

## KELIO DANGOS ĮTAKA STABDYMO EFEKTYVUMUI

**Nojus ŽYGAITIS**, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: [nojus.zygaitis@vdu.lt](mailto:nojus.zygaitis@vdu.lt)

**Artūras KUPČINSKAS**, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: [arturas.kupcinskas@vdu.lt](mailto:arturas.kupcinskas@vdu.lt)

### Santrauka

Šis tyrimas atliekamas, norint nustatyti kelio dangos įtaką stabdymo efektyvumui ir naudojant padangas, skirtas važiuoti bekele. Tai aktualu automobiliams, kuriais važiuojama atlikti miško darbus drėgnuoju laikotarpiu (pavasarij ir rudenį), kai būtent šiuo laikotarpiu automobiliams reikalingas didesnis pravažumas. Darbo metu atlikti stabdymo bandymai naudojant dvi skirtingų tipų padangas ant skirtingų kelio dangos paviršių, esant skirtingiems greičiams. Siekiant iširti ABS sistemos veikimo ypatumus ir jos efektyvumą, skirtingose sąlygose atlikti stabdymo bandymai su įjungta, išjungta ABS sistema ir „OFF-Road ABS“ režime. Tyrimas grindžiamas tiksliai apibrėžtais eksperimentiniais principais, siekiant gauti objektyvius ir patikimus rezultatus. Pagrindinis vertinamas rodiklis – lėtėjimo pagreitis. Tyrimo rezultatai turėtų prisidėti prie išsamesnio supratimo apie tai, kaip kelio danga gali paveikti transporto priemonių stabdymo savybes, ypač, kai naudojamos padangos, specialiai pritaikytos bekelelės transportui.

**Reikšminiai žodžiai:** automobilio stabdymas, padangos, lėtėjimo pagreitis, stabdymas, ABS.

### Įvadas

Šiuolaikinės transporto priemonės pasižymi saugumu, tačiau nelaimingų įvykių išvengti nepavyksta. Dažnai transporto priemonių vairuotojai nepasirenka saugaus greičio ir neatsižvelgia į pagrindinius veiksnius, tokius kaip kelio danga, automobilio techninis tvarkingumas, transporto priemonės padangų būklė, oro sąlygos. Moderniuose automobiliuose montuojamos sudėtingos saugos sistemos, kuriomis aktyviai ir pasyviai padedama išvengti avarių ir sunkių sužalojimų. Vienas iš pagrindinių būdų automobilio saugumui užtikrinti yra efektyvus stabdymas (Vladimirov, 2005). Stabdymas yra viena iš pagrindinių saugaus eismo sąlygų. Kuo mažesnis bus stabdymo kelias, tuo saugesnis bus eismas.

Šiuolaikinės stabdžių sistemos nebeapsiriboja įprastais mechaniniais komponentais – jos kuriamos sudėtingesnės ir apima daugybę elementų, kurių kiekvienas kruopščiai suprojektuotas taip, kad padidintų saugumą ir efektyvumą (Usmani et. al.. Kiekviena stabdžių sistema sudaryta iš stabdymo mechanizmo ir pavaros. Stabdymo mechanizmas stabdo ratus, o pavara jungia valdymo pedalus ar svirtį su stabdymo mechanizmu (Vladimirov, 2005; Kaikaris ir kt., 2008).

Siekiant nugalėti transporto priemonės kinetinę energiją ir automobilį sustabdyti, kiekviename transporto priemonės rate paprastai naudojami trinties stabdžiai (diskiniai ir / arba būgniniai). Pagrindinis šilumos šaltinis tokiose sistemose yra zona, kurioje stabdžių kaladėlė kontaktuoja su stabdymo paviršiumi. Aušinimo paviršiai išskiria šilumą į aplinką. Nepaisant to, kontakto zonoje temperatūra gali siekti iki 900 °C (Jitesh, 2014).

Pagrindiniai automobilio stabdžių mechanizmai, skirti rato sukimosi greičiui mažinti ir jį visiškai sustabdyti, yra diskiniai stabdžiai ir būgniniai stabdžiai. Lengvuosiuose automobiliuose dažniausiai naudojami diskiniai stabdžiai. Šiais laikais būgniniai stabdžiai montuojami tik mikroautobusuose, lengvuosiuose kroviniuose automobiliuose, *pikapuose* ir tik galiniuose ratuose. Tyrimo metu naudotas automobilis priekyje turi diskinius stabdžius o gale – būgninius.

