

Autobuso pagrindiniai parametrai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė

Žemagrindžio autobuso duomenys

Parametrai	Tuščias	Pusiau pakrautas	Pilnai pakrautas
Autobuso konstrukcijos masė (kg)	9250 – 9390	13116	17200
Priekinės ašies masė (kg)	700	700	700
Galinės ašies apkrova (kg)	1250	1250	1250
Ratų standumo koeficientas, K (N/m)	921607	921607	921607
Ratų slopinimo koeficientas, C (Ns/m)	800	800	800

Autobuso parametrai, kurie buvo naudojami šiame straipsnyje susideda iš pakabos komponentų parametru ir geometrinių autobuso parametru. Pakabos komponentų, tokių kaip amortizatoriai, pneumatinės oro pagalvės ir padangos, duomenys gauti atliekant laboratorinius bandymus. Geometriniai duomenys ir fizikinės konstantos paimitos iš gamintojo pateiktos techninės žemagrindžio autobuso charakteristikos.

Miesto autobusų modelis išilginiame pjūvyje

Yra platus spektras autobusų konstrukcijų, kurios yra naudojamos miesto viešajame transporte. Žemagrindžiai autobusai plačiausiai naudojami miesto transporte, tačiau vis dar naudojami ir ankstesnio dizaino (klasikiniai) autobusai. Įvairių autobusų projektavimo specifikacijos akivaizdžiai parodo, kad visi autobusai eksploatuojami pagal atitinkamus svorius ir matmenų charakteristikas, o ašys pagal tam tikrus panašumus, kaip pakabos komponentai, geometrinis išdėstymas ir sujungimai. Skirtingų autobusų geometrinės ir inercinės savybės gali šiek tiek skirtis. Pagrindiniai skirtumai tarp skirtingų pavaros ašių kaip pavyzdys gali būti pakabos ašies sukimui besipriešinančios juostos naudojimas, spyruoklių ir amortizatorių takeliai, ašių apkrovos bei spyruoklės, amortizatorių ir padangų savybės.

Šiame tyrime yra sudarytas modelis išilginėje plokštumoje, kuris galėtų būti taikomas įvairių modelių autobusams. Šio modelio ypatumai yra tokie, kad modelis sudarytas žemagrindžiam miesto autobusui. Priekinės pakabos ašis susideda iš dviejų oro pagalvių kiekvienoje pusėje, atstumu 0,4064 m išilgine kryptimi. Vienas amortizatorius montuojamas su 3 laipsnių pasvirimo kampu į vertikalią ašį. Galinė pakaba susideda iš dviejų oro pagalvių kiekvienoje pusėje, atstumu 1,391 m išilgine kryptimi. Du amortizatoriai naudojami kaip pakabos vienetai, kur kiekvienas amortizatorius dedamas arti oro pagalvių ir montuojamas be nuolydžio. Remiantis priekinės ir galinės ašių konfigūracija, sudarytas bendrinis autobuso modelis išilginėje plokštumoje, kuris gali būti naudojamas ir kitiems žemagrindžiams miesto autobusams.

Pakabos jėgos. Pakabos jėgos susidaro dėl pneumatinių slopinimo sistemų ir amortizatorių, kurie yra aprašomi netiesinių komponentų modeliais. Pateiktos autobuso sistemos komponentinio modelio integravimas atliekamas išilginėje plokštumoje, kurioje pateiktas dinaminis modelis gali spręsti amortizuotos ir neamortizuotos masės judesio uždavinius. Apibendrinta jėga, kuri sukuria amortizatoriaus ir kuri susideda iš oro pagalvės, tarpinių dalių trinties ir hidraulinių jėgų. Oro pagalvių jėga yra žymiai mažesnė už hidraulinių srautų ir tarpinių dalių trintį.

Komponentų charakteristikas aprašantys modeliai. Miesto autobusų važiavimo ir padangų apkrovų važiavimo metu charakteristikos yra tiesiogiai susijusios su statinių ir dinaminių pakabos komponentų ir padangų savybėmis, kurios yra netiesinės funkcijos, priklausančios nuo įvairių projektavimo ir eksploatavimo veiksnių. Todėl analitinio modelio veiksmingumas remiasi tiksliai analitinio modelio sudedamųjų dalių statinių ir dinaminių savybių nustatymu. Be to, komponentų koeficientai ir modeliai turi būti priartinti prie realių reikšmių per visą eksploatavimo diapazoną. Miesto autobusai visada dirba su pneumatinėmis pakabomis (oro pagalvėmis) ir amortizatoriais su daugiapakopėmis slopinimo savybėmis, susijusiomis su hidraulinėmis vožtuvų įleidimo ir išleidimo savybėmis. Jėgos, kurias sukuria komponentai, yra netiesinės funkcijos, priklausančios nuo jų konstrukcijos bei amortizuojamos ir ne amortizuojamos masės poslinkių ir greičių. Jėgos, kurias sukuria transporto priemonės padangos, taip pat priklauso nuo statinės apkrovos ir padangų slėgio.

Kaip jau buvo aptarta literatūros apžvalgoje, miesto autobusai susiduria su dideliu eksploatavimo sąlygų spektru ir komponentų savybės nebuvo tinkamai kiekybiškai nustatytos per platų eksploatavimo sąlygų spektrą. Buvo atlikti tyrimai, kuriais buvo siekiama nustatyti skirtingų miesto autobusų pakabos komponentų charakteristikas [Boileau, 1992, Boileau, 1998]. Gauti šių tyrimų bandymo rezultatai, aprašantys oro spyruokles, amortizatorius ir padangas, yra naudojami kurti tiksliai netiesinius komponentų modelius, kurie yra įtraukti į siūlomą miesto autobuso išilginėje plokštumoje modelį. Sudedamosios modelio dalys yra aprašomos fizikos dėsniais ir regresine analize, kurie aprašyti tolesniuose skyriuose.

