

**STUDIU ANALIZEI
SISTEMELOR DE SIGURANTA ACTIVA
PRIVIND INSTALATIA DE ILUMINARE**

Masterand: Pașcu Bogdan-Cătălin, *gr.STAITA-241*

Conducător: *conf. Univ., dr. Beșleagă Igor*

Chișinău 2026

Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova

Universitatea Tehnică a Moldovei

Departamentul „Transporturi”

Programul „Sisteme și Tehnologii Avansate în Ingineria Transportului Auto”

Admis la susținere

Șef departament „Transporturi”

_____ conf., univ. Victor CEBAN

”___” _____ 2026

STUDIU ANALIZEI
SISTEMELOR DE SIGURANTA ACTIVA
PRIVIND INSTALATIA DE ILUMINARE

Teza de master

Masterand: _____ (Pașcu Bogdan-Cătălin)

Conducător: _____ (Beșleagă Igor)

Chișinău 2026

REZUMAT

Lucrarea de fata prezintă o analiză amplă a importanței și evoluției instalației de iluminare auto în contextul siguranței active pe drumurile publice. Pornind de la definierea conceptului de siguranță activă, se arată modul în care sistemele de iluminare nu mai constituie astăzi simple surse de lumină, ci componente inteligente care contribuie la prevenirea accidentelor. Prin trecerea graduală de la soluțiile pasive, bazate pe becuri incandescente, la tehnologiile halogen, Xenon, LED, Matrix LED și mai recent la soluțiile holografice integrate cu senzori LiDAR, fiecare etapă de dezvoltare a adus îmbunătățiri substanțiale în ceea ce privește vizibilitatea în condiții de lumină scăzută și modul de comunicare nonverbală cu ceilalți participanți la trafic.

În cadrul studiului, sunt examinate caracteristicile tehnice ale sistemelor de iluminare adaptivă, printre care controlul automat al fazei lungi, ajustarea fasciculului în funcție de unghiul de viraj și prezența altor vehicule, precum și rolul semnalizării dinamice la frânare de urgență.

Sunt analizate, de asemenea, diferențele de reglementare între Europa și Statele Unite, evidențiindu-se impactul culorii și intensității semnalizatoarelor asupra ratei accidentelor, precum și contribuția dispozitivelor DRL la scăderea accidentelor diurne. Pe ansamblu, documentul demonstrează că integrarea farurilor adaptive cu tehnologiile ADAS și comunicațiile vehicle-to-everything reprezintă o direcție esențială pentru viitoarele generații de autovehicule, oferind beneficii semnificative în reducerea accidentelor nocturne și diurne.

Studiul evaluează impactul sistemelor adaptive de iluminare AFS și Matrix LED cu fază lungă adaptivă asupra vizibilității pe timp de noapte, timpului de reacție al șoferului și ratei accidentelor rutiere, utilizând măsurători experimentale, teste de orbire și date statistice comparative. Rezultatele indică o creștere semnificativă a distanței de detecție și o reducere a timpului de reacție, precum și o scădere notabilă a incidentelor nocturne în cazul vehiculelor echipate cu tehnologie Matrix LED, în timp ce funcțiile de mascare mențin nivelurile de orbire în limitele impuse de reglementări. Implicațiile practice vizează integrarea avansată a sistemelor de iluminare adaptivă cu funcțiile ADAS, actualizarea cadrului de reglementare și adoptarea unor soluții tehnice optimizate pentru creșterea siguranței rutiere.

SUMMARY

This paper presents a comprehensive analysis of the importance and evolution of automotive lighting in the context of active safety on public roads. Starting from the definition of the concept of active safety, it shows how lighting systems are no longer simple light sources, but intelligent components that contribute to accident prevention.

By gradually moving from passive solutions, based on incandescent bulbs, to halogen, Xenon, LED, Matrix LED technologies and more recently to holographic solutions integrated with LiDAR sensors, each stage of development has brought substantial improvements in terms of visibility in low light conditions and non-verbal communication with other road users.

The study examines the technical characteristics of adaptive lighting systems, including automatic high beam control, beam adjustment depending on the steering angle and the presence of other vehicles, as well as the role of dynamic signaling during emergency braking.