Stabdžių antiblokavimo sistema (ABS) naudojama aviacijoje, motocikluose bei kelių transporte. Ši sistema sukurta tam, kad stabdant automobilį automobilio ratai neužsiblokuotų. Normaliose stabdymo situacijose vairuotojas kontroliuoja stabdymą stabdžių pedalu, tačiau esant slidžiai kelio dangai ar automobilio ratams artėjant prie slydimo ribos, stabdymo kontroliavimą perima ABS sistema., Nepaisant pedalo nuspaudimo jėgos, sistema gali moduluoti kiekvienam ratui tenkančią stabdymo jėgą. ABS sistema – tai sudėtingas mechaninių, hidraulinių ir elektroninių komponentų derinys (Forkenbrock et. al. 1999). Apžvelgus mokslinius tyrimus pastebima, kad egzistuoja situacijos, kai ABS sistema gali prailginti stabdymo kelią. Pavyzdžiui, kai kelio danga pasidengusi sniegu, automobilis be ABS sistemos lėtėja greičiau ( $3,0 \text{ m/s}^2$ ) nei automobilis su ABS ( $2,6 \text{ m/s}^2$ ) (Sokolovskij, 2005). Toks rezultatas gali būti paaiškinamas tuo, kad stabdymo metu užsiblokavę automobilio ratai kontaktuoja su šlapia asfalto danga, ant kurios viršaus yra nedidelis sniego sluoksnis, be to, užsiblokavę ratai stumia ir storina sniego sluoksnį, esantį prieš ratą. Dėl šios priežasties rato stabdymo plotas padidėja, pasiekiamas panašus efektas, kai automobilis stabdomas esant minkštai ar biriai kelio dangai. Panašūs rezultatai gauti, kai 9 skirtingi automobiliai buvo stabdomi žvyrkelyje, ir jų stabdymo rezultatai atskleidė, kad kai ABS sistema išjungta, stabdymo kelias ant tokios dangos sutrumpėja 24.6 % (Forkenbrock et. al. 1999). Taigi, tais atvejais, kai ABS sistema neveikia ar turi trūkumų, automobilį tampa sunkiau kontroliuoti, valdyti važiavimo kryptį.

**Tyrimo tikslas** – iširti, kokią įtaką stabdymo efektyvumui turi skirtingi padangų tipai stabdant su įjungta / išjungta bei „OFF ROAD“ ABS sistema.

Išsikeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Išmatuoti automobilio lėtėjimo pagreičio priklausomybę nuo skirtingų padangų tipų.
2. Išmatuoti lėtėjimo pagreičio priklausomybę, kai ABS sistema yra skirtinguose režimuose.
3. Palyginti stabdymo efektyvumą ant asfalto dangos tarp bekelei skirtų padangų ir universalių padangų.

4. Iširti, kokią įtaką stabdymui ant skirtingų kelio dangų turi ABS sistema.

## Tyrimų objektas ir metodai

Tyrimas atliekamas norint nustatyti kelio dangos įtaką stabdymo efektyvumui naudojant padangas, skirtas važiuoti bekele. Tai aktualu automobiliams, kuriais važiuojama atlikti miško darbus drėgnuoju laikotarpiu (pavasarij ir rudenį) – būtent šiuo laikotarpiu automobiliams reikalingas didesnis pravažumas. Darbo metu atlikti stabdymo bandymai naudojant dvi skirtingų tipų padangas ant skirtingų kelio dangos paviršių, esant skirtingiems greičiams. Norint sužinoti ABS sistemos veikimo ypatumus ir jos efektyvumą skirtingomis sąlygomis, atlikti stabdymo bandymai su įjungta, išjungta ABS sistema ir „OFF-Road ABS“ režime. Tyrimas grindžiamas tiksliai apibrėžtais eksperimentiniais principais, siekiant gauti objektyvius ir patikimus rezultatus. Pagrindinis vertinamas rodiklis – lėtėjimo pagreitis. Tyrimo rezultatai turėtų prisidėti prie išsamesnio supratimo apie tai, kaip kelio danga gali paveikti transporto priemonių stabdymo savybes, ypač kai naudojamos padangos, specialiai pritaikytos bekelės transportui. Šiuo tyrimu norima nustatyti, kokią įtaką jos turi stabdymo efektyvumui važiuojant skirtingomis dangomis.