AUTOBUSO ANALITINIAI DINAMINIAI TYRIMAI

Artūras Kilikevičius¹, Kristina Kilikevičienė², Jonas Matijošius²,
Kristina Čižiūnienė², Jurijus Zaranka²

¹VGTU Mechanikos inžinerijos fakultetas, ²VGTU Transporto inžinerijos fakultetas

Anotacija

Tyrimų tikslas – išanalizuoti žemagrindžio autobuso dinamines charakteristikas taikant virpesių lygtis. Tikslui pasiekti pirmiausia buvo sudarytas $\frac{1}{4}$ autobuso sistemos dinaminis modelis ir atliktas sistemos modeliavimas žadinant realių amplitudžių reikšmėmis. Antra, atliktas amortizatoriaus modeliavimas. Sudarytas autobuso sistemos dinaminis modelis leidžia analizuoti charakteringus ir pavojingus autobusui dinaminis virpesius.

Reikšminiai žodžiai: kelių transportas, autobusas, dinaminiai tyrimai.

Įvadas

Europoje ir Lietuvoje viešojo transporto autobusai yra įvairių konstrukcijų. Žemagrindžiai autobusai plačiai naudojami visuomeniniame transporte [Kilikevičienė 2015, Jurevičius 2015], bet miestuose vis dar važinėja ir senesnio ar labai seno dizaino autobusai.

Nors komercinių krovinių automobilių dinaminės ratų apkrovos variantai buvo plačiai ištirti, tačiau atlikta tik keletas tyrimų miesto ar užmiesčio autobusų važavimo ir dinaminės ratų apkrovos charakteristikoms nustatyti [Minka 2007, Olorunshola 2011]. Šie tyrimai atskleidė, kad automobilių dinaminės ratų apkrovos perduodamos kelio dangai ir atitinkamai važavimo metu sukeltas vibracijas, perduodamas vairuotojui/keleiviui transporto priemonėje, stipriai įtakoja įvairūs konstrukciniai sprendimai ir eksploataavimo sąlygos [Lin 1994]. Žinoma, kad prie dinaminės ratų apkrovos ir važavimo kokybės labai prisideda tokie veiksniai kaip eksploataavimo sąlygos: kelių nelygumai, greitis ir didžiausias pakrautos transporto priemonės leistinas svoris, ir įvairūs konstrukciniai sprendimai, susiję su ašinėmis apkrovomis, ašių konfigūracija, pakabos ir padangų statinės ir dinaminės savybės. Transporto priemonės pakaba ir padangos vaidmuo didinant sunkiųjų transporto priemonių draugiškumą keliui buvo nagrinėti daugelyje tyrimų. Tačiau pagrindinis dėmesys skiriamas pakabos ir ašių konfigūracijos savybių atkūrimui [Lin 1994]. Tuo tarpu pakabos ir padangų slopinimo savybių poveikis buvo nagrinėjami tik nedaugelyje tyrimų. Atlikus tyrimus padaryta išvada, kad važavimo metu transporto priemonės su pneumatine pakaba yra žymiai pranašesnės už transporto priemones su pakaba su plienine spyruokle.

Tyrimui naudojamas Mercedes Benz O405 žemagrindis autobusas (1 pav.). Autobusas per dieną vidutiniškai nuvažiuoja 300 km. Amortizatoriai keičiami kas 120 000 km. Pasirinktas žemagrindis autobusas turi daugelio gamintojų žemagrindžių autobusų bruožus, kas leidžia nagrinėti jį kaip plataus pritaikymo tyrimo objektą. Bei gautus tyrimo rezultatus ir gautus dėsningumus pritaikyti ir kitiems žemagrindžiams autobusams.

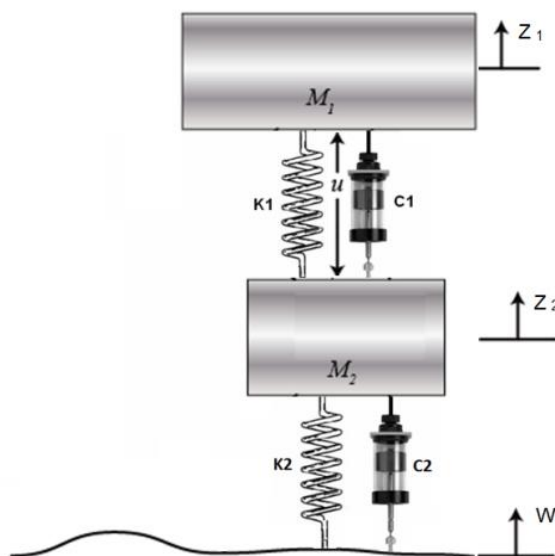
Mercedes Benz O405 autobuso sistemą sudaro: ratai su padangomis – neamortizuotoji masė; pakaba (amortizatoriai, spyruoklės, oro pagalvės); rėmas; kėbulas – amortizuotoji masė.



1 pav. Mercedes Benz O405 žemagrindis autobusas

Oro pagalvės (oro spyruoklės). Miesto autobuso pakaba susideda iš lanksčių pritvirtintų ant ašies oro pagalvių, montuojamų tarp važiuoklės ir pakabos, kaip parodyta 2 paveiksle. Sukuriamas oro guolių yra kompleksas, susidedantis iš oro slėgio, stūmoklio darbinės eigos, oro cilindro tūrio ir momentinio aukščio funkcijų. Skirtingai nei komercinių krovininių automobilių miesto autobusų pakabos ir padangų apkrovos gali gerokai skirtis dėl kintančio vežamų keleivių skaičiaus. Priekinės ašies apkrova, kuri modelyje gali svyruoti nuo 40 kN (kai nėra keleivių) iki maždaug 61 kN (kai pilnai apkrautas), o galinės ašies apkrova gali skirtis nuo 81 kN iki maždaug 116 kN. Atlikti bandymai laboratorijose nustatė priekinės bei galinės pakabos ašių pneumatinių spyruoklių slėgio-deformacijos ir jėgos-deformacijos charakteristikas prie skirtingų statinių apkrovų. Iš gautų išmatuotų duomenų buvo padaryta išvada, kad vidutinis veiksmingas oro pagalvės plotas yra įlinkio funkcija.