It also analyses the regulatory differences between Europe and the United States, highlighting the impact of the color and intensity of turn signals on the accident rate, as well as the contribution of DRL devices to reducing daytime accidents.

Overall, the document demonstrates that the integration of adaptive headlights with ADAS technologies and vehicle-to-everything communications represents an essential direction for future generations of vehicles, offering significant benefits in reducing night and daytime accidents.

The study evaluates the impact of adaptive lighting systems AFS and Matrix LED with adaptive high beam on night-time visibility, driver reaction time, and road accident rates, using experimental measurements, glare testing, and comparative statistical data. The results indicate a significant increase in obstacle detection distance and a reduction in driver reaction time, as well as a notable decrease in night-time incidents for vehicles equipped with Matrix LED technology, while the masking functions maintain glare levels within regulatory limits. The practical implications include the advanced integration of adaptive lighting systems with ADAS functions, the modernization of regulatory frameworks, and the adoption of optimized technical solutions aimed at improving overall road safety.

CUPRINS

Fundamente teoretice	5
1.1 Definirea siguranței active și rolul iluminării.....	5
1.2 Evoluția istorică a sistemelor de iluminare auto.....	8
1.3 Tipuri de sisteme de iluminare clasificare și standarde	14
1.4 Iluminarea interioară a autovehiculului	24
1.5 Sisteme de iluminare moderne și complementare. . .	26
Concluzii.....	27
1. Tehnologii și arhitecturi de iluminare activă.....	29
2.1 Control automat fază lungă (AHB)	29
2.2 Faruri Adaptive	31
2.3 Sisteme AFS bazate pe virare și viteză	34
2.4 Adaptive Brake frână adaptivă în sistemul de iluminare auto	36
Concluzii.....	38
2. Siguranța activă soluții și implementări de viitor	40
3.1 Impactul sistemelor în reducerea accidentelor rutiere	40
3.2 Diferențe în sistemele de iluminare auto Europa vs SUA.....	41
3.3 Pixel Real Lamp.....	43
3.4 V2X în integrarea sistemelor.....	44
3.5 Holographic Lidar integrat în faruri	45
4. Studiu de caz, Sistem de iluminare eficacitate și siguranță.....	49
4.1 Introducere și obiective.....	49
4.2 Context tehnologic.....	49
4.3 Eșantion și metodologie.....	50
4.4 Rezultate și analiză.....	51
4.5 Rata accidentelor nocturne.....	52
4.6 Testarea reducerii orbirei (sistem anti-orbire).....	54
4.7 Impact strategic și adoptarea pe scară largă.....	55
CONCLUZII.....	56
CONCLUZII FINALE.....	56
BIBLIOGRAFIE.....	60
ANEXE.....	63

INTRODUCERE

În ultimii ani, evoluția rapidă a traficului rutier și complexitatea mediului de deplasare au generat o creștere accentuată a numărului de accidente, atât pe timp de zi, cât și pe timp de noapte. În ciuda progreselor evidente în domeniul siguranței pasive (cum ar fi structurile deformabile și airbag-urile), analiza statistică reconfirmă un fapt îngrijorător: aproape jumătate din accidentele rutiere grave (inclusiv cele cu urmări fatale) se produc în intervalul nocturn, deși traficul pe timp de noapte reprezintă numai aproximativ 25 % din totalul deplasărilor. Această discrepanță evidențiază importanța esențială a iluminării auto în siguranța activă a autovehiculelor.

Mobilitatea zilnică în condiții de întuneric sau vizibilitate redusă expune șoferii, pietonii și ceilalți participanți la trafic unor riscuri sporite: obstacolele, denivelările și accidentele pot fi detectate mult mai târziu, iar timpul de reacție al conducătorului este mai îndelungat. Limitele de percepție vizuală se adâncesc și mai mult în condiții meteorologice nefavorabile (ceață densă, ploaie torențială sau ninsoare), astfel încât un sistem de iluminare performant – care să nu ofere doar un fascicul puternic, ci și o distribuție omogenă și adaptabilă la scenarii dinamice – devine indispensabil pentru prevenția accidentelor.

