



PADANGOS PROTEKTORIAUS ELEMENTŲ SĄVEIKOS SU LEDU MODELIAVIMAS IR TYRIMAS

Andrius RUŽINSKAS

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva
El. paštas andrius.ruzinskas@vgtu.lt

Santrauka. Automobilio padanga – esminis objektas nagrinėjant rato ir kelio sąveiką. Nuo padangos protektoriaus būklės, geometrijos, mišinio sudėties priklauso ratų sukibimas su kelio danga ir automobilio stabilumas. Tai ypač aktualu žiemą, kai ant važiuojamosios kelio dangos dažnai būna sniego ar ledo sluoksnis. Dažniausiai naujų žieminių padangų bandymai atliekami realiomis eismo sąlygomis su transporto priemonėmis. Tačiau žiemos eismo sąlygų sukūrimas neretai tampa didelių išteklių reikalaujančiu iššūkiu, todėl šiuolaikiniai padangų sąveikos tyrimai neapsieina be matematinio modeliavimo. Kadangi padanga yra sudėtingas inžinerinis objektas, dažnai nagrinėjami atskiri protektoriaus elementai, sąveikaujantys su kelio danga. Šiame straipsnyje nagrinėjama realios padangos protektoriaus elementų, turinčių lameles, sąveika su sausa ledo danga taikant baigtinių elementų analizę. Protektoriaus elementų deformacijos aprašomos taikant Mooney ir Rivlin ypač tamprus kūno modelį. Nagrinėjamos minkšto ir kieto gumos mišinių protektoriaus elementų deformacijos, slėgio ir liestinių įtempių pasiskirstymas sąlyčio plote, esant skirtingoms apkrovoms. Taip pat sudarytas ir vientiso protektoriaus elemento (be lamelių) sąveikos modelis, kurio kontakto slėgio ir liestinių įtempių reikšmės yra gerokai mažesnės.

Reikšminiai žodžiai: padangos protektoriaus elementas, kontakto slėgis, liestiniai įtempiai, ledo danga.

Įvadas

Žiemos laikotarpiu dažnai susiformuoja sudėtingos eismo sąlygos dėl ant važiuojamosios kelio dangos esančio sniego ar ledo sluoksnio. Kelių priežiūros tarnybos ne visuomet spėja pašalinti šias problemas, o ledą tirpinančios druskos veiksmingos skirtingai, todėl automobilio padanga tampa vienu iš svarbiausių komponentų žiemos laikotarpiu (Ružinskas *et al.* 2016).

Padangos sąveikos su ledu mechanizmų tyrimas yra aktualus saugaus eismo ir naujų padangų kūrimo kontekste. Atliekant eksperimentinius padangų sąveikos su ledu tyrimus, būtina užtikrinti vienodas bandymų sąlygas: vienodą aplinkos temperatūrą, pradinę padangos paviršiaus temperatūrą, ledo dangos tekstūrą ir šurkštumą (Bhoopalam, Sandu 2014). Tačiau šias sąlygas ypač sudėtinga užtikrinti atliekant bandymus lauko sąlygomis, o atlikti tyrimus specialiose laboratorijose reikia didelių lėšų. Dėl to padangos sąveikos matematinio modeliavimo kūrimas turi didelę reikšmę šiuolaikiniams padangų sąveikos su kelio danga tyrimams. Tačiau automobilio padanga yra sudėtingas inžinerinis objektas, susidedantis iš keleto sluoksnių. Siekiant supaprastinti padangos sąveikos tyrimus, dažnai nagrinėjami atskiri padangos fragmentai (Ripka *et al.* 2012). Dažniausiai tai būna

padangos protektoriaus elementai (blokai), kurie tiesiogiai sąveikauja su kelio danga.

