



21-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos
TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,
vykusios 2018 m. gegužės 4-5 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 21th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'
TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 4-5 May 2018, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 21-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»
ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 4-5 мая 2018 г., Вильнюс, Литва

KELEIVINIŲ TRAUKOS RIEDMENŲ IŠORINIŲ SAUGOS PAGALVIŲ TYRIMAS

Algimantas Akulavičius, Gintautas Bureika

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Transporto inžinerijos fakultetas,
El. paštas: algimantas.akulavicius@stud.vgtu.lt; gintautas.bureika@vgtu.lt*

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjamos geležinkelio riedmenyse naudojamos techninės saugos priemonės. Išanalizavus mokslines publikacijas bei kitų šalių bei Lietuvos geležinkelių patirtį, nustatyta, kad traukinių susidūrimai su įvairiomis kliūtimis ant kelio (žmogus, gyvūnas, transporto priemonės) įvyksta kiekvieną dieną. Nagrinėjant pasyviąsias saugos priemones, išskiriamos išorinių saugos pagalvių panaudojimo galimybės: sprendžiami kūnų sąveikos dinaminiai uždaviniai. Nustatomi riedmenų išorinės oro pagalvės vertinimo kriterijai: kliūtis po sąveikos greitis, pagreitis ir saugos oro pagalvės slopinimo charakteristikos. Pristatomi susidūrimo su kliūtimis skaitinio modeliavimo – riedmens susidūrimo su kliūtimi imitavimo – etapai. Detaliai nagrinėjamas žmogaus susidūrimo su riedmens oro pagalve dinaminis procesas, abiejų fizikinių kūnų deformacijų bei jų standumo deriniai, smūgio sukelti pagreičiai ir žmogaus/gyvūno išsigelbėjimo po smūgio galimybės/sąlygos. Pabaigoje suformuluojamos išvados.

Reikšminiai žodžiai: riedmenų ir kitų eismo dalyvių susidūrimai, techninės saugos priemonės, išorinė saugos pagalvė, susidūrimo skaitinis modeliavimas, ANSYS programinis paketas.

Įvadas

Geležinkelių transporte dažnai vyksta riedmenų susidūrimai tarpusavyje arba su kliūtimis ant kelio: su žmonėmis, su gyvūnais ir su kelių transporto priemonėmis. Šių įvykių metu žūsta arba sužalojami žmonės, gadinama technika, kyla pavojus visuomenės saugumui bei sveikatai. Riedmenų susidūrimų problematika sprendžiama pasauliniu mastu: kuriamos techninės saugos naujos priemonės ir tobulinami organizacinių saugos priemonių taikymo metodai. Šių sprendimų tikslas yra išsaugoti žmogaus sveikatą bei gyvybę, sušvelninti eismo įvykių pasekmes.

Avarinių situacijų skaičiaus didėjimą lemia du veiksniai: susidūrimai su gyvūnais ir susidūrimai su kliūtimis. 2013 – 2015 m. Lietuvoje vyravo švelnios žiemos, sniego dangos storis buvo mažas ir trumpalaikis. Šios palankios gamtinės sąlygos lėmė laukinės gyvūnijos jauniklių (ypač stirnų) gausėjimą, bendrą populiacijos ir susidūrimų su traukiniais didėjimą. Susidūrimų su kliūtimis didėjimą lemia vykstantys darbai geležinkelio keliuose ar jų apsaugos zonoje. Pavyzdžiui, vykdant geležinkelio elektrifikacijos darbus ruože Lietuvos ir Baltarusijos valstybių siena – Naujoji Vilnia įvyko trys susidūrimai su kelio ženklinio priemonėmis ir mechanizmais.

Kuriant saugos priemones, analizuojant įvykių priežastis ir pasekmes didžiausias dėmesys skiriamas žmogaus sveikatos būklei bei gyvybei. Dėl šios socialiai jautrios priežasties dažniausiai literatūros šaltiniuose analizuojami traukinių susidūrimai su žmonėmis.

2006 metais JAV įvyko 500 tragiškų traukinių susidūrimų su žmonėmis. Iš šių 500 susidūrimų beveik 360 buvo savižudybės. Taip pat tais metais įvyko apie 300 žmogaus mirtimi pasibaigusių traukinių susidūrimų su automobiliais.

2009 metais Vašingtono metro transporto sistemoje įvyko 11 savižudybių, susidūriant su geležinkelių kelių transportu. Tais pačiais metais Toronto metro sistemoje įvyko 23 analogiški incidentai.

2003 metais Jungtinės Karalystės geležinkelių transporte įvyko apie 180 tyčinių susidūrimų su žmonėmis. UK geležinkelių saugumo valdyba apytiksliai įvertino dėl šių įvykių patirtus nuostolius, kurie siekia daugiau nei 11 milijonų svarų sterlingų (apie 61 tūkst. GBP kiekvienam savižudžiui). Į šią sumą buvo įskaičiuotas traukinių užlaidumas ir dėl vėlavimo sumažėjusi keleivių sukuriama pridėtinė darbo vertė. 2004 metais įvyko apie 200 panašių incidentų.