Viso tyrimo metu naudotas vienas automobilis „VW Amarok“. Automobilis techniškai tvarkingas su galiojančia technine apžiūra bei draudimu. Bandymo metu stabdymas pradedamas nuo 3 skirtingų greičių (40 km/val., 55 km/val., 70 km/val.). Kiekvienas bandymas atliekamas 3 kartus ant tam tikros kelio dangos:

- Asfalto (aplinkos temperatūra 3°C, kelio danga sausa);
- Žvyrkelis (aplinkos temperatūra -2 °C, kelio danga sausa).

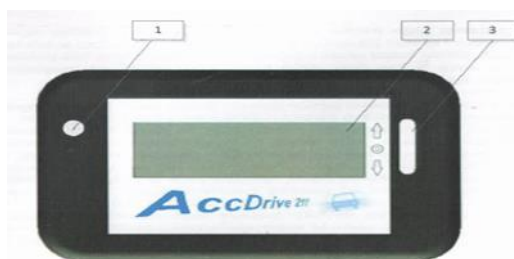
Bandymas atliekamas dviejų skirtingų tipų padangomis (žr. 1 lentelę) su ABS sistema, tuomet be ABS sistemos ir, galiausiai, su ABS sistema, kai automobilyje nuspauštas „OFF ROAD“ mygtukas, bet tik ant žvyro kelio. Stabdymas atliekamas nuspaužiant stabdžių pedalą imituojant avarinį stabdymą, automobiliui pasiekus nustatytą greitį.

**1 lentelė.** Padangų specifikacijos

**Table 1.** Tyre specifications

Padangos pavadinimas	Pagaminimo metai	Išmatavimai	Protektoriaus gylis (mm)	Slėgis (bar)
BF Goodrich Mud-Terrain T/A KM3 toliau(MUD)	2022	245/65R17	10	2.3
Farodo toliau (MS)	2021	255/55R19	7	2.3

Prieš bandymų pradžią automobilyje ant priekinio lango pritvirtinamas prietaisas, skirtas pagreičiui matuoti, „AccDriver 211“ (žr.1 pav., 2 lentelę). Prietaisas yra pritaikytas automobilio tiesinio ir šoninio pagreičio nustatymui. Įrenginyje įdiegti akselerometrai, kurie registruoja tiesinio ir šoninio pagreičio duomenis bandymo metu. Surinkti duomenys saugomi atminties kortelėje tolimesniam naudojimui. Programinė įranga leidžia vizualizuoti tiesinio ir šoninio pagreičio grafikus bei peržiūrėti užfiksuotas reikšmes „Excel“ programoje. Prieš pradėdant bandymą prietaisas įjungiamas, kai automobilis yra stacionarus.



**1 pav.** Pagreičio matavimo prietaiso AccDrive 211 panelės vaizdas

**Fig. 1.** Accelerometer AccDrive 211 panel view

**2 lentelė.** AccDrive 211 specifikacijos

**Table 2.** AccDrive specification

Parametras	Reikšmė
Dydis	105x65x20 mm
Ekranas	132x32 taškų
Pagreičio matavimo ribos	±2g (±20 m·s <sup>-2</sup> )
Pagreičio matavimo tikslumas (esant 25 °C)	0,04 m·s <sup>-2</sup>
Masė	<100 g
Sąsajos su kompiuteriu tipas	USB

## Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

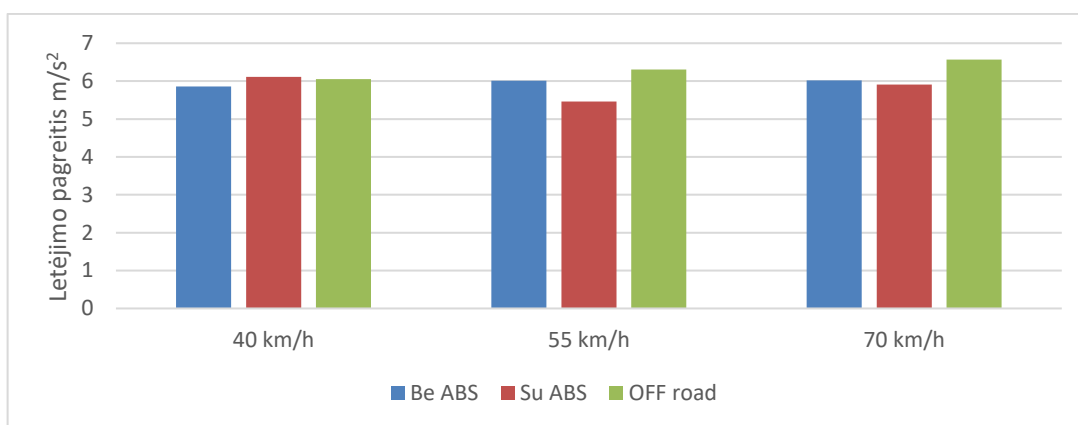
Išmatuotas lėtėjimo pagreitis, taip pat pagal surinktus duomenis gautas maksimalus ir vidutinis lėtėjimo pagreitis esant skirtingoms aplinkybėms. Matavimo metu nebuvo atsižvelgta į šoninį pagreitį, kuris beveik visais atvejais buvo didesnis automobilį stabdant be ABS sistemos (nuo 0,1 iki 1 m/s<sup>2</sup>).

Iš automobilio stabdymo matavimo žvyrkelyje su MUD padangomis randamos didžiausio lėtėjimo pagreičio reikšmės (žr. 2 pav.):

- Automobilį stabdant nuo 70 km/val. greičio didžiausias lėtėjimo pagreitis gaunamas, kai ABS veikia „OFF ROAD“ režimu (6,57 m/s<sup>2</sup>). Tai yra 10,05 % didesnė reikšmė, nei stabdant su ABS sistema, įjungta (5,91 m/s<sup>2</sup>), ir 8,45 % didesnė, kai stabdoma be ABS (6,02 m/s<sup>2</sup>).

- Automobilį stabdant nuo 55 km/val. greičio didžiausias lėtėjimo pagreitis, kuris 13,39 % didesnis už stabdymą su ABS ir 4,75 % didesnis už stabdymą be ABS, gautas stabdant „OFF ROAD“ režime (6,37 m/s<sup>2</sup>).

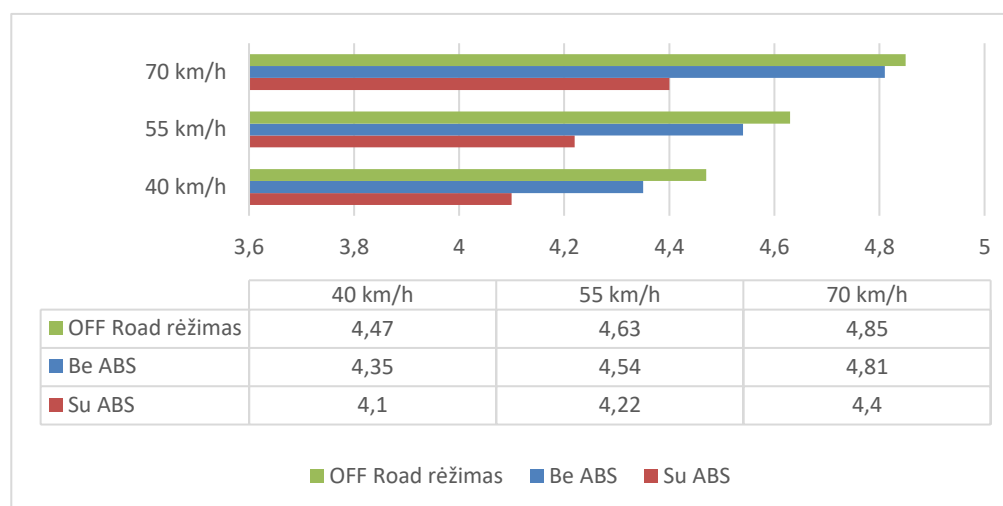
- Automobilį stabdant nuo 40 km/val. greičio didžiausias lėtėjimo pagreitis gaunamas esant įjungtai ABS sistemai (6,11 m/s<sup>2</sup>). Tai yra tik 0,9 % didesnė reikšmė, nei kai stabdymas buvo atliktas „OFF ROAD“ režime ir 3,26 % didesnė nei stabdyme be ABS.



