



20-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos
TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,
vykusios 2017 m. gegužės 12 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 20th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'
TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 12 May 2017, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 20-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»
ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 12 мая 2017 г., Вильнюс, Литва

AUTOMOBILIO TRAUKOS TYRIMAS

Mantas Vaitkevičius, Vilius Bartulis, Algimantas Danilevičius, Jurijus Zaranka

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Transporto technologinių įrenginių katedra
El. paštas: mantas.vaitkevicius@stud.vgtu.lt; vilius.bartulis@vgtu.lt; algimantas.danilevicius@vgtu.lt;
jurijus.zaranka@vgtu.lt

Santrauka. Apžvelgti tyrimai, susiję su rato ir kelio sukibimu, praslydimu, slydimu ir kitais veiksniais lemiančiais traukos jėgos dydį. Apžvelgiama įranga ir eksperimento metodika, skirta varančiųjų ratų traukos jėgai nustatyti, keičiantis apkrovoms. Pateikiami pirminio bandymo rezultatai, kurie parodo, kaip kito varančiųjų ratų traukos jėga, keičiant pasipriešinimą riedėjimui ir patvirtina, kad pasirinktos priemonės tinkamos tolimesniam traukos tyrimui.

Reikšminiai žodžiai: sukibimas, buksavimas, traukos jėgos, pasipriešinimas riedėjimui.

Įvadas

Idėja patyrinti vilkiko – evakuatoriaus realios traukos jėgos priklausomybę nuo įvairių veiksnių kilo, atliekant praktiką transporto įmonėje pamačius, kad ir galin-gas vilkikas ne visada gali ištraukti įklimpusį ar apvirtusį autobusą ar sunkvežimį.

Šio darbo tikslas – pirminiais bandymais nustatyti, ar pasirinktos priemonės tinka tolimesniems bandymams, skirtiems iširti rato ir kelio sąveiką, siekiant nustatyti ratų buksavimą bei trauką nulemiančių svarbiausių veik-snių įtaką, patikrinti eksperimento metodiką, susipažinti su preliminararaus eksperimento rezultatais. Tyrimo objektas – vilkiko realizuojama traukos jėga ir ją veikiantys veik-sniai. Šiame darbe pristatomi pirminio tyrimo rezultatai.

Ankstesnių tyrimų apžvalga

Sukibimas su kelio danga priklauso nuo kelio dan-gos, nuo veikiančių šoninių ir vertikalių apkrovų, nuo padangų ir pakabos charakteristikų. Kelio danga turi įta-kos ir stabilumui. Jeigu ratai blogai sukimba su kelio danga, mažėja trauka, stabilumas, ratai pradeda buksuoti. Sukibimą galima tyrinėti naudojant slydimo sistemą (Žu-raulis *et al.* 2014), tačiau šiuo atveju yra skaičiuojamas sukibimas slystant ratams, kai slydimas yra stabilus ir kai nestabilus, esant įvairioms dangoms. Geriausias sukibi-mas – ant sauso asfalto, o blogiausias – ant sniego. Rei-kėtų paminėti, kad temperatūra turi įtakos ratų sukibimui su keliu – kuo aukštesnė padangų temperatūra, tuo geres-nis sankibumas. Padangų temperatūra priklauso nuo kelio

dangos, nuo oro sąlygų, nuo medžiagų, esančių ant kelio, nuo važiavimo greičio (Pliopys, Sivilevičius 2013). Dau-giausiai avarių įvyksta šaltuoju metų laiku, kuomet kelio danga pasidengia ledu arba sniegu. Ratų sukibimą su ledu arba sniego danga galima tyrinėti naudojant būgninį pa-dangų tyrimo stendą su terminę kamera. Bandymų metu nustatyta, kad maksimali padangos temperatūra susidaro protektorių grioveluose, – tai vietos, kurios neturi kon-takto su ledu, o vietų, kurios kontaktuoja su ledu, tempe-ratūra yra gerokai žemesnė (Ružinskas 2016). Rato suki-bimui nustatyti galima naudoti specialų įrenginį – trans-porterį. Sukibimas nustatomas jutikliais, kurie yra mon-tuojami ant rato. Ratas juda transporteriu, o ant rato esan-tys jutikliai fiksuoja parametrus. Transporterio pagalba galima imituoti įvairias sudėtingas važiavimo sąlygas (Ahmadian *et. al.* 2008).