Traukiniui susidūrus su žmogumi didelę psichologinę žalą patiria mašinistas, jo padėjėjai. Dažniausiai, nusižu-

dyti nusprendęs žmogus, šoka tiesiai prieš atvažiuojantį traukinį ir žiūri į mašinisto akis. Psichologai teigia, kad nesvarbu kiek laiko praėjo, nesvarbu kokią patirtį mašinistas turi, nesvarbu kaip dažnai susidūrimai vyksta, šio žvilgsnio pamiršti neįmanoma. Be to po susidūrimo traukinys yra sustabdomas ir įvertinama technikai padaryta žala. Ne mažiau nei savižudžio žvilgsnis, mašinistus ar jų padėjėjus neigiamai veikia ant geležinkelio technikos likę žmogaus kūno likučiai. Pažymėtina, kad avarinės situacijos pėdsakus privaloma pašalinti techninės priežiūros metu. Šį nemalonų darbą atlieka patyrę, psichologiškai stiprūs geležinkelių techninės priežiūros technikai. Mažesnis ar didesnis neigiamas poveikis yra visada.

Riedmenų techninės saugos priemonės

Techninės saugos priemonės yra įrenginiai, skirti žmogaus sveikatai bei gyvybei apsaugoti. Pagal savo funkcijas techninės saugos priemonės skirstomos į aktyviasias ir pasyviasias.

Aktyvusis saugumas – tai transporto priemonės savybė, mažinanti avarinės situacijos atsiradimo tikimybę. Aktyviosios techninės saugos priemonės trukdo susidaryti pavojingoms aplinkybėms ir įvykti avarijai (*Automobilio aktyvioji sauga...* 2012).

Didėjant traukinių susidūrimų skaičiui su laukiniais gyvūnais, buvo ieškoma būdų šių avarinių situacijų skaičiui sumažinti. 2016 metais AB „Lietuvos geležinkeliai“ elektriniuose keleiviniuose traukos riedmenyse buvo sumontuoti gyvūnus atbaidantys švilpukai. Tai yra ultragarsinė priemonė, kurios veiksmingumas prasideda nuo 50 km/h, signalą skleidžia iki 400 m skirtingais dažniais skirtingiems Europos gyvūnams. Švilpukai veikia nuo oro srauto, išorinio maitinimo ar valdymo nėra. Prietaiso efektyvumui ir naudojimo būtinybei pagrįsti, dalis elektrinio traukinių buvo eksploatuojami be švilpukų. Švilpukų bandymų duomenys pateikti 1 paveiksle.

Iš 1 pav. duomenų matyti, kad 16 susidūrimų įvyko nenaudojant švilpukų, ir 17 – naudojant. Daroma išvada, kad ši aktyvioji saugos priemonė susidūrimams su gyvūnais išvengti įtakos neturėjo ir yra neefektyvi.

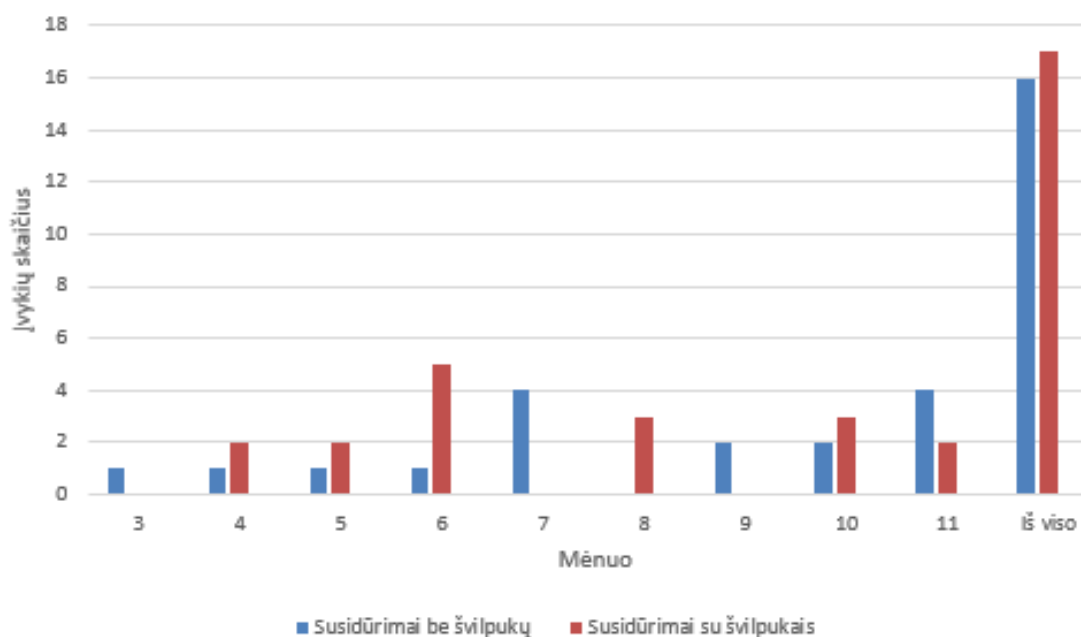
Pasyvusis saugumas – tai transporto priemonės savybė, palengvinanti avarinio įvykio pasekmes (*Automobilio aktyvioji sauga...* 2012). Anksčiau šios saugumo priemonės buvo skirtos transporto priemonės vairuotojui ir jo keleiviams apsaugoti. Dabar vis didesnis dėmesys yra skiriamas pėsčiųjų sužalojimui avarijos metu mažinti. Lietuvoje eksploatuojamose geležinkelių transporto priemonėse, palyginus su automobilių transportu (saugos diržai, vidinės ir išorinės saugos pagalvės, specialios kėdutės vaikams), pasyviųjų saugos priemonių yra palyginus mažai. Naudojamos gaisro išpėjimo sistemos, sėdynių galvos atramos, grūdinti ir daugiasluoksniai stiklai.

