



MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE
ROMÂNIA
UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ,
FARMACIE, ȘTIINȚE ȘI TEHNOLOGIE
„GEORGE EMIL PALADE”
DIN TÂRGU MUREȘ

**UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ, FARMACIE, ȘTIINȚE ȘI TEHNOLOGIE
„GEORGE EMIL PALADE” DIN TÂRGU MUREȘ**

**ȘCOALA DOCTORALĂ DE LITERE, ȘTIINȚE UMANISTE ȘI APLICATE
DOMENIUL: INGINERIE ȘI MANAGEMENT**

TEZĂ DE DOCTORAT

- REZUMAT -

**Studii și cercetări privind îmbunătățirea unor
parametri de confort în sistemele de transport**

Doctorand: ing. Bianca-Mihaela CĂȘERIU

Conducător științific: Prof. univ. dr. ing Petruța BLAGA

**TÂRGU MUREȘ
2024**

CUPRINS

Introducere	6
STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII	10
1. CONFORTUL – INDICE DE CALITATE ÎN INDUSTRIA SISTEMELOR DE TRANSPORT	10
1.1. Confortul termic	11
1.2. Confortul vibrațional	11
1.3. Confortul acustic	11
2. MATERIALE, TENDINȚE ACTUALE ALE INDUSTRIEI CONSTRUCTOARE DE AUTOVEHICULE ȘI IMPACTUL ASUPRA CONFORTULUI	12
2.1. Analiza tendinței de evoluție a cerințelor în industria autovehiculelor. Considerații privind masa autovehiculelor	12
2.2. Identificare progreselor și inovațiilor în evoluția materialelor din industria autovehiculelor. Considerații privind impactul asupra confortului	12
3. ABORDĂRI INTEGRATIVE ÎN ERGONOMIE ȘI INGINERIA FACTORILOR UMANI ÎN VEDEREA PROMOVĂRII CONFORTULUI ȘI EFICIENȚEI ÎN DESIGNUL AUTOVEHICULELOR	13
3.1. Ergonomia și Ingineria Factorilor Umani în industria autovehiculelor	13
3.2. Confortul în habitacul autovehiculelor – o analiză sistematică din perspectiva ergonomiei și a ingineriei factorilor umani	13
4. CONCLUZIILE STADIULUI ACTUAL AL CERCETĂRII	14
CONTRIBUȚIA PERSONALĂ	15
1. STUDII ȘI CERCETĂRI EXPERIMENTALE ASUPRA CONFORTULUI ACUSTIC LA AUTOVEHICULE	15
1.1. Considerații privind zgomotul la autovehicule	15
1.1.1. Evaluarea surselor de zgomot la autovehicule	15
1.1.2. Mărimi caracteristice pentru acustica habitaculului autovehiculelor	15
1.1.3. Modele matematice pentru evaluarea nivelului de zgomot la autovehicule	16
1.1.4. Modele matematice pentru evaluarea senzațiilor sonore a pasagerilor în autovehicule	16
1.2. Legislația și directive de definire și determinare a zgomotului în habitacul autovehiculelor	16
1.3. Determinări experimentale ale nivelului de confort acustic în autovehicule	17
1.3.1. Scopul și obiectivele de cercetare	17
1.3.2. Metodologia de cercetare	17
1.3.3. Sistemul de măsurare și de achiziție a datelor pentru realizarea cercetărilor experimentale	18
1.3.4. Determinarea nivelului de zgomot. Rezultate obținute și prelucrarea rezultatelor	18
1.3.5. Concluziile determinărilor experimentale	18
2. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND CONFORTUL VIBRO-ACUSTIC AL AUTOVEHICULELOR CU DESTINAȚIE SPECIALĂ	19
2.1. Scop și obiective de cercetare	19

2.2. Legislația și directive de definire și determinare a zgomotului și vibrațiilor la autovehiculele cu destinație specială	20
2.3. Metodologia de cercetare.....	20
2.3.1. Metoda de măsurare a zgomotului exterior în staționare și în deplasare.....	21
2.3.2. Metoda de măsurare a zgomotului interior în staționare și în deplasare	22
2.3.3. Metoda de măsurare a vibrațiilor interioare în staționare și în deplasare	22
2.4. Aparatura utilizată pentru efectuarea cercetărilor experimentale	22
2.5. Aplicația software realizată	22
2.6. Rezultatele determinărilor experimentale.....	23
2.6.1. Măsurarea zgomotului de fond	23
2.6.2. Măsurarea nivelului de zgomot exterior în staționare și în deplasare	23
2.6.3. Măsurarea nivelului de zgomot interior în staționare și în deplasare	23
2.6.4. Măsurarea nivelului de zgomot în căștile de protecție în staționare și în deplasare.....	23
2.6.5. Măsurarea nivelului de vibrații pe podea și pe scaun în staționare	23
2.6.6. Măsurarea nivelului de vibrații la nivelul plafonului inferior și la nivelul scaunului, în deplasare	24
2.7. Analiza și prelucrarea datelor experimentale	24
2.7.1. Metoda de analiză	24
2.7.2. Programe de analiză.....	25
2.7.3. Analiza și prelucrarea datelor experimentale	25
2.8. Analiza de corelație a rezultatelor obținute experimental	26
2.8.1. Scopul, obiectivele și metodologia de cercetare pentru analiza de corelație.....	26
2.8.2. Rezultatele analizei de corelație	27
2.9. Concluziile cercetărilor experimentale ale confortului vibro-acustic în autovehicule cu destinație specială	28
3. CERCETĂRI DE ÎMBUNĂTĂȚIRE A CONFORTULUI ACUSTIC - OPTIMIZAREA CONFORTULUI ACUSTIC PRIN CONTROLUL PASIV AL ZGOMOTULUI.....	29
3.1. Strategii de control activ și pasiv a zgomotului în interiorul autovehiculelor.....	29
3.2. Cercetări pentru determinarea predictorilor confortului acustic în atenuarea pasivă a zgomotului	30
3.2.1. Scopul și obiectivele cercetării	30
3.2.2. Metodologia de cercetare.....	30
3.2.3. Rezultatele obținute și interpretarea acestora	31
3.2.4. Concluziile cercetării	31
Concluzii finale.....	32
Propuneri și recomandări.....	36
Originalitatea tezei / contribuții personale.....	37
Bibliografie selectivă	42

Introducere

Studierea confortului în autovehicule a devenit crucială datorită rolului său ca indice de calitate al sistemelor de transport (civile – CTS și militare – MTS) și ca indice de performanță în mediul operațional, care este o cerință imperativă a contextului militar actual. O multitudine de factori au contribuit la creșterea interesului pentru asigurarea confortului experimentat de pasageri sau echipaje în habitacul autovehiculului. Odată cu creșterea mobilității, timpul pe care oamenii îl petrec în autovehicule a crescut substanțial, subliniind necesitatea unui mediu confortabil și sănătos. În plus, interesul sporit pentru confort este strâns legat de domeniul marketingului, întrucât diferențierea între modelele din aceeași sferă de piață devine tot mai dificilă, reflectând o provocare în stabilirea distincțiilor pe baza criteriilor de performanță sau estetică. De asemenea, în contextul autovehiculelor cu destinație specială studiarea și optimizarea confortului vibro-acustic nu este doar un deziderat de îmbunătățirea a calității vieții pentru personalul care activează în forțele armate, ci și o componentă critică pentru asigurarea performanțelor operaționale și a succesului misiunilor. Această componentă critică poate determina necesități cheie, care privesc: protecția auditivă și la vibrații (încadrarea în limitele ce previn pierderile de auz cauzate de expunerea prelungită la niveluri ridicate de zgomot și în limitele de vibrații pentru prevenirea apariției problemelor la coloana vertebrală); asigurarea comunicațiilor cu și între membrii echipajului (menținerea nivelului de zgomot sub limitele de interferență cu comunicațiile, esențiale pentru asigurarea coordonării și operațiunilor eficiente); performanța în luptă (menținerea nivelului de zgomot și de vibrații sub limitele stabilite pentru menținerea stării de alertă și prevenirea oboselii, pentru asigurarea performanței în condiții de luptă); limitarea semnăturii acustice (menținerea unui nivel de zgomot și vibrații sub un nivel perceptibil de la distanțe mari).

Problematika zgomotului și vibrațiilor la autovehicule este de un real interes, întrucât peste 50% dintre personalul care activează în domeniul militar, cu atribuții ce impun transportul cu autovehicule cu destinație specială, dezvoltă o pierdere semnificativă a auzului și lombalgie, după 15 ani de serviciu, iar suprafețele vibrante sunt o sursă fundamentală de zgomot. În funcție de frecvențele sale, vibrațiile pot dăuna echipajului în diferite moduri: pot induce rău de mișcare, disconfort general, oboseală, scăderea eficienței și, dacă au amplitudini semnificative, pot răni părțile corpului care intră în contact.

Cercetările privind optimizarea confortului atât în domeniul MTS cât și domeniul CTS, din ultimul deceniu, au avut ca obiect de studiu fie zgomotul fie vibrațiile, ca deziderate independente și necesar a fi asigurate, însă este evidențiată și importanța unei abordări integrate, indicând o tranziție de la tratarea acestora ca domenii disparate către recunoașterea sinergiei dintre ele pentru dezvoltarea strategiilor optime de asigurare a confortului. Cu toate acestea există o discordanță în asigurarea unor reglementări sau proceduri cu pași bine definiți de evaluarea a confortului vibro-acustic.

Totodată se remarcă și tendința către un efort de integrare mai mare în cercetare, recunoscând că atenția combinată asupra ergonomiei și confortului poate duce la inovații semnificative în design-ul autovehiculelor și la îmbunătățirea standardelor de siguranță și satisfacție a utilizatorilor. Deși studiate deseori separat, datorită specificității lor distincte – ergonomia concentrându-se pe optimizarea interacțiunii umane cu diverse componente ale autovehiculului și confortul abordând percepțiile subiective ale ocupanților – aceste domenii converg pentru a îmbunătăți funcționalitatea și experiențele pasagerilor.

Motivarea alegerii prezentei teme a tezei de doctorat este fundamentată de activitatea continuă de cercetare, documentare și exploatare în domeniul autovehiculelor, și în mod particular al autovehiculelor și echipamentelor cu destinație specială, coroborată cu interesul pentru îndeplinirea necesităților actuale ale industriei constructoare de sisteme de transport, dar și pentru identificarea de cunoștințe tehnice și implementarea de soluții inovatoare. Activitatea continuă de cercetare începând cu anul 2015, din perioada studiilor academice, este condusă de continua preocupare pentru testarea diverselor echipamente în medii operaționale, un aspect crucial deoarece testarea în condiții reale este singura modalitate de a garanta că teoriile de design funcționează sub presiunea și imprevizibilitatea condițiilor de teren. Testările experimentale pe care le-am realizat au abordat aspecte de la durabilitate și rezistență la impact, până la funcționalitatea ergonomică și interfața utilizatorului. Totodată asigurarea confortului vibro-acustic în autovehiculele militare este motivată de importanța critică a acestui aspect pentru performanța și sănătatea personalului militar. Zgomotul excesiv și vibrațiile sunt factori de stres majori, care pot compromite capacitatea de luare a deciziilor și pot reduce eficiența operațională. În plus, semnătura acustică a autovehiculelor militare poate dezvălui poziția acestora inamicului, diminuând avantajul tactic. Reducerea zgomotului și vibrațiilor autovehiculelor militare poate îmbunătăți semnificativ capacitatea de angajare și supraviețuire pe câmpul de luptă, contribuind la succesul misiunilor, ca factor esențial în contextul militar actual.

Importanța și actualitatea temei de doctorat este de un real interes, întrucât în contextul militar actual și al industriei constructoare CTS, confortul este un pilon important în industrie, cu influențe directe asupra factorului uman. În domeniul militar, optimizarea acestor aspecte contribuie la protecția sănătății și la eficiența operațională, oferind avantaje tactice semnificative. În contextul civil, confortul a devenit un indice esențial de calitate, influențând satisfacția utilizatorilor și succesul comercial al autovehiculelor. Astfel, cercetarea zgomotului și vibrațiilor reprezintă un domeniu crucial pentru avansarea industriei auto și pentru îmbunătățirea calității vieții utilizatorilor.

Prima parte a tezei de doctorat prezintă o cercetare direcționată de o abordare nouă și originală pentru fundamentarea lucrărilor de doctorat, ce implică utilizarea tehnicilor statistice și matematice cu scopul principal de a oferi o perspectivă obiectivă și cantitativă asupra confortului în sistemele de

transport (MTS și CTS). Procedurile bine definite ale stadiului actual au furnizat o bază solidă de date și au permis identificarea lacunelor în cercetare, pentru susținerea rezultatelor cercetării. Utilizarea metodologiilor robuste de meta-analiză au condus la sintetiza datele existente în literatura de specialitate și la extragerea concluzii relevante.

Cea de-a doua parte a tezei de doctorat prezintă trei părți distincte de cercetare care prezintă eforturi de cercetare a zgomotului și vibrațiilor în CTS și MTS care converg în sensul prezentării unor strategii de optimizare a confortului acustic prin control pasiv, pe de o parte și pe de altă parte strategii de monitorizare și măsurare, precum și a unor date importante privind zgomotul în habitaculului autovehiculelor de diferite configurații, împreună cu selectarea celor mai bune tehnici disponibile, cu scopul de a aduce contribuții pentru atenuarea suplimentară a impactului sonor potențial asupra pasagerilor și implementarea unei strategii care să ducă la îmbunătățirea nivelului de confort acustic interior. Cea de -a treia parte a cercetării se concentrează pe investigarea și analiza avansată a datelor privind confortul vibro-acustic în autovehiculele cu destinație specială.

Obiectivele tezei de doctorat

Obiectivul major al tezei constă în evaluarea și optimizarea confortului vibro-acustic în autovehicule, printr-o cercetare avansată fenomenologică a zgomotului și vibrațiilor. În concordanță cu acest obiectiv studiul se concentrează pe identificarea, selectarea și propunerea celor mai eficiente tehnici de reducere a impactului acustic și al vibrațiilor asupra factorului uman, cu scopul de a contribui la optimizarea confortului în sistemele de transport. De asemenea, se urmărește elaborarea și implementarea unei strategii integrate, menite să îmbunătățească nivelul de confort acustic și vibrațional în autovehicule, asigurând astfel o experiență superioară de utilizare și performanța în mediul operațional.

