

AUTOMOBILIO STABDŽIŲ EFEKTYVUMO TYRIMAS, AUTOMOBILIŲ VEIKIANT SKIRTINGOMS APKROVOMS

Mantas ABLIAULIŪNAS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: mantas.abliauliuonas@vdu.lt

Santrauka

Straipsnyje analizuojami automobilio stabdymo parametrai automobilį veikiant skirtingoms apkrovoms, vertinant lėtėjimo pagreičio ir ratų stabdymo jėgų reikšmes, kurios gautos atliekant du atskirus bandymus. Abu bandymai atlikti imituojant skirtingą keleivių skaičių ir jų išsidėstymą automobilyje. Pirmuoju bandymu atliktas automobilio padangų stabdymo jėgos matavimas, antruoju – ekstremalus stabdymas realiomis sąlygomis. Iš automobilio padangų stabdymo jėgos bandymų rezultatų nustatyta, kad mažinant padangų slėgį, padangų stabdymo jėga ir tuo pačiu stabdymo efektyvumas mažėja. Kintantis keleivių skaičius automobilyje labiausiai daro įtaką galinių padangų stabdymo efektyvumui: didžiausi pokyčiai gauti galiniame kairiajame rate 4,63 % intervale, mažiausi – priekiniame dešiniajame rate 0,58 % intervale, esant 3 bar padangų slėgiui. Atliekant ekstremalaus stabdymo bandymą, gauta mažiausia tiesinio ir didžiausia šoninio pagreičio reikšmė, kai automobilyje yra maksimalus keleivių skaičius, atitinkamai 9,18 m/s² ir 1,01 m/s², o tai leidžia teigti, kad stabdymo efektyvumas ir stabilumas yra mažiausi.

Reikšminiai žodžiai: pagreitis, stabdymas, apkrova.

Įvadas

Automobilių saugumo klausimas yra vienas iš svarbiausių prioritetų automobilių naudotojams ir kitiems eismo dalyviams. Tai sukuria poreikį plėtoti įvairias automobilio saugumo technologijas, pagrįstas jų efektyvu. Svarbu, kad automobilio aktyvios ir pasyvios saugos sistemos būtų tvarkingos. Automobiliai eksploatuojami įvairiomis oro sąlygomis, dėl to vairuotojai susiduria su vairavimo sunkumais. Ilgas stabdymo kelias dėl prastų automobilio dinaminės veiksnų – vienas iš jų.

Automobilio susidūrimo su kliūtimi pozicija ir greitis yra svarbiausi veiksniai avarijos metu, nulemiantys susidūrimo padarinius (Zou et al., 2011), o transporto priemonės stabdžių sistema labiausiai nulemia, kaip greitai bus sumažintas greitis iki susidūrimo momento. Tačiau ne tik automobilio stabdymo efektyvumą nulemia stabdžių sandara, bet ir automobilio dinaminiai veiksniai, kurie turi tiesioginį poveikį automobilio stabdymo keliui (Ferreira et al., 2009).

Lietuvos automobilių techninėse apžiūros stotyse visais atvejais automobilių stabdymo efektyvumas yra tikrinamas automobiliui esant stacionarioje būsenoje (<https://www.vta.lt>) ir tai neparodo, kaip automobilis stabdo realiomis sąlygomis, ir yra atsižvelgiama tik į stabdžių mechanizmo būklę, bet ne padangų sukibimas su keliu. Esama situacija paskatino išnagrinėti (M1 klasė) automobilio padangų stabdymo efektyvumą matuojant padangų stabdymo jėgą, nustatant stabdymo efektyvumą ir kaip šie rezultatai atitinka realias stabdymo efektyvumo sąlygas, atliekant ekstremalaus stabdymo bandymą.

Tyrimo tikslas – nustatyti padangų slėgių ir ratų vertikaliųjų apkrovų įtaką automobilio stabdymo efektyvumui.

Išsikeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Nustatyti automobilio ratų vertikaliąsias apkrovas, esant skirtingoms automobilio apkrovoms ir keičiant jų pasiskirstymą automobilyje.
2. Nustatyti automobilio padangų stabdymo jėgas atliekant bandymą, esant skirtingoms apkrovoms ir keičiant jų pasiskirstymą, ir padangų slėgiams.
3. Atlikti ekstremalaus stabdymo bandymą išmatuojant stabdymo pagreitį, esant skirtingoms automobilio apkrovoms ir keičiant jų išsidėstymą automobilyje, kai gamintojo rekomenduojamas padangų slėgis yra 2,6 bar.
4. Įvertinti, kaip automobilyje esantis masių pasiskirstymas daro įtaką automobilio stabdymo efektyvumui, naudojant stabdymo jėgos nustatymo ir ekstremalaus stabdymo bandymų rezultatus.