Automobilių transporte saugos diržų naudojimas yra privalomas ne tik vairuotojui, bet ir keleiviams. Kyla natūralus klausimas, kodėl šios priemonės nėra naudojamos keleiviniuose traukiniuose? Tyrimo rezultatus šia tema 2007 metais paskelbė Didžiosios Britanijos Geležinkelių saugos ir standartų valdyba. Daugiau nei penkerius metus vykusio tyrimo išvada vienareikšmiška – saugos diržų naudojimas traukiniuose eismo įvykių atveju padidins žalą, nes keleiviai, sėdintys nugara traukinio judėjimo kryptimi, patirs ženkliai sunkesnius sužalojimus, nei tie, kurie saugos diržų nenaudojo.

Išorinių saugos oro pagalvių koncepcijos ir moksliniai tyrimai

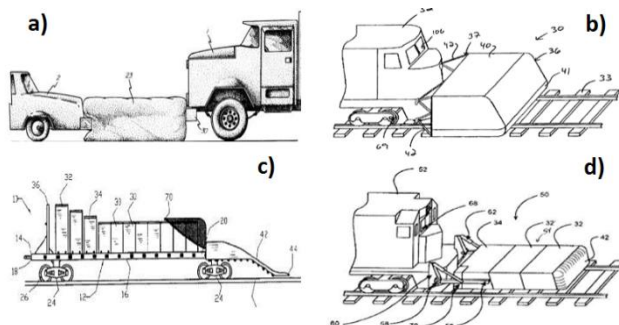
Išorinės saugos pagalvės yra pasyviosios techninės saugos priemonės, kurių pagrindinė funkcija yra sušvelninti smūgį ir sumažinti dėl to patiriamą žalą. Kiti šios priemonės privalumai yra nedideli matmenys ir svoris budėjimo režime, galimybė pašalinti kliūtį nuo kelio.

Elektrinių traukinių susidūrimai su gyvūnais 2016m.



1 pav. AB „Lietuvos geležinkeliai“ elektrinių traukinių susidūrimai su gyvūnais 2016 m.

Išorinė oro pagalvė padidina žmogaus išgyvenimo tikimybę susidūrimo atveju. Išorinės oro pagalvės trūkumai susiję su šios techninės priemonės evoliucija. JAV patentų biure 1931-2014 metais užregistruoti 93 darbai susiję su smūgio sušvelninimo technologijomis, tačiau iki šių dienų tokių veikiančių įrenginių yra labai mažai. JAV patentų biuro svetainėje viešai prieinami išorinių saugos oro pagalvių eskizai pavaizduoti 2 paveiksle.



2 pav. Išorinių saugos oro pagalvių koncepcijos: a – JAV patentas Nr. 6106038; b – JAV patentas Nr. 6814246; c – JAV patentas Nr. 6293205; d – JAV patentas Nr. 6474489.

Žymiausias išorinės oro pagalvės panaudojimo pavyzdys yra Marso tiriamosios stoties Pathfinder nusileidimo sistema (*Marso tyrimai* 1997). Masiškai automobilių pramonėje naudojamų išorinių saugos oro pagalvių pavyzdys yra Volvo automobiliai.

Nepaisant to, kad vienoje ar kitose srityse išorinių oro pagalvių panaudojimas įgauna pagreitį, tačiau geležinkelių transporte darbų, turinčių realų praktinį pritaikymą, dar nėra. Šią informaciją patvirtina 2016 m. birželio mėnesį pateikta JAV Transporto departamento mokslinio tyrimo ataskaita. Tyrimą vykdė Džono Hopkinso universiteto taikomosios fizikos laboratorijos mokslininkai Andrew C. Merkle ir Timothy P. Hariigan (Andrew, Merkle 2016).

Tyrimo autoriai parengė geležinkelių transporto išorinių oro pagalvių kūrimo planą, atrinko ir susistemino dažniausiai susidūrimuose dalyvaujančių transporto priemonių (lengvasis automobilis, didesnis pravažumo automobilis, vilkikas, mokyklinis autobusas) techninius parametrus, įvertino pervažų būklės įtaką susidūrimams. Kadangi didžiausios avarijų pasekmės įvyksta nuvažiavus traukiniui nuo bėgių, buvo atkreiptas dėmesys į riedmenų traukos teoriją ir galimybes ją pritaikyti kuriant matematinį modelį. Trečiojoje dalyje aptartos išorinių pagalvių technologijos, o ketvirtoji dalis yra skirta skaičiuojamiesiems matematiniais modeliams. Išvadoje pabrėžiama, kad išorinių pagalvių panaudojimas traukiniuose turi perspektyvų.