În concordanță cu obiectivul major, obiectivele specifice care decurg sunt următoarele:

- **OB1:** Cercetarea stadiului actual al demersurilor privind confortul în sistemele de transport. Acest obiectiv include revizuirea sistematică a literaturii și expunerea teoretică a perspectivei obiective și cantitative asupra confortului în sistemele de transport MTS și CTS, prin aplicarea unor metode optime de cercetare a stadiului actual.
- **OB2:** Cercetarea confortului în autovehicule prin investigarea metodelor de cercetare experimentală a confortului acustic în autovehicule și identificarea nivelului de zgomot interior în autovehicule de diferite configurații. Se urmărește: stabilirea metodei de determinare experimentală a confortului acustic în autovehicule, ce conduce la investigații de precizie asupra zgomotului interior; determinarea experimentală și implementarea algoritmilor de calcul pentru analiza parametrilor caracteristici zgomotului înregistrați în autovehicule de diferite configurații, clasificate în conformitate cu RNTR-2, ceea ce permite consolidarea unei baze de date și

estimarea preliminară cumulativă a nivelului de confort interior; determinarea unei relații de legătură între mărimile fizice ce caracterizează funcționarea autovehiculelor (monitorizate staționar și în mișcare) și confortul acustic în autovehicule.

- **OB3:** Investigarea a confortului vibro-acustic în autovehiculele cu destinație specială. În acest scop se dorește: determinarea experimentală și implementarea a unor algoritmi de calcul pentru analiza bazată pe factori vibro-acustici standardizați înregistrați în autovehicule cu destinație specială; constituirea unei baze de date cu estimări preliminare cumulative pentru nivelul de zgomot în interior și în exteriorul autovehiculelor cu destinație specială monitorizate în diferite situații funcționale ale motorului, precum și pentru vibrații interioare; prezentare de rezultate semnificative pentru studiul confortului vibro-acustic.
- **OB4:** Cercetarea pentru optimizarea confortului prin controlul pasiv al zgomotului. Acest obiectiv implica testarea experimentală probelor de materiale din diverse clase de material și cercetarea calitativă și cantitativă a bazei de date printr-o serie de metode statistice.

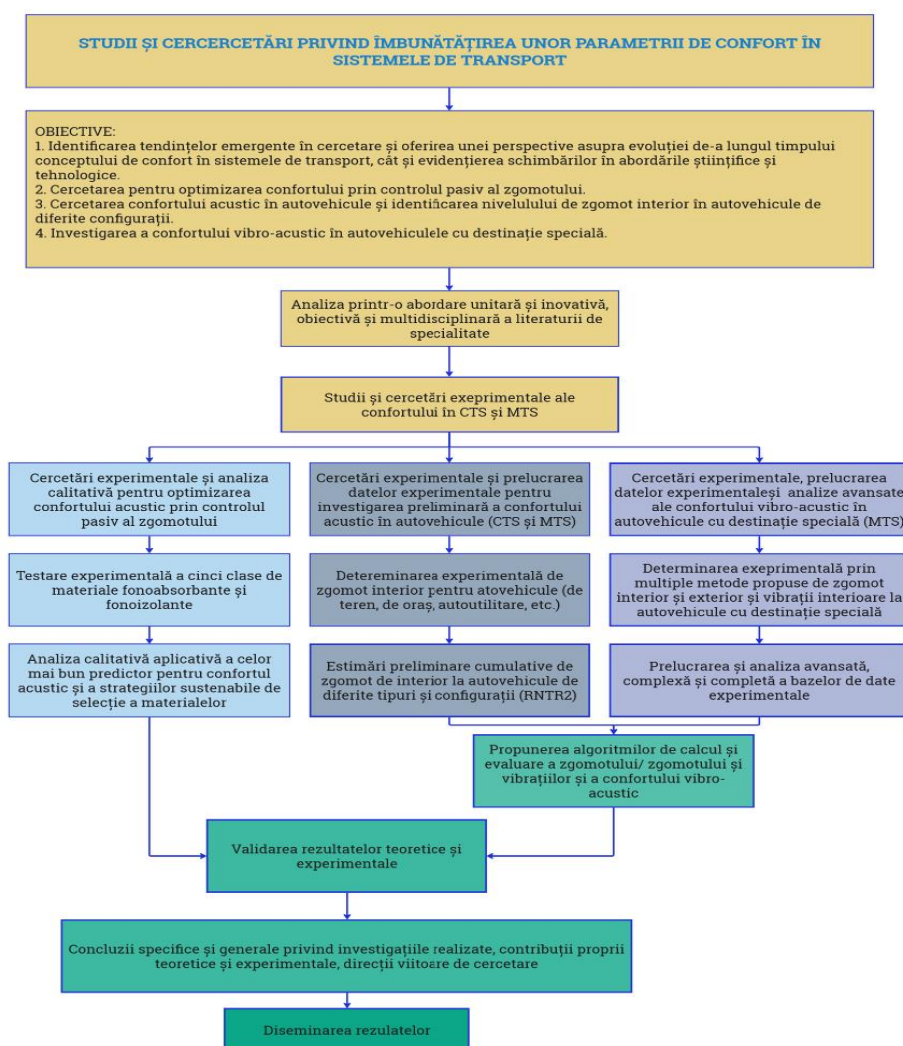


Figura nr. 1 Diagrama tezei de doctorat

Sursa: Realizat de autor

STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII

Prima parte a tezei de doctorat, reprezentată de investigarea interdisciplinară a literaturii de specialitate, standardelor internaționale și directivelor aplicabile pe tema confortului în sistemele de transport, a presupus realizarea de analize care au furnizat o bază solidă de date și care susțin obiectivele cercetării, permițând și identificarea unor lacune în cercetare. Studiul complet și complex al literaturii de specialitate a asigurat o abordare unitară și integrată a trei analize interdisciplinare structurate pe trei direcții de cercetare ce reprezintă trei mari capitole, astfel: *Confortul în industria sistemelor de transport; Materiale și impactul acestora asupra confortului; Abordări integrative în ergonomia și ingineria factorilor umani în vederea promovării confortului și eficienței în design-ul autovehiculelor.*

1. Confortul – indice de calitate în industria sistemelor de transport

În acest capitol am abordat complexitatea conceptului de confort în contextul evolutiv al industriei de transport, în mod general și al autovehiculelor, atât civile cât și militare, în mod particular. Dezvoltarea industriei constructoare de sisteme de transport în linii mari cât și creșterea bruscă a concurenței pe piață, dictează creșterea obligațiilor producătorilor de a îndeplini cerințe din ce în ce mai complexe ale utilizatorilor, în termeni de economie [1], confort [2, 3, 4], siguranță [5], precum și protecția mediului [6]. Astfel, industria autovehiculelor este determinată să acorde atenție inovațiilor tehnice și dezvoltării de noi sisteme pe autovehicule, pentru a răspunde exigențelor stringente legate pe deoparte de norme specifice și pe de altă parte de necesități ale pasagerilor referitoare la confort sporit al cabinei [7,8], siguranța autovehiculului [9,10] și reducerea consumului [11].

De asemenea, am definit și am prezentat principalele cadre conceptuale ale noțiunii de confort, evidențiind evoluția preocupării pentru cercetarea și optimizarea confortului în habitacul autovehiculelor de la cerințele inițiale de performanță (putere, viteză) către o atenție sporită acordată confortului conducătorului auto și al pasagerilor, începând cu sfârșitul anilor '70. Confortul, ca și concept, este prezentat ca un construct subiectiv, influențat de o multitudine de factori fizici, fiziologici și psihologici, și ca o reacție la mediul înconjurător. Acesta este explorat ca o sumă a cerințelor individuale față de mediul, fiind analizat atât în termeni fizici, cât și psihologici. Pe baza cercetărilor anterioare, se prezintă două modele conceptuale consacrate și esențiale pentru înțelegerea confortului: *modelul lui Chelkoff* [14], care integrează științele ingineresti, arhitectura și științele sociale, și *modelul lui Fanger* [20], care subliniază interacțiunea dintre latura fizică și cea psihologică a confortului.

Astfel, cercetarea se concentrează pe principalele dimensiuni ale confortului în autovehicule: confortul termic, confortul vibrațional și confortul acustic, propunând *un nou cadru conceptual* care sintetizează aceste dimensiuni, oferind un fundament teoretic robust pentru optimizarea confortului în

sistemele de transport. Acest cadru conceptual, bazat pe o analiză exhaustivă a literaturii de specialitate, este prezentat ca un ghid pentru îmbunătățirea continuă a experienței utilizatorilor în domeniul transporturilor.

Pornind de la obiectivele acestei teze, am efectuat o analiză sistematică, delimitată pe cele trei dimensiuni confortului conform noului cadru conceptual propus, a literaturii științifice din bazele de date Scopus, Web of Science și Google Scholar, utilizând analiza bibliometrică pentru a identifica cele mai recente și relevante lucrări științifice pentru studiu. În evaluare au fost incluse doar lucrările științifice complete care prezintă studii exploratorii, studii de caz sau serii de cazuri, contribuind astfel la o înțelegere profundă și actualizată a confortului termic în CTS și MTS.

1.1. Confortul termic

Am evidențiat analiza complexă a echilibrului termic al organismului uman în habitacul, integrând tendințele emergente din fizică și fiziologie pentru a optimiza condițiile de confort. Evaluarea confortului termic necesită o atenție direcționată asupra parametrilor ambientali esențiali, precum temperatura, umiditatea relativă și dinamica aerului, factori determinanți pentru percepția subiectivă a confortului termic.

1.2. Confortul vibrațional

Am prezentat analiza impactului vibrațiilor asupra confortului pasagerilor, evidențiind rolul critic al parametrilor precum intensitatea, direcția, frecvența și durata expunerii. Aceste variabile influențează semnificativ performanța umană și au efecte directe asupra sănătății, în special în contextul transportului aerian și auto. Cercetările recente subliniază tendința crescândă de integrare în cercetare a zgomotului și vibrațiilor, demonstrând prin investigații exhaustive că vibrațiile pot amplifica disconfortul perceput din cauza zgomotului.

1.3. Confortul acustic

În cadrul acestei analize am abordat dimensiunea critică a confortului auditiv în sistemele de transport, subliniind importanța calității sunetului asupra bunăstării și productivității utilizatorilor. În cadrul cercetărilor, se accentuează necesitatea investigării acusticii încă din faza de producție a autovehiculelor, având în vedere impactul semnificativ al zgomotului asupra competenței operaționale și stării psihologice a pasagerilor și conducătorilor auto.

2. Materiale, tendințe actuale ale industriei constructoare de autovehicule și impactul asupra confortului

2.1. Analiza tendinței de evoluție a cerințelor în industria autovehiculelor. Considerații privind masa autovehiculelor

Am investigat impactul fundamental al progresului materialelor și tehnologiilor asupra masei autovehiculelor și a confortului acestora. Din analiza contextului evolutiv al materialelor în industria autovehiculelor nu doar că se reflectă expertiza și competența în domeniu, ci se subliniază și angajamentul industriei față de inovație, eficiență energetică și sustenabilitate. Pe măsură ce industria autovehiculelor se confruntă cu provocări tot mai complexe legate de eficiență și reducerea emisiilor, analiza aprofundată a materialelor utilizate devine crucială pentru identificarea soluțiilor inovatoare care să răspundă acestor cerințe. Pe parcursul mai multor decenii, autovehiculele au cunoscut o creștere semnificativă a masei, un fenomen asociat cu introducerea tehnologiilor avansate și a sistemelor de siguranță și confort. Această creștere a masei a avut, însă, efecte adverse asupra consumului de combustibil și emisiilor de gaze cu efect de seră, ilustrând tensiunea dintre progresul tehnologic și sustenabilitatea ecologică.

Prin analiza comparativă a diverselor modele de autovehicule produse de companii de referință precum Ford, BMW, Mercedes-Benz și Saab, s-au evidențiat tendințe și divergențe semnificative în evoluția masei autovehiculelor.

Acest studiu relevă faptul că, deși tendința generală în industrie este de creștere a masei autovehiculelor, există eforturi constante de a contrabalansa acest fenomen prin inovații tehnologice și materiale avansate. Concluziile subliniază importanța avansării cunoștințelor tehnice în domeniul materialelor și a strategiilor de design pentru a îmbunătăți sustenabilitatea și performanța autovehiculelor, fără a compromite siguranța sau confortul pasagerilor.

2.2. Identificare progreselor și inovațiilor în evoluția materialelor din industria autovehiculelor. Considerații privind impactul asupra confortului

În cadrul acestui subcapitol am sintetizat transformările semnificative în contextul utilizării materialelor în industria auto și impactul acestora asupra confortului și performanței autovehiculelor. Cerințele crescute de siguranță, eficiență dinamică și optimizare NVH au condus la o creștere semnificativă a masei autovehiculelor între 1987 și 2004, reflectând o schimbare de paradigmă în designul auto, unde echilibrul între siguranță și eficiența combustibilului a devenit esențial.

Utilizarea materialelor alternative precum aluminiul, magneziul și compozitele avansate, inclusiv cele din fibră de carbon, a permis o reducere semnificativă a masei autovehiculelor, îmbunătățind eficiența combustibilului și reducând emisiile poluante. Producătorii auto au adoptat strategii inovatoare

pentru a răspunde provocărilor recente. Evoluția materialelor poate fi împărțită în etape distincte, marcate de progrese semnificative, de la introducerea materialelor plastice și a spumelor metalice până la integrarea compozitelor avansate și a nanocompozitelor, culminând cu utilizarea pe scară largă a CFRP. Aceste inovații au transformat industria auto, contribuind nu doar la îmbunătățirea confortului acustic și vibrațional, ci și la creșterea sustenabilității și protecției mediului.

3. Abordări integrative în Ergonomie și Ingineria Factorilor Umani în vederea promovării confortului și eficienței în designul autovehiculelor

3.1. Ergonomia și Ingineria Factorilor Umani în industria autovehiculelor

În capitolul „Abordări integrative în Ergonomie și Ingineria Factorilor Umani în designul autovehiculelor” am investigat modul în care aceste discipline fundamentale optimizează interacțiunea om-mașină, în contextul avansului tehnologic și al cerințelor imperative legate de confort și eficiență. Ergonomia se concentrează pe adaptarea design-ului autovehiculelor la caracteristicile fizice ale utilizatorilor pentru optimizarea confortului și performanței, în timp ce Ingineria Factorilor Umani abordează interacțiunea cognitivă dintre utilizator și sistem, focalizându-se pe optimizarea percepției și latura cognitivă a informațiilor pentru îmbunătățirea operabilității.

Cercetările recente [328 - 331] se focalizează pe adaptarea acestor principii la autovehiculele autonome și electrice, investigând impactul automatizării asupra sarcinilor cognitive și rolul ergonomiei în optimizarea interfețelor și monitorizarea utilizatorilor. Această evoluție este reflectată într-o sinteză cronologică a inovațiilor majore, care subliniază importanța integrării ergonomiei și ingineriei factorilor umani în proiectarea autovehiculelor. Această abordare este esențială pentru optimizarea interacțiunii om-mașină, contribuind la eficiența operațională și reducerea erorilor umane, în special în contextul dezvoltării autovehiculelor autonome.

Concluzionând, integrarea ergonomiei și ingineriei factorilor umani în designul auto este crucială pentru asigurarea confortului, siguranței și eficienței, în fața provocărilor aduse de tehnologiile emergente. Acestea joacă un rol central în conturarea viitorului mobilității, orientând inovația spre soluții care să răspundă complexelor nevoi ale utilizatorilor.

