

**STUDIU PRIVIND ANALIZA SISTEMELOR
DE SIGURANȚĂ ACTIVĂ LA
AUTOVEHICULELE MODERNE**

Masterand: Vălean Filip-Andrei

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

Chișinău 2026

ADNOTARE

Teza de față analizează evoluția, eficiența și perspectivele viitoare ale sistemelor de siguranță activă în industria automotive, evidențiind rolul lor crucial în prevenirea accidentelor rutiere. Lucrarea este structurată în patru capitole principale, abordând aspecte istorice, tehnologice și soluții viitoare.

Capitolul I explorează epoca pre-digitală, marcând lipsa sistemelor de siguranță activă și impactul socio-economic al accidentelor. Sunt prezentate statistici alarmante ale anilor 1990–2000, cu rate ridicate de mortalitate rutieră (15–18 decese/100.000 locuitori în Europa), precum și inițiativele internaționale care au pus bazele standardizării (UNECE, Euro NCAP).

Capitolul II se concentrează pe tehnologiile moderne, precum ABS, ESP, AEB, LKA și BSM, demonstrând eficiența lor în reducerea accidentelor. De exemplu, AEB reduce coliziunile față-spate cu 50%, iar ESP scade accidentele grave cu 40–50%. Sunt analizate și metodologii de evaluare, inclusiv teste Euro NCAP și analize Big Data.

Capitolul III propune soluții viitoare, cum ar fi integrarea inteligenței artificiale (AI), comunicația vehicul-infrastructură (V2X) și simulări avansate. Proiecțiile indică o scădere cu 55% a mortalității rutiere până în 2030 dacă aceste tehnologii vor fi adoptate pe scară largă.

Capitolul IV prezintă un studiu de caz aplicativ privind eficiența sistemelor ADAS în creșterea siguranței rutiere, bazat pe date reale din rapoarte Euro NCAP, NHTSA, IIHS și studii de flotă auto. Sunt analizate performanțele sistemelor AEB, LKA și ACC prin corelarea parametrilor măsurați cu indicatorii de risc rutier. Rezultatele evidențiază reduceri semnificative ale coliziunilor față-spate (până la 50%), ale ieșirilor de pe carosabil ($\approx 20\%$) și ale accidentelor grave în scenarii urbane și extraurbane, confirmând impactul direct al integrării sistemelor ADAS asupra siguranței rutiere și conturând direcții viitoare de cercetare privind optimizarea acestora.

Concluzii: Sistemele de siguranță activă reprezintă o necesitate etică și economică, iar implementarea lor trebuie susținută de standardizare globală, educație și investiții în cercetare. Teza subliniază importanța colaborării între producători, legislatori și utilizatori pentru a asigura o mobilitate sigură și sustenabilă.

ABSTRACT

This master's thesis examines the evolution, efficiency, and future prospects of active safety systems in the automotive industry, highlighting their crucial role in preventing road accidents. The study is structured into four main chapters, covering historical, technological, and future-oriented aspects.

Chapter I explores the pre-digital era, emphasizing the lack of active safety systems and the socio-economic impact of accidents. Alarming statistics from the 1990s–2000s are presented, including high road mortality rates (15–18 deaths/100,000 inhabitants in Europe), as well as international initiatives that laid the foundation for standardization (UNECE, Euro NCAP).

Chapter II focuses on modern technologies such as ABS, ESP, AEB, LKA, and BSM, demonstrating their effectiveness in reducing accidents. For instance, AEB reduces rear-end collisions by 50%, while ESP decreases severe accidents by 40–50%. Evaluation methodologies, including Euro NCAP tests and Big Data analysis, are also discussed.

Chapter III proposes future solutions, such as the integration of artificial intelligence (AI), vehicle-to-infrastructure communication (V2X), and advanced simulations. Projections indicate a 55% reduction in road fatalities by 2030 if these technologies are widely adopted.

