

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ  
GHEORGHE ASACHI DIN IAȘI**



**Școala Doctorală de Electronică, Telecomunicații  
și Tehnologia Informației**

**Rezumatul Tezei de doctorat**

**CONTRIBUȚII LA ÎMBUNĂȚIREA SIGURANȚEI  
TRAFICULUI VEHICULAR**

**Doctorand: Mihaela Gavrilă**

**COMISIA DE DOCTORAT**

Președinte comisie doctorat: Prenume Nume  
Conducător de doctorat: Prof.Univ.Dr.Ing. Daniela Tărniceriu  
Referenți oficiali: Prenume Nume  
Prenume Nume  
Prenume Nume

**Iași, 2026**

## CUPRINS

<b>Capitolul 1 – Introducere .....</b>	<b>1</b>
1.1 Contextul și motivația.....	1
1.2 Tema cercetării .....	1
1.3 Importanța și actualitatea temei .....	1
1.4 Cadrul conceptual al cercetării .....	2
1.5 Impactul cercetării .....	2
1.6 Structura tezei.....	2
<b>Capitolul 2 – Stadiul actual al cercetării în domeniul siguranței rutiere .....</b>	<b>3</b>
2.1 Siguranța rutieră – provocări și statistici actuale .....	3
2.2 Sisteme inteligente pentru monitorizarea comportamentului șoferilor .....	3
2.3 Tehnologii de detecție a consumului de alcool .....	3
2.4 Monitorizarea parametrilor fiziologici prin dispozitive IoT .....	4
2.5 Ecosistem tehnologic și instrumente asociate pentru dezvoltarea sistemelor scalabile și distribuite .....	4
2.6 Tehnologia Blockchain ca mecanism de asigurare a integrității datelor .....	4
2.7 Integrarea Învățării Automate în analiza datelor provenite din trafic .....	4
2.8 Limitările sistemelor actuale și direcții insuficient explorate .....	4
2.9 Poziționarea cercetării în raport cu literatura de specialitate .....	4
<b>Capitolul 3 – Sistemul propus: arhitectură și fundamente tehnologice .....</b>	<b>4</b>
3.1 Motivația dezvoltării Platformei de Colectare Date .....	5
3.2 Arhitectura generală a sistemului propus.....	6
3.3 Descrierea componentelor sistemului propus .....	6
3.4 Stiva tehnologică utilizată .....	7
3.5 Interfața cu utilizatorul și funcționalitățile Platformei de Colectare a Datelor .....	7
3.6 Structura Bazei de Date a Platformei de Colectare a Datelor .....	9
3.7 Concluzii și contribuții .....	9
<b>Capitolul 4 – Monitorizarea localizării și alcoolemiei șoferilor .....</b>	<b>9</b>
4.1 Dezvoltarea și descrierea Baterii Modulare de Senzori .....	10
4.2 Descrierea comunicării dintre componentele sistemului .....	10
4.3 Studiu de caz: evaluarea funcțională a sistemului de achiziție și monitorizare în trafic urban .....	10
4.4 Potențiale aplicații în transportul public și flotele comerciale .....	13
4.5 Concluzii și contribuții .....	13
<b>Capitolul 5 – Tehnologia Blockchain pentru integritatea datelor .....</b>	<b>13</b>
5.1 Motivația integrării conceptului de Tehnologie Blockchain pentru integritatea datelor .....	14
5.2 Interconectarea rețelei Blockchain cu Platforma de Colectare Date și Bateria Modulară de Senzori .....	14
5.3 Integrarea cu infrastructuri descentralizate pe Ethereum .....	14
5.4 Trasabilitatea și verificabilitatea în timp real.....	15
5.5 Implementarea calculului <i>Hash</i> cu Ethereum .....	16
5.6 Stocarea descentralizată a datelor și limitele stocării clasice .....	16
5.7 Aplicarea în transportul public urban a sistemului propus și securizat prin Tehnologia Blockchain .....	17
5.8 Concluzii și contribuții .....	18
<b>Capitolul 6 – Monitorizarea unor parametri fiziologici relevanți pentru siguranța rutieră .....</b>	<b>18</b>
6.1 Motivația integrării brațarilor inteligente pentru monitorizare cardiacă .....	18
6.2 Transmiterea și validarea de parametri biometrici.....	18
6.3 Studiu de caz: monitorizarea șoferilor în mediu experimental .....	19
6.4 Concluzii și contribuții .....	21
<b>Capitolul 7 – Posibilitatea identificării unor modele comportamentale cu ajutorul analizei statistice .....</b>	<b>22</b>
7.1 Metodologia utilizată .....	22
7.2 Variabilele colectate .....	25
7.3 Studiu de caz 1: validarea experimentală a detecției alcoolemiei cu senzorul MQ-3 în trafic urban .....	25
7.4 Studiu de caz 2: monitorizarea alcoolemiei în mediu experimental în raport cu parametrii fiziologici .....	28
7.5 Concluzii și contribuții .....	31
<b>Capitolul 8 – Analiză și Concluzii.....</b>	<b>32</b>
8.1 Analiza SWOT a soluției propuse .....	32
8.2 Contribuții originale și analiză comparativă .....	34
8.3 Lista completă de lucrări .....	36
8.4 Direcții viitoare de cercetare.....	37
<b>Bibliografie selectivă.....</b>	<b>37</b>

# Capitolul 1 – Introducere

## 1.1 Contextul și motivația

Siguranța rutieră se configurează în prezent drept una dintre cele mai acute și persistente provocări la nivel global, constituind un domeniu de interes strategic pentru sănătatea publică și mobilitatea durabilă. Deși industria auto a înregistrat progrese remarcabile în ingineria vehiculelor prin integrarea sistemelor avansate de asistență, comportamentul uman rămâne factorul etiologic dominant în generarea incidentelor rutiere letale. În acest spectru, consumul de alcool la volan și manifestarea unor episoade medicale acute se impun prin prevalență și gravitate, afectând direct capacitatea de reacție și stabilitatea psihofiziologică a conducătorilor auto.

În mod tradițional, instrumentele de prevenție s-au limitat la acțiuni de tip reactiv, cum ar fi controalele rutiere inopinate sau autoevaluarea subiectivă a stării de sănătate, metode care nu oferă un cadru predictiv și adaptiv de intervenție. Această lacună sistemică evidențiază necesitatea stringentă pentru soluții tehnologice inovatoare, capabile să asigure o monitorizare continuă, discretă și neinvazivă a indicatorilor comportamentali. Astfel, dezvoltarea unor platforme de supraveghere digitală nu mai reprezintă un simplu deziderat tehnic, ci un imperativ social ce reclamă reconceptualizarea paradigmei de siguranță prin automatizare și digitalizare.

Evoluția accelerată a conceptelor de Oraș Inteligent și Vehicul Inteligent a creat cadrul favorabil pentru valorificarea tehnologiilor emergente, precum Internetul Lucrurilor (IoT) și algoritmi de Învățare Automată (ML). Cercetarea de față răspunde acestui context prin proiectarea unei Platforme Inteligente de Colectare a Datelor, menită să integreze în timp real informații despre geolocalizarea utilizatorului și starea sa fiziologică. Arhitectura propusă a fost construită etapizat, pornind de la o Baterie Modulară de Senzori (MSB) pentru detecția alcoolului și extinzându-se către dispozitive purtabile pentru monitorizarea ritmului cardiac și a saturației oxigenului din sânge.

Un pilon fundamental al acestui demers îl reprezintă integrarea Tehnologiei Blockchain (BT), care oferă garanții solide privind autenticitatea și integritatea datelor colectate. Această abordare este esențială într-un context marcat de vulnerabilități cibernetice și de exigențe normative stricte privind protecția informațiilor personale. Relevanța tezei este confirmată atât prin validarea științifică în reviste internaționale, cât și prin interesul manifestat de companiile de transport urban, evidențiind potențialul de transfer al rezultatelor cercetării în scenarii reale de mobilitate.

## 1.2 Tema cercetării

Tema cercetării vizează definirea și dezvoltarea Platformei de Colectare a Datelor, capabilă să integreze informații referitoare la comportamentul rutier, localizarea geografică și starea fiziologică a conducătorilor auto. Demersul urmărește depășirea abordărilor fragmentare identificate în literatura de specialitate, prin propunerea unei soluții unitare care să asigure achiziția, procesarea, analiza și securizarea datelor relevante pentru evaluarea capacității de conducere.

Platforma propusă este concepută ca un sistem scalabil și modular, cu aplicabilitate atât în scenarii de trafic real, cât și în contexte experimentale controlate. Integrarea mecanismelor criptografice bazate pe BT și a modelelor predictive fundamentate pe algoritmi de ML conferă sistemului capacitatea de a transforma datele brute în instrumente de suport decizional, cu relevanță științifică și aplicativă.

## 1.3 Importanța și actualitatea temei

Importanța temei abordate este determinată de impactul major al accidentelor rutiere asupra societății contemporane, acestea reprezentând o cauză semnificativă de mortalitate prematură și invaliditate. Caracterul multidimensional al problematicii siguranței sistemelor de transport rutier impune soluții care să depășească cadrul intervențiilor punctuale și să permită gestionarea sistemică a riscurilor asociate factorului uman.

Actualitatea cercetării este consolidată de transformările accelerate din domeniul mobilității urbane și de proliferarea infrastructurilor inteligente de transport. În acest context, lipsa unor soluții integrate, capabile să monitorizeze simultan consumul de alcool, parametrii fiziologici și contextul spațio-temporal al conducerii, evidențiază un decalaj tehnologic semnificativ. Cercetarea răspunde acestei lacune printr-o abordare interdisciplinară, orientată către prevenție, securitate și sustenabilitate.

## 1.4 Cadrul conceptual al cercetării

Cadrul conceptual al cercetării este construit ca o structură logică integrată, în care obiectivele și metodologia sunt corelate într-un demers fundamentat pe vulnerabilitățile actuale ale securității rutiere și pe necesitatea unor soluții tehnologice adaptative și scalabile.

**Obiectivul general (OG)** al cercetării constă în proiectarea, dezvoltarea și validarea unei platforme inteligente capabile să colecteze, să proceseze și să securizeze în timp real date privind starea fiziologică și comportamentul conducătorilor auto, în scopul optimizării mecanismelor de prevenție și intervenție în trafic.

În vederea atingerii obiectivului general, cercetarea a fost structurată în jurul unui set de obiective specifice formulate într-o succesiune logică și progresivă. **OS<sub>1</sub>** a urmărit realizarea unei analize critice a stadiului actual al cercetărilor dedicate monitorizării conducătorilor auto, cu accent pe identificarea limitărilor soluțiilor existente și a direcțiilor insuficient explorate. **OS<sub>2</sub>** a vizat proiectarea unei arhitecturi modulare și scalabile pentru Platforma de Colectare Date, capabilă să susțină integrarea flexibilă a componentelor hardware și software. **OS<sub>3</sub>** a avut ca obiectiv dezvoltarea și integrarea unei MSB destinată detecției particulelor de alcool din aerul expirat de șofer, localizării geografice precise și măsurării distanței dintre Bateria Modulară de Senzori și capul conducătorului auto, asigurând o achiziție de date continuă și fiabilă. **OS<sub>4</sub>** a urmărit extinderea funcționalităților sistemului prin integrarea dispozitivelor purtabile de tip IoT, destinate monitorizării în timp real a parametrilor vitali relevanți. **OS<sub>5</sub>** a vizat asigurarea integrității, trasabilității și confidențialității datelor colectate, prin integrarea Tehnologiei Blockchain în arhitectura platformei. **OS<sub>6</sub>** a urmărit aplicarea la nivel conceptual a algoritmilor ML pentru analiza, clasificarea și predicția comportamentelor de risc asociate conducerii auto, în vederea susținerii unor mecanisme predictive de suport decizional.

Metodologia conceptuală a cercetării a fost structurată ca un demers progresiv, fundamentat pe ipotezele formulate și orientat către atingerea obiectivelor stabilite, integrând analiza teoretică, proiectarea arhitecturală, implementarea experimentală și validarea funcțională într-un cadru interdisciplinar coerent. În prima etapă, analiza critică a literaturii a permis identificarea limitărilor soluțiilor existente și fundamentarea direcțiilor originale de dezvoltare. Ulterior, a fost proiectată arhitectura unei platforme modulare și scalabile, capabile să integreze senzori pentru detecția alcoolemiei și dispozitive purtabile pentru monitorizarea parametrilor fiziologici, asigurând colectarea multimodală, non-invazivă a datelor relevante. Securitatea datelor a fost consolidată prin integrarea Tehnologiei Blockchain, garantând integritatea și trasabilitatea informațiilor. În plan analitic, au fost utilizați algoritmi Random Forest și XGBoost pentru modelarea predictivă a comportamentelor de risc. Validarea experimentală, realizată în medii controlate și reale, a confirmat robustețea și aplicabilitatea soluției propuse.

## 1.5 Impactul cercetării

Impactul cercetării este relevant atât în plan teoretic, cât și aplicativ. La nivel științific, contribuția constă în integrarea ingineriei sistemelor inteligente, securității cibernetice, medicinei digitale și științei datelor într-o arhitectură unitară bazată pe IoT, Tehnologie Blockchain și algoritmi bazați pe Inteligență Artificială, propunând un cadru conceptual pentru monitorizare și analiză predictivă.

În plan aplicativ, soluția poate fi utilizată în infrastructuri de mobilitate precum transportul urban sau flotele comerciale, prin furnizarea de date procesate în timp real, utile proceselor decizionale. Utilizarea algoritmilor de ML permite identificarea tiparelor de risc asociate consumului de alcool sau unor episoade medicale, iar integrarea Tehnologiei Blockchain asigură trasabilitatea, integritatea și conformitatea normativă a datelor gestionate.

## 1.6 Structura tezei

Teza este structurată în opt capitole care reflectă evoluția demersului științific, de la fundamentarea teoretică și analiza stadiului actual al cercetării, până la proiectarea, implementarea, validarea și evaluarea soluției propuse. Această structură asigură coerența conceptuală a lucrării și permite o înțelegere progresivă a contribuțiilor aduse în domeniul siguranței traficului vehicular.

În **Capitolul 1** se introduce contextul cercetării, motivează alegerea temei, definește obiectivele, metodologia și conturează structura generală a tezei.

În **Capitolul 2** se analizează literatura de specialitate privind monitorizarea comportamentului rutier, tehnologiile IoT, securizarea datelor prin BT și utilizarea algoritmilor de ML, evidențiind limitele soluțiilor existente.

În **Capitolul 3** se prezintă arhitectura sistemului propus și fundamentele tehnologice ale Platformei de Colectare Date, incluzând componentele hardware, software și stiva tehnologică utilizată.

În **Capitolul 4** se dezvoltă Bateria Modulară de Senzori utilizată pentru detecția numărului particulelor de alcool din aerul expirat de șofer și a localizării vehiculului.

În **Capitolul 5** se prezintă integrarea Tehnologiei Blockchain în sistemul propus, ca mecanism de garantare a integrității, trasabilității și verificabilității datelor, prin implementarea pe infrastructura Ethereum.

În **Capitolul 6** se abordează integrarea dispozitivelor purtabile în sistemul propus, cu scopul de a monitoriza unii parametri fiziologici ai șoferilor, în scenarii experimentale și reale de trafic urban.

În **Capitolul 7** se prezintă, la nivel conceptual, utilizarea metodelor statistice și a algoritmilor de ML pentru identificarea și predicția tiparelor comportamentale asociate consumului de alcool.

În **Capitolul 8** se sintetizează contribuțiile originale, concluziile generale, analiza SWOT a sistemului propus și direcțiile viitoare de cercetare.

Datele experimentale colectate și utilizate în analiză, precum și codul sursă aferent Platformei de Colectare Date, sunt disponibile într-un depozit public, la adresa:

[https://github.com/Mihaela-Gavrila/Contributii\\_la\\_imbunatatirea\\_traficului\\_vehicular](https://github.com/Mihaela-Gavrila/Contributii_la_imbunatatirea_traficului_vehicular)

## **Capitolul 2 – Stadiul actual al cercetării în domeniul siguranței rutiere**

### **2.1 Siguranța rutieră – provocări și statistici actuale**

În literatura de specialitate și în politicile publice contemporane, siguranța rutieră reprezintă o problemă majoră cu implicații directe asupra sănătății publice și dezvoltării socio-economice. Analizele statistice recente evidențiază persistența unui număr ridicat de accidente rutiere grave, în pofida progreselor tehnologice înregistrate la nivelul infrastructurii și al vehiculelor. Factorul uman continuă să domine etiologia accidentelor, fiind responsabil pentru o proporție semnificativă a incidentelor soldate cu victime [1].

Consumul de alcool, oboseala, stresul psihofiziologic și apariția unor afecțiuni medicale acute sunt identificați drept factori determinanți care afectează capacitatea de reacție și discernământul conducătorilor auto. Aceste constatări subliniază limitele abordărilor tradiționale de prevenție și justifică necesitatea unor soluții tehnologice capabile să susțină monitorizarea continuă și intervenția proactivă în trafic [4].

### **2.2 Sisteme inteligente pentru monitorizarea comportamentului șoferilor**

Cercetările recente din domeniul securității traficului rutier evidențiază o orientare accentuată către dezvoltarea sistemelor inteligente de monitorizare a comportamentului conducătorilor auto. Aceste sisteme valorifică senzori, camere video, algoritmi de procesare a semnalelor și modele de analiză comportamentală, cu scopul de a identifica abateri de la conduita normală de conducere [16].

În literatura de specialitate se evidențiază faptul că majoritatea soluțiilor existente se concentrează pe detectarea unor manifestări punctuale, precum somnolența, distragerea atenției sau stilul agresiv de conducere, fără a integra în mod sistematic parametri fiziologici sau biometrico-comportamentali relevanți [20].

Analiza sistemelor implementate în contexte reale relevă existența unor soluții comerciale și experimentale care utilizează tehnologii avansate de asistență pentru șofer (ADAS), senzori de cabină și algoritmi de recunoaștere a tiparelor comportamentale. Aceste sisteme oferă funcționalități de avertizare timpurie și asistență la conducere, însă sunt adesea limitate de lipsa unei integrări profunde cu datele fiziologice ale șoferului și de incapacitatea de a asigura trasabilitatea și securitatea datelor colectate [22].

Din analiza critică a soluțiilor existente rezultă că monitorizarea comportamentală, deși promițătoare, rămâne fragmentată și insuficient adaptată scenariilor complexe de trafic. Absența unor mecanisme robuste de corelare între comportament, stare fiziologică și context rutier limitează capacitatea acestor sisteme de a anticipa situațiile de risc, cu un grad ridicat de acuratețe [23], [25] - [27].

### **2.3 Tehnologii de detecție a consumului de alcool**

Detecția consumului de alcool la volan constituie un domeniu intens investigat, având în vedere impactul major al acestui factor asupra siguranței sistemelor de transport rutier. Soluțiile analizate în literatura de specialitate variază de la dispozitive portabile de tip etilotest până la sisteme integrate în vehicul [33].

Dispozitivele tradiționale se bazează pe măsurarea concentrației de alcool din aerul expirat și sunt utilizate predominant în controale rutiere sau în contexte instituționale. Deși oferă rezultate precise în condiții controlate, acestea prezintă limitări semnificative în ceea ce privește monitorizarea continuă și integrarea în sisteme inteligente de prevenție [37].

Sistemele moderne de blocare inteligentă a pornirii sau soluțiile încorporate pentru detecția alcoolului, oferă posibilitatea blocării pornirii vehiculului în cazul depășirii unor praguri prestabilite. Cu toate acestea, în literatură se evidențiază limitări legate de acuratețe, acceptabilitate socială și lipsa corelării cu alți indicatori comportamentali sau fiziologici [40], [47].

## 2.4 Monitorizarea parametrilor fiziologici prin dispozitive IoT

Integrarea dispozitivelor IoT purtabile pentru monitorizarea parametrilor fiziologici reprezintă o direcție emergentă în cercetarea siguranței rutiere. Brățările inteligente și alte dispozitive biomedicale permit colectarea în timp real a unor indicatori precum ritmul cardiac și saturația oxigenului, oferind informații relevante privind starea de sănătate a conducătorului auto [51].

Analiza studiilor existente arată că aceste tehnologii sunt utilizate preponderent în contexte medicale, iar aplicarea lor în domeniul securității traficului rutier se află încă într-o fază incipientă, caracterizată de lipsa unor arhitecturi integrate și a validării în scenarii reale [63].

## 2.5 Ecosistem tehnologic și instrumente asociate pentru dezvoltarea sistemelor scalabile și distribuite

Dezvoltarea sistemelor inteligente de monitorizare rutieră presupune utilizarea unui ecosistem tehnologic complex, capabil să susțină volume mari de date, procesare în timp real și interoperabilitate între componente eterogene [66].

Literatura de specialitate evidențiază utilizarea framework-urilor moderne pentru dezvoltarea aplicațiilor backend, care permit implementarea unor arhitecturi modulare, scalabile și securizate. Aceste soluții facilitează integrarea datelor provenite din surse multiple și asigură suport pentru procesarea avansată a informațiilor [68].

Soluțiile de stocare relațională și non-relațională, alături de tehnologiile de containerizare, joacă un rol esențial în asigurarea scalabilității și rezilienței sistemelor distribuite. În literatură se subliniază importanța alegerii unor mecanisme de stocare capabile să gestioneze date senzoriale continue și să susțină integrarea cu infrastructuri cloud [69].

## 2.6 Tehnologia Blockchain ca mecanism de asigurare a integrității datelor

BT este analizată în literatura recentă ca o soluție promițătoare pentru garantarea integrității, trasabilității și autenticității datelor în sisteme distribuite. Aplicarea acestei tehnologii în domeniul siguranței traficului rutier este motivată de necesitatea protejării datelor biometrice și comportamentale, caracterizate printr-un grad ridicat de sensibilitate. Studiile existente evidențiază avantajele utilizării registrelor distribuite, dar și limitările legate de costuri, latențe și complexitatea implementării în sisteme cu cerințe de gestionare a datelor timp real [77], [80].

## 2.7 Integrarea Învățării Automate în analiza datelor provenite din trafic

ML reprezintă un instrument central în analiza datelor complexe provenite din trafic. Modelele predictive permit identificarea tiparelor comportamentale și estimarea probabilității apariției unor situații de risc. Literatura evidențiază utilizarea algoritmilor de regresie și clasificare pentru analiza datelor senzoriale, însă subliniază dificultățile asociate generalizării modelelor și interpretabilității rezultatelor [100].

## 2.8 Limitările sistemelor actuale și direcții insuficient explorate

Analiza critică a stadiului actual al cercetării relevă o serie de limitări recurente: fragmentarea soluțiilor, lipsa integrării multimodale a datelor, absența mecanismelor robuste de securizare și validare a informațiilor, precum și insuficiența validare în condiții reale de utilizare. Aceste lacune evidențiază necesitatea unor abordări sistemice, capabile să coreleze date comportamentale, fiziologice și contextuale într-un cadru unitar.

## 2.9 Poziționarea cercetării în raport cu literatura de specialitate

În raport cu literatura de specialitate, cercetarea de față se poziționează printr-o abordare integrativă și interdisciplinară, care urmărește depășirea limitărilor identificate. Prin combinarea tehnologiilor IoT, BT și ML într-o platformă inteligentă de colectare și analiză a datelor, teza propune un cadru scalabil, orientat către prevenție, securitate și validare experimentală în contexte reale de trafic.

