

AUTOMOBILIO PADANGOS SAVEIKOS SU LEDU TERMOGRAFINIAI TYRIMAI

Andrius RUŽINSKAS

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

Santrauka. Ledo danga, esanti kelio važiuojamosios dalies paviršiuje, yra viena iš priežasčių, turinti įtakos eismo saugumui. Automobilio padangos savybės taip pat lemia eismo saugumą. Dauguma šiuolaikinių žiemos laikotarpiui skirtų padangų pasižymi geromis sukibimo su kelio danga, padengta ledu, savybėmis, tačiau kartais nepavyksta išvengti skaudžių eismo nelaimių. Nemažai išorinių veiksnių lemia padangos sukibimo sumažėjimą ir vienas iš jų – temperatūra. Straipsnyje siekta atskleisti termografijos, kaip šiuolaikinio inovatyvaus padangų diagnostikos būdo žiemos sąlygomis, potencialą. Karlsrūhės technologijų instituto laboratorijoje atliktas padangos ir ledo temperatūrų matavimas su būgniniu padangų tyrimo stendu, naudojant terminę kamerą. Tyrimas atliktas nagrinėjant išilginę rato dinamiką, t. y. stabdymą ir pagreitėjimą. Nustatyti termostatinės kameros optimalūs parametrai ir pateikti temperatūrų matavimo rezultatai, kurie parodė, jog labiausiai išyla padangos protektoriaus grioveliai.

Reikšminiai žodžiai: padanga, ledas, termografija, padangos paviršiaus temperatūra, išilginis slydimo koeficientas.

Įvadas

Pasaulinis klimato atšilimas pastebimai turėjo įtakos ir vidutinei žiemos temperatūrai pasaulyje per pastaruosius keletą metų. Padidėjusi aplinkos temperatūra ir padažnėjęs temperatūrų virsmas per 0 °C yra viena iš ledo atsiradimo ant važiuojamosios kelio dangos priežasčių žiemos laikotarpiu. Deja, žiemos kelių priežiūros tarnybos ne visuomet spėja laiku pašalinti šią problemą, o ledą tirpinančios druskos pasižymi skirtingu veiksmingumu, todėl padanga tampa bene svarbiausiu komponentu automobiliui važiuojant ledu padengta kelio danga (Ružinskas *et al.* 2016).

Padanga yra sudėtingas inžinerinis objektas, susidedantis iš gumos mišinio ir įvairiausių sintetinių medžiagų. Todėl, siekiant plėtoti žieminių padangų, pasižyminčių geromis sukibimo savybėmis su ledu, kūrimą, būtina iširti padangų sąveikos su ledu trinties mechanizmus (Peng *et al.* 1999; Bhoopalam *et al.* 2015). Tačiau šie mechanizmai yra sudėtingi, jie priklauso nuo daugybės veiksnių, kintančių laikui einant ir turinčių didelę reikšmę padangos elgsenai ant ledo dangos. Šiuos veiksnius galima išskirti į tris dideles grupes (Bhoopalam, Sandu 2014):

- aplinkos ir ledo dangos sąlygos;
- padangų techninės charakteristikos;
- transporto priemonės rūšis ir techninės charakteristikos.

Padangos temperatūra šiuo atveju yra vienas iš svarbiausių veiksnių. Dėl trinties šilumos, išsiskiriančios riedėjimo metu, ant ledo gali atsirasti plonas vandens sluoksnis, sumažinantis gumos mišinio sukibimo savybes (Skouvaklis *et al.* 2012). Šiam reiškiniiui didelę reikšmę turi ir aplinkos temperatūra. Jai mažėjant (artėjant prie 0 °C), gumos sukibimo su ledu koeficiento reikšmės taip pat mažėja (Giessler 2012).

Straipsnyje nagrinėjamos termografijos naudojimo, kaip vieno iš būdų nustatyti padangos temperatūrą, galimybės atliekant laboratorinius rato sąveikos su ledu tyrimus.

