

Apkrovų paskirstymo įtaka transporto priemonės dinamikai

Saulius Tamokaitis*, Mantas Beniušis

Klaipėdos valstybinė kolegija, Technologijų fakultetas

Bijūnų g. 10, Klaipėda, LT-91223

El. paštas: s.tamokaitis@kvk.lt, m.beniušis@kvk.lt

(Gauta 2019 m. sausio mėn.; atiduota spaudai 2019 m. balandžio mėn.; prieiga internete nuo 2019 m. gegužės 10 d.)

Anotacija

Straipsnyje analizuojama O1 tipo priekabų krovinio svorio centro įtaka sukabinimo taško apkrovimui, sudaromos krovinio pakrovimo schemos naudojant analitinį metodą ir patikrinama naudojantis programine kompiuterine įranga TrailerWin. Straipsnyje pristatoma pakrovimo schemų panaudojimo būtinybė kiekvieno pakrovimo metu ir sukabinimo taško apkrovos leistinų normų laikymosi svarba transporto junginio eksploatavimo metu.

Reikšminiai žodžiai: svorio centras, sukabinimo taško apkrova, transporto dinamika, transporto junginys, eismo saugumas.

Abstract

The article analyses the influence of the load centre of gravity on the load of the coupling point at O1 trailers type, draws up loading schemes using an analytical method and is checked using the software TrailerWin. The article presents the necessity of using loading schemes during each loading and the importance of adherence to the permissible load points of the coupling point during the operation of the combination.

Key words: Centre of gravity, coupling point load, transport dynamics, transport compound, traffic safety

Įvadas

Transportas yra neatsiejama aukštos kokybės gyvenimo dalis, didinanti geografinį pasiekiamumą, žmonių ir prekių judumą. Didėjant gyvenimo tempui transporto priemonės ar jų junginiai sudaryti iš O1 kategorijos priekabos, kurių leidžiamoji bendroji masė iki 750 kg, užima vis didesnę reikšmę gyventojų gyvenime. Norint kuo greičiau, pigiau ir efektyviau pervežti krovinį asmeniniam vartojimui į eismą įtraukiamas transporto junginys, kurio bendroji masė negali viršyti 3 500 kg, leidžiantis efektyviai pervežti nedidelius ir nesunkius krovinius, kurių masė gali siekti iki 500 kg. Dalyvaujant tokiems junginiams eisme keičiasi transporto priemonių eksploatavimo sąlygos, kurios priklauso ne tik nuo oro sąlygų, vairuotojo patirties, bet ir nuo junginio teisingo pakrovimo. Dėl vairuotojų žinių stokos kroviniai išdėstomi neatsižvelgiant į apkrovų paskirstymo planą, kas sudaro įtaką transporto junginio dinamikai, kuri didina eismo saugumo riziką. Pakitusios transporto priemonės ašių apkrovos, dėl svorio centro padėties ir apkrovos paskirstymo blogina transporto junginio dinamines valdymo savybes. Stabdymo ir vairavimo metu netinkamai apkrautos priekinė ir galinė ašys blogina automobilio sukibimą su kelio danga, todėl priekabos be stabdymo įrangos masė gali keisti transporto priemonės judėjimo kryptį. Taip padidėja avarių rizika, susijusi su automobilio nuslydimu, išvažiavimu į priešingą eismo kryptį, junginio apvirtimu ir sukabinimo įtaiso lūžimu (Girkontas, 2017). Susisiekimu ministras Rokas Masiulis iškėlė ambicingą tikslą saugaus eismo strategiją iki 2030 m. – „Viziją 0“. Šios strategijos prioritetai – saugesnė eismo dalyvių elgsena, saugesni keliai ir gatvės, saugesnės transporto priemonės ir efektyvesnė pagalba po eismo įvykių (Ministras Rokas Masiulis: saugaus eismo srityje keliami ambicingi tikslai, 2019).

