

STABDŽIŲ ANTIBLOKAVIMO SISTEMOS ĮTAKA TRANSPORTO PRIEMONĖS STABDYMO RODIKLIAMS

Vytenis Surblys^{1,2}, Deividas Navikas^{1,2}, Petras Kaikaris¹

¹Vilniaus kolegija, Olandų g. 16, Vilnius

²Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, Vilnius

Anotacija. Straipsnyje pateiktas lengvojo automobilio stabdymo rodiklių skaitinis skirtumas, kada automobilyje įjungta stabdžių antiblokavimo sistema (ABS) ir kada ji išjungta. Bandymai atlikti vadovaujantis „ISO 21994:2022 Passenger cars — Stopping distance at straight-line braking with ABS — Open-loop test method“ standarte pateikta metodika, siekiant išsiaiškinti ir pagrįsti skaitinėmis reikšmėmis stabdžių antiblokavimo sistemos efektyvumą ir įtaką pagrindiniams automobilio stabdymo rodikliams. Automobilio stabdymo rodikliai (automobilio greitis, pagreitis, stabdymo jėga, stabdymo kelias) fiksuoti „Dewesoft“ inercine navigacijos sistema (INS), skirta tiksliai padėties, objekto pozicijos, greičio ir pagreičio matavimams. Sistema turi naują „Kalmano“ filtravimo algoritmą, kuris integruoja GNSS (globaliosios navigacijos palydovų sistemos) duomenis su MEMS (angl. *Micro-Electromechanical Systems*) pagrįsto inercinio matavimo bloko informacija ir užtikrina stabdymo rodiklių matavimų tikslumą ir stabilumą. Tyrimo rezultatai rodo, kad intensyvaus stabdymo metu automobilis buvo veikiamas $\sim 8,5 \text{ m/s}^2$ išilginio pagreičio, o stabdymo procesas su įjungta ABS yra 0,6 s trumpesnis nei be ABS. Gautas stabdymo kelias 1,04 m yra ilgesnis, kai nenaudojama ABS. ABS užtikrina stabdymo proceso stabilumą: paminos spaudimo jėga yra tolygesnė, pagreitis mažiau kinta, o stabdymo kelias trumpesnis.

Reikšminiai žodžiai: stabdžių sistema, stabdžių antiblokavimo sistema, stabdymo kelias, pagreitis, greitis, stabdymo jėga

Įvadas

Siekiant išsiaiškinti ir pagrįsti skaitinėmis reikšmėmis stabdžių antiblokavimo sistemos (ABS) efektyvumą ir įtaką pagrindiniams automobilio stabdymo rodikliams (automobilio greičiui, pagreičiui, stabdymo jėgai, stabdymo keliui) buvo atliktas bandymas vadovaujantis „ISO 21994:2022 Passenger cars — Stopping distance at straight-line braking with ABS — Open-loop test method“ standartu. Bandymams pasirinkta uždara kelio atkarpa, kurioje buvo atlikti automobilio stabdymo bandymai, atsižvelgus į anksčiau minėtą standartą, naudojant „Dewesoft“ inercinę navigacijos sistemą (INS), skirtą tiksliai išmatuoti padėtį, objekto poziciją, greitį ir pagreitį.

1. Literatūros apžvalga

Didėjant transporto priemonių greičiui, eismo intensyvumui ir žmonių lūkesčiams dėl transporto priemonių saugumo, stabdžių antiblokavimo sistema (ABS) tapo svarbiu transporto priemonių saugos įrenginiu. Stabdžių antiblokavimo sistema serijiniuose automobiliuose pradėta naudoti 1978 m. Stabdžių antiblokavimo sistemos reikia, kad stabdymo metu ratai nebūtų blokuojami, tai yra stabdymo jėgos pasiskirstytų tarp ratų pagal jų sukibimo sąlygas su atraminiu paviršiumi.

Pagrindinis stabdžių antiblokavimo sistemos uždavinys – palaikyti ratų slydimą stabdymo metu artimą kritiniam slydimui. Tuomet pasiekiami geriausių stabdymo rodikliai. Ji ne tik atlieka įprastos stabdžių sistemos funkciją, bet ir apsaugo ratus nuo užblokavimo (Liu et al., 2021).

