

VILNIAUS UNIVERSITETAS  
GAMTOS TYRIMŲ CENTRAS  
KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS

Lauryna  
ŠIDLAUSKAITĖ

# Dabarties ir ateities žiemos kelių orų sąlygų prognozavimas Lietuvoje

**DAKTARO DISERTACIJA**

Gamtos mokslai,  
Fizinė geografija N 006

---

VILNIUS 2020

Disertacija rengta 2014 – 2019 m. Vilniaus universitete.

**Mokslinis vadovas:**

**doc. dr. Justas Kažys** (Vilniaus universitetas, gamtos mokslai, fizinė geografija, N 006).

Disertaciją galima peržiūrėti Vilniaus universiteto, Gamtos tyrimų centro, Klaipėdos universiteto bibliotekose ir VU interneto svetainėje adresu:

<https://www.vu.lt/naujienos/ivykiu-kalendorius>.

## TURINYS

ĮVADAS.....	5
SANTRUMPOS .....	13
1. LITERATŪROS APŽVALGA .....	15
1.1. Automobilių kelių meteorologija ir klimato kaita pasaulyje.....	15
1.2. Automobilių kelių meteorologija ir tyrimai Lietuvoje .....	17
1.3. Kelio dangos meteorologiniai parametrai ir jų prognozavimas .....	22
1.4. Prognozavimo metodai ir jų taikymas pasaulyje.....	25
1.5. Terminis kartografavimas .....	30
2. DUOMENYS IR METODIKA .....	37
2.1. Klimato kaitos sąlygų Lietuvos keliuose vertinimo duomenys ir metodika.....	37
2.2. METRo – kelio dangos paviršiaus temperatūros ir būklės modelis.....	43
2.3. Terminio kartografavimo metodika.....	50
3. KLIMATO KAITOS SĄLYGOS LIETUVOS KELIUOSE XXI A.....	63
3.1. Dienos, kai temperatūra svyruoja apie 0 °C.....	63
3.2. Dienos, kai sninga .....	66
3.3. Dienos, kai vyrauja nepalankios vairavimui sąlygos .....	69
3.4. Meteorologinių sąlygų Lietuvos keliuose prognozė XXI a.....	71
4. KELIŲ PRIEŽIŪROS SPRENDIMŲ PRIĖMIMO PARAMOS SISTEMOS KONCEPCIJA .....	74
5. METRO TINKAMUMO LIETUVOS SĄLYGOMS TYRIMAS .....	82
5.1. Kelio dangos paviršiaus ir kelio pylimo temperatūros analizė.....	82
5.2. Kelio dangos būklės analizė .....	86
6. TERMINIO KELIO RUOŽŲ KARTOGRAFAVIMO REZULTATAI.....	89
6.1. I maršrutas: Vilnius–Ukmergė .....	89
6.2. II maršrutas: Saločiai–Mauručiai .....	92

6.3. III maršrutas: Mauručiai–Kalvarija .....	95
6.4. Terminio kartografavimo rezultatų Lietuvoje apibendrinimas ir palyginimas su Čekijos terminio kartografavimo duomenimis.....	96
7. REKOMENDACIJOS KELIŲ PRIEŽIŪROS SPPS BEI ATSKIRŲ JOS DALIŲ INTEGRACIJAI IR KŪRIMUI .....	104
8. IŠVADOS.....	106
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	109
PRIEDAI .....	136
SANTRAUKA .....	168
PUBLIKACIJŲ SĄRAŠAS .....	170
UŽRAŠAMS .....	171

## IVADAS

Šiuo metu vykstantys klimato pokyčiai neabejotinai nulemti žmogaus veiklos padarinių (IPCC, 2014), iš kurių viena svarbiausių – transporto sistemos įtaka. Dauguma tyrimų ir analizuojamų temų šiame kontekste susiję su klimato kaitos švelninimu (angl. „*mitigation to climate change*“): automobilių išmetamų šiltnamio efektą stiprinančių dujų kiekio ir „anglies pėdsako“ (angl. „*carbon footprint*“) mažinimas, atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimas transporto sistemoje, viešojo transporto naudojimo skatinimas ir kt. Kita svarbi dalis klimato kaitos temoje – prisitaikymas prie klimato kaitos (angl. „*adaptation to climate change*“) – praktiškai nepaliesta. Dėl šios priežasties šiame darbe klimato kaita analizuojama kelių priežiūros ir eismo saugumo aspektu, siekiant konkretizuoti jos įtaką bei nustatyti vyrausiančias tendencijas iki XXI a. pabaigos Lietuvoje.

Keičiantis klimatui, tampa vis svarbiau ne tik stebėti ir vertinti kelių orų sąlygas, bet ir tikslingai jas prognozuoti. Trumpalaikės (24–76 val. į priekį) prognozės leidžia imtis tiesioginių veiksmų, o ilgalaikės ar klimato – kurti kryptingą strategiją, taip gerinant ar užtikrinant gerą kelių būklę bei saugias eismo sąlygas. Žiemos kelių orų klimato prognozės Lietuvoje iki šiol nebuvo sudarytos, o trumpalaikės pirmą kartą pradėtos taikyti kasdieniame žiemą kelius prižiūrinčių darbuotojų darbe tik 2018 m. (Stažytė, 2018).

Pasaulinė patirtis parodė (Ye ir kt., 2009; Vaisala, 2010; Kociánová, 2015; Pilli-Sihvola ir kt., 2015; Nefzi ir kt., 2016; NCAR UCAR, 2020), kad kelių priežiūros sprendimų priėmimo paramos sistemos (SPPS) yra geriausias įrankis trumpalaikiame ir ilgalaikiame kelių priežiūros darbų planavime. Kiekviena organizacija ar šalis dažniausiai yra susikūrusios savo unikalias SPPS, tačiau visas jas vienija viena dalis – kelio dangos parametrų prognozė. Taigi, šiame darbe pasiūloma SPPS koncepcija, kuri leistų labiau prisitaikyti prie gresiančio neigiamo klimato kaitos poveikio. Be to, įvertinama pasiūlyta kelio būklės prognozavimo modulio koncepcija, kuri užtikrintų tikslingą technologijų pažangą žiemos priežiūroje žiemą Lietuvoje bei padėtų formuojant Lietuvos kelių priežiūros SPPS.

SPPS kūrimas – daug laiko ir resursų reikalaujantis procesas. 2012 m. ketvirtajame ketvirtyje buvo užbaigtas projektas, padėjęs startuoti Lietuvos eismo informacijos sistemai (EIS). Ši sistema skirta rinkti, kaupti, analizuoti, tvarkyti kelių orų ir eismo sąlygų, eismo apribojimų, eismo sutrikimų ir kitus su eismu susijusius duomenis valstybinės reikšmės keliuose, taip pat skleisti eismo informaciją Lietuvos valstybinės reikšmės kelių naudotojams (Lietuvos automobilių kelių... 2012). EIS tikslai – informuoti kelių

naudotojus ir kelius prižiūrinčių įmonių darbuotojus apie eismo sąlygas, eismo sutrikimus, taikomas eismo valdymo priemones keliuose ir taip gerinti eismą keliuose bei šių kelių priežiūrą (Lietuvos automobilių kelių... 2012). Nuo tada didesnių pokyčių EIS neįvyko. Nepaisant to, kelių meteorologijos plėtra Lietuvoje nebuvo sustojusi – buvo vykdomi tyrimai ir studijos (Ratkevičius ir kt., 2014; Laurinavičius ir kt., 2015; Šidlauskaitė ir kt., 2017), atnaujintas kelių priežiūros žiemą vadovas (Lietuvos automobilių kelių... 2015). Šie surinkti duomenys ir žinios gali būti pritaikyti toliau plėtojant EIS ir kuriant SPPS.

Sėkmingai veikiančios SPPS nauda – visokeriopa. Lietuvos statistikos departamento duomenimis (Lietuvos statistikos departamentas, 2019-06-01), Lietuvoje kelių transportu 2018 m. buvo pervežta 97,7 proc. (apie 372 mln.) keleivių bei 53,9 proc. (apie 89 mln. tonų) krovinių. Transporto sistemą sudaro 3 pagrindinės dalys (Boyce, 2019): transporto priemonės (pvz., automobiliai), transporto infrastruktūra (keliai) ir valdymas (kelių eismo taisyklės arba kelių priežiūros žiemą darbų vadovas). Nesant nors vienos šios sistemos sudedamosios dalies, transporto sistema yra neveiksni. Taigi, bet koks šios sistemos ar jos dalies veiklos sutrikimas ar sustabdymas gali turėti didelį poveikį šalies ekonomikai, o prasta kelio dangos būklė gali sukelti pavojų žmonių gyvybėms.

Eismo sąlygos ir saugumas kelyje priklauso nuo daugelio skirtingų veiksnių, iš kurių didelę dalį sudaro meteorologiniai faktoriai. Vasarą automobilių kelių orų sąlygas ypač apsunkina stiprios liūtys, audros, rūkai ir kiti ekstremalūs reiškiniai, tačiau didžiausi išbandymai kelius prižiūrintiems specialistams būna žiemą, kai yra ypač didelė tikimybė susiformuoti plikledžiui, iškristi lijudrai ir sniegui. Šių reiškinų metu kelias tampa ypač slidus ir pavojingas (Norrman ir kt., 2000). Vienas iš tokių reiškinų (dar vadinama „juodoji diena“), kai staigių orų sąlygų pokyčių neįmanoma išvengti, tačiau juos numatyti ir tam pasiruošti galima, įvyko 2005 m. kovo 17 d. Helsinkyje, Suomijoje (Juga ir kt., 2012). Vykstant itin stipriam snygiui, dėl per didelio vairuotojų pasirinkto transporto priemonės greičio, per mažo matomumo bei prasto sukibimo, susidūrė daugiau nei 300 automobilių, žuvo 3 ir buvo sužeisti daugiau nei 60 žmonių. Atliktas tyrimas parodė (Juga ir kt., 2012), kad nors gyventojai ir buvo perspėti iš vakaro apie būsimas sudėtingas vairavimo sąlygas, jie nepasirinko saugaus greičio bei atstumo. Taip pat tyrime akcentuojama tikslios meteorologinės informacijos (radaro duomenų bei meteorologinės prognozės) svarba.

Tokie pavyzdžiai nulėmė, kad pasaulyje meteorologinių reiškinų įtaka kelio dangai yra daug kartų tirta ir vertinta, tačiau klimato kaitos padariniai

eismo sistemai susilaukė mažiau dėmesio. Vertinant ryšį tarp klimato kaitos ir transporto, dažniausiai akcentuojama transporto priemonių išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija (Chapman, 2007). Tačiau kaip pasikeis pats transportas, kelių priežiūra ir eismo saugumas – pradėta analizuoti palyginti neseniai (Koetse ir Rietveld, 2009; Gelete ir Gokcekus, 2018). Nors visos galimybės ir grėsmės transporto sistemai dėl klimato kaitos dar nėra išskirtos ir ne visi ryšiai įvertinti, neabejojama, kad pokyčiai bus ir jie bus ryškūs visame pasaulyje (Rowland ir kt., 2007; Andersson ir Chapman, 2011; Chapman ir Hooper, 2012; Hambly ir kt., 2013).

Vykstant klimato kaitai atsiranda dar daugiau naujų iššūkių – prognozuojama, kad padidės orų ekstremalumas, pakils vidutinė oro temperatūra, išaugs kritulių kiekis (IPCC, 2014; Keršytė ir kt., 2015). Tačiau šios prognozės yra apibendrintos ir neleidžia konkrečiai įvertinti klimato kaitos įtakos transportui ir kelių būklei. Toks vertinimas yra būtinas, norint laiku imtis veiksmų, leidžiančių efektyviau prisitaikyti prie klimato kaitos. Užtikrinus kuo mažesnę klimato kaitos poveikį transporto sistemai ar bent jos daliai, galima žymiai sumažinti dėl to atsiradusius ekonominius kaštus (Gelete ir Gokcekus, 2018) bei užtikrinti saugų eismą (Chapman ir Hooper, 2012).

Lietuva – ne išimtis šiems pokyčiams. Ji yra vidutinių platumų klimato juostoje bei ribojasi su Baltijos jūra, todėl vakarinėje šalies dalyje yra jūrinis klimatas, o tolstant nuo jūros tolyn į rytus-pietryčius – pereinamasis į kontinentinį (Galvonaite ir kt., 2013). Tokios klimato sąlygos lemia ypač sudėtingą žiemos sezoną automobilių kelių priežiūros aspektu – čia vyrauja vakarų vėjų pernaša, taigi temperatūra itin dažnai svyruoja apie 0 °C, skystus kritulius dažnai pakeičia lijuondra, šlapdriba ar sniegas. Nėgana to, kai kuriomis žiemomis susidarius vakarų pernašą blokuojančiam anticiklonui virš Skandinavijos arba kitiems sinoptinio masto dariniams, į Lietuvą gali atslinkti ypač šalta oro masė iš šiaurės-šiaurės rytų ir visiškai pakeisti vyraujančius orus.