**2 pav.** Maksimalios lėtėjimo pagreičio reikšmės bandymus atliekant žvyrkelyje su MUD padangomis.

**Fig. 2.** Maximum deceleration value for gravel tests with MUD tyres.

Didžiausias lėtėjimo pagreitis padarė įtaką ir bendram vidutiniam per viso stabdymo laikotarpį gautam lėtėjimo pagreičiui.



**3 pav.** Vidutinė lėtėjimo reikšmė per visą stabdymo laiką bandymus atliekant žvyrkelyje su MUD padangomis.

**Fig. 3.** Average deceleration value over the total braking time for gravel tests with MUD tyres

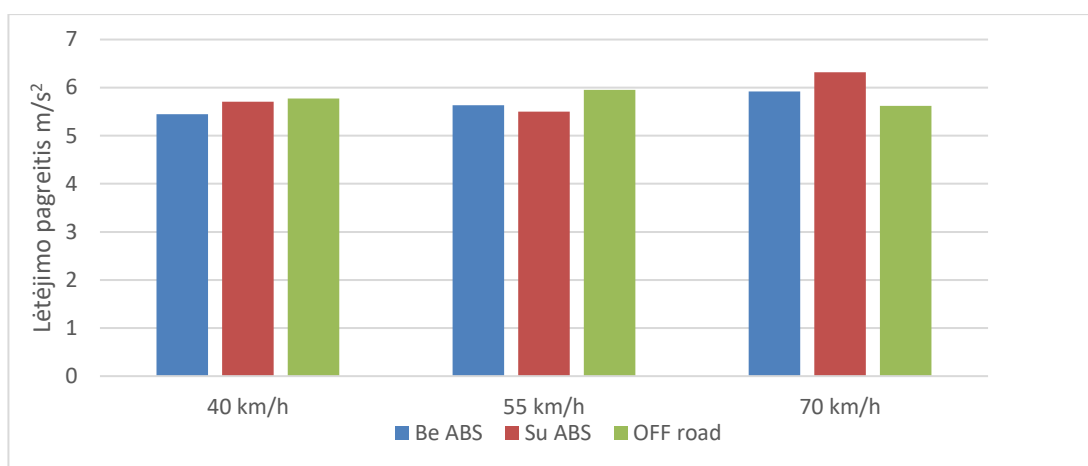
Iš 3 pav. pateiktų duomenų matyti, kad stabdant žvyrkelyje ABS sistema sugeneruoja mažiausią lėtėjimo pagreitį, kuris vidutiniškai, esant skirtingiems greičiams, yra 8,81 % mažesnis, lyginant su stabdymu, kai naudojamas „OFF ROAD“ režimas, ir 7,72 % mažesnis stabdant be ABS. Tuo tarpu, nors stabdymas be ABS buvo tik 1,79 % mažiau efektyvus už „OFF ROAD“ režimą, tačiau tokio stabdymo metu automobilis tampa nevaldomas ir stabdymo metu sunku keisti judėjimo trajektoriją.

Iš automobilio stabdymo matavimo žvyrkelyje su MS padangomis randamos didžiausio lėtėjimo pagreičio reikšmės (žr. 3 pav.) ir teigiama, kad:

- Automobilį stabdant nuo 70 km/val. greičio didžiausias lėtėjimo pagreitis yra tuomet, kai ABS įjungtas (6,32 m/s<sup>2</sup>). Tai yra 12,45 % didesnė reikšmė, nei stabdant su „OFF ROAD“ (5,62 m/s<sup>2</sup>) ir 5,3 % didesnė reikšmė, kai stabdoma be ABS (5,92 m/s<sup>2</sup>).

- Automobilį stabdant nuo 55 km/val. greičio didžiausias lėtėjimo pagreitis, kuris yra 8,11 % didesnis už stabdymą su ABS ir 5,21 % didesnis už stabdymą be ABS, gautas stabdant „OFF ROAD“ režime (5,95 m/s<sup>2</sup>).

