

# PADANGŲ SAVYBIŲ ĮTAKA AMORTIZATORIŲ EFEKTYVUMO MATAVIMUI

KRISTINA KEMZŪRAITĖ<sup>1</sup>, VIDAS ŽURAILIS<sup>2</sup>, DARIUSZ WIĘCKOWSKI<sup>3</sup>

Vilnius Gediminas Technical University, Automotive Industry Institute (PIMOT)

## Santrauka

Straipsnyje analizuojama skirtingo tipo padangų ir oro slėgio jose įtaka amortizatorių efektyvumo matavimui. Bandymai atlikti pagal Eusama metodiką amortizatorių efektyvumo nustatymo stendu „Safeline 400/800“. Literatūros apžvalgoje pateikiama su straipsnio tematika susijusių naujausių tyrimų apžvalga. Tyrimui naudotos daug eksploatuotos vasarinės ir neintensyviai važinės žieminės padangos. Įvertinama oro slėgio padangose (kuris keičiamas [1,6 ... 3,0] bar intervalo ribose) įtaka amortizatorių efektyvumo kitimui. Išanalizuota koreliacija tarp vibracijų žadinimo plokštės ir rato vertikalaus pagreičio. Atliktų tyrimų duomenys vaizduojami grafiškai. Apibendrinami rezultatai apie amortizatorių efektyvumo kitimą dėl padangų savybių ir kaip ratas atkartoja stendo vibravimo plokštės vertikalų pagreitį ir pateikiamos išvados.

**Raktiniai žodžiai:** koreliacija, efektyvumas, EUSAMA, amortizatorius, padangos, oro slėgis

## 1. Įvadas

Automobilio pakaba apima svarbiausius transporto priemonės mazgus ir yra labiausiai pažeidžiama automobilio konstrukcijos dalis. Pakabos konstrukcija turi užtikrinti pakankamas rato ir kelio dangos sukibimo savybes, važiavimo komfortą, eismo saugumą.

Pagrindinis pakabos uždavinys – susilpninti kėbulo (amortizuotosios masės) virpesius, gaunamus per ratus iš kelio paviršiaus. Nuolatos kelio nelygumų sukeliama smūgiai ilgai pažeidžia jungiamuosius pakabos elementus, veikiančios didelės apkrovos trumpina elastingų elementų eksploatacinį laiką. Nuo pakabos detalių būklės priklauso ne tik vairavimo komfortas, bet ir automobilio eksploatacijos saugumas. Beveik visi šiuolaikiniai automobiliai turi tam tikros konstrukcijos pakabą su standumo ir slopinimo savybes turinčiais elementais, todėl kėbulas su jame sumontuota įranga, kaip amortizuotoji masė, turi tam tikrą judėjimo laisvę pakabos elementų ir ratų atžvilgiu. Nors dažniausiai slopinimo elementais vadinami amortizatoriai, pirmoji automobilio dalis, kuri reaguoja į kelio

<sup>1</sup> Vilnius Gediminas Technical University, Department of Automobile Transport, J.Basanavičiaus 28, 03-224 Vilnius, Lithuania, e-mail: kristina.kemzuraite@vgtu.lt

<sup>2</sup> Vilnius Gediminas Technical University, Department of Automobile Transport, J.Basanavičiaus 28, 03-224 Vilnius, Lithuania, e-mail: vidas.zurailis@vgtu.lt

<sup>3</sup> Automotive Industry Institute (PIMOT), ul. Jagiellońska 55, 03-301 Warsaw, Poland, e-mail: d.wieckowski@pimot.org.pl, tel. +48 22 777 70 92

nelygumus ir švelnina (slopina) smūgius į kėbulą, yra oro pripūstos padangos. Analizuojant automobilių amortizatorių efektyvumo kitimą kaip sudėtinės transporto priemonės dalies, bet neardant tiriamojo objekto, yra svarbu kuo tiksliau imituoti pakabos darbą kelyje.