Lietuvoje renkami kelių orų sąlygų duomenys ir generuojami automatiniai perspėjimai, jei automatinės kelių orų sąlygų stotys fiksuoja pavojingas sąlygas, tačiau nėra sudaroma kelio dangos būklės prognozė (LAKD, 2019-03-11a). Neturint prognozių, nėra galimybės sudaryti rekomendacijų operatyviniams darbams atlikti, taigi SPPS nėra visiškai suformuota. Dėl šios priežasties kelius prižiūrintys specialistai negali pritaikyti pačių efektyviausių kelio dangos priežiūros metodų (pvz., prevencinių barstymų) ir vis dar labiausiai pasikliauja darbuotojų ilgamete patirtimi. Taigi, pilnavertės SPPS sukūrimas Lietuvoje būtinas ne tik

ekonomiškai optimizuojant kelių priežiūrą žiemą, bet ir užtikrinant gerą kelio būklę kasdien artimiausioje ir tolimesnėje ateityje.

### **Darbo objektas**

Dabarties ir ateities orų sąlygos Lietuvos keliuose.

### **Darbo tikslai**

1. Įvertinti dabartines žiemos kelių orų sąlygas ir ateities pokyčius XXI a.
2. Įvertinti kelių priežiūros žiemą sprendimų priėmimo paramos sistemos koncepcijos kelio būklės prognozavimo modulio svarbą ir tikslumą.

### **Darbo uždaviniai**

1. Sukurti Lietuvos žiemos kelių orų sąlygas nusakančius rodiklius bei nustatyti jų erdvinę sklaidą ir kaitą.
2. Sudaryti Lietuvos žiemos kelių orų sąlygas nusakančių rodiklių prognozes ir įvertinti jų kaitą XXI a.
3. Sukurti kelių priežiūros žiemą sprendimų priėmimo paramos sistemos koncepciją.
4. Įvertinti METRo kelio dangos temperatūros ir būklės modelio pritaikomumą Lietuvos sąlygoms.
5. Įvertinti terminio kartografavimo rezultatų pritaikymą kelio dangos būklės prognozavimui ir Lietuvos keliams.
6. Pateikti rekomendacijas kelių priežiūros SPPS bei atskirų jos dalių integracijai ir kūrimui.

### **Ginami teiginiai**

1. Kelių orų sąlygos žiemą taps paprastesnėmis, tačiau išliks pavojus dėl ekstremalių ar neplanuotų įvykių.
2. Pilnavertė kelių priežiūros sprendimo priėmimo paramos sistema užtikrina kelius prižiūrinčių specialistų operatyvų informavimą apie besikeičiančias orų sąlygas.
3. Skaitmeninis kelio mikroklimato modeliavimas yra tinkamas metodas sudaryti kelio parametrų prognozei Lietuvoje.
4. Užtikrinti kokybiškus ir patikimus terminio kartografavimo rezultatus sudėtingiau esant lygumoms ir vyraujant pastoviai oro masių advekcijai.



## **Darbo naujumas**

Kelių meteorologija Lietuvoje pakankamai jauna mokslo šaka, atsiradusi tik pradėjus kurti kelių orų sąlygų stočių tinklą (1999–2000 m.), taigi darbų šioje srityje yra palyginti nedaug. Be to, ši meteorologijos sritis yra ypač greitai kintanti, todėl anksčiau taikyti metodai greitai pasensta ar pakeičiami naujais.

Transportas ir klimatas viename kontekste Lietuvoje buvo beveik neanalizuotas, be to, daugiau dėmesio buvo sutelkta į teršalų poveikį aplinkai ir klimatui, o ne klimato poveikį transporto sistemai ar jos dalims. Todėl šiame darbe pirmą kartą Lietuvoje vertinama klimato kaitos įtaka transporto sistemai, sudaromos specifinės, šiai sričiai pritaikytos prognozės.

Šis darbas apjungia per pastaruosius beveik 20 metų Lietuvoje įgytas kelio dangos parametrų matavimo ir prognozavimo žinias bei pateikia rekomendacijas jų pritaikymui praktikoje. Atlikta terminio kartografavimo rezultatų analizė, kelio būklės prognozavimo modelio METRo verifikacija ir pateiktos rekomendacijos, kaip šie du metodai gali būti apjungti kuriant kelių priežiūros žiemą sprendimo priėmimo paramos sistemą Lietuvoje.

## **Darbo aktualumas**

2014 m. paskelbtoje Tarpvyriausybinės klimato kaitos komisijos ataskaitoje daug dėmesio skirta ne vien tik fizikiniams procesams bei klimato kaitos poveikio švelninimui, bet ir prisitaikymo galimybių paieškai (IPCC, 2014). Lietuva priklauso Europos Sąjungai, o bendras Europos sąjungos prisitaikymo prie klimato kaitos tikslas – padėti Europai tapti atsparesne klimato kaitos poveikiui. Keletas iš išsikeltų uždavinių – gilinti žinias, kuriomis grindžiami sprendimai bei vykdyti atsparumo klimato kaitai veiksmus (Europos komisija, 2013). Šis darbas leidžia įvertinti klimato kaitos poveikį transporto sektoriui, kas palengvina prisitaikymo strategijos pasirinkimą.

Vienas iš šios strategijos prioritetų – užtikrinti didesnę Europos infrastruktūros atsparumą. Pilnavertė kelių priežiūros sprendimų priėmimo paramos sistema, įtraukianti kelio dangos parametrų prognozavimą, suteiktą galimybę atlikti dinaminę kelių priežiūrą ir žymiai paspartintų bei palengvintų sprendimų priėmimą. Iki pat 2018 m. Lietuvoje nebuvo sudaromos kelio dangos parametrų prognozės (operatyviam darbui).

2018 m. vienintelė valstybinės reikšmės kelius Lietuvoje prižiūrinti įmonė AB „Kelių priežiūra“ bandomajam laikotarpiui įdiegė Kelio būklės informacinę sistemą. Šios sistemos pagrindinis tikslas – prognozuoti kelio dangos būklę žiemos sezonu. Tokia sistema taip pat gali būti šiuolaikiškos

kelių priežiūros sprendimo priėmimo paramos sistemos dalis, tačiau tik nuolatos ją palaikant ir tiriant galima užtikrinti teigiamus rezultatus.

Tokios prognozės ne tik suteikia kasdienes žinias apie orų pokyčius, bet ir didina galimybes prisitaikyti prie klimato kaitos poveikio: darbuotojai gali operatyviau reaguoti į susidarancius meteorologinius reiškinius, būti labiau pasiruošę ir lengviau adaptuotis prie besikeičiančio klimato. Todėl šis darbas siūlo kelių priežiūros sprendimo priėmimo paramos sistemos koncepciją, kurią be didelių resursų ir investicijų būtų galima taikyti Lietuvoje ir pasiekti šių rezultatų.

### **Darbo pritaikomumas**

Šiame darbe pateikiamos žinios ir rekomendacijos gali būti tiesiogiai pritaikytos automobilių kelių priežiūroje bei tiek kasdienių darbų optimizavime, tiek šios srities veiklos planų kūrime. Pvz., sukurta kelių priežiūros sprendimo priėmimo paramos sistemos koncepcija gali būti pritaikyta Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos darbe kaip jau veikiančių sistemų plėtros galimybės.

Be to, šiame darbe atlikti tyrimai ir gauti rezultatai parodė kelio dangos parametrų prognozavimo svarbą kasdienėje kelių priežiūroje žiemą bei padėjo šiuo metu valstybinės reikšmės kelius prižiūrinčios įmonėje AB „Kelių priežiūra“ priimti sprendimus ilgalaikės strategijos kūrimo metu: bus siekiama ekonomiškai optimizuoti atliekamus darbus žiemą, kiek įmanoma sumažinti „žmogiškojo faktoriaus“ įtaką sprendimų priėmime, tokiu būdu užtikrinant gerą kelių būklę žiemą.

Šio darbo rezultatai ir naudota metodika gali būti naudinga ne tik automobilių kelių priežiūroje, tačiau ir kitose transporto sistemos dalyse, pvz., geležinkelių transporte. Sudarytos klimato kaitos prognozės gali būti nesudėtingai adaptuotos kitoms sritims, pvz., dienų su sniegu skaičiaus per metus prognozė (iki 2100 m.) suteikia aktualios informacijos ne tik ateities kelių priežiūrai ir eismo saugumo įvertinimui, tačiau ir galimą žemdirbystės veiklų planavimui.

Klimato kaitos poveikio eismo sąlygoms analizė gali būti naudinga kuriant prisitaikymo prie klimato kaitos strategiją ir veikslų planą. Sudarant klimato kaitos strategiją nebuvo iškelta jokių transporto sektoriaus prisitaikymo prie klimato kaitos tikslų, susietų su efektyvesne kelių priežiūra ar eismo saugumo užtikrinimu (Lietuvos Respublikos Vyriausybė, 2016).

Gauti darbo rezultatai ir pasiūlyta metodika gali būti naudojami kituose tolimesniuose šios srities darbuose – įvertinant ateities eismo saugumą vasaros sezonu, tęsiant kelio būklės prognozavimo metodų analizę ir kt.

## **Darbo struktūra**

Šis darbas yra sudarytas iš šių pagrindinių dalių:

1. Klimato kaitos sąlygų Lietuvos keliuose XXI a. vertinimas. Šioje dalyje analizuojama klimato kaitos įtaka keliams ir jų mikroklimatui. Įvertintos dabartinės sąlygos ir sudaryta prognozė, parodanti laukiančius pokyčius ir pabrėžianti kelių priežiūros SPPS kūrimo svarbą.
2. Kelių priežiūros SPPS koncepcija. Pasiūlyta tokia sistemos versija, kurioje būtų galima panaudoti jau atliktus tyrimus ir turimus duomenis (terminiu kartografavimu ir skaitmeniniu kelio būklės prognozavimo modeliu), taip sumažinant reikiamų investicijų mastą ir palengvinant kūrimo procesą.
3. Skaitmeninio kelio būklės prognozavimo modelio tinkamumo Lietuvos sąlygoms tyrimas, kuriame atlikta modelio verifikacija ir įvertinama jo pritaikymo Lietuvoje galimybės.
4. Terminio kartografavimo rezultatų ir duomenų kokybės užtikrinimo problema. Pastaroji aktuali terminio kartografavimo Lietuvoje rezultatais bei palyginimu su terminio kartografavimo kitoje šalyje rezultatais.
5. Taip pat šiame darbe pateikiamos rekomendacijos kelių priežiūros SPPS bei atskirų jos dalių integracijai ir kūrimui, kurios buvo parengtos atsižvelgiant į atliktus tyrimus šioje srityje.

## **Rezultatų aprobavimas**

Disertacijos darbo rezultatai buvo pristatyti dviejose konferencijose:

1. „XVth International Winter Road Congress“ Gdanske, Lenkijoje, kuris vyko 2018-02-20/23.
2. „SIRWEC 2018“ (Standing International Road Weather Commission) konferencija Smolenicėje, Slovakijoje, kuri vyko 2018-05-30/06-01.

## **Publikacijos**

Darbo rezultatų pagrindu paskelbtos 2 publikacijos referuojamuose mokslo leidiniuose (ISI WoS):

1. Šidlauskaitė L., Kažys J. 2019. Changing temperate climate conditions for winter roads in the twenty-first century (Lithuanian example). *Journal of Theoretical and Applied Climatology*. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02938-1>
2. Šidlauskaitė L., Bogren J. 2019. Thermal mapping in flat lowlands and undulating uplands – a comparison of results. *The Baltic Journal*

*of Road and Bridge Engineering*. 14(3): 326-340. <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2019-14.446>

Taip pat publikuotos 3 konferencijų tezės:

1. Šidlauskaitė L., Kažys J. 2018. Future climate conditions for winter roads in Lithuania. *XVth International winter road congress*, 20–23 February 2018, Gdańsk, Poland.
2. Šidlauskaitė L., Bogren J. 2018. „Thermal mapping in flat lowlands and undulating uplands – a comparison of results“. *SIRWEC2018: 19th international road weather conference*, 29.5.–1.6.2018, Smolenice, Slovakia. Smolenice : SIRWEC, 2018. p. 49–51.
3. Kažys J., Šidlauskaitė L. 2018. „Future climate conditions for summer roads in Lithuania“. *SIRWEC2018: 19th international road weather conference*, 29.5.–1.6.2018, Smolenice, Slovakia. Smolenice: SIRWEC, 2018. p. 73–75.

## SANTRUMPOS

CMIP5 – Jungtinio Modelių Tarpusavio Palyginimo Projekto 5 Fazė (angl. „*Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*“). CMIP – 20 klimato modelių kūrybinių grupių iš viso pasaulio bendradarbiavimo projektas. 5 fazė vyko 2010–2014 m. ir jos metu. Jos pagrindinis tikslas buvo atsakyti į iškilusius mokslinius klausimus IPCC AR4 ataskaitos kūrimo metu, geriau suprasti klimatą bei sukurti ateities klimato projekcijas, kurios šiuo metu naudojamos geriau suprasti klimato kaitą.