Traukos riedmenų technines saugos priemones taip pat tiria JAV mokslininkai: David Maymudes, Peter Dreher, Jerry Roane (*Shock-absorbing air bag system...* 2010). Jie orientuojasi į traukinių ir žmonių susidūrimus. Mokslinėse publikacijose pateiktas išorinės oro pagalvės ilgis, kuris susidūrimo tarp lokomotyvo ir pėsčiojo atveju galėtų išgelbėti žmogaus gyvybę. Kai lokomotyvas juda 60 mph (96,56 km/h) greičiu, žmogaus masė 200 lb (90,72 kg), skaičiuojamoji žmogui tenkanti apkrova 20 g,

saugus išorinės oro pagalvės ilgis turėtų būti ne mažesnis nei 7,5 pėdos (2,286 m). Kitas tyrėjas, Warter Brewer (*Shock-absorbing air bag system...* 2010), rėmėsi kita skaičiavimo metodika. Jo skaičiavimais šis dydis gali būti 6 pėdos (1,83 m). Įdomus darbas šia tema buvo rastas televizijos laidoje „Į laboratoriją“ (Smash Lab), kuri buvo transliuojama kanalu *Discovery Channel*. Kadras iš šios laidos pavaizduotas 3 paveiksle.



3 pav. Traukinio susidūrimo su automobiliu vaizdo įrašo ištrauka

Nors tai nebuvo profesionalus, kruopštus darbas siekiant sukurti išorinę saugos pagalvę geležinkelių transportui, tačiau pati smūgio sušvelninimo koncepcija pasiteisino.

Išorinės oro pagalvės vertinimo kriterijai

Greitis. Kūnų susidūrimų mechanika padeda nustatyti, koks bus susidūriamųjų kūnų greitis po susidūrimo. Smūgio rezultatas priklauso nuo kūnų mechaninės savybės – standumo. Standumas – kūno savybė keisti pavidalą ir matmenis dėl išorinės jėgos poveikio. Jei po išorinių jėgų poveikio deformacijos išnyksta – poveikis vadinamas tampriu susidūrimu. Jei po išorinių jėgų poveikio deformacijos lieka – poveikis vadinamas netampriu arba plastiniu susidūrimu.

Idealiai plastiškų ar idealiai tampiųjų susidūrimų matematinės išraiškos realybėje mažai pritaikomos, kadangi „visiškai standžių“ ar „visiškai nestandžių“ kūnų skaičius yra nedidelis. Žymi dauguma kietųjų kūnų priklauso nepilnai tampiųjų arba nepilnai plastiškų medžiagų grupei. Kokios savybės medžiaga turi daugiau, tamprumo ar plastiškumo, nustatoma eksperimentiniais bandymais, naudojant formulę:

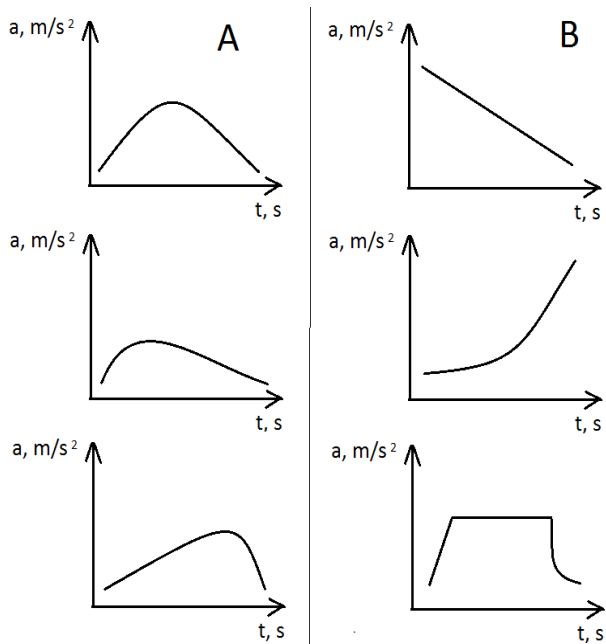
$$e = \sqrt{\frac{h}{H}}, \quad (1)$$

čia: e – standumo koeficientas; H – aukštis, iš kurio krenta kūnas; h – aukštis, kurį pasiekia nuo žemės atšokęs kūnas.

Traukinio išorinės oro pagalvės ir žmogaus susidūrimo metu, kūnų kinetinė energija absorbuojama ir antroje fazėje abu kūnai juda traukinio judėjimo kryptimi. Dėl šios priežasties modeliuojamas plastinis susidūrimas ir parenkamos tokios medžiagų savybės, kurios šį susidūrimą priartintų kuo arčiau idealių būsenų. Kūnų greitis po smūgio turi būti vienodas, ir tai yra vienas iš pagrindinių

išorinės oro pagalvės vertinimo kriterijų. Jei sąveikaujančių kūnų greitis po smūgio skiriasi, daroma išvada, kad ši išorinė oro pagalvė yra skirta ne sugauti, o pašalinti kliūtį nuo kelio.