Straipsnyje pateikiama mokslinių darbų, nagrinėjančių padangos protektoriaus elementų sąveiką su ledo danga, analizė ir protektoriaus elemento su lamelėmis sąveikos matematinis modelis, kuris sprendžiamas baigtinių elementų (BE) metodu. Modelyje nagrinėjama minkštos ir kietos gumos mišinių sąveika, kintant vertikaliajai apkrovai. Papildomai nagrinėjama vientiso (be lamelių) protektoriaus elemento sąveika ir pateikiami modeliavimo rezultatai ir jų analizė.

Padangos protektoriaus elementų sąveikos su ledu mokslinių tyrimų apžvalga

Šiame skyriuje pateikiami kitų autorių naujausi moksliniai darbai, kuriuose buvo nagrinėjama padangos protektoriaus elementų sąveika su ledo danga.

Ripka *et al.* (2012) pristatė protektoriaus elemento sąveikos su ledu modelį, kuris susideda iš sausosios ir skysčio trinties jėgų. Modelyje buvo išskirta sausojo kontakto zona. Pastebėta, kad esant skirtingų slydimo greičiams išsiskiria nevienodas trinties šilumos kiekis ir tai turi įtakos sausojo kontakto dydžiui. Sumažėjus sausajai zonai, trinties koeficiento reikšmė tarp gumos ir ledo taip pat sumažėja,

nes sumažėja adhezijos jėga. Protektoriaus bloke su lamelėmis sausoji kontakto zona atsiranda kiekviename bloko elemente, todėl padidėja bendroji trinties jėga, lyginant su vientisu bloku.

Skouvaklis *et al.* (2012) pristatė padangos protektoriaus elemento sąveikos su ledu modelį, kuris paremtas kietojo kūno netolygaus šilumos srauto su pastoviu išsiskiriančiu šilumos kiekiu sąlyčio vietoje lygtimi. Modelis susieja trinties koeficiento reikšmę su šilumos energijos kiekiu, kuris perduodamas ledo paviršiui slydimo metu. Autoriai daro prielaidą, kad ledo paviršius absorbuoja visą sąlyčio vietoje išsiskiriančią šilumos energiją (dėl gerokai didesnės už gumos šilumos laidumo koeficiento reikšmės). Tuomet dėl padidėjusios ledo temperatūros sąlyčio vietoje pradeda formuotis vandens sluoksnis. Modeliavimo rezultatai buvo palyginti su eksperimentiniais protektoriaus elementų sąveikos tyrimais, atliktais laboratorijoje su linijiniu tribometru.

Wiese *et al.* (2012) pasiūlė analitinį termodinaminį ledo ir gumos sąveikos modelį, kuriame guma nagrinėjama įvertinant jos paviršiaus šiurkštumą, o ledas nagrinėjamas kaip visiškai lygus paviršius. Taip pat daryta prielaida, jog vienintelis trinties jėgų šaltinis yra dėl ištirpusio ledo atsiradusio vandens sluoksnio liestinės jėgos. Gumos histerezės ir adhezijos jėgos modelyje nėra vertinamos. Vandens sluoksnio aukštis išreiškiamas iš pusiausvyros lygties, kurioje aprašoma šiluma, išsiskirianti dėl skysčio trinties jėgų; energija, reikalinga iš kietosios ledo būsenos pereiti į skystąją (ledo tirpimas); šilumos srautas, tenkantis ledo paviršiui. Tai pat įvertintas vandens išspaudimo reiškinys, kuris įvyksta dėl nelygaus kontaktinio gumos paviršiaus. Gumos paviršiaus mikronelygumų aukštis ir realaus sąlyčio plotas gautas taikant Grynvido ir Wiljamsono kontakto teoriją ir palygintas su realiu eksperimentu. Apskaičiuotos liestinės jėgos suintegruojamos sąlyčio plote ir nustatoma vidutinė trinties koeficiento reikšmė. Skaičiavimų rezultatai buvo palyginti su eksperimentiniu gumos bloko sąveikos tyrimu ant dirbtinio ledo laboratorijoje.