EIC – Eismo informacijos centras, įkurtas LAKD.

EIS – Eismo informacinė sistema, sukurta LAKD.

GCM – globalios cirkuliacijos modelis (-iai).

GEM – globalus skaitmeninių orų prognozių modelis (angl. „*Global Environmental Multiscale Model*“). Sukurtas ir naudojamas Kanados meteorologijos centre (angl. „*CMC – Canadian meteorological centre*“).

GFS – globalus ansamblinis skaitmeninių orų prognozių modelis (angl. „*Global (Ensemble) Forecast System*“). Sukurtas ir naudojamas Nacionalinėje orų tarnyboje, JAV (angl. „*NWS – National Weather Service*“).

GIS – geografinė informacinė sistema (angl. „*geographic information system*“).

HARMONIE-AROME – lokalus skaitmeninių orų prognozių modelis, sukurtas adaptavus ALADIN konsorciumo AROME modelį (sujungus jį su HIRLAM). Jis daugiau skirtas mezomasto reiškiniams prognozuoti.

HIRLAM – lokalus skaitmeninių orų prognozių modelis (angl. „*High Resolution Limited Area Model*“). Sukurtas tarptautinės HIRLAM programos, kuriai priklauso meteorologinės organizacijos iš įvairių Europos šalių – Danijos, Estijos, Suomijos, Islandijos, Lietuvos, Airijos, Norvegijos, Nyderlandų, Ispanijos, Švedijos ir Prancūzijos. HIRLAM modelis daugiau skirtas sinoptinio masto reiškiniams prognozuoti.

IPCC – Tarptautinė klimato kaitos komisija (angl. „*Intergovernmental Panel on Climate Change*“).

ITS – intelektinė transporto sistema (angl. „*Intelligent transport system*“).

KBIS – Kelio būklės informacinė sistema (angl. „*RSI – Road status information*“), sukurta švedų mokslininkų įmonės „Klimator“ ir įdiegta AB „Kelių priežiūra“.

KOS – kelių orų sąlygos.

KOSIS – Kelio orų sąlygų informacinė sistema (angl. „*RWIS – Road Weather Information System*“).

KPVC – Kelių priežiūros valdymo centras, įkurtas AB „Kelių priežiūra“.

LAKD – Lietuvos automobilių kelių direkcija (prie Susisiekimo ministerijos).

LHMT – Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba (prie Aplinkos ministerijos).

LTM – ledą tirpinančios medžiagos, naudojamos kelių priežiūrai žiemą. Dažniausiai – natrio chloridas (NaCl), tačiau gali būti ir kitos (CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub> ir pan.) medžiagos.

MAE – vidutinė absoliuti paklaida (angl. „*Mean Absolute Error*“).

METRo – Kelių aplinkos ir temperatūros modelis (angl. „*Model of the Environment and Temperature of ROads*“), sukurtas Kanados mokslininkų 1999 m.

MS – meteorologijos stotis.

NCEP – nacionaliniai aplinkos prognozavimo centrai (angl. „*National Centers for Environmental Prediction*“).

RCP – klimato kaitos scenarijai (angl. „*Representative Concentration Pathway*“).

SOPM – skaitmeninis orų prognozės modelis (angl. „*numerical weather prediction model*“).

SPPS – (kelių priežiūros) sprendimų priėmimo paramos sistema (angl. „*MDSS – maintenance decision support system*“).

TG – terminis grafikas (angl. „*Thermal Fingerprints*“) arba būdingų terminių bruožų grafikas. Anksčiau literatūroje vadintas „Šiluminiu grafiku“.

TK – terminis kartografavimas (angl. „*Thermal Mapping*“). Anksčiau literatūroje vadintas „Šiluminiu kartografavimu“.

VU HKK – Vilniaus universiteto Hidrologijos ir klimatologijos katedra.

## 1. LITERATŪROS APŽVALGA

Šiame skyriuje pateikta literatūros šaltinių šio darbo tema apžvalga, kuri suskirstyta į 5 pagrindines dalis:

- „Automobilių kelių meteorologija ir klimato kaita pasaulyje“, kurioje aptariama kelių meteorologijos mokslo šakos pradžia bei su klimato kaita susijusių atliekamų tyrimų temos.
- „Automobilių kelių meteorologija ir tyrimai Lietuvoje“, kurioje apžvelgiami tyrimai ir kelių meteorologijos srities plėtra Lietuvoje.
- „Kelio dangos meteorologiniai parametrai ir jų prognozavimas“, kurioje apžvelgiamos aktualiausios sritys (svarbiausi parametrai) ir problemos, analizuojant kelio mikroklimatą bei sudarant prognozes.
- „Prognozavimo metodai ir jų taikymas pasaulyje“, kurioje apžvelgiami įvairūs skirtingi kelio būklės prognozavimo metodai bei jų taikymo įvairiose pasaulio dalyse rezultatai.
- „Terminis kartografavimas“, kurioje išsamiau apžvelgiamas vienas iš kelio būklės prognozavimui naudojamų duomenų analizės metodų, kadangi jis jau buvo pritaikytas Lietuvoje.

### 1.1. Automobilių kelių meteorologija ir klimato kaita pasaulyje

Automobilių kelių meteorologija atsirado dar XX a. 7–8 dešimtmečiuose (Thornes, 1984; Thornes, 1985), kada tiesiant naujus kelius buvo pradėta daugiau kreipti dėmesį į lokalaus mikroklimato sąlygas, siekiant išvengti nuolatos apledėjančių ir dėl to pavojingų ruožų. Atsiradus galimybei automatizuoti meteorologinių duomenų surinkimą, 8–9 dešimtmečiuose jau veikė pirmosios kelių orų sąlygų (toliau – KOS) stotys Europoje ir JAV. Tarptautinė intelektinių transporto sistemų (toliau – ITS, angl. „*Intelligent transport system*“) diegimo patirtis Europos Sąjungoje ir kitose pasaulio valstybėse per pastaruosius 20–30 metų rodo, kad naudojantis šiuolaikinėmis technologijomis galima žymiai palengvinti kelių priežiūrą bei sutaupyti tam skirtas lėšas. Dabar ši informacija yra neatsiejama nuo kasdienės transporto sistemos veiklos ir surinktos žinios leidžia įvertinti klimato kaitai jautriausias jos vietas (Palin ir kt., 2016).

JAV atliktas tyrimas parodė, kad jei nebus imtasi veiksmų, spėjama, kad iki 2050 metų klimato kaita padidins kelių priežiūros kaštus 2,8 milijardų dolerių (Chinowsky ir kt., 2013). Taigi, iki šiol automobilių kelių meteorologija buvo siejama daugiausia su oro sąlygų stebėjimu, matavimu ir

trumpalaikėmis orų prognozėmis, tačiau išaugus poreikiui transporto sistemą adaptuoti prie klimato kaitos grėsmių, taip pat atsirado poreikis žvelgti ir analizuoti plačiau. Pagrindinis mokslo ir technologijų pažangos atsakas į klimato kaitos grėsmę transporto sistemai yra dvejopas: neigiamo poveikio klimatui mažinimas (daugiausia šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų mažinimas) arba prisitaikymas prie klimato kaitos padarinių (daugiausia sistemos jautrumo klimato kaitai mažinimas). Dažniausiai už strategijų kūrimą atsakingos institucijos ir kiti valdžios organai turėtų pasirinkti vieną arba kitą kelią, tačiau realybėje abu metodai persipina (Tompkins ir Neil Adger, 2005; Berkhout ir kt., 2006; Moser, 2012).

Transporto sektoriaus pritaikymas prie klimato kaitos nėra pats lengviausias sprendimas. Tyrimas Jungtinėje Karalystėje parodė (Walker ir kt., 2014), kad imtis tokių priemonių yra gana sudėtingas ir brangus procesas, todėl atsiranda nemažai įvairių kliūčių ir kiekvienoje valdžios institucijoje priimami labai skirtingi sprendimai. Viena iš įvardintų kliūčių – konkrečių žinių apie tai, kaip klimato kaita paveiks transporto sistemą ir infrastruktūrą, trūkumas. Taigi, norint teisingai iš anksto pasirinkti prisitaikymo prie klimato kaitos priemones, ypač svarbu žinoti, ką atneš besikeičiantis klimatas ir orų sąlygos. Ši problema sprendžiama labai įvairiai ir priklauso nuo aktualios srities. Pvz., kuriami metodai ir modeliai, skirti sprendimų priėmimui ir strategijų kūrimui, kuriuose klimato kaita ir jos padariniai yra vienas iš kintamųjų (Alirezaei ir kt., 2017; Kim ir kt., 2017); bandoma įvardinti „jautriausias vietas“ bei prisitaikymo prie klimato kaitos būdus (Chinowsky ir kt., 2013; Neumann ir kt., 2015), apskaičiuoti ekonominius padarinius (Melvin ir kt., 2017); vertinamas galimas poveikis ir kuriamos rekomendacijos teritorijoms šalia jūrų ir vandenynų (pvz., Australijoje) (Frisk, 2017) ir kt.

Kiti tyrimai orientuoti į klimato kaitos poveikio ir grėsmės nustatymą. Orai ir klimatas daro daugialypį poveikį keliams ir transporto sistemai, todėl jį sudėtinga įvertinti. Besikeičiantis klimatas gali ne tik paveikti, bet ir visiškai sutrikdyti ekonominę paklausą ar pasiūlą (krovinių pervežimą), sustabdyti visą transporto srautą (Keay ir Simmonds, 2005; Datla ir Sharma, 2008; Lam ir kt., 2008), pakeisti priežiūros darbų specifiką (Chinowsky ir kt., 2013; Taylor ir Philp, 2015), sumažinti eismo saugumą (Khattak ir kt., 1998; Maze ir kt., 2006) ir t. t. Taigi, per paskutinius 20 metų išryškėjo ir ypač išaugo poreikis pritaikyti transporto sistemą prie klimato kaitos grėsmių (Doll ir kt., 2014; Picketts ir kt., 2016).

Prognozuojami klimato pokyčiai paveiks transporto sistemą kitaip nei kitus sektorius, taigi prisitaikymo prie klimato kaitos ir jos švelninimo



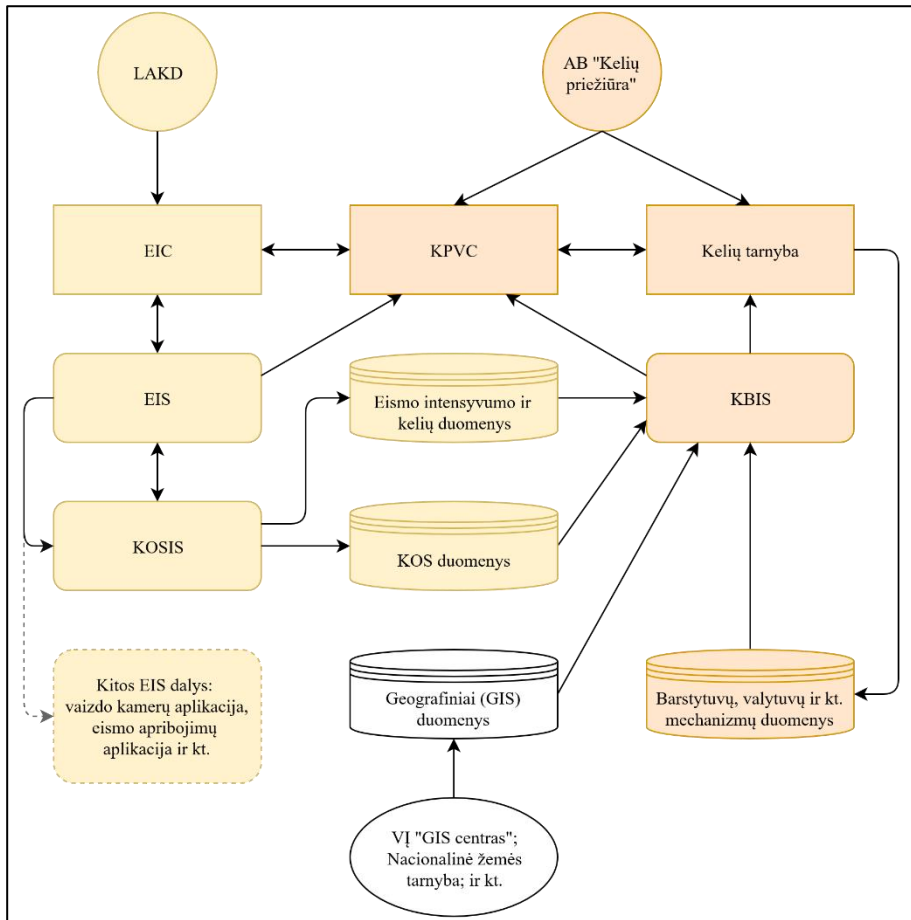
strategija reikalauja specifinio meteorologinių duomenų vertinimo (Matulla ir kt., 2018). Taip pat dėl esančio aukšto neapibrėžtumo lygio norint pasirinkti tinkamą prisitaikymo strategiją, tampa būtina atsižvelgti į gresiančią riziką ir pavojus (Bles ir kt., 2016). Tokia klimato kaitos analizė turi būti dar detalesnė ir konkretesnė, vertinant eismą ir transporto sistemą. Tokių tyrimų Lietuvos teritorijai dar nebuvo atlikta.