Autobuso dinaminis modelis. Žemagrindžio miesto autobuso ketvirčio dinaminio modelio schema pavaizduota 2 pav. Modelį sudaro amortizuotos ir neamortizuotos masės, amortizatoriai ir padangos. Amortizuotoji masė m_1 vaizduojama kaip vientisa kėbulo, važiuoklės ir keleivių masė. Neamortizuotoji masė m_2 vaizduoja atitinkamai priekinės ir galinės ašių ir ratų mases.



2 pav. ¼ Autobuso dinaminis modelis

Naudojantis 2 pav. pavaizduotu dinaminio modeliu sudaromos judėjimo lygtys.

Judėjimo lygtys. Žemagrindis autobusas vaizduojamas kaip vieno ketvirčio 2 laisvės laipsnių sistema (kaip parodyta 2 pav.), darant prielaidą, kad transporto priemonės sukimosi ir skersinė dinamika važiavimo ir dangos atsako į apkrovą metu turi nedidelį poveikį. Tariant, kad važiavimo greitis yra pastovus, amortizuotosios masės judėjimas priimamas išilgai vertikalios ir išilginės ašies. Neamortizuotų masių judėjimas dėl vienintelės ašies priimamas kaip 1 laisvės laipsnio išilgai vertikalios ašies [Chen 2008]. Pakabos spyruoklių ir amortizatorių išdėstymas miesto autobuso modelyje vis dėlto gali sukelti tam tikrus išilginius momentus apie ašies vidurį. Šių momentų svarba gali būti žymi esant amortizuotosios masės išilginiams virpesiams, kuriuos gali sukelti kelio nelygumai ir/ar stabdymas. Tokiu būdu neamortizuotosios masės ryšium su priekine ir galine ašimis yra priimamos galimai 2 laisvės laipsnių judėjimo išilgai vertikalios ir išilginės krypčių. Supaprastinimui lankstumas dėl autobuso kėbulo ir važiuoklės struktūros priimamas nereikšmingas. Nors praktikoje autobuso rėmo pasvirimas įvyksta esant maždaug 6 Hz, tačiau šių virpesių poslinkio reikšmė yra labai maža. Taigi amortizuotoji masė vaizduojama kaip kietas/standus kūnas. Tačiau šio supaprastinimo pagrįstumas galėtų būti abejotinas modernioms lengvasvorėms važiuoklėms, kurios gali sukelti didelius važiuoklės poslinkius. Pakabos elementų išvystytos jėgos gaunamos iš sudedamųjų dalių modelių. Miesto autobusas yra sudėtinga virpamoji sistema, turinti savyje tamprius, disipacinius ir kitokius ryšius. Tokios sistemos diferencialinių lygčių išvedimui tikslinga taikyti antrojo tipo Lagranžo lygtį:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dT}{dq_i} \right) - \frac{dT}{dq_i} + \frac{d\Phi}{dq_i} + \frac{d\Pi}{dq_i} = Q_i(t), \quad (1)$$

čia T , Π , Φ – sistemos kinetinė, potencinė energijos ir disipacinė funkcija; $\{q\}$, $\{\dot{q}\}$, $\{\ddot{q}\}$ – poslinkio, greičio ir pagreičio vektoriai, $\{Q(t)\}$ – išorinio žadinimo jėgų vektoriai. Žemiau pateiktos apibendrintų koordinatų z_1 ir z_2 lygtys.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dT}{dz_1} \right) - \frac{dT}{dz_1} + \frac{d\Phi}{dz_1} + \frac{d\Pi}{dz_1} = Q_1, \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dT}{dz_2} \right) - \frac{dT}{dz_2} + \frac{d\Phi}{dz_2} + \frac{d\Pi}{dz_2} = Q_2, \quad (3)$$

čia $\{z_1\}$, $\{\dot{z}_1\}$, $\{z_2\}$, $\{\dot{z}_2\}$ – poslinkio ir greičio vektoriai, $\{Q_i\}$ – išorinio žadinimo jėgų vektoriai.

Prieš tai pateiktose lygtyse (2 ir 3) kinetinė, potencinė energijos ir disipacinė funkcija turėtų tokias išraiškas:

$$T = \frac{1}{2} m_1 \dot{z}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \dot{z}_2^2, \quad (4)$$

$$\Pi = \frac{1}{2} k_2 z_2^2 + \frac{1}{2} k_1 z_1^2, \quad (5)$$

$$\Phi = \frac{1}{2} c_2 \dot{z}_2^2 + \frac{1}{2} c_1 \dot{z}_1^2, \quad (6)$$

$$dw = Q_1 dz_1 + Q_2 dz_2, \quad (7)$$

Visos sistemos matematinį modelį sudarys antros eilės diferencialinių lygčių sistema kartu su ryšio lygtimis:

$$[A]\{\ddot{q}\} + [B]\{\dot{q}\} + [D]\{q\} = \{Q(t)\}, \quad (8)$$

čia (A) , (B) , (D) – inercijos, slopinimo ir standumo matricos; $\{q\}$, $\{\dot{q}\}$, $\{\ddot{q}\}$ – poslinkio, greičio ir pagreičio vektoriai, $\{Q(t)\}$ – jėgų vektoriai.