ABS yra automobilių hidraulinių stabdžių sistemos papildinys, turintis reikšmingą įtaką stabdymo efektyvumui ir vairavimo saugumui. ABS gali sutrumpinti stabdymo kelią ir pagerinti automobilių valdomumą stabdant (Liqun & Qingsong, 2018). ABS yra elektrohidraulinė stabdžių valdymo sistema,

pagrįsta šiuolaikiška stabdžių valdymo technologija, integruota į automobilių darbinį-hidraulinių stabdžių sistemą.

Automobilių elektrohidraulinis stabdymas turi neprilygstamų privalumų, palyginti su tradiciniu hidrauliniu stabdymu, pvz. greitas sistemos reakcijos laikas, grįžtamojo ryšio užtikrinimas, didelis stabdymo efektyvumas (Shengli, 2019).

Kaip efektyvią saugos priemonę ABS naudoja elektroninį valdymo režimą, kad automatiškai reguliuotų rato stabdymo sukimo momentą pagal „transporto priemonės kelio“ sąlygas, kad stabdant nebūtų užblokuotas besisukantis ratas (Tao, 2020).

ABS padidina transporto priemonės saugumą, neleidžia užblokuoti ratų, tačiau veiksmingumas priklauso ne tik nuo sistemos konstrukcijos ir veikimo algoritmo, bet ir nuo padangų ir kelio dangos sąveikos rodiklių. Tradicinės stabdžių sistemos nėra efektyvios dėl ratų blokavimo pavojaus, kai kelio dangos paviršiai skirtingi, o tai turi įtakos transporto priemonės stabilumui ir valdomumui. Abdullah et al. 2025 tyrime sėkmingai pristatytas metodas, leidžiantis pagerinti ABS veikimą esant įvairiems trinties koeficientams.

Nors gamintojai vis daugiau dėmesio skiria automobilio vairavimo saugumui užtikrinti ABS turi tobulintinių efektyvumo aspektų, kurie daugiausiai priklauso nuo sistemos ir vairuotojo elgsenos, esant skirtingiems scenarijams (Zhiqiang & Xi, 2018; Haihong, 2020).

Pasaulio tyrėjai nagrinėja įvairių stabdžių sistemų efektyvumą su ir be ABS, jų įtaką stabdymo kelio ilgiui, analizuojami automobilio dinaminiai rodikliai stabdymo metu. Kita atliekamų tyrimų kryptis yra stabdymo sistemos su ir be ABS efektyvaus poveikio analizė keičiant ABS atskirus ir jungtinius rodiklius.

Allam et al. 2021 atlikti eksperimentiniai tyrimai, siekiant iširti ABS poveikį stabdžių efektyvumui, kai veikimo parametrai, pvz., stabdžių skysčio slėgis ir slydimo greitis, skirtingi. Obagbuwa et al. 2023 tyrimais siekė nustatyti, kaip užtikrinti efektyvų ABS modulatoriaus (bloko) elementų

veikimą, nepriklausomą nuo išorinių rodiklių faktinių (matuojamų realiu laiku) reikšmių.

Ulum ir Patriawan (Ulum ir Patriawan, 2022) sukūrė ir įdiegė ABS, naudodami „Simulink“ programinę įrangą, ir įrodė ABS sistemų pranašumą stabdymo kelio atžvilgiu. Tiek drėgnos, tiek sausos kelio dangos sąlygomis ABS padidintas ratų trinties koeficientas sutrumpina stabdymo kelią (Uzunov, 2022). Be to, ABS pagerina darbinių stabdžių sistemos valdymą, nes leidžia dinamiškai reguliuoti transporto priemonės ratų stabdymo jėgas (Lorenčič, 2023).

Krastev, Karapetkov (Krastev, Karapetkov, 2025) pateikti eksperimentinio tyrimo, skirto motorinių transporto priemonių vairuotojų reakcijos laikui realioje miesto aplinkoje, rezultatai, kai imituojamas pavojingas scenarijus: vairuotojo akiratyje esančioje aklojoje zonoje staiga pasirodo kliūtis. Remiantis surinktais duomenimis, buvo sukurtas matematinis modelis, leidžiantis įvertinti transporto priemonės kinematinis rodiklius stabdymo fazėje ir jį taikyti ABS efektyvumui didinti.