## 1.2. Automobilių kelių meteorologija ir tyrimai Lietuvoje

Tik pradėjus diegti pirmąjį Lietuvos KOS stočių tinklą (1999–2000 m.), atsirado galimybės pradėti tirti ryšį tarp automobilių kelių ir meteorologinių sąlygų, taigi darbų šioje srityje yra palyginti nedaug. Eismo informacinės sistemos (toliau – EIS) pradžia yra ITS pradžia Lietuvoje (Lietuvos automobilių kelių... 2012). Ji skirta ne tik KOS, tačiau ir kitoms svarbioms transporto sistemos dalims apibendrinti bei informacijai valdyti: eismo ribojimams, intensyvumui, vaizdo kameroms ir kt. Kelių orų sąlygų informacinė sistema (toliau – KOSIS) – EIS dalis, apimanti kelių orų sąlygas matuojančių automatinių meteorologijos stočių tinklą bei duomenų sistemą. KOS stotys plačiai taikomos ne tik Lietuvoje, bet ir visame pasaulyje (Tomás ir kt., 2016; Vavrik ir kt., 2016; Kwon ir Fu, 2017; Nazari ir kt., 2018). Tai rodo geri rezultatai didinant eismo saugumą keliuose, sprendžiant eismo intensyvumo problemas, didinant eismo dalyvių informuotumą ir gerinant kelių priežiūrą.

Tačiau vien KOS stočių neužtenka siekiant imtis prevencinių kelių priežiūros veiksmų. Anot kelių priežiūros specialistų, barstant ant kelio druską ar kitas ledą tirpinančias medžiagas (toliau – LTM) prieš susidarant reiškiniams, jų reikia 3–4 kartus mažiau, negu beriant jau susidarius ledą ar sniego sluoksniui ant kelio dangos (Louise ir kt., 2018). Tačiau LTM neturėtų būti beriamos ir per anksti, nes jas gali išnešioti transporto priemonės ar nuplauti krituliai (Blomqvist ir Johansson, 1999). Geriausia LTM berti likus 1–3 val. iki prognozuojamos ledo ar sniego dangos susiformavimo. Tai pasiekama siejant KOS duomenis su skaitmenine orų prognozių modelių (toliau – SOPM) informacija.

Lietuvoje KOSIS ir EIS sukurtos ir valdomos Lietuvos automobilių kelių direkcijos (toliau – LAKD) prie Susisiekimo ministerijos (1.1 pav.). KOSIS pradėta kurti dar 1999 m., o 2012 m. ketvirtajame ketvirtyje buvo užbaigtas



**1.1 pav.** Automobilių kelių priežiūros sistemos Lietuvoje ryšių ir duomenų schema nuo 2018 m.

projektas, padėjęs startuoti Eismo informacijos centrui (toliau – EIC) ir EIS, kuri skirta rinkti, kaupti, analizuoti, tvarkyti kelių orų ir eismo sąlygų, eismo apribojimų, eismo sutrikimų ir kitus su eismu valstybinės reikšmės keliuose susijusius duomenis ir skleisti eismo informaciją Lietuvos valstybinės reikšmės kelių naudotojams (Lietuvos automobilių kelių... 2012). EIS integruoja KOSIS ir kitus su keliais susijusius duomenis, juos apdoroja ir šią informaciją pateikia kelių priežiūros tarnyboms bei eismo dalyviams. Vienintelė trūkstama grandis EIS sistemoje – kelio dangos paviršiaus temperatūros ir būklės (trumpiau – parametru) prognozavimo modulis. Užsienio šalyse, kuriose temperatūra gali kristi žemiau 0 °C ir susidaro eismui pavojingos orų sąlygos, yra sukurti kelio dangos parametru

prognozavimo moduliai, leidžiantys laiku įspėti eismo dalyvius bei profesionaliai parengti kelių priežiūros darbus.

Integruotą KOSIS šiuo metu sudaro šie pagrindiniai komponentai (Lietuvos automobilių kelių... 2012):

- KOS stotys pakelėse, kurios kaupia informaciją ir periodiškai ją perduoda į kelių priežiūros kontrolės centrą.
- Keičiamo turinio ir vizualios informacijos skydai bei kelio ženklai.
- Informacijos perdavimo priemonės.
- EIC – 24 val. per parą, 7 dienas per savaitę dirbantis centras, valdantis į EIS patenkančią informaciją.

Pagrindiniai KOSIS tikslai yra didinti eismo saugumą keliuose, mažinti gamtos taršą (dėl mažesnio druskų kiekio išbarstymo), mažinti išlaidas kelių priežiūrai ir didinti kelių priežiūros efektyvumą ir užtikrinti kelių priežiūros kokybę žiemos metu (Lietuvos automobilių kelių... 2012). Tačiau, kad ir koks tankus KOSIS stočių tinklas bebūtų, kasdieniniam vartotojui jų teikiami duomenys tėra tik momentinis informacijos paketas, kurį praktiškai panaudotų retas eismo dalyvis. KOS stotys bei jų gaunami duomenys yra tik įrankis toliau vykdomiems darbams bei užduotims, o ne pagrindinis jų rezultatas (Šidlauskaitė, 2013; Šidlauskaitė ir kt., 2017).

KOS stočių parodymai pakelėse teikia tik fragmentinį vaizdą apie orų sąlygas, todėl dabartinė EIS neturi galimybės įvertinti ir prognozuoti kelio dangos parametrus. Kita vertus, optimalus KOS stočių išdėstymas įmanomas tik gerai žinant mikroklimatinius kelio ypatumus. Ieškant tinkamų vietų KOS stotims būtina rasti tokius kelio taškus, kuriuose pirmiausia pasireiškia nepalankios meteorologinės eismo sąlygos. Kelių terminis kartografavimas (toliau – TK) – vienas iš būdų nustatyti tokias vietas. Tai dar XX a. 9 dešimtmetyje sukurtas metodas, kurio metu, naudojant ant automobilio montuojamus infraraudonųjų spindulių termometrus bei GPS technologiją, atliekami kelio dangos temperatūros matavimai žiemos naktimis. Taip sudaromi terminiai grafikai (toliau – TG) – grafinė bei skaitmeninė informacija, apibūdinanti kelio paviršiaus temperatūros kitimą išilgai matuojamosios kelio atkarpos šaltojo metų laikotarpio naktimis. Lietuvoje TK buvo pritaikytas du kartus – 2000 m. (Bukantis, 2000) ir 2015 m. (Šidlauskaitė ir kt., 2017).

Nuo 2018 m. AB „Kelių priežiūra“, kuri šiuo metu yra vienintelė valstybinės reikšmės kelius prižiūrinti įmonė Lietuvoje, įkūrė Kelių priežiūros valdymo centrą (toliau – KPVC) ir įdiegė Kelio būklės informacinę sistemą (toliau – KBIS, angl. „RSI – Road status information“)

bandomajam laikotarpiui (Stažytė, 2018). KPVC dirba kartu su EIC (1.1 pav.), tačiau labiau skirtas organizuoti ir valdyti kelių priežiūrą vykdančius specialistus. KBIS – kompleksinė sistema, sukurta švedų įmonės „Klimator“, skirta apibendrinti meteorologinius, geografinius ir kt. duomenis bei naudojant SOPM rezultatus, prognozuoti kelio dangos temperatūrą ir būklę (Road status information, 2019). KBIS tikslas – sumažinti ekonominius kelių priežiūros kaštus, padidinti automobilių kelių priežiūros žiemą efektyvumą ir svarbiausia – išsaugoti žmonių gyvybes (Stažytė, 2018).

KBIS sukurta remiantis TK metodo taikymo rezultatais visame pasaulyje, kurie parodė kelio dangos temperatūros ir būklės kaitos dėsningumus, atsirandančius keičiantis mikroklimato, geografinėms ir kitoms aplinkos sąlygoms. Dabar tokią sistemą įdiegti nereikia atlikti brangių TK matavimų, o užtenka tik skaitmeninės informacijos – KOSIS ir SOPM duomenų bei aplinkos geografinių ir kelių duomenų, gautų naudojant geografinės informacinės sistemas (toliau – GIS) (Road status information, 2019). Todėl, naudojantis skaitmeniniais duomenų paketais, sistema nesunkiai buvo pritaikyta Lietuvos sąlygoms.

Sprendimų priėmimo paramos sistemos (toliau – SPPS) yra būtinas įrankis organizuojant kelių priežiūrą šiais laikais. Tokios sistemos įdiegtos visame pasaulyje, pvz., įvairiose JAV valstijose naudojama „MDSS“ (NCAR UCAR, 2020), kuri buvo adaptuota ir įmonėje „Vaisala“ (Vaisala, 2010). Įmonės „Foreca“ produktas (Foreca, 2020) naudojamas Naujojoje Zelandijoje, Švedijoje, Suomijoje (daugiau apie šias sistemas – 2.2 poskyryje). Lietuvoje vienalytė SPPS neegzistuoja, tačiau atskiros jos dalys, pvz., KOSIS, EIS ir kt., jau sukurtos ir sėkmingai veikia. Jos ne tik leidžia efektyviai planuoti ir vykdyti kelių priežiūros darbus, tačiau leidžia lengviau pritaikyti kelių ir transporto sistemas prie klimato kaitos grėsmių.

Duomenų surinkimas ir techninės sritys plėtra – nėra viskas, kas atlikta kelių meteorologijos srityje Lietuvoje. Nors kelių meteorologijos pradžia Lietuvoje yra daug vėlesnė nei pasaulyje, ši sritis per beveik 20 metų buvo gana intensyviai vystoma. Didžiausias indėlis tenka Vilniaus universiteto Hidrologijos ir klimatologijos katedros (toliau – VU HKK) mokslininkams, kurie jau nuo pirmųjų KOSIS plėtros etapų Lietuvoje aktyviai dalyvavo įvairiuose moksliniuose tyrimuose bei svariai prisidėjo prie sistemos tobulinimo ir plėtros. Pirmieji tyrimai (1999–2001) buvo skirti kelio terminių grafikų (ankščiau vadintų „šiluminiais grafikais“) ir minimalios kelio dangos temperatūros tyrimams (Bukantis, 2000, 2001). Plečiant KOSIS stočių įrangą, įvertintas nuotolinių kelio dangos būklės ir temperatūros (Kažys, 2007a, b) bei slidumo (Bukantis, 2012) matavimo prietaisų

tinkamumas Lietuvos sąlygoms. Remiantis tyrimų rezultatais, parengtos ataskaitos LAKD, surengti kursai-mokymai regioninių kelių priežiūros padalinių darbuotojams, paskelbti 5 moksliniai straipsniai (Bukantis ir kt., 2000; Kažys ir kt., 2004; Kažys, 2005b; Šidlauskaitė ir Kažys, 2012), dalyvauta įvairiose mokslinėse konferencijose Lietuvoje ir užsienyje (Kažys, 2004, 2005a, 2006b; Kažys ir kt., 2006; Kažys ir Kytra, 2008; Kažys ir kt., 2018; Šidlauskaitė ir Bogren, 2018).

VU HKK susiformavo lietuviška kelių meteorologijos mokykla: parengta pirmoji daktaro disertacija kelių meteorologijos tema Lietuvoje (Kažys, 2006a), taip pat apginti 12 bakalauro (Valiukas, 2001; Tauginaitė, 2005; Revuckas, 2006; Bertauskas, 2007; Džiautas, 2010; Kažukauskas, 2010; Šidlauskaitė, 2011; Garbenčiūtė, 2016; Pakalniškis, 2018; Poška, 2018; Binderytė, 2019) ir 3 magistro darbai (Kažys, 2002; Valiukas, 2003; Šidlauskaitė, 2013). Itin svarbus žingsnis, plečiant bendradarbiavimą kelių meteorologijos srityje, yra 2012 m. sudaryta sutartis tarp VU ir LAKD, leidžianti 3-čio kurso Meteorologijos ir hidrologijos studijų programos studentams atlikti profesinę praktiką LAKD.