Apskritai amortizatorių efektyvumo nustatymui naudojamos kelios amortizatorių tikrinimo metodikos.

Siūbavimo metodas [4]. Juo galima tik apytikriai nustatyti amortizatorių būklę. Šis metodas paremtas tuo, kad yra matuojamas amortizatoriaus judėjimo greitis, imituojant automobilio svyravimus. Tačiau toks metodas nėra labai tikslus ir geras. Tai greičiau skirta subjektyviam amortizatorių būklės įvertinimui.

Numetimo metodas. Jo metu naudojamas numetimo mechanizmas, imituojantis transporto priemonės vienos ašies svyravimų slopinimą įveikiant vieną kliūtį. Pagal tai vėliau ir nustatoma pakabos būklė, tai yra šis metodas įvertina, kaip greitai kėbulo ir pakabos svyravimai nurimsta.

Rezonansinių amplitudžių palyginimo metodas. Jis visiškai skirtingas nei prieš tai minėtų. Kiekvienas transporto priemonės ratas yra atskirai judinamas 15 Hz dažniu ir rato judėjimo kelias užrašomas ant apskrito popierinio disko. Pakabos būklės įvertinimas yra griežtai susietas su kiekvieno rato duomenų palyginimu. Todėl reikia įsitikinti, kad pakabos elementai (spyruoklės, pa-dangos, amortizatoriai) nebuvo pakeisti arba, jei buvo pakeisti, tai jie yra vienodų charakteristikų.

Dažniausiai naudojami EUSAMA ir BOGE amortizatorių efektyvumo tikrinimo metodai. Jie palengvina amortizatorių techninės būklės įvertinimą patikimumo sąvokomis geras ar blogas. EUSAMA tyrimo metodo esmė yra transporto priemonės saugumas, kuris dažniausiai nusakomas sukibimu su kelio danga. Tyrimo metu EUSAMA reikšmė matuojama kaip minimalus procentinis padangos vertikalios prispaudžiamosios jėgos likutis tarp padangos ir vibravimo plokštės vertikalio rato svyravimų metu.

Matuojant amortizatorių efektyvumą EUSAMA metodu, su vibruojančia plokšte kontaktuojantis automobilio elementas yra neamortizuotoji masė (padanga). Kaip jau minėta, vibracijos dėl kelio paviršiaus pirmiausia priimamos per padangas ir tik vėliau perduodamos pakabai ir kėbului. Priklausomai nuo oro slėgio padangoje, šis konstrukcinis elementas gali skirtingai reaguoti į ratų spaudimo jėgas tiek realiomis važiavimo sąlygomis, tiek bandymo metu. Šio tyrimo metu vertinamas padangos slopinimas ir siekiama išanalizuoti oro slėgio padangoje įtaką amortizatorių efektyvumo matavimo rezultatams EUSAMA metodu.

## 2. Literatūros apžvalga

Dauguma mokslininkų tyrinėja triukšmo problemas dėl padangų. Pavyzdžiui, nagrinėjamas padangos vibracijų sukiamas triukšmas ir jo sklidimas dėl padangų paviršiaus reakcijos į kelio nelygumus [5]. Straipsnyje [8] pateikiamas elementarus 3D būdas atsiktiniam padangų vibracijų numatymui. Taigi ir vidinį bei išorinį triukšmą dėl šių žadinių. Kelio nelygumai modeliuojami dažniausiai pasitaikančio kelio profilio spektriniu tankiu, darant

prielaidą, kad kelias yra izotropinis paviršius. Straipsnyje [3] charakterizuojami esminiai kelio nelygumų parametrai, kurie įtakoja padangos protektoriaus vibracijas ir pateikia informaciją apie padangų keliamo triukšmo sumažinimą. Detalus kelio nelygumų poveikis padangų vibracijoms įvertinamas naudojant padangos ir kelio kontakto modelį.