Tyrimų objektas ir metodai

Tyrimo objektas – M1 klasės automobilis VW Passat B8 Variant, kuriame sumontuotos 215/60 R16 Pirelli Winter Sport 5 (2022 m.) padangos.

Eksperimentiniai tyrimai buvo atliekami keičiant masių išsidėstymą automobilyje. Masių išsidėstymas automobilyje buvo imituojamas tokiomis kombinacijomis:

- tik vairuotojas (V),
- V ir keleivis priekyje,
- V ir keleivis gale kairėje,
- V ir keleivis gale dešinėje,
- V ir keleiviai priekyje ir gale kairėje,
- V ir keleiviai gale kairėje ir dešinėje,
- V ir keleiviai priekyje, gale kairėje ir dešinėje,
- maksimalus keleivių skaičiui (kartu su vairuotoju).

Keleiviams automobilyje imituoti buvo naudojami smėlio maišai, atitinkantys 75 kg keleivius (55 kg ant sėdynės ir 20 kg ant automobilio grindų).

Eksperimentiniai tyrimai esant skirtingiems masių išdėstymams atlikti dviem etapais:

- pirmuoju etapu tyrimai atlikti išmatuojant ratų vertikaliąsias apkrovas ir vėliau atliekant stabdymo jėgos nustatymo bandymą, neįtvirtinto vežimėlio iš po rato traukimo metodu. Stabdymo jėgos matavimai atlikti, kai padangų slėgis: 3 bar, 2,5 bar, 2,0 bar, 1,5 bar.

- Antruoju etapu atliktas eksperimentinis ekstremalaus stabdymo bandymas, kai padangų slėgis yra 2,6 bar (gamintojo rekomenduojamas padangų slėgis).

Pirmuoju eksperimentinio tyrimo etapu išmatuotos ratų vertikališios apkrovos, keičiant masių išsidėstymą automobilyje. Matavimai atlikti su ašinėmis svarstyklėmis „Zemic Europe“ ant horizontalaus paviršiaus. Matavimo metu vienu kartu buvo matuojami tik vienos ašies ratai (svarstyklės turi du matavimo padus), o išlaikant automobilio kėbulo lygiagreumą kelio paviršiui, po ne matuojamos ašies ratais buvo pakios kompensacinės plokštės, atitinkančios svarstyklių aukštį.

Padangų stabdymo jėgos matavimai atlikti ant horizontalaus cementbetonio paviršiaus, automobiliui įjungus stovėjimo stabdį ir ant „P“ (parkavimo) režimo. Išilgai rato važiavimo krypties po automobilio ratu pakiosamas neįtvirtintas vežimėlis, kurio pasipriešinimo riedėjimui koeficientas su viršutine cementbetonio danga yra maksimaliai mažas (pilyginamas nuliui). Kiti ratai užkeliami ant kompensacinių plokščių, atitinkančių vežimėlio aukštį. Prie vežimėlio tvirtinamas dinamometras „AEP transducer TC-TM- 50 kN“, kuris tolygiai traukiamas tvirtinimo juostos pagalba (žr. 1 pav.). Traukimas vykdomas prieš automobilio judėjimo kryptį ir fiksuojama maksimali traukimo jėga, bandymas pakartojamas 3 kartus. Bandymai atlikti atskirai su kiekvienu ratu, keičiant padangų slėgius ir masių išsidėstymą automobilyje. Padangų slėgis matuojamas manometru „Bituxx“.