Prie kelių meteorologijos vystymo Lietuvoje prisidėjo ir Vilniaus Gedimino technikos universiteto (VGTU) Kelių katedros (KK) mokslininkai. Jų moksliniai darbai labiau sutelkti į kelio dangos ar sandaros medžiagų pokyčius ir savybes, statybos inžineriją, tačiau analizuojama ir meteorologinių parametrų įtaka: analizuota išalo po kelio danga paplitimas Lietuvoje (Juknevičiūtė ir Laurinavičius, 2008), klimato įtaka Italijos keliams ir atliktas inžinerinis modeliavimas (Žilionienė ir kt., 2013), ledą tirpdančių medžiagų naudojimas ir statistika Lietuvoje (Žilionienė ir Laurinavičius, 2007; Bulevičius ir kt., 2014; Laurinavičius ir kt., 2016), temperatūros poveikis kelio dangai ir jos struktūros pokyčiai (Puodžiukas ir Pakalnis, 2002; Leonovich ir kt., 2013), kelių priežiūros lygiai žiemą klimatologiniu aspektu (Ratkevičius ir Laurinavičius, 2017), pasiūlytas kelio dangos parametrų prognozavimo modelis (Laurinavičius ir kt., 2015), atliktas klimatinis rajonavimas (Laurinavičius ir kt., 2018), vertintas ant kelio barstomų druskų poveikis aplinkai (Ratkevičius ir kt., 2014), KOSIS veikla ir panaudojimo galimybės (Laurinavičius ir Juknevičiūtė-Žilinskienė, 2011; Ratkevičius ir kt., 2013) beikiti darbai.

### 1.3. Kelio dangos meteorologiniai parametrai ir jų prognozavimas

Svarbus kelių meteorologijos uždavinys – minimalios kelio dangos paviršiaus temperatūros lokalizacijos tyrimai, modeliavimas ir prognozavimas (Shao ir kt., 1996). Pagrindinė priežastis, kodėl yra nagrinėjama kelio dangos minimali temperatūra, yra ta, kad jai esant arti 0 °C, kelias gali pasidengti ledu ir pasidaryti slidus (Moore, 1975). Ryškiausi kelio dangos temperatūros svyravimai vyksta šaltuoju metų laiku. Todėl svarbi priemonė, galinti užtikrinti gerą kelių būklę, yra savalaikės prognozės sudarymas atskiriems kelio ruožams, kurie yra jautriausi šalčiams ar krituliams (Bogren ir Gustavsson, 1991; Bogren ir kt., 1992). Kelio dangos temperatūros tyrimai dažniausiai naudoja statistinius metodus (Chapman ir kt., 2001a; Kršmanc ir kt., 2012b; Marchetti ir kt., 2014), tačiau tobulėjant technologijoms, buvo pritaikytas ir kompiuterio mokymas (Yang ir kt., 2017; Liu ir kt., 2018).

Prognozuojant kelio dangos temperatūrą labai svarbu įvertinti įvairių vietinių aplinkos veiksnių įtaką (Harris, 2018). Yra daug faktorių, kurie gali paveikti kelio paviršių ir padidinti skirtumą tarp kelio ir oro temperatūros. Todėl kai kurie kelio ruožai gali žymiai atšalti („šalti taškai“), o kiti išliks santykinai šilti („šilti taškai“). Dažnai pastebima, kad vienas iš pagrindinių tokių netolygių kelio dangos įšilimo (ar atvėsimo) faktorių yra santykinė kelio ir jį supančios aplinkos altitudė: paviršiaus įdubose gali formuotis šalto oro sankaupos ramiomis, giedromis naktimis (Bogren, 1991; Bogren ir Gustavsson, 1991; Bogren ir kt., 2001b). Šalto oro baseinas susidaro dėl šalto oro srauto slinkimo nuolydžio kryptimi į paviršiaus įdubas ir slėnius. Jie taip pat susidaro ir dėl lokalaus spindulinio atvėsimo ar abiejų šių veiksnių kombinacijos (Gustavsson ir kt., 1998). Šis reiškinys gali susidaryti įvairių dydžių įdubose (Whiteman ir kt., 2004; Vosper ir Brown, 2008), sudaryti stiprias temperatūros inversijas (Clements ir kt., 2003; Vitasse ir kt., 2017) ir ilgai išlikti tam tikrose vietose (Whiteman ir kt., 2001).

Tačiau altitudė nėra vienintelis veiksnys, lemiantis temperatūros kritimą, ypač vietovėse, kur ji nėra pagrindinis kraštovaizdžio formavimo veiksnys. Miškingų zonų įtaka (Kiefer ir Zhong, 2015), kitoks skirtingų, nepastovių dangų spindulinio atvėsimo efektyvumas ar jo fizinės savybės (Gustavsson ir Bogren, 2002; Mirzanimadi ir kt., 2018) bei dangaus skliauto uždengtumo faktoriai (Bogren ir Gustavsson, 1991; Holmer ir kt., 2001; Bradley ir kt., 2002; Hu ir kt., 2016), transporto intensyvumas (Gustavsson ir Bogren, 1991; Li ir kt., 2017) kelio dangos temperatūrai turi didesnę įtaką nei kelio absoliutus aukštis.

Orų ir klimato poveikis keliams ir eismo saugumui yra labai įvairus: nuo tiesioginio, pvz., plikledžio susidarymo (Thornes, 1984; Thornes, 1985; Braybooke, 1992; Riehm ir kt., 2012) iki netiesioginio, pvz., patirti ekonominiai nuostoliai dėl sulėtėjusios transporto sistemos katastrofinio reiškimo metu (Rodrigue, 2016). Dėl šios priežasties atsiradusi meteorologijos šaka (automobilių kelių meteorologija) glaudžiai susijusi su mokslo pritaikymu praktikoje ir yra ypač greitai besivystanti. Sparti technologinė pažanga leido nuolatos atnaujinti ir tobulinti duomenų rinkimo metodus, nenutrūkstanti duomenų srautai sudarė sąlygas intelektinių transporto sistemų plėtrai ir kt. Be to, beveik kiekvienas žingsnis ar postūmis šioje mokslo šakoje yra nulemtas staiga išaugusio poreikio, pvz., supratęs, kad kelių orų sąlygų stočių duomenys nėra reprezentatyvūs visam kelio ruožui, buvo sukurti mobilūs kelio parametrus matuojantys prietaisai. Tokiu būdu, kasdieniame kelius prižiūrinčių įmonių darbe, per pastaruosius 20 metų atsirado daug naujų technologijų ir prietaisų, leidžiančių efektyviau reaguoti į susidariusias orų sąlygas ir užtikrinti gerą kelių būklę. Buvo sukurti kelio dangos meteorologinius parametrus prognozuojantys skaitmeniniai modeliai (Eriksson, 2000; Bogren ir kt., 2001a; Chapman ir kt., 2001a, b; Crevier ir Delage, 2001; Chapman ir Thornes, 2006; Feng ir Feng, 2012; Hippi ir Fortelius, 2012), mobilūs matavimo prietaisai (Lufft, 2019-06-01; Teconer, 2019-06-01; Vaisala, 2019-06-01) ir kt.

KOSIS sistema yra vienas pagrindinių įrankių prognozuojant kelio dangos temperatūrą. Tai patvirtino Suomijoje (Toivonen ir Kantonen, 1998) bei Švedijoje (Gustavsson ir Bogren, 2000) atlikti tyrimai. Todėl labai svarbu, kad KOS stočių tinklas būtų optimalus ir reprezentuotų mikroklimatinius bei topografinius vietovės ypatumus (Gustavsson ir Bogren, 2000; Chapman ir Thornes, 2008). Vieni pirmųjų kelio dangos temperatūros prognozės modelių sukurti atsižvelgiant į temperatūrą, kritulių kiekį, dirvos drėgnumo parametrus (Attanasi ir kt., 1973), kelio konstrukcijos ypatybes (Maunder ir kt., 1971). Kai kurie modeliai skirti ne tik nustatyti meteorologinių reiškinių įtaką kelio dangos temperatūrai, bet ir įvertinti šalnų formavimąsi visoje supančioje teritorijoje (Kalma ir kt., 1986; Laughlin ir Kalma, 1990). Taip pat tiriama kelio konstrukcijų energijos balansas (Wojcik ir kt., 2003), atsparumas šalčiui (Simonsen ir kt., 2002), hidroterminėms sąlygoms (Snow ir kt., 2004).

Vis tik svarbiausiu tyrimų objektu išlieka kelio dangos temperatūros ir apledėjimo prognozavimas (Hertl ir Schaffar, 1998; Marchetti ir kt., 2014). Pvz., Švedijoje atlikta apledėjimo tipų klasifikacija (Norrman, 2000), įvertintas mikroklimatinių faktorių nulemtas kelio dangos paviršiaus

slidumas (Bogren ir Gustavsson, 1989; Bogren, 1996; Eriksson, 2001), sudaryti kelių slidumo žemėlapiai (Eriksson, 2000) bei ištirta eismo įvykių skaičiaus priklausomybė nuo slidumo (Norrman ir kt., 2000). Taip pat nagrinėjamas įvairių meteorologinių procesų poveikis kelio dangos temperatūrai praslenkant atmosferos frontams (Gustavsson, 1991; Wood ir Clark, 1999; Weller ir Thornes, 2001) bei esant staigioms orų permainoms (Postgård, 2000, 2001), analizuojamas oro temperatūros kitimas naktį įvairiuose aukščiuose virš kelio dangos (Bogren ir kt., 2001a), įvertinami skirtumai tarp kelio dangos ir rasos taško temperatūros (Karlsson, 2001), tiriami giedrų silpnai vėjuotų naktų specifika (Gustavsson ir kt., 1998). Daugelyje darbų lyginamas kelio dangos temperatūros kitimas miesto ir užmiesčio sąlygomis (Jacobs ir Raatz, 1996; Shao, 2000; Gustavsson ir kt., 2001). Remiantis Ajovoje (JAV) atliktų tyrimų rezultatais, skirtumai tarp centro ir atokesnių teritorijų siekia 1,4 °C debesuotomis naktimis, o giedros metu net 1,7–2,8 °C (Knollhoff ir kt., 2003). Be to, nustatyta, kad minimali kelio dangos temperatūra yra jautriausia šlaitų polinkiui ir dangaus uždengtumui faktoriui (Bogren, 1991; Bogren ir kt., 2000; Bradley ir kt., 2002).

XX a. 9-ojo dešimtmečio viduryje ir 10-ajame dešimtmetyje buvo sukurta nemažai apledėjimo prognozavimo modelių. Vieni pirmųjų – „Thornes“ modelis sukurtas Birmingemo universitete (vėliau pavadintas į „IceBreaker“) (Surgue ir kt., 1983; Thornes, 1985; Parmenter ir Thornes, 1986) ir Didžiosios Britanijos Meteorologijos tarnybos sukurtas „Meteorological office“ modelis (Rayer, 1987). „IceBreaker“ modelis buvo vienas labiausiai ištirtų bei mokslinėje literatūroje nagrinjamų modelių iki 2000 metų. Jo pagrindu sukurta speciali „IceCast“ sistema, apimanti visą kelių priežiūros procesą (duomenys, prognozės, kita informacija), kuri buvo taikoma daugelyje šalių (Lister, 2002). Modelis leidžia pateikti patikslintas trumpalaikes (1–3 val.) prognozes. Tuo pačiu metu buvo vertinamos modelio pritaikymo galimybės įvairiose geografinėse sąlygose bei prognozių tikslumas pagal pasirinktą laiko žingsnį (Shao ir Lister, 1996). Skirtingose Jungtinės Karalystės dalyse (Velse, Škotijoje, Anglijoje ir Šiaurės Airijoje) gauta daugiausiai 90 proc. kelio dangos temperatūros prognozių tikslumas (Fuller, 2005).

KOSIS sistema yra nuolat tobulinama vis atrandant naujų jos plėtros galimybių. Naujos kartos „XRWIS“ sistema, paremta GIS žemėlapių taikymu ir „IceMiser“ energijos balanso modeliu, įdiegta Jungtinėje Karalystėje (JK) (Chapman ir Thornes, 2003; Thornes ir kt., 2006). Taip pat terminis kartografavimas dažnai taikomas greta kitų skirtingų kelio orų



sąlygų tyrimo metodų: „neapibrėžtos logikos“ (angl. „*fuzzy logic*“) metodo taikymo JK (Shao, 2000), DMI-HIRLAM skaitmeninio modelio prognozių Danijoje (Mahura ir kt., 2008), kelio dangos temperatūrai prognozuoti skirtos pagrindinių komponentų analizės (Marchetti ir kt., 2012; Marchetti ir kt., 2014), Pasquill'io orų sąlygų stabilumo klasių ir kelio dangos temperatūros ryšių nustatymo (Takahashi ir kt., 2010), dangaus uždengtumo faktoriaus analizės ir „Google Maps – Street View“ vaizdų panaudojimo (Smeding-Zuurendonk ir kt., 2014).