Apžvelgus pripažintas padangų virpesių mokslo sritis, matoma, kad jau seniai nagrinėjama oro pripūstos padangos plokštumos vibravimo charakteristikos, tariant, kad judant padanga kontakto zonoje yra apskritimo pavidalo [10].

Mokslinėje literatūroje taip pat nagrinėjami įvairių padangų natūralūs virpėjimo dažniai ir slopinimas vertikalia kryptimi. Padangų modaliniai parametrai vertikalia kryptimi nustatyti naudojant dažnio reagavimo funkcijos metodą. Padangose oro slėgis buvo keičiamas. Kad būtų pasiektas teorinis natūralus virpėjimo dažnis ir formos pavidalas, padangos virpėjimo plokštuma sumodeliuota tartum apskritimas. Rezultatai parodė, kad eksperimentinės sąlygos gali būti vertinamos kaip kriterijai, keičiantys natūralų virpėjimo dažnį ir slopinimo koeficientą [1].

Analizuojamos ir automobilio padangos, kuri važiuoja per kliūtį (lentelę), vibracijos charakteristikos. Automobilio padangų modelistikuojamas skaitine analize bei eksperimentu. Automobilio padanga priimama kaip 7 laisvės laipsnių sistema. Apsvarstytas pateiktos padangos projektavimo poveikis. Tyrimo rezultatas patvirtino, kad pateiktos padangos projektavimo faktorius sumažino padangos ir rato vibravimo energiją [9].

Remiantis EUSAMA tyrimo metodu, Lenkijos mokslininkai savo straipsnyje [6, 11] vertina sausos trinties svarbą pakaboje. Pateiktas automobilio ketvirčio modelis. Vaizdinis modeliavimas buvo atliktas programa MATLAB-Simulink. Pateikti mokslinio tyrimo modelio rezultatai patvirtina sausos trinties įtaką EUSAMA metodo rezultatų vertinimui. Todėl tokį slopinimą yra svarbu įtraukti į modelius, naudojamus amortizatorių būklės diagnostavimo nustatymui.

Tyrinėjama ir oro slėgio padangose bei traktoriaus greičio įtaka dinaminei rato apkrovai ir galinės ašies vibracijoms. Tyrimai atlikti ant asfalto ir smėliuoto priemolio lauke keičiant traktoriaus greitėjimą ir oro slėgį galinėse padangose [7].

Straipsnyje [2] nagrinėjamas oro slėgio padangose ir judėjimo pirmyn greičio poveikis traktoriaus vibracijoms. Tiriamas traktorius, važiuojantis skirtingais greičiais, su skirtingu oro slėgiu padangose ir skirtinguose žemės drėgmės lygiuose. Naudojant tris akcelerometrus eksperimentų metu buvo matuojami vertikalių vibracijų pagreičiai priekinėje ir galinėje ašyse bei traktoriaus kėbulo vibracijų pagreičiai trijų ašių kryptimis. Rezultatai parodo, kad ypatingai vibracijos kinta priklausomai nuo judėjimo pirmyn greičio kitimo ir oro slėgio galinėse padangose.

### 3. Tyrimų modelis

EUSAMA metodo principinis modelis ir automobilio dinaminis modelis pateikti 1 paveiksle. Metodo metu ratų spaudimo jėgos yra matuojamos abejomis kryptimis (tiek suspaudimo, tiek atspaudimo), todėl galima objektyviau įvertinti transporto priemonės pakabos būklę.

Kibumas – tai pakabos savybė suteikti slėgį į kelią arba vibracinę plokštę. Jis išreiškiamas [N], važiuojant keliu arba imituojant kelio sąlygas.