Progresele tehnologice ale ultimelor două decenii au transformat radical instalația de iluminare auto. Bibliografia de specialitate și experții din domeniu (Euro NCAP, IIHS, NHTSA, ADAC) confirmă că trecerea de la becurile incandescente și halogen la soluțiile Xenon/HID, LED, Matrix LED și, în perspectivă, la tehnologiile cu panouri OLED și laser, a condus la reduceri semnificative ale accidentelor pe timp de noapte – în intervalul 10–30 % în Europa și Statele Unite, în funcție de nivelul de adoptare și de standardele locale. În paralel, integrarea senzorilor (camere video, LiDAR, radar) și a unităților electronice de control (ECU) a permis optimizarea și adaptarea fasciculului luminos în timp real, în funcție de viteza de deplasare, unghiul de virare, prezența altor vehicule și a pietonilor.

Lucrarea de față, intitulată „Studiu privind analiza sistemelor de siguranță activă privind instalația de iluminare auto”, își propune să investigheze și să evidențieze rolul instalației de iluminare în strategia globală de siguranță activă a autovehiculelor. Obiectivul principal este de a analiza modul în care componentele și tehnologiile de iluminare pot preveni producerea accidentelor rutiere, de a evalua soluțiile curente, de a compara practicile internaționale și de a propune direcții de dezvoltare pentru viitor. Sunt urmăriți patru piloni majori:

1. Fundamentele teoretice și istorice ale iluminării auto, care scot în evidență evoluția de la sistemele mecanice și fotometrice simple, la iluminarea adaptivă și inteligentă;
2. Tehnologiile și arhitecturile de iluminare activă implementate astăzi, care permit optimizarea fasciculului luminos și semnalizarea manevrelor în timp real;

3. Perspectivele viitoare și inovațiile emergente (Pixel Rear Lamp, V2X, holographic lighting cu LiDAR), care vor transforma farurile și stopurile în mijloace de comunicare și prevenție avansată precum și analiza și studiul de caz în implementarea acestor tehnologii.

Pentru corectă implementare și înțelegere a acestor teme, lucrarea a fost structurată în trei capitole principale, fiecare urmărind atât descrierea conceptuală, cât și demonstrarea impactului real asupra reducerii accidentelor. În cele ce urmează, se oferă o scurtă prezentare a conținutului fiecărui capitol, astfel încât cititorul să aibă o imagine clară a parcursului științific și aplicativ.

Capitolul I. Fundamente teoretice începe prin clarificarea conceptului de siguranță activă, definită ca totalitatea măsurilor și tehnologiilor preventive care reduc riscul producerii unui accident. Accentul cade pe importanța iluminării auto ca verigă esențială în acest lanț de prevenție. Sunt prezentate date statistice care arată cum, până la introducerea sistemelor moderne, accidentele nocturne reprezentau 40–45 % din totalul evenimentelor grave. Evoluția istorică a farurilor parcurge câteva etape:

Lămpile cu gaz și farurile incandescente ale începutului de secol XX (cca. 1910–1940), caracterizate prin intensități luminoase reduse (300–400 lm) și durate de viață limitate.

Becurile halogen (anii 1960–1980), care au crescut intensitatea la 800–1000 lm și au dublat durata de viață (1000–1500 ore), diminuând accidentele nocturne cu aproximativ 10 %.

Farurile Xenon/HID (anii 1990–2000), primele introduse în serie de BMW, cu 1500–1800 lm și temperatură de culoare apropiată de 5000–6000 K, care au generat o reducere de 18 % a accidentelor pe drumurile neiluminate.

LED-urile (anii 2005–2010), cu eficiență de 90–100 lm/W și durată de viață de peste 20 000 ore, facilitate de Audi și Mercedes, care au adus o scădere de 25 % a accidentelor nocturne.

Matrix LED și laser (anii 2013–prezent), cu control individual al diodelor pentru evitare de orbire, extindere a fasciculului și o rază de iluminare de peste 600 m; aceste soluții au contribuit la un recul suplimentar de 15 % al accidentelor nocturne.