Termografijos naudojimas atliekant padangos sąveikos su kelio danga tyrimus

Termografija yra vaizdų pateikimo rūšis, paprastai naudojama kartu su termine (infraraudonųjų spindulių) kamera, skirta objektų ar kūnų temperatūrų pasiskirstymui atvaizduoti. Nors infraraudonoji spinduliuotė neaptinkama plika žmogaus akimi, termostatinė kamera geba šią spinduliuotę paversti į vaizdinį paveikslą. Infraraudonoji spinduliuotė padengia elektromagnetinio spektro dalį nuo 0,9 iki 14 μm, kurią skleidžia visi objektai temperatūroje, didesnėje už absoliutųjį nulį (–273 °C). Spinduliuotės dydis paprastai padidėja pakilus temperatūrai (FLIR 2011).

Linke *et al.* (2014) panaudodami termostatinę kamerą nagrinėjo orlaivio padangos termodinaminius procesus. Tyrimai buvo atlikti specialiu padangų tyrimo stendu, leidžiančiu keisti rato apkrovą, greitį ir rato slydimo kampą. Naudota termostatinė kamera buvo įtvirtinta apačioje 2,5 m atstumu nuo padangos, leidžiančiu stebėti padangos su keliu sąlyčio zoną. Nagrinėdami matavimų duomenis termostatinės kameros įrašytame termografiniame vaizde, autoriai išskyrė dvi zonas: apatinę ir viršutinę. Apatinė zona apima padangos sąlytį, viršutinė – protektoriaus viršutinę dalį. Abiejose zonose buvo vertinama tik maksimali temperatūra, nes, vertinant vidutinę, didelę reikšmę galėjo turėti aplinkui esantys vėsesni objektai (stendo paviršiai ir dalys), patenkantys į minėtą zonas. Duomenys įrašinti 640×400 pikselių raiška ir 50 kadrų per sekundę greičiu. Išanalizavus duomenis buvo pastebėta, kad temperatūrai didžiausią įtaką turi slydimo kampas, priklausantis šiuo atveju nuo greičio ir apkrovos. Be to, nustatyta, jog padangos sąlyčio su keliu zona lemia protektoriaus temperatūros sumažėjimą (atvėsimą), tačiau šis reiškinys neturi įtakos protektoriaus temperatūrai grioveliuose. Jie išsyla atskirai ir, jeigu aušinimas nuo kelio dangos tampa pernelyg mažas, šiluma iš griovelių atiduodama protektoriui.

Giessler *et al.* (2010a) panaudojo greitaveikę termostatinę kamerą padangos termodinaminiams tyrimams ant ledo ir sniego. Autoriai atliko bandymus su keturiomis žieminėmis padangomis ir nagrinėjo išilginę rato dinamiką. Termostatinė kamera buvo pritvirtinta iš šono 1,5 m atstumu nuo padangos, nukreipiant ją į apačią. Termografinis protektoriaus vaizdas buvo išskirtas į keturias sritis: išorinę, centrinę, griovelių ir vidinę. Toks tvirtinimo būdas neleido nagrinėti padangos temperatūrų pasiskirstymo keičiant slydimo (posūkio) kampą, nes ratas, pasisukęs kampu α , nepatekdavo į kameros įrašymo sritį. Išanalizavus matavimų rezultatus paaiškėjo, kad padangos paviršiaus temperatūra padidėja išsiskiriant šilumai trinties metu ir pasiekia didžiausią reikšmę esant didžiausiam išskiriamos šilumos kiekiui. Temperatūra padangos protektoriaus grioveliuose išlieka beveik pastovi, palyginti su paviršiaus temperatūra.

Tie patys autoriai kitame straipsnyje nagrinėjo dviejų žieminų padangų su protektoriaus bloko įpvovomis ir be jų termodinaminius procesus, naudodami jau minėtą greitaveikę termostatinę kamerą. Atlikus išilginės rato dinamikos tyrimus ant ledo, nustatyta, kad maksimali rato perduodama išilginė jėga pasiekama esant 0,1 slydimo koeficientui. Taip pat pastebėta, kad didesnė mechaninės galios dalis paverčiama į trinties šilumą ant ledo dangos negu ant sniego (Giessler *et al.* 2010b).