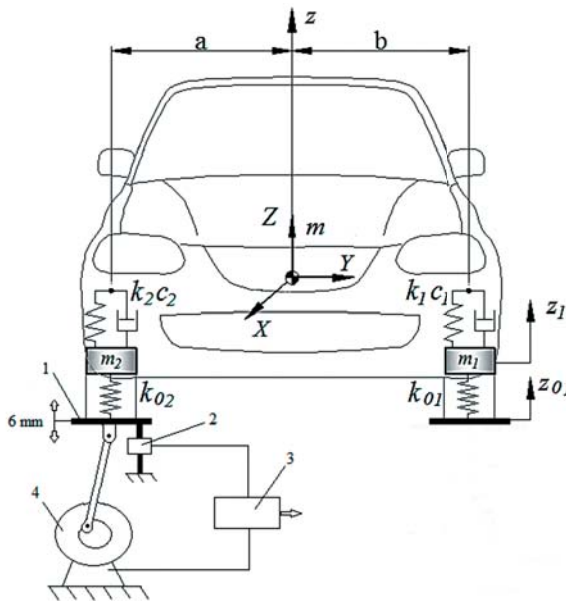
Santykinis amortizatorių efektyvumo koeficientas išreiškiamas formule:

$$WE = \frac{W_{\min}}{W_{st}} \cdot 100 [\%], \quad (1)$$

čia:  $WE$  – amortizatorių efektyvumas;  $W_{\min}$  – minimali rato spaudimo į stendą jėga testavimo metu;  $W_{st}$  – statinė rato spaudimo į stendą jėga.

Amortizatorių būklė vertinama tokiu principu:

$WE > 60\%$  – labai gera;  $40\% < WE < 60\%$  – gera;  $20\% < WE < 40\%$  – reikalingi tvarkymai ir papildomas patikrinimas po jų;  $WE \leq 20\%$  – amortizatorius reikia keisti.



**1 pav. Automobilio pusinis dinaminis modelis ir EUSAMA metodo principinis modelis (kairėje):  
1 – stendo padas, 2 – įtempimų jutiklis, 3 – duomenų apdorojimas, 4 – virpesių generatorius**

Labai svarbi transporto priemonės dalis yra padangos. Padangos švelnina smūgius, gaunamus iš kelio paviršiaus, laiko transporto priemonės svorį, palaiko arba keičia transporto priemonės kryptį ir perduoda varomąją jėgą bei stabdymą.

Dėl netinkamo oro slėgio padangose atsiranda net apie 98% defektų. Per mažai pripūstos padangos laiko mažiau transporto priemonės svorio su esančiu oro slėgiu jose. Tokios

padangos apgrova yra priežastis atsirasti didesniai sąlyčio plotui, todėl atsiranda ir didesnė trintis bei šiluma.

Kai padangos pripūstos per daug, pernelyg didelis transporto priemonės svoris laikomas būtent oro slėgiu esančiu jose. Transporto priemonė yra šokli ir ją sunkiau valdyti. Taip yra dėl to, kad padangos sąlyčio plotas yra mažas ir praktiškai tik centrinė dalis kontaktuoja su kelio paviršiumi.

Tinkamai pripūstose padangose apytiksliai 95% transporto priemonės svorio laikoma oro slėgiu, esančiu padangoje, ir 5% laikoma pačia padanga.

Automobilio vibracijų apkrovų analizei yra naudojamas pusinis dinaminis modelis (1 pav.). Šiame modelyje įvertinama neamortizuotųjų ( $m_p$ ,  $m_2$ ) bei amortizuotosios masės ( $m$ ), vertikaliosios eigos atitinkamai  $z_1$  ir  $z$ . Vibruojančios plokštės virpesiai  $z_{0i}$  imituojantys kelio nelygumus, persiduoda ratams. Pusiniam automobilio dinaminiam modeliui galima užrašyti šias judėjimo lygtis:

$$m_1 \ddot{z}_1 - c_1 (\dot{z} - \dot{z}_1) - k_1 (z - z_1) + k_{01} (z_1 - z_{01}) = 0, \quad (2)$$

$$m_2 \ddot{z}_1 - c_2 (\dot{z} - \dot{z}_1) - k_2 (z - z_1) + k_{02} (z_1 - z_{02}) = 0, \quad (3)$$

$$m \ddot{z} + c_1 (\dot{z} - \dot{z}_1) + c_2 (\dot{z} - \dot{z}_1) + k_1 (z - z_1) + k_2 (z - z_1) = 0, \quad (4)$$

čia:  $k_i$ ,  $c_i$  – atitinkamos automobilio pusės pakabos standumo ir slopinimo koeficientai,  $k_{0i}$  – atitinkamos padangos standumo koeficientai kryptimi  $z$ .