# Capitolul 3 – Sistemul propus: arhitectură și fundamente tehnologice

În acest capitol sunt prezentate premisele conceptuale și considerentele tehnice care au fundamentat necesitatea dezvoltării Platformei de Colectare Date, definind arhitectura generală a sistemului, descriind componentele hardware și software, justificând opțiunile tehnologice adoptate prin analiza stivei utilizate, detaliind

interfața cu utilizatorul și funcționalitățile platformei, precum și structura bazei de date, pentru a evidenția, în final, fezabilitatea arhitecturală, soliditatea tehnologică și aplicabilitatea practică a soluției propuse în contexte reale de mobilitate și siguranță rutieră.

### 3.1 Motivația dezvoltării Platformei de Colectare Date

Motivația dezvoltării Platformei de Colectare Date este fundamentată pe necesitatea operaționalizării obiectivelor cercetării într-o arhitectură integrată, capabilă să răspundă vulnerabilităților identificate în contextul mobilității rutiere contemporane, Platforma de Colectare Date fiind concepută ca element central de orchestrare a proceselor de achiziție, procesare și securizare a datelor. În acest sens, Figura 1 ilustrează schema-bloc conceptuală a sistemului propus, evidențiind relația directă dintre structura arhitecturală și obiectivele specifice ale cercetării: analiza critică a soluțiilor existente (OS<sub>1</sub>) fundamentează necesitatea unui sistem integrat; proiectarea infrastructurii software-hardware a platformei (OS<sub>2</sub>) asigură interoperabilitatea componentelor; MSB (OS<sub>3</sub>) realizează detecția numărului particulelor de alcool din aerul expirat de șofer, geolocalizarea vehiculului și măsurarea distanței dintre MSB și capul șoferului; integrarea brățării inteligente (OS<sub>4</sub>) extinde monitorizarea către parametri fiziologici relevanți; BT (OS<sub>5</sub>) garantează integritatea, trasabilitatea și imuabilitatea datelor; iar stratul analitic bazat pe algoritmi de ML (OS<sub>6</sub>) valorifică, la nivel conceptual, datele colectate pentru identificarea și anticiparea comportamentelor de risc. Astfel, figura sintetizează modul în care fiecare subsistem contribuie la realizarea obiectivelor tezei și evidențiază caracterul unitar, continuu și securizat al fluxului de date, confirmând rolul Platformei de Colectare Date ca nucleu operațional al soluției propuse.

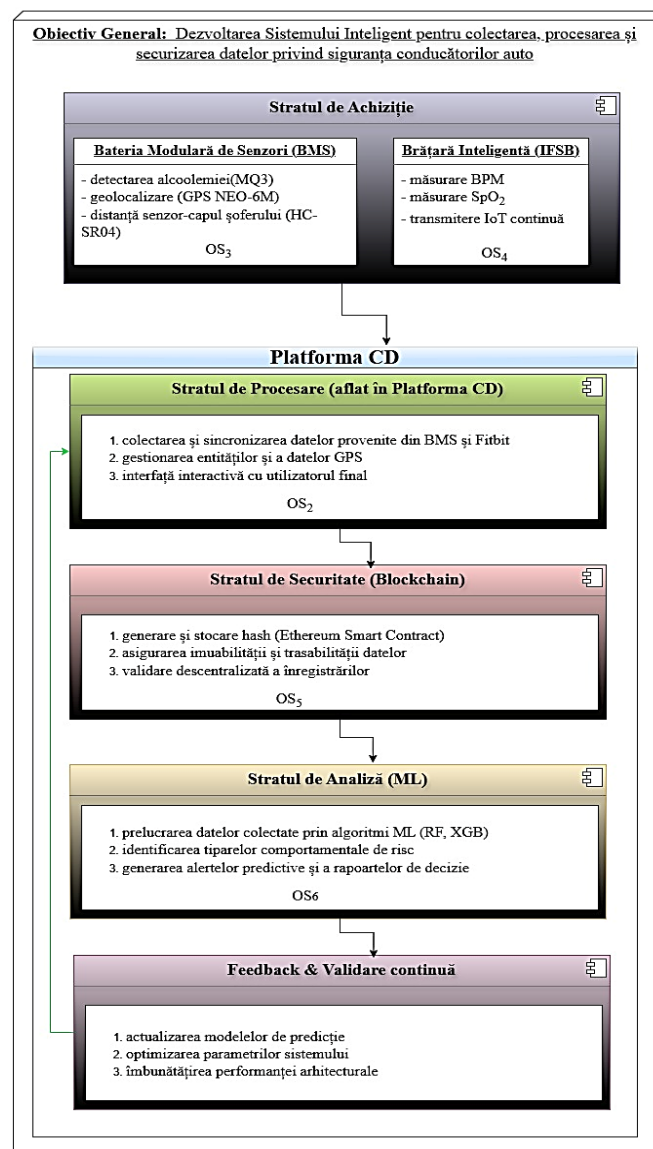


Figura 1 Diagrama bloc a sistemului propus

### 3.2 Arhitectura generală a sistemului propus

Arhitectura generală a sistemului propus, ilustrată în Figura 2, este concepută ca o structură stratificată, organizată în patru niveluri funcționale distincte: stratul de achiziție a datelor, stratul de procesare, stratul de stocare și stratul de interfață cu utilizatorul, fiecare având un rol bine definit în circuitul informațional al Platformei de Colectare Date.

Stratul de achiziție integrează MSB și dispozitivele purtabile IoT, asigurând colectarea în timp real a datelor biometrice, comportamentale și geospațiale, care sunt centralizate de unitatea de control și transmise către platformă.

Stratul de procesare reprezintă nucleul logic al sistemului, unde datele sunt validate, transformate și expuse prin interfețe API REST, asigurând interoperabilitatea și consistența fluxurilor de informații.

Stratul de stocare combină o bază de date relațională pentru gestionarea structurată a informațiilor cu un mecanism complementar bazat pe BT, destinat garantării integrității, trasabilității și imuabilității datelor sensibile, colectate în stratul de achiziție.

Stratul de interfață oferă utilizatorilor acces intuitiv la datele colectate, prin funcționalități de vizualizare, monitorizare și alertare în timp real.

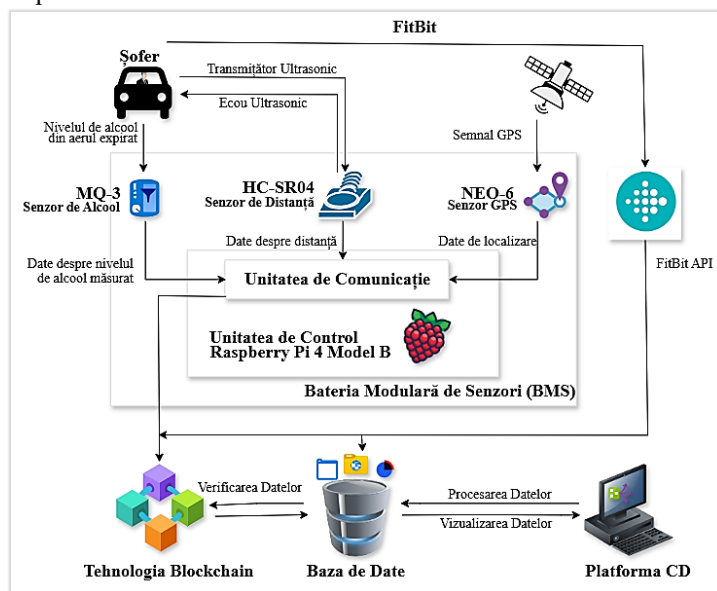


Figura 2 Arhitectura generală a sistemului propus

Arhitectura este susținută de o infrastructură containerizată, care conferă portabilitate, scalabilitate și flexibilitate operațională, permițând implementarea atât în medii cloud, cât și în scenarii de edge computing. Prin această structurare, în Figura 2 se sintetizează relația dintre componentele sistemului și evidențiază caracterul modular, extensibil și robust al soluției propuse.

### 3.3 Descrierea componentelor sistemului propus

Componenta hardware a Platformei de Colectare Date este structurată în jurul MSB, care constituie nucleul stratului de achiziție a datelor și integrează senzori dedicați monitorizării comportamentale și spațio-temporale a conducătorului auto. Senzorul MQ-3 realizează detecția numărului de particule alcool din aerul expirat de șofer, senzorul ultrasonic HC-SR04 măsoară distanța dintre sursa de detecție și capul șoferului, iar modulul NEO-6 GPS asigură localizarea geografică precisă în timp real a vehiculului. Datele colectate sunt gestionate de unitatea de procesare Raspberry Pi 4 Model B (RPi4B), care centralizează achiziția, efectuează o preprocesare locală a valorilor brute și transmite informațiile către backend-ul Platformei de Colectare Date prin conexiuni securizate, sistemul fiind alimentat flexibil în funcție de scenariul de utilizare și validat experimental în condiții reale de trafic.

Componenta software este organizată într-o arhitectură stratificată, alcătuită din stratul de achiziție, responsabil de recepția și structurarea datelor senzoriale, stratul de procesare, care validează și prelucrează informațiile prin servicii backend dezvoltate în Spring Boot și expuse prin interfețe API REST, stratul de stocare, bazat pe PostgreSQL pentru gestionarea structurată și extensibilă a datelor, și stratul de interfață utilizator, implementat cu Angular prin JHipster, care oferă funcționalități de vizualizare, monitorizare și alertare. Aceste straturi sunt susținute de componente transversale pentru securitate și portabilitate, incluzând containerizarea prin Docker, mecanisme de autentificare și criptare, precum și integrarea BT pentru garantarea integrității și imuabilității informațiilor, asigurând funcționarea scalabilă și securizată a întregului sistem.

### 3.4 Stiva tehnologică utilizată

Stiva tehnologică a Platformei de Colectare Date este organizată pe o arhitectură stratificată, concepută pentru a susține un flux informațional continuu, fiabil și sigur, necesar monitorizării în timp real a comportamentului și stării fiziologice a conducătorilor auto.

**Stratul de achiziție** integrează componentele hardware și mecanismele software responsabile de captarea datelor biometrice, comportamentale și geospațiale, asigurând transmiterea informațiilor brute către nivelurile superioare ale sistemului.

**Stratul de procesare**, implementat prin Java 17 și Spring Boot, gestionează logica aplicației, validarea și prelucrarea datelor, precum și expunerea acestora prin interfețe API REST, în timp ce mecanismul Hibernate facilitează maparea obiect-relație și interacțiunea eficientă cu baza de date.

**Stratul de stocare** este bazat pe PostgreSQL, ales pentru robustețea sa, suportul pentru tranzacții conforme standardelor ACID și capacitatea de gestionare a datelor geospațiale, esențiale în contextul monitorizării rutiere.

**Stratul de interfață** cu utilizatorul, dezvoltat cu Angular prin intermediul JHipster, permite vizualizarea dinamică a datelor, afișarea informațiilor de localizare, gestionarea alertelor și autentificarea securizată. Funcționarea întregii stive tehnologice este susținută de soluții transversale, precum containerizarea cu Docker (care asigură portabilitatea și scalabilitatea aplicației), utilizarea sistemelor de control al versiunilor în GitHub (pentru trasabilitatea dezvoltării și a fluxurilor CI/CD), precum și adoptarea unor medii de dezvoltare integrate consacrate, au facilitat implementarea și mentenanța arhitecturii propuse.

### 3.5 Interfața cu utilizatorul și funcționalitățile Platformei de Colectare a Datelor

Interfața cu utilizatorul a Platformei de Colectare Date a fost proiectată conform principiilor ergonomiei software și ale designului interactiv, având ca obiectiv principal asigurarea unui acces clar, intuitiv și structurat la funcționalitățile sistemului, așa cum este ilustrat în Figurile 3–6. Platforma integrează mecanisme complete de autentificare, înregistrare și recuperare a contului, oferind suport atât pentru gestionarea identității digitale a utilizatorilor, cât și pentru controlul securizat al accesului. După autentificare, utilizatorul este redirecționat către pagina principală, de unde poate accesa toate modulele funcționale – *Acasă*, *Hartă*, *Entități*, *Administrare*, *Limbă* și *Cont* – organizate într-o structură de navigație care facilitează utilizarea eficientă a platformei în contexte operaționale reale.

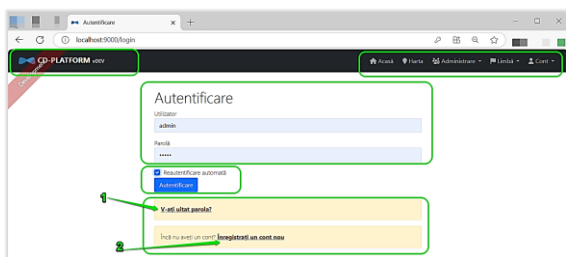


Figura 3 Autentificarea utilizatorilor în Platforma de Colectare Date



Figura 4 Modulul Acasă - Pagina principală

Funcțional, interfața permite vizualizarea în timp real a entităților monitorizate pe hartă (Figurile 7–8), consultarea și gestionarea detaliată a datelor colectate prin intermediul modulelor Entități și submodulelor asociate (Figurile 9–21), configurarea parametrilor de alertare și a pragurilor operaționale, precum și administrarea utilizatorilor și a drepturilor de acces (Figurile 22–27).

Componenta de administrare este completată de module dedicate monitorizării performanței și stării sistemului (Figurile 28–31), configurării aplicației (Figura 32), jurnalizării evenimentelor (Figura 33) și expunerii interfețelor API REST pentru interoperabilitate cu sisteme externe (Figurile 34–41). Interfața este completată de funcționalități de internaționalizare prin funcționalități multi-limbă (Figura 42) și de module de gestionare a contului utilizatorului (Figurile 43–45), asigurând un control facil asupra datelor personale și al securității sesiunilor.

Prin această structurare, interfața Platformei de Colectare Date devine un instrument operațional esențial pentru vizualizarea, analiza și administrarea datelor, reflectând direct obiectivele acestei cercetări privind monitorizarea continuă, securizată și orientată spre prevenție a comportamentului rutier.

Ținând cont de complexitatea funcțională a interfeței și numărul ridicat de componente vizuale asociate acesteia, mai jos au fost integrate selectiv doar reprezentări grafice considerate esențiale pentru ilustrarea principalelor module și fluxuri operaționale, respectiv Figurile 7, 8, 9, 22, 28, 30, 33, 34 și 40.

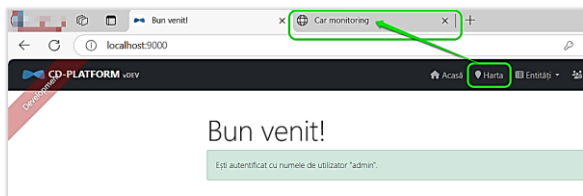


Figura 5 Modulul Hartă

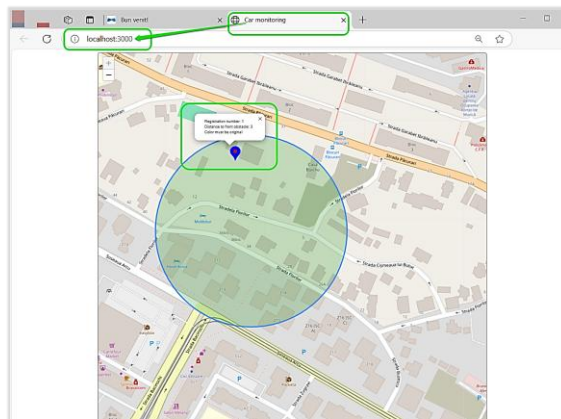


Figura 6 Localizarea MSB în timp real

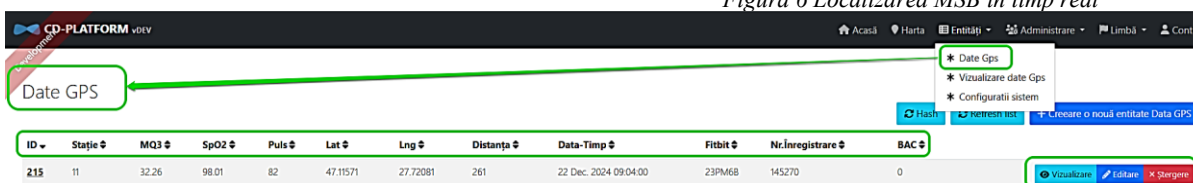


Figura 7 Modulul Entități – Submodulul Date GPS

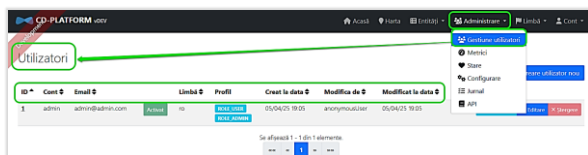


Figura 8 Modulul Administrare - Submodulul Gestiune Utilizatori

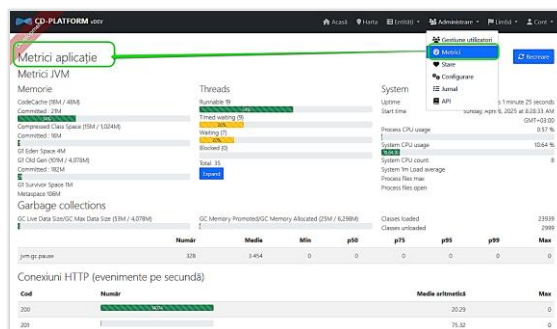


Figura 9 Submodulul Metrici Aplicatie

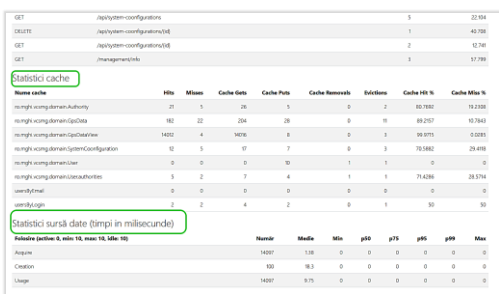


Figura 10 Metrici pentru supravegherea timpilor de execuție

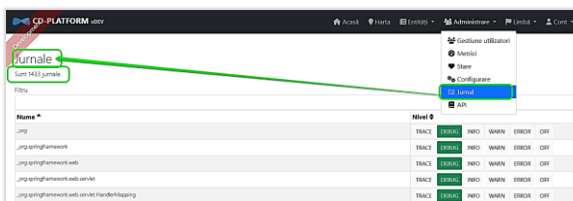


Figura 11 Submodulul Jurnal

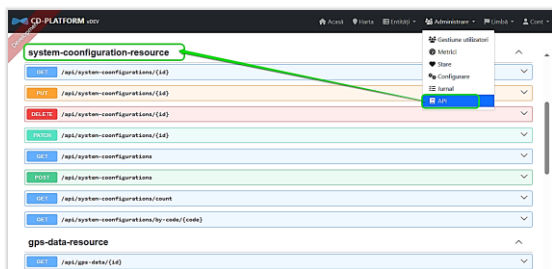


Figura 12 Submodulul API - resursa de configurare a sistemului

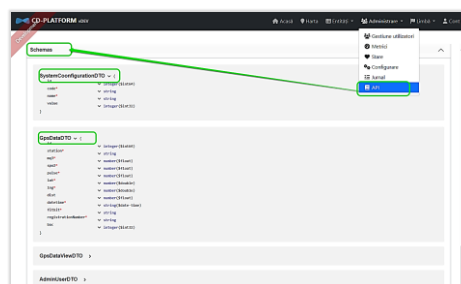


Figura 13 Submodulul API - structura datelor transferate

### 3.6 Structura Bazei de Date a Platformei de Colectare a Datelor

Structura bazei de date a Platformei de Colectare Date este concepută ca un model relațional scalabil, destinat să susțină integral funcționalitățile aplicației, de la gestionarea utilizatorilor și a drepturilor de acces, până la stocarea și corelarea datelor senzoriale, fiziologice, comportamentale și geospațiale. Implementată pe PostgreSQL și extinsă prin PostGIS, baza de date respectă principiile normalizării, integrității referențiale și separării responsabilităților, asigurând eliminarea redundanțelor și consistența internă a informațiilor. Relațiile dintre tabele sunt realizate prin chei primare și chei străine, care leagă în mod logic entitățile operaționale (MSB, dispozitive IoT), sesiunile de monitorizare și înregistrările senzoriale, permițând trasabilitatea completă a fiecărei observații în raport cu dimensiunile „cine”, „ce”, „când” și „unde”.

Modelul de date este organizat în jurul unor tabele nucleu care deservește fluxul principal al aplicației (sesiuni și măsurători înregistrate de senzori), completate de tabele de configurare, alertare, securitate și audit, astfel încât toate funcționalitățile platformei să fie susținute unitar la nivel de persistență. Performanța este optimizată prin utilizarea indexării temporale, geospațiale și compuse, precum și prin partiționarea datelor în funcție de criterii temporale, facilitând monitorizarea în timp real.

Integritatea și fiabilitatea sunt garantate prin respectarea standardelor ACID, iar securitatea și trasabilitatea sunt consolidate prin mecanisme de control al accesului, criptare și integrarea BT pentru ancorarea amprentelor digitale ale datelor critice. Prin această structurare, baza de date asigură un suport solid, extensibil și verificabil pentru exploatarea științifică și operațională a Platformei de Colectare Date.

### 3.7 Concluzii și contribuții

Capitolul 3 a definit arhitectura și stiva tehnologică a Platformei de Colectare a Datelor, demonstrând adecvarea soluției propuse atât la obiectivele cercetării, cât și la cerințele funcționale ale sistemului. Analiza a evidențiat coerența opțiunilor tehnologice și capacitatea acestora de a susține un cadru scalabil, securizat și adaptabil pentru monitorizarea în timp real a șoferilor. Prin structura prezentată, capitolul stabilește fundamentul conceptual și operațional necesar implementării componentelor experimentale, inclusiv validarea Bateriei Modulare de Senzori și integrarea tehnologiei Blockchain ca mecanism de asigurare a integrității datelor.

- Principalele activități și rezultate realizate în acest capitol sunt:
- conceperea sistemului integrat și elaborarea schemei-bloc conceptuale a arhitecturii;
- proiectarea și implementarea Platformei de Colectare Date, incluzând structura frontend-ului, backend-ul și mecanismele de gestionare a datelor;
- definirea arhitecturii stratificate pe niveluri operaționale: achiziție, procesare, stocare și interfață;
- integrarea componentelor hardware și software într-un ecosistem unitar, implementat prin containerizare Docker;
- configurarea mecanismelor de securitate și a layer-elor criptografice, incluzând integrarea Blockchain pentru validarea și protejarea datelor;
- proiectarea modelului bazei de date, normalizat și indexat temporal, geospațial, compus, precum și stabilirea interfeței de persistență prin librăria Hibernate;
- structurarea fluxului de date de la achiziție până la nivelul aplicației, prin corelarea componentelor platformei cu procesele operaționale aferente.
- rezultatele cercetării din acest capitol au fost publicate în 2 articole științifice ce se regăsesc în bibliografie la numerele [116] și [117].

## Capitolul 4 – Monitorizarea localizării și alcoolemiei șoferilor

Acest capitol este dedicat dezvoltării și validării sistemului integrat de monitorizare a alcoolemiei conducătorilor auto, bazat pe bateria MSB interconectată cu Platforma de Colectare Date, care permite detecția neinvazivă și în timp real a numărului particulelor de alcool din aerul expirat de șofer și geolocalizarea șoferului, într-o arhitectură flexibilă și extensibilă, adaptabilă atât vehiculelor individuale, cât și flotelor comerciale sau transportului public. Capitolul prezintă premisele și criteriile de proiectare ale MSB, descrie componentele hardware și arhitectura comunicațională cu Platforma de Colectare Date, analizează rezultatele obținute în cadrul testelor experimentale desfășurate în condiții reale de trafic, evaluează aplicabilitatea soluției în scenarii operaționale concrete și sintetizează contribuțiile și relevanța practică a sistemului propus pentru siguranța rutieră asistată tehnologic.