Krovinio masė, dažnu atveju, yra didesnė nei lengvosios O1 priekabos masė. Tokiu atveju svarbi krovinio svorio centro išdėstymo padėtis priekaboje, taip pat tam įtakos turi skirtingi krovinių matmenys ir svoriai bei galimybės tvirtinti krovinius. Tuomet keičiasi priekabos ir velkačiosios transporto priemonės sudaryto junginio svorio centras išilginėje padėtyje bei apkrovos tenkančios ašims, kartais ši įtaka gali būti ypač reikšminga (Momiya et al., 1999). Svorio centro įtaka yra artimai susijusi su automobilio virtimu. Nelaimingi atsitikimai susiję su virtimu skirstomi į dvi kategorijas: kai automobilis slysta ir kai neslysta. Slystant automobiliui virtimas siejamas su dangos pokyčiais, kai automobilio ratai nuslydę nuo tvirto kelio į kelkraštį įstringa minkštame

kelkraščio pagrinde arba atsitrenkia į kitą pakelės objektą. Transporto priemonės, o ypač transporto priemonių junginiai, verčiasi be slydimo, netinkamai išdėsčius krovinių bandoma atlikti sudėtingus greitus manevrus (Lambert, 2007). Transporto priemonių virtimo galimybės NHTSA (angl. National Highway Traffic Safety Administration) lyginamos naudojant statinio stabilumo rodiklį (Walz, 2005).

Krovinių išdėstymo planas transporto priemonėse ir junginiuose apibrėžiamas VDI 2007 Ballt 4 standarte (<http://epaper.konradin-relations.de/onet/SI/2010011/pdf/pagina.033.pdf>), bet jis labiau skirtas sunkiojo transporto junginiams. Lengvųjų priekabų ir automobilių junginiai dažnai nėra apibrėžti dėl krovinių svorio centro padėties išilginio išdėstymo, tai apibrėžia dažniausiai tik automobilių ir priekabų gamintojai, numatydami sukabinimo taško leistinas apkrovas.

Tyrimo tikslas - ištirti apkrovų paskirstymo įtaką transporto priemonės dinamikai.

Uždaviniai:

- Nustatyti priekabų O1 sukabinimo taško apkrovų įtaką eismo saugumui.
- Išanalizuoti krovinių svorio centro įtaką O1 priekabos sukabinimo taško apkrovimui.

Tyrimo metodika ir jos taikymas

Tyrimo pradžioje nustatius pagrindinę problemą: eismo saugumo sumažėjimas naudojant transporto junginius su O1 priekaba dėl netinkamo krovinių išdėstymo O1 priekabos išilginėje horizontalėje, parinktas tyrimo objektas O1 priekaba be pagrindinės stabdžių sistemos, kurios leidžiama velkamoji masė turi būti lygi pusei parengtos eksploatuoti velkančiosios transporto priemonės masės, o didžiausia techniškai leidžiama velkamoji masė negali būti didesnė nei 750 kg arba didžiausia techniškai leidžiama masė sukabinimo taške negali būti mažesnė kaip 4 % didžiausios leidžiamos velkamosios masės ir ne mažesnė kaip 25 kg.

Tyrimui atlikti naudojama analitinių skaičiavimų metodika pagal VDI 2700 Ballt 4 standartą (<http://epaper.konradin-relations.de/onet/SI/2010011/pdf/pagina.033.pdf>). Naudojama TrailerWin programinė įranga, skirta sudaryti apkrovų paskirstymo planams skaitmeniniu metodu, įvedus maksimalaus krovinių dydį ir priekabos duomenis, leistinas ašies ir sukabinimo įtaiso apkrovas. Analitinių skaičiavimų ir programos TrailerWin pagalba gautų rezultatų vertinimas ir lyginimas atliekamas, kai leistina sukabinimo įtaiso apkrova neviršija 4 %, 20 % ir 50 % bendrosios priekabos masės.

Prieš pakraunant transporto junginį ir sudarant pakrovimo planą, būtina nustatyti kiekvieno atskiro numatomo vežti krovinių dalies masę / matmenis ir horizontalią svorio centro padėtį. Tuomet galima sudaryti praktinį pakrovimo planą. Horizontalų viso krovinių išdėstymą galima apskaičiuoti, pavyzdžiui, apskaičiuojant sukimo momentų pusiausvyrą ties pakrovimo skydo priekiniu tašku (arba bet kuriuo kitu parankesniu atskaitos tašku) remiantis VDI 2700 Ballt 4 standarto metodikoje sudarytomis 1 ir 2 momentų lygtimis (<http://epaper.konradin-relations.de/onet/SI/2010011/pdf/pagina.033.pdf>).

Apkrovų paskirstymo planas leidžia nustatyti, ar transporto priemonė pajėgs atlaikyti krovinių bendrosios masės apkrovas apskaičiuotame svorio centre.