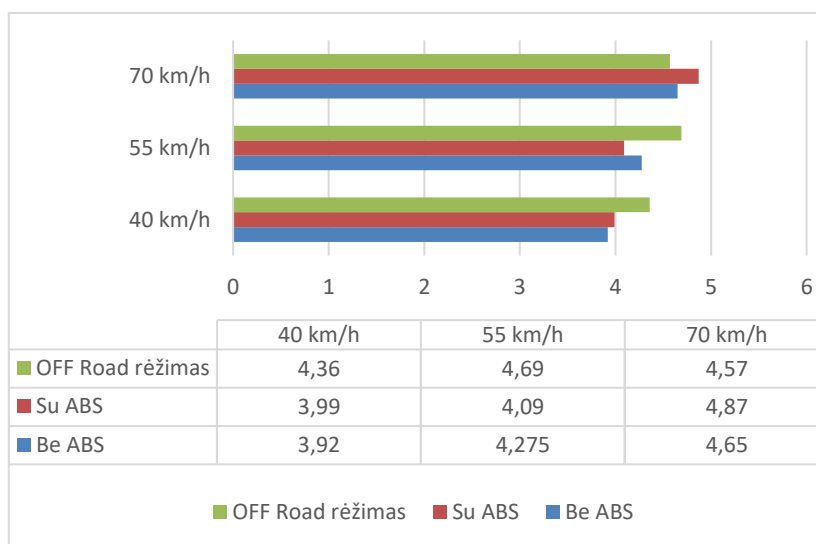
- Automobilį stabdant nuo 40 km/val. greičio didžiausias lėtėjimo pagreitis yra su ABS sistema „OFF ROAD“ režime (5,77 m/s<sup>2</sup>). Tai yra tik 1,2 % didesnė reikšmė nei tuomet, kai buvo stabdoma su įjungta ABS sistema (5,70 m/s<sup>2</sup>) ir 5,62 % stabdant be ABS.



**4 pav.** Maksimalios lėtėjimo pagreičio reikšmės bandymus atliekant žvyrkelyje su MS padangomis.

**Fig. 4.** Maximum deceleration value for gravel tests with MS tyres.

Apskaičiuavus vidutinį lėtėjimo pagreitį per visą stabdymo laiką teigiama, kad „OFF ROAD“ režimu išvystomas didžiausias pagreitis, kuris vidutiniškai, esant skirtingiems greičiams, yra 4,54 m/s<sup>2</sup>, o tai yra 4,92 % daugiau, lyginant su stabdymu, kai ABS įjungtas, ir 5,69 % daugiau, kai ABS išjungtas. Skirtumas tarp stabdymo su ABS ir be ABS yra tik 0,81 % (žr. 5 pav.).



**5 pav.** Vidutinė lėtėjimo reikšmė per visą stabdymo laiką bandymus atliekant žvyrkelyje su MS padangomis.

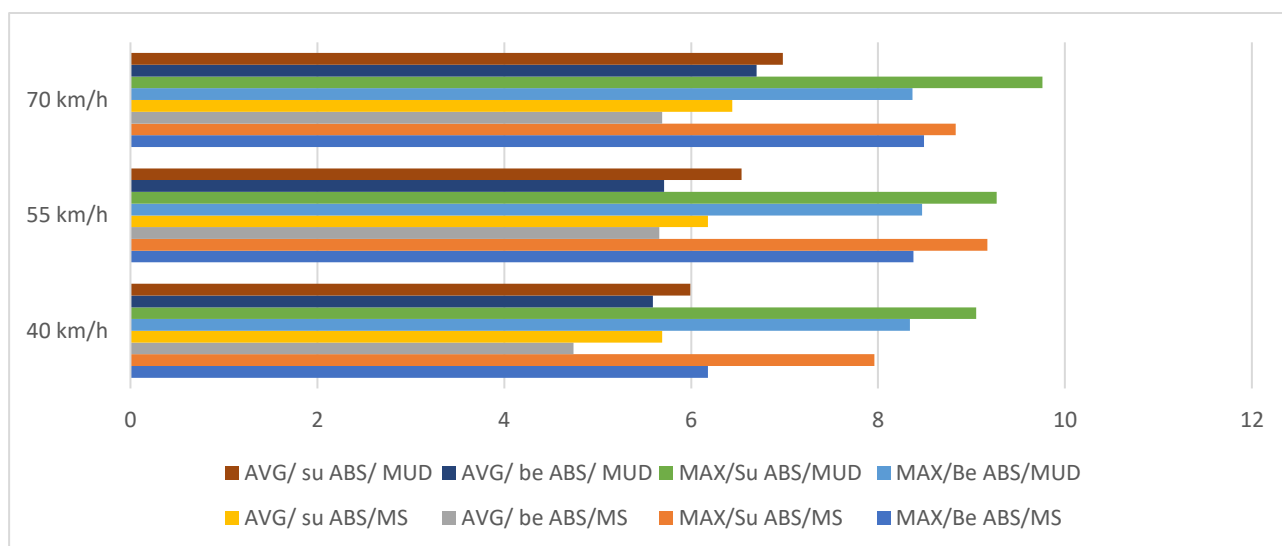
**Fig. 4.** Average deceleration value over the total braking time for gravel tests with MS tyres.