## 4.1 Dezvoltarea și descrierea Baterii Modulare de Senzori

Bateria modulară de senzori este proiectată ca un ansamblu modular și extensibil, capabil să capteze, să prelucreze și să transmită în timp real parametri esențiali pentru evaluarea stării de sobrietate a conducătorului auto, fără a afecta ergonomia sau siguranța spațiului de conducere.

Configurația sa integrează un senzor de alcool MQ-3 pentru măsurarea numărului particulelor de alcool din aerul expirat, un modul GPS U-blox NEO-6M pentru determinarea poziției geografice în timp real, un senzor ultrasonic HC-SR04 pentru măsurarea distanței dintre conducător și unitatea senzorială, precum și o unitate de procesare Raspberry Pi 4 Model B, care asigură agregarea, prelucrarea locală și transmiterea securizată a datelor către Platforma de Colectare Date.

În Figura 46 este prezentată o MSB. Aceasta este un subsistem hardware robust și scalabil, menit să asigure fundamentul operațional al monitorizării neinvazive și continue a alcoolemiei în cadrul arhitecturii propuse.

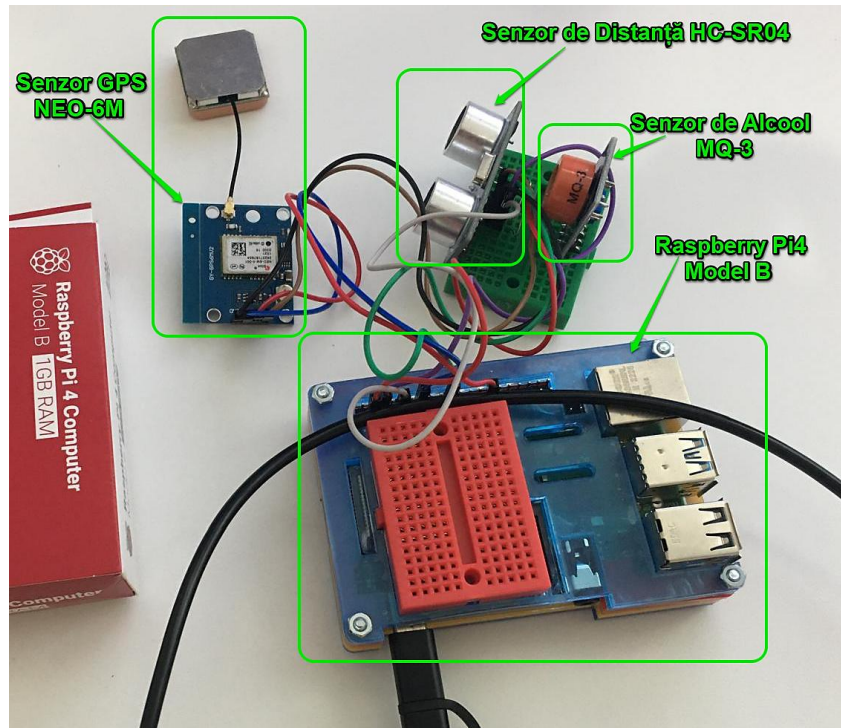


Figura 14 Bateria Modulară de Senzori - MSB

## 4.2 Descrierea comunicării dintre componentele sistemului

Comunicarea dintre MSB și Platforma de Colectare Date este proiectată ca un mecanism end-to-end robust, capabil să asigure transferul continuu, securizat și fiabil al datelor în timp real, într-o arhitectură de tip client-server, în care MSB funcționează ca nod activ de achiziție, iar Platforma de Colectare Date ca nod central de recepție și procesare. La activarea vehiculului, unitatea de procesare RPi4B inițializează componentele senzoriale, prelucrează local datele colectate și le structurează într-un obiect JSON standardizat, care include parametrii esențiali privind numărul particulelor de alcool, distanța față de senzor, coordonatele geografice, marcajul temporal și identificatorul unic al stației. Transmiterea se realizează prin cereri HTTP de tip POST, protejate prin protocol HTTPS și mecanisme TLS, către end-point-urile dedicate ale platformei, unde datele sunt validate automat și persistate în baza de date fără intervenție umană. Acest model comunicațional permite gestionarea simultană a mai multor unități MSB active, susține scenarii de monitorizare distribuită și oferă baza pentru implementarea mecanismelor de alertare și reacție operativă, asigurând o legătură funcțională între mediul fizic al vehiculului și infrastructura digitală de analiză și decizie.

## 4.3 Studiu de caz: evaluarea funcțională a sistemului de achiziție și monitorizare în trafic urban

Pentru a demonstra fezabilitatea tehnică, funcționalitatea și robustețea soluției propuse, a fost realizată o implementare experimentală a sistemului integrat de monitorizare, urmată de o etapă de validare desfășurată în condiții reale de trafic rutier. Scopul acestei etape a fost evaluarea comportamentului sistemului în regim dinamic,

prin testarea simultană a achiziției senzoriale, a mecanismelor de transmisie, a persistenței datelor și a capacității Platformei de Colectare Date de a gestiona și de a permite vizualizarea informațiilor în timp real.

Experimentul a fost structurat în două direcții complementare:

- (i) calibrarea poziționării MSB față de conducătorul auto, în vederea identificării distanței optime care maximizează acuratețea detecției alcoolemiei;
- (ii) evaluarea capacității senzorului MQ-3 de a distinge între starea de sobrietate și diferite niveluri de alcoolemie simulate, raportate la pragurile medico-legale aplicabile în România. Aceste praguri au fost utilizate ca repere de interpretare a rezultatelor, permițând corelarea valorilor tehnice (ppm în aerul expirat) cu intervalele juridice consacrate pentru conducerea sub influența alcoolului.

#### 4.3.1 Configurația experimentală

Experimentul a fost realizat cu ajutorul unui vehicul de investigație echipat cu o configurație completă a MSB, montată într-o poziție fixă, deasupra zonei capului conducătorului auto, astfel încât să nu afecteze câmpul vizual sau manevrabilitatea. Pentru simularea controlată a prezenței alcoolului în aerul expirat, a fost utilizat un sistem de pulverizare temporizată cu soluție alcoolică de concentrație cunoscută. Această abordare non-invazivă a permis reproducerea unor condiții realiste de expunere la etanol, fără implicarea consumului real de alcool, eliminând riscurile etice și de siguranță. Testarea s-a realizat cu ajutorul unui vehicul de investigație dotat cu o configurație completă a MSB, montată în compartimentul șoferului într-o poziție optimizată, astfel încât să nu afecteze câmpul vizual și manevrabilitatea, așa cum este prezentat în Figura 51.



Figura 15 Vehicul de test

#### 4.3.2 Regimul de testare și colectare a datelor

Experimentul a fost conceput și realizat în scopul validării funcționale a sistemului propus în condiții reale de utilizare, având ca obiective principale evaluarea calității achiziției datelor, stabilitatea procesului de măsurare, fiabilitatea transmiterii informațiilor și calibrarea senzorului de alcool în raport cu intervale relevante de alcoolemie. Protocolul experimental a fost structurat pe intervale distincte de concentrație a alcoolului, iar analiza rezultatelor s-a fundamentat pe datele colectate pentru fiecare scenariu de testare.

În etapa inițială a experimentului a fost simulată o stare de sobrietate completă (0% alcool), în absența oricărei surse artificiale de alcool în aerul expirat. În acest context, Bateria Modulară de Senzori a generat un set de 2.594 de înregistrări unice, fiecare observație incluzând distanța dintre poziția capului conducătorului auto și senzorul de alcool, valoarea concentrației de alcool detectate (nulă în această etapă) și poziția geografică a vehiculului, exprimată prin coordonate GPS.

În vederea calibrării sistemului și a caracterizării complete a răspunsului senzorului, protocolul experimental a fost extins prin realizarea unor măsurători incrementale ale concentrației de alcool în aerul expirat. Determinările au fost efectuate cu pas de 0,1‰ în intervalul 0–3‰, corespunzător domeniului de interes medico-legal, și cu pas de 1‰ în intervalul 3–30‰, pentru investigarea comportamentului senzorului în regimuri de saturație. În urma acestei etape au fost colectate 23.228 de observații, dintre care 20.634 corespund nivelurilor non-zero de alcoolemie.

Extinderea domeniului de măsurare dincolo de pragurile fiziologice a avut ca scop obținerea unui set de date suficient de variat pentru o calibrare robustă din punct de vedere tehnic, precum și analiza neliniarităților și a limitelor funcționale ale senzorului MQ-3. Această abordare a permis validarea performanței sistemului atât în zona operațională de interes, cât și în regimuri extreme.

Datele colectate au fost transmise în timp real către baza de date a Platformei de Colectare Date și vizualizate prin intermediul modulelor Date GPS – Figura 8 și Hartă – Figura 6 și Figura 7, asigurând monitorizarea continuă a parametrilor senzoriali și a traiectoriei vehiculului, precum și verificarea integrității și coerenței fluxului informațional pe întregul lanț de achiziție–procesare–stocare.

### 4.3.3 Analiza comportamentului sistemului

În regimul de 0‰ alcool, valorile senzorului MQ-3 s-au menținut constant în jurul pragului zero, iar măsurătorile senzorului de distanță HC-SR04 au indicat o poziționare relativ stabilă a conducătorului auto. Din distribuția valorilor obținute a rezultat o distanță optimă de montare a MSB de aproximativ 280 mm față de capul șoferului, interval care maximizează precizia detecției și minimizează variațiile nedorite ale semnalului.

Pentru a ilustra modul de persistență și structurare a datelor în baza de date, în Tabelul 14 se prezintă un extras reprezentativ din înregistrările corespunzătoare scenariului de sobrietate (0‰). Acest tabel evidențiază formatul unitar de stocare, incluzând identificatori unici, marcaje temporale, parametri tehnici, coordonate geografice și metadata ale dispozitivului. Coerența dintre aceste câmpuri confirmă atât integritatea fluxului de date, cât și posibilitatea realizării unor analize temporale și spațiale reproductibile.

Tabel 1 Exemplu de înregistrări din baza de date experimentale pentru scenariul de 0‰ alcool

ID	Date	Time (s)	Distance (mm)	MQ3 (ppm)	Lat	Lng	Station	MAC
4689	01.06.2024	14:04:12	27	0	47,157635	27,61804	1	3C:71:BF:F1:1A:A8
4690	01.06.2024	14:04:14	71	0	47,157635	27,61804	1	3C:71:BF:F1:1A:A8
4691	01.06.2024	14:04:15	147	0	47,157635	27,61804	1	3C:71:BF:F1:1A:A8
...	...	...	...	...	...	...	...	...
7280	01.06.2024	15:24:47	196	0	47,157864	27,61719	1	3C:71:BF:F1:1A:A8
7281	01.06.2024	15:24:48	776	0	47,157864	27,61719	1	3C:71:BF:F1:1A:A8
7282	01.06.2024	15:24:50	246	0	47,157856	27,617226	1	3C:71:BF:F1:1A:A8

În etapa de expunere la alcool, sistemul a reacționat conform așteptărilor, senzorul MQ-3 înregistrând creșteri semnificative ale valorilor detectate, corelate direct cu activarea sursei de alcool. Pentru concentrația simulată de 1‰, valorile au atins niveluri de până la 67051 ppm, demonstrând sensibilitatea senzorului și capacitatea acestuia de a diferenția clar între starea de sobrietate și cea de influență alcoolică.

Pentru ilustrare, în Tabelul 15 se prezintă un extras din baza de date aferent acestui scenariu, ilustrând variația valorilor MQ-3 în raport cu distanța, timpul și poziția geografică. Compararea directă între Tabelul 14 și Tabelul 15 evidențiază tranziția clară dintre cele două regimuri experimentale și confirmă consistența răspunsului sistemului în condiții dinamice. Analiza post-experimentală a evidențiat stabilitatea și consistența funcționării componentelor hardware și software.

Tabel 2 Exemplu de înregistrări din baza de date experimentale pentru scenariul de 1‰ alcool

ID	Date	Time (s)	Distance (mm)	MQ3 (ppm)	Lat	Lng	Station	MAC
10690	27.07.2024	09:23:36	261	32026	47,149307	27,601929	1	3C:71:BF:F1:1A:A8
10564	27.07.2024	09:23:37	242	33051	47,149082	27,601965	1	3C:71:BF:F1:1A:A8
10725	27.07.2024	09:23:39	261	32026	47,14845	27,600018	1	3C:71:BF:F1:1A:A8
10566	27.07.2024	09:23:40	468	20061	47,149067	27,601973	1	3C:71:BF:F1:1A:A8
10819	27.07.2024	09:23:42	434	21023	47,15113	27,588766	1	3C:71:BF:F1:1A:A8
10776	27.07.2024	09:23:44	261	32026	47,149258	27,594933	1	3C:71:BF:F1:1A:A8
10877	27.07.2024	09:23:45	261	32026	47,155907	27,585419	1	3C:71:BF:F1:1A:A8
...	...	...	...	...	...	...	...	...
10899	27.07.2024	09:33:36	261	32026	47,15766	27,585024	1	3C:71:BF:F1:1A:A8
10643	27.07.2024	09:33:37	261	32026	47,149017	27,602049	1	3C:71:BF:F1:1A:A8
10625	27.07.2024	09:33:39	261	32026	47,14911	27,601955	1	3C:71:BF:F1:1A:A8

Rezultatele obținute confirmă funcționalitatea sistemului pe întregul lanț de achiziție–transmisie–stocare–vizualizare, în condiții reale de trafic. Stabilitatea citirilor, consistența datelor înregistrate și corelarea parametrilor senzoriali cu informațiile spațio-temporale, validează soluția propusă din punct de vedere tehnic. Totodată,

arhitectura modulară a sistemului permite integrarea sa în scenarii variate de utilizare, de la vehicule individuale la flote comerciale sau transport public.

#### **4.4 Potențiale aplicații în transportul public și flotele comerciale**

Integrarea MSB cu Platforma de Colectare Date permite utilizarea soluției propuse în sisteme de transport extinse, atât în sectorul public, cât și în cel comercial. Funcționalitățile de monitorizare neinvazivă, detecție în timp real, geolocalizare automată și alertare, susțin prevenirea incidentelor asociate conducerii sub influența alcoolului și contribuie la creșterea siguranței operaționale.

În transportul public, sistemul poate fi utilizat pentru monitorizarea continuă a stării de sobrietate a conducătorilor auto, atât anterior pornirii vehiculului, cât și pe parcursul cursei, permițând alertarea dispeceratelor și asigurând trasabilitatea comportamentală a șoferilor. Această abordare este compatibilă cu cerințele sistemelor inteligente de transport și cu politicile de siguranță rutieră.

În cazul flotelor comerciale și logistice, soluția susține automatizarea controlului de conformitate, optimizarea planificării curselor și reducerea riscurilor economice generate de incidente rutiere. Datele colectate pot fi utilizate atât pentru monitorizare operațională, cât și pentru analize agregate orientate spre prevenție.

Din punct de vedere arhitectural, sistemul este scalabil și interoperabil, permițând conectarea simultană a mai multor unități MSB la aceeași platformă și integrarea cu aplicații externe prin interfețe standardizate. Aceste caracteristici facilitează implementarea soluției în contexte operaționale variate, fără impact asupra performanței sau fiabilității.

#### **4.5 Concluzii și contribuții**

În Capitolul 4 s-a prezentat proiectarea, implementarea și validarea subsistemului tehnic destinat monitorizării alcoolemiei conducătorilor auto și localizării vehiculului în timp real. Integrarea Bateriei Modulare de Senzori cu Platforma de Colectare Date a demonstrat funcționalitatea și robustețea soluției, evidențiind viabilitatea tehnică și utilitatea practică a acestui subsistem în contextul siguranței rutiere. Rezultatele obținute consolidează premisa integrării sale în infrastructuri de mobilitate inteligentă și susțin direcțiile ulterioare de dezvoltare către soluții scalabile și interoperabile.

- Principalele rezultate evidențiate pot fi sintetizate astfel:
- proiectarea și implementarea MSB;
- definirea arhitecturii hardware și a mecanismelor de comunicație, prin configurarea unui subsistem modular și scalabil, compatibil cu infrastructura platformei;
- integrarea MSB cu Platforma de Colectare Date, realizând un subsistem operațional pentru monitorizarea continuă a alcoolemiei și localizarea vehiculului în timp real;
- efectuarea testelor experimentale, prin care au fost evaluate funcționarea senzorilor, stabilitatea transmiției datelor și acuratețea măsurărilor în condiții reale de trafic;
- corelarea datelor de detecție cu informațiile GPS, pentru generarea înregistrărilor sincronizate și analizabile contextual;
- realizarea unei Baterii Modulare de Senzori care poate fi integrată în sisteme de mobilitate inteligentă și care permite extinderea monitorizării în aplicații operaționale diverse.
- rezultatele cercetării din acest capitol au fost publicate în 2 articole științifice ce se regăsesc în bibliografie la numerele [116] și [119].

## **Capitolul 5 – Tehnologia Blockchain pentru integritatea datelor**

În acest capitol se abordează integrarea Tehnologiei Blockchain în arhitectura sistemului propus, ca mecanism dedicat asigurării integrității, autenticității și trasabilității datelor generate în procesul de monitorizare rutieră. În contextul utilizării informațiilor senzoriale în scopuri operaționale, decizionale sau cu potențial impact juridic, devine esențială garantarea faptului că datele colectate nu pot fi modificate ulterior și pot fi verificate independent. Prin valorificarea caracteristicilor registrelor distribuite, soluția propusă consolidează încrederea în fluxul de date provenit de la MSB și afișat în Platforma de Colectare Date, oferind un cadru tehnologic robust pentru validarea și auditarea informațiilor în timp real, în concordanță cu cerințele actuale ale sistemelor inteligente de transport.

## 5.1 Motivația integrării conceptului de Tehnologie Blockchain pentru integritatea datelor

Motivația integrării BT în cadrul Platformei de Colecatre Date are ca scop consolidarea integrității, autenticității și trasabilității datelor generate în procesul de monitorizare rutieră. Având în vedere caracterul sensibil și potențial decizional al informațiilor colectate (alcoolemie, localizare, marcaje temporale), utilizarea unui registru distribuit permite garantarea faptului că datele înregistrate nu pot fi modificate ulterior și pot fi verificate independent. Prin ancorarea evenimentelor relevante sub formă de amprente criptografice, soluția propusă oferă un cadru robust pentru validarea și auditarea informațiilor, sporind încrederea în fluxul de date provenit de la MSB și gestionat prin Platforma de Colecatre Date, în acord cu cerințele actuale ale sistemelor inteligente de transport.

## 5.2 Interconectarea rețelei Blockchain cu Platforma de Colectare Date și Bateria Modulară de Senzori

În arhitectura propusă, fluxul informațional care conectează MSB, Platforma de Colecatre Date și infrastructura Blockchain reprezintă mecanismul central de colectare, validare și garantare a integrității datelor. Datele achiziționate în timp real de MSB – incluzând coordonate geospațiale, distanța dintre capul șoferului și MSB și, după caz, anumiți parametri fiziologici – sunt agregate la nivelul unității de procesare Raspberry Pi 4 Model B (RPi4B), care funcționează ca nod local de control și orchestrare a fluxului informațional.

Înainte de transmiterea către platforma centrală sau către rețeaua Blockchain, RPi4B realizează sigilarea criptografică a datelor prin calculul unei amprente digitale utilizând algoritmul Keccak-256. Procesarea locală asigură faptul că exact setul de informații colectat și afișat în interfață este cel pentru care se generează amprenta criptografică, eliminând riscurile asociate prelucrărilor intermediare. Proprietățile funcției hash – unidirecționalitate și rezistență la coliziuni – permit detectarea imediată a oricărei modificări ulterioare a conținutului.

Pentru optimizarea costurilor de stocare on-chain, sistemul utilizează o strategie de agregare, grupând câte 25 de înregistrări într-o singură amprentă criptografică. Această abordare menține nivelul de garanție al integrității, reducând simultan costurile tranzacționale asociate publicării pe blockchain. Verificarea se realizează prin recalcularea locală a hash-ului asupra setului agregat de date afișat în platformă, concordanța cu valoarea publicată pe lanț confirmând integritatea informațiilor. Declanșarea acestui proces este realizată prin funcționalitatea dedicată din Submodulul *Date GPS*, ilustrată în Figura 53.

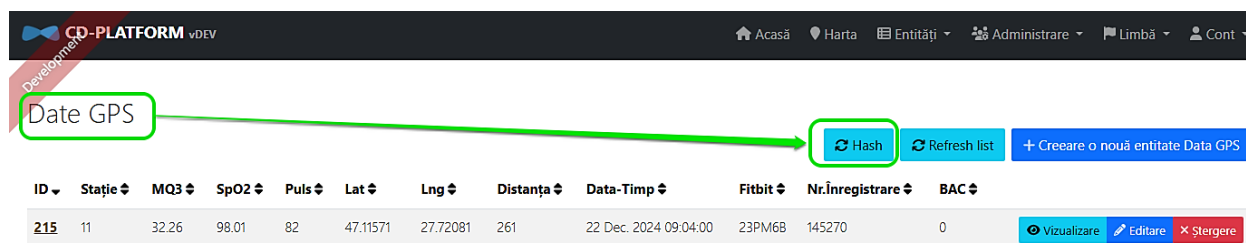


Figura 163 Butonul de Hash din Submodulul Date GPS

Ampretele criptografice sunt publicate prin tranzacții adresate unui contract inteligent implementat pe rețeaua Ethereum. Contractul permite transmiterea hash-urilor exclusiv de la dispozitive autorizate, fiecare unitate RPi4B fiind asociată unei adrese de portofel unice. La nivel logic, contractul menține o evidență cronologică a amprentelor, corelată cu identificatori operaționali ai vehiculului, permițând interogarea istoricului și validarea publică a integrității datelor.

Interfațarea dintre Platforma de Colecatre Date și BT este realizată printr-un API securizat, care oferă acces controlat instituțiilor abilitate (autorități, operatori de transport, asiguratori). Acest mecanism permite extragerea istoricului, verificarea amprentelor și monitorizarea aproape în timp real prin evenimente generate de contractul inteligent, transformând BT într-un instrument activ de transparență și responsabilizare.

Prin această integrare între componentele hardware, platforma software și mecanismele criptografice, este asigurat un lanț complet de încredere: datele sunt colectate, sigilate local, ancorate imuabil în blockchain și verificate prin proceduri publice și reproductibile, fără expunerea conținutului efectiv al înregistrărilor.

## 5.3 Integrarea cu infrastructuri descentralizate pe Ethereum

Pentru asigurarea integrității și verificabilității înregistrărilor generate de sistem, Platforma de Colecatre Date a fost interconectată cu rețeaua Ethereum, o infrastructură matură a BT, caracterizată printr-un ecosistem stabil de contracte inteligente și prin adoptarea mecanismului de consens Proof of Stake (PoS). Alegerea acestei platforme este justificată de gradul ridicat de descentralizare, de suportul extensiv al comunității open-source și de compatibilitatea nativă cu algoritmul de hash Keccak-256, utilizat în procesul de sigilare criptografică a datelor.

Integrarea tehnică a fost realizată prin dezvoltarea unui contract inteligent dedicat, denumit *VehicleDataStorage*, care funcționează ca interfață între unitățile de procesare RPi4B și rețeaua blockchain. La nivel structural, contractul gestionează înregistrări de tip *DataEntry*, fiecare fiind compusă din amprenta criptografică a datelor agregate (*dataHash*) și marcajul temporal al publicării (*timestamp*), asociate unui identificator unic al vehiculului (*vehicleId*). Această structurare permite menținerea unei legături explicite între datele colectate local și ancorarea lor imuabilă în registrul distribuit.