Iš stabdymo jėgos ir vertikališios rato apkrovos gautų rezultatų apskaičiuojamas stabdymo efektyvumas:

$$z_{rato} = \frac{F_{rato}}{m_{rato}} * 100\% \quad (1)$$

Čia, F_{rato} – atskiro automobilio rato padangos stabdymo jėga N,

m_{rato} – atskiro automobilio rato vertikališio svorio jėga kg,



1 pav. Padangos stabdymo jėgos matavimas naudojant prietaisą „AEP transducers TC-TM-50 kN“

Fig. 1. Tire braking force measuring by using device „AEP transducers TC-TM-50 kN“

Antrasis eksperimentinių tyrimų etapas atliktas realiomis sąlygomis, ant asfaltbetonio paviršiaus, esant 10 °C lauko temperatūrai ir sausai kelio dangai. Padangų slėgis visais masių išsidėstymo automobilyje atvejais buvo lygus 2,6 bar. Automobilyje buvo įmontuota „ACC Drive 211“ automobilio tiesinio ir šoninio pagreičio matavimo įranga (akselometras). Stabdymo bandymai atliekami pasiekus 50 km/val. važiavimo greitį (su išjungta ESP sistema) – stabdymas staigus iki visiško sustojimo. Bandymai pakartoti po 3 kartus, esant skirtingam masių išdėstymui. Esant nepavykusiam bandymui, jis buvo kartojamas.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Iš pateiktų vertikalųjų apkrovų rezultatų (žr. 1 lentelę) matyti, kad labiausiai apkrautas priekinis dešinysis ratas, esant maksimaliam keleivių skaičiui, ir mažiausiai apkrautas galinis dešinysis ratas, esant tik vairuotojui.

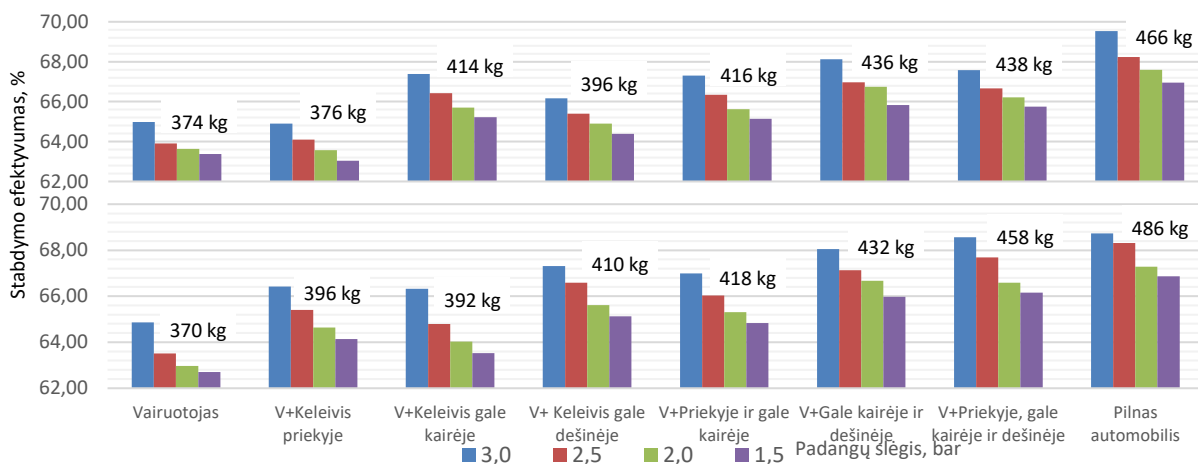
1 lentelė. Ratų vertikališios apkrovos esant skirtingiems keleivių išsidėstymams

Table 1. Vertical loads on the wheels at the different position

Keleivių išsidėstymas automobilyje	Automobilio ratų vertikališioji apkrova kg			
	K.Priekinis	D.Priekinis	K.Galinis	D.Galinis
Vairuotojas	468	452	374	370
V+ Keleivis priekyje	478	490	376	396
V+ Keleivis gale kairėje	484	450	414	392
V+ Keleivis gale dešinėje	466	468	396	410
V+ Keleiviai priekyje + gale kairėje	494	488	416	418
V+ Keleiviai gale kairėje + dešinėje	482	466	436	432
V+ Keleiviai priekyje+ gale kairėje + dešinėje	492	502	438	458
Pilnas automobilis	502	510	466	486

Stabdymo efektyvumo rezultatai atskleidžia (žr. 2 pav., 3 pav.), kad mažinant padangos slėgį stabdymo efektyvumas mažėja. Ši tendencija pastebima visų 4 automobilio ratų tyrimų rezultatuose. Mažinant padangos slėgį padangos sąlyčio su keliu paviršiaus plotas didėja ir tuo pačiu keičiasi kontakto paviršiaus forma, dėl šios priežasties pasikeitęs padangos slėgis turi įtakos padangos stabdymo rodikliams.