Inercijos, slopinimo ir standumo, bei poslinkio, greičio, pagreičio ir jėgų vektorių matricų reikšmės pateiktos žemiau:

$$[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

$$[B] = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix}, \quad (10)$$

$$[D] = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} \\ d_{21} & d_{22} \end{bmatrix}, \quad (11)$$

$$\{q\} = \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{Bmatrix}, \quad \{\dot{q}\} = \begin{Bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \end{Bmatrix}, \quad \{\ddot{q}\} = \begin{Bmatrix} \ddot{q}_1 \\ \ddot{q}_2 \end{Bmatrix}, \quad (12)$$

$$\{Q\} = \begin{Bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \end{Bmatrix}. \quad (13)$$

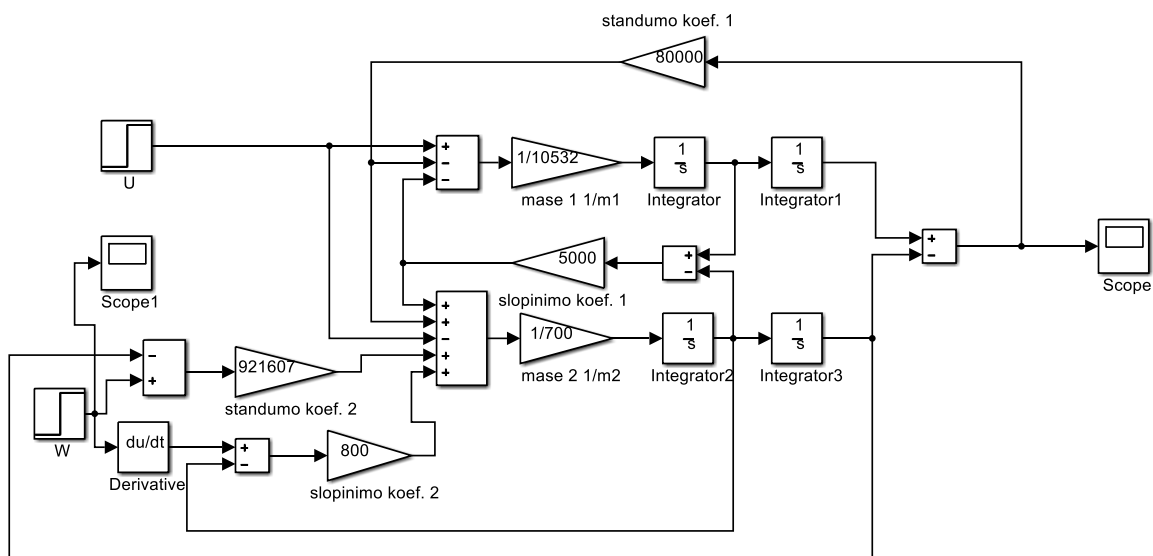
Ištačius inercijos, slopinimo, standumo matricų, poslinkio, greičio, pagreičio ir jėgos vektorių reikšmes į 8 formulę gauname sistemos dinamikos lygtį matricinėje formoje:

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{z}_1 \\ \ddot{z}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 & -c_1 \\ -c_1 & c_1 + c_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{z}_1 \\ \dot{z}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 \\ -k_1 & k_1 + k_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ k_2 w + c_2 \dot{w} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Autobuso modeliavimas

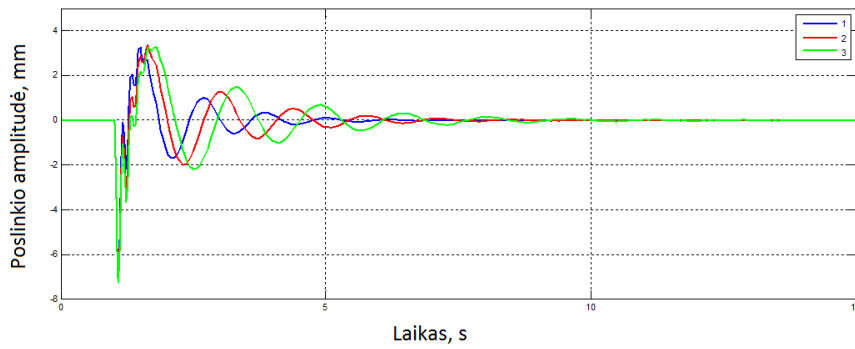
Žemiau 3 pav. pateikta modeliavimo schema ¼ autobusui modeliuoti.

Matlab Simulink modelis buvo sukurtas apibūdinti autobuso ketvirčio elgesį (3 pav.), o anksčiau pateiktos lygtys (1 – 11 lygtys) apibūdina autobuso matematinį modelį.