Norint pagerinti sukibimą su kelio danga, stabdant automobilį, turi būti užtikrintas padangos kontaktas su kelio danga. Tokiu atveju padidėja lėtėjimo efektyvumas ir sumažėja stabdymo kelio ilgis. Sukibimą galima nusta-tyti pagal stabdymo pėdsaką. Jeigu stabdoma su ABS sistema, padangų pėdsako žymės – trumpesnės, o žymės spalvos intensyvumas būna nepastovus (Levulytė 2014). Stabilumas ir ratų sukibimas – labai svarbios savybės techniniam pagalbos sunkvežimiui (evakuatoriui) važiuo-jant minkštu dirvožemiu.

Kad ratai nebuksuotų, turi būti vertikalčiai apkrauta varančioji ašis, tinkamai parinktas oro slėgis padangose, atsižvelgiant į tai, kokia kelio danga transporto priemonė judės (Janulevičius, Giedra 2010, 2008). Veikiančios jėgos, apkrovos, riedėjimo pasipriešinimo koeficientai

turi pasiskirstyti taip, kad būtų maksimaliai sumažintas varančiųjų ratų praslydimas, išlaikant maksimalų sankibumą ir didžiausią trauką (Damanauskas *et al.* 2010). Paminėtina, kad traukos jėgą riboja ne tik variklio sukimo momentas, bet ir buksavimo dydis, kuris priklauso nuo evakuatoriaus masės (Jonaitis *et al.*). Patartina naudoti radialines padangas, nes jos turi 10–15 % didesnį kontaktą su paviršiumi, negu diagonalinės, esant vienodai ratų apkrovai ir vienodam slėgiui padangose, tai traukos jėgą padidina 10–12 %, naudingumo koeficientą padidina 3–5 %, o rato apkrova dirvožemiui 10–15 % mažesnė (Poška 2012).

Traukos jėga P_T , tenkanti varantiesiems ratams priklauso nuo traukos momento, veikiančio varančiuosius ratus, santykio su ratų riedėjimo spinduliu (Sapragonas 1995).

$$P_T = \frac{M_T}{r_r} = \frac{M \cdot i_{pd} \cdot i_{pp} \cdot \eta}{r_r} \quad (1)$$

Čia: M – traukos momentas; M_T – traukos momentas veikiantis varančiuosius ratus; i_{pd} – pavarų dėžės perdavimo skaičius; i_{pp} – pagrindinės pavaros perdavimo skaičius; η – transmisijos naudingumo koeficientas; r_r – ratų riedėjimo spindulys.

Traukos jėga, tenkanti varantiesiems ratams, ne visada gali būti visiškai išnaudota automobilio judėjimui dėl ratų praslydimo arba buksavimo. Kad ratas riedėtų be slydimo ir buksavimo, turi tenkinti tokią sąlygą: traukos jėga P_T turi būti mažesnė arba lygi sukibimo jėgai $P_{suk.}$.

$$P_T \leq P_{suk.} \quad (2)$$

Sukibimo jėgos dydis priklauso nuo vertikalios apkrovos, tenkančios ratui ir padangos sukibimo su kelio danga koeficiento μ .

$$P_{suk.} = F_z \cdot \mu \quad (3)$$

Sankibumas priklauso nuo rato reakcijos jėgos atstumo a rato centro kontakte ir nuo rato riedėjimo spindulio (Moore 1975).

$$\eta_{sank.} = a \cdot r_r \quad (4)$$

Matematinis modelis padeda įvertinti įvairių charakteristikų priklausomybes, vykstančius procesus. Matematinis modeliavimas taikomas tada, kai nėra laiko ir lėšų atlikti realų eksperimentą arba kai norima palyginti modeliavimo metu gautus rezultatus su realiais. Galima modeliuoti traukos jėgas, važiuojant dirvožemiu, panaudojant dimensinę analizę. Palyginus nuspėtus, eksperimentinius ir modeliavimo metu gautus rezultatus, galima nustatyti tarpusavio ryšius (Nkakini *et al.* 2012). Yra daug kompiuterinių programų, tokių kaip *ADAMS*, *Matlab*, *LabView*, *Maple*, *CarSim*, kurių pagalba galima sudaryti matematinis modelius. Tačiau populiariausia tarp mokslininkų yra programa *CarSim*, kuri naudojama automobilio judėjimo parametrų patikrinti (sukibimas, traukos jėgos ir t. t.). *CarSim* leidžia sudaryti gana tikslų dinaminį modelį, nes galima įvesti daug parametru, pagal kuriuos programa atliks skaičiavimus ir rezultatus pateiks grafine, skaitine ir 3D animuota forma. Ši programa

užima išskirtinę poziciją dėl patogios vartotojo sąsajos parenkant modeliavimo parametrus, pasirenkant simuliuojamus procesus ir dėl rezultatų pateikimo formų (Žuraulis *et al.* 2012). Planuojame ateityje sudaryti matematinį traukos proceso modelį, įvertinantį vilkiko – evakuatoriaus darbo sąlygas, taip pat atlikti eksperimentinį tyrimą, pasinaudojant daugiafaktorinio eksperimento planavimo metodu. Šiuo metu atlikti pirminiai bandymai ir jų rezultatai pateikti kitame skyriuje.

