



17-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos
TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,
vykusios 2014 m. gegužės 8 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 17th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'
TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 8 May 2014, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 17-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»
ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 8 мая 2014 г., Вильнюс, Литва

LENGVŲJŲ AUTOMOBILIŲ PAKABOS BŪKLĖS TYRIMAS

Saulius Skužinskas¹, Saulius Nagurnas², Gediminas Čypas³

^{1,2}Vilniaus Gedimino technikos universitetas, ³UAB „Tecalemit“

El. paštas: ¹sskuzinskas@gmail.com; ²saulius.nagurnas@vgtu.lt; ³gediminas.c@tecalemit.lt

Santrauka. Straipsnyje tiriama lengvųjų automobilių amortizatorių būklė, taikant originalią jų patikros metodiką. Pirmiausiai nustatoma tiriamųjų automobilių amortizatorių būklė, naudojant amortizatorių patikros stendą. Įvertinus amortizatorių būklę, automobiliuose montuojama įranga, matuojanti automobilio kėbulo vertikaliosios krypties pagreičio reikšmes, kuomet automobilis nedideliu greičiu važiuoja per dirbtinį kalnelį ant kelio dangos. Straipsnyje trumpai aprašoma tyrimo metu naudota įranga bei tyrimo metu gauti rezultatai. Gauti santykiniai dydžiai leidžia prognozuoti, kokiose ribose automobilio kėbulo svyravimai patenka į leistas ribas ir automobilių amortizatoriai gali būti traktuojami kaip techniškai tvarkingi.

Reikšminiai žodžiai: pakaba, amortizatorius, patikros stendas, diagnostinė įranga, vertikalios krypties pagreitis, slopinimas, Eusama, dirbtinis kalnelis.

Įvadas

Šiuo metu dauguma automobilių gamintojų daug dėmesio skiria automobilio saugumui, komfortabilumui ir jo dinamiškumui kelyje didinti. Už visus šiuos kriterijus automobilyje yra atsakinga pakaba ir jos elementai. Pakaba jungia automobilio rėmą arba kėbulą su ratais, švelnina smūgius, gaunamus dėl kelio nelygumų, slopina kėbulo švytavimus. Taip didinamas eismo saugumas ir važiavimo patogumas, apsaugomi keleiviai ir automobilis nuo nereikalingos perkrovos galinčios atsirasti svyravimų metu. Todėl pagrindinis automobilio pakabos uždavinys – stiprius kelio smūgius, švytavimus, paversti nedideliais automobilio kėbulo virpesiais. Norint sumažinti svyravimus, atsirandančius automobiliui važiuojant keliu, automobiliuose naudojami virpesių slopintuvai – amortizatoriai.

Šiuo metu lengvųjų automobilių amortizatorių būklės įvertinimas dažniausiai atliekamas naudojant tam tikrus stendus. Mokslininkas Janusz Gardulski yra pateikęs amortizatorių tikrinimo galimybę naudojant EUSAMA metodą, kuomet automobilis priekiniais ir galiniais ratais užvažiuoja ant amortizatorių būklės įvertinimo stendo vibracinių plokščių. Amortizatorių efektyvumui įvertinti mokslininkas matavo amortizuojančių ir neamortizuojančių automobilio masių vertikaliosios krypties pagreičius, kuomet pagreičio jutikliai buvo sumontuoti amortizatoriaus tvirtinimo apačioje ir amortizatoriaus tvirtinimo viršuje (Janusz Gardulski 2007; Nagurnas *et al.* 2002).

Taip pat mokslininkai atlieka bandymus ir tyrimus siekdami sukurti metodiką, kuri leistu patikrinti ir įvertinti automobilio amortizatorių būklę naudojant ne tik amortizatorių patikros stendą, bet ir kitus diagnostinius prietaisus. Vienas iš amortizatorių efektyvumo ir kokybės tyrimo būdų, kuriuos įvardija mokslininkai yra pagreičio jutiklių ir temperatūros jutiklių sumontavimas amortizatoriuje ir prie automobilio kėbulo. Šis metodas lengvai įgyvendinami, nes nereikia modifikuoti pačio amortizatoriaus konstrukcijos ar jo įmontavimo vietas. Jutikliai sumontuojami amortizatoriaus atramos viršuje ir prie amortizatoriaus korpuso, norint įvertinti neamortizuojančios masės pagreitį ir amortizatoriaus temperatūrą. Visi jutikliai sujungti į bendrą sistemą ir duomenys perduodami valdymo blokui. Vienas iš pagrindinių matuojamų parametrų, kuriuos įvardija mokslininkai, yra temperatūra, nes ji nusako alyvos tūrį, tankį, nuo kurių priklauso amortizatoriaus slopinimo jėga. Mokslininkai pateikia kaip rekomendaciją tokią integruotų jutiklių sistemą, nes tokia sistema gali nuolat tikrinti amortizatorių būklę ir informuoti vairuotoją, apie automobilyje esančių amortizatorių būklę (Carlos Ferreira *et al.* 2009, Liesionis *et al.* 2006).