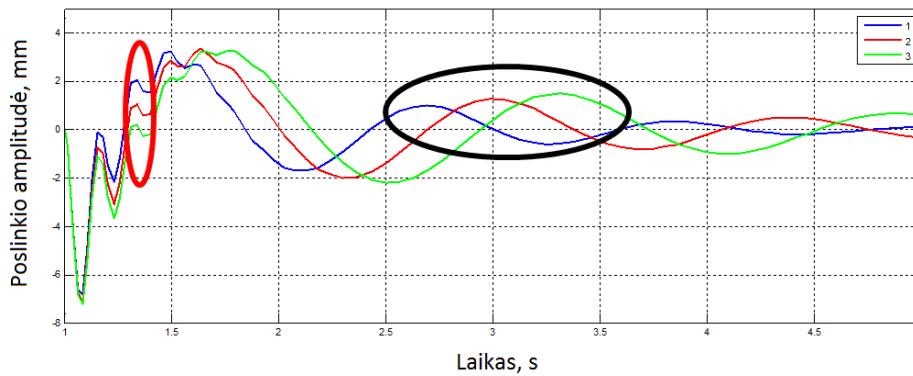


3 pav. ¼ autobus modeliavimo schema

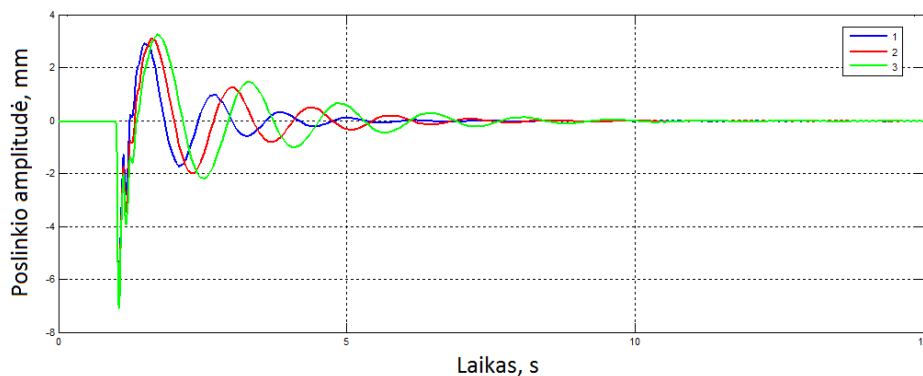
Modeliavimo rezultatai pateikti 4 – 9 pav. 4 pav. pateikti ¼ autobus galinės pakabos, kai naudojamas naujas amortizatorius, modeliavimo rezultatai. 5 pav. yra praplėsta, kad būtų matoma amortizatorių ir autobuso apkrautumo įtaka vertikaliam poslinkiui, 4 pav. dalis iki 5 sekundės. Modeliavimo metu buvo įmamos dvi standumo ir slopinimo reikšmės, kurios priklausė nuo amortizatoriaus būklės. Buvo vertinami dviejų būklių amortizatoriai: naujas ir panaudotas (kurio rida sudarė pusė eksploatacinio laiko, t.y. 60000 km). 6 pav. pateikti ¼ autobus priekinės pakabos, kai naudojamas naujas amortizatorius, modeliavimo rezultatai, 7 pav. praplėsta 6 pav. dalis iki 5 sekundės. 8 pav. pateikti ¼ autobus galinės pakabos, kai naudojamas panaudotas amortizatorius, modeliavimo rezultatai, 9 pav. praplėsta 8 pav. dalis iki 5 sekundės. 10 pav. pateikti ¼ autobus priekinės pakabos, kai naudojamas panaudotas amortizatorius, modeliavimo rezultatai, 11 pav. praplėsta 12 pav. dalis iki 5 sekundės. Modeliavime naudojamos amortizatorių slopinimo ir standumo koeficientų reikšmės paimtos iš A priedo, kuriame pateikti nagrinėjamo autobuso amortizatorių teoriniai ir eksperimentiniai tyrimai.



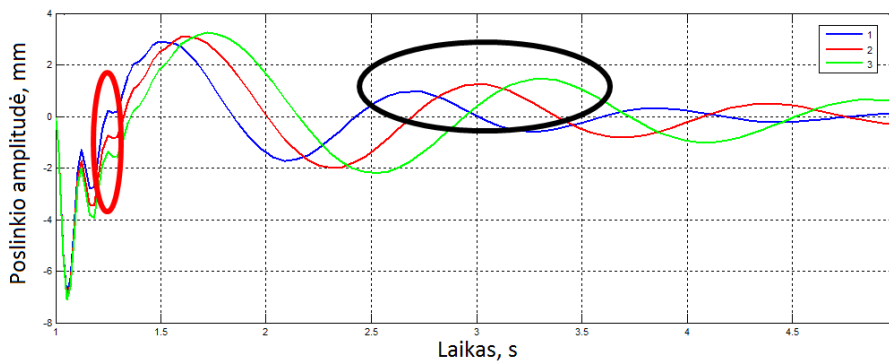
4 pav. $\frac{1}{4}$ autobuso galinės pakabos, kai naudojamas naujas amortizatorius, modeliavimo rezultatai: 1 tuščias autobusas; 2 pusiau pakrautas autobusas; 3 pilnai pakrautas autobusas



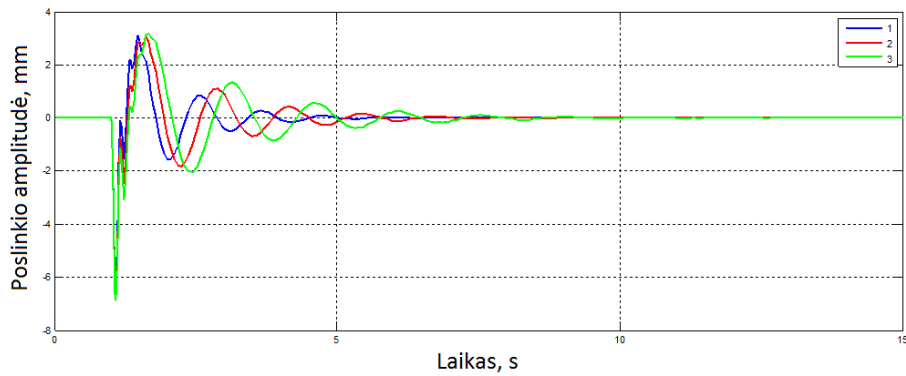
5 pav. $\frac{1}{4}$ autobuso galinės pakabos, kai naudojamas naujas amortizatorius, modeliavimo rezultatai: 1 tuščias autobusas; 2 pusiau pakrautas autobusas; 3 pilnai pakrautas autobusas (praplėsta 2.4 pav. dalis nuo 1 iki 5 sekundės)



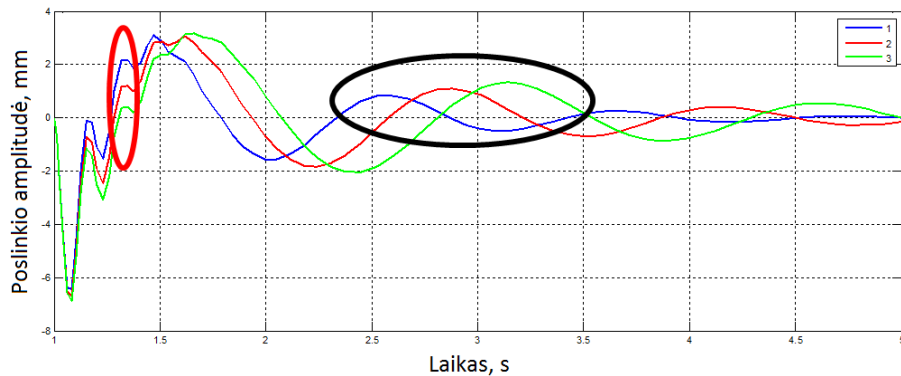
6 pav. $\frac{1}{4}$ autobuso priekinės pakabos, kai naudojamas naujas amortizatorius, modeliavimo rezultatai: 1 tuščias autobusas; 2 pusiau pakrautas autobusas; 3 pilnai pakrautas autobusas