Bandymo metodika ir rezultatai

Eksperimento tikslas – patikrinti prielaidas, kad, keičiant velkamos transporto priemonės sukuriamą pasipriešinimą, turimomis priemonėmis galima užfiksuoti traukos jėgos kitimą ir pasiekti, kad vilkikas pradėtų buksuoti. Bandymai buvo atlikti ant snieguotos kelio dangos (sniegas – sausas, šviežias, purus). Tyrime buvo naudojami du lengvieji automobiliai: *Volvo V70* ir *Opel Vectra* (*Volvo* automobilis vilko *Opel* automobilį). Naudoti prietaisai: skaitmeninis dinamometras *HP-20K*, galintis matuoti nuo 0,01 iki 20 kN jėgas, sujungtas su personaliniu kompiuteriu, ir filmuojanti foto kamera.



1 pav. Skaitmeninis dinamometras *HP-20K*

Abu automobiliai stovi lygioje horizontalioje sniegu padengtoje aikštelėje. Vilkikas su velkamuoju automobiliu sujungti tekstiline vilktimi. Nuosekliai tarp vilkties ir velkamojo automobilio įjungtas skaitmeninis dinamometras, laidais sujungtas su personaliniu kompiuteriu, esančiu velkamojo automobilio salone (2 pav.).

Šalia automobilių ant važiuojamosios dalies pastatyta filmuojanti foto kamera taip, kad jos matymo lauke būtų vilkiko varantysis ratas su galimybe užfiksuoti jo riedėjimą arba buksavimą numatytoje 2–3 metrų ilgio trasoje. Ant rato priklijuota gerai matoma žymė, kurios judėjimas bus sekamas kameros įrašė. Čia privalu pastebėti, kad kai vilkiko diferencialas neblokuojamas, reikėtų stebėti abiejų pusių varančiuosius ratus.

Bandyme dalyvauja trys žmonės. Vienas valdo velkamąjį automobilį išjungtu varikliu ir kompiuterį, antras įjungia foto kamerą ir stebi bandymą iš šono, trečias vairuoja vilkiką.

Stebėtojai davus ženklą, vienu metu jis įjungia kamerą, o kolega – dinamometro programą kompiuteryje. Po to vilkiko vairuotojas bando tolygiai pajudėti. Vilkis

prieš bandymą šiek tiek įtempta, kad nebūtų smūgio dinamometrui. Jei vilkikas nebuksuoja, pavažiavus pora metrų, bandymas stabdomas ir kartojamas. Jei buksuoja – po keleto sekundžių bandymas taip pat stabdomas ir kartojamas.

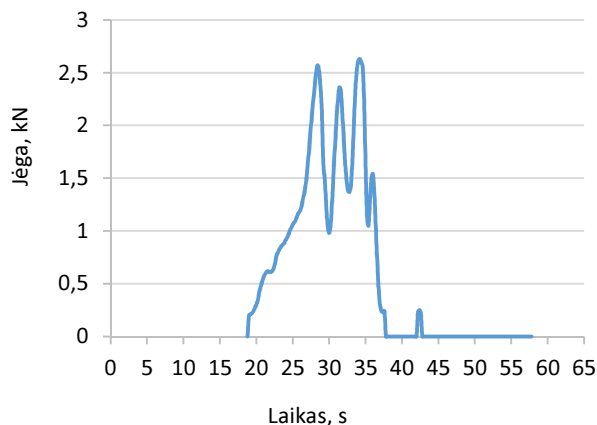
Velkamo automobilio pasipriešinimas vilkimui skirtinguose bandymuose laipsniškai didinamas, įjungiant skirtingas pavaras pradedant aukščiausia, kol vilkikas pradeda buksuoti. Jei nebuksuoja esant žemiausiai pavarai, pasinaudojama darbinio velkamojo automobilio stabdžiu.



2 pav. Skaitmeninis dinamometras įjungtas tarp vilkties ir velkamojo automobilio, kurio salone – laidais su dinamometru sujungtas personalinis kompiuteris

Mes atlikome bandymą, naudodami penktą ir trečią pavaras bei darbinį stabdį – pastaruoju atveju velkantysis automobilis užbuksavo.