Controlul accesului este asigurat prin mecanisme de securitate implementate direct în contractul inteligent, prin utilizarea modificatorilor *onlyAdmin* și *onlyAuthorizedDevice*. Administratorul sistemului gestionează lista dispozitivelor autorizate, iar dreptul de a publica amprente criptografice pe lanț este restricționat exclusiv la aceste noduri validate. Astfel, se instituie un cadru distribuit de încredere, în care responsabilitatea publicării datelor este clar delimitată și protejată împotriva accesului neautorizat.

Procesul operațional este declanșat local la nivelul RPi4B, imediat după agregarea datelor provenite de la senzori. Amprenta criptografică este calculată folosind Keccak-256 și transmisă către blockchain prin apelul funcției *storeDataHash*, împreună cu identificatorul vehiculului și marcajul temporal. La înregistrarea cu succes, contractul emite evenimentul *HashStored*, care poate fi monitorizat de aplicații externe sau instituții autorizate, oferind un mecanism transparent și public de audit.

Din punct de vedere arhitectural, fiecare unitate RPi4B este asociată unui portofel Ethereum unic, utilizat pentru semnarea tranzacțiilor. Această abordare permite individualizarea nodurilor de achiziție, aplicarea unor politici granulare de autorizare și revocare, precum și trasabilitatea completă a tuturor interacțiunilor cu registrul distribuit. Toate tranzacțiile rămân stocate on-chain, imuabile și verificabile independent.

Pentru a asigura fezabilitatea economică și scalabilitatea soluției, sistemul adoptă o strategie de optimizare a costurilor de tranzacționare, bazată pe agregarea înregistrărilor. Astfel, pentru fiecare grup de 25 de seturi de date se generează și se publică o singură amprentă criptografică. Această abordare păstrează valoarea probatorie și nivelul de securitate al datelor, reducând semnificativ resursele necesare și permițând extinderea soluției în scenarii operaționale reale.

## 5.4 Trasabilitatea și verificabilitatea în timp real

În arhitectura sistemului propus, trasabilitatea și verificabilitatea în timp real constituie mecanisme esențiale pentru garantarea fiabilității informațiilor colectate și pentru conferirea acestora unei valori operaționale și probatorii. Trasabilitatea vizează urmărirea completă a parcursului unei înregistrări, de la generarea la nivelul senzorilor integrați în MSB, trecând prin agregarea locală realizată de unitatea RPi4B, până la ancorarea finală în registrul distribuit. Verificabilitatea, complementară acestui proces, permite confirmarea integrității datelor prin dovezi criptografice independente, accesibile și reproductibile.

La nivel funcțional, datele colectate de la senzorii MSB și de la dispozitivele portabile sunt agregate și temporizate local pe RPi4B, iar pentru fiecare grup de 25 de înregistrări este generată o amprentă criptografică utilizând algoritmul Keccak-256. Această amprentă este transmisă către contractul inteligent din rețeaua Ethereum, unde este stocată împreună cu identificatorul vehiculului și marcajul temporal, devenind imuabilă și public verificabilă. Procedura de validare se realizează prin recalcularea locală a hash-ului asupra datelor afișate în interfața Platformei de Colectare Date și compararea acestuia cu valoarea înregistrată on-chain; concordanța certifică integritatea informației, iar orice neconcordanță indică o posibilă alterare.



Figura 174 Generarea unui Hash

Acest mecanism este integrat direct în Submodulul *Date GPS* al Platformei de Colectare Date, unde statusul de integritate este afișat explicit pentru fiecare set de date, permițând monitorizarea continuă și reacția rapidă la anomalii. Procesul de generare și verificare a amprentelor criptografice, precum și corelarea acestora cu datele vizualizate, este ilustrat sintetic în Figura 54, care evidențiază legătura dintre informațiile colectate local și ancorarea lor în blockchain.

Trasabilitatea este suplimentar consolidată prin asocierea fiecărei amprente cu metadate relevante, precum adresa portofelului RPi4B, momentul exact al publicării, identificatorul stației MSB și coordonatele geografice corespunzătoare. Dreptul de publicare a amprentelor este restricționat exclusiv la dispozitivele autorizate, înregistrate explicit în contractul inteligent, prevenind injectarea de date nevalide. Prin această abordare, sistemul asigură un lanț de încredere continuu, în care fiecare înregistrare devine o dovadă digitală verificabilă, utilizabilă în contexte administrative, operaționale sau juridice.

## 5.5 Implementarea calculului *Hash* cu Ethereum

Implementarea mecanismului de calcul și ancorare a amprentelor criptografice a fost realizată direct la nivelul unității de procesare RPi4B, configurată cu Raspberry Pi OS (64-bit), asigurând astfel procesarea locală și securizată a datelor înainte de orice transmitere externă. Această abordare garantează faptul că integritatea este asigurată încă din punctul de generare a informației, eliminând dependența de etape intermediare vulnerabile.

Fluxul operațional este structurat în pași clari și reproductibili. Datele colectate de la senzorii MSB și de la dispozitivele portabile sunt agregate în timp real, temporizate și serializate într-un format determinist (JSON canonic). Pentru optimizarea costurilor de tranzacționare în rețeaua Ethereum, sistemul grupează câte 25 de înregistrări consecutive într-un singur pachet logic. Asupra acestui pachet se aplică algoritmul criptografic Keccak-256, standard nativ al ecosistemului Ethereum, rezultând o amprentă digitală unică, rezistentă la coliziuni și imposibil de inversat.

Amprenta astfel generată este inclusă într-o tranzacție semnată local, fiecare RPi4B fiind asociat unui portofel Ethereum dedicat, ceea ce conferă identitate criptografică unică fiecărui dispozitiv. Tranzacția este transmisă către contractul inteligent *VehicleDataStorage*, care înregistrează hash-ul împreună cu identificatorul vehiculului și marcajul temporal, emitând un eveniment public ce permite auditarea și monitorizarea independentă a procesului. Controlul accesului este asigurat prin mecanisme on-chain, care permit scrierea datelor exclusiv de către dispozitive autorizate.

Implementarea software a fost realizată în Python, utilizând biblioteci dedicate pentru interacțiunea cu BT, iar serviciul rulează pe RPi4B ca proces de fundal gestionat de sistemul de operare. Cheile criptografice și parametrii sensibili sunt stocați separat de codul aplicației, în medii securizate, reducând riscul de compromitere.

Această soluție demonstrează fezabilitatea implementării unor mecanisme criptografice avansate pe dispozitive embedded cu resurse limitate și confirmă faptul că datele colectate de sistem pot fi transformate în dovezi digitale imuabile, verificabile public și utilizabile în contexte administrative, juridice sau operaționale.

## 5.6 Stocarea descentralizată a datelor și limitele stocării clasice

Analiza comparativă dintre stocarea clasică, bazată pe baze de date relaționale și stocarea descentralizată evidențiază diferențe structurale esențiale în raport cu cerințele unui sistem de monitorizare bazat pe date sensibile. Soluțiile tradiționale excelează prin performanță și eficiență operațională, însă rămân dependente de un punct unic de control și nu oferă mecanisme native de trasabilitate criptografică sau verificabilitate externă. În acest context, compromiterea infrastructurii centrale poate afecta integritatea întregului sistem.

Integrarea tehnologiei Blockchain adaugă un strat suplimentar de securitate și încredere, prin replicarea informațiilor pe noduri independente și prin utilizarea mecanismelor criptografice care garantează caracterul neschimbabil al datelor. Deși operațiunile de scriere sunt mai costisitoare și mai lente în rețelele publice, aceste limitări sunt atenuate în arhitectura propusă prin agregarea mai multor înregistrări într-o singură amprentă digitală, menținând astfel echilibrul între eficiență și nivelul de garanție oferit.

Un avantaj major al stocării descentralizate îl constituie verificarea publică: orice actor autorizat poate valida autenticitatea datelor prin compararea hash-urilor publicate, fără a depinde de încrederea într-un administrator central. În același timp, confidențialitatea este protejată prin păstrarea datelor brute în infrastructura locală și publicarea pe lanț exclusiv a amprentelor criptografice, în concordanță cu cerințele de protecție a datelor.

Diferențele dintre cele două paradigme sunt sintetizate în Tabelul 16, în care se evidențiază arhitectura, integritatea, trasabilitatea, performanța, verificabilitatea externă și valoarea juridică. Această comparație confirmă faptul că, deși soluțiile clasice rămân indispensabile pentru operarea curentă, integrarea BT este esențială pentru transformarea datelor colectate în dovezi digitale imuabile și auditate criptografic, adecvate utilizării în contexte instituționale și decizionale.

Tabel 3 Compararea bazelor de date clasice cu arhitectura blockchain

Criteria	Metode clasice (baze relaționale)	BT (Ethereum)
Arhitectură	Centralizată, punct unic de control	Distribuită, validată de noduri independente
Integritate	Depinde de securitatea serverului și backup	Asigurată criptografic, imuabilă prin <i>hash</i> -uri
Trasabilitate	Limitată, prin log-uri interne	Nativă, prin lanțul de tranzacții legate criptografic
Performanță la scriere	Foarte rapidă	Mai lentă, costuri asociate tranzacțiilor ( <i>gas fees</i> )
Optimizare	Indexare	Agregare de înregistrări (ex. 25 → 1 <i>hash</i> )
Verificabilitate externă	Restricționată, necesită acces privilegiat	Publică, verificabilă de orice actor interesat
Confidențialitate	Criptare la nivel de câmp/tabel	Date brute <i>off-chain</i> , doar <i>hash</i> -uri publice <i>on-chain</i>
Rezistență la atacuri	Vulnerabil la compromiterea serverului	Rezilient, fără punct unic de eșec
Valoare juridică	Limitată, necesită certificări suplimentare	Ridicată, datorită imuabilității și auditului criptografic

## 5.7. Aplicarea în transportul public urban a sistemului propus și securizat prin Tehnologia Blockchain

Transportul public urban operează într-un cadru caracterizat prin cerințe ridicate de fiabilitate și responsabilitate operațională, în care factorul uman joacă un rol determinant. Studiul de caz a fost inițiat la solicitarea conducerii unei companii de transport public din România, având ca obiectiv evaluarea fezabilității unei soluții automate, non-invazive și securizate pentru monitorizarea în timp real a alcoolemiei și a parametrilor fiziologici ai conducătorilor auto.

Scenariul analizat presupune instalarea unităților MSB la nivelul fiecărui vehicul și utilizarea dispozitivelor purtabile IFSB de către șoferi, cu transmiterea continuă a datelor către Platforma de Colecatre Date. Fiecare set de date este sigilat criptografic și ancorat în rețeaua Ethereum, asigurând trasabilitatea și verificabilitatea informațiilor colectate pe durata fiecărei ture de conducere.

Integrarea cu platforme digitale de mobilitate urbană bazate pe date deschise, conforme cu Specificația Generală pentru Fluxurile de Transport Public, a permis corelarea informațiilor fiziologice și comportamentale cu poziția geografică și traseele vehiculelor. Această corelare este ilustrată în Figura 55, în care se evidențiază starea operațională a mijloacelor de transport (în mișcare, oprite sau defecte) în mediul urban. Prin suprapunerea datelor provenite din MSB peste hărțile de flotă, Platforma de Colecatre Date oferă o vizualizare contextuală în timp real a riscurilor potențiale.

Rezultatele studiului indică beneficii operaționale clare: reducerea timpului de reacție prin alerte automate, constituirea unei arhive digitale imuabile pentru audit și investigații, precum și aplicarea uniformă a procedurilor de monitorizare, eliminând suspiciunile de tratament diferențiat. La nivel extins, interconectarea datelor între operatori poate susține dezvoltarea unei platforme regionale de analiză predictivă, orientată spre optimizarea deciziilor și prevenția incidentelor.

Prin acest studiu de caz, Platforma de Colecatre Date este validată ca soluție interoperabilă și scalabilă, capabilă să integreze IoT, date deschise și BT într-un sistem unitar de monitorizare și analiză contextuală, cu aplicabilitate directă în managementul modern al transportului public urban.

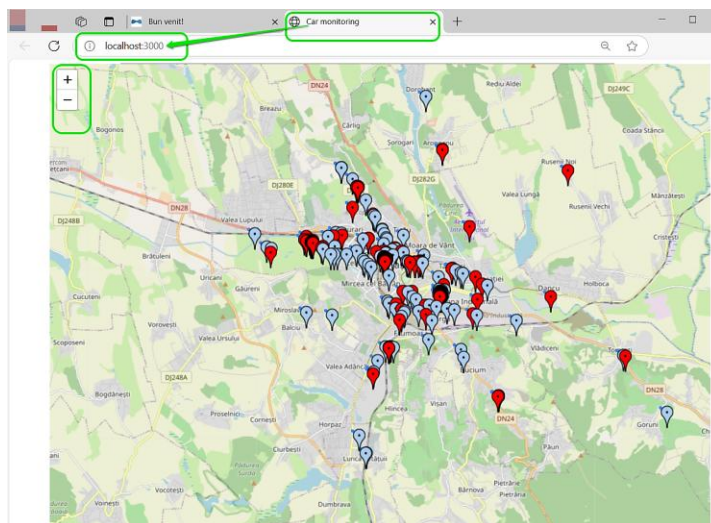


Figura 185 Mijloacele de transport în comun din mediul urban – diferența culorilor evidențiază mijloace de transport în comun ce sunt oprite – culoarea roșu, cele aflate în mișcare – culoarea albastru, cele defecte – culoarea negru

## 5.8 Concluzii și contribuții

Capitolul 5 a evidențiat rolul structural al BT în asigurarea integrității, trasabilității și verificabilității criptografice a datelor colectate în cadrul sistemului. Utilizarea BT instituie un mecanism de protecție și autentificare a informațiilor, esențial în contexte în care acuratețea și proveniența datelor au implicații juridice și operaționale. Prin integrarea acestui strat de securizare, capitolul consolidează rolul platformei ca infrastructură socio-tehnologică capabilă să gestioneze date cu valoare probatorie și deschide direcțiile de extindere către soluții avansate de guvernanta și verificare distribuită.

Principalele rezultate obținute în acest capitol sunt:

- realizarea integrării BT cu MSB și Platforma de Colectare Date, prin configurarea unui mecanism de înregistrare și validare criptografică a datelor generate de subsistemele de monitorizare;
- definirea și analizarea fluxurilor de comunicație, pentru implementarea contractelor inteligente pe infrastructura Ethereum și stabilirea unui model operațional, compatibil cu arhitecturi descentralizate;
- efectuarea unei comparații tehnice între mecanismele tradiționale de stocare și cele bazate pe BT, demonstrând diferențele de securizare, auditabilitate și gestionare a integrității datelor;
- rezultatele cercetării din acest capitol au fost publicate în 2 articole științifice ce se regăsesc în bibliografie la numerele [116] și [120].

## Capitolul 6 – Monitorizarea unor parametri fiziologici relevanți pentru siguranța rutieră

În acest capitol se abordează integrarea tehnologiilor digitale portabile în arhitectura Platformei de Colectare Date, în contextul monitorizării unor parametri fiziologici ai participanților la trafic. Evoluția dispozitivelor IoT dedicate sănătății a permis dezvoltarea unor mecanisme neinvazive de supraveghere în timp real a parametrilor vitali, cu relevanță directă pentru prevenirea incidentelor generate de evenimente medicale acute. În acest cadru, este prezentat un model operațional bazat pe integrarea unei brățări inteligente de tip FitBit (IFSB), cu rol în monitorizarea ritmului cardiac (BPM) și a saturației de oxigen în sânge (SpO<sub>2</sub>), datele fiind transmise și securizate prin Platforma de Colectare Date și mecanismele de validare oferite de BT.

### 6.1 Motivația integrării brățărilor inteligente pentru monitorizare cardiacă

Necesitatea identificării timpurii a riscurilor fiziologice care pot afecta capacitatea participanților la trafic de a conduce în condiții de siguranță, a condus la integrarea brățărilor IFSB în sistemul propus. Monitorizarea continuă a unor parametri vitali, precum ritmul cardiac și saturația de oxigen în sânge, este esențială în cazul persoanelor cu afecțiuni cardiovasculare sau expuse stresului și oboselii specifice mediului urban.

Dispozitivele portabile de tip IFSB oferă o soluție neinvazivă și ușor de integrat, capabilă să furnizeze date fiziologice în timp real, fără a perturba activitatea utilizatorului. Conectivitatea lor permite transmiterea securizată a informațiilor către Platforma de Colectare Date, unde datele sunt procesate, corelate contextual și validate criptografic prin mecanisme bazate pe BT.

Integrarea acestor dispozitive susține o abordare preventivă, permițând detectarea deviațiilor fiziologice relevante și declanșarea automată a alertelor în situații critice, cu potențial de reducere a incidentelor generate de evenimente medicale acute în trafic.

### 6.2 Transmiterea și validarea de parametri biometrici

Transmiterea securizată și verificabilă a parametrilor biometrici reprezintă o componentă esențială a arhitecturii propuse, având rolul de a asigura continuitatea și credibilitatea fluxului de date fiziologice colectate de la participanții la trafic. În cadrul sistemului dezvoltat, parametrii vitali monitorizați în timp real prin intermediul brățării inteligente IFSB, cum ar fi BPM și SpO<sub>2</sub>, sunt transmiși către Platforma de Colectare Date prin mecanisme standardizate de tip API REST, protejate prin protocolul de autorizare OAuth 2.0. Fluxul de date este ilustrat în Figura 57.



Figura 19 Fluxul de date colectat

Pentru gestionarea accesului la datele de sănătate, a fost configurată o aplicație dedicată în ecosistemul FitBit, care permite extragerea controlată a informațiilor biometrice doar în urma consimțământului explicit al utilizatorului. Protocolul OAuth 2.0 asigură autentificarea și autorizarea prin utilizarea unor token-uri temporare, obținute în urma unui flux securizat de tip client-server. Acest mecanism, ilustrat în Figura 58, garantează separarea clară dintre identitatea utilizatorului, aplicația consumatoare de date și platforma de procesare, prevenind accesul neautorizat.

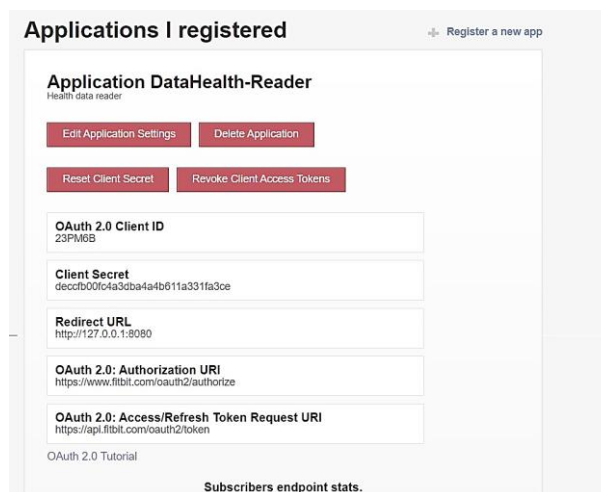


Figura 208 Protocolul OAuth 2.0 IFSB

După finalizarea procesului de autorizare, datele biometrice sunt furnizate periodic în format JSON, prin conexiuni HTTPS criptate, și sunt integrate automat în Platforma de Colectare Date. Aici, informațiile sunt corelate temporal și contextual cu celelalte date colectate (localizare, alcoolemie), fiind pregătite pentru validare și analiză ulterioară.

Securitatea și trasabilitatea sunt consolidate prin integrarea mecanismelor bazate pe BT. Fiecare set de date biometrice este asociat unei amprente criptografice, care permite verificarea ulterioară a integrității și detectarea oricărei modificări neautorizate. Această dublă validare — prin API securizat și prin ancorare criptografică — conferă sistemului un nivel ridicat de încredere operațională, făcând posibilă utilizarea datelor atât în scopuri preventive, cât și în contexte instituționale sau de audit.

### 6.3 Studiu de caz: monitorizarea șoferilor în mediu experimental

Pentru validarea arhitecturii propuse și a mecanismelor de monitorizare fiziologică integrate în Platforma de Colectare Date, a fost realizat un studiu experimental într-un mediu controlat, utilizând simulatorul profesional de conducere EMP 23. Alegerea acestui simulator a permis reproducerea fidelă a condițiilor de conducere rutieră (trafic urban și extraurban, densitate variabilă a vehiculelor, semnalizare rutieră, condiții meteorologice controlate și solicitări dinamice ale conducătorului auto), într-un cadru sigur, reproductibil și asistat medical, eliminând riscurile asociate testării în trafic real și permițând izolarea variabilelor de interes, așa cum este ilustrat în Figura 59.



Figura 21 Simulatorul EMP23

Simulatorul EMP 23 este un echipament utilizat în cercetare și instruire avansată, fiind alcătuit dintr-o cabină fixă cu scaun ergonomic reglabil, volan cu feedback de forță, pedale funcționale (acelerație, frână, ambreiaj) și comenzi auxiliare. Sistemul vizual panoramic, bazat pe afișare multi-monitor, redă în timp real scenarii dinamice de trafic, incluzând vehicule, pietoni, semnalizare rutieră și condiții meteorologice variabile, toate sincronizate cu acțiunile șoferului. Configurarea scenariilor se realizează printr-o interfață software dedicată, care permite controlul densității traficului, al traseelor și al evenimentelor simulate.

Obiectivul principal al studiului a fost investigarea modificărilor fiziologice asociate consumului de alcool și evaluarea posibilității de corelare și predicție a alcoolemiei pe baza parametrilor biometrici, în special ritmul cardiac și saturația oxigenului în sânge. Deși experimentul a implicat un singur participant și nu permite generalizări statistice, acesta oferă un cadru valid pentru demonstrarea fezabilității tehnice și pentru obținerea unui set de date preliminar, relevant pentru dezvoltări ulterioare.

Achiziția datelor s-a realizat prin integrarea unei MSB și a unei brățări IFSB, toate fluxurile fiind centralizate și gestionate prin Platforma de Colectare Date. Au fost monitorizați următorii parametri:

- ritmul cardiac (BPM), măsurat continuu prin brățara IFSB purtată la încheietura mâinii;
- saturația oxigenului în sânge ( $SpO_2$ ), înregistrată de același dispozitiv purtabil;
- distanța dintre capul șoferului și senzorul de alcoolemie, măsurată prin senzorul ultrasonic HC-SR04 integrat în MSB;
- concentrația alcoolului în aerul expirat, detectată de senzorul MQ-3 montat deasupra poziției conducătorului auto;
- coordonatele geografice (latitudine și longitudine), furnizate de modulul GPS NEO-6M, utilizate pentru trasabilitate temporală și spațială;
- identificatorul stației (Station ID), asociat dispozitivului IFSB, pentru corelarea unică a înregistrărilor cu sursa de achiziție.

În cadrul acestui experiment a fost colectat un set extins de date, totalizând 24.506 observații, utilizate pentru analiza comportamentului senzorului MQ-3 și pentru evaluarea consistenței fluxului de achiziție și transmitere a datelor. Protocolul experimental a fost structurat pe intervale distincte de alcoolemie, iar analiza s-a concentrat pe diferențierea clară dintre starea de referință și cea caracterizată prin prezența alcoolului.

Într-o primă etapă a fost definită o linie de bază corespunzătoare stării de sobrietate completă, în care senzorul MQ-3 nu a detectat prezența alcoolului în aerul expirat. Setul de observații aferent acestei etape a permis caracterizarea stabilității semnalului de referință și validarea funcționării sistemului în absența factorului perturbator, asigurând un cadru comparativ solid pentru etapele ulterioare.

Ulterior, analiza s-a concentrat pe un subset de observații corespunzătoare intervalului în care senzorul MQ-3 a început să detecteze particule de alcool în aerul expirat. Acest segment de date a permis compararea directă între valorile de referință și cele obținute în condiții de expunere la alcool, evidențiind capacitatea sistemului de a identifica tranziția dintre cele două stări și de a menține o cadență constantă și continuă de înregistrare a măsurătorilor în baza de date.