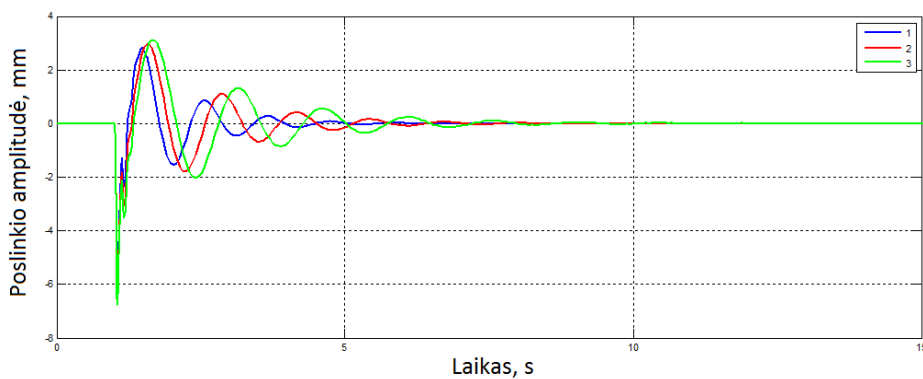
7 pav. $\frac{1}{4}$ autobuso priekinės pakabos, kai naudojamas naujas amortizatorius, modeliavimo rezultatai: 1 tuščias autobusas; 2 pusiau pakrautas autobusas; 3 pilnai pakrautas autobusas (praplėsta 2.6 pav. dalis nuo 1 iki 5 sekundės)



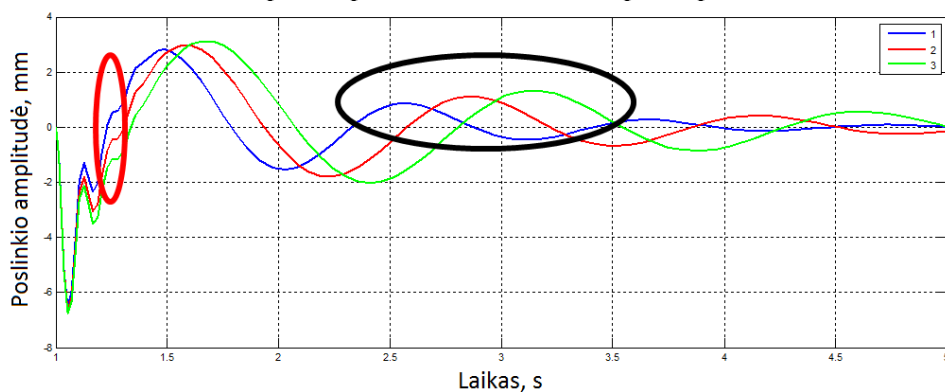
8 pav. $\frac{1}{4}$ autobuso galinės pakabos, kai naudojamas panaudotas amortizatorius, modeliavimo rezultatai: 1 tuščias autobusas; 2 pusiau pakrautas autobusas; 3 pilnai pakrautas autobusas



9 pav. $\frac{1}{4}$ autobuso galinės pakabos, kai naudojamas panaudotas amortizatorius, modeliavimo rezultatai: 1 tuščias autobusas; 2 pusiau pakrautas autobusas; 3 pilnai pakrautas autobusas (praplėsta 2.8 pav. dalis nuo 1 iki 5 sekundės)



10 pav. $\frac{1}{4}$ autobuso priekinės pakabos, kai naudojamas panaudotas amortizatorius, modeliavimo rezultatai: 1 tuščias autobusas; 2 pusiau pakrautas autobusas; 3 pilnai pakrautas autobusas



11 pav. $\frac{1}{4}$ autobuso priekinės pakabos, kai naudojamas panaudotas amortizatorius, modeliavimo rezultatai: 1 tuščias autobusas; 2 pusiau pakrautas autobusas; 3 pilnai pakrautas autobusas (praplėsta 2.10 pav. dalis nuo 1 iki 5 sekundės)

Grafikuose, kurie pateikti 4-11 pav., esančių kreivių skaitinės pateiktos 2 lentelėje. 2 lentelėje pateiktos 5, 7, 9 ir 11 pav. apvestų dalių skaitinės reikšmės. 5, 7, 9 ir 11 pav. raudonai apvesta nuo didesnio dažnio priklausanti dalis (nuslopsta aukštesnio dažnio dedamoji per 0.5 sekundės). 5, 7, 9 ir 11 pav. juodai apvesta nuo žemesnio dažnio priklausanti dalis (nuslopsta žemesnio dažnio dedamoji per 10 sekundžių). Vertinant žemagrindžio autobuso apkrovimą (tuščias, pusiau pakrautas, pilnai pakrautas) matosi, kad masė pasikeičia 40 %, t.y. padidėja pusiau pakrauto autobuso masė vertinant su tuščiu autobusu; vertinant tuščią su pilnai pakrautu autobusu masės padidėjimas lygus 85 %; vertinant pusiau pakrautą su pilnai pakrautu autobusu masės padidėjimas lygus 31 %.

2 lentelė

Skaitinės poslinkio reikšmės gautos modeliavimo metu (iš 5, 7, 9 ir 11 pav.)