Šiame modelyje vertinamas padangos slopinimas. Vertikali padangos jėga gali būti apskaičiuojama naudojant tiesinę funkciją, įvertinančią nuokrypius  $\Delta z$ , matuojamus padangos centre:

$$F_z = k_{0i} \cdot \Delta z, \quad (5)$$

čia:  $F_z$  – vertikali padangos jėga,  $\Delta z$  – vertikalios eigos skirtumas.

Padangos standumą gali įtakoti daug parametrų. Vienas iš labiausiai veikiančių yra padangos pripūtimo slėgis. O standumas, kaip matyti iš formulių, turi įtakos ne tik transporto priemonės dinamikai, bet, manoma, ir amortizatorių efektyvumo matavimui.

## 4. Tyrimų metodika

Bandymai atliekami amortizatorių efektyvumo nustatymo stendu „Safeline 400/800“ (2 pav.). Pasirinktas 1999 metais pagamintas techniškai tvarkingas lengvasis automobilis Toyota Avensis. Automobilio priekinė pakaba McPherson tipo, padangų išmatavimai 195/60R15. Siekiant įvertinti skirtingo tipo padangų įtaką amortizatorių efektyvumo matavimui, pasirinktos neintensyviai du sezonus naudotos žieminio tipo padangos „BF Goodrich“, kurių protektoriaus rašto gylis siekia 7 mm, gumos mišinio santykinis kietumas

yra 54 vienetai skalėje iki 100 ribos (3 pav.). Kitas pasirinktas variantas – vasariųjų padangų komplektas „Michelin Energy E3A“, kurio eksploataavimo laikas yra 7 sezonai, protektoriaus rašto gylis 3 mm, gumos mišinio santykinis kietumas 72 vienetai (4 pav.). Taigi pasirinktos skirtingų savybių, amžiaus ir nusidėvėjimo padangos (tačiau tinkamos eksploatacijai). Prieš atliekant bandymą, atliktas padangos su ratlankiu defektavimas (5 pav.). Padangos savybės pateiktos kaip informacinė medžiaga. Pagrindinis tiriamasis objektas yra oro slėgis padangoje.



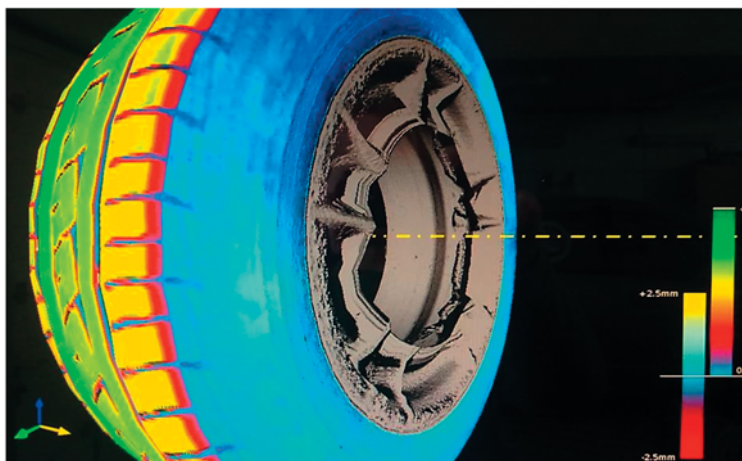
2 pav. Kairėje – amortizatorių efektyvumo matavimas stende „Safeline 400/800“. Dešinėje – Automobilio pakabos eigos matavimas