Kitas mokslininkas M. Gobbi būgnyniu stendu „RuotaVia“ tyrė automobilio važiuoklės sąveiką su keliu ir jo nelygumais. Šio stendo esmė yra ta, kad ant besisukančio būgno sukasi ratas. Ant būgno pritvirtinta plokštelė, kuri imituoja kelio nelygumą. Prie rato prijungta važiuoklės dalis prie kurios tvirtinami jutikliai, matuojantys vertikalia kryptimi atsirandančius rato poslinkius ir jį veikian-

čias jėgas, kuomet ratas pervažiuoja per plokštelę (Gobbi *et al.* 2008).

Kiti mokslininkai pateikia automobilio pakabos tikrinimo būdą, kuomet automobilis važiuoja per kalnelį. Prie kėbulo pritvirtintas jutiklis matuoja svyravimus vertikalia ašimi. Duomenys gauti iš jutiklio keliauja į kompiuterį bevieliu ryšiu. Bandymo metu vairuotojas sėdi transporto priemonėje, kuri juda 5–10 km/h greičiu ir kerta kalnelį. Algoritmas įvertinantis slopinimo charakteristikas privalo būti kiek įmanoma paprastesnis tam, kad būtų tinkamas 8-bitų mikroprocesoriui. Tuomet iš jutiklio užfiksuotų duomenų padaroma eksponentinė kreivė, pagal kurią galima spręsti apie virpesių amplitudės mažėjimą, kuomet automobilis pervažiuoja kalnelį. Įvertinama kreivės pabaigos virpesių amplitudės charakteristika, kuri nurodo virpesių amplitudės mažėjimo dydį (Mazurek *et al.* 2007, Xue Mei *et al.* 2012).

Tyrimų kuomet automobilio amortizatorių būklė nustatoma nenaudojant patikros stendų trūksta. Daugumos mokslininkų leidiniuose nepateikti konkretūs dydžiai, ar metodika, kuria vadovaujantis būtų galima nustatyti amortizatorių būklę, nenaudojant amortizatorių patikros stendo, todėl pagrindinis šio darbo tikslas yra įvertinti lengvųjų automobilių amortizatorių būklę, įvertinus automobilio amortizuojančios masės (kėbulo) vertikaliuosius svyravimus automobiliui važiuojant per dirbtinį kalnelį.

Tiksli pasiekti buvo atlikti tiriamųjų automobilių amortizatorių būklės įvertinimai naudojant amortizatorių patikros stendą. Įvertinus amortizatorių būklę buvo atlikti eksperimentiniai tyrimai naudojant vertikalią krypties pagreičio jutiklius, įmontuotus tiriamuosiuose automobiliuose, kuriuose žinoma amortizatorių būklė. Automobiliai judėjo per dirbtinį kalnelį ir buvo matuojamas automobilio kėbulo vertikaliųjų pagreičių dydis atsirandantis pravažiuojant kalnelį. Išanalizavus pagreičių jutiklių užfiksuotus dydžius rasti santykiniai dydžiai, kurie apibrėžia techniškai tvarkingų arba netvarkingų amortizatorių būklę.