#### 1.4. Prognozavimo metodai ir jų taikymas pasaulyje

Svarbiausia kelio dangos paviršiaus parametrų prognozių sudarymo priežastis yra tinkamiausio laiko kelio priežiūros darbams pasirinkimas ir išankstinis eismo dalyvių informavimas apie pavojingas kelio dangos sąlygas (Boselly ir kt., 1993). Rajonuose, kur temperatūra gali kristi žemiau 0 °C ir danga gali pasidengti ledu bei tapti slidi, šioms prognozėms suteikiama daugiausiai dėmesio (Kažys, 2006a). Labiausiai apie užšalimo tašką temperatūra svyruoja šaltuoju metų laiku, taigi ir modeliai dažniausiai pritaikyti šiam laikotarpiui. Kelio dangos paviršiaus temperatūros modeliavimas bei dangos slidumo (sukibimo koeficiento) skaičiavimai yra klasikinis fizinės meteorologijos pritaikymo būdas. Vienas pirmųjų projektų buvo „COST–30“, įgyvendintas dar 1980 m. (European Commission, 1983), po kurio buvo vykdomi kiti su kelių orų sąlygomis susiję darbai (pvz., „COST–309“). Pagrindinis šio projekto tikslas buvo užtikrinti saugumą bei gerinti automobilių srautų sąlygas greitkeluose, pritaikant skaitmeninius metodus nustatant kelio būklę bei informuojant eismo dalyvius apie ją (European Commission, 1985). Nuo tada Europos meteorologinės institucijos pradėjo vystyti savas KOSIS ir EIS sistemas, pritaikydamos įvairaus sudėtingumo kelio dangos parametrų prognozavimo modelius (Kangas ir kt., 2006).

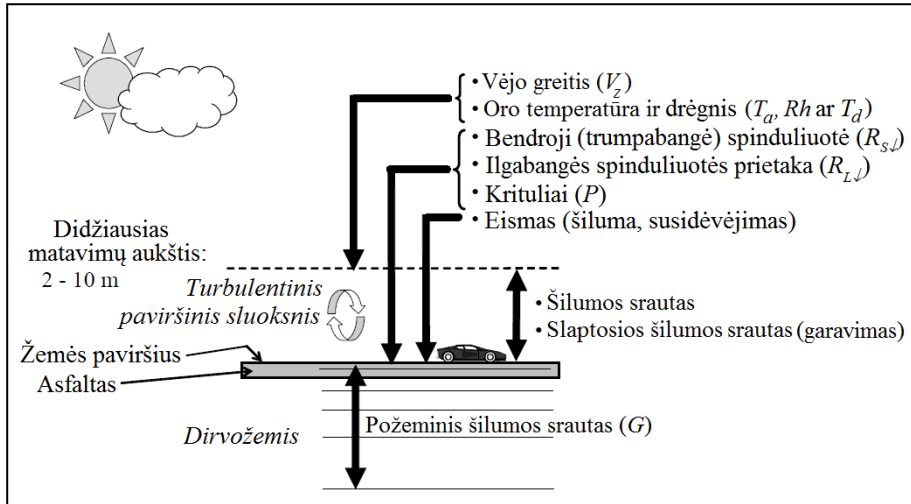
Kelio dangos parametrų prognozavimui taikyta daugybė skirtingų metodų: kompiuterio mokymas ir neuroniniai tinklai (Yang ir kt., 2017; Liu ir kt., 2018; Pu ir kt., 2019), ansamblinės prognozės (Sokol ir kt., 2017), įvairūs statistiniai metodai (Marchetti ir kt., 2015). Pats paprasčiausias būdas prognozuoti kelio dangos parametrus yra TG. Prognozių rezultatai, gauti TG būdu, gali būti pateikti kaip dviejų dimensijų žemėlapiai, t. y., prognozuojama kelio ruožui, o ne vienam taškui – stočiai. Nors šis ir panašūs būdai (pavyzdžiui, angl. „*XRWIS – neXt generation Road Weather Information System*“) yra paprasčiausi bei priimtinausi kelių priežiūra

užsiimančioms bendrovėms, tačiau šių rezultatų verifikacija gana komplikuoja, kadangi dažniausiai reikalauja pakartotinių bei brangiai kainuojančių tyrimų (Chapman ir kt., 2006). Nors šiems tyrimams naudojama aparatūra tapo finansiškai prieinama kiekvienai kelius prižiūrinčiai organizacijai, tačiau kaštai, susiję su automobilių eksploatacija ir darbuotojų darbu naktimis, vis dar kelia ir kels dideles problemas. Dėl šios priežasties jau nuo seno stengiamasi prognozuoti nuotoliniu būdu be papildomų tyrimų, pasitelkiant kompiuterines technologijas.

Dviejų dimensijų modeliai gali būti paremti ir GIS (Chapman ir kt., 2001a, b; Bradley ir kt., 2002), klimatiniais modeliais ar jų komponentais: Danijoje kelio dangos parametrą prognozuoti pritaikytas DMI/HIRLAM (angl. „*Danish Meteorological Institute/ High Resolution Limited Area Model*“) erdvinis modelis (Mahura ir kt., 2008), Jungtinėse Amerikos Valstijose – lokalus klimato modelis (angl. „*LCM – Local Climatological Model*“) (Bogren ir kt., 2001a). Labai dažnai regioniniai vidutinės trukmės prognozių modeliai savyje turi parametrizacijos modulius, apskaičiuojančius paklotinio paviršiaus temperatūrą ir kitus fizinius parametrus, pvz., HARMONIE modelio SURFEX modulis (Masson ir kt., 2013). Nors šis modulis dar naujas ir tik pradamas taikyti, jo sudaromos kelio dangos parametrų prognozės nenusileidžia kitiems Pasulyje taikomiems modeliams, pvz., FMI modelio (Suomijos kelio dangos parametrų prognozavimo modelis, aprašytas toliau) ir SURFEX palyginimas parodė, kad abiejų modelių prognozių koreliacija su realiais duomenimis yra gera (Hippi ir Fortelius, 2012).

Lokalūs skaitmeniniai prognostiniai kelio dangos parametrų modeliai įtraukia pagrindinius meteorologinius parametrus bei vietinius geografinius faktorius (1.2 pav.). Dažniausiai tai būna vienos dimensijos energijos balanso modeliai (National Center for... 2007). Manoma, jog jie yra lengviausiai pritaikomi bei adaptuojami, kadangi dažniausiai nereikalauja itin didelių kompiuterinių resursų ir juos palyginti lengva įdiegti. Be to, vienos dimensijos (taškinių, stoties) modelių verifikacija nėra tokia komplikuoja kaip dviejų dimensijų (kelio ruožo).

Skirtingos šalys susiduria su skirtingomis problemomis keliuose ir kelio dangos parametrų prognozavime, kadangi kiekvienos vietovės gamtiniai ir aplinkos veiksniai ypač skiriasi. Kalnuotoms vietovėms taikomi metodai gali



**1.2 pav.** Energijos balanso modelio bendrinė įvesties schema (pagal Kangas ir kt., 2006).

būti visiškai nepriimtini lygumų keliams. Dėl šios priežasties pasaulyje buvo sukurti ir naudojami kiek skirtingi kelio dangos parametrų prognozavimo modeliai.

Suomijoje žiema ir pavojingos eismo sąlygos dėl orų gali užsitęsti iki 6 mėn. per metus, todėl ypač svarbu turėti patikimas kelio dangos parametrų prognozes. Suomijos meteorologijos instituto kelių orų modelis „RoadSurf“ buvo sukurtas 1999–2000 m. bei pradėtas naudoti nuo 2000–ųjų pavasario (Kangas ir kt., 2015). Tačiau pirmieji bandymai prognozuoti kelio dangos parametrus buvo vykdomi dar 8 dešimtmetyje (Kangas ir kt., 2006). Tai vienos dimensijos energijos balanso modelis (schema 1.2 pav.), apskaičiuojantis šilumos apykaitą tarp kelio dangos ir atmosferos bei gilesnių žemės sluoksnių, įtraukiant įvairius meteorologinius parametrus bei eismo intensyvumo padarinius.

FMI modelis prognozuoja kelio dangos paviršiaus temperatūrą, būklę, eismo sąlygų indeksą (angl. *driving condition index*), kelio dangos sukibimą ir vandens/sniego/ledo kiekį ant kelio dangos paviršiaus. FMI modelio duomenys naudojami ne tik moksliniams tyrimams, bet ir kelių priežiūros darbų ir maršrutų planavimui bei specialios perspėjimų sistemos veiklai. FMI modelis paleidžiamas kas valandą, o įtraukus ir kontrolinius bei papildomus paleidimus, skaičiavimai atliekami apie 60 kartų per parą (Kangas ir kt., 2006). Naudojant modelį prognozėms, įvesties duomenys imami iš meteorologijos stočių tinklo bei meteorologinio radaro duomenų bei HIRLAM klimatinio modelio. FMI modelyje naudojamos aštuonios

dangos paviršiaus būklės klasės: sausa, drėgna ar šlapia danga, šerkšnas, sausas ar drėgnas sniegas, dalinis arba visiškas apledėjimas.

Šveicarijoje neseniai buvo įdiegtas naujas kelių orų prognozavimo įrankis (angl. „*Road Forecast Tool*“), kuris pakeitė kitą, sukurtą prieš 14 metų (Letestu ir Keller, 2010). Naujasis įrankis naudojamas kartą per parą – rytais iki 11 val. (kai kuriuose regionuose vakarais), nuo lapkričio 1 d. iki balandžio 15 d. ir galioja iki kitos dienos 12 val. (arba 18 val.), tačiau yra įmanoma prognozuoti ir iki 70 valandų. Pats procesas išskiriamas į dvi dalis: pirmiausiai sudaroma apibendrinta prognozė klimatiniams rajonams, kur naudojamas COSMO7 modelis ir reprezentatyviausios tų rajonų sotys, o tada įtraukiamos visos stotys ir sudaromos konkrečios prognozės. Šis įrankis ir toliau bus gerinamas: bus siekiama pritaikyti geresnius duomenų filtrus, kad būtų apskaičiuojamos tikslesnės prognozės, tobulinama gautos prognozės platinimo elektroniniu paštu ir faksu sistema.

Vokietijoje kelio dangos parametrų prognozės taip pat sudaromos pasitelkus energijos balanso modelį (dažniausiai kas 2 val.). Sudaromos trijų dienų bendrosios prognozės bei kiekviena KOSIS (vok. „*SWIS – Straßenzustands- und Wetterinformationssystem*“) stotis pateikia automatiškai sugeneruotą tendą iki 4 val. į priekį (Raatz, 2002). Parai laiko sudaromos prognozės skiriasi nuo daugelio kitų, sudaromų Europoje, kadangi čia naudojama ne vienos egzistuojančios stoties, o geriausiai tą kelio ruožą ar teritoriją atitinkančios teritorijos (iš viso 170 tokių teritorijų) duomenys. Nepaisant to, jos papildomai suskaidytos į skirtingų charakteristikų kelio ruožus (tiltus, miško kelius ir pan.) ir jiems sudaromos skirtingos prognozės.

Kinijoje naudojamas modelis, sukurtas pagal Paprastąjį Žemės Modelį (angl. „*CoLM – Common Land Model*“) ir Pekino greitai atsinaujinančio ciklo modelį (angl. „*BJ-RUC – Beijing Rapid Update Cycle Model*“). Modelio laiko skiriamoji geba yra 1 val. ir jis gali sudaryti prognozes iki 24 val. į priekį, jos atnaujinamos kas 3 val. (Meng ir Zhang, 2010). Šis modelis įtraukia kelio fizines savybes, pvz., gan mažą albedą, šilumos talpumą, šilumos laidį ir kitus parametrus. Taip pat atsižvelgiama į antropogeninį šilumos faktorių bei paribio sluoksnį. Modelio verifikacija parodė, kad modelis gan gerai imituoja temperatūros kaitą per parą gerai, lyginant su stebėjimų duomenimis. Šis modelis naudojamas ne tik žiemą, siekiant prognozuoti kelio dangos paviršiaus apledėjimą, tačiau ir vasarą, kai įkaitęs asfaltas sprogdina padangas, tokiu būdu laiku perspėjant eismo dalyvius.

Vienas iš populiariausių kelio dangos parametrų prognozavimo modelių pasaulyje – METRo (Kelių aplinkos ir temperatūros modelis, angl. „*Model*

*of the Environment and Temperature of Roads*“). Ši energijos balansu pagrįstą modelį sukūrė Kanados mokslininkai. Nuo pat modelio sukūrimo 1999 m. iki dabar, METRo naudojamas eismo informacijos sistemose ar buvo naudotas tyrimuose 17-oje pasaulio šalių: Austrijoje, Kanadoje, Katalonija, Kroatijoje, Čekijoje, Suomijoje, Airijoje, Italijoje, Latvijoje, Lietuvoje (tyrimų tikslams), Naujojoje Zelandijoje, Rusijoje, Slovakijoje, Slovėnijoje, Pietų Korėjoje, Švedijoje ir Jungtinėse Amerikos Valstijose (Tremblay, 2020). METRo populiarumą lėmė nesudėtingas naudojimas bei nedidelių kompiuterinių resursų poreikis. Vienos KOS stotelės prognozei apskaičiuoti reikia mažiau nei 2 sek., o įvesties duomenys pateikiami nesudėtingu \*.xml tekstiniu formatu, todėl modeliavimas gali būti atliekamas praktiškai bet kuriuo personaliniu kompiuteriu.