Stabdymo bandymus atliekant ant asfalto dangos su MS ir MUD padangomis visais bandymo atvejais, kai buvo stabdoma su ABS, pasiektas didžiausias vidutinis ir maksimalus lėtėjimo pagreitis (žr. 6 pav.).

Šiame grafike vaizduojamos pagreičio reikšmės tokia tvarka: lėtėjimo pagreitis – MAX(maksimali lėtėjimo reikšmė)/ AVG (vidutinė lėtėjimo reikšmė per visą stabdymo laiką); ABS režimas – su ABS, be ABS; padangų tipas – MUD(bekelės padangos) / MS (universalios padangos).

Padangos, skirtos važiuoti bekele, nepablogina stabdymo efektyvumo stabdant automobilį ant asfalto. Gauti duomenys rodo, kad maksimalus lėtėjimo pagreitis, stabdant be ABS, buvo vidutiniškai 8,5 % (stabdant su ABS 7,55 proc.) didesnis, lyginant su MS padangomis, o vidutinis lėtėjimo pagreitis, stabdant su ABS, 6,08 %, stabdant be ABS – 10,38 % didesnis.

Lyginant lėtėjimo pagreičius žvyrkelyje pastebima tai, kad bekelės padangos dėl savo konstrukcijos, gilaus ir agresyvaus protektoriaus rašto automobilį stabdo greičiau.



**6 pav.** Vidutinės per visą stabdymo laiką ir maksimalios lėtėjimo reikšmės bandymus atliekant ant asfalto dangos su MS ir MUD padangomis.

**Fig. 6.** Average and maximum deceleration value for gravel and asphalt tests with MS and MUD tyres.

- Kai greitis prieš ekstremalų stabdymą yra 40 km/val. lėtėjimo pagreičiui įtakos, koku ABS režimu stabdoma, yra padaroma mažiausiai, skirtumas tarp skirtingų režimų ir padangų yra apie 7 %.
- Skirtumas tarp MS ir MUD padangų, kai stabdoma be ABS, yra 4,9 % bekelės padangų naudai. Didžiausias skirtumas yra tuomet, kai MUD ir MS padangomis stabdoma važiuojant 70 km/val. ir naudojant OFF ROAD režimą. MS padangos šiuo atveju išvysto 14,46 % mažesnę nei didžiausias lėtėjimo pagreitį.

## Išvados

1. Ištyrus automobilio lėtėjimo pagreitį, priklausomai nuo skirtingų padangų tipų, pastebėta, kad skirtingos padangos gali turėti įtakos automobilio stabdymo efektyvumui. Tyrimas parodė, kad MUD padangos gali suteikti geresnę sukibimą žvyruota kelio danga, o tai lemia greitesnį ir efektyvesnį lėtėjimo pagreitį, kai, palyginus visus gautus duomenis, didžiausias lėtėjimo pagreitis yra 4,51 % didesnis, o vidutinis lėtėjimo pagreitis 3,13 % didesnis, lyginant su MS padangomis.