Pagreitis. Transporto priemonės ir žmogaus susidūrimo metu žmogaus organizmas patiria perkrovas, nes kūnas įgauna didelį pagreitį. Šis pagreitis yra palyginamas laisvojo kritimo pagreičiui g . Normaliomis sąlygomis $1 g = 9,8 \text{ m/s}^2$. Fizikos požiūriu saugus susidūrimas bus tada, kai susidūrimo metu žmogaus įgyjamas pagreitis neviršys leistinų reikšmių. Šios reikšmės yra ne tik kiekybinės (2 g, 10 g), bet ir kokybinės (kaip greitai kinta pagreitis). Pagreičio kitimo grafikų pavyzdžiai pateikti 4 paveiksle.



4 pav. Pagreičio priklausomybė nuo laiko: A – tenkina saugumo sąlygą; B – saugumo sąlygos netenkina

Remiantis pagreičio kitimo grafiku formuojamas svarbus išorinės oro pagalvės saugumo kriterijus: pagreičio grafikas turi būti tolydus, proceso pradžioje ir pabaigoje įgyjamos reikšmės yra minimalios, pagreičio maksimali reikšmė neturi viršyti leistinųjų perkrovų.

Mokslinėje literatūroje (Andrew *et al.* 2016) siūloma efektyvaus saugos oro pagalvės ilgio formulė, kai slopinimo charakteristikos yra idealios:

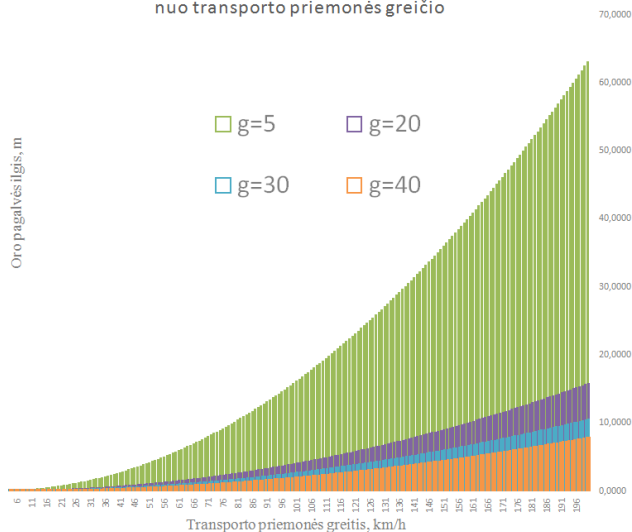
$$L = \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (2)$$

čia: L – oro pagalvės ilgis; v – traukinio greitis; g – laisvojo kritimo pagreitis $9,81 \text{ m/s}^2$.

Remiantis formule (2) suformuojama saugos oro pagalvės efektyvaus ilgio priklausomybė nuo transporto priemonės greičio. Grafikai pateikti 5 paveiksle.

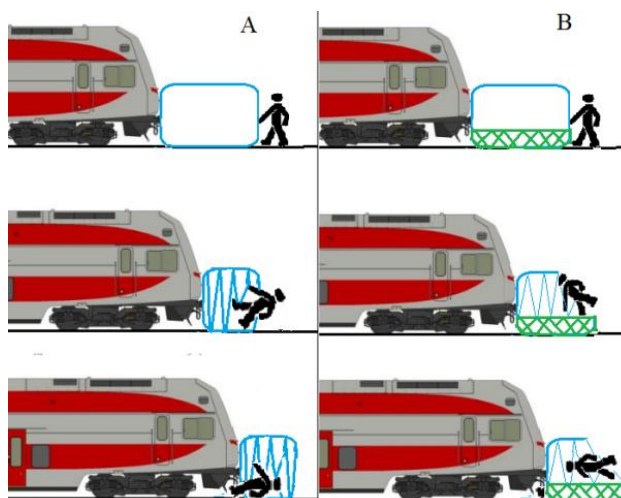
Iš 5 pav. diagramos matyti, kad projektinės perkrovos g parinkimas turi didelę įtaką saugos įrenginio matmenims. Pažymėtina, jog šie matmenys yra teoriškai mažiausi kokie tik įmanomi esant duotoms sąlygoms, kadangi slopinimo charakteristikos idealios, o perkrovos dydis nekinta.

Oro pagalvės ilgio priklausomybė nuo transporto priemonės greičio



5 pav. Efektyvios oro pagalvės ilgio priklausomybė nuo transporto priemonės greičio

Slopinimo charakteristikos. Moksliniais tyrimais buvo nustatyta, kad išorinės oro pagalvės slopinimo charakteristikos turi būti pasiskirsčiusios netolygiai, nes priešingu atveju susidūrimo metu pašalinis kūnas yra ne nustumiamas į šalį, o spaudžiamas prie bėgių. Saugos oro pagalvės slopinimo charakteristikų pasiskirstymo įtaka pavaizduota 6 paveiksle.



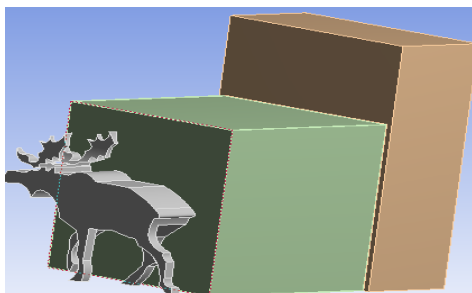
6 pav. Slopinimo charakteristikų pasiskirstymo įtaka: A – tenkina saugumo sąlygą; B – saugumo sąlygos netenkina

Sėkmingas techninis sprendimas turėtų remtis oro pagalvės standumo skirtumu: apatinė dalis turi būti daug standesnė nei viršutinė. Tuo atveju kliūtis praranda pusiausvyrą, krenta ant oro pagalvės, o vėliau, priklausomai nuo jos masės, pašalinama („numušama“) nuo kelio arba lieka ant pagalvės kol traukinys sustos.