Chapter IV presents an applied case study on the effectiveness of ADAS systems in improving road safety, based on real data from Euro NCAP, NHTSA, IIHS reports, and fleet studies. The performance of AEB, LKA, and ACC systems is analyzed by correlating measured parameters with road risk indicators. The results highlight significant reductions in rear-end collisions (up to 50%), run-off-road accidents ($\approx 20\%$), and severe crashes in both urban and extra-urban scenarios, confirming the direct impact of ADAS integration on road safety and outlining future research directions for their optimization.

Conclusions: Active safety systems represent an ethical and economic necessity, and their implementation must be supported by global standardization, education, and research investments. The paper underscores the importance of collaboration among manufacturers, policymakers, and users to ensure safe and sustainable mobility.

CUVINTE CHEIE

siguranță rutieră
siguranță activă
sisteme de siguranță activă
sisteme ADAS
prevenirea accidentelor rutiere
accidente rutiere
mortalitate rutieră
reducerea riscului rutier
mobilitate sigură
mobilitate sustenabilă
industrie auto modernă
ingineria transportului auto
ABS (Anti-lock Braking System)
ESP / ESC (Electronic Stability Control)
AEB (Autonomous Emergency Braking)
LKA (Lane Keeping Assist)
ACC (Adaptive Cruise Control)
BSM (Blind Spot Monitoring)
RCTA (Rear Cross Traffic Alert)
TJA (Traffic Jam Assist)
RSC (Roll Stability Control)
DDD (Driver Drowsiness Detection)
ISA (Intelligent Speed Assistance)
sisteme de iluminare adaptivă
faruri Matrix LED
frânare automată de urgență
controlul stabilității vehiculului
senzori radar
senzori LIDAR
camere video auto
senzori ultrasonici
unitate electronică de control (ECU)
algoritmi de decizie
inteligență artificială (AI)
învățare automată (machine learning)
viziune artificială
procesare în timp real
sisteme electronice auto
siguranță funcțională
impact socio-economic al accidentelor
costuri economice ale accidentelor rutiere
costuri medicale
pierderi de productivitate
politici de prevenție
responsabilitate socială
educație rutieră
siguranță publică
dezvoltare durabilă

CUPRINS

INTRODUCERE.....	1
1. Siguranța activă auto în epoca pre-digitală: Limitări, impact și primele inițiative de reglementare.....	4
1.1. Deficiențele tehnice și lipsa dotărilor de siguranță activă.....	4
1.2. Statistici, impact socio-economic și necesitatea reglementării.....	6
1.3. Literatură de specialitate, limitări și metodologia aplicată.....	8
1.4. Evoluția standardelor și inițiativelor privind siguranța activă.....	9
1.5. Tendințe în dezvoltarea sistemelor de siguranță activă.....	11
Concluzii.....	13
2. Sisteme moderne de siguranță activă: Tehnologii avansate, eficiență și impact în reducerea accidentelor rutiere.....	16
2.1. Introducere și clasificare conceptuală a sistemelor de siguranță activă.....	16
2.2. Analiza funcțională și eficiența sistemelor de siguranță activă.....	17
2.3. Literatură de specialitate și studii de caz.....	21
2.4. Metodologii de evaluare a performanței.....	23
2.5. Date statistice privind eficiența sistemelor de siguranță activă.....	25
Concluzii.....	26
3. Propuneri de soluții și implementări viitoare.....	29
3.1. Evaluarea implementărilor curente ale sistemelor de siguranță activă.....	29
3.2. Propuneri de optimizare și dezvoltare a sistemelor active.....	31
3.3. Proiecții statistice și modele predictive.....	31
3.4. Vizualizări și reprezentări sugestive.....	33
Concluzii.....	34
4. Studiu de caz privind eficiența sistemelor ADAS în siguranța rutieră.....	36
4.1. Rezumat.....	36
4.2. Sinteză critică a literaturii de specialitate.....	37
4.3. Metodologie.....	40
4.4. Colectarea datelor.....	41
4.5. Parametri și variabile măsurate.....	44
4.6. Rezultate.....	48
4.7. Îndeplinirea ipotezelor și interpretarea rezultatelor.....	60
4.8. Direcții viitoare de cercetare.....	66
Concluzii.....	68
CONCLUZII FINALE.....	69
BIBLIOGRAFIE.....	71
ANEXE.....	76