3.2. Confortul în habitacul autovehiculelor – o analiză sistematică din perspectiva ergonomiei și a ingineriei factorilor umani

Am explorat integrarea ergonomiei și ingineriei factorilor umani în designul autovehiculelor, subliniind importanța acestor domenii pentru optimizarea confortului și eficienței utilizatorului. Abordarea metodologică detaliată și sistematică, pe care am propus-o, implică o analiză exhaustivă a

literaturii de specialitate pentru a evalua inovațiile și tendințele în confortul autovehiculelor și este delimitată în trei faze principale: Cercetarea preliminară; Sinteza și sistematizarea literaturii de specialitate; Evaluarea și conturarea direcțiilor de cercetare. Acest lucru face posibilă colectarea informațiilor relevante printr-o abordare obiectivă bine definită, reducând erorile sistematice (de bias) prin identificarea, evaluarea și sintetizarea tuturor studiilor relevante. În cadrul etapei de sinteză și sistematizare a fost realizată o revizuire detaliată și imparțială a literaturii de specialitate. Pasul următor a fost stabilirea principalelor surse pentru analiză: Google Scholar, Scopus și Web Of Science. Au fost supuse cercetării 11 grupuri de analiză (Grup 1 – Ergonomie, Grup 2 – Ingineria factorilor umani, Grup 3 – Confort, Grup 4 – Ergonomie – Confort, Grup 5 – Ergonomie – Ingineria factorilor umani, Grup 6 – Confort – Ingineria factorilor umani, Grup 7 – Confort – Ingineria factorilor umani – Ergonomia, Grup 8 – Confort termic, Grup 9 – Confort vibrațional, Grup 10 – Confort acustic, Grup 11 – Confort termic, vibrațional și acustic).

În această cercetare, analiza rețelei de co-citare a autorilor citați folosind aplicația VOSviewer a acoperit 6159 autori. Stabilirea pragului minim al numărului de citări pentru un autor la 20 de citări.

Abordarea sistematică și scientometrică demonstrată evidențiază o metodologie bine definită și o strategie obiectivă pentru colectarea și analiza datelor relevante, minimizând erorile sistematice și oferind o bază solidă pentru rezultatele cercetării. Utilizarea analizei de rețea, a statisticii descriptive și a investigațiilor inferențiale arată o integrare efectivă a diferitelor metode bibliometrice pentru a oferi o perspectivă amplă asupra domeniului studiat.

Este evidențiată și importanța abordării integrate a ergonomiei, ingineriei factorilor umani și confortului, indicând o tranziție de la tratarea acestora ca domenii disparate către recunoașterea sinergiei dintre ele pentru a dezvolta inovația în industria autovehiculelor. Creșterea numărului de publicații și interesul tot mai mare pentru cercetare reflectă o recunoaștere a importanței acestor domenii în îmbunătățirea experienței utilizatorilor de autovehicule.

Aceste cercetări aduc contribuții semnificative în domeniul confortului, oferind o perspectivă complexă asupra relației dintre confort, ergonomie și ingineria factorilor umani în industria autovehiculelor, și furnizând informații relevante asupra strategiilor abordate de-a lungul timpului pentru asigurarea acestor deziderate, precum și asupra direcțiilor actuale de cercetare.

4. Concluziile stadiului actual al cercetării

Concluziile cercetării evidențiază importanța unei abordări integrate pentru confortul acustic și vibrațional în sistemele de transport, subliniind tranziția de la tratarea separată a ergonomiei și ingineriei factorilor umani către recunoașterea sinergiei lor pentru inovația în industria auto. Cercetarea a relevat lacune semnificative în studierea zgomotului și vibrațiilor, în special în autovehiculele cu destinație

specială, unde este esențială dezvoltarea de tehnologii inovatoare pentru evaluarea și reducerea impactului vibro-acustic pentru a nu compromite performanța operațională. De asemenea, s-a identificat necesitatea unor reglementări pentru evaluarea confortului vibro-acustic, evidențiind totodată contribuțiile cercetării românești emergente în acest domeniu, orientate spre îmbunătățirea condițiilor de lucru și protejarea sănătății personalului care activează în forțele armate.

CONTRIBUȚIA PERSONALĂ

1. Studii și cercetări experimentale asupra confortului acustic la autovehicule

1.1. Considerații privind zgomotul la autovehicule

1.1.1. Evaluarea surselor de zgomot la autovehicule

În acest capitol, am realizat o evaluare a surselor de zgomot la autovehicule, abordând multiplele cauze și mecanisme prin care zgomotul este generat și transmis în habitaculul autovehiculului. Am clasificat sursele de zgomot în funcție de procesele mecanice, aerodinamice, magnetice și termice care le generează, și am detaliat modul în care aceste surse contribuie la nivelul general de zgomot perceput în interiorul autovehiculului. Prin analiza fenomenelor de ciocnire, frecare, acțiuni aerodinamice, magnetice și termice, am evidențiat impactul fiecărui tip de zgomot asupra experienței acustice din habitacul. De asemenea, am subliniat influența zgomotelor produse de sistemul de propulsie, interacțiunea cu calea de rulare, și sistemul HVAC, demonstrând cum aceste zgomote contribuie la disconfortul acustic și cum pot afecta atât starea de funcționare a autovehiculului, cât și starea fizică și psihică a conducătorului auto.

În ansamblu, acest capitol reprezintă o analiză detaliată și bine fundamentată a problemelor legate de zgomotul la autovehicule, evidențiind importanța gestionării și controlului acestor surse pentru îmbunătățirea confortului și siguranței în exploatarea vehiculelor.

1.1.2. Mărimi caracteristice pentru acustica habitaculului autovehiculelor

În această secțiune, am explorat și detaliat mărimile caracteristice relevante pentru acustica habitaculului autovehiculelor, concentrându-mă pe modul în care sunetul și zgomotul sunt generate, propagate și percepute în interiorul autovehiculelor, cu scopul de a prezenta un model matematic pentru evaluarea parametrilor acustici. De asemenea, am prezentat și clasificarea undelor acustice, subliniind importanța înțelegerii acestor fenomene.

Am descris relațiile matematice și formulele folosite pentru măsurarea și cuantificarea diferitelor mărimi acustice, cum ar fi presiunea acustică, intensitatea sonoră și puterea acustică. Utilizând scara logaritmică pentru a analiza zgomotul, am detaliat modul în care urechea umană percepe variațiile de intensitate sonoră, conform legii Weber-Fechner [461].

În plus, am abordat particularitățile vitezei sunetului în diverse materiale solide, lichide și gazoase, evidențiind modul în care proprietățile fizice ale mediului influențează propagarea sunetului. În final am prezentat analiza relațiilor dintre nivelul de presiune acustică, intensitatea acustică și puterea acustică, subliniind legătura dintre aceste mărimi și importanța lor în contextul zgomotului interior al autovehiculelor. Această analiză complexă contribuie la înțelegerea modului în care zgomotul este generat și perceput în habitacul, fiind esențială pentru îmbunătățirea confortului acustic.

1.1.3. Modele matematice pentru evaluarea nivelului de zgomot la autovehicule

În această secțiune am prezentat și detaliat modele matematice pentru evaluarea nivelului de zgomot la autovehicule, subliniind complexitatea și variabilitatea sunetului în interiorul autovehiculelor. Aceste modele matematice sunt esențiale pentru a înțelege și a cuantifica nivelurile de zgomot din habitacul autovehiculelor. Abordarea detaliată permite nu doar evaluarea sunetului într-un autovehicul, ci și optimizarea acusticii acestuia, contribuind astfel la îmbunătățirea confortului acustic pentru utilizatori.

1.1.4. Modele matematice pentru evaluarea senzațiilor sonore a pasagerilor în autovehicule

Această secțiune explorează modele matematice utilizate pentru evaluarea și cuantificarea senzațiilor sonore resimțite de pasageri în interiorul autovehiculelor. Undele sonore sunt descrise prin caracteristici fizice precum presiunea, frecvența și spectrul, care sunt percepute de un ascultător ca intensitate, înălțime și timbru.

1.2. Legislația și directive de definire și determinare a zgomotului în habitacul autovehiculelor

Prin acest subcapitol am urmărit oferirea unei baze teoretice solide și înțelegerea precisă a reglementărilor și standardelor care guvernează determinările de zgomot din habitacul autovehiculelor. Aceasta este esențială pentru a asigura conformitatea cu cerințele legale și pentru a ghida proiectarea și dezvoltarea autovehiculelor astfel încât să ofere un confort acustic optim pasagerilor.

Prin investigarea și prezentarea legislației și a standardelor, această secțiune pregătește terenul pentru determinările experimentale ulterioare, necesare pentru evaluarea și îmbunătățirea confortului acustic în autovehicule. În final, scopul este de a contribui la crearea unor autovehicule mai sigure și mai confortabile, care să respecte atât normele de sănătate, cât și nevoile actuale ale utilizatorilor.

1.3. Determinări experimentale ale nivelului de confort acustic în autovehicule

1.3.1. Scopul și obiectivele de cercetare

În acest capitol, am realizat determinări experimentale pentru evaluarea confortului acustic în autovehicule. Scopul principal al cercetării a fost de a identifica și analiza nivelul de zgomot interior în autovehicule de diferite configurații, printr-o metodologie riguroasă și precisă.

Obiectivul acestui capitol este de cercetare experimentală a confortului acustic în autovehicule. Pentru a atinge acest obiectiv major, cercetarea de față include o serie de obiective specifice, astfel:

- **OS1:** Investigarea tehnicilor de măsurare, înregistrare și analiză a zgomotului emis în habitacul autovehiculelor;
- **OS2:** Dezvoltarea abordărilor teoretice proprii și analiza rezultatelor experimentale, privind confortul acustic în habitacul autovehiculelor;
- **OS3:** Dezvoltarea și validarea tehnicilor de analiză propuse;
- **OS4:** Evaluarea și interpretarea rezultatelor obținute pentru parametrii caracteristici zgomotului în autovehicule;
- **OS5:** Analiza implicațiilor și identificarea concluziilor obținute din această cercetare, cu privire la confortul acustic la autovehicule.

1.3.2. Metodologia de cercetare

În această secțiune am prezentat metodologia de cercetare propusă, care asigură o abordare unitară, fenomenologică și experimentală privind confortul acustic în autovehicule. Metoda de cercetare propusă pentru investigarea zgomotului interior cuprinde opt etape și a fost constituită pornind de la reglementările actuale (Directiva nr.540/2014 a Parlamentului European și al Consiliului, STAS 6926/16-79, MIL-STD-1474D), ce stabilesc metodele de măsurare a zgomotului interior la autovehicule. Aceasta cuprinde etapele de lucru reprezentate în schema bloc din Figura nr. 5.6.

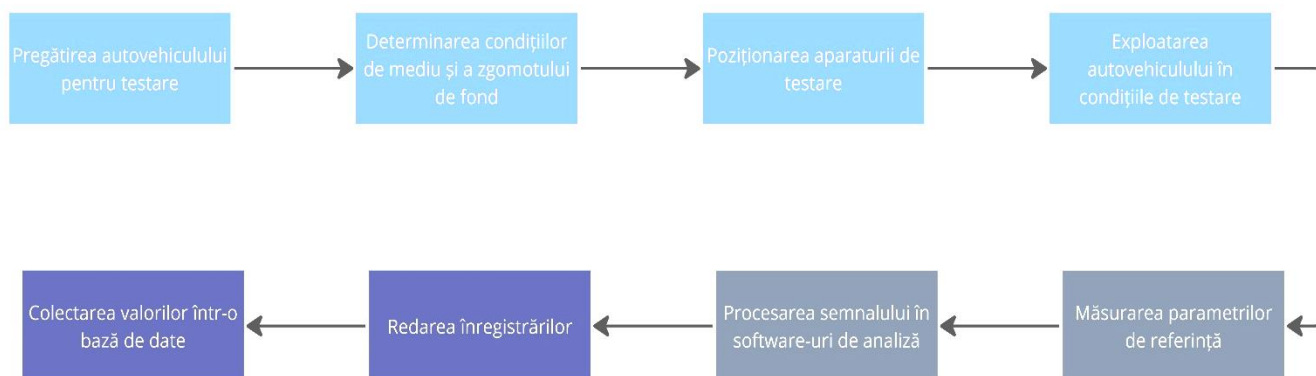


Figura nr. 5.6. Schema bloc de determinare a zgomotului interior

Sursă: Realizată de autor

1.3.3. Sistemul de măsurare și de achiziție a datelor pentru realizarea cercetărilor experimentale

În această secțiune am definit o serie de criterii de performanță pentru echipamentele de măsurare am selectat și descris echipamentele utilizate și am realizat schema bloc a sistemului de achiziție al datelor, etape cruciale în cercetarea experimentală, asigurând precizia și relevanța măsurărilor.

1.3.4. Determinarea nivelului de zgomot. Rezultate obținute și prelucrarea rezultatelor

Măsurătorile efectuate în autovehicule de diferite configurații au dus la consolidarea unei baze de date consistente de valori pentru zgomotul interior. Această etapă a cercetării a avut scopul de a furniza date preliminare privind nivelul de zgomot în autovehicule, ca etapă distinctă și premergătoare a studierii confortului. Pentru analiza și prelucrarea semnalului în această etapă a fost utilizat softurile Noise Partner și Enviro Noise Partner (caracteristice instrumentului de măsură utilizat), Audacity și Matlab.

1.3.5. Concluziile determinărilor experimentale

Din eșantionul de autovehicule studiate, la autovehiculele cu destinație specială au fost identificate niveluri de presiune acustică în interiorul habitaculului cu valori mai ridicate în comparație cu autovehiculele destinate exploatării normale. În acest sens, pe baza rezultatelor obținute în urma cercetărilor experimentale și a celor obținute prin analiza exhaustivă a literaturii de specialitate a fost identificată de nevoia investigării experimentale a confortului vibro-acustic la autovehiculele cu destinație specială.

Rezultatele determinărilor experimentale de zgomot prezentate în cadrul acestui capitol oferă informații importante și concluzii semnificative pentru cercetarea confortului în interiorul autovehiculelor, precum și asupra nivelului de zgomot înregistrat în habitacul autovehiculelor de diferite configurații. Totodată, consolidarea bazei de date, prelucrarea și analiza acestora oferă informații preliminare necesare pe care se fundamentează investigațiile confortului vibro-acustic în autovehiculele cu destinație specială, servind astfel pentru activități de dezvoltare viitoare privind modul de creștere a calității autovehiculelor, confortul fiind “o definiție a calității autovehiculului”, începând cu anul 2020, dar având și o influență majoră pentru performanțele factorului uman în mediul operațional.