2. Tyrimui naudota įranga

Stabdžių sistemos bandymai fiksuojami „Dewesoft“ sukurta inercine navigacijos sistema (INS), skirta matuoti tikslią padėtį, orientaciją, greitį ir pagreitį. Ši sistema naudoja *Kalmano* filtravimo algoritmą, kuris integruoja GNSS (globaliosios navigacijos palydovų sistemos) duomenis su MEMS (angl. *Micro-Electromechanical Systems*) pagrįsto inercinio matavimo bloko informacija, užtikrindama matavimų tikslumą ir stabilumą. „Dewesoft Navion i2“ (1 lentelė) yra šios sistemos kompaktiškas, patikimas ir tvirtas modelis (1 pav.). Jis turi dvi antenas ir palaiko RTK (angl. *Real-Time Kinematics*) technologiją, leidžiančią pasiekti padėties nustatymo tikslumą iki 1 centimetro. Suderinamas su įvairiomis palydovinėmis sistemomis, tokiomis kaip GPS (L1, L2, L5), GLONASS (L1, L2, L3), BeiDou (B1, B2), Galileo (E1) ir kitomis. Sistema užtikrina tikslus matavimus net kai GNSS signalas ribotas.

1 lentelė. „Navion i2“ prietaiso techninė specifikacija (Dewesoft, 2023)

Sąsaja	Ethernet (10/100), CAN, 2x RS232 (RTK, NMEA)
Darbinė įtampa	9 iki 36 V
Energijos sąnaudos	3,5 W
Darbinė temperatūra	-40 °C iki +71 °C (0,8 °C/min Maks.)
Matmenys	102 mm x 81 mm x 48 mm
Svoris	310 g
Aplinkos apsauga	IEC 60529, IP68

Šaltinis: sudaryta autorių

Pagrindiniai „Navion i2“ matavimo parametrai:

- geografinė platumą, ilgumą ir aukštis;
- orientacija (posvyris ir kryptis);
- greičiai ir kampiniai greičiai;
- automobilio pagreičiai;
- šoninio slydimo kampai.



1 pav. „Navion i2“ matavimo prietaisas ant tiriamo automobilio
Šaltinis: sudaryta autorių

Stabdžių paminos nuspaudimo jėgai matuoti naudojamas jutiklis (2 pav.), jungiamas prie „Dewesoft“ įrangos. Jutiklis matuoja jėgą nuo 0 iki 1 kN, matavimo tikslumas – 1 % (MAHA, 2025).



2 pav. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos jutiklis
Šaltinis: sudaryta autorių

3. Tyrimo metodika

Tyrimui pasirinktas techniškai tvarkingas automobilis. Pagrindiniai automobilio parametrai pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. Tyrimams naudoto automobilio techniniai parametrai

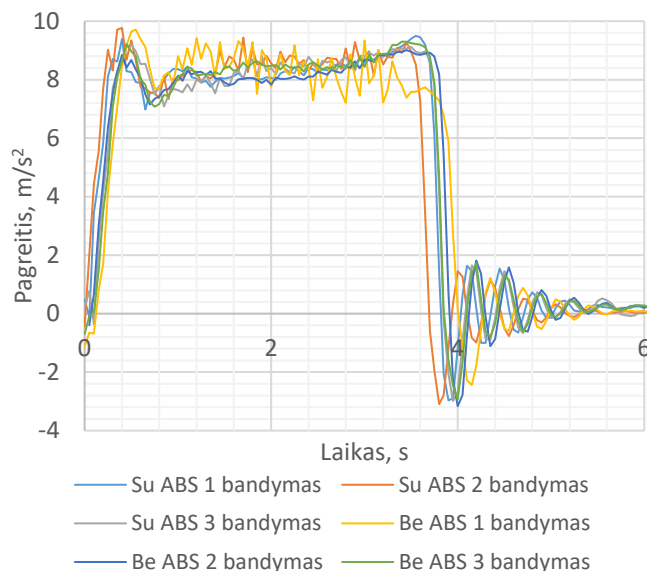
Variklio darbinis tūris	1,9 l
Galia (AG / kW)	130 AG (96 kW)
Pavarų dėžė	5 pavaros, mechaninė
Ilgis x plotis x aukštis	4705 mm x 1745 mm x 1463 mm
Ratų bazė	2702 mm
Priekinių stabdžių diskų diametras	288 mm
Galinių stabdžių diskų diametras	245 mm
Padangų matmenys, tipas	195/65 R15, vasarinės