Eksperimentiniai tyrimai, naudojant amortizatorių efektyvumo patikros stendą SAFELAN 400/800

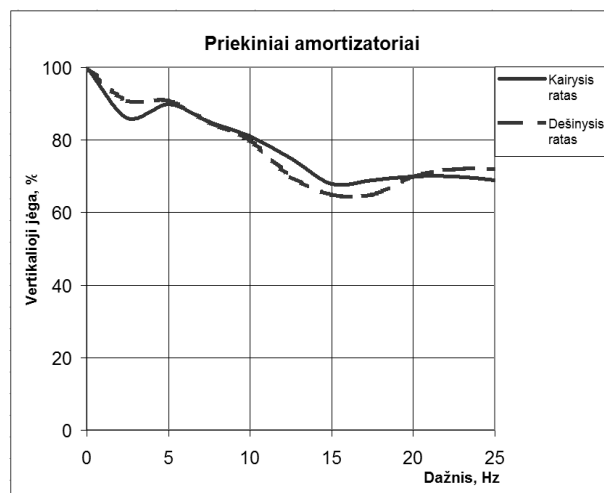
Pirminiai bandymai buvo atlikti įvertinant, ar tiriamųjų automobilių amortizatorių būklė yra gera, norint įsitikinti, kad toliau atliekami bandymai bus korektiški. Bandymai buvo atliekami SAFELANE 400/800 amortizatorių diagnostavimo stendu (1 pav.) skirtu diagnozuoti amortizatorių gedimus.



1 pav. Automobilis Seat Leon ant SAFELANE 400/800 amortizatorių patikros stendo

Automobiliams užvažiuojant priekine ir galine ašimis ant SAFELANE 400/800 stendo, buvo išmatuojamas Eusamos dydis ir taip patikrinamas amortizatorių slopinimo efektyvumas. Eusamos dydis parodo pakabos elementų gebą užtikrinti ratų kibumą su keliu esant nepalankiomis sąlygomis. Eusamos dydis kinta nuo 0 iki 99 %. Kompiuteris palygina išmatuotas reikšmes su saugomomis atmintyje ribinėmis reikšmėmis ir nustato automobilio stabilumą rato sukibimo su keliu atžvilgiu.

Eksperimento metu gautos reikšmės pateiktos grafiniu pavidalu. Žemiau pateiktame paveiksle parodytas vieno iš tiriamųjų automobilių priekinės ašies amortizatorių būklės įvertinimas grafiniu pavidalu naudojant amortizatorių patikros stendą (2 pav.). Ištininė kreivė rodo automobilio kairės pusės ratą, brūkšninė linija rodo dešinės pusės ratą. Vertikali koordinatė rodo ratą veikiančios jėgos santykinį dydį, perduodamą žadinimo plokštei, horizontali koordinatė rodo žadinimo plokštės vibracijos dažnį. Kintant žadinimo dažniui kinta ir amortizatoriaus slopinimo jėga.



2 pav. Automobilio Seat Leon priekinės ašies svyravimo dažnio įtaka ratą veikiančios vertikalios jėgos dydžiui

Pagal gautas Eusama reikšmes buvo nustatyta, kad tiriamuosiuose automobiliuose priekinės ir galinės ašies slopinimo reikšmės labai priklauso nuo automobilio ašį veikiančios apkrovos. Tiriamųjų lengvųjų automobilių priekinės ašies amortizatorių Eusamos dydžio vidurkis svyravo nuo 64 % iki 66,5 %. Galinės ašies amortizatorių Eusamos dydžio vidurkis svyravo nuo 48,5 % iki 63 %.

1 lentelė. SAFELANE 400/800 amortizatorių efektyvumo įvertinimo rodikliai

Išmatuotas dydis, %	Įvertinimas
0 iki 20	Pavojinga
21 iki 40	Patenkinamai
41 iki 60	Gerai
61 ir daugiau	Puiku

Gautos Eusamos reikšmės palyginamos su amortizatorių efektyvumo įvertinimo rodiklių lentele (1 lentelė). Iš to matyti, kad priekinės ašies amortizatorių Eusama dydžio reikšmės patenka į 60 % ir daugiau reikšmių ribą,

todėl atitinka puikų įvertinimą. Galinės ašies Eusamos dydžio reikšmės patenka į 41–60 % ir į 60 % ir daugiau ribą, todėl atitinka gerą arba puikų įvertinimą.

Nustačius amortizatorių efektyvumą patikros stendu buvo nustatyta, kad visų tiriamųjų automobilių amortizatoriai yra techniškai tvarkingi, todėl priimta sąlyga, kad toliau tęsimi tyrimai bus atlikti teisingai, nes tyrimui bus naudojami automobiliai tik su techniškai tvarkingais ir gerą būklę atitinkančiais amortizatoriais.