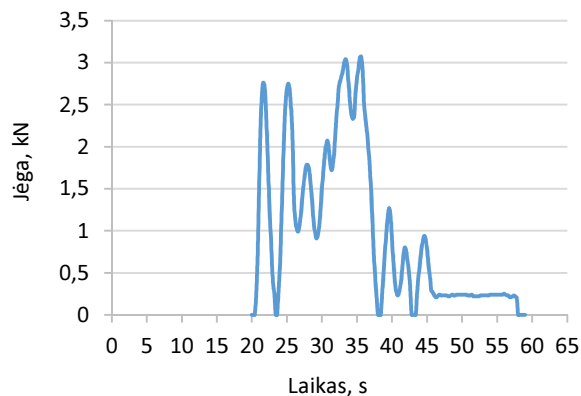
Bandymo rezultatai, kuriuos kompiuteryje galima matyti ir skaitine išraiška, čia pristatyti grafiniu pavidalu, pasinaudojant Excel programa, 3, 4, 5 ir 6 pav.



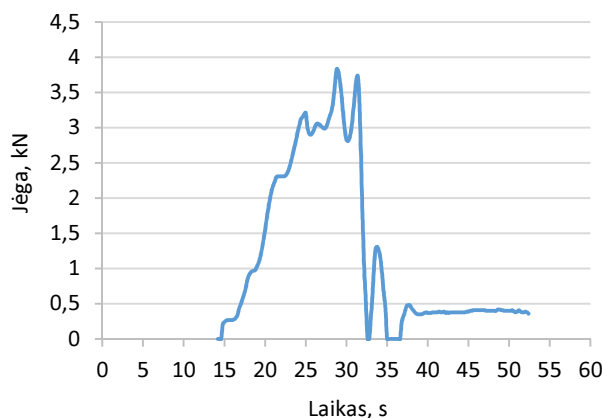
3 pav. Traukos jėgos kitimas velkant automobilį su įjungta 5 pavarą (variklis išjungtas)

Velkamasis automobilis priešinasi mažiausiai, kai įjungta 5 pavarą (3 pav.). Nelabai tolygaus sankabos įjungimo proceso metu traukos jėga auga palaipsniui, po to pastebimas tolygus kreivės kilimas dėl vilkties tampumo. Trumpo bandymo metu judėjimas nenusistovi, bet galima fiksuoti maksimalią reikšmę – 2,6 kN. Reikėtų pastebėti, kad kompiuterio programa naudojo savo laiko skalę, ir grafikuose laiko ašyje sekundės yra sąlyginės.

Bandymo, kai įjungta trečioji velkamo automobilio pavarą (4 pav.) metu sankaba įjungama greit ir sklاندžiai, traukos jėga sparčiai didėja ir, kaip ir prieš tai atliktame bandyme, pastebima keletas pasikartojančių jėgos svyravimų dėl nenusistovėjusio judesio ir, tikėtina, dėl velkamo automobilio variklio prasisukimo. Vėlesni pikai – didesni, juos ir fiksuojame, nes mus domina maksimali pasipriešinimo jėga, kurią turi nugalėti vilkikas.



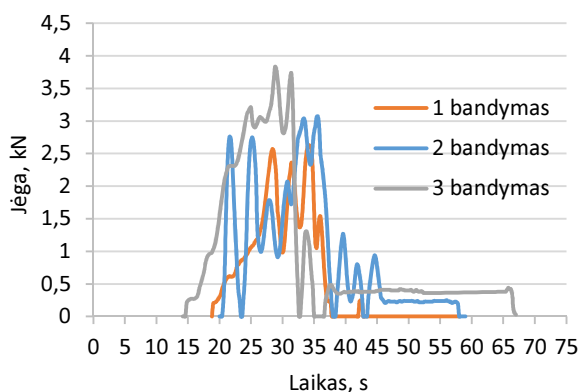
4 pav. Traukos jėgos kitimas, kai įjungta 3 pavarą



5 pav. Traukos jėgos kitimas, kai velkamo automobilio ratai stabdomi

Siekiant išgauti maksimalų pasipriešinimą, trečiuoju bandymu (5 pav.) vilkiko ratai buvo stabdomi darbinio stabdžiu. Pajudėjimas iš vietos šiuo atveju pats netolygiausias, nes dėl padidėjusio pasipriešinimo spaudžiamas akseleratorius ir atleidžiama sankaba juda ne visai tolygiai. Šiuo atveju kreivės pikų mažiau, nes velkamo automobilio ratams čiuožiant, jo variklis nebeprasisuka, todėl nebėra ir jėgos svyravimų.