2. Cercetări experimentale privind confortul vibro-acustic al autovehiculelor cu destinație specială

2.1. Scop și obiective de cercetare

Acest studiu are ca obiectiv major cercetarea zgomotului și vibrațiilor în autovehiculele cu destinație specială, împreună cu selectarea celor mai bune tehnici disponibile, pentru a aduce contribuții pentru atenuarea suplimentară a impactului sonor potențial și al vibrațiilor asupra factorului uman, cât și implementarea unei strategii care să ducă la îmbunătățirea nivelului de confort vibro-acustic în autovehiculele cu destinație specială.

Pentru a atinge acest obiectiv major, cercetarea de față include o serie de obiective specifice:

- **OS1:** Investigarea tehnicilor de măsurare, achiziție și analiză a zgomotului și vibrațiilor în habitacul autovehiculelor cu destinație specială;
- **OS2:** Stabilirea și validarea unui model de determinări experimentale a confortului vibro-acustic în autovehiculele cu destinație specială, ce conduce la investigații de precizie ridicată asupra zgomotului, dar și a vibrațiilor în interiorul autovehiculului;
- **OS3:** Propunerea și validarea unui sistem de măsurare și a unui sistem de achiziție a datelor pentru determinările experimentale de precizie ridicată pentru confortul vibro-acustic în autovehiculele cu destinație specială;
- **OS4:** Investigarea suplimentară a nivelului de zgomot în căștile de protecție, cu impact potențial direct asupra pasagerilor, în diferite situații funcționale ale motorului;
- **OS5:** Investigarea suplimentară a vibrațiilor la nivelul scaunului conducătorului autovehiculului, cu impact potențial direct asupra factorului uman, în diferite situații funcționale ale motorului;
- **OS6:** Propunerea unui model de prelucrare și analiză exhaustivă a datelor obținute și propunerea unor aplicații de prelucrare și analiză ulterioară;
- **OS7:** Investigarea relației dintre factorii vibro-acustici standardizați, ce conduce la determinarea modului de influență dintre zgomot și vibrații, pentru asigurarea confortului vibro-acustic în autovehicule cu destinație specială;
- **OS8:** Propunerea de strategii pentru îmbunătățirea confortului vibro-acustic în autovehiculele cu destinație-specială;

În această teză de doctorat, activitatea continuă de cercetare și documentare în domeniul autovehiculelor cu destinație specială desfășurată încă din perioada studiilor academice, a fost coroborată cu interesul pentru cercetarea vibrațiilor și zgomotului interior cu scopul de a asigura un mediu confortabil și care să nu pericliteze sănătatea echipajului în autovehiculele cu destinație specială.

2.2. Legislația și directive de definire și determinare a zgomotului și vibrațiilor la autovehiculele cu destinație specială

În acest subcapitol, am realizat o analiză detaliată a legislației și directivelor relevante pentru definirea și determinarea zgomotului și vibrațiilor în autovehiculele cu destinație specială. Scopul principal a fost identificarea reglementărilor existente și a lacunelor din acestea, în special în ceea ce privește evaluarea confortului vibro-acustic. Am investigat standardele aplicabile pentru măsurarea și evaluarea expunerii la vibrații și zgomot, atât pentru autovehiculele civile, cât și pentru cele cu destinație specială, și am structurat aceste informații în tabele sintetice. Această documentare este esențială pentru fundamentarea unui model experimental precis și valid pentru evaluarea confortului vibro-acustic în autovehiculele cu destinație specială, având în vedere particularitățile lor unice și cerințele specifice de testare.

2.3. Metodologia de cercetare

Metodologia de cercetare a confortului vibro-acustic propusă asigură o abordare unitară și experimentală asupra parametrilor caracteristici zgomotului și vibrațiilor și este prezentată sistematic în Figura nr. 6.1. Evaluarea confortului vibro-acustic are la baza parametrii vibraționali și acustici standardizați. În acest scop sunt propuse o serie de metode de măsurare.

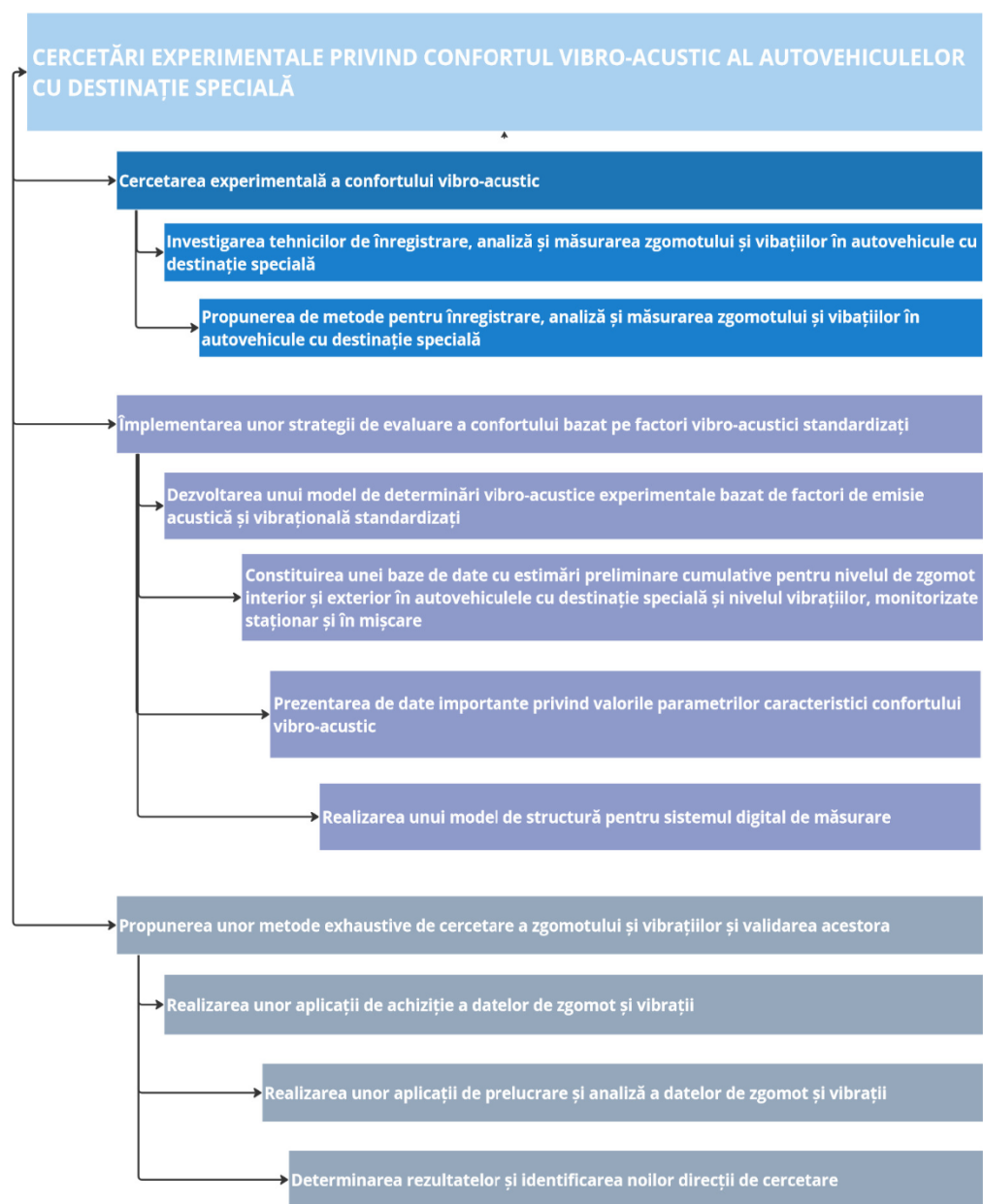


Figura nr. 6.1. Prezentarea sistematică a etapelor de lucru principale ale cercetării

Sursa: Realizată de autor

2.3.1. Metoda de măsurare a zgomotului exterior în staționare și în deplasare

În această secțiune, am considerat specificitatea zgomotului emis de autovehiculele cu destinație specială exploatate în staționare, având motorul în funcțiune, un aspect deosebit de relevant datorită frecvenței ridicate a acestei situații în contextul operațiunilor militare. Am descris detaliat metodele propuse pentru măsurarea zgomotului exterior atât în staționare, cât și în deplasare, respectând cerințele impuse de standardele aplicabile pentru autovehiculele cu destinație specială (STP M 40544-99, STAS 6926/15-92, MIL-STD-1474D).

2.3.2. Metoda de măsurare a zgomotului interior în staționare și în deplasare

Am propus o metodă de cercetare a zgomotului interior, care a cuprins o serie de etape și a fost construită respectând reglementările ce stabilesc metodele de măsurare a zgomotului interior la autovehicule și luând în calcul particularitățile introduse de autovehiculele cu destinație speciale (Directiva nr.540/2014 a parlamentului European și al Consiliului, STAS 6926/16-79, MIL-STD-1474D).

2.3.3. Metoda de măsurare a vibrațiilor interioare în staționare și în deplasare

Metodele de măsurare a vibrațiilor propuse au prevăzut înregistrarea parametrilor de referință simultană atât la nivelul plafonului inferior al autovehiculului sub scaun, precum și pe scaun, pentru un interval variat de turații. Echipamentele utilizate atât la determinările de vibrații în staționare, cât și în deplasare, utilizate pentru configurarea standului experimental sunt: unitatea calculator Hp, placa de achiziție a datelor IOtech 650 u, cablurile de conectare a senzorilor și a plăcii de achiziție a datelor, accelerometru triaxial PCB Piezotronics model 356A26 și un accelerometru monoaxial PCB Piezotronics model 355B37.

2.4. Aparatura utilizată pentru efectuarea cercetărilor experimentale

În această secțiune am descris în detaliu aparatura pentru realizarea cercetărilor experimentale de vibrații și zgomot în autovehiculele cu destinație specială, atât în condiții de staționare, cât și în deplasare. Selecția aparaturii a fost efectuată pe baza unor criterii riguroase, menite să asigure precizia, fiabilitatea și sensibilitatea necesare pentru înregistrarea corectă a datelor experimentale.

2.5. Aplicația software realizată

Pentru gestionarea procesului de măsurare a vibrațiilor, am dezvoltat o aplicație în cadrul platformei DasyLab 12.0. Această aplicație a fost esențială pentru controlul și monitorizarea în timp real a parametrilor de măsurare, oferind următoarele funcționalități: setarea valorilor de calibrare a senzorilor, conform certificatelor de calibrare; setarea timpului de măsurare; setarea ratei de achiziție a datelor la valoarea de 50.000 val/s (frecvența de eșantionare de 50 kHz); pornirea procesului de măsurare; vizualizarea grafică a semnalului pe cele 4 canale, în timp real; calculul valorilor medii eficace și afișarea acestora, în timp real; salvarea datelor pentru prelucrări și analize ulterioare.

2.6. Rezultatele determinărilor experimentale

2.6.1. Măsurarea zgomotului de fond

Preliminar realizării cercetărilor experimentale s-a efectuat măsurarea zgomotului ambiant și după primul set de măsurări s-a verificat dacă acest nivel sonor este mai mic cu 10 dB(A) față de zgomotul produs de autovehicul.

2.6.2. Măsurarea nivelului de zgomot exterior în staționare și în deplasare

Concluzia generală a măsurărilor de zgomot exterior în staționare relevă că nivelul presiunii acustice variază semnificativ în funcție de turația motorului, cu valori echivalente cuprinse între 100.26 dBA și 122.38 dBA și valori maxime între 115.96 dBA și 131.5 dBA.

2.6.3. Măsurarea nivelului de zgomot interior în staționare și în deplasare

Concluzia generală a analizei preliminare a nivelurilor de presiune acustică echivalentă și maximă indică faptul că valorile zgomotului variază semnificativ în funcție de turația motorului și treapta de viteză. Cele mai mari niveluri de zgomot sunt înregistrate la turații ridicate, în special la $0,8 n_{\max}$ și $0,6 n_{\max}$, în treapta IV de viteză.

2.6.4. Măsurarea nivelului de zgomot în căștile de protecție în staționare și în deplasare

Analiza valorilor nivelului echivalent de presiune obținut în căști la diferite turații ale motorului arată că nivelurile variază semnificativ în funcție de turația motorului și condițiile de funcționare (staționare sau deplasare). Nivelurile maxime de presiune acustică sunt atinse la turații mai mari, în special la $0,6 n_{\max}$ în staționare și $0,4 n_{\max}$ în deplasare.

2.6.5. Măsurarea nivelului de vibrații pe podea și pe scaun în staționare

Pentru achiziția și analiza datelor obținute în cadrul determinărilor experimentale de zgomot am utilizat aplicația realizată în DasyLab 12.0. După achiziția datelor, semnalele de vibrații reale măsurate au fost prelucrate, lungimea blocului fiind de 32768 de valori, iar frecvența de eșantionare stabilită a fost de 50.000 Hz ($1/20 \mu s$), pentru o reprezentare cât mai fidelă a semnalelor reale măsurate. Frecvența de eșantionare stabilită a avut la bază raționamentul de atingere a preciziei de măsurare și de reproducere a datelor, fără aliasing și cu o rezoluție cât mai fină pentru a detecta frecvențele critice și fenomenele dinamice. Datele obținute în cadrul măsurărilor au fost salvate într-un fișier în format ASCII (extensia .ASC) pentru gestionarea eficientă a acestora în analizele ulterioare. Această etapă a avut ca scop determinarea accelerației și valoarea rădăcinii medii pătratice (RMS) a vibrațiilor măsurate pe podea și pe scaunul operatorului, pentru diferite situații funcționale ale motorului, în staționare. Pentru asigurarea

conformității cu reglementările și standardele aplicabile de sănătate și siguranță și pentru evaluarea expunerii la vibrații *am identificat necesitatea calculării Vibration Dose Value VDV*, care ține cont de amplitudinea și durata vibrațiilor.

2.6.6. Măsurarea nivelului de vibrații la nivelul plafonului inferior și la nivelul scaunului, în deplasare

Această etapă a avut ca scop determinarea accelerației și valoarea rădăcinii medii pătratice a vibrațiilor măsurate la nivelul plafonului inferior al autovehiculului și la nivelul scaunului operatorului, pentru diferite situații funcționale ale motorului, în deplasare.

2.7. Analiza și prelucrarea datelor experimentale

2.7.1. Metoda de analiză

Întrucât unul din obiectivele specifice al lucrării este analiza zgomotului și vibrațiilor în autovehicule cu destinație specială, la care se adaugă concluziile cumulative preliminare remarcate în cadrul constituirii bazei date experimentale, rezultatele înregistrărilor au fost supuse unor prelucrări și evaluări în software-uri specifice. Tehnicile de analiză a înregistrărilor experimentale pe care le-am utilizat sunt prezentate într-un mod structurat în Figura nr. 6.51.