Wu *et al.* (2014) sukūrė protektoriaus bloko sąveikos modelį su įvairiomis kelio dangomis, taip pat ir ledu. Modelis sukurtas taikant BE metodą, siekiant įvertinti protektoriaus kontakto įtempius ir standumą esant skirtingiems protektoriaus nuolydžio kampams ir griovelių suapvalinimo spinduliams. Atlikus skaičiavimus, pastebėta, kad trinties koeficientas didėja žemėjant temperatūrai. Įtempiai akivaizdžiai padidėja, kai blokas slysta, tačiau sumažėja padidėjus nuolydžio kampui. Kontakto slėgis iš pradžių sumažėja, bet padidėja esant didesniam griovelių suapvalinimo spinduliui. Protektoriaus bloko standumas padidėja didėjant nuolydžio kampui.

Klapproth *et al.* (2016) pristatė teorinį gumos bloko sąveikos su ledu modelį, kuriame įvertinami bloko kontaktinio paviršiaus mikronelygumai ir dominuoja skysčio trintis. Ledas nagrinėjamas kaip lygus paviršius. Modelį sudaro termodinamikos ir hidrodinamikos lygtys, kuriame taip pat nagrinėjamas užpildymo reiškinys, pasireiškiantis visišku sąlyčio paviršiaus mikronelygumų užpildymu vandeniu po tam tikro slydimo laiko. Darbe nagrinėti trys skirtingo kietumo gumos bandiniai esant skirtingoms temperatūroms ir skirtingiems nominaliesiems prispaudimo slėgiams (1 bar, 2,5 bar ir 5 bar). Pastebėta, kad didėjant slėgiui trinties koeficientas mažėja visuose aplinkos temperatūrų režimuose (nuo $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$). Tokia pati tendencija pastebėta ir su temperatūros poveikiu. Autoriai šį reiškinį paaiškina padidėjusiu ledo tirpinimu didėjant aplinkos temperatūrai. Anot autorių, minkštesnio mišinio guma pasižymi didesniu trinties koeficientu ant ledo dangos dėl didesnio sąlyčio ploto. Autorių atliktame tyrime šį teiginį patvirtino tik tyrimai esant mažiausiam apkrovimo slėgiui. Esant didžiausiai apkrovai, buvo pastebėta atvirkštinė tendencija – kiečiausio mišinio gumos bandinys turėjo didžiausią trinties koeficientą, minkščiausio mišinio – mažiausią. Ši tendencija buvo paaiškinta užpildymo efektu: žinant, kad laisvasis sąlyčio paviršiaus tūris yra tiesiogiai proporcingas gumos standumui, kieto mišinio gumos sąlyčio plotas yra užpildomas vandeniu praėjus ilgesniam laiko tarpui. Todėl buvo padaryta esminė išvada, kad trinties koeficiento sumažėjimas dėl užpildymo efekto turi didesnę įtaką minkšto mišinio gumai.

Padangos protektoriaus elementų sąveikos modelis

Nagrinėjamas realios padangos protektoriaus elementas su lamelėmis. Sąveikos modelį sudaro trys kūnai: prispaudimo plokštė, imituojanti padangos kordą, kurį veikia vertikali prispaudimo jėga; protektoriaus elementas (blokas); lygus kelio paviršius. Netiesinis modelis sudaromas ir aprašomas baigtinių elementų analizės programa Ansys Workbench ir sprendžiamas atliekant statinę analizę. Protektoriaus elemento BE tinklelis, kurį sudaro 33 652 elementai ir 39 168 mazgų, parodytas 1 pav.

Taip pat nagrinėjamas ir vientisas elementas (be lamelių), kurio modelį sudaro 35 344 elementai ir 39 168 mazgai. Abu modelių tinkleliai pasižymi vienodomis ortogonaliskumo ir asimetriškumo reikšmėmis, kurios atitinkamai yra 0,86 ir 0,33. Protektoriaus elementai nagrinėjami kaip ypač tampri medžiaga, dar vadinama hiperelastine. Šios medžiagos deformacijų priklausomybė nuo įtempių yra netiesinė ir dažniausiai padangos elementų deformacijoms

įvertinti taikomas trijų parametru Mooney ir Rivlin modelis (Cho *et al.* 2006; Choi *et al.* 2012; Sapragonas *et al.* 2013):

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

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.