Norint nustatyti, kokią didžiausią krovinių masę galima pakrauti į transporto priemonę atsižvelgiant į viso krovinių svorio centro padėtį, būtina įvertinti:

- Priekabos ašies apkrova neturi viršyti nustatytos apkrovos pagal gamintojo keliamus reikalavimus konkrečiai transporto priemonei.
- Didžiausią kiekvienam pakrovimo skydo taškui tenkančią apkrovą galima apskaičiuoti, nustatant momentų pusiausvyrą ties priekabos kabliu krovinių masės atžvilgiu ir priekabos ašimi (Pečeliūnas, 2012);
- Didžiausia priekabos kablio apkrova negali būti viršyta. Apskaičiuojama pagal momentų pusiausvyros lygtį:

$$R_{Amax} * L - G * (L - a) - M_k * (L - S - x) = 0. \quad (1)$$

Remiantis VDI 2007 Ballt 4 momentų pusiausvyros lygtimi Nr. 1, išvedama formulė apskaičiuoti priekaboje x padėtyje išdėstomo krovinio svorio centro masę:

$$M_k = \frac{R_{Amax} * L - G * (L - a)}{L - S - x}$$

• Priekabos kablo apkrova turėtų siekti mažiausią rekomenduojamą dydį (4 % bendrosios masės arba kitas gamintojo rekomenduojamas dydis). Apskaičiuojama pagal momentų pusiausvyros lygtį:

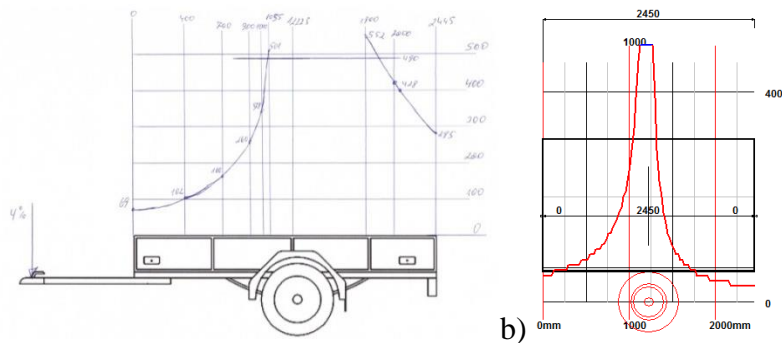
$$SL_x * (G + M_k) * L - G * (L - a) - M_k * (L - S - x) = 0. \quad (2)$$

Remiantis VDI 2007 Ballt 4 momentų pusiausvyros lygtimi Nr. 2, išvedama formulė apskaičiuoti priekaboje x padėtyje išdėstomo krovinio svorio centro masę:

$$M_k = \frac{G * (L - a - SL_x * L)}{SL_x * L + S + x - L}$$

Panaudojus pagal VDI 2007 Ballt 4 standarto metodiką sudarytas 1 ir 2 momentų pusiausvyros lygtis, apskaičiuojamas ir braižomas apkrovų paskirstymo planas (1 pav.).

Naudojant kompiuterizuotą programą „TrailerWin“ sudaromas planas pasirinkus tikslus priekabos duomenis, sukabinimo įtaiso tipą bei leidžiamas apkrovas, ašies ir sukabinimo vietas leidžiamas apkrovas. Nustačius krovinio centrą arba turint visus krovinio duomenis (masė, dydis, struktūra ir forma) pateikti duomenys yra suvedami į programą ir gaunamas apkrovų grafikas (1 pav.), kuriuo naudojantis sudaromas pakrovimo planas.



1 pav. Priekabos apkrovų paskirstymo planas: a) Pagal VDI 2700 Ballt 4 metodiką; b) su TrailerWin programa (Sudaryta autorių)

Fig. 1. Trailer Load Distribution Plan; a) According to VDI 2700 Ballt 4; b) with program TrailerWin (composed by authors)

Rezultatai ir jų aptarimas

Rinka siūlo įvairias prikabinamas lengvas priekabas be stabdžių, su stabdžiais, priekabas automobiliams, valtims gabenti, specialios paskirties priekabas M1 kategorijos vilkikams (2 pav.).