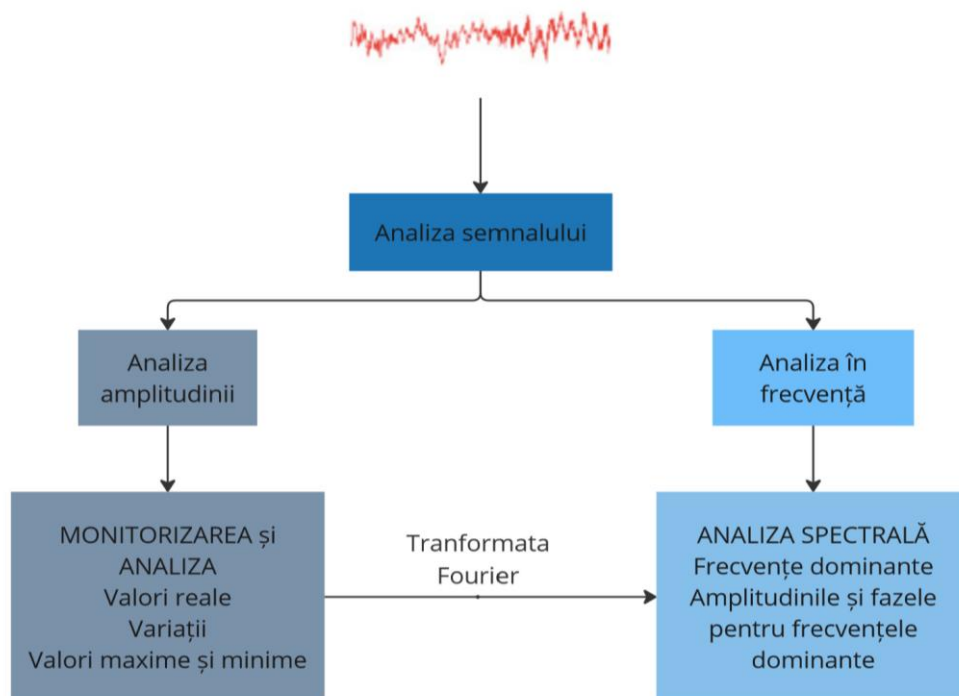


Figura nr. 6.51. Prezentarea structurată a analizei și prelucrării datelor experimentale

Sursa: Realizată de autor

2.7.2. Programe de analiză

Pentru evaluarea confortului acustic în autovehiculele cu destinație specială am realizat analize complexe care au implicat măsurători de precizie ridicată și analize avansate pentru evaluarea percepției zgomotului de către operatorul uman. În acest proces complex am realizat următoarele:

- în prima etapă evaluarea nivelului de presiune acustică și a nivelului maxim de presiune acustică în habitacul autovehiculului, precum și a vibrațiilor și valorii RMS la nivelul plafonului inferior al autovehiculului pe axele: X, Y, Z și la nivelul scaunului pe axa Z. Sistemul de măsurare a fost gestionat o aplicație pe care am realizat-o în software-ul DasyLab 12.0 și de software-urile specifice sonometrului B&K 2245: Noise Partner 1.8.2.0 și Enviro Noise Partner 1.8.2.0.
- în cea de-a doua etapă a fost realizată analiza Fast Fourier Transformer (FFT) pentru determinarea distribuției frecvențelor zgomotului și vibrațiilor, în aplicația pe care am realizat-o în software-ul DasyLab 12.0. Prelucrarea fișierelor măsurătorilor a fost gestionată în software-urile Audacity 3.5.1 și Python 3.12.4.
- în cea de-a treia etapă am efectuat analiza bazată pe factori vibro-acustici standardizați în cadrul căreia am efectuat: analiza zgomotului la frecvențele centrale în bandă de 1/1 octave, în software-urile: Noise Partner 1.8.2.0 și Enviro Noise Partner 1.8.2.0; analiza comparativă a curbelor experimentale de zgomot interior și în căști, pentru evaluarea confortului acustic (această procedură a fost implementată în software-ul Matlab R2024a); analiza bazată pe factori vibro-acustici standardizați, pentru studierea confortului vibro-acustic (această procedură a fost implementată în software-ul Matlab R2024a); evaluarea impactului pe termen lung a impactului zgomotului și vibrațiilor;

În efectuarea tuturor analizelor a fost luat ca reper un ascultător ontologic normal (AON) întrucât senzația auditivă poate să fie diferită de un individ la altul și s-a asigurat coroborarea cu standardul MIL-STD-1472F.

2.7.3. Analiza și prelucrarea datelor experimentale

Aceste analize sunt esențiale pentru evaluarea confortului acustic și vibrațional, pentru asigurarea conformității cu reglementările aplicabile, cu scopul de a aduce contribuții pentru atenuarea suplimentară a impactului sonor potențial și al vibrațiilor asupra factorului uman, dar și pentru implementarea unei strategii care să ducă la îmbunătățirea nivelului de confort vibro-acustic în autovehiculele cu destinație specială.

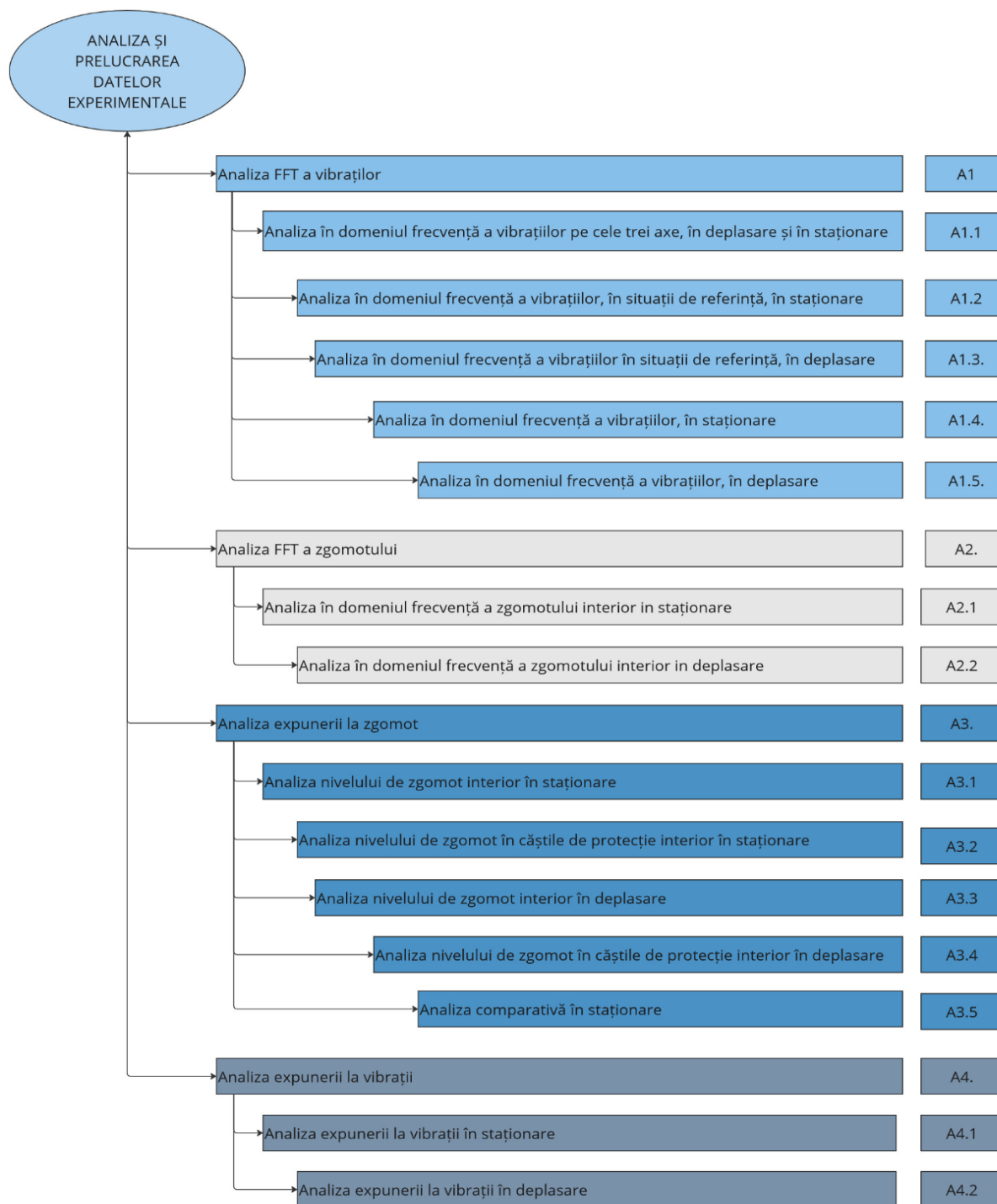


Figura nr. 6.54. Prezentarea sistematică a analizelor de zgomot și vibrații

Sursa: Realizată de autor

2.8. Analiza de corelație a rezultatelor obținute experimental

2.8.1. Scopul, obiectivele și metodologia de cercetare pentru analiza de corelație

Scopul studiului este de a investiga corelațiile dintre zgomotul și vibrațiile studiate în diferitele situații funcționale ale motorului (în staționare și în deplasare) și pentru diferitele turații de funcționare ale motorului.

Obiectivele specifice studiului sunt:

- **OS1:** Analiza corelației dintre nivelurile de zgomot echivalent L_{eq} în interior și exterior, pentru aceleași condiții de testare, atât în staționare cât și în deplasare, pentru diferite turații de funcționare ale motorului, pentru identificare influenței mediului extern asupra confortului acustic în interiorul autovehiculului;
- **OS2:** Studiarea relației dintre nivelul de presiune acustică în interiorul autovehiculului și valorile RMS ale vibrațiilor măsurate în aceleași condiții de testare, în staționare și în deplasarea autovehiculului, la diferite turații de funcționare ale motorului, pentru evaluarea confortului vibro-acustic interior;
- **OS3:** Studiarea corelației dintre zgomotul măsurat în cască și în habitacul autovehiculului, pentru evaluarea protecției echipajului și influența asupra confortului acustic, în condiții variate de operare;
- **OS4:** Investigarea relației dintre vibrațiile măsurate la nivelul scaunului și plafonului inferior al autovehiculului, pentru evaluarea transmiterii vibrațiilor de la structura autovehiculului și efectele acestora asupra confortului vibrațional al conducătorului autovehiculului;

Prin atingerea acestor obiective, studiu își propune evaluarea confortului vibro-acustic asupra echipajului unui autovehicul cu destinație specială cu impact direct asupra performanței și eficienței în mediul operațional. Rezultatele cercetării furnizează informații valoroase pentru dezvoltarea unor reglementări privind confortul vibro-acustic, precum și a unor practici eficiente pentru asigurarea performanței în mediul operațional.

2.8.2. Rezultatele analizei de corelație

În această secțiune, au fost prezentate și analizate rezultatele studiului corelației dintre parametrii caracteristici ai zgomotului și vibrațiilor, cu scopul de a înțelege relațiile dintre aceștia în contextul autovehiculelor cu destinație specială, atât în staționare, cât și în deplasare.

A1. Analiza relației dintre nivelul de presiune acustică interioară și exterioară, în deplasare și în staționare

Rezultatele indică o relație lineară puternică și semnificativă statistic între nivelul de zgomot interior și nivelul de zgomot exterior. Aceasta înseamnă că măsurile de reducere a zgomotului interior pot avea un impact direct asupra reducerii zgomotului exterior, și invers.

A2. Analiza relației dintre nivelul de presiune acustică interioară și nivelul de presiune acustică din cască de protecție, în deplasare și în staționare

Această analiză demonstrează că există o relație semnificativă între nivelurile de zgomot interior și zgomotul perceput în cască. Creșterea zgomotului interior este asociată cu o creștere moderată a

zgomotului în cască, însă există și alți factori care contribuie la variabilitatea zgomotului în cască. Rezultatele indică faptul că măsurile de reducere a zgomotului interior ar putea avea un impact benefic asupra zgomotului perceput în cască, dar ar trebui să fie considerate și alte măsuri pentru a controla zgomotul în mod eficient.

A3. Analiza relației dintre valorile RMS a vibrațiilor pe axa Z la nivelul scaunului și al plafonului inferior al autovehiculului cu destinație pentru diferite situații funcționale ale motorului, în deplasare și în staționare, pentru o gama variată de turații

Rezultatele indică existența unei corelații pozitive între valorile RMS ale vibrațiilor la nivelul scaunului și valorile RMS ale vibrațiilor la nivelul plafonului inferior, pe axa Z.

A4. Analiza relației dintre valorile RMS a vibrațiilor pe axa Z la nivelul scaunului și nivelul presiunii acustice în căștile de protecție, în deplasare și în staționare, pentru o gama variată de turații

Analiza indică o corelație moderată pozitivă între vibrațiile pe axa Z la nivelul scaunului și nivelul presiunii acustice în căștile de protecție. Deși modelul de regresie liniară sugerează o relație semnificativă statistic, coeficientul de determinare relativ scăzut indică faptul că există și alți factori care influențează nivelul presiunii acustice în căști, care nu au fost luați în considerare în acest model. Aceste rezultate pot servi drept bază pentru studii ulterioare care să exploreze în detaliu alți factori potențiali și să îmbunătățească confortul echipajului în autovehiculele cu destinație specială.

A5. Analiza relației dintre valorile RMS a vibrațiilor pe axa X, Y, Z la nivelul plafonului inferior al autovehiculului și nivelul presiunii acustice în habitacul, în deplasare și în staționare, pentru o gama variată de turații

Rezultatele indică faptul că între nivelul de presiune acustică interioară în staționare și în deplasare și valorile RMS ale vibrațiilor în staționare și deplasare există o corelație pozitivă.

2.9. Concluziile cercetărilor experimentale ale confortului vibro-acustic în autovehicule cu destinație specială

Cercetarea experimentală privind confortul vibro-acustic în autovehiculele cu destinație specială a avut ca puncte de plecare direcțiile de cercetare identificate și dezvoltate în cadrul investigațiilor experimentale realizate în capitolele anterioare (Capitolul 1 al părții de contribuții personale) și analizele exhaustive și integrative (din cadrul capitolelor stadiului actual). Au fost identificate lacune de cercetare în ceea ce privește reglementările care să stabilească metodele și nevoia imperativă de implementare și validare a unor metode de evaluare a confortului vibro-acustic în autovehiculele cu destinație specială. Mai mult atât, nu există la momentul actual reglementări care să trateze zgomotul și vibrațiile într-un mod unitar, deși majoritatea cercetărilor actuale privind zgomotul și vibrațiile la autovehicule, le investighează concomitent.

Prin rezultatele studiului a fost îndeplinit obiectivul major ce constă în investigarea zgomotului și vibrațiilor în autovehiculele cu destinație specială, pentru selectarea celor mai eficiente tehnici disponibile și implementarea unei strategii de îmbunătățire a confortului vibro-acustic. Totodată au fost îndeplinite toate obiectivele specifice și au fost identificate noi direcții de cercetare.

Evaluarea confortului vibro-acustic s-a bazat pe metode avansate de măsurare, prelucrare și analiză. Acesta a constat în investigarea indicilor de confort, care iau în considerare viteza de deplasare și tipul autovehiculului, și folosesc la evaluarea confortului la frecvențe specifice și pe anumite direcții.