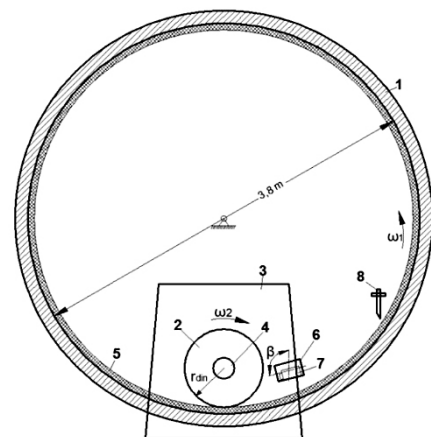
Rantonen *et al.* (2012) panaudojo termostatinę kamerą tirdami slystantčių gumos bandinių su dygliais ant ledo trintį

specialiu linijiniu stendu. Mokslininkai nagrinėjo aplinkos temperatūros, dyglių skaičiaus, apkrovos ir slydimo greičio įtaką trinčiai. Iš pradžių termostatinė kamera buvo naudojama stebėti bandinio be dyglių temperatūrai. Bandinys naudotas ledui paruošti bandinių su dygliais tyrimams. Po 20 bandymų su bandiniu be dyglių buvo atliekamas vienas matavimas su dygliuotu bandiniu. Kadangi slystantys bandiniai dėl išsiskiriančios trinties šilumos padidindavo ledo temperatūrą, po kiekvieno bandymo buvo palaukiama 5 min, kol ledo temperatūra susilygins su aplinkos. Atlikus temperatūros matavimus su dygliuotu bandiniu pastebėta, kad srityse aplink dyglius temperatūra padidėja, palyginti su kitomis bandinio sritimis. Mokslininkai tai aiškina ledo atplaišų, atsirandančių dėl dyglio judėjimo ir padidėjusių gumos deformacijų aplink jį, susidarymu.

Eksperimentiniai termografiniai tyrimai

Eksperimentas buvo atliktas Karlsrūhės technologijų instituto laboratorijoje su būgniniu padangų tyrimo stendu, leidžiančiu atlikti padangų sąveikos tyrimus ant įvairių kelio dangų (sausą, šlapia, padengta sniegu, ledu). Stendo sudedamosios dalys pateiktos 1 pav.

Stendas susideda iš varančiojo būgno 1, kuriame rieda padanga 2, įtvirtinta stendo korpuse 3. Korpusas gali judėti išilgine kryptimi, sudarydamas galimybę lengvai pakeisti tiriamas padangas, montuojamas ant specialaus ratlankio, taip pat pasisukti aplink vertikaliąją ašį, sukuriant padangos slydimo (posūkio) kampą α , kai nagrinėjama rato skersinė dinamika. Padangos išilginė dinamika nagrinėjama sukuriant slydimą tarp varančiojo būgno 1 ir padangos 2: būgnas sukasi pastoviuoju nustatytu linijiniu greičiu v_b ir elektros variklio sūkius keičiant hidrostatinę transmisiją, keičiamas padangos linijinis greitis v_p . Greičių v_p ir v_b skirtumas šiuo



1 pav. Būgninio padangų tyrimo stendo ir termostatinės kameros tvirtinimo schema

Fig. 1. Schematic view of inner drum test bench

atveju vadinamas išilginiu slydimu. Tuomet išilginio slydimo koeficientas apskaičiuojamas taip:

$$S_x = \frac{v_p - v_b}{v_b} \quad (1)$$

Padangos linijinis rato greitis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$v_p = r_{dyn} \omega_2, \quad (2)$$

čia r_{dyn} – dinaminis rato spindulys, m; ω_2 – rato kampinis greitis, s^{-1} .

Padangos perduodamos išilginės ir skersinės jėgos bei momentai matuojami jutikliais 4. Stendas sumontuotas specialioje patalpoje, kuri gali būti atšaldoma naudojant kondicionavimo sistemą. Tai leidžia atlikti padangų tyrimus įvairiose aplinkos temperatūrose. Tas ypač aktualu imituojant žiemos eismo sąlygas, kai aplinkos oro temperatūra turi didelę reikšmę matavimų rezultatams ir patikimumui.