Iš galinių kairiojo ir dešiniojo ratų stabdymo rezultatų (žr. 2 pav.) galima matyti, kad didėjant vertikaliosioms ratų apkrovoms stabdymo efektyvumas didėja. Didžiausias stabdymo efektyvumas nustatytas, kai automobilyje yra maksimalus keleivių skaičius, esant maksimaliam slėgiui padangose: kairiojo rato stabdymo efektyvumas lygus 69,53 %, o dešiniojo 68,72 %, esant 3 bar padangų slėgiui. Šiais atvejais efektyvesnis stabdymas yra kairiojo rato, nors ir ratų vertikalioji apkrova didesnė dešiniajame rate (žr. 1 lentelę), tačiau skirtumas minimalus – 0,08 %. Mažiausia rezultatų reikšmė nustatyta kairiojo rato, kai automobilyje vairuotojas ir keleivis priekyje, dešiniojo rato, kai automobilyje tik vairuotojas, esant 1,5 bar padangų slėgiui. Pirmuoju atveju gauta reikšmė – 63,03 %, o antruoju – 62,70 % (žr. 2 pav.).

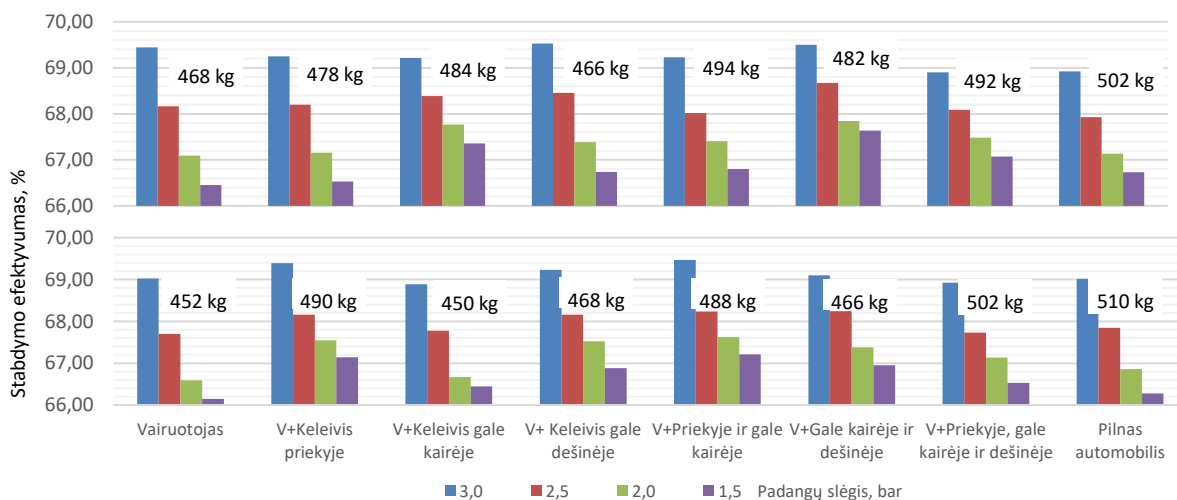


2 pav. Galinio kairiojo (viršuje) ir dešiniojo (apačioje) rato stabdymo efektyvumas esant skirtingiems padangų slėgiams ir keleivių išsidėstymui

Fig. 2. Rear left (top) and right (bottom) wheel braking performance at different tire pressures and passenger positions

Analizuojant priekinės ašies ratų parametrus (žr. 3 pav.), matomos kiek kitokios padangų stabdymo efektyvumo priklausomybių nuo skirtingų masių išdėstymo tendencijos nei galinės ašies ratų. Didėjant ratų vertikaliosioms apkrovoms (žr. 1 lentelę), stabdymo efektyvumas mažėja, tačiau matomas didesnis stabdymo efektyvumo reikšmių stabilumas tarp skirtingų tos pačios ašies ratų, lyginant su galine ašimi. Ypač tai pastebima esant maksimaliam slėgiui padangose (žr. 2 pav.). Šiuo atveju rezultatų pokyčiai 0,64 % ribose. Didžiausias stabdymo efektyvumas gautas: kairiojo rato – 69,53 %, dešiniojo rato – 69,47 %, kai padangos vertikalioji apkrova lygi 466 kg ir 488 kg atitinkamai, esant maksimaliam slėgiui padangose. Tuo tarpu esant tokiam pačiam slėgiui padangose, mažiausias stabdymo efektyvumas gautas: kairiojo rato – 68,90 %, dešiniojo rato – 68,92 %, kai padangos vertikalioji apkrova lygi 492 kg ir 502 kg atitinkamai (kai automobilyje vairuotojas, keleivis priekyje ir keleiviai gale kairėje ir dešinėje), esant 3 bar slėgiui padangose.