Ansamblul observațiilor colectate a fost utilizat pentru evaluarea calității achiziției datelor, a stabilității procesului de măsurare și a fiabilității transmiterii informațiilor către Platforma de Colectare Date. Rezultatele confirmă funcționarea coerentă a sistemului pe întregul lanț achiziție–procesare–stocare și oferă un suport experimental adecvat pentru analizele comparative și etapele de calibrare prezentate ulterior.

Un extras reprezentativ din baza de date utilizată este prezentat în Tabelul 17, în care se evidențiază structura unitară a înregistrărilor și sincronizarea parametrilor fiziologici cu cei tehnici și spațio-temporali. Datele ilustrate confirmă coerența fluxului informațional și constituie fundamentul analizei integrate a comportamentului conducătorului auto în condiții simulate de trafic.

Tabel 4 Exemplu de înregistrări din baza de date experimentale cu Simulatorul EMP23

ID	Date	Time (s)	Pulse (bpm)	SpO <sub>2</sub>	Distance (mm)	MQ3 (ppm)	Lat	Lng	Station
123654	21.12.2024	09:03:27	78	98,30	27	0	47,11571	27,72081	23PM6B
123655	21.12.2024	09:03:31	79	98,70	71	0	47,11571	27,72081	23PM6B
123656	21.12.2024	09:03:36	77	99,00	147	0	47,11571	27,72081	23PM6B
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
148158	22.12.2024	12:17:08	152,1	80,19	676	204024	47,11571	27,72081	23PM6B
148159	22.12.2024	12:17:12	152,1	80,19	261	534037	47,11571	27,72081	23PM6B
148160	22.12.2024	12:17:16	152,1	79,95	677	204062	47,11571	27,72081	23PM6B

Experimentul a fost desfășurat într-un mediu standardizat, cu influențe externe strict controlate, pentru a izola efectele fiziologice asociate consumului de alcool. Participantul a menținut o postură constantă pe întreaga durată a sesiunii, reducând variabilele legate de efort fizic sau mișcare.

MSB a fost montată într-o poziție fixă, în zona superioară a habitaculului simulatorului, la o distanță de aproximativ 30 cm față de capul conducătorului auto, distanță stabilită în urma calibrării preliminare pentru maximizarea acurateții detecției alcoolului. Monitorizarea fiziologică a fost realizată non-invaziv prin brățara IFSB, iar întregul protocol experimental a fost desfășurat sub supraveghere medicală. Participantul a fost informat în prealabil asupra scopului și metodologiei studiului și a semnat consimțământul informat, în conformitate cu principiile etice internaționale.

Din punct de vedere metodologic, rezultatele obținute indică stabilitatea parametrilor fiziologici și a valorilor măsurate de senzorul MQ-3 în etapa de referință, respectiv creșteri semnificative ale concentrației detectate de senzorul de alcool în intervalele de expunere, corelate cu variații observabile ale BPM și SpO<sub>2</sub>. Aceste observații validează sensibilitatea infrastructurii și capacitatea sistemului de a detecta în timp real modificări fiziologice asociate factorilor de risc.

Prin integrarea sincronizată a senzorilor MSB, a dispozitivului IFSB și a mecanismelor de trasabilitate temporală și spațială, studiul oferă fezabilitate tehnică arhitecturii propuse și confirmă relevanța acesteia ca instrument de cercetare aplicată. Setul de date obținut constituie o bază solidă pentru dezvoltări viitoare, incluzând extinderea studiilor pe eșantioane mai largi și elaborarea unor modele predictive avansate.

## 6.4 Concluzii și contribuții

Capitolul 6 a evidențiat integrarea monitorizării fiziologice în cadrul arhitecturii Platformei de Colectare Date, demonstrând modul în care tehnologiile purtabile (IFSB) pot fi incorporate într-un sistem unitar de supraveghere rutieră consolidat prin mecanisme Blockchain. Analiza experimentală a arătat că parametrii fiziologici relevanți pot fi corelați în timp real cu comportamentul la volan, oferind o bază operațională pentru detectarea precoce a riscului medical și pentru îmbunătățirea siguranței rutiere în medii controlate și aplicative.

În acest context s-au concretizat următoarele:

- integrarea brățarilor inteligente ca soluție neinvazivă pentru monitorizarea continuă a parametrilor fiziologici ai șoferilor BPM, SpO<sub>2</sub>;
- evidențierea posibilității de extindere a monitorizării și a altor indicatori fiziologici furnizați de dispozitivele purtabile, ca direcție de dezvoltare ulterioară a cercetării;
- definirea fluxurilor de transmitere a datelor biometrice prin mecanisme standardizate (OAuth 2.0, API REST), corelate cu procesele de securizare și trasabilitate prin BT;
- analizarea aspectelor de securitate și etică privind gestionarea datelor medicale, cu respectarea principiilor de protecție a vieții private;
- realizarea unui experiment în simulatorul de conducere, prin care a fost confirmată fezabilitatea monitorizării sincronizate a parametrilor fiziologici și a alcoolemiei în condiții controlate;
- obținerea unui set coerent de date fiziologice și comportamentale, care pot constitui baza unor modele predictive și extinderii cercetării în scenarii reale de trafic;
- rezultatele cercetării din acest capitol au fost publicate în 2 articole științifice ce se regăsesc în bibliografie la numerele [116] și [121].

# Capitolul 7 – Posibilitatea identificării unor modele comportamentale cu ajutorul analizei statistice

Datele colectate prin intermediul MSB și al brățării inteligente IFSB sunt utilizate în analiza statistică dezvoltată în acest capitol. Acestea surprind simultan parametri tehnici, cum ar fi concentrația alcoolului, distanța dintre capul șoferului și MSB, coordonatele GPS și parametri fiziologici, cum ar fi ritmul cardiac, saturația oxigenului în sânge, permițând analizarea corelată a informațiilor provenite din surse senzoriale distincte. Integrarea acestor fluxuri de date într-o bază unitară, facilitează explorarea relațiilor dintre variabile și permite formularea unui model experimental cu caracter demonstrativ, utilizat ca proof of concept pentru analiza predictivă în siguranța rutieră.

## 7.1 Metodologia utilizată

### 7.1.1 Etape în identificarea modelelor comportamentale 104

Pentru a asigura o analiză statistică riguroasă, reproductibilă și transparentă a datelor colectate, întregul flux analitic a fost implementat în mediul de programare **R**, ales pentru maturitatea ecosistemului său în prelucrarea datelor, vizualizare și modelare predictivă. Procesul a fost organizat sub forma unui pipeline analitic modular, care permite separarea clară a etapelor de preprocesare, analiză exploratorie, testare statistică, modelare și interpretare.

**Preprocesarea datelor și analiza exploratorie** au fost realizate utilizând pachetele din ecosistemul *tidyverse* (în special *dplyr*, *tidyr*, *readr* și *ggplot2*), care au permis restructurarea și vizualizarea seturilor de date. Relațiile dintre variabilele tehnice și fiziologice au fost investigate vizual cu ajutorul pachetului *ggstatsplot*, care integrează direct rezultatele testelor statistice în reprezentările grafice, facilitând interpretarea distribuțiilor și a dependențelor dintre variabile precum *mq3\_ppm*, *distanța\_mm*, *puls\_bpm* și *sp\_o2*. Pentru caracterizarea distribuțiilor variabilelor continue, au fost utilizate estimări de densitate Kernel cu funcție gaussiană, permițând evidențierea variațiilor distribuționale în raport cu nivelurile de alcoolemie analizate, utilizând formula 7.1:

$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (7.1)$$

unde  $K(\cdot)$  reprezintă funcția *Kernel* (în analiza de față, de tip Gaussian), iar  $h > 0$  este parametrul de netezire (*bandwidth*), care controlează gradul de lisare a distribuției estimate (nivelul de netezire al curbei: valori mici ale lui  $h$  păstrează detalii fine, notează variații locale și pot amplifica zgomotul, în timp ce valori mari produc o curbă mai netedă, cu pierderea detaliilor structurale).

**Testarea ipotezelor** a avut ca obiectiv evaluarea formei distribuțiilor variabilelor analizate și fundamentarea alegerii metodelor statistice adecvate. În acest scop, ipoteza de distribuție normală a fost verificată utilizând **Testul Shapiro–Wilk**, aplicat variabilelor incluse ulterior în etapele de modelare. Interpretarea rezultatelor s-a realizat pe baza statisticii  $W$ , care cuantifică gradul de abatere față de distribuția gaussiană, și a nivelului de semnificație asociat ( $p$ ), utilizat pentru a decide acceptarea sau respingerea ipotezei de normalitate. În situațiile în care ipoteza de normalitate nu a fost susținută, analiza relațiilor dintre variabile a fost realizată prin **Coeficientul de Corelație Spearman**, adecvat pentru identificarea asocierilor monotone. Rezultatele au indicat o corelație inversă între distanța senzor–șofer și valoarea *mq3\_ppm*, respectiv o corelație pozitivă între concentrația alcoolului și răspunsul senzorului MQ-3, confirmând consistența comportamentului senzorial.

**Construirea și calibrarea modelelor de ML** au fost realizate în cadrul ecosistemului *tidymodels*, care oferă un cadru unificat pentru modelare predictivă reproductibilă. Seturile de date au fost divizate în subseturi de antrenament și testare, preprocesarea fiind formalizată prin obiecte de tip *recipes*. Modelele de tip **Random Forest (RF)** și **Extreme Gradient Boosting (XGBoost)** au fost definite prin *parsnip* și antrenate utilizând motoarele *ranger* și *xgboost*, alese pentru robustețea lor în gestionarea relațiilor neliniare și a coliniarității dintre predictorii. Optimizarea hiperparametrilor a fost realizată printr-o procedură de explorare aleatorie a spațiului de căutare (*random search*), care a constatat în evaluarea sistematică a unor combinații de valori generate aleator pentru hiperparametrii specifici fiecărui algoritm, în cadrul unui protocol de validare încrucișată. Performanța modelelor a fost cuantificată utilizând metricile standardizate implementate în pachetul *yardstick*, asigurând o evaluare obiectivă și comparabilă a configurațiilor testate.

**Interpretarea rezultatelor** obținute de modelele de ML a fost realizată cu ajutorul ecosistemului **DALEX**, utilizat pentru evaluarea contribuției relative a variabilelor explicative și pentru analiza modului în care acestea influențează valorile estimate. Acest demers a permis examinarea structurii predictive a modelelor și verificarea consistenței relațiilor identificate între parametrii de intrare și variabila-țintă, fără a interveni asupra mecanismului intern de antrenare. Această etapă a fost esențială pentru înțelegerea contribuției fiecărui parametru fiziologic și tehnic la estimarea alcoolemiei și pentru consolidarea validității interpretative a rezultatelor.

Prin integrarea acestor instrumente și proceduri, metodologia adoptată oferă un cadru analitic și reproductibil, adecvat atât pentru analiza exploratorie, cât și pentru dezvoltarea și evaluarea unor modele predictive cu rol demonstrativ, utilizate ca *proof of concept* în identificarea tiparelor comportamentale asociate consumului de alcool.

### 7.1.2 Teste de normalitate și metode de corelație

Evaluarea distribuției variabilelor a reprezentat o etapă necesară pentru alegerea corectă a metodelor statistice. În acest scop, testele au fost aplicate asupra ambelor seturi de date descrise anterior — cel obținut în scenariul de trafic urban (descriș în Subcapitolul 4.4) și cel colectat în cadrul simulatorului EMP 23 (descriș în Subcapitolul 6.3)— întrucât acestea reunesc observații tehnice și fiziologice înregistrate atât în stare de sobrietate, cât și în condiții de expunere controlată la alcool.

Ipoteza de normalitate a fost verificată pentru principalele variabile analizate (concentrația alcoolului, distanța față de senzor, ritmul cardiac și saturația oxigenului), utilizând **testul Shapiro–Wilk**. Rezultatele au indicat abateri de la distribuția normală, motiv pentru care analiza a fost orientată către metode non-parametrice.

În acest context, relațiile dintre variabile au fost investigate prin **Coefficientul de Corelație Spearman**, ales pentru robustețea sa în raport cu distribuții nelineare și valori extreme. Această abordare a permis caracterizarea fidelă a asocierilor dintre parametri tehnici și fiziologici, oferind o bază statistică adecvată pentru etapele ulterioare de modelare predictivă.

### 7.1.3 Modele de regresie și algoritmi de învățare automată

Problema abordată în această etapă este formulată ca o problemă de regresie, având ca variabilă-țintă concentrația de alcool, estimată pe baza unui set de predictorii tehnici și fiziologici. Formal, modelul general poate fi exprimat astfel:

$$\text{concentratie\_alcool} = f(\text{mq3\_ppm}, \text{distanța\_mm}, \text{puls\_bpm}, \text{sp\_o2}) + \varepsilon \quad (7.4)$$

unde  $f(\cdot)$  reprezintă funcția (necunoscută) ce leagă predictorii de variabila-țintă, iar  $\varepsilon$  este termenul de eroare, care surprinde variabilitatea neexplicată de model și zgomotul experimental.

Această formulare nu contrazice validările empirice anterioare privind acuratețea senzorului MQ-3, ci extinde relația observată într-un cadru predictiv generalizabil, în care algoritmi de ML învață o aproximație funcțională a nivelului de alcoolemie pe baza datelor senzoriale agregate.

Având în vedere natura nelineară a relațiilor dintre variabile și eterogenitatea seturilor de date, au fost selectate două modele de tip **ensemble learning**, recunoscute pentru robustețea și capacitatea lor de generalizare:

**Random Forest (RF)** este un ansamblu de arbori de decizie independenți, antrenați pe subseturi aleatorii de date și predictorii. Predicția finală este obținută prin medierea predicțiilor individuale, conform expresiei:

$$\widehat{\text{concentratie\_alcool}}_{\text{RF}}(x) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T f_t(x) \quad (7.5)$$

unde  $T$  este numărul de arbori. Această strategie reduce variația și crește stabilitatea estimărilor.

**Extreme Gradient Boosting (XGB)** construiește secvențial arbori de decizie care corectează erorile reziduale ale modelelor anterioare, prin minimizarea unei funcții de cost. Predicția finală este dată de expresia:

$$\widehat{\text{concentratie\_alcool}}^{(K)}(x) = \sum_{m=1}^K f_m(x) \quad (7.6)$$

unde  $x$  reprezintă vectorul de caracteristici pentru o observație individuală, iar  $f_m(x)$  este predicția generată de arborele  $m$  pentru acea observație.

XGB utilizează o **funcție de cost regularizată**, care penalizează complexitatea excesivă a modelului, conform expresiei:

$$L = \sum_{i=1}^n l(y_i, \hat{y}_i) + \sum_{m=1}^K \Omega(f_m) \quad (7.7)$$

unde primul termen —  $\sum_{i=1}^n l(\cdot)$  — exprimă suma erorilor dintre valorile reale ale concentrației de alcool ( $\text{concentratie\_alcool}_i$ ) și valorile estimate de model ( $\widehat{\text{concentratie\_alcool}}_i$ ), fiind definită printr-o funcție de pierdere adecvată (în cazul XGB, de regulă eroarea pătratică). Cel de-al doilea termen —  $\sum_{m=1}^K \Omega(f_m)$  — introduce penalizări pentru fiecare arbore de decizie  $f_m$  utilizat în model, în funcție de complexitatea structurală a acestuia (de exemplu, numărul de noduri sau adâncimea arborelui). Funcția  $\Omega(\cdot)$  cuantifică această complexitate, asigurând un echilibru între acuratețe și capacitatea de generalizare.

Modelele au fost antrenate pe date provenite din cele două studii de caz prezentate anterior, utilizând o împărțire standard în set de antrenament ( $\approx 70-75\%$ ) și set de testare ( $\approx 25-30\%$ ), completată de **validare încrucișată în 5 etape**, în cadrul căreia datele au fost împărțite în cinci subseturi aproximativ egale. Modelul a fost antrenat iterativ pe patru dintre aceste subseturi și validat pe cel rămas, procesul fiind repetat de cinci ori, astfel încât fiecare subset să fie utilizat o singură dată pentru validare. Performanța finală a modelului a fost estimată prin agregarea rezultatelor obținute în cele cinci iterații. Ajustarea hiperparametrilor a fost realizată prin căutare aleatorie, care constă în eșantionarea aleatorie a unor combinații de valori din spațiul predefinit al hiperparametrilor fiecărui algoritm. Pentru fiecare configurație generată, modelul a fost antrenat și evaluat prin validare încrucișată, iar selecția configurației optime s-a bazat pe minimizarea erorii de predicție obținute. Această metodă a permis investigarea unui set predefinit de valori posibile pentru hiperparametrii specifici fiecărui algoritm, cu scopul de a identifica combinația optimă care maximizează performanța modelului:

Pentru RF, au fost utilizați 700 de arbori și variați doi hiperparametri:

- *mtry*: numărul de variabile folosite pentru fiecare divizare a nodurilor.
- *min\_n*: numărul minim de observații necesare într-un nod pentru ca acesta să poată fi subdivizat în ramuri suplimentare.

Pentru XGB, au fost utilizați 1000 de arbori și variați șase hiperparametri:

- *learn\_rate*: rata de învățare;
- *loss\_reduction*: reducerea minimă a erorii necesară pentru a continua divizarea;
- *tree\_depth*: adâncimea maximă a arborilor;
- *sample\_size*: proporția de date utilizate pentru antrenarea fiecărui arbore;
- *mtry* și *min\_n* (identici cu cei din RF).

Evaluarea performanței s-a realizat prin metrici complementare:

- **Eroarea Pătratică Medie (MSE)** care exprimă media pătratelor diferențelor dintre valorile măsurate experimental și cele estimate de model. Formal, pentru o variabilă-țintă continuă generică  $x$ , și o succesiune de  $n$  observații  $x_1, \dots, x_n$  și valorile estimate corespunzătoare  $\hat{x}_1, \dots, \hat{x}_n$ , MSE este exprimată de:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2 \quad (7.8)$$

- **Rădăcina Pătrată a Erorii Pătratice Medii (RMSE)**, pentru interpretabilitate directă, este exprimată de:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2} \quad (7.9)$$

- **Eroarea Medie Absolută (MAE)**, pentru stabilitatea erorilor, este exprimată de:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \hat{x}_i| \quad (7.10)$$

- **Coefficientul de Determinare ( $R^2$ )** măsoară proporția din variația variabilei dependente explicată de model și este definit în raport cu abaterea pătratică față de media valorilor reale notată cu  $\bar{x}$ . Astfel,  $R^2$  este calculat pornind de la diferența dintre valorile estimate și valoarea medie a observațiilor reale, exprimat de:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (x_i - \hat{x}_i)^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (7.11)$$

- **Coefficientul de Concordanță (CCC)**, utilizat pentru a evalua simultan corelația și proximitatea față de linia identității dintre valorile reale și cele estimate, este definit prin expresia:

$$CCC = \frac{2\rho\sigma_x\sigma_{\hat{x}}}{\sigma_x^2 + \sigma_{\hat{x}}^2 + (\mu_x - \mu_{\hat{x}})^2} \quad (7.12)$$

unde:

- $\rho$  este coeficientul de corelație *Pearson* dintre valorile reale  $x$  (în cazul cercetării – *concentratie\_alcool*) și cele estimate  $\hat{x}$  (în cazul cercetării – *concentratie\_alcool*);
- $\sigma_x^2$  și  $\sigma_{\hat{x}}^2$  sunt varianțele celor două serii de valori,
- $\mu_x$  și  $\mu_{\hat{x}}$  sunt mediile corespunzătoare.

În expresiile (7.8) – (7.12), în contextul particular al acestei cercetări, variabila  $x$  este reprezentată de concentrația reală de alcool (*concentratie\_alcool*), iar valorile  $\hat{x}_i$  corespund predicțiilor estimate de modele (*concentratie\_alcool\_i*).

Prin această abordare, s-a demonstrat fezabilitatea utilizării modelelor de regresie avansată pentru estimarea alcoolemiei pe baza datelor furnizate de senzori și parametri fiziologici, constituind un **proof-of-concept** pentru aplicații predictive în monitorizarea comportamentului conducătorilor auto.

## 7.2 Variabilele colectate

Definirea și selecția variabilelor analizate reprezintă un element central al cadrului metodologic, întrucât acestea determină atât structura modelelor statistice, cât și validitatea concluziilor formulate. În cele două studii de caz au fost colectate variabile de natură tehnică și fiziologică, cu scopul de a surprinde în mod integrat efectele consumului de alcool asupra conducătorilor auto și condițiile în care are loc detecția acestuia.

Organizarea variabilelor într-un set unitar a urmărit asigurarea comparabilității între scenariile experimentale distincte (monitorizare în trafic și simulare controlată), precum și fundamentarea unor analize capabile să evidențieze relațiile dintre nivelul alcoolemiei, parametrii de măsurare și reacțiile fiziologice asociate. În acest mod, designul metodologic permite investigarea atât a influenței directe a alcoolului, cât și a corelațiilor cu indicatori biologici relevanți pentru capacitatea de conducere. Tabelul 18 sintetizează variabilele utilizate și rolul acestora în procesul de analiză

Tabel 5 Variabilele colectate și utilizate în analiza celor două seturi de date

Studiu de Caz	Variabilă	Descriere tehnică
1	concentratie_alcool	Concentrația reală a alcoolului din spray, utilizată ca valoare de referință.
1	distanța_mm	Distanța (în milimetri) dintre poziția capului șoferului și senzorul de detecție HC-SR04, necesară pentru calibrarea citirilor.
1, 2	mq3_ppm	Concentrația alcoolului în aerul expirat, detectată de senzorul MQ-3 (ppm).
2	puls_bpm	Ritmul cardiac, exprimat în bătăi pe minut, obținut de la brățara FitBit.
2	sp_o2	Saturația oxigenului din sângele periferic (%), înregistrată de brățara FitBit.
2	time_stamp	Data și ora măsurătorii, utilizate pentru corelarea temporală și filtrarea setului inițial de date.

Variabila *concentratie\_alcool* constituie valoarea de referință utilizată pentru calibrarea și validarea citirilor senzorului MQ-3, asigurând coerența între nivelul real de expunere și răspunsul dispozitivului. Variabila *distanța\_mm* are rol tehnic esențial, întrucât poziționarea relativă a șoferului față de senzor influențează direct valorile detectate, fiind necesară pentru corectarea și interpretarea măsurătorilor. Indicatorul *mq3\_ppm* reprezintă variabila centrală a analizei, reflectând direct prezența alcoolului în aerul expirat și constituind punctul de legătură între măsurătorile tehnice și cele fiziologice. Parametrii *puls\_bpm* și *sp\_o2* descriu starea fiziologică a conducătorului auto, fiind sensibili la modificări induse de consumul de alcool și relevanți pentru evaluarea capacității de a menține controlul asupra vehiculului. Variabila *time\_stamp*, deși nu este utilizată ca predictor, asigură corelarea temporală a observațiilor, consistența fluxului de date și trasabilitatea fiecărei înregistrări, constituind un element indispensabil pentru analiza sincronizată a parametrilor colectați.

Prin selecția acestor variabile, a fost construit un set de date pentru aplicarea metodelor statistice și a algoritmilor de învățare automată prezentate în subcapitolele următoare.

## 7.3 Studiu de caz 1: validarea experimentală a detecției alcoolemiei cu senzorul MQ-3 în trafic urban

Pentru a valida funcționalitatea și performanța sistemului propus în condiții reale de utilizare, studiul de față investighează relațiile dintre valorile măsurate de senzorul MQ-3 (*mq3\_ppm*), distanța dintre senzor și capul conducătorului auto (*distanța\_mm*) și nivelul real al concentrației alcoolului simulate prin expunere controlată, utilizând o soluție pulverizată cu dozaj calibrat (*concentratie\_alcool*). Obiectivul principal constă în evaluarea capacității senzorului de a detecta în mod consistent variațiile numărului particulelor de alcool din aer, în contexte operaționale variate, precum și în identificarea factorilor care pot influența precizia detecției. Analiza vizează atât validarea empirică a semnalului furnizat de senzor, cât și evaluarea caracterului funcțional al relațiilor observate.