2 pav. O1 ir O2 kategorijos priekabų įvairovė (Šaltinis: <http://www.traliux.lt>)

Fig. 2. A variety of O1 and O2 trailers (Source: <http://www.traliux.lt>)

O1 klasė - priekabos, kurių bendroji masė ne didesnė kaip 0,75 t. Jos neturi stabdžių. Pasitaiko tos rūšies priekabų ir su stabdžiais. Visais atvejais reikalinga B vairuotojo kategorija, nepriklausomai nuo vilkiko bendrosios masės

O2 klasė - priekabos, kurių bendroji masė didesnė kaip 0,75 t, tačiau ne didesnė kaip 3,5 t. Jos gali būti su inerciniais-mechaniniais arba pneumatiniais stabdžiais. Reikalinga BE vairuotojo kategorija. Išimtiniais atvejais pakanka B vairuotojo kategorijos, tačiau junginio bendroji masė turi būti ne didesnė kaip 3,5 t., o priekabos bendroji masė ne didesnė už vilkiko nuosavą masę (<http://www.traliux.lt>).

Eksplotacijos instrukcijoje gamintojas naudotoją informuoja, jog krovinio svorį priekaboje būtina paskirstyti lygiai, krovinį būtina išdėstyti tolygiai vienodai nutolstant nuo išilginės priekabos ašies. Krovinį būtina tinkamai ir saugiai pritvirtinti. Tada automobilis važiuos tolygiai ir stabdymo kelias bus mažesnis, kai krovinys priekaboje bus vienodai paskirstytas ant ašių įvertinant apkrovų pasiskirstymą.

Jokiu būdu negalima perkrauti transporto priemonės – tai pablogins važiavimo savybes, perkraus stabdžių sistemą, važiavimas taps nesaugus. Perkrauta transporto priemonė gali pažeisti padangas, ašis ir apatinį rėmą. Dėl perkrautos transporto priemonės sukeltų gedimų garantija negalioja, prarandama teisė pateikti reklamaciją.

Kroviniai, tokie kaip statybinės medžiagos, pavyzdžiui plytos, smėlis ir t. t., yra itin sunkūs, todėl transporto priemonė dažnai yra perkraunama. Naudotojas turi laikytis nurodytos transporto priemonės keliamosios galios.

Europos komisijos reglamentas (ES) Nr. 1230/2012 dėl didžiausios techniškai leidžiamos velkamosios masės siekiant užtikrinti saugų eismą taiko šiuos reikalavimus: priekaboms O1 be pagrindinės stabdžių sistemos leidžiama velkamoji masė turi būti lygi pusei parengtos eksploatuoti velkančiosios transporto priemonės masės, o didžiausia techniškai leidžiama velkamoji masė jokių būdu negali būti didesnė nei 750 kg arba didžiausia techniškai leidžiama masė sukabinimo taške negali būti mažesnė kaip 4 % didžiausios leidžiamos velkamosios masės ir ne mažesnė kaip 25 kg.

Priekabose O2, kuriose įrengta pagrindinė stabdžių sistema, didžiausia techniškai leidžiama velkamoji masė, kurią transporto priemonė gali vilkti, yra maksimali 3 500 kg. Tai apibrėžiama atsižvelgiant į transporto priemonės konstrukcines savybes ir sukabinimo įtaiso stiprumą bei didžiausia techniškai leidžiama pakrautos velkančiosios transporto priemonės masę (Komisijos reglamentas (ES) Nr. 1230, 2012).

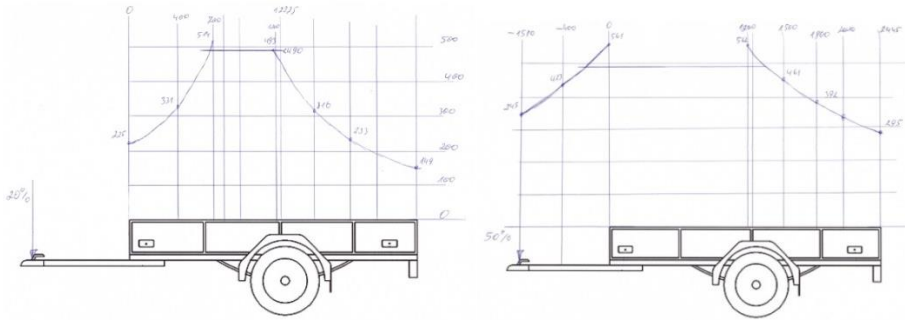
Tiek fiziniai, juridiniai asmenys, vežantys krovinius, privalo užtikrinti tinkamą krovinų tvirtinimą bei išdėstymą atsižvelgiant į transporto priemonės apkrovų planą pagal VDI 2700 Ballt 4 standarto normatyvus taip užtikrindami transporto priemonės saugų eksploatavimą. Netinkamai parinkus svorio centro padėtį priekaboje, apkrautas sukabinimo įtaisas lemia tempiančiosios transporto priemonės galinės ašies apkrovas, dėl kurių įtakos prastėja transporto priemonės valdomumas (3 pav.).