INTRODUCERE

Context și motivație

În ultimele decenii, industria auto a traversat o transformare profundă, marcată de tranziția de la concepte mecanice tradiționale la soluții tehnologice avansate, integrate la nivel de electronică, software și sisteme de comunicații. Această evoluție a fost determinată nu doar de progresul tehnologic și de competiția dintre producători, ci și de presiunile sociale și legislative generate de impactul semnificativ al accidentelor rutiere asupra vieții umane și economiei globale. Organizația Mondială a Sănătății semnalează constant faptul că accidentele de circulație reprezintă una dintre principalele cauze de mortalitate la nivel mondial, cu peste un milion de decese anual și milioane de persoane rănite grav.

În acest context, siguranța rutieră a devenit un element central în proiectarea vehiculelor moderne, iar accentul s-a mutat progresiv de la măsurile reactive, specifice siguranței pasive, către soluții proactive reunite sub conceptul de siguranță activă. Dacă siguranța pasivă urmărește limitarea consecințelor unui impact prin elemente structurale și sisteme de protecție, siguranța activă are ca obiectiv principal prevenirea producerii accidentelor prin anticiparea situațiilor de risc și intervenția automată asupra comportamentului dinamic al vehiculului. Această schimbare de paradigmă reflectă o nouă abordare a mobilității, în care accidentul nu mai este considerat un eveniment inevitabil, ci un fenomen predictibil și, în anumite limite, prevenibil prin tehnologie.

Importanța studierii sistemelor de siguranță activă este amplificată de creșterea accelerată a parcului auto la nivel global, de intensificarea traficului urban și de orientarea politicilor publice către mobilitate durabilă și automatizare. Într-un peisaj în care vehiculul devine un sistem inteligent capabil să perceapă mediul înconjurător și să reacționeze autonom, evaluarea eficienței reale și a limitelor acestor sisteme capătă o relevanță strategică atât din perspectivă inginerescă, cât și societală.

Problema de cercetare și întrebările principale

În pofida progreselor tehnologice semnificative, sistemele de siguranță activă nu sunt infailibile. Performanța acestora poate fi influențată de factori externi precum condițiile meteorologice nefavorabile, calitatea infrastructurii rutiere, complexitatea mediului de trafic sau comportamentele imprevizibile ale participanților la trafic. De asemenea, eficiența acestor

sisteme depinde de modul de interacțiune dintre conducătorul auto și tehnologiile de asistență, precum și de gradul de standardizare și calibrare a funcțiilor implementate.

În acest context, se conturează problema fundamentală a cercetării privind măsura în care sistemele moderne de siguranță activă contribuie în mod efectiv și cuantificabil la reducerea frecvenței și severității accidentelor rutiere, comparativ cu perioadele anterioare introducerii lor pe scară largă. Dincolo de potențialul demonstrat în condiții controlate de testare, rămâne deschisă întrebarea referitoare la impactul real al acestor tehnologii în exploatarea cotidiană a vehiculelor, în contexte variate de utilizare.

Abordarea acestei probleme impune depășirea analizelor exclusiv descriptive sau normative și orientarea cercetării către evaluarea performanței sistemelor de siguranță activă prin raportare la date empirice și indicatori obiectivi de risc rutier. O astfel de perspectivă permite aprecierea realistă a contribuției acestor tehnologii la prevenirea accidentelor, precum și identificarea limitărilor funcționale sau contextuale care pot influența rezultatele obținute.

Obiectivele cercetării

Obiectivul general al cercetării constă în realizarea unei analize comparative a evoluției și eficienței sistemelor de siguranță activă, de la primele soluții de intervenție automată până la sistemele moderne de asistență avansată la condus, cu accent pe impactul acestora asupra reducerii riscurilor rutiere.