### 7.3.1. Sursele de date și variabile analizate

Setul de date aferent Cazului de studiu 1 a fost obținut printr-o implementare experimentală a sistemului integrat de monitorizare într-un scenariu real de trafic urban, având ca obiectiv validarea funcționalității MSB și a coerenței fluxului de achiziție și transmitere a datelor. Configurația experimentală, descrisă anterior în Subcapitolul 4.3, a inclus montarea MSB în compartimentul șoferului și utilizarea unui mecanism de pulverizare temporizată, calibrat pentru a simula expunerea la alcool în aerul expirat, fără consum direct de substanțe alcoolice de către participanți.

Pentru analiza statistică și pentru calibrarea modelelor predictive prezentate în acest capitol, protocolul experimental a cuprins efectuarea unor măsurători incrementale ale concentrației de alcool, cu pași de 0,1‰ în intervalul 0–3‰ și pași de 1‰ în intervalul 3–30‰. Această abordare a condus la obținerea unui set de date de 23.228 de observații, dintre care 20.634, corespunzătoare nivelurilor non-zero de alcoolemie, au fost utilizate în procesul de antrenare și validare a modelelor de regresie și învățare automată. Deși intervalul complet 0–30‰ a fost inclus pentru calibrarea senzorului, analiza aplicativă s-a concentrat asupra intervalului 1–3‰, relevant din perspectiva pragurilor utilizate în practica rutieră și medico-legală.

Datele colectate în acest studiu includ două categorii principale de informații. Prima categorie este reprezentată de parametri tehnici, care descriu interacțiunea dintre șofer și sistemul de detecție: distanța dintre capul șoferului și MSB măsurată de senzorul HC-SR04, numărul particulelor de alcool din aerul expirat detectat de senzorul MQ-3 (ppm), coordonatele GPS furnizate de modulul NEO-6M, precum și identificatorii hardware ai unității MSB. A doua categorie este constituită din metadate experimentale, incluzând identificatorul unic al fiecărei înregistrări și marcejele temporale, utilizate pentru corelarea și validarea secvențelor de date.

Selecția acestor variabile a permis evaluarea progresivității și consistenței răspunsului senzorului MQ-3 la variații controlate ale concentrației de alcool, precum și asigurarea trasabilității complete a măsurătorilor în timp și spațiu. Această structură a bazei de date a furnizat fundamentul necesar pentru aplicarea analizelor statistice și a tehnicilor de învățare automată prezentate în subcapitolele următoare.

### 7.3.2 Rezultatele analizei

Analiza distribuțiilor valorilor înregistrate de senzorul MQ-3 (mq3\_ppm), stratificate pe niveluri discrete ale concentrației reale de alcool, a evidențiat o deplasare sistematică a distribuțiilor către valori mai mari pe măsură ce alcoolemia crește. Mai precis, pentru fiecare nivel experimental al variabilei concentrație\_alcool, estimările de densitate kernel ale variabilei mq3\_ppm prezintă maxime și regiuni de densitate ridicată situate progresiv la valori superioare, fără suprapuneri anormale între niveluri consecutive. Această evoluție ordonată, ilustrată în Figura 61, indică un răspuns senzorial gradual, stabil și monoton, confirmând sensibilitatea senzorului MQ-3 la variațiile concentrației reale de alcool și absența unor artefacte structurale sau deviații sistematice în semnalul măsurat.

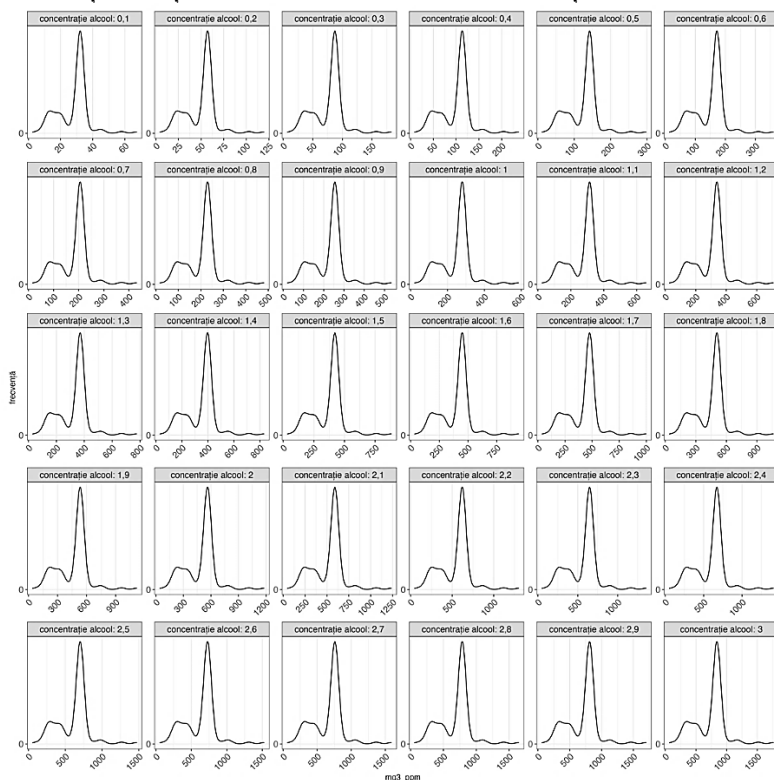


Figura 221 Distribuția semnalului senzorului MQ-3 în funcție de concentrația reală de alcool (0.1‰–3.0‰)

În Figura 61 se prezintă distribuția valorilor variabilei  $mq3\_ppm$  (concentrația măsurată de senzorul MQ-3, exprimată în părți per milion), stratificată pe nivelurile experimentale de alcoolemie, pentru intervalul 0.1‰–3.0‰ (excluzând nivelul 0‰). Pe axa X sunt redată valorile înregistrate de senzorul MQ-3, iar pe axa Y este redată estimarea densității *kernel* (Relația 7.1), metodă non-parametrică ce oferă o reconstrucție continuă a distribuției empirice, fără a impune o funcție teoretică a priori.

Evaluarea statistică a relației dintre concentrația reală de alcool și semnalul raportat de senzor a fost realizată prin Coeficientul de Corelație Spearman, adecvat distribuțiilor negausiene ale variabilelor analizate. Rezultatele au evidențiat o asociere directă, puternică și semnificativă statistic ( $\rho \approx 0.84$ ,  $p < 0.001$ ), confirmând caracterul predictibil și reproductibil al răspunsului senzorului MQ-3, așa cum este evidențiat în Figura 63.

În Figura 63 sunt sintetizate rezultatele acestei analize, pe baza unei diagramă de dispersie a celor 10.860 de perechi de observații aferente nivelurilor non-zero de alcoolemie, suprapuse peste histogramele marginale ale fiecărei variabile și linia de tendință, obținută prin ajustare robustă.

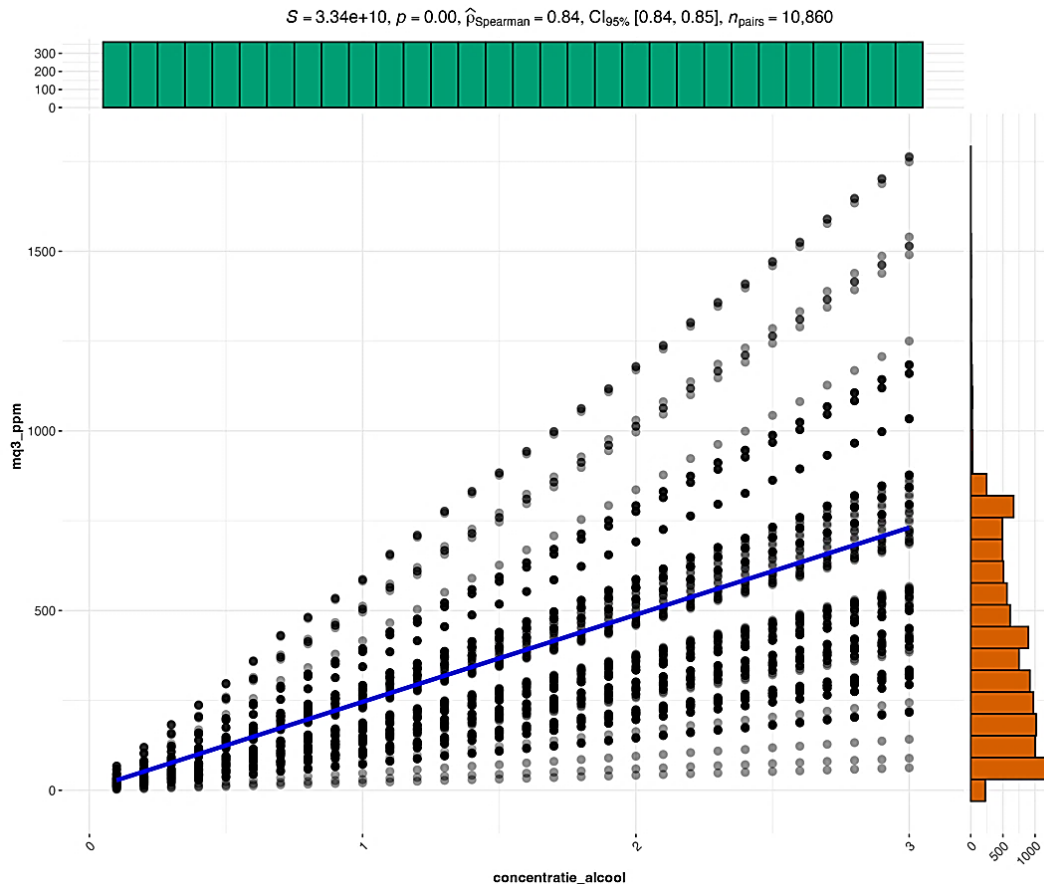


Figura 233 Analiza corelației Spearman între nivelul real al concentrației de alcool și valoarea măsurată de senzorul MQ-3 ( $mq3\_ppm$ ), pe întregul set experimental

În partea superioară a figurii este reprezentată o histogramă, colorată cu verde, care descrie distribuția marginală a variabilei  $concentratie\_alcool$ , segmentată în 30 de intervale corespunzătoare fiecărui nivel discret de alcoolemie reală administrată în cadrul experimentului, de la 0.1 ‰ la 3.0 ‰, cu pas de 0.1. Această histogramă evidențiază omogenitatea eșantionării între niveluri, fiecare palier conținând un număr comparabil de observații. În partea dreaptă, este o altă histogramă, colorată cu portocaliu, ce redă distribuția marginală a valorilor măsurate de senzor ( $mq3\_ppm$ ), indicând frecvența relativă a acestora pe întregul set analizat; etajarea pe verticală reflectă variația răspunsului senzorului în raport cu concentrațiile reale administrate, consolidând interpretarea asocierii dintre cele două variabile.

Pe axa X este reprezentată concentrația reală de alcool (în procente), iar pe axa Y, valorile măsurate de senzor ( $mq3\_ppm$ ). Coeficientul  $\rho$  obținut are valoarea 0.84, cu un interval de încredere de 95% [0.84, 0.85], iar valoarea  $p$  este practic nulă ( $p < 0.001$ ), ceea ce indică o asociere directă, puternică și semnificativă statistic. Această relație ascendentă, clar vizibilă în distribuția punctelor, confirmă reacția proporțională a senzorului MQ-3 la variațiile reale ale concentrației alcoolice, fără a fi afectată de comportamente anormale sau devieri structurale. Așa cum este detaliat în subcapitolul 7.1, hiperparametrii fiecărui algoritm au fost calibrați printr-o procedură de căutare aleatorie, evaluând impactul fiecărei combinații asupra performanței predictive.

Analizele complementare au demonstrat că distanța dintre senzor și poziția capului șoferului nu influențează nivelul real al alcoolemiei, ci acționează exclusiv ca factor de ajustare asupra semnalului detectat, fără a altera relația fundamentală dintre concentrația reală și valoarea măsurată.

Figura 68 oferă o reprezentare integrativă a modului în care cei doi predictorii principali — *mq3\_ppm* și *distanța\_mm* — influențează variabila-țintă, respectiv concentrația reală de alcool (*concentrație\_alcool*), în cadrul celor două modele calibrate: RF (stânga) și XGB (dreapta).

Pe axa X sunt plasate valorile celor doi predictorii, iar axa Y redă valorile medii ale predicției generate de modele. Fiecare set de grafice integrează trei tipuri de profiluri explicative: profiluri de dependență parțială (PDP), profiluri de dependență condiționată (CDP) și efecte locale cumulate (ALE), redade prin linii colorate distinct (roșu, verde și albastru). Aceste instrumente de interpretabilitate permit o înțelegere granulară a influenței fiecărui predictor asupra valorii măsurate, în condițiile păstrării constante a celorlalte variabile.

Rezultatele obținute indică o relație crescătoare clară și stabilă între valoarea predictorului *mq3\_ppm* și valoarea măsurată, în ambele modele. Această corelație directă și robustă reflectă capacitatea senzorului MQ-3 de a reda fidel modificările reale ale alcoolemiei, într-un mod proporțional și predictibil. În același timp, *distanța\_mm* prezintă un efect de ajustare sistematică: la valori reduse ale distanței, predicțiile sunt mai precise și mai concentrate, în timp ce distanțele mai mari sunt asociate cu o creștere moderată a variabilității estimărilor, indicând o diminuare a acurateței în condiții de montaj mai puțin favorabile.

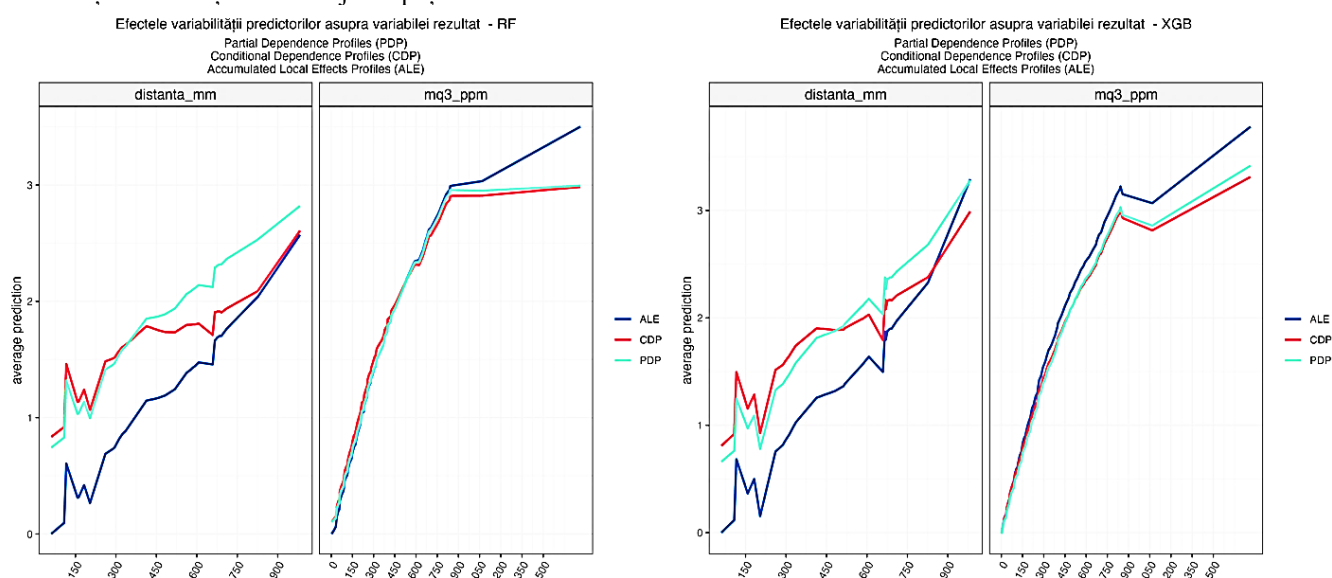


Figura 248 Analiza relației funcționale dintre variabila-țintă (concentrația reală de alcool) și cei doi predictorii esențiali (*mq3\_ppm* și *distanța\_mm*), pe baza modelelor Random Forest și XGBoost

Această reprezentare confirmă funcționarea integrată a arhitecturii predictive: variabila *mq3\_ppm* furnizează semnalul principal, iar *distanța\_mm* contribuie ca factor de ajustare spațială. Concordanța între modele și metodele de interpretare (PDP, CDP și ALE) indică o structurare stabilă a datelor pentru a susține estimarea automată a alcoolemiei în contexte operaționale variate.

### 7.3.3 Concluzii

Acest studiu de caz confirmă îndeplinirea obiectivului propus, demonstrând că senzorul MQ-3 funcționează în mod fiabil și reproductibil în scenarii reale de trafic, furnizând un semnal proporțional cu variațiile reale ale concentrației alcoolului. Analizele statistice și vizuale au validat atât consistența răspunsului senzorului în raport cu nivelul alcoolemiei, cât și influența predictibilă a distanței senzor-șofer asupra valorilor măsurate. Corelațiile puternic semnificative dintre datele colectate, absența interferențelor structurale și robustețea rezultatelor obținute prin diverse metode de analiză susțin concluzia că fluxul informațional generat de sistem poate fi utilizat ca bază pentru construirea de modele predictive. Implementarea experimentală și validarea empirică au demonstrat fezabilitatea tehnică a abordării propuse și au oferit un fundament solid pentru extinderea metodologică ulterioară prin integrarea algoritmilor de ML.

## 7.4 Studiu de caz 2: monitorizarea alcoolemiei în mediu experimental în raport cu parametrii fiziologici

Acest studiu de caz își propune să evalueze capacitatea modelelor de regresie, bazate pe ML, de a estima concentrația de alcool din aerul expirat (*mq3\_ppm*) în funcție de variabile fiziologice măsurate prin dispozitive

purtabile – ritmul cardiac (*puls\_bpm*) și saturația oxigenului în sânge (*sp\_o2*). Analiza este realizată în contextul unui experiment controlat, cu simulatorul EMP23, unde au fost colectate date sincronizate de la senzorul MQ-3 și brățara inteligentă IFSB. Scopul este de a valida, într-un mediu experimental și asistat medical, fezabilitatea construirii unor modele predictive, aplicabile în scenarii reale de monitorizare a sobrietății șoferilor.

#### 7.4.1. Sursele de date și variabilele analizate

Al doilea set de date a fost obținut printr-un studiu experimental realizat cu simulatorul de conducere EMP 23, într-un cadru controlat și asistat medical, conceput pentru validarea mecanismelor de monitorizare fiziologică și a integrării acestora cu Platforma de Colectare Date. Conform configurației descrise în Subcapitolul 6.3, sistemul experimental a inclus o MSB montată într-o poziție fixă în dreptul capului conducătorului auto și o brățară inteligentă IFSB utilizată pentru monitorizarea anumitor parametri vitali. Această configurație a permis colectarea sincronizată a datelor tehnice și fiziologice, oferind o perspectivă integrată asupra comportamentului conducătorului auto în condiții simulate de expunere la alcool.

Experimentul a generat un total de **24.506** observații, structurate deliberat în două secvențe temporale distincte. Prima etapă, în absența consumului de alcool, a avut rol de etalon experimental, valorile raportate de senzorul MQ-3 menținându-se la zero și confirmând stabilitatea funcțională a sistemului. Cea de-a doua etapă a fost dedicată monitorizării în context de expunere controlată la alcool, fiind caracterizată prin creșteri progresive ale semnalului MQ-3, concomitent cu modificări fiziologice observabile, precum accelerarea ritmului cardiac și scăderea saturației de oxigen.

Pentru analiza statistică și dezvoltarea modelelor predictive, setul de date a fost divizat conform metodologiei prezentate în Subcapitolul 7.1, utilizând aproximativ 75% dintre observații pentru antrenare și 25% pentru testare, în vederea evaluării capacității de generalizare a modelelor.

Variabilele reținute pentru analiză au fost grupate în două categorii principale. Parametrii fiziologici, colectați prin intermediul brățării IFSB, au inclus ritmul cardiac și saturația oxigenului în sânge, indicatori sensibili la stres fiziologic și la efectele acute ale consumului de alcool. Parametrii tehnici, furnizați de MSB, au cuprins: distanța dintre capul șoferului și MSB (măsurată de senzorul HC-SR04), numărul particulelor de alcool detectat în aerul expirat de șofer (măsurat de senzorul MQ-3, exprimat în ppm), coordonatele GPS (generate de senzorul NEO-6M) și identificatorii hardware ai stației (Station ID), necesari pentru trasabilitatea completă a măsurătorilor.

Acest design experimental a fost ales pentru a permite investigarea corelată a răspunsului fiziologic imediat la expunerea la alcool și a semnalului tehnic furnizat de senzorii integrați. Relevanța variabilelor selectate derivă din rolul lor complementar: parametrii tehnici descriu condițiile și intensitatea expunerii, în timp ce parametrii fiziologici reflectă manifestarea acestora la nivelul organismului, consolidând premisele unei abordări predictive orientate spre siguranța rutieră.

#### 7.4.2 Rezultatele analizei

Analiza celui de-al doilea set de date a urmărit investigarea relației dintre expunerea la alcool și răspunsurile fiziologice ale conducătorului auto. Dinamica temporală a numărului particulelor de alcool detectat de senzorul MQ-3, agregată pe intervale succesive de timp, evidențiază o creștere progresivă a valorilor măsurate pe durata etapei de expunere, însoțită de fluctuații locale asociate proceselor fiziologice de absorbție și eliminare respiratorie a alcoolului, așa cum este prezentat în Figura 69. Această evoluție confirmă capacitatea sistemului de a surprinde variații continue și tranzitorii, relevante pentru monitorizarea în timp real.

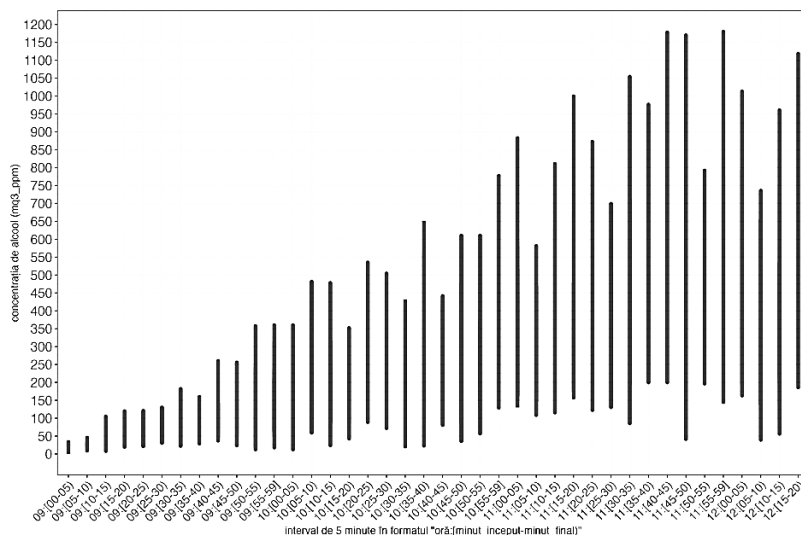


Figura 259 Evoluția numărului de particule de alcool detectate de senzorul MQ-3, agregată pe intervale succesive de timp, de câte 5 minute

Distribuțiile variabilelor analizate au indicat abateri semnificative de la normalitate, fapt confirmat prin testele Shapiro–Wilk, justificând utilizarea metodelor statistice non-parametrice în evaluarea relațiilor dintre parametri. În acest context, asocierea dintre concentrația de alcool măsurată ( $mq3\_ppm$ ) și parametri fiziologici a fost evaluată prin coeficientul de corelație Spearman, adecvat pentru distribuții negausiene.