Pe lângă descrierea detaliată a acestor etape, capitolul explică funcțiile de bază ale fiecărei componente de iluminare: fază scurtă și fază lungă, lumini de zi (DRL), lumini de poziție, semnalizatoare, stopuri, lumini de avarie, lumini de mers înapoi, lumini de ceață, iluminarea plăcuței de înmatriculare și iluminarea interioară. Sunt prezentate standardele ECE (R7, R23, R38, R112, R123, R128 etc.) și FMVSS 108, care reglementează intensitatea luminoasă, unghiurile de dispersie, culorile permise și condițiile de aliniere. În acest fel, cititorul înțelege nu doar avantajele fiecărui tip de lumină, ci și restricțiile normative care le guvernează proiectarea și testarea.

Capitolul II. Tehnologii și arhitecturi de iluminare activă detaliază patru tipuri de sisteme care permit adaptarea în timp real a fasciculului luminos și semnalizarea dinamică a intențiilor șoferului:

1. Controlul automat al fazei lungi (AHB – Automatic High Beam): O cameră frontală detectează farurile și stopurile vehiculelor din față sau din sens opus și comută fără intervenție manuală între fază lungă și fază scurtă. În testele IIHS și Euro NCAP, AHB a redus accidentele frontale nocturne cu 23–25 %.

1. Faruri adaptive: În funcție de unghiul volanului și viteza de deplasare, fasciculul se rotește spre zona în care urmează să intre vehiculul, asigurând o vizibilitate cu până la 30 m mai lungă în curbe și o scădere a accidentelor cu 22–26 %.

2. Sisteme AFS (Adaptive Front-lighting System) bazate pe virare și viteză: Pe lângă orientarea direcțională, AFS utilizează camere și senzori de viteză pentru a umbri selectiv zonele ocupate de alte vehicule, menținând faza lungă în restul traseului. În Germania, AFS a condus la o reducere de 15–18% a accidentelor nocturne în zone neiluminate.

3. Semnalizarea dinamică a frânării (Emergency Stop Signal – ESS și Adaptive Brake Light): ESS activează automat luminile de avarie sau face stopurile să clipească la frânări foarte puternice, avertizând imediat vehiculele din spate. Adaptive Brake Light variază intensitatea și modul de iluminare al stopurilor în funcție de forța de frânare și menține semnalizarea până la accelerarea vehiculului. Implicațiile practice includ o scădere de 22–30 % a coliziunilor din spate, în special în trafic urban dens.

Secțiunea evidențiază modul în care aceste tehnologii interconectate formează o arhitectură unitară de siguranță activă, în care farurile și stopurile nu mai sunt doar surse pasive de lumină, ci instrumente inteligente de prevenire. Sunt prezentate date comparative, studii de caz și analize fotometrice care susțin beneficiile fiecărei soluții. De asemenea, se discută despre provocări, cum ar fi costul de implementare, calibrarea senzorilor și performanța în condiții extreme (ceață densă, ninsoare, ploaie torențială).

Capitolul III. Siguranța activă: soluții și implementări de viitor explorează direcțiile de dezvoltare care vor contura următoarea generație de sisteme de iluminare inteligente:

Impactul general al tehnologiilor de până acum (halogen, Xenon, LED, Matrix LED și DRL) asupra reducerii accidentelor nocturne și diurne (10–30 %) este analizat prin rapoarte statistice Euro NCAP, IIHS și NHTSA. În România, adoptarea creează un recul de 25 % al accidentelor nocturne între 2010 și 2020.

Diferențele normative între Europa și SUA: UE impune semnalizatoare portocalii, DRL cu minimum 300–400 lm și standarde stricte de orbire (ECE R112, R123, R128), în timp ce FMVSS 108 permite semnalizatoare roșii și DRL cu 200 lm. Impactul acestor disconcordanțe se traduce prin rate de accidente frontale nocturne cu 5–7 % mai mari în SUA și coliziuni spate cu 3–5 % mai frecvente în rândurile șoferilor europeni importatori de vehicule americane.

Inovații emergente:

Pixel Rear Lamp cu panouri OLED: Permite controlul la nivel de pixel al suprafeței stopurilor și semnalizarea dinamică a nivelului de frânare, mesaje de avertizare pentru pietoni sau schimbare de bandă. Teste IEEE și studii universitare arată reducerea timpului de reacție cu 0,3–0,5 s (5–7 m la 80 km/h) și prevenirea a până la 40 % din coliziunile față-spate în trafic dens.