3 pav. Žieminės padangos protektoriaus gylis ir gumos kietumas



4 pav. Vasarinės padangos protektoriaus gylis ir gumos kietumas



5 pav. Padangos kiekybinių ir kokybinių parametrų įvertinimas lazeriu

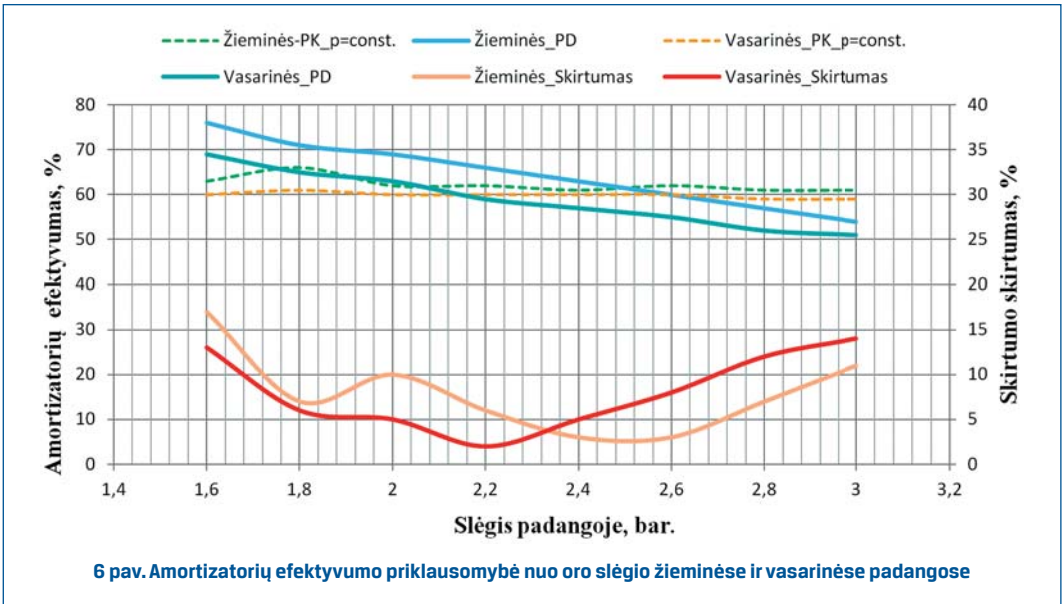
Rato (neamortizuotosios masės) vertikalus pagreitis matuojamas jutikliu „Kistler 8395A“, kurio matavimo ribos  $\pm 50$  g, jautrumas – 80 mV/g,  $\pm 5$  %. Kėbulo (amortizuotųjų masių) vertikalus pagreitis matuojamas „Kistler TANS“ jutikliu, kurio matavimo ribos  $\pm 3$  g, jautrumas – 666 mV/g,  $\pm 1$  %. Duomenys iš jutiklių surenkami ir apdorojami sinchronizuojant vienu laiko momentu 100 Hz dažniu „Corrsys-Datron DAS3“ įrenginiu.

Slėgis keičiamas priekinėje dešinėje pusėje (PD) kas 0,2 baro (1,6 – 3,0) bar ribose, kiekvieną kartą matuojant amortizatorių efektyvumą. Priekinėje kairėje pusėje (PK) slėgis pastovus.