Tyrimas buvo atliktas ant ledo dangos 5, kuri suformuojama pilant vandenį ant besisukančio būgno 1 neigiamoje temperatūroje. Kadangi pradinė suformuota ledo danga yra nelygi dėl netolygaus vandens kiekio pasiskirstymo ir užšalimo būgne, naudojamas metalinis peilis 8 dangai išlyginti, nuimant tam tikrą ledo dalį. Išlyginus ledo dangą, ši nupoliruojama specialiai tam skirta padanga, kurios protektorius padengtas daugybe įpjovų. Po šio poliravimo proceso ledo danga yra paruošta tyrimams. Ledo dangos storis paprastai būna 10–15 mm. Tyrimams buvo pasirinkta žiemos laikotarpiui skirta padanga, kurios duomenys matavimų metu pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Eksperimento ir padangos duomenys
Table 1. Specifications of tested tire and experiment

Padangos tipas	Žieminė
Matmenys	205/55 R16
Greitis, km/h	30
Apkrova, N	6300
Slėgis, bar	2,2
Išvirtimo kampas γ , °	0
Protektorius gylis, mm	7,8
Protektorius gumos mišinio kietumas A skalėje	65

Protektorius kietumas A skalėje buvo išmatuotas diurometru, laikantis ASTM D2240 standarte nurodytų reikalavimų. Tyrimams naudotos žieminės padangos protektorius raštas pateiktas 2 pav.

Padangos protektorius raštas yra sudarytas iš protektorius blokų su įpjovomis, padidinančiomis sukibimą. Teigiama įpjovų įtaka ant ledu padengtos kelio dangos įrodyta mokslininkų Ripka *et al.* (2012).

Kadangi ledo danga yra viena pavojingiausių eismo sąlygų, buvo tariama, jog 30 km/h greičio vertė yra optimali. Padangos slėgis pasirinktas gamintojo rekomenduotasis,



2 pav. Tyrimams naudotos padangos protektorius raštas ir sudedamosios jo dalys

Fig. 2. Tread pattern of investigated tire and components

rato apkrova – didesnė nei įprasta, nes siekta nustatyti, ar pasikeis padangos temperatūra matuojant. Išvirtimo kampo vertė pasirinkta nulinė, nes tyrimu nebuvo siekta įrodyti jos įtakos temperatūrai.

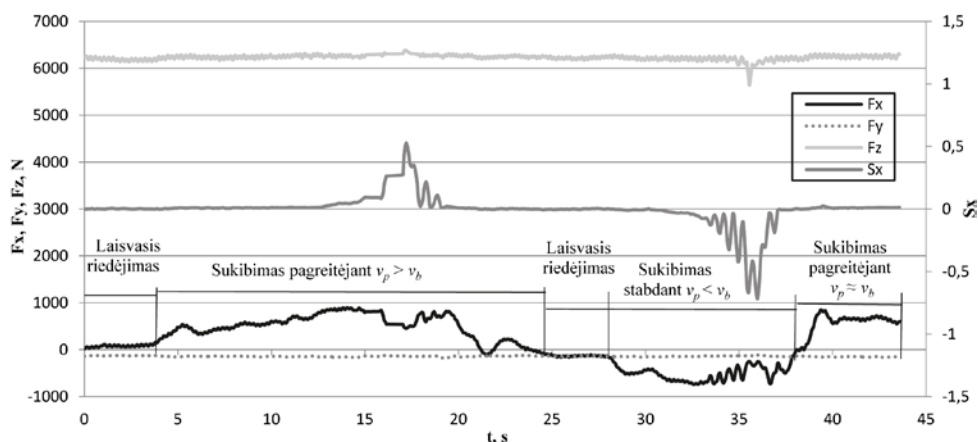
Tyrimams buvo naudojama „Optris PI 160“ termostatinė kamera. Kaip ji tvirtinama, pavaizduota 2 pav. Termostatinė kamera 7 buvo įtvirtinta specialioje apsauginėje dėžutėje 6, apsaugančioje optiką nuo gumos ar kelio atplaišų padangai riedant. Apsaugai naudojama paprasta polietileninė plėvelė, todėl labai svarbu nustatyti jos pralaidumo koeficientą, turintį didelę reikšmę matavimų rezultatams (koeficiento skirtumas 0,1 vienetu paprastai padidina arba sumažina objekto temperatūrą daugiau nei vienu laipsniu). Šis koeficientas buvo nustatytas eksperimentiniu būdu pamatuojant realią objekto temperatūrą. Toks kameros tvirtinimo būdas yra pranašesnis už anksčiau kitų autorių paminėtus, nes leidžia keisti kameros pozicionavimo kampą β , todėl kamera gali sukintis, kartu keičiamas rato slydimo kampas α . Šis universalus kameros tvirtinimo būdas leidžia kamerą nukreipti į pageidaujamas tirti padangos ir kelio sritis. Kameros nustatymai matuojant pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. Kameros „Optris PI 160“ parametrų nustatymai matuojant