Modelio koeficientai C_{10} , C_{01} ir D_1 paprastai nustatomi iš tempimo ir gniuždymo eksperimentinių bandymų, tačiau šioje analizėje naudojamos autorių Klapproth *et al.* (2016) pateiktos koeficientų reikšmės minkštam ir kietam gumos mišiniam (1 lentelė).

1 lentelė. Mooney ir Rivlin modelio koeficientai
Table 1. Coefficients of Mooney-Rivlin model

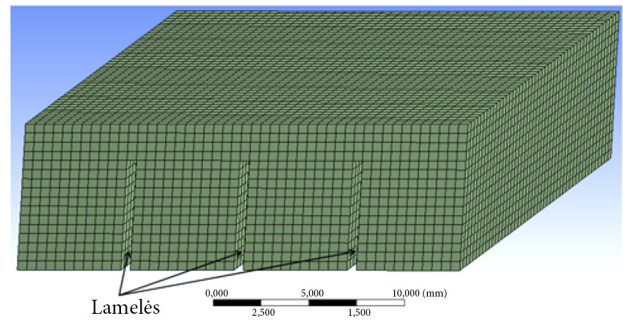
Gumos mišinys	Koeficientai		
	C_{10}	C_{01}	D_1
Minkštas	0,127549	0,056259	0,109640
Kietas	0,195898	0,143179	0,059379

Kadangi modelyje nagrinėjama protektoriaus elementų sąveika su kelio danga, daroma prielaida, kad prispaudimo plokštės deformacijos yra daug mažesnės negu protektoriaus elemento. Dėl to plokštė aprašoma kaip konstrukcinio plieno medžiaga. Kelio danga nagrinėjama kaip nesideformuojantis kūnas. Kontaktas tarp protektoriaus elemento ir kelio dangos aprašomas trinties koeficiento reikšme, kuri lygi 0,2. Ši reikšmė artima maksimaliam padangos sukibimo su ledu padengta kelio danga koeficientui žemoje aplinkos temperatūroje (Giessler 2012). Modelyje nevertinami kelio nelygumai ir vandens sluoksnis, galintis atsirasti dėl išsiskiriančios trinties šilumos.

Modeliavimo rezultatai ir jų analizė

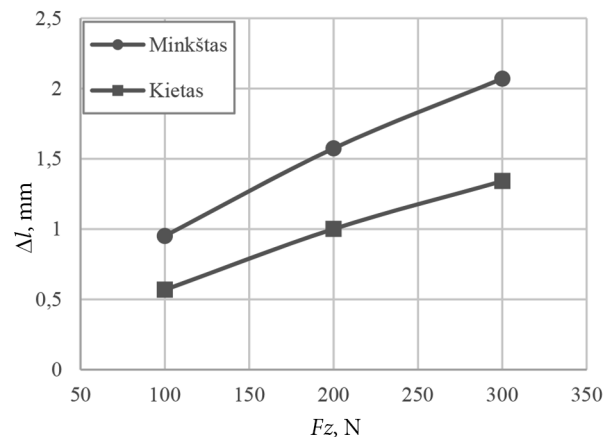
Modelyje buvo nagrinėjama apkrovos įtaka vertikaliam poslinkiui Δl , kontakto slėgiui P_k ir liestiniams įtempimams τ_k minkšto ir kieto gumos mišinio protektoriaus elementams. Pasirinktos 100 N, 200 N ir 300 N vertikaliosios apkrovos F_z reikšmės atitinka realios padangos apkrovos reikšmes (atitinkamai 2 kN, 4 kN ir 6 kN), kurios buvo apytiksliai apskaičiuotos iš padangos sąlyčio ploto.