Riedmenų susidūrimo su kelio kliūtimis skaitinis modeliavimas

Trimačiai kūnai. Riedmenų susidūrimo su kelio kliūtimis skaitiniame modelyje naudojami keturių tipų kūnai: kliūtis

(žmogus, gyvūnas, automobilis), smūgio sušvelninimo įrenginys/įtaisas, oras, esantis smūgio sušvelninimo įrenginyje ir traukinys arba pavienis lokomotyvas. Siekiant gauti kuo tikslesnius tyrimo rezultatus, kuriami trimačiai realių matmenų objektai. Naudojama SOLIDWORKS programinė įranga. Laikant, kad lokomotyvo deformacijos tyrimo eigai nėra svarbios, mažinamas šio objekto detalumas. Optimizuotas trimačių kūnų modelis pavaizduotas 7 paveiksle.



7 pav. Optimizuotas trimačių kūnų modelis

Skaitinis modeliavimas

Riedmenų susidūrimo skaitinis modeliavimas kuriamas programine įranga ANSYS.

Trimačiams kūnams parenkamos tokios medžiagos, kad jų masė ir deformacijos atitiktų realius dydžius. Lokomotyvo modeliui priskiriamas plienas 4340. Šio kūno masė yra lygi 164,9 t, kas atitinka elektrinio traukinio EJ-575 masei. Automobilio modeliui priskiriamas aliuminis ir jo masė lygi 3,5 t. Žmogaus ir gyvūno trimačiams modeliams priskiriama techninė guma. Keičiant gumos tankį parenkamos šių modelių masės atitinkamai yra lygios 105 ir 834 kg.

Smūgio sušvelninimo įrenginys/įtaisas projektuojamas iš tamprios, dar vadinamos hiperelastinės, medžiagos,

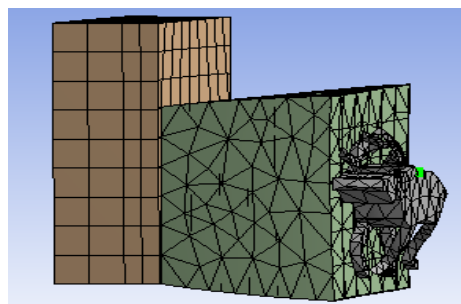
kurios storis 5 mm, ilgis, aukštis ir plotis po 3 m. Šios medžiagos deformacijų priklausomybė nuo įtempių yra netiesinė ir šio objekto elementų deformacijoms įvertinti taikomas trijų parametru Mooney ir Rivlin modelis (Ružinskas 2017):

$$W = C_{10}(\bar{I}_1 - 3) + C_{01}(\bar{I}_2 - 3) + \frac{1}{D_1}(J - 1)^2, \quad (3)$$

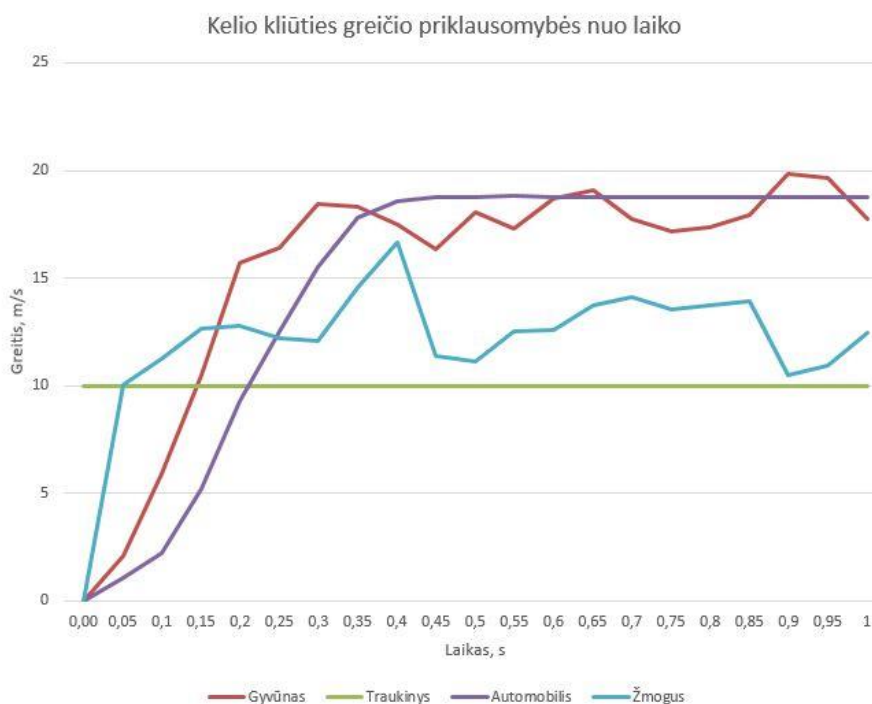
čia: W – deformacijų energijos tankio funkcija; \bar{I}_1, \bar{I}_2 – atitinkamai pirmasis ir antrasis deviatoriniai deformacijų invariantai; J – deformacijų energijos funkcija; C_{10}, C_{01} – koeficientai, apibūdinantys deviatorines medžiagos deformacijas; D_1 – medžiagos nespūdumo parametras.