Amortizatorių efektyvumo nustatymas naudojant vertikalios krypties pagreičio jutiklį

Eksperimentinių tyrimo tikslas. Naudojant vertikalios krypties pagreičio jutiklius nustatyti automobilio kėbulo svyravimų vertikalios kryptimi dydžius, kurie atsiranda automobiliui pravažiuojant kalnelį. Vertikalios krypties pagreičio jutikliu, nustatomas amortizuojančios masės, automobilio kėbulo, svyravimo pagreitis kiekvienu laiko momentu (duomenų įrašymo dažnis 100 Hz). Taip nustatomas maksimalus galimas pagreitis, kuomet automobilis juda per kalniuką su geros būklės amortizatoriais.

Eksperimentiniai tyrimai buvo atliekami tokiomis sąlygomis:

- Tyrimai atlikti su 8 lengvaisiais automobiliais, kurių vidutinis amžius iki 15 metų;
- Bandymai atlikti važiuojant asfaltuotu keliu, važiuojant per dirbtinį kalnelį („gulintį policininką“);
- Automobilių bandymai buvo atlikti esant 20 km/h ir 30 km/h važiavimo greičiams.

Eksperimentiniams tyrimams buvo naudojama tokia įranga:

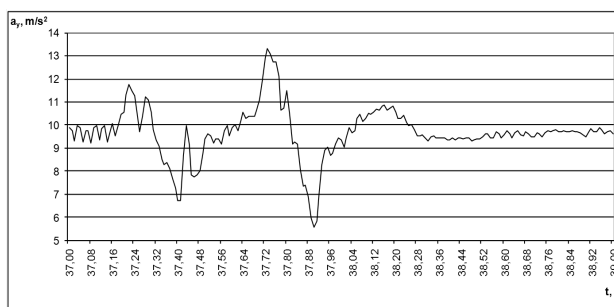
- Nešiojamas kompiuteris Asus M51Va;
- Diagnostinė įranga Bosch KTS 570;
- CSB 12 V 7,2 Ah akumuliatorius;
- Duomenų surinkimo – apdorojimo įrenginys Race Technology DL1 Data Logger;
- Trijų ašių pagreičio jutiklis Race Technology IMU06;
- Visuotinės padėties nustatymo sistema (GPS antena);
- Race Technology Data Analysis – duomenų apdorojimo kompiuterinė programinė įranga.



3 pav. Race Technology diagnostinė įranga

Naudota Race Technology įranga buvo sumontuota tiriamuosiuose automobiliuose ir sujungta į vientisą sistemą. Pagreičio jutiklis Race Technology IMU06 tvirtinamas

tvirtinamas prie automobilio kėbulo šalia galinių sėdynių, centrinės konsolės gale. Visuotinės padėties sistema (GPS antena) pritvirtinama ant automobilio stogo ir fiksuoja automobilio važiavimo greitį ir automobilio padėties koordinates. Gautos jutiklio užfiksuotos pagreičio reikšmės kiekvienu laiko momentu įrašomos į duomenų surinkimo – apdorojimo įrenginio atminties kortelę. Atminties kortelėje esančios informacijos nuskaitymui naudojamas kompiuteris, kuriame įdiegta Race Technology Data Analysis duomenų apdorojimo kompiuterinė programa. Išfiltravus kompiuterine programa duomenis gaunamos skaitinės tiriamųjų automobilių pagreičių reikšmės. Išfiltruoti duomenys pateikiami MS Excel formato bylomis, kuriose nurodytos vertikaliojo pagreičio reikšmės kiekvienu laiko momentu. Iš gautų duomenų, kuomet automobilis pravažiuoja per kalnelį, sudaroma automobilio vertikaliojo kėbulo pagreičių kreivė, kurioje vaizdžiai matomos automobilio kėbulo vertikaliojo pagreičio reikšmės. Žemiau pateiktame paveiksle atvaizduojamos pagreičių reikšmės grafiniu pavidalu (4 pav.), kuomet kalnelis pravažiuojamas priekiniais ir galiniais ratais.