Table 2. Optris PI 160 Thermocamera settings during the measurement

Raiška pikseliais	Įrašymo greitis, Hz	Atspindžio koeficientas ϵ	Pralaidumo koeficientas
160×120	1	0,95	0,85

Kitas ne mažiau svarbus kameros parametras yra atspindžio koeficientas ϵ , pateikiamas literatūroje (Optris 2014). Kadangi buvo matuota padangos ir ledo temperatūra, pasirinkti gumos ir ledo atspindžio koeficientai atitinkamai lygūs 0,95 ir 0,98. Bendroju atveju buvo pasirinktas $\epsilon = 0,95$, nes didesnę matuojamą plotą užėmė padanga. Tyrimu nesiekta labai tiksliai nustatyti padangos ir ledo temperatūros, todėl 1 Hz įrašymo dažnis yra pakankamas. Kameros raiška, pateikta 2 lentelėje, yra maksimali, kurią numato gamintojas.



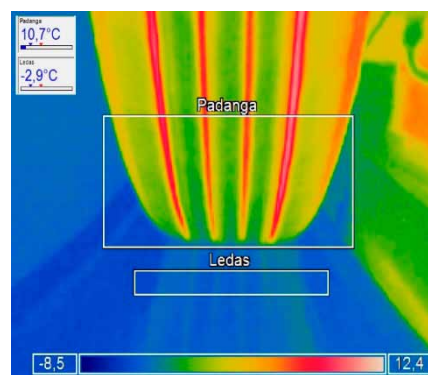
3 pav. Ratą veikiančių jėgų kitimas eksperimento metu
Fig. 3. Variation of tire force transmission during the measurement

Eksperimento metu buvo imituotas padangos pagreitėjimas ir stabdymas, ir matuotos ratą veikiančios jėgos (F_x , F_y ir F_z). Nors jėga F_z yra nustatoma prieš eksperimentą kaip nekintanti, didelių jos kitimų gali atsirasti dėl kelio dangos nelygumų. Tai gali turėti įtakos rezultatų tikslumui. Be to, rato prispaudimas valdomas hidraulinės sistemos, todėl jos vertė nėra pastovi dėl priešinimosi padangos deformacijoms. Tyrimo metu vidutinė F_z vertė buvo lygi pasirinktajai. Eksperimentas truko 44 s, jėgų ir slydimo reikšmių priklausomybė nuo laiko pateikta 3 pav. Slydimo koeficiento vertė pagreitejimo metu siekė $S_x = 0,5$, stabdymo – $S_x = 0,7$. Ratas nebuvo visiškai užblokuotas stabdant ir neprasisuko pagreitejant, todėl slydimo koeficientų vertės nepasiekė atitinkamai -1 ir 1 .