În concluzie, studiile efectuate demonstrează importanța unei abordări integrate în analiza și optimizarea confortului vibro-acustic în autovehiculele cu destinație specială. Prin combinarea analizelor avansate ale vibrațiilor și zgomotului, am reușit să obțin rezultate semnificative care contribuie la îmbunătățirea confortului, siguranței și performanței echipajului autovehiculului. Direcțiile de cercetare viitoare vizează extinderea și aprofundarea acestor studii, cu scopul de a dezvolta soluții inovatoare și eficiente pentru optimizarea autovehiculelor și asigurarea unui mediu de operare confortabil și sigur, orientat pe performanța în mediul operațional.

3. Cercetări de îmbunătățire a confortului acustic - Optimizarea confortului acustic prin controlul pasiv al zgomotului

3.1. Strategii de control activ și pasiv a zgomotului în interiorul autovehiculelor

Preliminar acestui subcapitol, am realizat o analiză detaliată a surselor de zgomot și vibrații care afectează confortul acustic în autovehicule. Am identificat și descris principalele surse de zgomot din habitacul autovehiculelor, precum motorul, sistemul de evacuare, admisie, HVAC, transmisia și anvelopele. Am prezentat modul în care zgomotul se propagă în interiorul autovehiculului, subliniind diferențele dintre zgomotul transmis prin aer și cel transmis prin structura autovehiculului.

De asemenea, am explorat diferitele strategii de control al zgomotului, atât, cât și active și am evaluat eficiența acestora în îmbunătățirea confortului acustic. În acest context, am evidențiat tendințele actuale din industria auto de a integra aceste soluții pentru a optimiza confortul acustic, fără a compromite performanța și eficiența energetică a autovehiculelor. Analiza a cuprins evaluarea eforturilor de integrare combinată a sistemelor active și pasive pentru obținerea de performanțe superioare în combaterea zgomotului interior în autovehicule, existând un trend ascendent, începând cu anul 2001 și până în prezent [384-394]; analiza tendințelor de publicare (articole, capitole de carte, articole de recenzie, lucrări de conferință și cărți) din bazele de date (Google Scholar, Scopus, Web of Science), începând cu anul 2001; analiza preliminară a celor 79,890 de publicații, rezultând o bază de

date cuprinzătoare: 11,949 articole de recenzie, 11,663 capitole de carte, 1,386 lucrări de conferință, 2,072 articole, 124 de cărți.

Prin această abordare, am contribuit la o înțelegere aprofundată a problematicii zgomotului interior și am identificat soluțiile tehnologice relevante pentru minimizarea impactului acestor factori asupra experienței utilizatorilor.

3.2. Cercetări pentru determinarea predictorilor confortului acustic în atenuarea pasivă a zgomotului

3.2.1. Scopul și obiectivele cercetării

Scopul principal al acestui studiu a fost de a optimiza confortul acustic în autovehicule, prin identificarea și implementarea celor mai eficiente metode de reducere a zgomotului. Prin îmbunătățirea strategiilor de atenuare pasivă a zgomotului, am vizat nu doar optimizarea confortului perceput de utilizatori, ci și reducerea riscurilor asupra sănătății cauzate de expunerea prelungită la niveluri ridicate de zgomot. Aceste eforturi contribuie la dezvoltarea unui mediu interior mai sigur și mai confortabil, asigurând totodată conformitatea cu standardele de sănătate și siguranță. În acest sens am urmărit dezvoltarea a unei strategii de îmbunătățire și optimizare a confortului vibro-acustic prin determinarea celor mai buni predictorii pentru confortul acustic și identificarea factorilor de decizie pentru selecția sustenabilă a materialelor pentru controlul pasiv al zgomotului.

3.2.2. Metodologia de cercetare

În cadrul metodologiei de cercetare am utilizat un sistem de măsurare (bazat pe un tub de impedanță și un amplificator de semnal) pentru măsurarea coeficientului de absorbție acustică. Testele s-au efectuat pe 51 de probe de material de formă circulară cu diametrul de 100 mm pentru frecvențele joase și 28 mm pentru frecvențele înalte și o înălțime de 4 mm ÷ 100 mm. Domeniul de frecvență la care s-au efectuat determinările a fost 125 Hz ÷ 6 kHz.

Pentru analiza statistică, cantitativă a cercetării, au fost aplicate următoarele metode/instrumente:

- statistici descriptive pentru variabilele de cercetare ca frecvențe absolute și relative, toate variabilele de cercetare pentru variabilele categoriale și ca medie $\pm$ deviație standard (minim – maxim) pentru variabilele continue;
- pentru testarea distribuției normale a datelor a fost aplicat testul Kolmogorov – Smirnov pentru variabilele continue;
- astfel, pentru a analiza ce asocieri există în preferințele dintre: (a) tipurile de servicii accesate de cele 55 de entități care au interacționat cu infrastructura de cercetare din mediul public în procesul de dezvoltare a propriilor produse și/sau servicii, (2) între tipurile de servicii are

intenționează să fie accesate în următorii 3 ani și (3) domeniile clusterelor, am aplicat coeficienții de corelație neparametrici Spearman;

- am aplicat testul Mann – Whitney U pentru probe independente pentru a testa dacă există diferențe statistic semnificative (a) între grupurile de entități care desfășoară sau nu activități de CDI și (b) între grupurile de entități care au interacționat sau nu cu infrastructura de cercetare publică în procesul de dezvoltare a propriilor produse și/sau servicii referindu-se atât la serviciile accesate în prezent, cât și la serviciile viitoare care vor fi accesate în următorii 3 ani (confort acustic, tip de material);
- pentru a vedea dacă există diferențe statistic semnificative între grupurile de entități din studiu în funcție de apartenența la un cluster, la mai multe sau deloc, am aplicat testul Kruskal – Wallis cu comparații multiple Dunn’ Post Hoc pentru serviciile accesate în prezent și pentru serviciile viitoare care vor fi accesate în următorii 3 ani (material de clasă, clasă de absorbție acustică, performanța clasei de absorbție);
- am aplicat trei modele de regresie multiliniară cu diagnostic de coliniaritate pentru a identifica cei mai buni predictorii pentru: (1) confortul acustic, (2) clasa de absorbție acustică și (3) performanța clasei de absorbție ca variabilă dependentă în model și ca variabile independente au fost considerate: (1) material de clasă, (2) grosime (mm), (3) coeficientul de absorbție a sunetului, (4) frecvență (Hz), (5) tip de material;
- am utilizat o metodă de învățare automată bazată pe arborele de decizie cu metoda de creștere CHAID (Chi-Square Automatic Interaction Detector) cu aceleași variabile dependente și independente ca modelele de regresie menționate mai sus pentru a identifica cel mai bun predictor pentru confortul acustic, performanța acustică și clasa de absorbție acustică. Pentru toate metodele statistice a fost aplicat software-ul statistic SPSS 29.0 (licențiat) cu semnificație statistică a valorii $p < 0.05$ pentru testele de inferență statistică și $p\text{-value} < 0.1$ pentru coeficienții de regresie.

3.2.3. Rezultatele obținute și interpretarea acestora

În această secțiune au fost prezentate rezultatele detaliate pentru fiecare test efectuat, în conformitate cu metodologia de cercetare prezentată.

3.2.4. Concluziile cercetării

În cadrul acestei secțiuni, au fost formulate concluziile finale ale cercetării, evidențiind influența semnificativă a tipului de material asupra confortului acustic, eficiența variată a diferitelor clase de materiale în absorbția sunetului, și importanța coeficientului de absorbție acustică ca predictor principal.

Rezultatele au subliniat necesitatea unei selecții riguroase a materialelor, în funcție de frecvență și aplicațiile specifice, pentru optimizarea confortului acustic în autovehicule, și au identificat direcții viitoare pentru dezvoltarea de soluții acustice sustenabile și eficiente.

Contribuțiile acestei abordări includ identificarea materialelor care nu doar oferă performanțe acustice superioare, ci și susțin obiectivele de sustenabilitate, contribuind la reducerea impactului negativ asupra mediului și asigurând un echilibru între eficiența acustică și fezabilitatea economică. Această metodologie contribuie semnificativ la dezvoltarea soluțiilor inovatoare și durabile pentru controlul zgomotului și vibrațiilor, optimizând astfel experiența utilizatorilor în cadrul CTS și MTS.

Concluzii finale

Această teză de doctorat a fost fundamentată pe un demers științific de cercetare a confortului și a fost realizată cu scopul de a îndeplini necesitățile actuale și imperative ale industriei sistemelor de transport (MTS și CTS), pentru avansarea de cunoștințe tehnice și implementarea de soluții inovatoare. Astfel, acest demers exploratoriu științific se circumscrie temei confortului în sistemele de transport, un subiect de actualitate și de interes general, datorită implicațiilor sale directe asupra calității vieții factorului uman, a producției de sisteme de transport, precum și asupra performanțelor în mediul operațional.

Prima parte a tezei de doctorat se remarcă printr-o abordare nouă și originală de studiere și fundamentare a stadiului actual al cercetării pentru tezele de doctorat, dar și prin proceduri și etape bine definite ale metodologiei, ce implică utilizarea tehnicilor statistice și matematice cu scopul principal de a oferi o perspectivă obiectivă și cantitativă asupra confortului în sistemele de transport (MTS și CTS). Prin aplicarea acestei metode proprii de cercetare a stadiului actual am obținut: o analiză obiectivă bazată pe date cantitative și statistici, reducând astfel erorile sistematice și de bias inevitabile ale evaluărilor calitative; o anume rigurozitate științifică prin realizarea unei evaluări precise și replicabile a literaturii științifice; am identificat tendințele emergente în cercetare; am oferit o perspectivă asupra evoluției de-a lungul timpului conceptului de confort în sistemele de transport și am evidențiat schimbările în abordările științifice și tehnologice; am evaluat impactul și influența publicațiilor și a autorilor cercetărilor prin metrici (cum ar fi numărul de citări, h-index) și prin rețele de colaborare între cercetători, evidențiind sinergiile; am realizat hărți conceptuale și rețele de co-citare pentru vizualizarea structurii cunoașterii pentru confort și am identificat clusterelor de cercetare și subdomeniile interconectate; am evidențiat nevoile de cercetare și lacunele și am identificat orientările eforturilor viitoare către domeniile care necesită investigații suplimentare. Studiul complet și complex al literaturii de specialitate a asigurat o abordare unitară și integrată a trei analize interdisciplinare structurate pe trei

direcții de cercetare, astfel: Confortul în industria sistemelor de transport; Materiale și impactul acestora asupra confortului; Abordări integrative în ergonomia și ingineria factorilor umani în vederea promovării confortului și eficienței în design-ul autovehiculelor. Rezultatele obținute în urma cercetărilor stadiului actual a domeniului studiat au dus la îndeplinirea primului obiectiv al tezei de doctorat.

Astfel, obiectivul general al cercetării a fost reprezentat de cercetarea zgomotului în autovehicule, pe de o parte și pe de altă parte, investigarea parametrilor caracteristici expunerii la zgomot și vibrații în autovehicule cu destinație specială, împreună cu selectarea, propunerea și validarea celor mai bune tehnici de determinare experimentală, analiză și evaluare, care să conducă la implementarea unor strategii optime și eficiente pentru îmbunătățirea nivelului de confort vibro-acustic în sistemele de transport. Totodată, această teză de doctorat și-a atins obiectivele propuse, oferind rezultate semnificative pentru determinarea, analiza, evaluarea și îmbunătățirea confortului în sistemele de transport, plecând de la un fundament puternic și necesități actuale identificate în urma activității de cercetare. Rezultatele obținute se remarcă prin relevanță și consistență, contribuind la promovarea confortului în sistemele de transport.

Cea de a doua parte a lucrării de doctorat a fost dedicată cercetării zgomotului și al vibrațiilor și abordării unor strategii de optimizare a confortului în autovehicule, la modul general și în autovehiculele cu destinație specială, în mod particular. Această parte a fost structurată în funcție de nevoile de cercetare și obiectivele propuse pe trei capitole, după cum urmează: Studii și cercetări experimentale asupra confortului acustic la autovehicule; Cercetări experimentale privind confortul vibro-acustic al autovehiculelor cu destinație specială; Cercetări de îmbunătățire a confortului acustic - Optimizarea confortului acustic prin controlul pasiv al zgomotului.

Pentru îndeplinirea celui de-al doilea obiectiv al tezei am realizat studii și cercetări experimentale multiple asupra confortului acustic la autovehicule, care a avut ca scop investigarea și furnizarea de date preliminare privind nivelul de zgomot în autovehicule de diferite configurații și tipuri, clasificate în conformitate cu RNTR 2, monitorizate în staționare și în deplasare pentru o gamă variată de turații. Una din etapele acestei cercetări a presupus prezentarea elementelor principale pe care se fundamentează analiza zgomotului în habitacul autovehiculelor, precum și descrierea ecuațiilor și principiilor necesare determinării parametrilor caracteristici undelor sonore (presiunea acustică, nivelul de presiune acustică, puterea acustică, intensitatea acustică, etc.), cu scopul dezvoltării unui algoritm teoretic de evaluare a zgomotului în habitacul autovehiculelor. Determinările experimentale au dus la consolidarea unei baze de date consistente de valori pentru zgomotul interior în autovehicule. Totodată, în acest capitol, este propusă și validată o metodologie de determinare și analiză a zgomotului, care se bazează pe etape bine definite și este fundamentată pe o sintetizare de standarde și directive adoptate la nivel național și internațional, precum și cărți din literatura de specialitate. Concluziile pe care le-am obținut sunt

prezentate detaliat în Subcapitolul 2.3.5. Rezultatele determinărilor experimentale de zgomot prezentate în cadrul acestui capitol oferă informații importante și concluzii semnificative pentru cercetare confortului în interiorul autovehiculelor, precum și asupra nivelului de zgomot înregistrat în habitacul autovehiculelor de diferite configurații. De asemenea, consolidarea bazei de date, prelucrarea și analiza acestora oferă informații preliminare necesare pe care se fundamentează investigațiile confortului vibro-acustic în autovehiculele cu destinație specială, servind astfel pentru activități de dezvoltare viitoare.

