru, Mihaela Popescu, Modeling real cycles using driving cycle software to analyze the influence of road traffic characteristics on the emission of different types of vehicles, 13.11.2024, doi: 10.20944/preprints202411.1003.v1.

In perioada realizarii tezei de doctorat am participat la urmatoarele conferinte internationale:

The International Congress of Automotive and Transport Engineering, EAEC – CONAT 2024, Transylvania University Brasov, 6-8 november 2024.