Rezultatele au evidențiat corelații monotone puternice și semnificative statistic între variabila răspuns și indicatorii biometrici, așa cum este prezentat în Figura 69. Concentrația de alcool detectată a prezentat o asociere directă cu ritmul cardiac ( $\rho \approx 0.83$ ,  $p < 0.001$ ) și o asociere inversă cu saturația oxigenului în sânge ( $\rho \approx -0.86$ ,  $p < 0.001$ ), confirmând faptul că modificările fiziologice induse de consumul de alcool sunt reflectate consistent în datele colectate de dispozitivul purtabil.

În Figura 72 s-a realizat o reprezentare detaliată a asocierii statistice dintre variabila dependentă – concentrația de alcool măsurată de senzorul MQ-3 ( $mq3\_ppm$ , pe axa verticală) – și cei doi predictorii fiziologici furnizați din dispozitivul purtabil: ritmul cardiac ( $puls\_bpm$ , în panoul din stânga) și saturația oxigenului în sânge ( $sp\_o_2$ , în panoul din dreapta), reprezentați pe axa orizontală a fiecărui panou. Fiecare diagramă include 2.960 de perechi de observații, distribuite punctiform în planul bidimensional (puncte negre), pentru a reda configurația empirică a relațiilor analizate.

În partea superioară a fiecărui grafic este reprezentată o histogramă colorată cu verde, care reflectă repartiția valorilor predictorului analizat – ritm cardiac, respectiv saturație de oxigen – oferind astfel informații asupra observațiilor de-a lungul axei X. În partea dreaptă, histogramele portocalii redau distribuția variabilei răspuns ( $mq3\_ppm$ ), oferind o perspectivă complementară asupra variației acesteia pe axa Y.

Pentru a evidenția tendința generală a relației dintre variabila fiziologică analizată și valorile măsurate ale concentrației de alcool, în fiecare diagramă a fost suprapusă o curbă de regresie neliniară de tip *Locally Estimated Scatterplot Smoothing* (LOESS). Această metodă de netezire locală estimează relația dintre variabile prin ajustări succesive pe vecinătăți restrânse ale datelor, fără a impune o formă funcțională globală predefinită. Dreapta LOESS, reprezentată cu albastru, are rol exclusiv descriptiv și servește ca ghid vizual pentru identificarea traiectoriei medii a variației semnalului senzorului în funcție de predictorul fiziologic, în contextul unei distribuții negausiene și al unor relații potențial neliniare.

Rezultatele testelor de corelație *Spearman* sunt sintetizate în partea superioară a fiecărei reprezentări, indicând valoarea statisticii  $S$ , coeficientul  $\rho$ , valoarea  $p$  asociată semnificației statistice și intervalul de încredere al estimării la un nivel de 95%. În cazul asocierii dintre  $mq3\_ppm$  și  $puls\_bpm$  (stânga), coeficientul *Spearman* are valoarea  $\hat{\rho} = 0.83$ , cu intervalul de încredere de 95%  $[0.82, 0.84]$  și  $p \approx 0$ . În cazul relației dintre  $mq3\_ppm$  și  $sp\_o_2$  (dreapta), coeficientul *Spearman* este  $\hat{\rho} = -0.86$ , cu intervalul de încredere 95%  $[-0.87, -0.85]$  și aceeași valoare  $p \approx 0$ . Aceste rezultate indică o asociere de intensitate ridicată, în sensuri opuse, între variabila răspuns și fiecare dintre predictorii fiziologici. Valorile măsurate de senzor cresc odată cu intensificarea ritmului cardiac, în timp ce nivelurile scăzute ale saturației de oxigen sunt concomitente cu valori crescute ale alcoolului detectat.

Aceste rezultate validează integrarea parametrilor fiziologici ca surse complementare de informație în arhitectura sistemului și susțin fezabilitatea utilizării acestora în modele predictive cu rol demonstrativ. Deși performanțele modelelor de învățare automată obținute în acest caz sunt mai moderate comparativ cu scenariul bazat exclusiv pe senzorul MQ-3, ele reflectă complexitatea suplimentară introdusă de variabilitatea biologică și confirmă caracterul de *proof of concept* al abordării propuse.

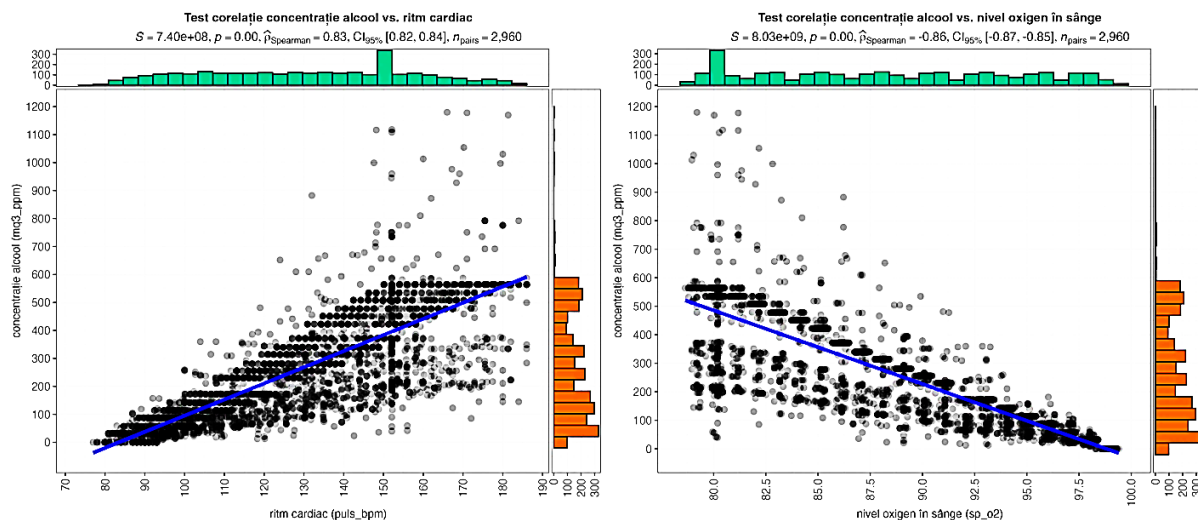


Figura 26 Asocierile statistice dintre concentrația de alcool măsurată ( $mq3\_ppm$ ) și variabilele fiziologice: ritmul cardiac ( $puls\_bpm$ ) și saturația oxigenului din sânge ( $sp\_o_2$ ), pe baza coeficientului Spearman

În Figura 77 se ilustrează influența celor doi predictorii fiziologici – *puls\_bpm* și *sp\_o2* – asupra valorii măsurate a concentrației de alcool (*mq3\_ppm*), în baza modelelor RF (stânga) și XGB (dreapta). Fiecare reprezentare include trei tipuri de profile explicative: *Partial Dependence Profile* (PDP), *Conditional Dependence Profile* (CDP) și *Accumulated Local Effects* (ALE), redată în culorile roșu, verde și albastru. Pe axa X sunt plasate valorile predictorilor, iar pe axa Y valorile medii ale predicției, corespunzătoare fiecărui nivel al predictorului analizat. Scala axei Y exprimă nivelul estimat al concentrației alcoolului în părți per milion (ppm), permițând evaluarea sensibilității modelului la variațiile fiecărui predictor în parte.

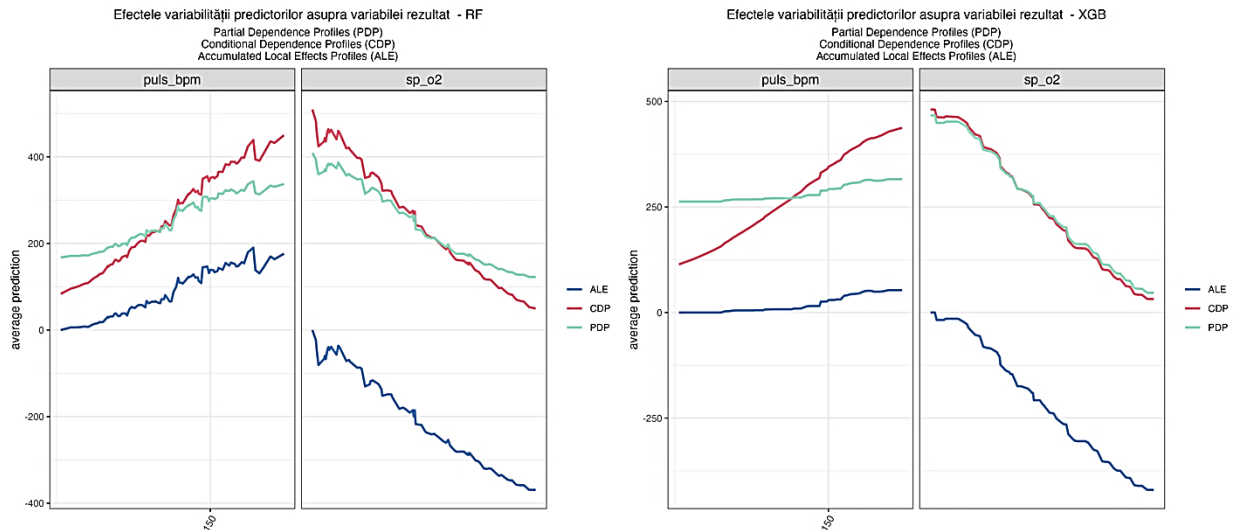


Figura 277 Evoluția variabilei-rezultat în funcție de variabilitatea celor doi predictorii

În cazul variabilei *puls\_bpm*, ambele modele arată o asociere ascendentă: valorile crescute ale ritmului cardiac corespund unor predicții mai mari ale concentrației de alcool. Modelul XGB oferă o evoluție mai uniformă a efectului, în timp ce RF reflectă o variație mai neregulată, cu fluctuații accentuate, semnalând o sensibilitate mai mare la zgomotul din date.

Pentru variabila *sp\_o2*, ambele modele evidențiază o relație descendentă clară: scăderea nivelului de oxigen este asociată cu o creștere a valorii măsurate de alcool. Modelul XGB manifestă un efect mai abrupt și constant, în timp ce RF sugerează o variație mai graduală.

Concordanța direcției efectelor în toate cele trei profile explicative, precum și în ambele modele analizate, indică stabilitatea relațiilor dintre variabilele de intrare și răspunsul modelului. Diferențele dintre profile reflectă caracterul nelinear și specific al influenței fiecărui predictor asupra rezultatului estimat, oferind o perspectivă detaliată asupra modului în care variațiile fiziologice sunt integrate în procesul de predicție.

### 7.4.3 Concluzii

Rezultatele obținute confirmă atingerea obiectivelor stabilite: modelele RF și XGB au reușit să capteze relații semnificative și stabile între parametrii fiziologici și concentrația de alcool măsurată de senzor, cu un nivel rezonabil de precizie ( $R^2 > 0.65$  și  $CCC > 0.79$ ). Saturația oxigenului (*sp\_o2*) a fost identificată ca cel mai relevant predictor, iar analiza profilurilor de dependență a demonstrat coerența și reproductibilitatea modelelor. Studiul validează conceptul de integrare a senzorilor purtabili în arhitecturi predictive de tip ML, consolidând premisa dezvoltării unor instrumente scalabile pentru monitorizarea automată a sobrietății.

## 7.5 Concluzii și contribuții

Rezultatele prezentate în acest capitol constituie o demonstrație metodologică (proof of concept) privind integrarea analizei statistice și a algoritmilor de învățare automată în prelucrarea datelor provenite de la MSB și de la brățara inteligentă IFSB, cu scopul de a evidenția relațiile dintre consumul de alcool și răspunsurile fiziologice ale conducătorilor auto. Analiza comparativă a celor două seturi de date – unul colectat în trafic urban real și celălalt într-un mediu experimental controlat – a permis identificarea unor dependențe relevante și evaluarea preliminară a capacității de predicție a modelelor utilizate. Deși volumul și diversitatea datelor sunt limitate, concluziile obținute oferă premise pentru extinderea cercetării către eșantioane mai ample și pentru perfecționarea arhitecturilor algoritmice în vederea dezvoltării unor soluții predictive fiabile în contexte operaționale reale.

- Principalele rezultate obținute în acest capitol sunt:
- Definirea și validarea unui cadru metodologic integrat pentru estimarea concentrației alcoolului utilizând date tehnice (senzor MQ-3, distanță) și fiziologice (ritm cardiac, saturație oxigen) în contexte reale și experimentale;

- Realizarea a două studii de caz complementare (trafic real vs. simulator), fiecare cu design experimental distinct, care fundamentează evaluarea comparativă a performanței algoritmilor ML în condiții diferite de variabilitate și control;
- Construcția unui model de regresie multivariat cu variabilă-țintă (concentrație\_alcool), în care s-au integrat predictorii de natură eterogenă și s-a formulat expres explicit relația matematică generală utilizată în ambele cazuri (formula 7.4);
- Aplicarea algoritmilor Random Forest și XGBoost în contextul evaluării concentrației alcoolului — cu selecție, configurare și optimizare hiperparametrică bazată pe validare încrucișată;
- Compararea performanțelor predictive ale celor doi algoritmi de tip ML în ambele scenarii, cu evaluare multiplă (MSE, RMSE,  $R^2$ , CCC), însoțită de interpretarea semnificației valorilor obținute și justificarea diferențelor dintre ele;
- Identificarea saturației oxigenului ( $sp_{O_2}$ ) ca principal predictor în contextul monitorizării fiziologice — o contribuție originală ce sprijină utilizarea senzorilor purtabili pentru detecția indirectă a stării de sobrietate;
- Introducerea și interpretarea comparativă a celor trei profile explicative (PDP, ALE, CDP) în analiza influenței predictorilor — cu evidențierea caracterului nelinear și stabil al relațiilor estimate de modele;
- Demonstrarea, pe bază empirică, că senzorul MQ-3 poate fi utilizat nu doar ca instrument de detecție directă, ci și ca sursă de semnal relevant în modele predictive robuste, atunci când este corelat cu date fiziologice;
- Propunerea unui flux funcțional complet — de la colectarea datelor în condiții reale/experimentale, până la antrenarea, validarea și interpretarea modelelor ML — aplicabil ulterior în sisteme de monitorizare a sobrietății în timp real;
- Generarea unui set de concluzii experimentale care oferă premise pentru extinderea cercetării spre arhitecturi ML mai avansate, cu seturi de date mai mari și aplicații directe în domeniul siguranței rutiere;
- Rezultatele cercetării din acest capitol au fost publicate în 2 articole științifice ce se regăsesc în bibliografie la numerele [116] și [124].

## Capitolul 8 – Analiză și Concluzii

În acest capitol se realizează o sinteză integrativă a rezultatelor obținute pe parcursul întregii cercetări, prin corelarea acestora cu obiectivele generale și specifice definite în etapa conceptuală. În acest context, evaluarea gradului de atingere a obiectivelor și formularea concluziilor finale constituie un demers esențial pentru validarea consistenței metodologice, a relevanței empirice și a maturității științifice a soluției propuse [116], [126]. Cercetarea se poziționează dincolo de o demonstrație strict tehnico-experimentală, conturând un cadru unitar, cu valoare aplicativă și strategică în domeniul siguranței rutiere inteligente. În acest cadru, capitolul cuprinde o analiză SWOT a sistemului propus, menită să ofere o evaluare sintetică și critică a punctelor forte, limitărilor, oportunităților și riscurilor, precum și să contureze direcțiile viitoare de cercetare și dezvoltare. Această analiză completează procesul de validare științifică și facilitează delimitarea perspectivelor de valorificare practică a soluției dezvoltate.

### 8.1 Analiza SWOT a soluției propuse

#### 8.1.1 Introducere

Obiectivul general al tezei – proiectarea, implementarea și validarea unei platforme inteligente pentru monitorizarea în timp real a comportamentului și stării de sănătate a conducătorilor auto, fundamentată pe convergența tehnologiilor IoT, BT și algoritmi de ML – a fost atins în mod integral. Rezultatele obținute confirmă funcționarea scalabilă și fiabilă a sistemului propus, capabil să colecteze, să analizeze și să securizeze date fiziologice și comportamentale în condiții reale și controlate de utilizare.

Cele șase obiective specifice au fost atinse succesiv, fiecare reprezentând o etapă esențială în construcția arhitecturii finale a sistemului:

- Analiza literaturii de specialitate (OS<sub>1</sub>) a evidențiat realizările și limitele soluțiilor existente, fundamentând necesitatea unei abordări integrate;
- Proiectarea arhitecturii generale a platformei (OS<sub>2</sub>) a consolidat cadrul structural și interoperabilitatea componentelor;
- Dezvoltarea și validarea Bateriei Modulare de Senzori (MSB) (OS<sub>3</sub>) au confirmat fezabilitatea detecției precise a alcoolemiei și a geolocalizării;
- Integrarea dispozitivului purtabil IoT Fitbit Smart Band (IFSB) (OS<sub>4</sub>) a extins perspectiva asupra stării fiziologice;

- Integrarea BT (OS<sub>5</sub>) a asigurat trasabilitatea și integritatea criptografică a datelor;
- Aplicarea algoritmilor de AI (OS<sub>6</sub>) a dezvoltat la nivel conceptual niște modele predictive, orientate spre anticiparea comportamentelor de risc și susținerea procesului decizional în contexte operaționale, în timp real.

Prin analiza transversală a capitolelor teoretice, experimentale și analitice, cercetarea a demonstrat fezabilitatea integrării tehnologiilor IoT–BT într-o arhitectură unitară. Fiabilitatea datelor colectate, eficiența mecanismelor criptografice de protecție și relevanța utilizării algoritmilor de ML au contribuit la identificarea și predicția conceptuală a comportamentelor de risc. Aceste rezultate susțin tranziția de la o monitorizare descriptivă la una anticipativă, cu potențial direct de aplicare operațională.

### 8.1.2 Avantaje

Soluția propusă se distinge printr-o arhitectură integrată și validată științific, care reunește Platforma de Colectare Date pentru colectarea și gestionarea datelor [117], utilizarea unei MSB pentru detecția alcoolemiei și geolocalizare [119], precum și un strat de securizare bazat pe BT, destinat asigurării integrității și trasabilității datelor [120]. Integrarea monitorizării fiziologice prin IFSB și corelarea cu modele de analiză avansată conferă sistemului un caracter matur, extensibil și replicabil în contexte operaționale variate [116], [121], [126].

Un avantaj îl constituie monitorizarea continuă și non-invazivă, care combină detecția alcoolemiei pe bază de respirație cu indicatori fiziologici (BPM, SpO<sub>2</sub>), asigurând reziliență operațională în prezența perturbărilor de mediu sau a variațiilor de poziționare [119], [124]. Trasabilitatea criptografică asigurată printr-un design blockchain hibrid (*hash* on-chain, date brute off-chain) permite verificabilitatea datelor și compatibilitatea cu cerințe de conformitate (GDPR, ISO/IEC 27001), facilitând utilizarea probatorie în contexte administrative sau juridice [120].

Din perspectivă analitică, modelele de învățare automată (RF, XGBoost) au demonstrat capacități predictive stabile și reproductibile, în special pentru configurații optime de montaj, susținând tranziția sistemului de la detecție reactivă la evaluare anticipativă a riscului [124], [125]. Arhitectura modulară și interoperabilă, bazată pe microservicii și API-uri standardizate, susține portabilitatea, scalarea și integrarea cu ecosisteme ITS/ADAS și platforme instituționale [116], [121].

### 8.1.3 Vulnerabilități

Funcționarea în timp real introduce o dependență structurală de conectivitate și latențe operaționale, în special în scenarii cu acoperire radio deficitară sau densitate mare de evenimente, ceea ce poate afecta declanșarea alertelor [126]. Sensibilitatea senzorului MQ-3 la condițiile de mediu și poziționare impune proceduri stricte de calibrare și montaj standardizat pentru menținerea acurateței citirilor [116], [117], [119], [120].

Validările experimentale indică performanțe superioare pentru distanțe reduse față de subiect ( $\approx 0,5$  m), ceea ce limitează, în forma actuală, generalizarea către configurații vehiculare eterogene [124], [125]. Canalul fiziologic bazat pe dispozitive portabile oferă o acuratețe adecvată pentru analiză comportamentală, dar nu echivalează validarea clinică, ceea ce restrânge utilizarea sa în contexte medico-legale stricte [121].

### 8.1.4 Oportunități

Arhitectura propusă creează premise pentru integrare instituțională în transport public, management de flotă și infrastructuri ITS, unde convergența dintre monitorizare în timp real, geolocalizare și trasabilitate criptografică are valoare operațională directă [116], [125]. Modularitatea sistemului permite extinderea funcțională prin integrarea unor noi familii de senzori (somnolență, stres, substanțe psihoactive) și dezvoltarea unor mecanisme predictive avansate, inclusiv evaluări de risc în timp real și modele de tip digital twin [124], [125].

Trasabilitatea oferită de BT deschide oportunități bazate pe comportament și politici publice de prevenție, cu potențial de reducere a riscului și optimizare a costurilor [120]. Evoluțiile recente în conectivitatea IoT și *edge computing* pot atenua constrângerile actuale, sprijinind implementări robuste în medii care permit conectivitate variabilă [116], [119].

### 8.1.5 Riscuri

Un risc îl constituie volatilitatea cadrului normativ, întrucât colectarea continuă a datelor de alcoolemie, geolocație și parametri fiziologici intersectează regimuri juridice sensibile și eterogene, cu potențiale tensiuni între trasabilitate și drepturile de protecție a datelor [116], [120]. În paralel, acceptabilitatea socială poate fi afectată de percepția de supraveghere permanentă, ceea ce impune mecanisme transparente de guvernanta a datelor și control granular al accesului [117], [119].

Extinderea utilizărilor către aplicații cu valențe medicale poate declanșa cerințe suplimentare de reglementare (MDR/FDA), cu impact asupra costurilor și calendarului de implementare [121], [124].

### 8.1.6 Concluzii

Analiza SWOT a evidențiat un profil tehnologic al soluției propuse, rezultat din integrarea Platformei de Colectare a Datelor, a Bateriei Modulare de Senzori, a canalului fiziologic bazat pe IFSB și a stratului de integritate criptografică furnizat de BT. Datele experimentale multi-sursă confirmă capacitatea sistemului de a furniza

monitorizare continuă, corelată spațio-temporal, cu trasabilitate verificabilă a datelor — premisă directă pentru translatarea din laborator în medii operaționale reale.

## 8.2 Contribuții originale și analiză comparativă

În cadrul acestei cercetări, demersul investigativ a generat o serie de contribuții originale, cu valoare atât teoretică, cât și aplicativă, în sfera monitorizării stării conducătorilor auto și a consolidării siguranței rutiere prin integrarea mai multor tehnologii inovative. Pe fondul unei nevoi tot mai stringente de soluții inteligente, capabile să intervină în timp real și să prevină accidentele provocate de consumul de alcool sau de alterări fiziologice acute, această lucrare a generat un sistem inovator, multidimensional, ce integrează senzori, geolocalizare, procesare automată și securizarea datelor prin BT.