4 pav. Automobilio Audi A3 amortizuojančios masės svyravimai, kuomet kalnelis pravažiuojamas 20 km/h greičiu

Apžvelgiant visus gautus tirimų automobilių judėjimo per kalnelį grafikus matyti amortizuojančios automobilio masės pagreičių vertikalios ašimi slopinimas automobilio ratams nuvažiuojus nuo kalnelio. Automobiliui pravažiuojant kalnelį priekiniais ratais, pagreičio vertė vertikalios kryptimi stipriai išauga ir palaipsniui pradeda mažėti. Automobiliui pravažiuojant kalnelį galine ašimi pagreičio vertė padidėja ir taip pat greitai pradeda mažėti ir nusistovi normalaus, tolygaus važiavimo intervale.

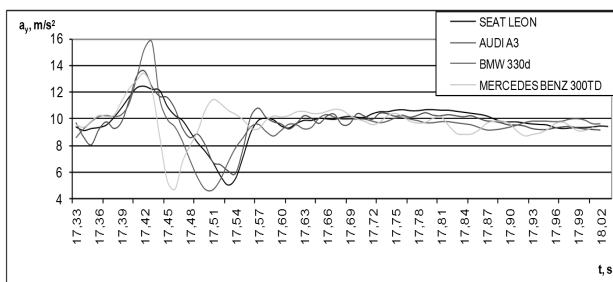
Eksperimentinių tyrimų rezultatų analizė

Atlikus lengvųjų automobilių amortizatorių tikrinimo bandymus, naudojant vertikalios krypties pagreičio jutiklį, buvo atlikta duomenų analizė. 5 paveiksle pateiktas tiriamųjų automobilių vertikaliojo kėbulo pagreičių grafinis palyginimas, kuomet kalnelis pravažiuojamas 30 km/h greičiu galiniais automobilio ratais.

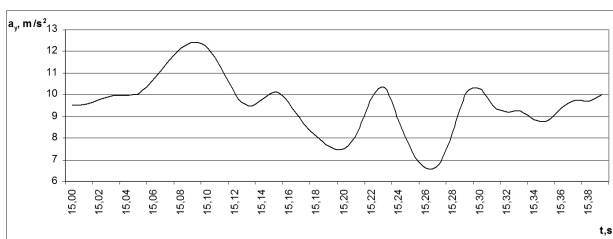
Atlikus bandymus su skirtingais važiavimo greičiais buvo nustatyta, kad didėjant automobilio greičiui, proporcingai didėja ir automobilio kėbulo vertikalios krypties pagreitis, atsirandantis po kontakto su kalneliu.

Apibendrinus ir susumavus visų tikrintų automobilių vertikaliojo kėbulo svyravimų reikšmes, kurios įrašytos ir pateiktos Excel byloje, buvo nustatytos priekinės ir galinės

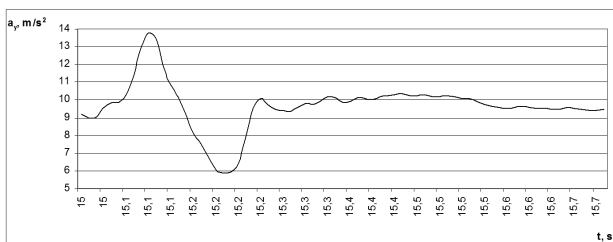
ašies kėbulo vertikaliųjų pagreičių suminės vidutinės vidurkių reikšmės (6, 7 pav.).



5 pav. Automobilių amortizuojančių masių grafinis palyginimas pravažiuojus kalmelį galiniais ratais 30 km/h greičiu



6 pav. Automobilių amortizuojančių masių grafinis palyginimas pravažiuojus kalmelį galiniais ratais 30 km/h greičiu



7 pav. Automobilių amortizuojančių masių grafinis palyginimas pravažiuojus kalmelį galiniais ratais 30 km/h greičiu

Iš gautų grafikų matomos automobilių kėbulų vertikaliųjų pagreičių didžiausios reikšmės, kuomet matavimo įranga buvo sumontuota automobiliuose centrinės konso-

lės gale. Gautos didžiausios vertikaliųjų pagreičių reikšmės nurodo ribas, kurias neperžengus galima teigti, kad automobilio amortizatoriai atitinka techniškai tvarkingų amortizatorių būklę. Didžiausia pagreičio amplitudė iki kurios galima teigti, kad amortizatorių būklė atitinka sveikų amortizatorių būklę, kai automobilis pravažiuoja dirbtinį kalmelį priekine ir galine ašimis 30 km/h greičiu, svyruoja nuo $5,94 \text{ m/s}^2$ iki $13,75 \text{ m/s}^2$. Į šias ribas patenka automobiliai, kurių masė yra nuo 1100 kg iki 1550 kg.