V2X (Vehicle-to-Everything): Integrează V2V (comunicare între vehicule), V2I (comunicare cu infrastructura) și V2P (comunicare cu pietonii). Prin V2X, farurile și stopurile pot transmite semnale

de avertizare în timp real către vehiculele din spate, semafoare inteligente sau pietoni cu dispozitive compatibile, conducând la o reducere de 8–12 % a accidentelor în mediul urban.

Holographic lighting cu LiDAR integrat: Elementele difractive din lentile modelează fasciculul cu precizie milimetrică, iar LiDAR-ul creează o hartă 3D a mediului. În testele Universității Carnegie Mellon și LG Electronics, această combinație a redus cu 35–40 % riscul de lovire a animalelor sălbatice pe drumuri extraurbane. Holographic lighting asigură o iluminare uniformă, fără umbre, și reacționează instantaneu la apariția obstacolelor.

Capitolul IV evaluează impactul tehnologiilor AFS și Matrix LED asupra siguranței la volan pe timp de noapte. Pentru aceasta se realizează analize ale vizibilității șoferului în condiții nocturne, determinări ale timpilor de reacție în situații critice, măsurători ale fenomenului de orbire indus de farurile vehiculelor și studii statistice privind rata accidentelor rutiere nocturne. Se urmărește astfel cuantificarea modului în care aceste sisteme avansate de iluminare pot reduce riscul de accidente pe timp de noapte.

Analizele efectuate în acest capitol au relevanță practică deosebită pentru îmbunătățirea siguranței rutiere. Rezultatele obținute pot fundamenta dezvoltarea standardelor de iluminare auto și pot ghida inginerii în proiectarea sistemelor vehiculelor viitoare. De asemenea, înțelegerea modului în care AFS și Matrix LED influențează vizibilitatea și confortul conducătorului auto pe timp de noapte va contribui la formularea recomandărilor și politicilor de siguranță rutieră, cu impact direct asupra reducerii accidentelor nocturne.

Prin aceste inovații, iluminarea auto se transformă într-o rețea proactivă de prevenție și comunicare, unde hardware-ul avansat (panouri OLED, LiDAR, camere video) și software-ul inteligent (algoritmi AI, protocoale V2X) lucrează în sinergie pentru a evita accidentele înainte ca șoferii să realizeze pericolul. În viitor, vehiculele nu vor mai fi doar „utilaje de transport”, ci noduri active într-un ecosistem conectat, în care fiecare far și fiecare stop vor juca un rol decisiv în siguranța rutieră.

Această lucrare își propune să ofere o imagine clară, bazată pe date concrete și studii riguroase, despre modul în care iluminarea auto a evoluat de la un simplu accesoriu la un element strategic în siguranța activă. Structura clară a capitolelor, care acoperă de la fundamentele teoretice până la perspectivele de viitor, permite înțelegerea completă a subiectului și identificarea căilor de optimizare și implementare practică.

BIBLIOGRAFIE

1. Euro NCAP – European New Car Assessment Programme, Technical Reports, 2016–2023
2. NHTSA – National Highway Traffic Safety Administration, Traffic Safety Facts Reports, U.S. DOT, 2015–2022
3. Rapoarte Poliția Rutieră Română – Situația accidentelor în România, 2010–2022
4. European Commission – Road Safety Statistics and Vision Zero Strategy, 2020
5. Apostolescu, N. – „Autovehiculul. Tehnică și dinamică”, Editura MatrixRom, București, 2005

Capitolul I – Fundamente teoretice:

6. Directivele ECE ONU pentru iluminare auto – R7, R23, R38, R48, R112, R123, R128
7. FMVSS 108 – Federal Motor Vehicle Safety Standard, U.S. Department of Transportation
8. SAE International – J1383 Standard for Headlamp Performance
9. Bosch – „Vehicle Lighting Systems: Functional Principles and Technologies”, Bosch Automotive Handbook, 10th Edition, 2018
10. Valeo Lighting Systems – Sisteme inteligente de faruri și iluminare cu LED/OLED, 2020
11. Rădoi, M. – „Sisteme de siguranță activă în autovehicule”, Universitatea Politehnica din București, 2017