Šaltinis: sudaryta autorių

Bandymų metu automobilis pasiekia 100 km/h greitį. Automobilis stabdomas maksimaliai nuspaudžiant stabdžių paminą. Bandymai atliekami po 3 kartus – stabdoma su įjungta ir išjungta ABS. Fiksuojama stabdžių paminos nuspaudimo jėga, išilginiai ir skersiniai pagreičiai, tiksli automobilio padėtis ir greitis. Rezultatai pateikti ir išanalizuoti kitame skyriuje.

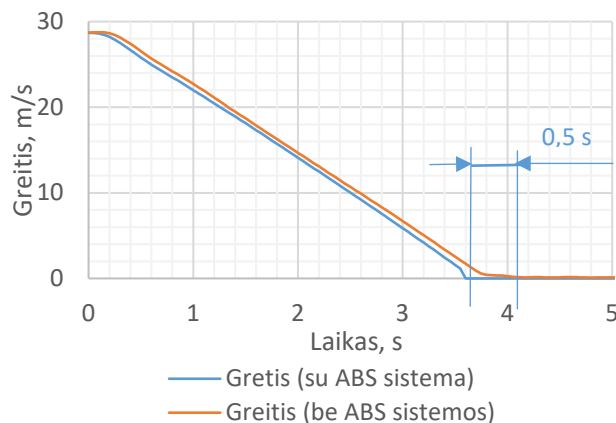
4. Rezultatai

Šiame skyriuje pateikti bandymų rezultatai. Stabdymo metu automobilį veikiantis išilginis pagreitis pavaizduotas 2 pav. Visų bandymų metu pagreičio vertės yra panašios – intensyvaus stabdymo metu automobilis veikiamas $\sim 8,5 \text{ m/s}^2$ pagreičio. Išsiskiria tik 1 bandymo su išjungta ABS rezultatai. Šio bandymo metu intensyviai stabdant pagreitis svyruoja $7,2\text{--}9,3 \text{ m/s}^2$, bet stabdymo trukmė yra panaši kaip ir kitų bandymų su išjungta ABS sistema.



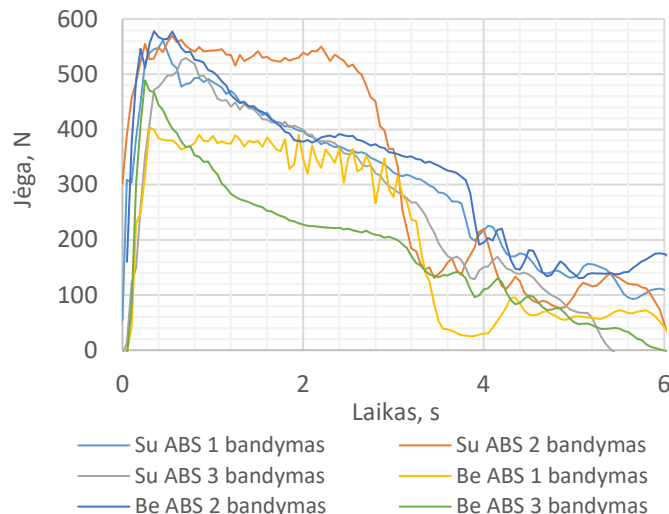
2 pav. Stabdymo metu užfiksuotų pagreičių kreivės
Šaltinis: sudaryta autorių

3 paveiksle pateiktos stabdymo metu užfiksuotų greičių kreivės. Rezultatai pateikti apskaičiuotus vidutines visų bandymų reikšmes su įjungta ir išjungta ABS. Stabdymas su įjungta ABS truko 3,5 s, su išjungta sistema – 4,1 s. Stabdymo trukmė su išjungta sistema yra 0,6 sekundės ilgesnė. Stabdymo kelias su įjungta ABS sistema yra $\sim 28,35 \text{ m}$, su išjungta sistema $\sim 29,39 \text{ m}$. Automobilis be ABS sustojo 1,04 m toliau.