Un al treilea obiectiv al tezei a fost reprezentat de investigarea confortului vibro-acustic în autovehiculele cu destinație specială și a presupus: determinarea experimentală și implementarea unor algoritmi de calcul pentru analiza bazată pe factori vibro-acustici standardizați înregistrați în autovehicule cu destinație specială; constituirea bazei de date cu estimări preliminare cumulative pentru nivelul de zgomot în interior și în exteriorul autovehiculelor cu destinație specială monitorizate în diferite situații funcționale ale motorului, precum și pentru vibrații interioare; prezentarea de rezultate semnificative pentru studiul confortului vibro-acustic. Investigarea confortului vibro-acustic în autovehiculele cu destinație specială s-a bazat pe metode avansate de măsurare, prelucrare și analiză. Pentru evaluarea confortului vibro-acustic în autovehiculele cu destinație specială am realizat analize complexe care au implicat măsurători de precizie ridicată și analize avansate pentru evaluarea percepției zgomotului de către operatorul uman. În prima etapă s-au evaluat nivelul de presiune acustică și nivelul maxim de presiune acustică în habitacul autovehiculului, dar și vibrațiile și valorile RMS la nivelul plafonului inferior al autovehiculului pe axele: X, Y, Z și la nivelul scaunului pe axa Z. Sistemul de măsurare a fost gestionat o aplicație pe care am realizat-o în software-ul DasyLab 12.0 și de software-urile specifice sonometrului B&K 2245: Noise Partner 1.8.2.0 și Enviro Noise Partner 1.8.2.0. În cea de-a doua etapă a fost realizată analiza FFT pentru determinarea distribuției frecvențelor zgomotului și vibrațiilor, în aplicația pe care am realizat-o în software-ul DasyLab 12.0. Prelucrarea fișierelor măsurătorilor a fost gestionată în software-urile Audacity 3.5.1 și Python 3.12.4. În cea de-a treia etapă am efectuat analiza bazată pe factori vibro-acustici standardizați în cadrul căreia am efectuat: analiza zgomotului la frecvențele centrale în bandă de 1/1 octave, în software-urile: Noise Partner 1.8.2.0 și Enviro Noise Partner 1.8.2.0; analiza comparativă a curbelor experimentale de zgomot interior și în căști, pentru evaluarea confortului acustic (această procedură a fost implementată în software-ul Matlab R2024a); analiza bazată pe factori vibro-acustici standardizați, pentru studierea confortului vibro-acustic (această procedură a fost implementată în software-ul Matlab R2024a); evaluarea pe termen lung a impactului zgomotului și vibrațiilor. Pentru prelucrarea și analiza datelor de zgomot și vibrații am implementat algoritmi de procesare pentru obținerea de informații semnificative despre impactul asupra factorului uman și am utilizat o serie de software-uri (Audacity, Noise Partner, Enviro Noise Partner, DasyLab, Matlab și Python). Totodată a fost realizată o aplicație pentru prelucrarea și analiza FFT și PDS în software-ul DasyLab. La aceste investigații se adaugă analiza corelativă a factorilor vibro-

acustici, implementată în software-urile (PSSP, Matlab și Python), divizată pe multiple investigații care au vizat: corelația dintre zgomotul interior și exterior; corelația dintre zgomotul interior și zgomotul din căștile de protecție; corelația dintre turația motorului și nivelul de vibrații; corelația dintre nivelul de vibrații și nivelul de zgomot interior.

Cercetarea pentru îmbunătățirea confortului acustic prin controlul pasiv al zgomotului a fost centrată pe investigarea și evaluarea proprietăților acustice a șase clase de material, prin determinare experimentală și analiză calitativă și cantitativă a bazei de date obținute. Astfel, a fost îndeplinit ultimul obiectiv al tezei de doctorat care a presupus: identificarea și stabilirea parametrilor caracteristici calitativi și cantitativi pentru evaluarea confortului acustic; analizarea prin metode statistice avansate a bazei de date obținute pentru determinarea celor mai buni predictorii în asigurarea confortului acustic materiale din diferite clase; identificarea performanței clasei de material și gama de frecvențe la care clasele de material asigură izolarea și absorbția optimă; identificarea relației dintre parametrii de material și confortul acustic, cu scopul constituirii modelelor matematice predictive de confort. Pentru atingerea acestui obiectiv au fost utilizate o serie de metode determinare experimentală (metoda interferometrului acustic - tubul Kundt) și analiză statistică (analiza descriptivă, testul Mann-Whitney U, trei modele de regresie liniară multiplă și metoda arborelui de decizie CHAID).

Rezultatele finale deduse pe baza studiilor realizate aduc o contribuție semnificativă, originală și de actualitate în domeniul confortului vibro-acustic în autovehiculele cu destinație specială și totodată în domeniul confortului în sistemele de transport. Cercetarea a integrat atât măsurători, analize și prelucrări avansate ale datelor pentru vibrații, cât și pentru zgomot, oferind o perspectivă exhaustivă asupra problemelor de confort vibro-acustic și a oferit soluții și strategii de optimizare a confortului prin controlul pasiv.

Impactul potențial al rezultatelor cercetării contribuie semnificativ la avansarea de cunoștințe tehnice și implementarea de soluții inovatoare și răspunde necesităților actuale de cercetare în domeniul confortului în sistemele de transport deoarece:

- propun o metodă nouă și obiectivă, care elimină erorile sistematice inevitabile ale cercetărilor calitative și permite identificarea necesităților și a lacunelor în cercetare, precum și a tendințelor actuale; metoda poate fi compatibilă și validă pentru orice domeniu de cercetare;
- contribuie la investigarea, evaluarea și optimizarea confortului în sistemele de transport (MTS și CTS), prin propunerea și validarea unor metodologii de determinare experimentală a confortului vibro-acustic, propunerea de metode, sisteme de măsurare și achiziția datelor, prezentarea și validarea unor algoritmi de evaluarea obiectivă a confortului bazați pe factori vibro-acustici standardizați;

- oferă o bază de date consistentă cu valorile parametrilor acustici standardizați pentru o gamă de autovehicule de diferite tipuri și configurații clasificate în conformitate cu RNTR 2, monitorizate în staționare și în deplasare, pentru o gamă variată de turajii;
- aduce contribuții la optimizarea confortului vibro-acustic prin controlul pasiv al zgomotului, atât prin determinarea experimentală, cât și prin analiza calitativă și cantitativă a datelor și determinarea celor mai buni predictorii pentru confort și corelația între factorii fizici de material și factorii acustici;
- oferă un cadru de referință pentru realizarea unor standarde de măsurare, investigare și evaluarea a confortului vibro-acustic, prin prezentarea de informații de calitate și prin prezentarea unei abordări integrate și multidisciplinare a zgomotului și vibrațiilor;
- constituie un suport pentru dezvoltarea unor strategii eficiente și inovative în domeniul confortului, prin integrarea rezultatelor prezentate și a strategiilor de control pasiv al zgomotului cu strategii noi de control activ a zgomotului și vibrațiilor;
- determină direcții viitoare de cercetare în domeniu.

Propuneri și recomandări

Prezenta teză de doctorat prezintă o abordare inovativă și complexă în cercetarea confortului, fiind constituită pe necesități actuale identificate ale industriei autovehiculelor convenționale și ale autovehiculelor cu destinație specială și pe studii și cercetări experimentale de investigare, evaluare și îmbunătățirea a confortului în habitacul. Fundamentată pe o explorare completă a parametrilor caracteristici confortului acustic și vibrațional, teza de doctorat aduce contribuții semnificative pentru evaluarea și determinarea experimentală a confortului, la modul general și a confortului vibro-acustic în autovehicule cu destinație specială, o direcție de cercetare o zonă de interes care nu a fost explorată în profunzime în studiile din literatura de specialitate.

Asigurarea confortului acustic și vibrațional este de un real interes la momentul actual, atât în ceea ce privește autovehiculele civile, pentru care confortul reprezintă un indice de calitate, cât și pentru autovehiculele militare, pentru care confortul este o component critică. Astfel, asigurarea confortului acustic în autovehicule este esențială în mediul militar, unde expunerea prelungită la zgomote intense și vibrații poate afecta performanța personalului și poate conduce la oboseală, stres și alte probleme de sănătate. Vibro-confortul nu este doar un deziderat pentru calitatea vieții personalului care activează în forțele armate, ci și o componentă critică pentru îndeplinirea misiunilor și asigurarea eficienței

operaționale. Această componentă poate fi delimitată în necesități cheie: protecția auditivă și la vibrații, limitarea semnăturii acustice, inteligibilitatea vorbirii și bunăstarea personalului.

Într-un context atât de relevant, teza de doctorat acționează ca un catalizator pentru cercetarea experimentală și propunerea unor strategii de optimizare a confortului. Aceasta investighează necesitățile și lacunele în cercetare, identifică tendințele emergente, oferă o perspectivă asupra evoluției de a lungul timpului asupra conceptului de confort, evidențiază schimbările în abordările științifice și tehnologice și investighează prin analize avansate influența zgomotului și vibrațiilor asupra factorului uman pentru propunerea de strategii eficiente în îmbunătățirea și optimizarea confortului.

Pe baza rezultatelor consistente și aprofundate obținute din cercetările realizate și a concluziilor elaborate în subcapitolele anterioare, am elaborat o serie de propuneri strategice împărțite în direcții de cercetare distincte, fiecare având un impact distinct asupra industriei autovehiculelor. Aceste categorii de propuneri vizează unitățile militare pe de o parte, și de pe de altă parte oferă un cadru tehnic și științific detaliat pentru îmbunătățirea confortului, asigurând în același timp protecția sănătății și eficiența operațională a personalului.

Originalitatea tezei / contribuții personale

Prezenta teză de doctorat prezintă o abordare inovativă și de actualitate în cercetarea confortului, constituind un suport pentru determinarea experimentală, investigarea și evaluarea confortului acustic la autovehicule și a confortului vibro-acustic în autovehiculele cu destinație specială, ca bază semnificativă și solidă pentru implementarea unor strategii de optimizarea a confortului.

Cercetarea doctorală este relevantă și inovativă în domeniu, deoarece constituie primul studiu de acest fel în domeniul confortului, pornind de la propunerea și validarea unei noi metode de identificarea a tendințelor și abordare integrativă și multidisciplinară a confortului vibro-acustic în autovehiculele cu destinație specială, până la determinarea necesităților și limitelor de cercetare.

Contribuții originale în domeniul cercetării teoretice:

- Am propus o metodă nouă și obiectivă în contextul stadiului actual al cercetării, care elimină erorile sistematice inevitabile ale cercetărilor calitative și permite identificarea tendințelor actuale, a necesităților și a lacunelor în cercetare. Metoda poate fi aplicabilă și validă pentru orice domeniu de cercetare.

- Am realizat o analiză integrată și interdisciplinară a confortului prin prisma a trei direcții de cercetare a literaturii de specialitate: Confortul – indice de calitate în industria sistemelor de transport; Materiale și tendințe actuale ale industriei constructoare de autovehicule și impactul asupra confortului; Abordări integrative în ergonomia și ingineria factorilor umani în vederea promovării confortului și eficienței în design-ul autovehiculelor. În cadrul acestei analize am constituit o bază de date cu publicații ale literaturii științifice (din WOS, Scopus și Google Scholar) care permite o abordare multidisciplinară a confortului în sistemele de transport, precum și o bază de date de 503 referințe relative la **„Studii și cercetări privind îmbunătățirea unor parametri de confort în sistemele de transport”** pentru fundamentarea riguroasă și solidă a cercetărilor din cadrul tezei de doctorat.
- Am efectuat cercetarea calitativă prin meta-analiză a unui număr considerabil de publicații din literatura de specialitate din perioada recentă, începând cu 2001 până în prezent (luna iunie 2024), având ca referință bazele de date internaționale (Google Scholar, Web of Science și Scopus), privind strategiile active, pasive și hibride de control a zgomotului.
- Am descris și selectat ecuațiile și principiile necesare determinării parametrilor caracteristici undelor sonore și de asemenea, am validat un algoritm teoretic de evaluare a zgomotului în habitacul autovehiculului.
- Am propus și am validat o metodologie de cercetare a zgomotului interior la autovehicule, cu etape bine definite, fundamentată pe o sintetizare a standardelor și directivelor naționale și internaționale, precum și a cărților de specialitate.
- Am analizat și prelucrat datele experimentale de zgomot și pe baza rezultatelor obținute, am furnizat o bază de date preliminară privind zgomotul interior în autovehicule de teren, de oraș, de tip autoutilitară, microbuze, autocare și autovehicule cu destinație specială de capacitate mică și mare.
- Am constituit o bază de date cu nivelul de zgomot în interiorul și în exteriorul autovehiculelor cu destinație specială monitorizate în diferite situații funcționale ale motorului, precum și o bază de date cu nivelul de vibrații interioare.
- Am realizat o structurare și am prezentare centralizată a standardelor și directivelor de definire a zgomotului și vibrațiilor la autovehiculele civile și la autovehiculele cu destinație specială.
- Am propus un algoritm pentru evaluarea confortului vibro-acustic în autovehicule cu destinație specială și am efectuat o serie de analize complexe și avansate pentru studierea exhaustivă a zgomotului și vibrațiilor interioare, cu impact direct asupra operatorului uman: evaluarea nivelului echivalent și maxim echivalent de presiune acustică, amplitudinii vibrațiilor și valorii RMS, analiza FFT a zgomotului și vibrațiilor, analiza în

bandă de 1/1 octave a zgomotului, trasarea curbelor experimentale de comparație pentru vibrații și zgomot, analiza 3D a zgomotului: frecvență – Leq – timp, evaluarea impactului pe termen lung prin expunerea la zgomot și vibrații, precum și calcularea timpilor limită de expunere, analiza de corelație între vibrații, zgomot și turația de funcționare a motorului.

- Am realizat spectrogramelor 3D și spectrele densității de putere (PDS) pentru a identifica și analiza frecvențele dominante și tiparele de zgomot și vibrații, cu scopul de a prezenta o abordare inovatoare care oferă informații detaliate despre comportamentul dinamic al parametrilor vibro-acustici standardizați.
- Am dezvoltat modele matematice și tehnici de simulare pentru predicția comportamentului vibrațional și acustic al autovehiculelor pentru a aduce o contribuție teoretică semnificativă. Aceste modele permit o înțelegere mai profundă a dinamicii vibrațiilor și zgomotului, facilitând optimizarea design-ului autovehiculelor cu destinație specială pentru reducerea acestor fenomene.
- Am prezentat concluzii semnificative și utile pentru bazate pe date concrete pentru a ghida dezvoltarea de noi tehnologii și materiale pentru reducerea vibrațiilor și zgomotului, contribuind la design-ul unor autovehicule mai confortabile și mai eficiente. Utilizarea materialelor de amortizare și a tehnologiilor avansate de suspensie este esențială pentru minimizarea vibrațiilor resimțite de echipaj.
- Am realizat experimente care pot contribui la dezvoltarea și actualizarea normelor și standardelor internaționale privind confortul vibro-acustic în autovehiculele cu destinație specială, asigurând conformitatea cu cerințele de siguranță, performanță și sănătate.
- Am propus și am validat strategii de îmbunătățire pentru confortul acustic prin controlul pasiv al zgomotului, pe baza testărilor experimentale a cinci clase de material și o analiză calitativă aplicativă a bazelor de date obținute experimental. Analiza calitativă aplicativă a cuprins algoritmi de calcul și multiple metode statistice: statistici descriptive pentru variabilele de cercetare, testarea distribuției normale a datelor prin aplicarea testului Kolmogorov – Smirnov, analiza asocierilor prin aplicarea coeficienților de corelație neparametrici Spearman, testul Mann – Whitney U, testul Kruskal – Wallis cu comparații multiple Dunn’ Post Hoc, trei modele de regresie multiliniară cu diagnostic de coliniaritate, metode de învățare automată bazată pe arborele de decizie cu metoda de creștere Chi-Square Automatic Interaction Detector – CHAID.
- Am determinat cel mai bun predictor pentru confortul acustic și factorii de decizie pentru selectarea sustenabilă a materialelor pentru controlul pasiv al zgomotului, cu scopul final de optimizare a confortului acustic în autovehicule.