În acest sens, cercetarea urmărește investigarea contextului statistic al accidentelor rutiere anterior și ulterior introducerii pe scară largă a sistemelor de siguranță activă, corelarea parametrilor tehnici ai funcțiilor de asistență la condus cu indicatorii de siguranță rutieră și evaluarea eficienței demonstrate de aceste tehnologii în condiții reale de utilizare. Prin integrarea acestor perspective, studiul își propune să ofere o fundamentare obiectivă pentru optimizarea viitoare a sistemelor de siguranță activă și pentru susținerea unor politici publice orientate spre prevenția accidentelor.

Metodologie și design de cercetare

Abordarea metodologică adoptată în această cercetare este una mixtă, combinând analiza cantitativă a datelor statistice cu interpretări calitative și evaluări aplicative. Componenta cantitativă se bazează pe seturi de date longitudinale provenite din surse oficiale și instituții de referință, analizate prin metode descriptive și corelaționale, în vederea

evidențierii relației dintre nivelul de dotare cu sisteme de siguranță activă și evoluția indicatorilor de accidentologie rutieră.

Dimensiunea calitativă completează această analiză prin examinarea unor situații concrete de utilizare și prin interpretarea rezultatelor obținute în evaluări standardizate și analize operaționale. Integrarea acestor metode permite investigarea performanței efective a sistemelor de siguranță activă în contexte reale de trafic, raportând funcționarea acestora la indicatori precum frecvența coliziunilor, tipologia accidentelor și severitatea consecințelor. Prin această abordare integrată, cercetarea urmărește formularea unor concluzii solide și echilibrate, evitând generalizările nefundamentate.

Rezultate și implicații așteptate

Pe baza tendințelor identificate în literatura de specialitate și în datele analizate, se anticipează că sistemele moderne de siguranță activă contribuie semnificativ la reducerea accidentelor grave și fatale, în special în scenarii urbane și extraurbane caracterizate de trafic intens. Funcțiile de frânare automată, control al traiectoriei și asistență la menținerea benzii sunt asociate cu scăderi consistente ale coliziunilor și ale accidentelor cauzate de pierderea controlului vehiculului.

Totodată, cercetarea oferă un cadru coerent pentru evaluarea cost-eficienței sistemelor de siguranță activă, evidențiind faptul că beneficiile obținute prin reducerea accidentelor și a costurilor asociate acestora pot justifica investițiile în implementarea și standardizarea acestor tehnologii. În perspectivă, rezultatele studiului pot susține dezvoltarea unor strategii integrate de siguranță rutieră, bazate pe colaborarea dintre producători, autorități și utilizatori, contribuind la fundamentarea unei mobilități sigure, inteligente și sustenabile.

BIBLIOGRAFIE

Introducere

1. Euro NCAP. (2018). Annual Report – Safety Technologies and Assessments.
2. European Commission. (2023). Road Safety Statistics. Eurostat.
3. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). (2022). Crash Avoidance Measures and Technologies Report.
4. World Health Organization. (2018). Global Status Report on Road Safety.
5. Smith, J., & Brown, L. (2021). „Machine Learning in Automotive Active Safety Systems.” IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, 6(2), 123–135.
6. Zhang, Y., et al. (2020). „Evaluating the Effectiveness of AEB Systems in Reducing Collisions.” Accident Analysis & Prevention, 135, 105351.