Išvados

Atlikus eksperimentinius amortizatorių slopinimo efektyvumo tyrimus formuluojamos tokios išvados:

1. Tikrinant automobilių su techniškai tvarkingais amortizatoriais didžiausia kėbulo svyravimo reikšmė pasiekama tada, kai automobilis nuvažiuoja nuo dirbtinio kalniuko galiniais ratais, tuomet vertikalusis svyravimų pagreitis siekia $13,75 \text{ m/s}^2$. Kuo automobilio važiavimo greitis didesnis, tuo didesnis ir kėbulo svyravimų vertikalia ašimi pagreitis.

2. Minimali kėbulo svyravimų reikšmė pasiekama tuomet, kai automobilis pravažiuoja dirbtinį kalmelį priekiniais ratais, tuomet vertikaliųjų svyravimų pagreitis neviršija $6,68 \text{ m/s}^2$. Toliau kėbulo svyravimai intensyviai mažėja, kol pasiekia normalaus važiavimo sąlygas.

3. Kuomet pagreičio jutiklis tvirtinamas automobilio kėbulo centrinės konsolės gale, tuomet didžiausi kėbulo svyravimo pagreičiai užfiksuojami automobiliams pravažiuojus dirbtinį kalmelį galiniais ratais. Didžiausia vertikaliuojo pagreičio amplitudė, kai važiuojama 20 km/h greičiu, siekia nuo $12,84 \text{ m/s}^2$ iki $5,83 \text{ m/s}^2$ pravažiuojus priekine automobilio ašimi, o galine nuo $13,6 \text{ m/s}^2$ iki $6,72 \text{ m/s}^2$. Pravažiuojus dirbtinį kalmelį 30 km/h greičiu didžiausia pagreičio amplitudės ribos siekia nuo $12,44 \text{ m/s}^2$ iki $6,63 \text{ m/s}^2$ pravažiuojus priekine automobilio ašimi, o galine nuo $13,75 \text{ m/s}^2$ iki $5,94 \text{ m/s}^2$. Šios reikšmės atitinka, kai automobilio masė yra tarp 1100 kg ir 1550 kg ribose.

Literatūra

- Carlos, F.; Paulo, V.; Raul, M.; Antonio L. G. V.; Carlos, N.; Manuel, C. R. 2009. Sensing methodologies to determine automotive damper condition under vehicle normal operation. *Sensors and Actuators A* 156, p. 237–244.
- Gobbi, M.; Mastinu, G.; Pennati, M. 2008. Indoor testing of road vehicle suspensions. *Springer Science +Business Media B. V. 2008. Meccanica* 43, p. 173–184.
- Yan, C.; Thomas, R. K.; Michael, M.. 2010. Testing and Modeling of Nonlinear Properties of Shock Absorbers for Vehicle Dynamics Studies. *Proceedings of the Worlds Congress on Engineering and Computer Science 2010 Vol II WCECS 2010, October 20-22, 2010, San Francisco, USA.*
- Liesionis, V.; Markšaitis, D.; Dargužis, A. 2006. Analysis of Dissipated Energy on Shock-Absorber Using Nonlinear Properties. *Transport Means 2006: proceedings of the 10th international conference*. Kaunas: Technologija, p. 294–299.
- Mazurek, I.; Pražak, F.; Klapka, M. 2007. Over-crossing test to evaluation of shock absorber condition. *Recent Advances In Mechatronics, Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, p. 448–452.
- Nagurnas, S.; Pikūnas, A.; Mitunevičius, V. 2002. Naudotų lengvųjų automobilių amortizatorių efektyvumo tyrimas. *Respublikinės konferencijos Transportas-2002, mokslinių pranešimų rinkinys*. Vilnius: Technika, p. 221–226.
- Xue, M. S.; Yaxu, Ch.; Jiuchen, F.; Qiuxiao, Y. 2012. Research of Simulation on the Effect of Suspension Damping on Vehicle Ride. *2012 International Conference On future Electrical Power and Ebergy System. Energy Procedia* 17, p. 145–151.