2 pav. pateiktoje protektoriaus elemento su lamelėmis vertikalojo poslinkio priklausomybėje nuo apkrovos akivaizdžiai matomas minkšto mišinio gumos didesnis deformavimasis. Minkštesnio mišinio gumos elementas labiau suspaudžiamas, dėl to išsiskiria didesni deformacijos energijos nuostoliai, kurie virsta šiluma. Dėl to vidiniai



1 pav. Padangos protektoriaus elemento su lamelėmis BE tinklelis

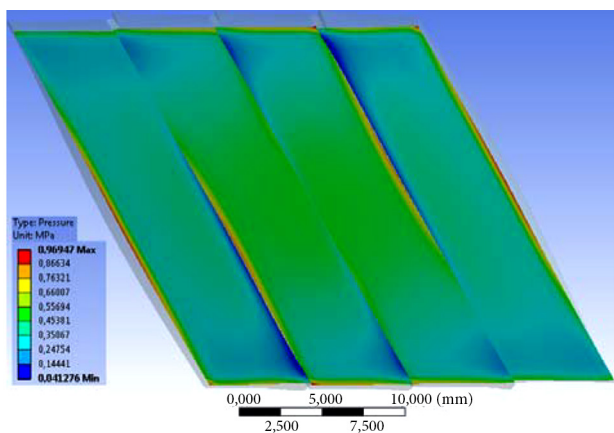
Fig. 1. Finite element mesh of the siped tread block



2 pav. Vertikalojo poslinkio priklausomybė nuo apkrovos protektoriaus elemente su lamelėmis

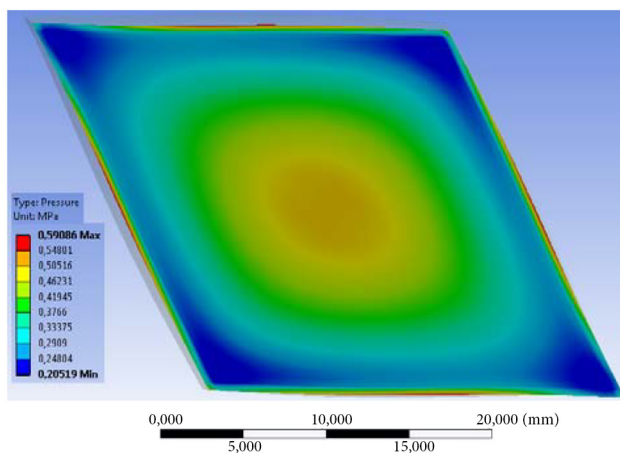
Fig. 2. Relationship between vertical displacement and vertical load in siped tread block

padangos sluoksniai išyla labiau. Dėl to minkštesnio mišinio guma greičiau pasiekia darbinę temperatūrą ir padanga gali greičiau pasiekti optimalų sukibimą su kelio danga. Tai ypač aktualu ant ledu padengtos kelio dangos, kai šiltesnė padanga geriau sukimba su sausa ledo danga. Tą galima paaiškinti šilto ir šalto kūnų sąveika, kai šiltesnis kūnas dėl tarpusavio molekulių sąveikos linkęs prilipti prie šaltesnio. Dėl to žieminių padangų sukibimo su ledo danga koeficientas didėja žemėjant temperatūrai. Tačiau didelis protektoriaus elementų išilimas gali sukelti ledo tirpinimą, dėl kurio padangos sąlyčio vietoje gali atsirasti plona vandens plėvelė, sumažinanti sukibimą. Visgi dažniausiai ledas tirpinamas dėl trinties šilumos, kuri išsiskiria protektoriaus elementams slystant ledo paviršiumi. Šis reiškinys labiausiai pastebimas aplinkos temperatūrai artėjant link 0 °C. Esant aukštomis aplinkos temperatūroms, protektoriaus elementų su ledu sąveikos vietoje dominuoja sausoji trintis, nes dėl pernelyg aukštos temperatūros ledo paviršius tiesiog nespėja aptirpti.