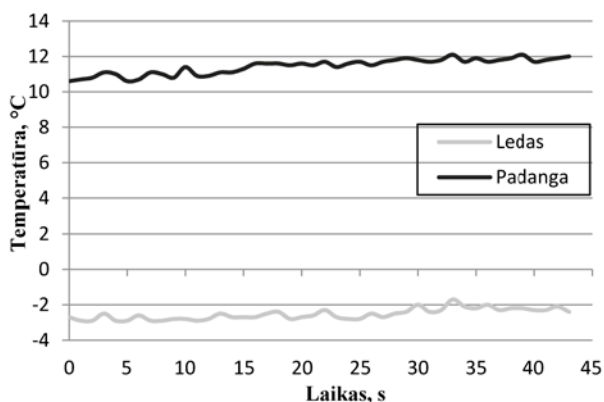
Ratą veikiančios jėgos buvo išskirtos į zonas, parodytas 3 pav. Tai laisvo riedėjimo (kai F_x , F_y ir S_x vertės yra mažos), pagreitejimo ir stabdymo (matomas F_x ir S_x reikšmių didelis kitimas, pagreitejimo metu – teigiamos, stabdymo – neigiamos) zonos. Įprastai padangos didžiausias sukibimo vertes ant ledo pasiekia esant mažam slydimo koeficientui ($S_x = 0,05-0,15$), paskui padanga pradeda slysti. Kadangi tyrimams naudotos padangos sukibimo koeficiento reikšmių kitimas nuo slydimo nebuvo nagrinėtas, remiantis prieš tai minėtu teiginiu, padanga slydo ledu 15–20 s intervale pagreitejant ir 33–37 s stabdant.

Siekiant nustatyti temperatūrų vertes, termografinis vaizdas, pateiktas 4 pav., buvo išskirtas į dvi zonas: padangos ir ledo. Buvo vertinama maksimali temperatūra pažymėtose zonose. Kadangi tiriamos padangos protektorius nėra vientisas, o naudotos termostatinės kameros raiška nėra didelė, nuspręsta nagrinėti atskiras dideles sritis. Maksimali temperatūra pasirinkta todėl, kad vidutinę temperatūrą būtų matuoti netikslinga dėl netolygaus temperatūrų pasiskirstymo. Taip pat įtakos gali turėti šalia tiriamų objektų esantys matavimo stendo mechanizmai, sklaidžiantys šilumą.

Temperatūra būgno viduje, eksperimentų metu vertinama kaip aplinkos, buvo -4 °C. Prieš matavimą padanga, kuri buvo laikoma toje pačioje vėdinamoje patalpoje kaip ir matavimų stendas, laisvai riedėjo būgnu 2 min, siekiant suvienodinti padangos protektorius paviršiaus su ledu temperatūrą. Tuo metu temperatūra nebuvo matuojama.



4 pav. Padangos ir ledo dangos termografinis vaizdas
Fig. 4. Thermographic view of the tire and ice surfaces



5 pav. Padangos ir ledo dangos temperatūrų kitimas eksperimento metu

Fig. 5. Variation of tire and ice temperature during the measurement

Pateiktame temperatūrų kitimo grafike (5 pav.) galime matyti, kad maksimalios padangos ir ledo temperatūros tiriamose zonose padidėjo atitinkamai 1,3 °C ir 0,5 °C. Taip pat matyti, kad maksimali padangos temperatūra yra susitelkusi protektoriaus grioveluose – vietose, kurios nekontaktuoja su ledo paviršiumi ir nėra jo aušinamos. Maksimali padangos temperatūra prieš matavimą spėjo pasiekti beveik 11 °C. Padangos paviršiaus temperatūra yra artima ledo paviršiaus temperatūrai laisvojo riedėjimo metu, tačiau protektoriaus grioveluose ji būna didesnė dėl padangos deformacijų ir suslegiamo oro sąlyčio plote. Taip pat įtakos turi energijos nuostoliai, atsirandantys dėl padangos priešinimosi riedėjimui, būgno sukimosi metu sukeliama oro sūkurių ir būgno vidaus (aplinkos) temperatūra.

Ledo paviršiaus maksimalios temperatūros padidėjimą daugiausia lemia išsiskirianti trinties šiluma padangos su ledu sąlyčio vietoje, kuri perduodama ledo ir padangos paviršiams. Šiuo atveju didžiausias šilumos kiekis išskiriamas padangai slystant.