Naujas amortizatorius			
Galinė pakaba (5 pav.)	Poslinkio reikšmės prie įvairių autobuso pakrovimo būklių (mm)		
	tuščias	pusiau pakrautas	pilnai pakrautas
Raudona dalis	2,050	1,027	0,201
Juoda dalis	0,943	1,262	1,496
Naujas amortizatorius			
Priekinė pakaba (7 pav.)	Poslinkio reikšmės prie įvairių autobuso pakrovimo būklių (mm)		
	tuščias	pusiau pakrautas	pilnai pakrautas
Raudona dalis	0,214	-0,714	-1,361
Juoda dalis	2,931	3,099	3,262
Panaudotas amortizatorius			
Galinė pakaba (9 pav.)	Poslinkio reikšmės prie įvairių autobuso pakrovimo būklių (mm)		
	tuščias	pusiau pakrautas	pilnai pakrautas
Raudona dalis	2,173	1,191	0,388
Juoda dalis	0,838	1,123	1,340
Panaudotas amortizatorius			
Priekinė pakaba (11 pav.)	Poslinkio reikšmės prie įvairių autobuso pakrovimo būklių (mm)		
	tuščias	pusiau pakrautas	pilnai pakrautas
Raudona dalis	0,503	-0,464	-1,166
Juoda dalis	2,813	2,986	3,110

Pateikti duomenys 2 lentelėje rodo, kad vertinant galinės pakabos virpesius atsižvelgiant į žemagrindžio autobuso apkrovą (tuščias, pusiau pakrautas, pilnai pakrautas) gauti tokie rezultatai: 1.1) kai naudojamas naujas amortizatorius (vertinama juodai apvesta dalis 5 pav., ši dalis parodo neamortizuojamos masės poveikį) poslinkio amplitudė padidėja 5 kartus lyginant tuščią autobusą su pusiau pakrautu, 10 kartų lyginant tuščią autobusą su pilnai pakrautu ir 2 kartus lyginant pusiau pakrautą autobusą su pilnai pakrautu; 1.2) kai naudojamas naujas amortizatorius (vertinama raudonai apvesta dalis 5 pav., ši dalis parodo amortizuojamos masės poveikį) poslinkio amplitudė padidėja 34 % lyginant tuščią autobusą su pusiau pakrautu, 59 % lyginant tuščią autobusą su pilnai pakrautu ir 19 % lyginant pusiau pakrautą autobusą su pilnai pakrautu; 2.1) kai naudojamas panaudotas amortizatorius (vertinama juodai apvesta dalis 9 pav., ši dalis parodo neamortizuojamos masės poveikį) poslinkio amplitudė padidėja 3 kartus lyginant tuščią autobusą su pusiau pakrautu, 5,6 karto lyginant tuščią autobusą su pilnai pakrautu ir 82 % lyginant pusiau pakrautą autobusą su pilnai pakrautu; 2.2) kai naudojamas panaudotas amortizatorius (vertinama raudonai apvesta dalis 9 pav., ši dalis parodo amortizuojamos masės poveikį) poslinkio amplitudė padidėja 34 % lyginant tuščią autobusą su pusiau pakrautu, 60 % lyginant tuščią autobusą su pilnai pakrautu ir 19 % lyginant pusiau pakrautą autobusą su pilnai pakrautu. Vertinant priekinės pakabos virpesius atsižvelgiant į žemagrindžio autobuso apkrovą (tuščias, pusiau pakrautas, pilnai pakrautas) gauti tokie rezultatai: 3.1) kai naudojamas naujas amortizatorius (vertinama juodai apvesta dalis 7 pav., ši dalis parodo neamortizuojamos masės poveikį) poslinkio amplitudė padidėja 90 % lyginant tuščią autobusą su pusiau pakrautu, 7,4 karto lyginant tuščią autobusą su pilnai pakrautu ir 4,4 karto lyginant pusiau pakrautą autobusą su pilnai pakrautu; 3.2) kai naudojamas naujas amortizatorius (vertinama raudonai apvesta dalis 7 pav., ši dalis parodo amortizuojamos masės poveikį) poslinkio amplitudė padidėja 5,7 % lyginant tuščią autobusą su pusiau pakrautu, 5,1 % lyginant tuščią autobusą su pilnai pakrautu ir 11 % lyginant pusiau pakrautą autobusą su pilnai pakrautu; 4.1) kai naudojamas panaudotas amortizatorius (vertinama juodai apvesta dalis 11 pav., ši dalis parodo neamortizuojamos masės poveikį) poslinkio amplitudė padidėja 2,5 karto lyginant tuščią autobusą su pusiau pakrautu, 3,3 karto lyginant tuščią autobusą su pilnai pakrautu ir 90 % lyginant pusiau pakrautą autobusą su pilnai pakrautu; 4.2) kai naudojamas panaudotas amortizatorius (vertinama raudonai apvesta dalis 11 pav., ši dalis parodo amortizuojamos masės poveikį) poslinkio amplitudė padidėja 6,3 % lyginant tuščią autobusą su pusiau pakrautu, 4,1 % lyginant tuščią autobusą su pilnai pakrautu ir 10,6 % lyginant pusiau pakrautą autobusą su pilnai pakrautu. Vertinant amortizuojamos masės poveikį poslinkio

amplitudžių pokytis sumažėja nuo 11,6 iki 12,5 %, kai vertinami galinės pakabos naujas su panaudotu amorizatoriai. Vertinant amortizuojamos masės poveikį poslinkio amplitudžių pokytis sumažėja nuo 3,8 iki 4,9 %, kai vertinami priekinės pakabos naujas su panaudotu amorizatoriai. Vertinant neamortizuojamos masės poveikį poslinkio amplitudžių pokytis sumažėja 6, 16 ir 93 % (atitinkamai tuščias, pusiau pakrautas ir pilnai pakrautas autobusas), kai vertinami galinės pakabos naują su panaudotu amorizatoriai. Vertinant neamortizuojamos masės poveikį poslinkio amplitudžių pokytis sumažėja 2,35 karto, 54 ir 17 % (atitinkamai tuščias, pusiau pakrautas ir pilnai pakrautas autobusas), kai vertinami priekinės pakabos naujas su panaudotu amorizatoriai.