Contribuții originale în domeniul cercetării experimentale:

- Am realizat investigații de precizie pentru determinarea experimentală a confortului acustic în autovehicule de diferite configurații și tipuri (de teren, de oraș, autoutilitare, microbuze, autobuze, autocamioane cu destinație specială, autovehicule de teren cu destinație specială).
- Am realizat determinarea experimentală și am propus și validat algoritmi de calcul pentru analiza bazată pe factori vibro-acustici standardizați înregistrați în autovehicule cu destinație specială.
- Am realizat investigații experimentale asupra confortului vibro-acustic în autovehicule cu destinație specială și am prezentat concluzii semnificative pentru a aduce contribuții la atenuarea suplimentară a impactului sonor potențial și al vibrațiilor asupra factorului uman, precum și la implementarea unor strategii optime care să conducă la îmbunătățirea nivelului de confort vibro-acustic în autovehiculele cu destinație specială.
- Am propus și validat metodele ce stau la baza determinărilor experimentale de confort vibro-acustic: metodele de măsurare a zgomotului exterior în deplasare și în staționare, metodele de măsurare a zgomotului interior în deplasare și în staționare, metodele de măsurare a zgomotului interior în căștile de protecție în deplasare și în staționare, metodele de măsurare a vibrațiilor interioare în deplasare și în staționare, la nivelul plafonului inferior al autovehiculului și sub scaunul conducătorului auto.
- Activitatea de cercetare a integrat măsurători, analize și prelucrări ale datelor de vibrații și de zgomot, oferind o perspectivă exhaustivă asupra problemelor de confort vibro-acustic. Majoritatea studiilor din literatura de specialitate s-au concentrat fie pe optimizarea confortului vibrațional, fie pe optimizarea confortului acustic, fără a le considera în mod integrat. Totodată nu există reglementări actuale pentru evaluarea confortului vibro-acustic atât în sistemele de transport civile (CTS), cât și în sistemele de transport militare (MTS).
- Metodele de cercetare propuse care au avut ca elemente definitorii particularitățile autovehiculelor cu destinație specială s-au bazat pe precizia măsurărilor efectuate, conducând la rezultate semnificative pentru domeniul studiat.
- Am propus și validat un sistem digital de măsurare gestionat de o aplicație creată în programul DasyLab 12.0 care a permis: prelucrarea digitală a datelor măsurate, eliminarea erorilor de transmitere și de stocare a datelor, vizualizarea datelor măsurate în timp real și vizualizarea rezultatelor prelucrate în timp real, managementul sistemului de măsurare (start/stop proces de măsurare, setarea parametrilor de măsurat, stocarea, etc.), care este adaptabil și versatil pentru configurații diverse.

- Am realizat experimentele pentru optimizarea confortului acustic prin controlul pasiv al zgomotului care au presupus testarea materialelor fonoabsorbante și fonoizolante în diverse condiții de testare.
- Am demonstrat prin studiile experimentale importanța selectării și implementării materialelor și tehnologiilor adecvate pentru reducerea vibrațiilor și zgomotului în autovehicule, oferind date concrete pentru dezvoltarea unor strategii eficiente de proiectare.
- Am efectuat măsurători suplimentare pentru măsurarea zgomotului din căștile de protecție și nivelului vibrațiilor la nivelul scaunului, pentru estimarea impactului potențial al zgomotului și vibrațiilor asupra pasagerilor autovehiculelor cu destinație specială;
- Am efectuat determinări experimentale pentru evaluarea în mod specific a eficienței căștilor de protecție acustică în diferite intervale de frecvență, o zonă de interes care nu a fost explorată în profunzime în studiile din literatura de specialitate;
- Am efectuat cercetările experimentale de investigare a efectelor pe termen lung ale expunerii la vibrații și zgomot asupra sănătății operatorilor de autovehicule cu destinație specială, analizând indicatori precum: răul de mișcare, oboseala, stresul și riscul de leziuni musculo-scheletice. Studiile au demonstrat că reducerea vibrațiilor și zgomotului contribuie semnificativ la îmbunătățirea sănătății și bunăstării operatorilor.

În urma cercetării doctorale am identificat și următoarele **direcții viitoare de cercetare**:

- dezvoltarea și implementarea unui filtru LMS (Least Mean Squares) pentru reducerea vibrațiilor în autovehiculele cu destinație specială. Filtrul LMS constituie baza de plecare pentru cercetarea mea post-doctorală, pe care intenționez să o parcurg în continuarea cercetărilor doctorale. Acest filtru adaptiv va permite minimizarea erorii dintre semnalul dorit și cel real, ajustând coeficienții în timp real pentru a reduce semnificativ vibrațiile resimțite de echipaj în autovehiculele cu destinație specială. Utilizarea filtrelor LMS pentru controlul activ al zgomotului și vibrațiilor se bazează pe anularea activă a semnalelor perturbatoare, îmbunătățind claritatea comunicării și reducând stresul auditiv;
- Integrarea măsurătorilor obiective cu evaluările subiective, asigurând o evaluare completă și complexă a confortului vibro-acustic și performanței echipajului;
- Utilizarea materialelor de amortizare avansate, tehnologiilor de anulare activă a zgomotului (ANC) și îmbunătățirea izolației fonice sunt esențiale pentru a reduce nivelurile de vibrații și zgomot în autovehiculele cu destinație specială. Investigarea noilor tehnologii și materiale pentru reducerea vibrațiilor poate duce la soluții inovatoare și eficiente.

- Extinderea dimensiunii eșantionului și includerea unui număr mai mare de autovehicule poate oferi rezultate mai robuste și mai reprezentative.

În concluzie, cercetările efectuate demonstrează importanța unei abordări integrate în analiza și optimizarea confortului acustic în autovehicule și a confortului vibro-acustic în autovehiculele cu destinație specială. Prin combinarea analizelor avansate ale vibrațiilor și zgomotului, am reușit să obținem rezultate semnificative care contribuie la îmbunătățirea confortului, siguranței și performanței echipajului. Direcțiile de cercetare viitoare vizează extinderea și aprofundarea acestor studii, cu scopul de a dezvolta soluții inovatoare și eficiente pentru optimizarea autovehiculelor și asigurarea unui mediu de operare confortabil și sigur, orientat pe performanța în mediul operațional.

Valorificarea rezultatelor cercetărilor științifice din perioada studiilor doctorale contribuie la creșterea prestigiului IOSUD prin prezența articolelor publicate din domeniul confortului în curentul științific: 13 articole publicate în calitate de prim autor (8 BDI, 1 ISI, 1 ISI Proceedings și 3 ISI *în curs de publicare*), prezența la cinci conferințe internaționale, o mobilitate internațională, la centrul WAVES al University of Ghent, Belgia și membru în cadrul unui grant colectiv de cercetare.

Bibliografie selectivă

- [1] Kockelman, K. M., Chen, T. D., Larsen, K. A., & Nichols, B. G. (2013). *The Economics of Transportation Systems: A Reference for Practitioners*. CreateSpace.
- [2] Bellizzi, M. G., dell'Olio, L., Eboli, L., Forciniti, C., & Mazzulla, G. (2020). Passengers' Expectations on Airlines' Services: Design of a Stated Preference Survey and Preliminary Outcomes. *Sustainability*, 12(11), 4707. <https://doi.org/10.3390/su12114707>.
- [3] Powell, J. P., & Palacín, R. (2015). Passenger Stability Within Moving Railway Vehicles: Limits on Maximum Longitudinal Acceleration. *Urban Rail Transit*, 1, 95–103. <https://doi.org/10.1007/s40864-015-0012-y>.
- [4] Ksander, N. de Winkel, Tugrul Irmak, Riender Happee, Barys Shyrokau. (2023). Standards for passenger comfort in automated vehicles: Acceleration and jerk. *Applied Ergonomics*, 106, 103881. ISSN 0003-6870. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103881>.
- [5] García, C. R., Quesada-Arencibia, A., Cristóbal, T., Padrón, G., Pérez, R., & Alayón, F. (2015). An Intelligent System Proposal for Improving the Safety and Accessibility of Public Transit by Highway. *Sensors*, 15(8), 20279-304. <https://doi.org/10.3390/s150820279>.
- [6] Vasilenko, M. A., Kuzina, E. L., Galkin, V. A., & Drozdov, N. A. (2021). Managing the Development of the Environmental Protection System in Transport Companies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 666, 062079. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/6/062079>.
- [7] Magaña, V. C., Scherz, W. D., Seepold, R., Madrid, N. M., Pañeda, X. G., & Garcia, R. (2020). The Effects of the Driver's Mental State and Passenger Compartment Conditions on Driving Performance and Driving Stress. *Sensors*, 20(18), 5274. <https://doi.org/10.3390/s20185274>.
- [8] P7_TA-PROV(2011)0210 Nivelul de zgomot admis și sistemul de evacuare al autovehiculelor ***I Rezoluția legislativă a Parlamentului European din 11 mai 2011 referitoare la propunerea de directivă a Parlamentului European și a Consiliului privind nivelul de zgomot admis și sistemul de evacuare al autovehiculelor, https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-7-2013-0041_RO.html.

- [9] Tanishita, M., & Miyoshi, H. (2007). Factors associated with safety of passenger cars. *IATSS Research*, 31(2), 84-93. ISSN 0386-1112. [https://doi.org/10.1016/S0386-1112\(14\)60226-0](https://doi.org/10.1016/S0386-1112(14)60226-0).
- [10] European Commission. (2024), (n.d.). Road transport. Retrieved from https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/road_en.
- [11] NHTSA. (n.d.). NPRM, (2024): Proposed CAFE Standards for MYs 2027-2032 Passenger Cars and Light Trucks and Fuel Efficiency Standards for MYs 2030-2035 Heavy-Duty Pickup Trucks and Vans. Retrieved from <https://www.nhtsa.gov/laws-regulations/corporate-average-fuel-economy>.
- [14] Chelkoff, G. (2004). *Ecologie sensible des formes architecturales: recherche et expérimentation*. EURAU 2004 European Research in Architecture and Urbanism, 12-14 Mai 2004, Marseille, France.
- [20] Constantin, D., Nagi, M., & Mazilescu, C.-A. (2014). Elements of Discomfort in Vehicles. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 143, 1120-1125. ISSN 1877-0428. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.07.564>.
- [328] Muslim, E., Moch, B. N., Lestari, R. A., Shabrina, G., & Ramardhiani, R. (2019). Ergonomic design of electric vehicle instrument panel: a study case on Universitas Indonesia's national electric car. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 508, 012109. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/508/1/012109>.
- [329] Lesiuk, G., Liu, X., Liu, Z., Chen, J.-T., Yu, X.-L., Lai, B.-J., Zhan, B., & Huang, S.-F. (2020). Ergonomic reliability assessment for passenger car interface design based on EWM-MADM and human cognitive reliability experiments. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, Article 4757202. <https://doi.org/10.1155/2020/4757202>.
- [320] Young, M.S., & Stanton, N.A. (2023). *Driving Automation: A Human Factors Perspective* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003374084>.
- [331] Jahn, G. (2024). Resilience engineering for highly automated driving, autonomous vehicles, and urban robotics: wizards and shepherds in hybrid societies. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 1–22. <https://doi.org/10.1080/1463922X.2024.2328062>.
- [384] Liu, Z. S., Lee, H. P., & Lu, C. (2006). Passive and active interior noise control of box structures using the structural intensity method. *Applied Acoustics*, 67(2), 112-134. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2005.04.010>.
- [385] Xu, J., Sun, G. H., Feng, T., Li, M. F., & Lim, T. (2016). Comparative study of adaptive algorithms for vehicle powertrain noise control. *SAE International Journal of Passenger Cars - Mechanical Systems*, 9(1), 441-451. <https://doi.org/10.4271/2016-01-9108>.
- [386] Sahib, M. A., & Streif, S. (2017). Design of an active noise controller for reduction of tire/road interaction noise in environmentally friendly vehicles. In *2017 Signal Processing: Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications (SPA 2017)* (pp. 59-62). IEEE.
- [387] Egaña, J. M., Díaz, J., & Viñolas, J. (2003). Active control of low-frequency broadband air-conditioning duct noise. *Noise Control Engineering Journal*, 51(5), 292-299. <https://doi.org/10.3397/1.2839725>.
- [388] Liu, N. N., Sun, Y. D., Wang, Y. S., Sun, P., Li, W. W., & Guo, H. (2021). Mechanism of interior noise generation in high-speed vehicle based on anti-noise operational transfer path analysis. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 235(1), 273-287. <https://doi.org/10.1177/0954407020937219>.
- [389] Gäbel, G., Millitzer, J., & Mohr, A. (2018). Development and implementation of a multi-channel active control system for the reduction of road induced vehicle interior noise. *Actuators*, 7(3), Article 52. <https://doi.org/10.3390/act7030052>.
- [390] Mayer, D., Militzer, J., & Bein, T. (2014). Integrated solutions for noise and vibration control in vehicles. *SAE International Journal of Passenger Cars - Mechanical Systems*, 7(3), 1183-1193. <https://doi.org/10.4271/2014-01-2048>.
- [391] Wimmel, R., Siebald, H., & Gnauert, U. (2007). Active systems for noise and vibration control in vehicles - Challenges, success and perspectives. In *Human Vibration: Effects on Health - Performance - Comfort* (pp. 595-605). VDI Berichte.
- [392] Caiazzo, A., Alujevic, N., & Desmet, W. (2016). Active control of turbulent boundary layer sound transmission into a vehicle interior. In *Proceedings of the 13th International Conference on Motion and Vibration Control (MOVIC*

2016) and the 12th International Conference on Recent Advances in Structural Dynamics (RASD 2016) (Vol. 744, Article 012026). Journal of Physics Conference Series. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/744/1/012026>.

[393] Shin, T., Kim, Y. S., & Lee, S. K. (2019). Transfer path analysis of rumbling noise in a passenger car based on in-situ blocked force measurement. Applied Acoustics, 149, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.01.015>.

[394] Boger-Lombard, J., Slobodkin, Y., & Katz, O. (2023). Towards passive non-line-of-sight acoustic localization around corners using uncontrolled random noise sources. 13(1), Article 4952. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31490-2>.

[461] Bratu, P. (2002). Acustica interioară pentru construcții și mașini. Editura Impuls, pp.138-158.