3 pav. Stabdymo metu užfiksuotų greičių kreivės
Šaltinis: sudaryta autorių

Grafike (4 pav.) pavaizduota stabdžio paminos nuspaudimo jėgos (N) priklausomybė nuo laiko šešių bandymų metu: trijų su įjungta ABS ir trijų – su išjungta. Bandymai su įjungta ABS pasižymi paminos nuspaudimo jėga $\sim 500\text{--}600 \text{ N}$, kreivės stabilios, svyravimai nedideli. Su išjungta ABS pasiekiami mažesnė paminos nuspaudimo jėga $\sim 350\text{--}450 \text{ N}$, pastebimi akivaizdūs jėgos svyravimai ypač pirmame bandyme, bendras paminos nuspaudimas ne toks pastovus.



4 pav. Stabdymo metu užfiksuota stabdžio paminos nuspaudimo jėga

Šaltinis: sudaryta autorių

Išvados

Atlikus tyrimą galima daryti šias išvadas:

1. Intensyvaus stabdymo metu automobilis buvo veikiamas $\sim 8,5 \text{ m/s}^2$ išilginio pagreičio. Pastebėta, kad be ABS pagreičio kreivėi būdingi didesni svyravimai ($7,2\text{--}9,3 \text{ m/s}^2$), nors stabdymo trukmė išliko panaši į kitų bandymų be ABS.
2. Nustatyta, kad stabdymo procesas su įjungta ABS yra trumpesnis – automobilis sustojo per 3,5 s, o be ABS – per 4,1 s. Stabdymo kelio skirtumas yra 1,04 m ($28,35 \text{ m}$ su ABS ir $29,39 \text{ m}$ be ABS).
3. Stabdžio paminos nuspaudimo jėga bandymų su ABS metu buvo didesnė ir pastovesnė ($\sim 500\text{--}600 \text{ N}$), palyginti su bandymais be ABS, kur jėga siekė $\sim 350\text{--}450 \text{ N}$ bei išsiskyrė svyravimais.
4. ABS užtikrina stabdymo proceso stabilumą: paminos spaudimo jėga yra tolygesnė, pagreitis kinta mažiau, o stabdymo kelias trumpesnis. Tai rodo, kad ABS padidina automobilio stabdymo efektyvumą ir saugumą.
5. Stabdant be ABS paliekamos stabdymo žymės ant kelio dangos. Tai rodo, kad šio stabdymo metu lokaliai dyla padangos protektorius ir dėl to padangos greičiau gali tapti netinkamos naudoti. Stabdant su ABS padangų dilimas nepastebėtas.