Išvados

Atlikti tyrimai parodo, kad vertinant amortizuojamos masės poveikį poslinkio amplitudžių pokytis sumažėja nuo 11,6 iki 12,5 %, kai vertinami galinės pakabos naujas su panaudotu amorizatoriai. Vertinant amortizuojamos masės poveikį poslinkio amplitudžių pokytis sumažėja nuo 3,8 iki 4,9 %, kai vertinami priekinės pakabos naujas su panaudotu amorizatoriai. Vertinant neamortizuojamos masės poveikį poslinkio amplitudžių pokytis sumažėja 6, 16 ir 93 % (atitinkamai tuščias, pusiau pakrautas ir pilnai pakrautas autobusas), kai vertinami galinės pakabos naujas su panaudotu amorizatoriai. Vertinant neamortizuojamos masės poveikį poslinkio amplitudžių pokytis sumažėja 2,35 karto, 54 ir 17 % (atitinkamai tuščias, pusiau pakrautas ir pilnai pakrautas autobusas), kai vertinami priekinės pakabos naujas su panaudotu amorizatoriai.

Literatūra

1. Minka, N. S. and Ayo, J. O (2007) Effects of loading behavior and road transport stress in traumatic injuries in cattle transported by road during the hot-dry season. *Livestock Science*. 107: 91 -95.
2. Olorunshola K. V., Achie, L. N. and Ogunwole, E. (2011) Effect of Road Transport Stress on the cardiopulmonary parameters of Young Adult Nigerians during the Harmattan Season. *Asian J. of Med. Sci.* 3(4): 164 – 169.
3. Lin, Wen Kan et al., "Dynamic wheel/pavement force sensitivity to variations in heavy vehicle parameters, speed and road roughness", *Heavy Vehicle Systems, Int. J. of vehicle design*, 1(2), 1994, pp139-155.
4. Kilikevičienė, Kristina; Skeivalas Jonas; Kilikevičius, Artūras; Pečeliūnas, Robertas; Bureika, Gintautas. The analysis of bus air spring condition influence upon the vibration signals at bus frame. *Maintenance and reliability*. Warsaw : Polish Maintenance Society. ISSN 1507-2711. Vol. 17, iss. 3 (2015), p. 463-469.
5. Jurevičius, Mindaugas; Turla, Vytautas; Bureika, Gintautas; Kilikevičius, Artūras. Effect of external excitation on dynamic characteristics of vibration isolating table. *Maintenance and reliability*. Warsaw : Polish Maintenance Society. ISSN 1507-2711. Vol. 17, iss. 2 (2015), p. 260-265.

THE DYNAMIC ANALYTICAL RESEARCH OF BUS

Summary

The aim of research is to analyse the dynamic characteristics of the low-floor bus through the vibration equation. To achieve the first was made up ¼ of the bus system dynamic model and performed simulation system wakeup actual amplitude values. Second, the simulations carried out the shock absorber. Made in the bus system dynamic model allows the analysis of the characteristic and dangerous bus dynamic oscillations.

Keywords: road transport, buses, dynamic researches.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Artūras Kilikevičius.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

Darbo vietą ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Mechanikos inžinerijos fakulteto Mechanikos inžinerijos katedros docentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: Mechanika, virpesiai, guolių diagnostika.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 677 55819, arturas.kilikevicius@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Kristina Kilikevičienė.

Mokslo laipsnis ir vardas: doktorantė

Darbo vietą ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Automobilių transporto katedros magistrantė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: Mechanika, virpesiai, guolių diagnostika.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 678 14786, kristina.kilikeviciene@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Jonas Matijošius.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

Darbo vietą ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Automobilių transporto katedros docentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: Transporto ekologija, alternatyvioji energetika.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 684 04169, jonas.matijosius@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Petras Kaikaris.

Mokslo laipsnis ir vardas: lektorius

Darbo vietą ir pozicija: VšĮ Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos, Technikos fakulteto Automobilių transporto katedros vedėjas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: Transporto ekologija, alternatyvioji energetika.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 676 16303, p.kaikaris@vtdko.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Jurijus Zaranka.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, lektorius

Darbo vietą ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Automobilių transporto katedros lektorius.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: Transporto ekologija, alternatyvioji energetika.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 699 33742, jurijus.zaranka@vilniausvt.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Arturas Kilikevičius.

Science degree and name: doctor, associated professor.

Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Mechanical Engineering faculty Mechanical Engineering department associated professor.

Author's research interests: Mechanics, vibrations, diagnostic of rolling.

Telephone and e-mail address: +370 677 55819, arturas.kilikevicius@vgtu.lt

Author name, surname: Kristina Kilikevičienė

Science degree and name: doctoral student.

Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Transport department doctoral student.

Author's research interests: Mechanics, vibrations, diagnostic of rolling.

Telephone and e-mail address: +370 678 14786, kristina.kilikeviciene@vgtu.lt

Author name, surname: Jonas Matijošius.

Science degree and name: doctor, associated professor.

Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Transport department associated professor.

Author's research interests: Transport ecology, alternative energetics.

Telephone and e-mail address: +370 684 04169, jonas.matijosius@vgtu.lt

Author name, surname: Petras Kaikaris.

Science degree and name: lector.

Workplace and position: Vilnius College of Technology and Design, Technic faculty Head of Automobile Transport department.

Author's research interests: Transport ecology, alternative energetics.

Telephone and e-mail address: +370 676 16303, p.kaikaris@vtdko.lt

Author name, surname: Jurijus Zaranka.

Science degree and name: doctor, lector.

Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Transport department lector.

Author's research interests: Transport ecology, alternative energetics.

Telephone and e-mail address: +370 699 33742, jurijus.zaranka@vilniausvt.lt