1. Siguranța activă auto în epoca pre-digitală: Limitări, impact și primele inițiative de reglementare

7. European Commission. (2003). European Road Safety Action Programme: Halving the number of road accident victims in the European Union by 2010: A shared responsibility. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
https://ec.europa.eu/transport/road_safety
8. World Health Organization (WHO). (2004). World report on road traffic injury prevention. Geneva: WHO Press.
<https://www.who.int/publications/i/item/world-report-on-road-traffic-injury-prevention>

9. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). (2001). Traffic Safety Facts Annual Report.
<https://crashstats.nhtsa.dot.gov/>
10. European Transport Safety Council (ETSC). (1997). Cost-effective EU transport safety measures. Brussels.
<https://etsc.eu/>
11. World Bank. (2000). Road Safety – Economic Appraisal of Transport Projects. Washington, D.C.
<https://www.worldbank.org/>
12. Elvik, R., Høye, A., Vaa, T., & Sørensen, M. (2009). The Handbook of Road Safety Measures (2nd ed.). Bingley, UK: Emerald Group Publishing.
13. OECD. (1997). Road Safety Principles and Models: Review of Descriptive, Predictive, Risk and Accident Severity Models. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development.
<https://www.oecd-ilibrary.org/transport>
14. Transport Research Laboratory (TRL). (1995). Effects of vehicle safety systems: A review. TRL Report 180.
<https://trl.co.uk>
15. ADAC Technik Zentrum. (1998). Sicherheitsbewertung von Fahrzeugen ohne elektronische Assistenzsysteme. München.
16. CARE Database. (1990–2000). Community Road Accident Database. European Commission.
<https://road-safety-statistics.eu/>
17. NHTSA. (1990–2000). National Automotive Sampling System (NASS).
<https://www.nhtsa.gov/research-data>
18. WHO Global Status Report on Road Safety. (2004).
https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_traffic/en/
19. Bosch (2008). Automotive Handbook, 7th Edition. Robert Bosch GmbH.
20. European Commission (2018). Saving Lives: Boosting Car Safety in the EU.

21. UNECE (1958). Agreement concerning the Adoption of Uniform Technical Prescriptions.
22. Volvo Car Corporation (2009). 50 Years of Seatbelt Innovation.
23. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). FMVSS No. 126 - ESC Final Rule.
24. Insurance Institute for Highway Safety (IIHS). Status Report on ESC Effectiveness, 2011.
25. SAE International (2021). J3016: Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems.
26. ISO (2013). ISO 22839: Forward Vehicle Collision Warning Systems.
27. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems – Diverse articole pe tema ADAS și AI.
28. European Union (2019). Regulation (EU) 2019/2144 – General Safety Regulation.

2. Sisteme moderne de siguranță activă: Tehnologii avansate, eficiență și impact în reducerea accidentelor rutiere

29. European Transport Safety Council. (2022). PIN Flash Report 43: Reducing deaths and serious injuries from road collisions. Brussels: ETSC.
30. National Highway Traffic Safety Administration. (2021). Traffic Safety Facts Annual Report. Washington, DC.
31. Insurance Institute for Highway Safety. (2020). Crash avoidance technologies: Effectiveness and deployment. Arlington, VA.
32. Bosch Mobility Solutions. (2023). Real-world performance of AEB and ESP systems in commercial vehicle fleets.
33. Euro NCAP. (2023). Test protocols and assessment criteria. Retrieved from: www.euroncap.com
34. OECD/ITF. (2021). Big Data and Transport Safety. Paris: OECD Publishing.
35. SAE International. (2022). J3016: Levels of Driving Automation.

36. Volvo Group Safety Report. (2022). Safety vision: Towards zero accidents. Gothenburg.

3. Propuneri de soluții și implementări viitoare

37. Insurance Institute for Highway Safety (IIHS), 2023. Crash Avoidance Technologies and their Impact on Safety.
38. Tesla Inc., 2023. Tesla Impact Report. [www.tesla.com]
39. BMW Group, 2023. Driving Assistant Professional – Technical Overview.
40. European Transport Safety Council (ETSC), 2022. Reducing Road Deaths in the EU.
41. European Road Safety Observatory (ERSO), 2024. Advanced Driver Assistance Systems Report.
42. McKinsey & Company, 2023. The Future of Automotive Safety.
43. Euro NCAP, 2023. ADAS Performance Assessment Guide.
44. OECD/ITF, 2021. Road Safety Annual Report.
45. PreScan Simulation Software, Siemens, 2023.
46. CARLA Autonomous Driving Simulator, GitHub, 2024.