Koeficientai parenkami minkštam gumos mišiniui (Ružinskas 2017): $C_{10} = 0,127549$, $C_{01} = 0,056259$, $D_1 = 0,109640$.

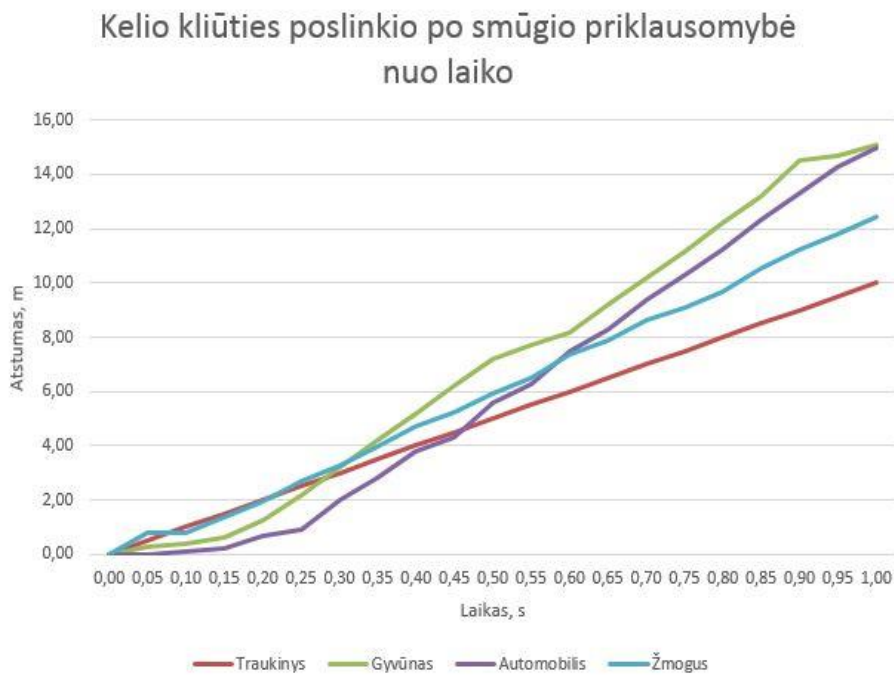
Lokomotyvas, smūgio sušvelninimo įrenginys ir oras jame modeliuojamas kaip vienas įrenginys, kuriam suteikiamas 10 m/s pradinis greitis. Siekiant didesnių elastingumo charakteristikų parenkamas standartinis atmosferinis oro slėgis 0,1 MPa. Susidūrimo skaitinio modeliavimo trukmė – 1 s. Traukinio susidūrimo su briedžiu animacijos ištrauka pateikta 8 paveiksle.



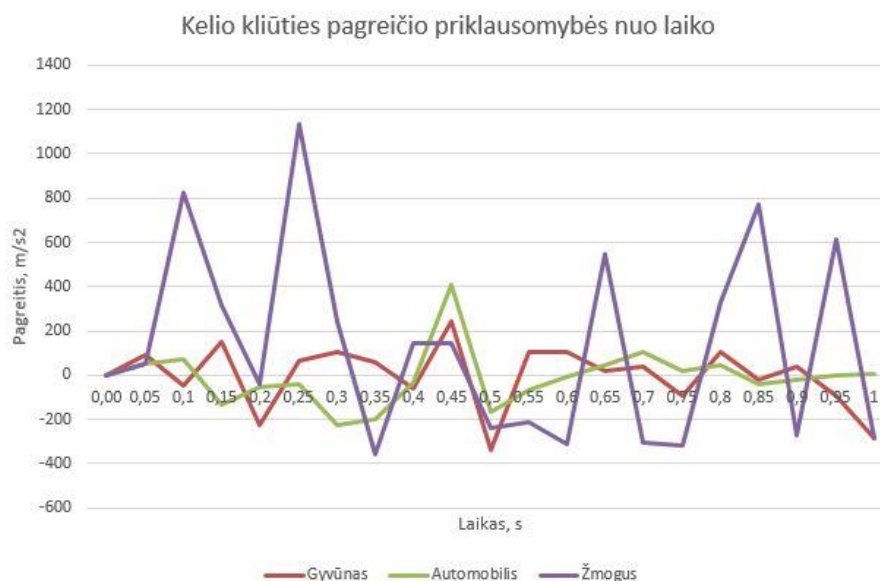
8 pav. Traukinio susidūrimo su briedžiu animacijos ištrauka



9 pav. Kelio kliūtis greičio priklausomybės nuo laiko



10 pav. Kelio kliūtis poslinkio po smūgio priklausomybės nuo laiko



11 pav. Kelio kliūtis pagreičio po smūgio priklausomybės nuo laiko

Kelio kliūtis greičio priklausomybės nuo laiko grafikas (9 paveikslas) ir kelio kliūtis poslinkio po smūgio priklausomybės nuo laiko grafikas (10 paveikslas) aiškiai parodo, kad sąveikaujančių kūnų greitis ir poslinkis po susidūrimo ženkliai skiriasi.