3 pav. Sukabinimo taške susidarančios masės įtaka saugiam eismui (Šaltinis: <https://www.weigh-safe.com>)
Fig. 3. Influence of the mass produced at the coupling point on safe traffic (Source: <https://www.weigh-safe.com>)

Priekabų O1 klasės kabljo apkrovų matavimai atlikti pasirinktinai siekiant nustatyti priekabos kabljo apkrovos priklausomybės pagrindumą, taikant sukimo momentų pusiausvyros teorijas sudarant apkrovų paskirstymo planą pagal VDI 2700 Ballt 4 standartą (4 pav.).

Priekabos kabljo apkrovos matavimams atlikti panaudotos SensoTec firmos skaitmeninės vertikalios apkrovos svarstyklės (tikslumas $\pm 3\%$).

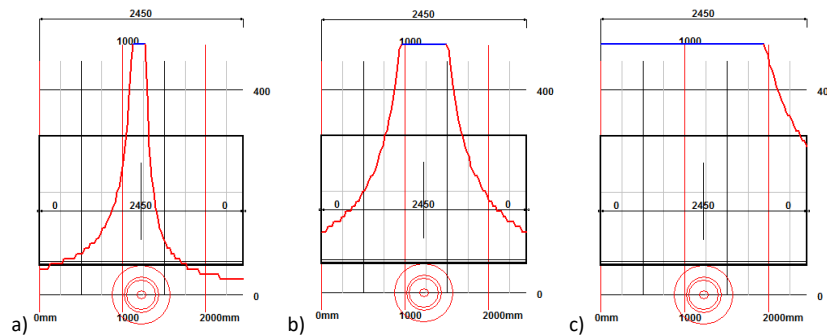


4 pav. Priekabos sukabinimo taško apkrovos kitimas priklausomai nuo krovinio padėties (Sudaryta autorių)

Fig. 4. Trailer coupling point load variation depending on a load position (composed by authors)

Analizuojant gautus duomenis galima teigti, kad priekabos sukabinimo taško apkrova priklauso nuo krovinio padėjimo vietos priekabos platformoje. Kuo krovinys padėtas arčiau priekabos priekinio skydo, tuo labiau apkraunamas priekabos sukabinimo taškas. Padėjus krovinį arčiau galinio priekabos skydo, priekabos sukabinimo taško apkrova sumažėja ir viršija gamintojo nurodytą techniškai leidžiamos masės sukabinimo taško 4 % apkrovos ribą.

Programa „TrailerWin“ sudaryti apkrovų grafikai (5 pav.) patvirtina analitinių skaičiavimų rezultatus – leidžiama didžiausia 4 % sukabinimo taško apkrova nepasiekama artėjant krovinio svorio centrui prie galinės priekabos sienos, bet artėjant prie priekabos priekinės sienos apkrovos į sukabinimo tašką didėja ir viršija leidžiamos apkrovos ribą.



5 pav. Krovinio svorio centro padėties priklausomybė nuo sukabinimo taško leistinų apkrovų: a) 4%, b) 20 %, c) 50 % (Sudaryta autorių)

Fig. 5. Dependency of the load center of gravity on coupling permissible load points a) 4%, b) 20%, c) 50% (composed by authors)

Tinkamiausiai paskirstomos apkrovos ašies ir sukabinimo taškuose, kai krovinio svorio centras pozicijonuojamas ties O1 priekabos ašies centru. Sudarius teorinius ir programa apskaičiuotus grafikus pagal leidžiamas sukabinimo taško apkrovas pastebėta, kad krovinio svorio centro pasislinkimas nuo priekabos ašies centro lemia leidžiamą pakrauti didžiausią krovinio masę.