Literatūra

- Abdullah, M. F., Qasem, G. A. A., Farid, M., Lim, H. S., Lee, C. P., Alsakkaf, N. (2025). Adaptive control techniques for improving anti-lock braking system performance in diverse friction scenarios. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 15(1), 260-279. doi:10.11591/ijece.v15i1
- Allam, S., Nader, F., El daheb, H. A., Abdelwahed, K. (2021). Assessment and Comparison Performance of the Conventional and an Anti-Lock Braking System. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 8(9).
- Haihong, W. (2020). Research on the control technology of automobile anti-lock braking system. *Time Auto*, 327(3), 92–93.
- International Organization for Standardization. (2022). *ISO 21994:2022 – Passenger cars – Stopping distance at straight-line braking with ABS – Open-loop test method*.
- Krastev, A., Karapetkov, S. (2025). Experimental determination of driver reaction time and analysis of its influence on the full braking distance of the vehicle. *Journal of Physics: Conference Series*, 3099. doi:10.1088/1742-6596/3099/1/012003
- Liqun, Z., Qingsong, L. (2018). Development prospects of ABS braking under the trend of high-end motorcycle manufacturing. *Motorcycle Technology*, 316(6), 40–46.
- Liu, X., Ma, C., Jiang, Y., Zhang, L., Xue, Y. (2021). Research on anti-lock braking system of electro-mechanical braking vehicle based on feature extraction. *Journal of Physics: Conference Series*, 1982(1). doi:10.1088/1742-6596/1982/1/012001
- Lorenčič, V. (2023). The effect of tire age and anti-lock braking system on the coefficient of friction and braking distance. *Sustainability*, 15(8). doi:10.3390/su15086945
- Obagbuwa, I.C., Zibi, V.M., Makade, M. (2023). Anti-lock braking system using Monte Carlo simulations. In: Das, A.K., Nayak, J., Naik, B., Vimal, S., Pelusi, D. (Eds), *Computational Intelligence in Pattern Recognition (CIPR 2022, vol. 725)*. Springer, Singapore. doi:10.1007/978-981-99-3734-9_53.
- Shengli, Z. (2019). Design and Analysis of Automobile Electromechanical Brake Actuator, *Mechanical Research and Application*, 32(5), 66–69.
- Tao, L. (2020). Design and research of automotive electronic mechanical braking system, *Internal combustion engine and accessories*, 323(23), 32–33.
- Ulum, M., Patriawan, D. A. (2022). Modeling and performance testing of anti-lock braking system (ABS) with variation of road friction coefficient to braking distance, *Rekayasa*, 15(3). 340–345. doi:10.21107/rekayasa.v15i3.16561.
- Uzunov, H., Dimitrov, K. and Dechkova, S. (2022). Experimental determination of the tire-road friction coefficient for a vehicle with anti-lock braking system. *AIP Conference Proceedings*. doi:10.1063/5.0103769.
- Zhiqiang, L., Xi, P. (2018). Research on anti-lock braking test of continuous regenerative braking system for electric vehicles. *Automotive Engineering*, 40(7), 59–66.
- Zongrong, C., Qingzhang, C., Zhengyi, W. (2018). Research on the anti-lock braking system of electric vehicles. *Mechanical Science and Technology*, 281(7), 111–117.
- MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG. (2025) *Technical datasheet: VZM 300 (VP 185016)*. Prieiga per internetą: https://www.maha.de/restriction/check-asset/support_documents/dokumente/Brosch%C3%BCren/MAHA/01_Bremspr%C3%BCftechnik/VZM/TD_MAHA_VZM_300_VP185016_en.pdf?_locale=en.
- DEWESOFT. (2023). *Software user manual, NAVION i2 V23-2* (p. 48).

INFLUENCE OF ANTI-LOCK BRAKE SYSTEM ON VEHICLE BRAKING CHARACTERISTICS

Vytenis Surblis^{1,2}, Deividas Navikas^{1,2}, Petras Kaikaris¹

¹ Vilniaus kolegija/Higher Education Institution

² Vilnius Gediminas Technical University

Summary. The article presents the numerical difference in the braking characteristics of a light vehicle when the anti-lock braking system is engaged and when it is disengaged. The test is performed based on the methodology presented in the standard "ISO 21994:2022 Passenger cars — Stopping distance at straight-line braking with ABS — Open-loop test method" using In order to clarify and substantiate with numerical values the effectiveness of the anti-lock braking system (ABS) and its impact on the main braking indicators of a car, a test was performed based on the standard "ISO 21994:2022 Passenger cars — Stopping distance at straight-line braking with ABS — Open-loop test method". The Dewesoft inertial navigation system (INS) is used to record car braking indicators (car speed, acceleration, braking force, braking distance) for accurate measurements of position, object position, speed, and acceleration. The system uses a new Kalman filtering algorithm that integrates GNSS (Global Navigation Satellite System) data with information from a MEMS (Micro-Electromechanical Systems) based inertial measurement unit to ensure the accuracy and stability of braking performance measurements. The test results show that during intense braking, the car was subjected to a longitudinal acceleration of ~8.5 m/s², and the braking process with ABS engaged is 0.6 s shorter than the braking result obtained without ABS. The braking distance of 1.04 m is longer when ABS is not used. ABS ensures the stability of the braking process: the pedal pressure is more even, the acceleration fluctuates less, and the braking distance is shorter.

Key words: Brake system, anti-lock braking system, braking distance, acceleration, speed, braking force.