Traukinio greitis išlieka nepakitęs. Toks smūgio sušvelninimo įrenginys/įtaisas efektyviai pašalina kliūtį nuo kelio, tačiau toks susidūrimas žmogui būtų mirtinas. Tą patvirtina 11 paveiksle pateiktas kelio kliūtis pagreičio po smūgio priklausomybės grafikas.

Susidūrimo skaitinio modeliavimo tikslumas ir rezultatų patikimumas iš esmės priklauso nuo parinktų medžiagų ir jų slopinimo charakteristikų.

Išvados

1. Riedmenų susidūrimų skaičius Lietuvoje didėja dėl laukinių gyvūnų gausėjančios populiacijos/suintensyvėjusios migracijos ir geležinkelio kelių remonto apimčių didėjimo.
2. Automobiliuose naudojamos techninės saugos priemonės yra pažangesnės ir plačiau diegiamos negu geležinkelio riedmenyse. Pažymėtina, jog traukiniuose naudojamos aktyviosios saugos priemonės (švilpukai) žvėrimis atbaidyti yra mažai veiksmingos.
3. Skaitiniu modeliavimu gautos susidūrimo charakteristikos rodo, kad kūnų sąveika yra nepilnai

- tampri. Visos kliūtys efektyviai pašalinamos („numušama“) nuo kelio.
4. Skaitiniu modeliavimu gautos pagreičio charakteristikos rodo, kad žmogui ar gyvūnui tenkančios perkrovos yra per didelės, kad jis išgyventų.
 5. Smūgio sušvelninimo įrenginys po susidūrimo nesuyra.
 6. Oro slėgio didinimas sumodeliuotoje oro pagalvėje turi prasmę tik esant didesniems nei 10 m/s greičiams ir esant tikimybei susidurti su transporto priemone.
 7. Susidūrimo metu sumodeliuota oro pagalvė veikia spyruoklės principu. Įdiegus oro išleidimo vožtuvus smūgio slopinimo charakteristikos ženkliai pagerėtų.
 8. Kadangi oro pagalvės smūgio slopinimo charakteristikos erdvinėse koordinatėse pasiskirsto tolygiai, susidūrimo metu ženkliai deformuojasi apatinė pagalvės dalis ir atsiranda sąveika su bėgiais. Didelė tikimybė, kad dėl šios sąveikos oro pagalvė suirs jau pirmosiose smūgio fazėse.

Literatūra

- Andrew, C.; Merkle, T.; Harrigan, P. 2016. *The use of air bags mitigating grade crossing and trespass accidents: literature review and research plan*. Prieiga per internetą: <https://trid.trb.org/view/2016/M/1412757>.
- Automobilio aktyvioji sauga*. 2012. Prieiga per internetą: <https://straipsniai.org/automobilio-aktyvioji-sauga/>.
- Bureika, G.; Gaidamauskas, E.; Kupinas, J.; Bogdevičius, M.; Steišūnas, S. 2016. Modelling the assessment of traffic risk at level crossings of Lithuanian railways // *Transport*. Vilnius: Technika. ISSN 1648-4142.
- Explicit Drop Test and Submodeling with ANSYS*. 2011. Prieiga per internetą: http://www.ozeninc.com/downloads/Cowan_OzenEng_AnsysConf2011_DropTestSubmodel.pdf.
- Yeongeol, P.; Jaejoon, K.; Kihong, P.; Jay, J. 2016. *Unmanned target vehicle for active safety evaluation in test scenarios*. Prieiga per internetą: <http://www-esv.nhtsa.dot.gov/Proceedings/24/files/24ESV-000015.PDF>.
- Kaip veikia pėsčiųjų saugos oro pagalvės?* 2013. Prieiga per internetą: <http://www.delfi.lt/projektai/saugus-eismas/naujienos/kaip-veikia-pesciuju-saugos-oro-pagalves.d?id=60931655>.
- Moradi, R.; Setpally, R.; Lankarani, H. M. 2013. *Use of Finite Element Analysis for the Prediction of Driver Fatality Ratio Based on Vehicle Intrusion Ratio in Head-On Collisions*. Prieiga per internetą: http://file.scirp.org/Html/7-7401418_31906.htm.
- Ružinskas, A. 2017. *Padangos protektorius elementų sąveikos su ledu modeliavimas ir tyrimas*. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3846/mla.2017.1077>.
- Shock-absorbing air bag system to reduce railway pedestrian fatalities*. 2009. Prieiga per internetą: http://www.ciies21.org/cow_catcher.htm.
- Tyrimas dėl saugos diržų naudojimo traukiniuose davė neigiamą atsakymą*. 2007. Prieiga per internetą: <http://www.railwaygazette.com/news/single-view/view/study-says-no-to-seat-belts-on-trains.html>.
- USA patentai*. Prieiga per internetą: <https://www.google.com/patents/US6106038?dq=6106038>.