Išvados

1. Išanalizavus O1 klasės priekabų sukabinimo taško apkrovas galima teigti, kad perkrovus priekabos sukabinimo tašką daugiau kaip 4 % ir nesilaikant gamintojo nurodytų, techniškai leidžiamų masės apkrovos ribų sukabinimo taške, sudaromos sąlygos susidaryti metalo nuovargiui. Dėl šios priežasties lūžta priekabos sukabinimo taško mechanizmai ir priekabos konstrukciniai elementai.
2. Esant rekomenduojamai 4 % O1 priekabų sukabinimo taško apkrovai, transporto priemonės su priekaba valdymas nėra apsunkinamas, valdymo metu priekabos masė nelemia galinės ir priekinės transporto priemonės ašies ratų sukibimo su kelio dangą. Apkrova sukabinimo taške siekiant 20 % ir 50 % priekabos bendrosios masės, tempiančiosios transporto priemonės

dinamimės savybės prastėja, galinė ašis yra per stipriai spaudžiama. Dėl svartinio principo transporto priemonės ašies apkrova mažėja, todėl mažėja ir priekinių ratų sukibimas su kelio danga, automobilio priekiniai ratai pradeda slysti važiuojant posūkyje.

Literatūra

1. Pečeliūnas, R.; Sokolovskij, E. *Automobilių dinamika: mokomoji knyga*. Vilnius: Technika. 2012.
2. Automobilių priekabos. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://www.traliux.lt> (žr. 2017-10-17).
3. Saugus priekabos sukabinimo taškas. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://www.weigh-safe.com>.
4. Europos komisijos reglamentas. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX%3A32012R1230>.
5. Apkrovos paskirstymo planas – esminis krovinių tvirtinimo aspektas. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://epaper.konradin-relations.de/onet/SI/2010011/pdf/pagina.033.pdf>.
6. Kelių transporto priemonių krovinio išdėstymo planas. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: https://www.vdi.de/richtlinie/vdi_2700_blat_4-ladungssicherung_auf_strassenfahrzeugen_lastverteilungsplan/.
7. Girkontas S., Garbinčius G., Žuraulis V., Krovinio masės ir tvirtinimo padėties įtaka automobilio stovumui. 2017 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://vb.vgtu.lt/object/elaba:22832937/22832937.pdf>.
8. Lambert, K. A study of vehicle properties that influence rollover and their effect on electronic stability controllers. 2007 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: https://etd.auburn.edu/bitstream/handle/10415/112/Lambert_Kenneth_57.pdf.
9. Momiyama, F.; Kitazawa, K.; Miyazaki, K.; Soma, H.; Takahashi, T. Gravity center height estimation for the rollover compensation system of commercial vehicles. 1999 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: http://users.isy.liu.se/fs/frisk/tmp/iQDrive_Articles/Gravity%20center%20height%20estimation%20for%20the%20rollover%20compensation%20system%20of%20commercial%20vehicles.pdf.
10. Walz, M. C. Trends in the Static Stability Factor of Passenger Cars, Light Trucks, and Vans. NHTSA Technical report. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/809868>.
11. Ministras Rokas Masiulis: saugaus eismo srityje keliami ambicingi tikslai. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://sumin.lrv.lt/lt/naujienos/ministras-rokas-masiulis-saugaus-eismo-srityje-keliami-ambicingi-tikslai>.
12. Programinė įranga: „TrailerWin“.

Influence of Load Distribution on Vehicle Dynamics

(Received in January, 2019; Accepted in April, 2019; Available Online from 10th of May, 2019)

Summary

In the event of a combination of traffic, the operating conditions of vehicles change, which depends not only on weather conditions, driver decisions, but also on the loading of the compound. Although the weight of the load does not exceed the permissible limit, the influence of load distribution on the dynamics of the vehicle, which increases the risk to traffic safety, cannot be denied. Changes in vehicle axle loads due to weight center load distribution are detrimental to the dynamic control of the vehicle.

The reduction in traffic safety due to the use of O1 trailers and the misalignment of O1 trailers in the longitudinal plane of the trailer and the lack of research into the impact of the load centre of gravity position on the longitudinal axis of the vehicle on the dynamic characteristics of the vehicle. The analytical VDI 2007 Blatt 4 method and TrailerWin program examine the impact of load center of gravity position on the longitudinal axis of the O1 trailer on the load on the coupling and the dynamic properties of the compound. The study analyzes the influence of the O1 trailer coupling device 4, 20 and 50 percent on the gross vehicle load on the vehicle dynamics.

The resulting graphs clearly show the differences and overlaps of the results, which make it possible to draw conclusions about the influence of the weight center position on the dynamics of the transport unit. The article reviews the results of the study, which shows the reason for the breakage of the coupling device due to non-compliance by the manufacturer, load the coupling point to 4 percent. In addition, the influence of inadequate distribution of vehicle front and rear axle loads on the dynamics of the vehicle combination has been investigated. It also affects the dynamics of the combination car with a bias load on the front and rear axles.