Išvados

Atliktas eksperimentinis tyrimas parodė termografijos, kaip efektyvaus bekontakčio temperatūros matavimų būdo, taikymo galimybes atliekant padangos su ledu sąveikos tyrimus. Naudojant termografiją laboratoriniams padangos tyrimams labai svarbu tinkamai parinkti matuojamų objektų atspindžio ir pralaidumo (jeigu termostatinė kamera tvirtinama specialiose apsauginėse priemonėse) koeficientus, kurie turi didelę įtaką matavimų tikslumui.

Atlikti termografiniai tyrimai parodė, jog maksimali padangos temperatūra yra protektorių grioveluose, t. y. ledo dangos neušinamuose paviršiuose. Akivaizdu, kad didžiausias šilumos kiekis išskiriamas padangai slystant, todėl buvo nustatyta, kad padidėjo padangos ir ledo paviršių temperatūros.

Gauti duomenys gali būti panaudoti padangos su ledu termodinaminiam sąveikos modeliui sukurti, kuris leistų, neatlikus brangaus ir ilgai trunkančio eksperimento, gauti patikimus padangos arba ledo temperatūrų rezultatus.

Literatūra

- ASTM D2240. *Standard test method for rubber property – durometer hardness*. USA standard, 2015.
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jterra.2014.03.007>
- Bhoopalam, K. A.; Sandu, C.; Taheri, S. 2015. Experimental investigation of pneumatic tire performance on ice: Part 1 – indoor study, *Journal of Terramechanics* 60: 43–54. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jterra.2015.02.006>

- FLIR. 2011. *Thermal imaging guidebook for industrial applications*. An informative guide for the use of thermal imaging cameras in industrial applications. 48 p.
- Giessler, M. 2012. *Mechanismen der kraft-übertragung des reifens auf schnee und eis*: Doctor's thesis. Karlsruhe Institute of Technology.
- Giessler, M.; Gauterin, F.; Wiese, K.; Wies, B. 2010a. Influence of friction heat on tire traction on ice and snow, *Tire Science and Technology* 38(1): 4–23. <http://dx.doi.org/10.2346/1.3298679>
- Giessler, M.; Gauterin, F.; Wiese, K.; Wies, B. 2010b. Thermographische laboruntersuchungen der kraftübertragung von reifen auf winterlichen fahrbahnen, in *Proceedings of 19th Aachener Kolloquium 'Fahrzeug-und Motortechnik'*, 4–6 October 2010, Aachen, Germany.
- Linke, T.; Wangenheim, M.; Lind, H.; Ripka, S. 2014. Experimental friction and temperature investigation on aircraft tires, *Tire Science and Technology* 42(3): 116–144. <http://dx.doi.org/10.2346/tire.14.420301>
- Optris. 2014. *Infrared thermometers operator's manual*. Optris GmbH. 97 p.
- Peng, D. X.; Xie, B. Y.; Guo, H. K. 1999. A tire traction modeling for use in ice mobile, *SAE Technical paper*: 1–8. <http://dx.doi.org/10.4271/1999-01-0478>
- Rantonen, M.; Tuononen, J. A.; Sainio, P. 2012. Measuring stud rubber friction on ice under laboratory conditions, *International Journal of Vehicle Modelling and Testing* 7(2): 194–207. <http://dx.doi.org/10.1504/IJVSMT.2012.048447>
- 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. <http://dx.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. <http://dx.doi.org/10.3846/16484142.2016.1190787>
- Skouvaklis, 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2011.12.015>

THERMOGRAPHIC RESEARCHES OF TIRE INTERACTION WITH ICE

A. Ružinskas

Abstract

A road covered with ice is one of the most dangerous driving conditions and, in this case, tire plays an important role for traffic safety. The most of nowadays tires have good grip features on ice, but sometimes it's not enough, especially when talking about the icy road condition. Many factors have significant influence on decrease of tire's grip – one of them is temperature. The possibilities of using thermography in researches of tire and ice interaction were investigated in this paper. Measurements of tire and ice surfaces temperature were performed at Karlsruhe Institute of Technology with inner drum test bench using an infrared thermal camera. Longitudinal tire traction (braking and accelerating) were investigated and acting forces were measured too. Also optimal settings of thermal camera were determined and measurement results and discussion were presented.

Keywords: tire, ice, thermography, tire temperature, slip.