## 1.5. Terminis kartografavimas

Vienas iš metodų, kuris taikomas pasaulyje nustatant kelio dangos temperatūrą ir jos dėsninumus, yra kelio dangos paviršiaus terminis kartografavimas (TK) ir terminiai grafikai (TG, Bogren ir Gustavsson, 1989; Thornes, 1991; Marchetti ir kt., 2012).

TK – patikimas metodas, skirtas analizuoti ir netgi nuspėti kelio paviršiaus temperatūrą tam tikroje jo atkarpoje, ne vien tik viename jo taške (pavyzdžiui, KOS vietoje). Jis ir TG sudarymo metodai buvo sukurti „Vaisala“ firmos Birmingemo filiale XX a. devintame dešimtmetyje, kaip priemonė kelių ir lėktuvų pakilimo nusileidimo takų terminėms savybėms nustatyti. Bėgant laikui jis buvo patobulintas bei tapo lengviau pritaikomu. Tačiau dabar, atsiradus kitiems metodams, pvz., klimato modeliavimui, kuris dar lengviau adaptuojamas, pritaikomas ir naudojamas, TK tapo nors ir tikslesnė, tačiau brangesnė alternatyva. Nepaisant to, šis metodas vis dar plačiai naudojamas pasaulyje (Marchetti ir kt., 2012; Todeschini ir kt., 2016b; Cross, 2019-03-23).

TG – tai terminas, apibūdinantis kelio paviršiaus temperatūros kitimą išilgai matuojamosios kelio atkarpos šaltuoju metų periodu (Thornes ir Shao, 1991; Shao ir Lister, 1995). TG leidžia keliuose optimaliai išdėstyti stacionarius temperatūros daviklius ir tiksliai išskirti apledėjimo ruožus (Farmer ir Tonkinson, 1989; Braybooke, 1992). TK atliekamas keliu judant automobiliui, prie kurio pritvirtinti davikliai su infraraudonųjų spindulių termometru, GPS ir kt. matuokliais (Gustavsson ir Bogren, 1991; Shao ir kt., 1996). Šį metodą galima pritaikyti atskirų regioninių atkarpų modeliavimui (Gustavsson ir Bogren, 1991; Gustavsson, 1998). Šis metodas taikomas ne tik magistraliniuose keliuose (McDonald, 1996), bet ir dideliuose miestuose (Shao ir kt., 2000; Bazlova ir kt., 2012a, b), kalnuotose vietovėse (Martorina ir Loglisci, 2005), kelių juostų magistralių kelio dangos temperatūros skirtumams nustatyti (Chapman ir Thornes, 2005).

TK metodas leidžia identifikuoti temperatūros kaitos dėsninumus tiksliai išmatuodamas nakties kelio dangos paviršiaus temperatūrą iš anksto numatyta kelio ruože, esant skirtingoms orų sąlygoms (Surgue ir kt., 1983). Šie kaitos dėsninumai bei šiltų ir šaltų kelio ruožų pasiskirstymai nulemti vietinių aplinkos veiksnių ir vyraujančių orų sąlygų (Laughlin ir Kalma, 1990; McDonald, 1996; Gustavsson, 1998; Ercicum ir kt., 2005; Mahura ir kt., 2007a). Kelio dangos apledėjimo grėsmė priklauso nuo gaunamos ir prarandamos šilumos kiekio (balanso) bei esamo drėgmės

kiekio pokyčių. Apledėjimo intensyvumas priklauso nuo viso komplekso veiksnių:

- vyraujančių orų sąlygų.
- dangos skliauto atvirumo.
- altitudės.
- atstumo iki jūros bei didelių vandens telkinių.
- miesto „šilumos salos“ efekto.
- kelio ir jo sankasos konstrukcijos.
- eismo intensyvumo.
- kt. veiksnių.

TK metodas padeda optimaliai išdėstyti KOS stotis ir tokiu būdu atpigina visą sistemą. Panaudojant TG, interpoliacijos būdu randami kelio ruožų terminiai parametrai tarp KOS stočių. TG papildo KOS stočių teikiamą informaciją, iš jų galima gauti bet kurios kelio atkarpos taško terminius parametrus bei sudaryti analitinius kelio terminės būsenos modelius žiemos sezono metu. Tačiau TG parodo tik santykinius kelio dangos minimalios temperatūros skirtumus įvairiuose kelio ruožuose. Jie naudingiausi ten, kur žiemą minimalios oro temperatūros artimos 0 °C. TG duomenys gali būti naudojami kelio paviršiaus temperatūros ir būklės prognozei, taip pat optimaliam smėlio ir druskos barstymo darbų planavimui ir paskirstymui (Mahura ir kt., 2007b).

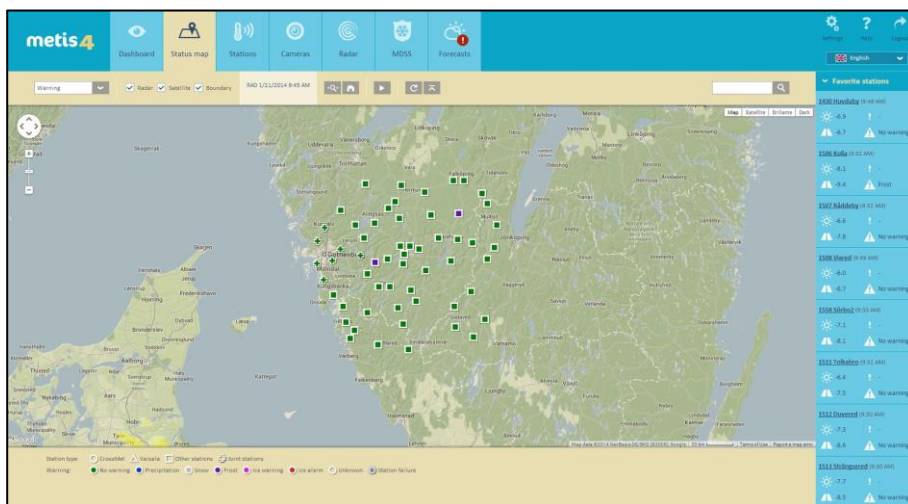
TK duomenys buvo pritaikyti daugelyje pasaulio šalių. Dažniausiai TK naudojamas „šaltų taškų“ kelyje paieškai, kuriuose dažniausiai įrengiamos naujos KOS stotys. Šie „šaltieji taškai“ – kelio ruožai, kuriuose dėl tam tikrų aplinkos geografinių ir/ar kraštovaizdžio sąlygų dažniausiai formuojasi šaltesnio oro sancaupa nei aplinkiniuose ruožuose (Bogren ir Gustavsson, 1991). Taigi, tokiose vietose įrengtos KOS stotys leidžia efektyviau ir greičiau pastebėti blogėjančias sąlygas ir įvertinti kelio dangos temperatūros kaitos ekstremumus.

Viena pirmųjų ir daug patirties TK procesuose turinti įmonė „Vaisala“ pateikia daug naudingos praktinės informacijos susijusios su TK taikymu ir integracija į KOSIS (Vaisala, 2010). Pritaikius įvairius nuotoliniu būdu veikiančius prietaisus (Vaisala, 2009b) sudaromi atskirų kelio atkarpų TG, esant įvairioms orų sąlygoms (Vaisala, 2011). Visa informacija sisteminama ir apdorojama panaudojant TK metodus (Vaisala, 2009c). Atsižvelgiant į TK rezultatus ir KOS stočių duomenis, galima nustatyti apledėjimo pavojų įvairiuose kelio ruožuose ir perspėti vairuotojus. TK duomenų integravimas į

bendrą KOSIS veiklą (Vaisala, 2009a) leidžia sudaryti esamos kelio orų sąlygų būklės vertinimo sistemas bei kurti patogius vartojimui produktus.

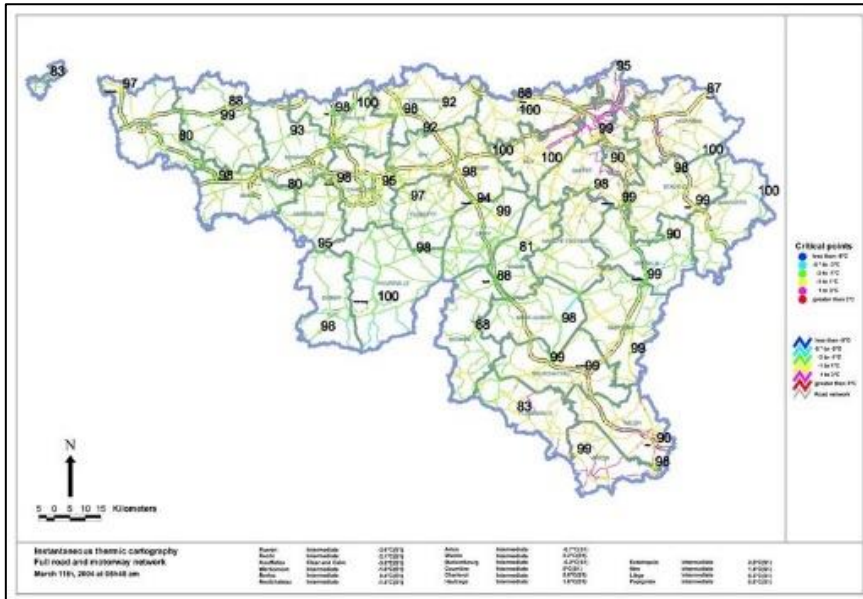
Čekijoje įdiegta kelių priežiūros darbų planavimo ir sprendimų priėmimo paramos sistema „METIS“ paremta TK metodu (Cross, 2019-03-23). Sukartografuoti visi pagrindiniai keliai ir, naudojant skaitmenines kelio parametrų prognozes, taip padengiami visi Čekijos keliai 1 km tikslumu. Sistemoje pateikiama visa su kelių meteorologija susijusi ir aktuali informacija: KOS stočių duomenys (1.3 pav.), radiolokatorių informacija, bendra orų prognozė, kelio dangos parametrų prognozė (1 km tikslumu) visiems keliams, mobilių kelio parametrų matuoklių duomenys, dinamiškai kintantys pasiūlymai, kokių darbų reiktų imtis ir kt. TK duomenys atnaujinami kas keletą metų.

TK sistema Valonės regione (Belgija) apima 836 km magistralinių, 512 km pagrindinio tipo (įskaitant abi kelio puses) ir 6777 km regioninių kelių ruožus. 1.4 paveiksle pavaizduoti taikomi faktiniai TK duomenis, gauti 2004 m. kovo mėn. Valonės regione. Visi šie duomenys panaudojami kelio dangos parametrų prognozių sudaryme, papildomai panaudojant meteorologinio radiolokatoriaus ir 35 KOS stočių duomenis (Erpicum ir kt., 2005).

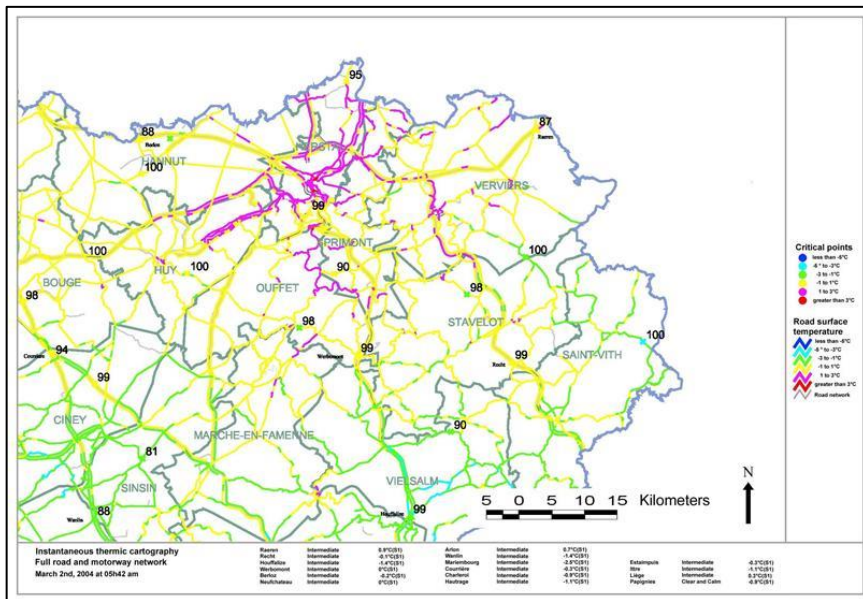


1.3 pav. Čekijoje naudojamos sistemos „Metis4“ pavyzdys Švedijos teritorijoje esančioms KOSIS stotims (Cross, 2020-02-15).