## 5. Tyrimų rezultatų įvertinimas

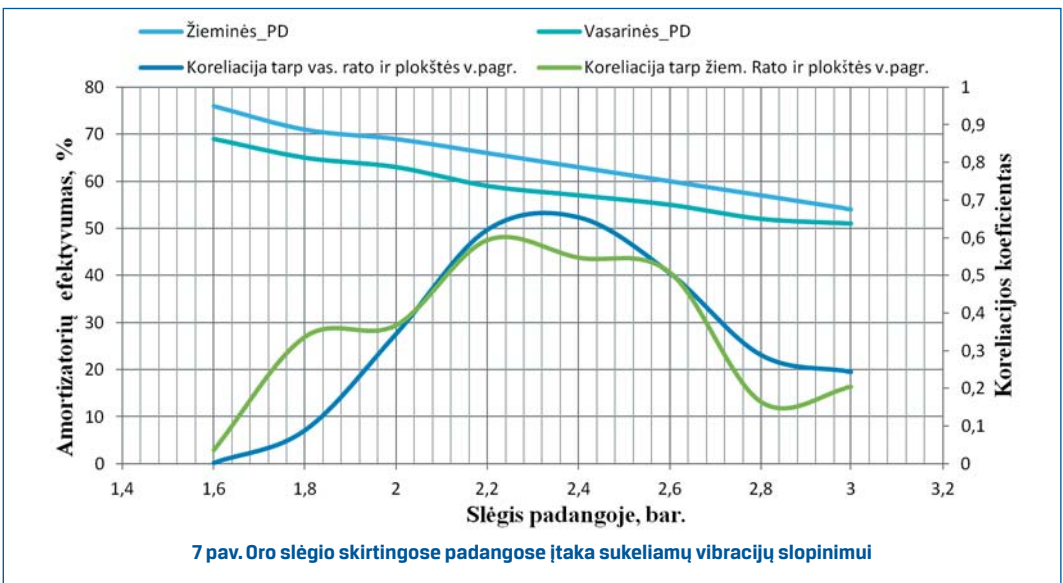
Atlikus gautų duomenų analizę, buvo palyginta oro slėgio žieminėse ir vasarinėse padangose įtaka amortizatorių efektyvumo nustatymui. Keičiant oro slėgį padangoje, pastebima panaši amortizatorių efektyvumo kitimo tendencija esant žieminio ir vasarinio tipo padangoms (6 pav.): didėjant slėgiui efektyvumas mažėja vidutiniškai 2,6 % per 0,2 bar vasarinėms ir 3,1 % per 0,2 bar žieminėms padangoms. Tai paaiškinama kintančiu padangos standumu ir slopinimu. Didėjantis slėgis padangoje skatina jos slopinimo mažėjimą, kas įtakoja matuojant bendrą ketvirčio automobilio slopinimą.

Vertinant slopinimo efektyvumą esant sumontuotoms žieminėms padangoms lyginant su vasarinėmis visuose oro slėgio atvejuose nustatytas geresnis slopinimo efektyvumas (1 lent.). Vidutiniškai gautas 8,64 % skirtumas lyginant su vasarinėmis, ilgai eksploatuotomis padangomis.



1 lentelė. Slopinimo efektyvumas, lyginant sumontuotas žieminės padangas su vasarinėmis.

Slėgis, bar	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	Vidutinis skirtumas
Žieminė PD	76	71	69	66	63	60	57	54	
Vasarinė PD	69	65	63	59	57	55	52	51	
Skirtumas, %	9,21	8,45	8,70	10,61	9,52	8,33	8,77	5,56	8,64





Siekiant nustatyti padangos su skirtingu oro slėgiu įtaką sukeliama vertikalių vibracijų slopinimui, įvertintas koreliacinis ryšys tarp amortizatorių tyrimų stendo plokštės ir rato vertikalaus pagreičio (7 pav.).

Koreliacijos koeficiento kitimas rodo, kad ratas tiksliausiai atkartoja stendo vibravimo plokštės vertikalių pagreitį esant 2,2–2,6 bar oro slėgiui padangoje. Toks rezultatas sietinas su automobilių gamintojų numatytu oro slėgiu padangose. Esant žemam slėgiui, padangos slopinimo charakteristika priartėja prie amortizatoriaus, todėl pakabos bendras efektyvumas pagerėja. Esant didesniam nei 2,6 bar slėgiui, padanga netolygiai atkartoja žadinimo virpesius ir nuo to nukenčia pakabos slopinimas.

## Išvados

Padangų standumo ir slopinimo kitimas dėl pripūtimo slėgio lemia amortizatorių efektyvumo kitimą.