Priekinės ašies ratų mažiausios stabdymo efektyvumo reikšmės gautos esant minimaliam slėgiui (1,5 bar) padangose: kairiojo rato 66,45 %, dešiniojo rato 66,15 %, kai padangos vertikalioji apkrova lygi 468 kg ir 452 kg atitinkamai (kai automobilyje tik vairuotojas).



3 pav. Priekinio kairiojo (viršuje) ir dešiniojo (apačioje) rato stabdymo efektyvumas esant skirtingiems padangų slėgiams ir keleivių išsidėstymams

Fig. 3. Front left (top) and right (bottom) wheel braking performance at different tire pressures and passenger positions

Atliekant ekstremalaus stabdymo bandymo rezultatų analizę, galima matyti, kad visais atvejais, išskyrus atvejį, kai automobilyje vairuotojas ir gale kairėje keleivis, gautas šoninis pagreitis nukreiptas į dešinį kelio kraštą, kurio maksimali vertė lygi $1,01 \text{ m/s}^2$, esant pilnam automobiliui (žr. 2 lentelę). Didėjant šoniniam pagreičiui, didėja automobilio nestabilumas stabdymo metu, todėl ši reikšmė yra ypač svarbi automobilio stabdymo parametrams ir ji tiesiogiai priklauso ne tik nuo automobilio apkrovos, bet ir galimai nuo automobilio sandaros stabdžių sistemos ir kelio profilio savybių.

2 lentelė. Ekstremalaus stabdymo bandymo rezultatai, čia V – vairuotojas, P – priekyje keleivis, GK – keleivis gale kairėje, GD – keleivis gale dešinėje, Tiesinis – tiesinis stabdymo pagreitis (maks), m/s^2 , Šoninis – šoninis stabdymo pagreitis (maks), m/s^2 .

Table 2. Extreme braking test results, here V- driver, P- front passenger, GK- rear left passenger, GD- rear right passenger, Tiesinis- rectilinear braking deceleration (max), m/s^2 , Šoninis- sideways braking deceleration (max), m/s^2 .

V		V+P		V+GK		V+GD		V+GK+GD		V+P+GK		V+P+GK+GD		Pilnas automobilis	
Tiesinis	Šoninis	Tiesinis	Šoninis	Tiesinis	Šoninis	Tiesinis	Šoninis	Tiesinis	Šoninis	Tiesinis	Šoninis	Tiesinis	Šoninis	Tiesinis	Šoninis
-	-0,26	-	-0,48	-9,83	0,33	-	-0,41	-9,88	-0,17	-	-0,61	-9,58	-0,86	-9,18	-1,01
10,21		10,08				10,22				10,13					

Tiesinė stabdymo pagreičio reikšmė yra pagrindinė automobilio sustojimo laiko charakteristika. Laikas, per kurį pasiekiami nusistovėjęs pagreičio reikšmė, ir jos dydis nulemia sustojimo laiką. Stabdymo metu automobilio masės centras persislenka į priekinę automobilio dalį, todėl yra labiau apkraunama priekinė automobilio ašis. Didžiausios tiesinio stabdymo pagreičio vertės nustatytos atvejais, kai automobilyje vairuotojas su keleiviu gale dešinėje ir esant tik vairuotojui, gautos vertės lygios $10,22 \text{ m/s}^2$ ir $10,21 \text{ m/s}^2$ atitinkamai. Mažiausia tiesinio ir didžiausia šoninio pagreičio reikšmė gauta, kai automobilyje yra maksimalus keleivių skaičius, atitinkamai $9,18 \text{ m/s}^2$ ir $1,01 \text{ m/s}^2$, o tai leidžia teigti, kad stabdymas yra mažiausiai stabilus ir efektyvus. Kai automobilyje vairuotojas ir keleivis kairėje, matomas žymus maksimalaus tiesinio stabdymo pagreičio sumažėjimas, šiuo atveju dėl didžiausios kairės ir dešinės pusių ratų apkrovų skirtumo (priekinių ir galinių kairės pusės ratų apkrovų suma 898 kg , o dešinės 842 kg), matoma vienintelė maksimalaus automobilio stabdymo šoninio pagreičio reikšmė nukreipta į kairįjį kelio kraštą (žr. 2 lentelę).