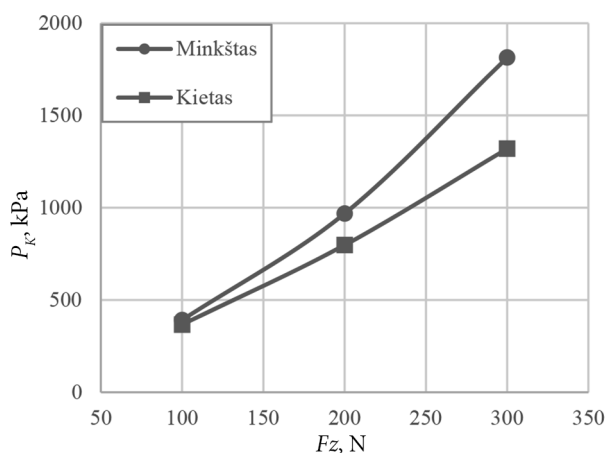
3 pav. Kontakto slėgio pasiskirstymas protektoriaus elemente su lamelėmis

Fig. 3. Contact pressure distribution in siped tread block



4 pav. Kontakto slėgio pasiskirstymas vientisame protektoriaus elemente

Fig. 4. Contact pressure distribution in solid tread block



5 pav. Kontakto slėgio priklausomybė nuo apkrovos protektoriaus elemente su lamelėmis

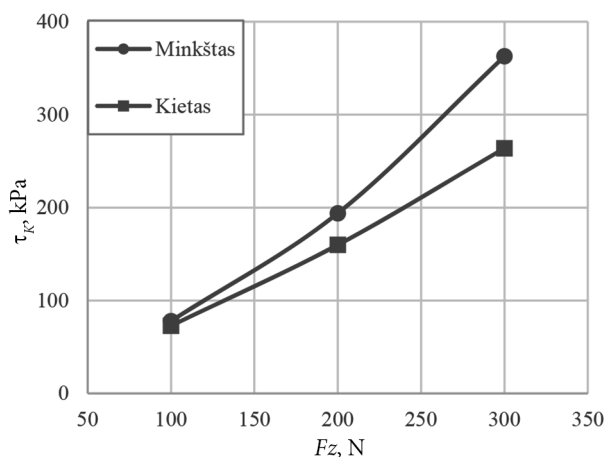
Fig. 5. Relationship between contact pressure and load in siped tread block

Lyginant protektoriaus elementą su lamelėmis ir vientisą bloką, pastebimos tokios pat tendencijos. Vientiso bloko vertikalojo poslinkio reikšmės yra šiek tiek mažesnės. Didesnis skirtumas tarp šių elementų pastebimas nagrinėjant slėgio pasiskirstymą kontakto vietoje (3 ir 4 pav.).

Protektoriaus elementas su lamelėmis pasižymi tolygesniu slėgio pasiskirstymu, lyginant su vientisu elementu. Tai paaiškina, kodėl visų šiuolaikinių žieminių padangų protektorius turi lameles. Tolygesnis slėgio pasiskirstymas sąlyčio vietoje užtikrina geresnes padangos sukibimo savybes, kurios ypač aktualios žiemos eismo sąlygomis.

Lyginant minkšto ir kieto gumos mišinių elementus su lamelėmis, pastebimas akivaizdus maksimalių kontakto slėgio reikšmių didėjimas didėjant apkrovai. Tą galima paaiškinti didėjančiu sąlyčio plotu, kai stipriau suspaustas elementas labiau deformuojasi. Didesnis sąlyčio plotas paprastai lemia ir geresnį padangos sukibimą su kelio danga, tačiau ant ledo dangos šis padidėjimas gali lemti didesnę trinties šilumos išsiskyrimą, dėl kurio ledo danga gali būti tirpinama ir atsirasti plonas vandens sluoksnis. Iš 5 pav. matyti, kad minkštesnio gumos mišinio elementas pasižymi didesnėmis kontakto slėgio reikšmėmis. Esant 100 N apkrovai skirtumas tarp minkštos ir kietos gumos elementų yra nežymus, tačiau apkrovai didėjant skirtumas taip pat didėja.