Amortizatorių efektyvumas mažėja, didinant pripūtimo slėgį padangose. Apskritai, efektyvumas sumažėja 29% esant sumontuotoms žieminėms padangoms ir 26% vasarinėms padangoms [1,6 ... 3,0] bar oro slėgio kitimo ribose.

Išanalizavus slopinimo efektyvumą esant sumontuotoms skirtingoms padangoms, nustatytas geresnis slopinimo efektyvumas prie visų oro slėgių esant sumontuotoms mažiau naudotoms žieminėms padangoms.

Koreliacijos koeficientas rodo, kad ratas su vasarine padanga tiksliau atkartoja vertikalių vibravimo plokštės pagreitį lyginant su sumontuota žiimine padanga. Tiksliausiai vertikalius žadinimo plokštės pagreitis atkartinamas (2,2 ... 2,6) bar ribose. Esant didesniam nei 2,6 bar slėgiui, pakabos slopinimas mažėja dėl netolygaus žadinimo virpesių atkartinimo.

## Literatūra

- [1] GARDULSKY, J.: *Testing methods for vehicle shock absorbers*. Diagnostics, Lenkija, 2009, nr. 3(51), 3(53), s. 93-100.
- [2] KINDT P., SAS P., DESMET W.: *Measurement and Analysis of Rolling Tire Vibrations*. Optics and Lasers in Engineering, 2009, nr 47, s. 443-453.
- [3] RUSTIGHIE E., ELLIOTT S. J., FINNVEDENS S., GULYASK K., MOCSAIT T., DANTI M.: *Linear Stochastic Evaluation of Tyre Vibration due to Tyre/Road Excitation*. Journal of Sound and Vibration, 2008, nr 310, s. 1112-1127.
- [4] FUJIKAWA T., KOIKE H., OSHINO Y., TACHIBANA H.: *Definition of road roughness parameters for tire vibration noise control*. Applied Acoustics 66 (2005), s. 501-512.
- [5] TIELKING J. T.: *Plane Vibration Characteristics of a Pneumatic Tire Model*. SAE Technical Paper, 1965, nr 650492.
- [6] BYOUNG S. K., CHANG H. C., TAE K. L.: *A Study on Radial Directional Natural Frequency and Damping Ratio in a Vehicle Tire*. Applied Acoustics, 2007, nr 68, s. 538-556.
- [7] TAE K. L., BYOUNG S. K.: *Vibration Analysis of Automobile Tire due to Bump Impact*. Applied Acoustics, 2008, nr 69, s. 473-478.
- [8] LOZIA Z., ZDANOWICZ P.: *Dry Friction Force in Suspension vs. Testing Result of Shock-Absorbers Mounted in Vehicle*. *Elementy diagnostyki maszyn roboczych i pojazdów*, red. Żółtowski B, Wydawnictwo Naukowe

Instituto Technologii Eksploatacji – PIB, Radom. Uniwersytet Techniczno-Przyrodniczy im. J. i J. Śniadeckich w Bydgoszczy. ISBN 978-83-7204-823-3. 2009r. Str. 334,339. ISBN 978-83-7204-823-3.

- [9] STAŃCZYK T.L.: *Usage of the angle for diagnostic examination of damping properties of shock absorbers mounted in a vehicle*. Materiały konferencyjne. Rozwój techniki samochodowej, a ubezpieczenia komunikacyjne. II Konferencja Naukowo-Techniczna, Radom, 16-17 czerwca 2004, s. 310-326.
- [10] GUYEN V.N., IANBA S.: *Effects of Tire Inflation Pressure and Tractor Velocity on Dynamic Wheel Load and Rear Axle Vibrations*. Journal of Terramechanics, 2011, nr 48, s. 3-16.
- [11] DO M.C., SIHONG Z., YUE Z.: *Effects of Tyre Inflation Pressure and Forward Speed on vibration of an Unsprung Tractor*. Journal of Terramechanics, 2013, nr 50, s. 185-198.