Išvados

1. Keleivių išsidėstymas automobilyje ir padangų slėgis turi įtakos stabdymo efektyvumui. Kintantis keleivių skaičius automobilyje labiausiai veikia galinių padangų stabdymo efektyvumą: didžiausias pokytis $4,63\%$ gautas galiniame kairiajame rate, mažiausias – priekiniame dešiniajame $0,58\%$, esant 3 bar padangų slėgiui. Didžiausi stabdymo efektyvumai (visais bandomaisiais atvejais) gauti esant maksimaliam bandomajam padangų slėgiui (3 bar), mažinant padangų slėgį, stabdymo efektyvumas mažėja.

2. Atveju, kai didžiausias skirtumas tarp kairės ir dešinės pusės ratų vertikalios apkrovų sumų (esant vairuotojui ir keleiviui kairėje), automobilis stabdymo metu pradeda krypti didesnės ratų vertikalios apkrovos kryptimi (į kairįjį kelio kraštą). Tačiau šiam parametrai įtakos turi kelio profilio išgaubtumas ir automobilio stabdžių sistemos būklė, nes esant paskirstytai automobilio apkrovai (kai skirtingų ašių ratų vertikalios apkrovos panašios), automobilis krypta į dešinę kelio pusę.

3. Ekstremalaus stabdymo bandymo metu nustatyta, kad stabdymas yra mažiausiai stabilus ir mažiau efektyvus pilnai pakrovus automobilį, kadangi gautas mažiausias maksimalus tiesinis stabdymo pagreitis $9,18 \text{ m/s}^2$ ir didžiausia šoninio pagreičio reikšmė $1,01 \text{ m/s}^2$, nukreipta į dešinę kelio pusę. Efektyviausi stabdymai ir tuo pačiu stabilesni buvo automobilyje esant vairuotojui ir keleiviui gale dešinėje, ir esant tik vairuotojui, tiesinio stabdymo pagreičio reikšmės gautos $10,22 \text{ m/s}^2$ ir $10,21 \text{ m/s}^2$ atitinkamai.

Literatūra

1. Dažniausiai pasitaikantys gedimai. (s. a.). Transeksta. Gauta 2022 m. lapkričio 29 d., <https://www.vta.lt/privalomoji-technine-apziura/i-ka-atkreipti-demesi/dazniausiai-pasitaikantys-gedimai/>.
2. Ferreira, C., Ventura, P., Morais, R., Valente, A. L. G., Neves, C., & Reis, M. C. 2009. Sensing methodologies to determine automotive damper condition under vehicle normal operation. *Sensors and Actuators A: Physical*, 156(1), p. 237–244. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2009.03.035>.
3. Zou, T., Yu, Z., Cai, M., & Liu, J. 2011. Analysis and application of relationship between post-braking-distance and throw distance in vehicle–pedestrian accident reconstruction. *Forensic Science International*, 207(1), p. 135–144. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.09.019>.

RESEARCH OF THE EFFICIENCY OF CAR BRAKING UNDER DIFFERENT LOADS

Summary

The article analyses car braking parameters under different loads, evaluating the values of deceleration and wheel braking forces, which were obtained during two separate tests. Both tests were carried out by simulating different numbers of passengers and their arrangement in the automobile. In the first, the measurement of the braking force of the

automobile's tires was carried out, and in the second, extreme braking in real conditions. From the results of the car tire braking force tests, it was found that reducing the tire pressure reduces the braking force of the tires and, at the same time, the braking efficiency. Changing the number of passengers in the car has the greatest influence on the braking performance of the rear tires: the largest changes were obtained in the rear left wheel in the range of 4.63 %, the smallest in the front right wheel in the range of 0,58 %, at 3 bar tire pressure. In the extreme braking test, the lowest and highest lateral acceleration values were obtained with the maximum number of passengers in the car, 9,18 m/s² and 1,01 m/s², respectively, which suggests that braking is the least stable and effective.

Keywords: deceleration, braking, load.