Capitolul II– Tehnologii și arhitecturi de iluminare activă:

12. IIHS – Insurance Institute for Highway Safety, Headlight Ratings and Crash Statistics, 2015–2022
13. ADAC Technik Zentrum – Teste comparative pentru sisteme de iluminare, Germania, 2018–2022
14. Hella GmbH & Co. – Tehnologii de iluminare adaptivă pentru automobile, 2018
15. Audi Technical Papers – „Matrix LED and Laser Headlights in Advanced Driver Assistance”, 2019
16. Euro NCAP – European New Car Assessment Programme, Documentație tehnică pentru faruri adaptive
17. NHTSA – Emergency Stop Signal effectiveness, Brake Light research data
18. SAE International – Tehnologii AFS și iluminare direcțională, publicații 2016–2020

Capitolul III – Soluții și implementări de viitor:

19. IEEE Xplore – Journal of Lightwave Technology: OLED rear lighting and adaptive display systems, 2021
20. Carnegie Mellon University & LG Electronics – Teste integrate de iluminare LiDAR și holografică, 2020–2022
21. 5GAA – 5G Automotive Association Reports: V2X lighting communication, 2021–2023
22. C-ROADS Platform Europe – Vehicle-to-Everything (V2X) pilot project results, 2020–2023
23. Audi & BMW Concept Design – Pixel Rear Lamp și OLED technology in tail lighting, 2020
24. European Commission – General Safety Regulation și tendințe privind siguranța rutieră, 2020
25. Rapoarte consolidate Euro NCAP și IIHS – Analiză de impact a tehnologiilor de iluminare asupra reducerii accidentelor, 2015–2023
26. ECE/TRANS/WP.29 – Forumul mondial pentru omologări auto, Geneva, 2019

Capitolul IV- Studiu de caz Sistem de iluminare eficacitate/siguranța

27. UNECE – United Nations Economic Commission for Europe Regulation No. 123 – *Uniform provisions concerning the approval of Adaptive Front-lighting Systems (AFS) for motor vehicles*. Geneva, United Nations, 2008 (cu amendamente ulterioare).

28. UNECE – United Nations Economic Commission for Europe
Regulation No. 48 – Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the installation of lighting and light-signalling devices. Geneva, United Nations.
29. NHTSA – National Highway Traffic Safety Administration
Evaluation of Adaptive Driving Beam Headlighting Systems. U.S. Department of Transportation, Washington D.C., Technical Reports Series.
30. NHTSA – National Highway Traffic Safety Administration
Visual Performance and Glare in Adaptive Forward Lighting Systems. DOT HS Reports, U.S. Department of Transportation.
31. IIHS – Insurance Institute for Highway Safety
Headlight Performance Ratings and Crash Avoidance Effectiveness. Arlington, VA, USA.
32. HLDI – Highway Loss Data Institute
Collision Claim Frequencies for Vehicles Equipped with Advanced Headlighting Systems. Insurance Data Analysis Report.
33. Euro NCAP – European New Car Assessment Programme
Assessment Protocol – Safety Assist and Vision Technologies. Bruxelles, ediții recente.
34. Reagan, I. J., Brumbelow, M. L.
Effects of Adaptive Headlighting on Driver Visual Performance. Human Factors Journal, Vol. 57, No. 4, 2015.
35. Bullough, J. D., Rea, M. S.
Vehicle Forward Lighting: Seeing and Being Seen. Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute.
36. SAE International
SAE J2591 – Adaptive Forward Lighting System (AFS) Performance Requirements. Society of Automotive Engineers.
37. AAA – American Automobile Association
High Beam Headlights: Driver Visibility and Safety Implications. AAA Foundation for Traffic Safety.
38. European Commission – Directorate-General for Mobility and Transport
Road Safety in the European Union – Night-time Accident Statistics. Bruxelles.
39. GlobalLights Automotive (GLA)
Internal Technical Reports on Matrix LED Generation II Systems. Documentație tehnică (studiu de caz).