Nagrinėjant vientiso protektoriaus elemento kontakto slėgio maksimalias reikšmes, pastebimas žymus šių reikšmių sumažėjimas lyginant su elementu, turinčiu lameles. Lyginant minkšto mišinio elementus, šios reikšmės skiriasi 30 %, 40 % ir 46 % esant atitinkamai 100 N, 200 N ir 300 N prispaudimo jėgoms. Lyginant kieto mišinio elementus, skirtumas nėra toks akivaizdus. Didėjant apkrovai, vientiso elemento kontakto slėgio reikšmės taip pat didėja,



6 pav. Liestinių įtempių priklausomybė nuo apkrovos protektoriaus bloke su lamelėmis

Fig. 6. Relationship between tangential stress and load in siped tread block

tačiau skirtumas tarp minkštos ir kietos gumos mišinių yra mažesnis, lyginant su protektoriaus elementu, turinčiu lameles.

Analizuojant liestinių įtempių pasiskirstymą sąlyčio vietoje pastebimos tos pačios tendencijos kaip ir su kontakto slėgiu. Minkšto mišinio gumos elementas su lamelėmis pasižymi didesnėmis įtempių reikšmėmis ir, didėjant apkrovai, šis skirtumas tampa pastebimesnis (6 pav.). Vientisas protektoriaus elementas pasižymi gerokai mažesnėmis liestinių įtempių reikšmėmis lyginant jį su elementu, turinčiu lameles. Didesnės liestinių įtempių reikšmės lemia didesnį padangos stabilumą ant kelio dangos, todėl galima teigti, kad minkšto mišinio žieminės padangos su lamelėmis yra stabiliausias, lyginant jas su kieto mišinio ar vientiso protektoriaus elemento padangomis.

Išvados

Atliktas protektoriaus elementų sąveikos su ledo danga modeliavimas ir tyrimas parodė, kad minkšto gumos mišinio protektoriaus elementas pasižymi didesnėmis deformacijomis, kontakto slėgio ir liestinių įtempių reikšmėmis lyginant su kietu mišiniu. Šie tyrimai iš esmės pagrindžia autoriaus atliktus eksperimentinius skirtingų padangų sąveikos su ledo danga tyrimus (Ružinskas, Sivilevičius 2017). Minkštesnio gumos mišinio protektoriaus elementams labiau deformuojantis, padidėja sąlyčio plotas. Dėl to padidėja kontakto slėgio ir liestinių įtempių reikšmės. Didesnės sąlyčio ploto, slėgio ir liestinių įtempių reikšmės lemia didesnį padangos sukibimo su ledu padengta kelio danga koeficientą.

Taip pat nustatyta, kad protektoriaus elementas su lamelėmis pasižymi didesnėmis kontakto slėgio ir liestinių įtempių reikšmėmis lyginant su vientisu elementu. Didesnis šių dydžių skirtumas pastebimas esant didesnėms apkrovoms, kai elementai labiau deformuojami. Be to, protektoriaus elementas su lamelėmis dėl savo geometrijos pasižymi gerokai tolygesniu slėgio pasiskirstymu. Šie tyrimų rezultatai įrodo, kodėl visų šiuolaikinių žieminų padangų protektorius turi lameles.

Šiame darbe pristatytas protektoriaus elementų sąveikos modelis tinkamas nagrinėjant sausą ledo dangą. Norint tiksliau ištirti šią sąveiką, būtina įvertinti vandens sluoksnio storį, kuris gali atsirasti dėl trinties šilumos, išsiskiriančios protektoriaus elementui slystant ledo paviršiumi. Tai ypač aktualu aplinkos temperatūrai artėjant link 0 °C. Taip pat turėtų būti įvertinti ir ledo dangos nelygumai.