### 8.2.1 Contribuții originale

Direcțiile generale de contribuție sunt dezvoltate și concretizate printr-un ansamblu de rezultate tehnice și metodologice detaliate, obținute pe parcursul tuturor etapelor cercetării. În continuare sunt sintetizate principalele realizări asociate fiecărei componente a sistemului, care împreună conturează arhitectura, funcționalitatea și validarea soluției propuse. Principalele contribuții originale sunt structurate pe patru direcții complementare:

- (1) dezvoltarea unei platforme inteligente de colectare și procesare a datelor;
  - elaborarea arhitecturii conceptuale a sistemului integrat, materializată prin schema-bloc a componentelor funcționale și a fluxurilor de date asociate;
  - proiectarea și implementarea Platformei de Colectare Date, incluzând structura frontend-ului, backend-ului și mecanismele de colectare, gestionare și vizualizare a datelor;
  - definirea unei arhitecturi stratificate pe niveluri operaționale de achiziție, procesare, stocare și interfață, care asigură separarea responsabilităților și scalabilitatea soluției;
  - integrarea componentelor hardware și software într-un ecosistem unitar, implementat prin mecanisme de containerizare Docker;
  - configurarea mecanismelor de securitate și a stratului criptografic, incluzând integrarea BT pentru validarea, protejarea și trasabilitatea datelor critice;
  - proiectarea modelului bazei de date, normalizat și optimizat prin indexare temporală, geospațială și compusă, precum și definirea interfeței de persistență prin librăria Hibernate ORM;
- (2) conceperea unei baterii modulare de senzori pentru monitorizarea simultană a mai multor parametri fiziologici și de mediu;
  - structurarea fluxului de date end-to-end, de la achiziția senzorilor până la nivelul aplicației, prin corelarea componentelor platformei cu procesele operaționale aferente;
  - proiectarea și implementarea Bateriei Modulare de Senzori, ca subsistem hardware dedicat colectării și transmiterii parametrilor relevanți pentru monitorizarea alcoolemiei;
  - integrarea MSB cu Platforma de Colectare Date, rezultând un subsistem operațional pentru monitorizarea continuă a alcoolemiei și localizarea vehiculului în timp real;
  - realizarea și documentarea testelor experimentale, prin care au fost evaluate funcționarea senzorilor, stabilitatea transmiterii datelor și acuratețea măsurătorilor în condiții controlate și reale de trafic;
  - corelarea datelor de detecție cu informațiile GPS, pentru generarea înregistrărilor sincronizate și analiza influenței contextului spațio-temporal;
- (3) integrarea funcțională a sistemului într-un mediu distribuit securizat prin BT, care garantează trasabilitatea și integritatea datelor.
  - realizarea integrării BT cu MSB și Platforma de Colectare Date, prin configurarea mecanismului de înregistrare și validare criptografică a datelor generate de subsistemul de monitorizare;
  - definirea și analizarea fluxurilor de comunicație, în vederea implementării contractelor inteligente în infrastructura Ethereum și a stabilirii unui model operațional compatibil cu arhitecturi descentralizate;
  - integrarea brățărilor inteligente ca soluții neinvazive pentru monitorizarea continuă a parametrilor fiziologici ai șoferilor (ritm cardiac, saturație de oxigen);
  - analiza aspectelor de securitate și etică privind gestionarea datelor fiziologice, cu respectarea principiilor de protecție a vieții private și a cerințelor de conformitate;
  - efectuarea unei comparații tehnice între mecanismele tradiționale de stocare și cele bazate pe BT, demonstrând diferențele de securizare, auditabilitate și gestionare a integrității datelor;
  - operaționalizarea fluxurilor de transmitere a datelor biometrice, utilizând mecanisme standardizate de autentificare și expunere (OAuth 2.0, API REST), integrate cu procesele de securizare și trasabilitate bazate pe BT;
- (4) aplicarea algoritmilor de ML în procesul de analiză, interpretare și predicție a comportamentelor de risc asociate conducerii auto.

- realizarea unui experiment controlat în simulatorul de conducere, prin care a fost confirmată fezabilitatea monitorizării sincronizate a alcoolemiei și a parametrilor fiziologici;
- generarea unui set de date fiziologice și comportamentale, adecvat dezvoltării și validării unor modele predictive în scenarii reale și simulate de trafic;
- realizarea a două studii de caz complementare cum ar fi trafic real și simulatorul, cu design experimental distinct, care fundamentează evaluarea comparativă a performanței algoritmilor de învățare automată;
- construcția unui model de regresie multivariat, cu variabilă-țintă continuă concentrație\_alcool, integrând predictorii eterogeni și formularea explicită a relației matematice utilizate;
- aplicarea algoritmilor Random Forest și XGBoost cu selecție, configurare și optimizare hiperparametrică bazată pe validare încrucișată și random grid search;
- compararea performanțelor predictive ale celor doi algoritmi, prin evaluare multiplă, utilizând MSE, RMSE, R<sup>2</sup>, CCC, precum și interpretarea diferențelor obținute;
- identificarea saturației oxigenului ca predictor fiziologic principal, contribuție originală care susține utilizarea senzorilor purtabili pentru detecția indirectă a stării de sobrietate;
- introducerea și interpretarea comparativă a profilelor explicative PDP, ALE și CDP, evidențiind caracterul neliniar și stabil al relațiilor estimate de modele;
- demonstrarea empirică a utilizării senzorului MQ-3 nu doar ca instrument de detecție directă, ci ca sursă de semnal relevant în modele predictive robuste;
- propunerea unui flux complet funcțional, de la colectarea datelor până la antrenarea, validarea și interpretarea modelelor ML, aplicabil în sisteme de monitorizare a sobrietății în timp real;
- formularea unui set de concluzii experimentale, care oferă premise solide pentru extinderea cercetării către arhitecturi de ML avansate, seturi de date extinse și aplicații directe în siguranța rutieră.

### 8.2.2 Analiză comparativă (sistemul propus vs. sistemele actuale)

În vederea validării gradului de inovație adus de platforma inteligentă propusă în cadrul acestei cercetări, se impune realizarea unei comparații riguroase cu principalele sisteme avansate de monitorizare rutieră existente în literatura de specialitate și în practica operațională actuală. Sistemele selectate pentru această analiză – *FM-Pro5*, *EVO GPS*, *BNG Tracking*, *FITDRIVE* – acoperă un spectru larg de funcționalități, de la monitorizarea stilului de condus și localizarea GPS, până la analiza comportamentală asistată de AI.

Cu toate acestea, fiecare dintre aceste soluții se concentrează preponderent pe un set restrâns de parametri, fără a oferi o integrare completă a componentelor comportamentale, fiziologice, predictive și de securitate. Prin urmare, în Tabelul 20 se sintetizează punctele forte și limitările fiecărui sistem analizat, în paralel cu elementele de noutate și caracterul integrativ al platformei dezvoltate în cadrul acestei cercetări.

Analiza comparativă evidențiază faptul că sistemul propus în cadrul acestei cercetări reunește, într-o singură arhitectură funcționalități care, în cazul sistemelor existente, sunt parțial sau fragmentar abordate. Integrarea monitorizării fiziologice și comportamentale, detecția directă a alcoolului, securizarea datelor prin BT și aplicarea algoritmilor de ML pentru predicție, transformă această platformă într-o soluție cu caracter profund inovator și cu potențial de standardizare în domeniul siguranței rutiere.

Tabel 6 Analiză comparativă a sistemelor de monitorizare rutieră

Sistem analizat	Monitorizare comportamentală (stil de condus)	Monitorizare fiziologică (parametri vitali)	Detecția consumului de alcool	Securitatea și trasabilitatea datelor	Scalabilitate și modularitate	Alertare și intervenție în timp real	Noutăți aduse de sistemul propus
<i>FM-Pro5</i>	✓ (agresivitate, frânări, accelerații)	×	×	×	✓ (flote comerciale)	✓	Integrare fiziologică și detecție alcool + criptare cu BT – absente în <i>FM-Pro5</i>
<i>EVO GPS</i>	✓ (viraje periculoase, viteze excesive)	×	×	×	✓ (configurabil per flotă/șofer)	✓ (alerte prin aplicație)	Integrare fiziologică + criptare cu BT – absente în <i>EVO GPS</i>
<i>BNG Tracking</i>	✓ (stil de condus personalizat)	×	×	×	✓ (asociere șofer-vehicul)	✓ (rapoarte predictive)	Monitorizare multisenzor + predicție ML + criptare cu BT – absente în <i>BNG Tracking</i>

Sistem analizat	Monitorizare comportamentală (stil de condus)	Monitorizare fiziologică (parametri vitali)	Deteția consumului de alcool	Securitatea și trasabilitatea datelor	Scalabilitate și modularitate	Alertare și intervenție în timp real	Noutăți aduse de sistemul propus
<i>FITDRIVE</i>	✓ (profil AI neuro-comportamental)	✓ (parțial: oboseală, stres – estimativ)	✓ (evaluare indirectă)	✗ (nu folosește criptare blockchain)	✓ (integrare IoT, AI, tahograf)	✓ (alerte personalizate)	Criptare BT + deteție directă alcool – absente în <i>FITDRIVE</i>
Sistem propus	✓ (comportamente, alcool, ML predicție)	✓ (BPM, SpO <sub>2</sub> , semnale multi-senzor)	✓ (deteție directă MSB, predicție ML)	✓ (blockchain – trasabilitate și integritate)	✓ (arhitectură extensibilă, moduli IoT/MSB)	✓ (alerte proactive, context senzorial)	Integrare completă IoT+ML+BT + senzorială vitală

Sistemul propus se constituie într-o infrastructură utilă pentru dezvoltarea unor soluții de mobilitate inteligentă orientate spre prevenție și siguranță rutieră. În acest context, rezultatele obținute susțin atât relevanța științifică și aplicativă a cercetării, cât și necesitatea continuării investigațiilor în direcțiile viitoare de cercetare.

### 8.3 Lista completă de lucrări

Rezultatele cercetării au fost diseminate prin publicarea unui număr de 13 lucrări științifice, dintre care 7 în calitate de prim autor. Dintre acestea:

- 1 articol este indexat Web of Science (WoS), într-un Jurnal cu Factor de Impact 2.6 și alte 3 articole în conferințe indexate WoS;
  - 9 articole au fost publicate în cadrul conferințelor IEEE.
1. **Gavrilă M.**, Murariu M.-G., Barbuță D.-E., Fotache M., Trifina L., Tărniceriu, D., A Blockchain-Based System for Monitoring Sobriety and Tracking Location of Traffic Drivers – ELECTRONICS, Volume14, Issue18, Article3728, 10.2025, ISSN 2079-9292, DOI 10.3390/electronics14183728, **WOS: 001579791100001**.
  2. **Gavrilă M.**, Bărbuță D.-E., Ambrozie R.-E., Murariu M.-G., Fotache M., Tărniceriu D., Predicting Driver Alcohol Concentration from Physiological Data: A Proof-of-Concept in a Blockchain-Enabled Monitoring Framework, November 2025, Conference: 2025 E-Health and Bioengineering Conference (EHB), .DOI: , **WOS:**
  3. **Gavrilă M.**, Murariu M.-G., Ambrozie R.-E., Tărniceriu, D., SWOT Analysis of a Blockchain and IoT-Based System for Alcohol and Health Monitoring in Road Safety, 2025 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS) 2025, Iasi, Romania, 2025, pp. 1-4, DOI: 10.1109/ISSCS66034.2025.11105686.
  4. **Gavrilă M.**, Murariu M.-G., Barbuță D.-E., Ambrozie R.-E., Tărniceriu, D., Monitoring Health Traffic Participants Using a IoT Smart Band Integrated with a Data Collection Platform secured with Blockchain – Conference: 2024 E-Health and Bioengineering Conference (EHB), pp.88-91, 11.2024, ISSN 2575-5137, DOI 10.1109/EHB64556.2024.10805551, **WOS: 001413708800022**.
  5. **Gavrilă M.**, Fotache M., Barbuță D.-E., Alexandrescu, A., Ambrozie R.-E., Tărniceriu, D., Sensor Data Analysis in a Real-Time IoT and Blockchain-Based System for Monitoring Driver Alcohol Levels, Conference: 2024 International Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC), 11.2024, pp.1-6, DOI: 10.1109/ISETC63109.2024.10797237.
  6. **Gavrilă M.**, Murariu M.-G., Barbuță D.-E., Tărniceriu, D., Development of a Modular Sensor Battery Integrated with a Data Collection Platform for Alcohol Level Detection and Driver Geolocation – 2024 15th International Conference on Communications (COMM), pp.1-6, 10.2024, DOI: 10.1109/COMM62355.2024.10741399.
  7. **Gavrilă M.**, Murariu M.-G., Barbuță D.-E., Mihăilescu E., Tărniceriu, D., Enhancing Driver Safety through A Data Collection Platform – 2024 16th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), pp.1-8, 07.2024, DOI: 10.1109/ECAI61503.2024.10607493
  8. Bărbuță D.-E., Alexandrescu A., Tărniceriu D., and **Gavrilă M.**, Leveraging Blockchain to Enhance the Efficiency and Data Integrity of Systems Monitoring Drivers' Sobriety, in 2024 23rd RoEduNet Conference: Networking in Education and Research (RoEduNet), Bucharest, Romania: IEEE, Sept. 2024, pp. 1–6. doi: 10.1109/RoEduNet64292.2024.10722099.
  9. Ambrozie R.-E., Tărniceriu D, **Gavrilă M.**, Vulnerability Monitoring in the Source Code of Web Applications, Conference: 2025 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS), 2025, doi: 10.1109/ISSCS66034.2025.11105687.

10. Ambrozie R.-E., **Gavrilă M.**, Tărniceriu D., Enhancing Security in Data Exchange: Mitigating Risks Solutions in Base64 Encoding and JSON Web Tokens, 2024 International Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC), 2024, DOI: 10.1109/ISETC63109.2024.10797302.
11. Murariu M. -G., **Gavrilă M.** and Tărniceriu D., Empirical Wavelet Transform in Epilepsy Diagnosis: A Multi-Features Approach to EEG Focal and Generalized Signal Classification, 2024 16th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), Iasi, Romania, 2024, pp. 1-6, doi: 10.1109/ECAI61503.2024.10607402.
12. Murariu M. -G., **Gavrilă M.**, Dorobanțu R. -F. and Tărniceriu D., Epilepsy Detection Through EEG Sub-Band Classification Using Empirical Wavelet Transform and Statistical Features, 2024 E-Health and Bioengineering Conference (EHB), IASI, Romania, 2024, pp. 1-4, doi: 10.1109/EHB64556.2024.10805732, **WOS: 001413708800021**.
13. Bolotă M., **Gavrilă M.**, Ambrozie R. -E., Munteanu R. -M., Anton S. -C. and Anton E., Oxidative Stress Assesmennt in Preterm Premature Rupture Of Membranes (Pprom) — A New Challenge, 2024 E-Health and Bioengineering Conference (EHB), IASI, Romania, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/EHB64556.2024.10805614, **WOS: 001413708800059**.

## 8.4 Direcții viitoare de cercetare

Deși obiectivele tezei au fost atinse, iar soluția propusă a fost validată din punct de vedere științific și aplicativ, domeniul monitorizării inteligente a siguranței rutiere permite extinderi și aprofundări ulterioare. Dintre direcțiile viitoare de cercetare, menționez:

- extinderea aplicabilității platformei către transportul profesional și managementul flotelor comerciale, cu accent pe monitorizarea continuă a stării conducătorilor auto;
- integrarea sistemului cu soluții ADAS și arhitecturi de vehicule autonome, în vederea intervențiilor automate bazate pe starea șoferului;
- integrarea unor senzori suplimentari pentru monitorizarea extinsă a parametrilor fiziologici și comportamentali;
- dotarea Bateriei Modulare de Senzori cu module de comunicație mobilă (SIM) pentru autonomie operațională;
- dezvoltarea unor soluții alternative de alimentare energetică, inclusiv integrarea panourilor solare;
- extinderea utilizării sistemului în medii industriale sau cu acces controlat, pentru prevenirea riscurilor ocupaționale;
- utilizarea camerelor RGB pentru analiza expresiilor faciale ca mecanism complementar de detecție non-invazivă;
- elaborarea unui cadru normativ și etic dedicat utilizării acestor tehnologii în trafic;
- optimizarea și extinderea modelelor de învățare automată, inclusiv prin explorarea rețelelor neuronale profunde și a modelelor hibride.

## Bibliografie selectivă

- [1] OMS, *Rapport technique du projet TIDC Centre 2 au Comité Consultatif Technique (CCT) : 1er mars au 28 février 2023*, Available online: <https://iris.who.int/handle/10665/369154>.
- [4] David P., *ITF, Road Safety Annual Report 2023*, Available online: <https://www.itf-oecd.org/road-safety-annual-report-2023>.
- [16] Garefalakis T., Michelaraki E., Roussou S., Katrakazas C, Brijs T, Yannis G, *Predicting risky driving behavior with classification algorithms: results from a large-scale field-trial and simulator experiment*, European Transport Research Review 2024, 16( 1), p. 65, doi: 10.1186/s12544-024-00691-9.
- [20] Göbel J., P., Peuckmann N., Kundinger T., Riener A., *Fusion of Driving Behavior and Monitoring System in Scenarios of Driving Under the Influence: An Experimental Approach*, Applied Sciences 2025, 15(10), 5302, doi: 10.3390/app15105302.
- [23] Cargotrack, *Monitorizare GPS Transport Persoane - CargoTrack 2025*, Available online: <https://cargotrack.ro/industrii-monitorizare-gps-transport-persoane/>.
- [25] EVO GPS, *Comportament șofer - Monitorizare & Localizare Auto*, Available online: <https://evogps.ro/produse/comportament-sofer/>.
- [26] BNG Tracking, *Mașina timpului - Monitorizare Flotă auto*, Available online: <https://bnctracking.ro/software/monitorizare-gps/masina-timpului/>.
- [27] Spotmedia, *UE lucrează la tehnologii avansate pentru a detecta oboseala și comportamentul haotic al șoferilor*, Available online: <https://spotmedia.ro/stiri/auto/ue-lucreaza-la-reducerea-accidentelor-rutiere-cu-ajutorul-alertelor-personalizate-pentru-soferi>.

- [33] Visconti P., Rausa G., Del-Valle-Soto C., Velázquez R., Cafagna D., De Fazio R., *Innovative Driver Monitoring Systems and On-Board-Vehicle Devices in a Smart-Road Scenario Based on the Internet of Vehicle Paradigm: A Literature and Commercial Solutions Overview*, *Sensors*, 25(2), 2, 2025, doi: 10.3390/s25020562.
- [37] Muthukarpan S. L. A., Osman M. N., Jusoh M., Sabapathy T., Rahim M. K. A., Elshaikh M., Khalib Z. I. A., *Drunken drive detection with smart ignition lock*, *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics (BEEI)* 2021, 10(1), pp. 501–507, doi: 10.11591/EEI.V10I1.2241.
- [40] Sandu C., Capital, *Nu-ți mai pleacă mașina de pe loc! Vei fi obligat să ai acest dispozitiv în autoturism*, Available online: <https://www.capital.ro/detector-de-alcool-soferi-masini-ue.html>.
- [47] POLIȚIA R., IGPR, *ACȚIUNEA ALCOHOL & DRUGS*, Available online: <https://politiaromana.ro/ro/stiri/actiunea-alcohol-drugs>.
- [51] Muñoz-Gómez, A.-M.; Menéndez-Marín, M.; Ballestín-Fuertes, J.; Sanz-Osorio, J. F., *Single-Stage Power Converter for Magnetic Field Energy Harvesting to Achieve Self-Powered Smart Grid IoT Devices*, *Electronics* 2025, 14(3), 415, doi: 10.3390/electronics14030415.
- [63] Dias D., Paulo Silva Cunha J., *Wearable Health Devices - Vital Sign Monitoring*, *Systems and Technologies*, *Sensors*. 2018; 18(8), 2414, doi: 10.3390/s18082414.
- [66] Team Jh., *JHipster - Full Stack Platform for the Modern Developer*, Available online: <https://www.jhipster.tech/>.
- [68] Tessell, *PostgreSQL - concepts, benefits and use cases*, Available online: <https://www.tessell.com/blogs/postgresql-concepts-benefits-and-use-cases>.
- [69] Docker, *What is Docker?*, Available online: <https://docs.docker.com/get-started/docker-overview/>.
- [77] Her M., Nabi H.G., Han J. H., *FRU-Adapter: Frame Recalibration Unit Adapter for Dynamic Facial Expression Recognition*, *Electronics*. 2025, 14(5), 978, doi: 10.3390/electronics14050978.
- [80] Lai J., Wang T., Zhang S., Yang Q., Chang Liew S., *BioZero: An Efficient and Privacy-Preserving Decentralized Biometric Authentication Protocol on Open Blockchain*, *Computer Science - Cryptography and Security* 2024, arXiv:2409.17509, doi: 10.48550/arXiv.2409.17509.
- [100] Cutler A., Cutler D.R., Stevens J. R., *Random Forests, in Ensemble Machine Learning*, C. Zhang and Y. Ma, Eds., New York, NY: Springer New York, 2012, pp. 157–175. doi: 10.1007/978-1-4419-9326-7\_5.
- [116] **Gavrilă M.**, Murariu M.-G., Barbuță D.-E., Fotache M., Trifina L., Tărniceriu, D., *A Blockchain-Based System for Monitoring Sobriety and Tracking Location of Traffic Drivers*, *ELECTRONICS*, Volume14, Issue18, Article3728, 10.2025, ISSN 2079-9292, DOI 10.3390/electronics14183728, **WOS: 001579791100001**.
- [117] **Gavrilă M.**, Murariu M.-G., Barbuță D.-E., Mihăilescu E., Tărniceriu, D., *Enhancing Driver Safety through A Data Collection Platform*, 2024 16th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), pp.1-8, 07.2024, DOI: 10.1109/ECAI61503.2024.10607493
- [119] **Gavrilă M.**, Murariu M.-G., Barbuță D.-E., Tărniceriu, D., *Development of a Modular Sensor Battery Integrated with a Data Collection Platform for Alcohol Level Detection and Driver Geolocation*, 2024 15th International Conference on Communications (COMM), pp.1-6, 10.2024, DOI: 10.1109/COMM62355.2024.10741399.
- [120] D.-E. Bărbuță, A. Alexandrescu, D. Tărniceriu, and **M. Gavrilă**, *Leveraging Blockchain to Enhance the Efficiency and Data Integrity of Systems Monitoring Drivers' Sobriety*, in 2024 23rd RoEduNet Conference: Networking in Education and Research (RoEduNet), Bucharest, Romania: IEEE, Sept. 2024, pp. 1–6. doi: 10.1109/RoEduNet64292.2024.10722099.
- [121] **Gavrilă M.**, Murariu M.-G., Barbuță D.-E., Ambrozie R.-E., Tărniceriu, D., *Monitoring Health Traffic Participants Using a IoT Smart Band Integrated with a Data Collection Platform secured with Blockchain*, Conference: 2024 E-Health and Bioengineering Conference (EHB), pp.88-91, 11.2024, ISSN 2575-5137, DOI 10.1109/EHB64556.2024.10805551, **WOS: 001413708800022**.
- [124] **Gavrilă M.**, Barbuță D.-E., Ambrozie R.-E., Murariu M.-G., Tărniceriu, D., *Predicting Driver Alcohol Concentration from Physiological Data: A Proof-of-Concept in a Blockchain-Enabled Monitoring Framework*, Conference: 2025 E-Health and Bioengineering Conference (EHB), 11.2025, DOI:..
- [125] **Gavrilă M.**, Fotache M., Barbuță D.-E., Alexandrescu. A., Ambrozie R.-E., Tărniceriu, D., *Sensor Data Analysis in a Real-Time IoT and Blockchain-Based System for Monitoring Driver Alcohol Levels*, Conference: 2024 International Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC), 11.2024, pp.1-6, DOI: 10.1109/ISETC63109.2024.10797237.
- [126] **Gavrilă M.**, Murariu M.-G., Ambrozie R.-E., Tărniceriu, D., *SWOT Analysis of a Blockchain and IoT-Based System for Alcohol and Health Monitoring in Road Safety*, 2025 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS) 2025, Iasi, Romania, 2025, pp. 1-4, DOI: 10.1109/ISSCS66034.2025.11105686.