2. Ištirta ABS sistemos įtaka automobilio stabdymui skirtinguose režimuose. Rezultatai rodo, kad ABS sistema demonstruoja skirtingus veikimo rezultatus, priklausomai nuo to, ar ji yra įjungta, išjungta ar veikia „OFF ROAD“ režime. Kiekvienas režimas turi savo įtaką lėtėjimo pagreičiui ir tai atskleidžia, kaip ABS sistema prisitaiko prie įvairių kelio sąlygų. Stabdant ant asfalto, veikiant ABS sistemai, MUD padangos išvystė 10,23 % didesnę maksimalų lėtėjimo ir 7,79 % didesnę vidutinį lėtėjimo pagreitį, nei stabdant be ABS. Stabdant MS padangomis – analogiškai 11,61 % ir 12,25 %.

3. Tyrimo metu nustatyta, kad bekelei skirtos padangos nesumažina stabdymo efektyvumo ant asfalto dangos, lyginant su universaliosiomis padangomis. Apskaičiuoti duomenys parodo, kad MUD padangos vidutiniškai išvystė 8,87 m/s<sup>2</sup> maksimalų pagreitį ir 6,25 m/s<sup>2</sup> vidutinį lėtėjimo pagreitį, MS padangos – 8,17 m/s<sup>2</sup> maksimalų ir 5,73 m/s<sup>2</sup> vidutinį lėtėjimo pagreitį. Tai rodo, kad, nepaisant to, jog šios padangos yra skirtos neasfaltuotiems keliams, jos teikia pakankamą sukibimą su asfaltu ir nekenkia stabdymo efektyvumui.

4. Ištirta, kaip ABS sistema daro įtaką stabdymui ant skirtingų kelio dangų. Rezultatai parodė, kad ABS sistema gali gerinti stabdymo efektyvumą įvairiose sąlygose. Ji prisideda prie stabdymo kontrolės ir sumažina riziką, susijusią su ratų blokavimu. Ant žvyrkelio, ABS sistemai veikiant „OFF ROAD“ režimu ir stabdant MUD padangomis, maksimalus lėtėjimo pagreitis yra 7,66 %, o vidutinis – 2,77 % didesnis, lyginant stabdymą su ABS. Su MS padangomis maksimalus lėtėjimo pagreitis stabdant šiame režime buvo 8,81 % didesnis, o vidutinis lėtėjimo pagreitis – 7,34 % didesnis, nei stabdant su ABS.

## Literatūra

1. Forkenbrock, G., Flick, M., Garrott, W. R. 1999. *A comprehensive light vehicle antilock brake system test track performance evaluation*, No. 1999-01-1287. SAE Technical Paper.

2. Hohmann, C., Schiffner, K., Oerter, K., Reese, H. 1999. Contact analysis for drum brakes and disk brakes using ADINA. *Computers & structures*, Vol. 72(1-3), 185-198.
3. Jitesh, S. 2014. Antilock braking system (ABS). *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, Vol. 3(4), 253.
4. Kaikaris, P. B., Basakirskas, A., Mačiulis, A. A. Automobilių remontininko rengimas. 3 knyga. Vilnius., p. 155–205.
5. Sokolovskij, E. 2007. Automobile braking and traction characteristics on the different road surfaces. *Transport*, Vol. 22(4), p. 275-278.
6. Usmani, D., Mohan, R., Mewada, C. S., Goga, G. 2023. A comprehensive literature review on the recent advances in braking systems technology using FEA. In *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 2484, No. 1, p. 012034).
7. Vladimirov, O. 2005. *Lengvojo automobilio su hidrauline stabdžių sistema stabdymo proceso parametrų tyrimas*. daktaro disertacija: technologijos mokslai, transporto inžinerija: Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius, p. 103.

## **EFFECT OF ROAD SURFACE ON BRAKING PERFORMANCE**

### **Summary**

This study is carried out to determine the effect of road surface on braking performance when using off-road tyres. This is relevant for vehicles used for forestry work during the wet season (spring and autumn), which is the period when vehicles need to have a higher level of traction. Braking tests were carried out using two different types of tyres on different road surfaces at different speeds. In order to know the characteristics of the ABS system and its performance under different conditions, braking tests were carried out with the ABS system on, off and in the OFF-Road ABS mode. The study is based on well-defined experimental principles in order to obtain objective and reliable results. The results of the study should contribute to a better understanding of how the road surface can affect the braking performance of vehicles, in particular when using tyres specifically designed for off-road use.

**Keywords:** car braking, tyres, deceleration, braking, ABS.