4. Studiu de caz privind eficiența sistemelor ADAS în siguranța rutieră

47. NHTSA & MITRE – Real-world Effectiveness of ADAS, Partnership for Analytics in Traffic Safety (PARTS) report, 2025.
48. Logan, D. et al. – User Acceptance of ADAS, Monash Univ. Accident Research Centre study, 2025.
49. AAA Research – ADAS Performance in Adverse Weather, 2021.
50. de Winkel, K. et al. – ADAS Safety Performance (Review), Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, 2025.
51. Shannon-Spicer, R. et al. – Effectiveness of Toyota’s ADAS, SAE Int. Journal, 2021.
52. Euro NCAP – European New Car Assessment Programme: Protocols & Roadmap 2025, 2021.
53. Consumer Reports – Guidelines for Designing ADAS, 2022.
54. Endurance – “Phantom Braking” Phenomenon and Recalls, 2023.

55. A Study on Real-world Effectiveness of Model Year 2015-2023 Advanced Driver Assistance Systems
<https://www.mitre.org/sites/default/files/2025-01/PR-25-0114-Study-Real-world-Effectiveness-Model-year-2015%E2%80%932023-ADAS.pdf>
56. Safety Switch: One in five drivers disable ADAS features, study says | Collision Repair Mag
<https://www.collisionrepairmag.com/technology/adas/article/15751509/safety-switch-one-in-five-drivers-disable-adas-features-study-says>
57. Collision Course: Why Europe's plan to halve road deaths by 2030 ...
<https://fortune.com/europe/2025/03/25/collision-course-europe-plan-to-halve-road-deaths-by-2030-is-stalling-vehicle-safety-phone-addiction/>
58. Road safety in Europe: ADAS mandatory on all vehicles from 2022
<https://www.fercam.com/en-int/insights/road-safety-in-europe--2-2390.html>
59. Effectiveness of Advanced Driver Assistance Systems in Preventing System-Relevant Crashes | Request PDF
https://www.researchgate.net/publication/351644237_Effectiveness_of_Advanced_Driver_Assistance_Systems_in_Preventing_System-Relevant_Crashes
60. Rethinking Advanced Driver Assistance System taxonomies: A framework and inventory of real-world safety performance - ScienceDirect
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590198225000156>
61. Rained Out: Vehicle Safety Systems Struggle to "See" in Bad Weather
<https://newsroom.acg.aaa.com/rained-outvehicle-safety-systems-struggle-to-see-in-bad-weather/>
62. Confusing driver assistance programs just get turned off: Consumer Reports - Canadian Auto Dealer
<https://canadianautodealer.ca/2022/12/confusing-driver-assistance-programs-just-get-turned-off-consumer-reports/>
63. AEB Coming Despite "Phantom Braking" Issues - The BRAKE Report
64. <https://thebrakereport.com/aeb-coming-despite-phantom-braking-issues/>
65. <https://www.precedenceresearch.com/advanced-driver-assistance-systems-market>
66. Automotive News: AEB false activations, NHTSA mandate require ...
https://www.reddit.com/r/MVIS/comments/1ezh5j1/automotive_news_aeb_false_activations_nhtsa/

67. [PDF] Driver Attentiveness to the Driving Task During ADAS Use

<https://eprints.whiterose.ac.uk/id/eprint/201448/1/ADAS%20user%20attentiveness%20report%20final.pdf>

68. Analysis of Impact of Rain Conditions on ADAS - PMC - NIH

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7727794/>

69. AEB Phantom Braking Leads to Recalls and Rear-End Crashes

<https://www.endurancewarranty.com/learning-center/news/aeb-phantom-braking-leads-to-recalls-and-rear-end-crashes/>

70. Countering the 'Phantom Braking' Phenomenon - WardsAuto

<https://www.wardsauto.com/news/archive-wards-countering-the-phantom-braking-phenomenon/796233/>