Literatūra

- Bhoopalam, K. A.; Sandu, C. 2014. Review of the state of the art in experimental studies and mathematical modeling of tire performance on ice, *Journal of Terramechanics* 53: 19–35. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2014.03.007>
- Cho, R. J.; Lee, W. H.; Sohn, S. J.; Kim, J. G.; Woo, S. J. 2006. Numerical investigation of hydroplaning characteristics of three-dimensional patterned tire, *European Journal of Mechanics A/Solids* 25: 914–926. <https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2006.02.007>
- Choi, H. J.; Cho, R. J.; Woo, S. J.; Kim, W. K. 2012. Numerical investigation of snow traction characteristics of 3-D patterned tire, *Journal of Terramechanics* 49: 81–93. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2012.01.003>
- Giessler, M. 2012. *Mechanismen der kraft-übertragung des reifens auf schnee und eis*: Doctor's thesis. Karlsruhe Institute of Technology.
- Klapproth, C.; Kessel, M. T.; Wiese, K.; Wies, B. 2016. An advanced viscous model for rubber-ice friction, *Tribology International* 99: 169–181. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2015.09.012>
- Ripka, S.; Lind, H.; Wagenheim, M.; Wallaschek, J.; Wiese, K.; Wies, B. 2012. Investigation of friction mechanisms of siped tire tread blocks on snowy and icy surfaces, *Tire Science and Technology* 40(1): 1–24. <https://doi.org/10.2346/1.3684409>
- Ružinskas, A.; Bulevičius, M.; Sivilevičius, H. 2016. Laboratory investigation and efficiency of deicing materials used in road maintenance, *Transport* 31(2): 147–155. <https://doi.org/10.3846/16484142.2016.1190787>
- Ružinskas, A.; Sivilevičius, H. 2017. Investigation and comparison of tires performance on ice, in *10th International Conference "Environmental Engineering"*, 27–28 April 2017, Vilnius, Lithuania.
- Sapragonas, J.; Keršys, A.; Makaras, R.; Lukoševičius, V.; Juodvalkis, D. 2013. Research of the influence of tire hydroplaning on directional stability of vehicle, *Transport* 28(4): 374–380. <https://doi.org/10.3846/16484142.2013.865673>
- Skouvakis, G.; Blackford, R. J.; Koutsos, V. 2012. Friction of rubber on ice: a new machine, influence of rubber properties and sliding parameters, *Tribology International* 49: 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2011.12.015>
- Wiese, K.; Kessel, M. T.; Mundl, R.; Wies, B. 2012. An analytical thermodynamic approach to friction of rubber on ice, *Tire Science and Technology* 40(2): 124–150.
- Wu, J.; Wang, S. Y.; Su, L. B.; Liu, Q. 2014. Experimental and numerical studies on tire tread block friction characteristics based on a new test device, *Advances in Materials Science and Engineering* 2014: 1–9. <https://doi.org/10.1155/2014/816204>

SIMULATION AND INVESTIGATION OF TIRE TREAD BLOCKS INTERACTION WITH ICE

A. Ružinskas

Abstract

The car tire is an essential subject analysing its interaction with the road. From tire's tread condition, geometry and rubber

compound depends grip and vehicle stability. This is especially relevant in winter time, when roads are covered with the layer of snow or ice. Generally, new tires are tested in real traffic conditions using vehicles. However, ensuring these conditions requires many resources and sometimes it could be a big challenge. For this reason, simulation of the tire interaction with the road becomes more important in nowadays tire researches. Since the tire is a complex engineering subject, the tire tread blocks could be separated for individual analysis. The interaction between the dry ice and the tread block with sipes was analysed using finite element analysis. The tread block was described using hyperelastic Mooney-Rivlin material model. The deformations, distribution of the contact pressure and shear stresses were obtained for the soft and hard rubber compounds with different vertical load conditions. Also a solid tread block interaction was analysed and it was found that values of contact pressure and shear stresses are much lower comparing to siped tread block.

Keywords: tire tread block, ice, contact pressure, shear stress.