Nepaisant sklandaus pajudėjimo, pastebimas nuoseklus traukos jėgos mažėjimas, kintant velkamojo automobilio pasipriešinimui (6 pav.). Išvada iš šio bandymo – ateityje panašiuose bandymuose reikėtų vilkti ne variklinę transporto priemonę. Taip pat šiuose bandymuose nepavyko pasiekti, kad vilkikas buksuotų. Kaip jau buvo pastebėta, jei diferencialas neblokuojamas, reikėtų fiksuoti vilkiko abiejų pusių varančiųjų ratų sūkius, kad būtų galima nustatyti buksavimo koeficientą.



6 pav. Traukos jėgos priklausomybė nuo velkamo automobilio pavaros: 1 bandymas – 5 pavarą; 2 bandymas – 3 pavarą; 3 bandymas – automobilis užstabdytas

Planuojame didesnės apimties eksperimentą natūraliomis sąlygomis, kuriame pasinaudosime čia pristatyto bandymo išvadomis.

Išvados

Skaitmeninis dinamometras *HP-20K* su matavimo diapazonu nuo 0,01 iki 20 kN tinkamas matuoti mūsų numatyto didesnio nei šiame bandyme diapazono traukos jėgai.

Norint nustatyti buksavimo koeficientą, kai vilkiko diferencialas neblokuojamas, reikia stebėti abiejų pusių ratus.

Traukos bandymuose vilkti reikėtų ne variklinę transporto priemonę, kad ratams prasisukant variklyje nebūtų trūkčiojimų.

Literatūra

- Damanskas, V.; Janulevičius, A.; Pupinis, G. 2010. Traktoriaus balastinių masių, oro slėgio padangose ir darbo rodiklių priklausomybių tyrimai sėjos darbuose, *Lietuvos žemės ūkio universiteto mokslo darbai* 2-3(42): 9–21. Kaunas.
- Janulevičius, A.; Giedra, K. 2010. The slippage of the driving wheels of a tractor in a cultivated soil and stubble, *Journal of Transport* 24(1): 14–20.
- Janulevičius, A.; Giedra, K. 2008. Tractor ballasting in fieldwork, *Journal of „MECHANIKA“* 5. University of Agriculture, Kaunas.
- Jonaitis, E.; Žitkevičius, M.; Pašiškevičius, L. *Ivairių gedimų šalinimas žemės ūkio mašinose*. Techninis aprašas.
- Levulytė, L. 2014. Automobilio padangos ir kelio dangos sąveikos įtaka automobilio lėtėjimo parametrui. *17-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos medžiaga*, p. 118–124. Vilnius: Technika.
- Moore, D. 1975. *The friction of pneumatic tyres*.
- Nkakini, S. O.; Fubara-Manuel, I. 2012. Modeling Tractive Force Requirements of Wheel Tractors for Disc Ridging in Loamy Sand Soil, *International Journal of Engineering and Technology* 2(10): 1657–1665.
- Ružinskas, A. 2016. Automobilio padangos sąveikos su ledu termografiniai tyrimai, *Statyba, Transportas, Aviacinės Technologijos* 8(5): 509–513. Available from Internet: <<http://dx.doi.org/10.3846/mla.2016.965>>.
- Pliopys, R.; Šivilevičius, H. 2013. *Temperatūros įtakos automobilio rato sukibimo su kelio danga parametrui modeliavimas ir tyrimas*, baigiamasis magistro darbas. VGTU.
- Poška, A. 2012. *Traktoriaus eksploatacinių rodiklių tyrimas arimo darbuose*, baigiamasis magistro darbas. Aleksandro Stulginskio universitetas. Kaunas.
- Sapragonas, J. 1995. *Automobilių ir traktorių konstravimas*. Mokomoji knyga. Kaunas: Technologija.
- Žuraulis, V.; Žukas, A. 2012. Simuliacinės programos CarSim panaudojimo galimybės automobilių skersinės dinamikos tyrimuose. *Aleksandro Stulginskio Universiteto mokslo darbai*. VGTU. 44(1–3): 100–111. Vilnius, Kaunas.
- Žuraulis, V.; Kemzūraitė, K.; Wieckowski, D. 2014. *Automobilių dinaminė savybių tyrimas skirtingomis sukibimo sąlygomis naudojant slydimo sistemą*. VGTU. 195-2.