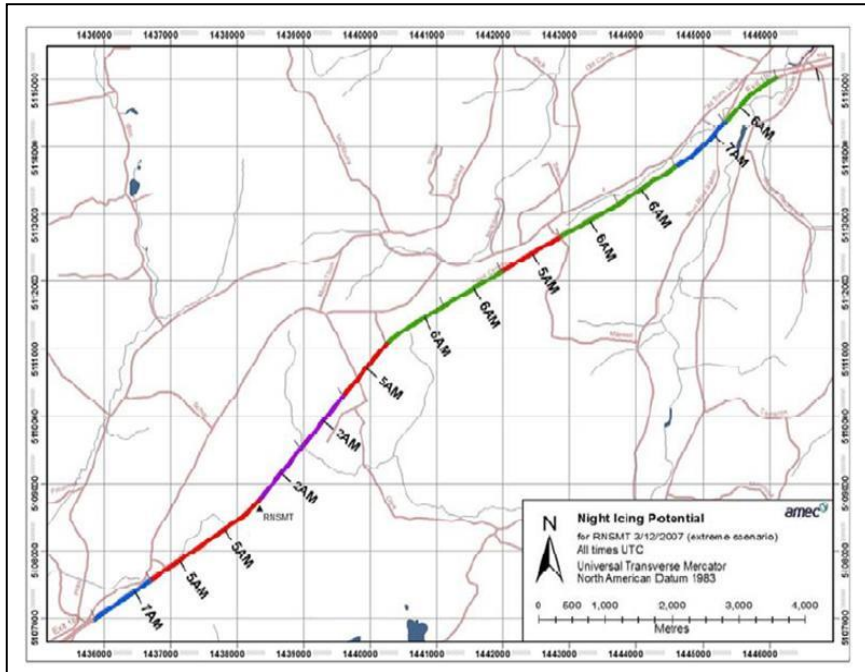


a)

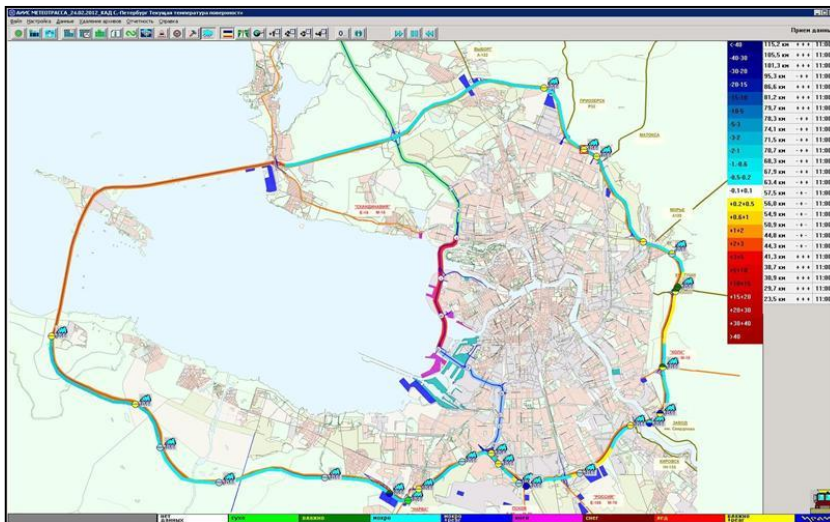


b)

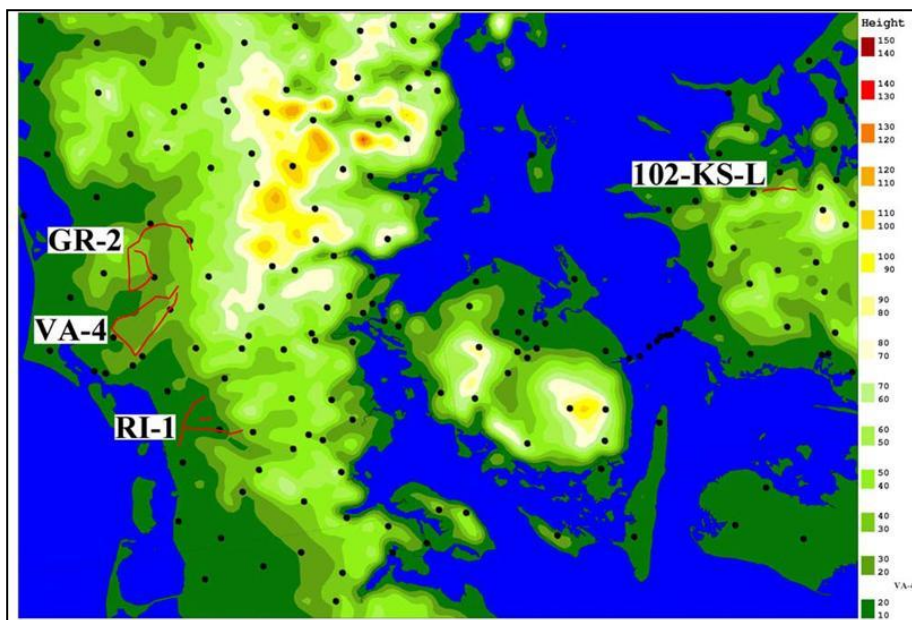
**1.4 pav.** Valonès reģiona (Beļģija) faktiskis TK vaizdas 2004-03-11 (a) ir išdidinta faktinė TK situacija ties Briugēs apylinkēmīs 2004-03-02 (b). Keliu dangos temperatūros žingsnis 2 °C (Epicum ir kt., 2005).



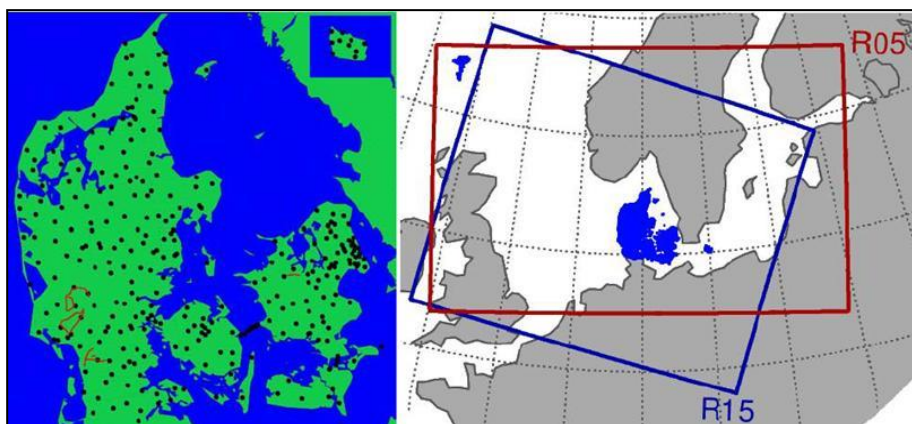
1.5 pav. Kelio dangos temperatūros ir apledėjimo potencialas pagal 2007-02-12 TK duomenis (ekstremalus scenarijus) Naujosios Škotijos provincijoje (Kanada; NSTIR, 2008).



1.6 pav. Trumpalaikės 4 val. kelio dangos temperatūros ir būklės prognozės Sankt-Peterburgo aplinkkeliui pateikimas „MeteoTrassa“ programoje. Kelio dangos temperatūros reikšmės nustatytos panaudojus TK metodą (Bazlova ir kt., 2012b).



**1.7 pav.** Kelių atkarpos (pažymėtos raudonai) kurioms buvo atliktas TK Danijoje 2006–2007 m. žiemą (Mahura ir kt., 2007a).



**1.8 pav.** Danijos KOS stočių tinklas (kairėje) ir DMI-HIRLAM RWM sistema apimanti 15 km (R15) ir 5 km (R5) erdvinės skiriamosios gebos modelius (dešinėje) (Mahura ir kt., 2007a).

Kanadoje (Naujosios Škotijos provincijoje) „AMEC Earth & Environmental“ kompanijos ir Naujosios Škotijos transporto ir infrastruktūros atnaujinimo departamento (NSTIR) vykdomas projektas „Naktinio apledėjimo potencialas“ (angl. „Night Icinng Potential Project“) plačiai panaudoja TK metodus KOSIS veikloje. Kelio dangos temperatūra nustato-

ma 1 °C tikslumu, o orų sąlygos sugrupuotos į 4 klases, iš kurių visų pavojingiausia yra giedra ir rami naktis (ekstremalus scenarijus) (1.5 pav.). Tyrimai buvo atlikti Trans-Kanados greitkelio (TCH 104) 42 km atkarpoje 2007 m. kovo mėnesį (Siegel, 2011).

TK duomenys naudojami ir Rusijoje, sudarant trumpalaikes kelio dangos temperatūros ir būklės prognozes (1.6 pav.). KOS stočių pagrindu veikianti „MeteoTrassa“ programa savyje integruoja KOS duomenis, TK matavimus ir orų radaro informaciją (Bazlova ir kt., 2012a). Sistema veikia nuo 2011 m., ji pritaikyta Krasnodaro regionui (pietinė Europinės Rusijos dalis) ir Sankt-Peterburgo regionui (šiaurės-vakarinė Europinės Rusijos dalis). Sankt-Peterburgo aplinkkelyje įrengtos 25 KOS stotelės, taip pat 2011–2012 m. žiemą atlikti TK darbai, kurie bus tęsiami ir ateityje. Nustatyta, kad visoje atkarpoje susidaro 5 °C kelio dangos temperatūros skirtumai (Bazlova ir kt., 2012b).

Danijoje kelių priežiūros tarnybos TK taiko siekiant optimizuoti KOS stočių darbą ir prognozuoti kelio dangos temperatūrą bei būklę visoje teritorijoje (Mahura ir kt., 2007b). Matavimai atlikti 2006–2007 m. žiemą, naudojant nuotolinius kelio dangos temperatūros matavimų prietaisus, matavimai atlikti kas 100 m. Bendras analizuotų atkarpų ilgis siekė 89 km (1.7 pav.). Greta TK duomenų prognozei naudojami KOS stočių tinklo ir DMI-HIRLAM RWM sistemos skaitmeninio modelio duomenys (1.8 pav.). RWM testavimas pradėtas 2007 m. (Mahura ir kt., 2007a).

Lietuvoje TK metodas buvo taikytas du kartus skirtingiems keliams – 1999-2000 m. keliams A1 nuo Vilniaus iki Kauno, A6 Kaunas-Ukmergė, A2 Ukmergė-Vilnius (Bukantis, 2000) bei 2015 m. keliams A2 Vilnius-Panevėžys ir „ViaBaltica“ keliams A10 Panevėžys-Saločiai, A8 Sitkūnai-Panevėžys, A1 Sitkūnai-IX fortas ir A5 Kaunas-Kalvarija (Šidlauskaitė ir kt., 2017).

## 2. DUOMENYS IR METODIKA

Šiame skyriuje aptariami duomenys ir metodai, naudoti šiose pagrindinėse disertacijos dalyse:

- klimato kaitos sąlygų Lietuvos keliuose XXI a. vertinime, kuriame buvo sukurti žiemos meteorologines sąlygas automobilių keliuose nusakantys indeksai ir įvertintos jų dabartinės reikšmės bei kaita XXI a.
- METRo modelio tinkamumo Lietuvos sąlygoms tyrime, kuriame buvo atlikti modeliavimo bandymai ir, remiantis gautais duomenimis, modelio verifikacija, įvertintos jo pritaikymo Lietuvoje galimybės ir pateiktos rekomendacijos.
- terminio kartografavimo Lietuvoje rezultatų bei palyginimo su terminio kartografavimo Čekijoje rezultatais poskyriuose, kuriuose sudaryti terminiai grafikai ir gauti duomenys bei rezultatai statistiškai palyginti su terminio kartografavimo Čekijoje rezultatais.

Darbo rezultatuose pateikiamos kelių priežiūros SPPS koncepcijos sudarymui buvo naudotos atskirų jos dalių (TK ir METRo modelio) metodika, todėl jos metodikos atskiro aptarimo šiame skyriuje nėra.

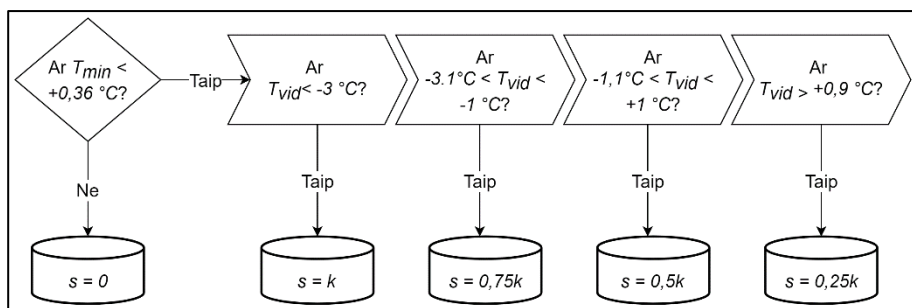
### 2.1. Klimato kaitos sąlygų Lietuvos keliuose vertinimo duomenys ir metodika

Klimato sąlygų XXI a. keliuose vertinimui buvo naudoti duomenys iš 18 meteorologijos stočių (toliau – MS), 20 metų periodo (1985–2005 m., 2.2 pav.). Naudoti kasdienės vidutinės, aukščiausios ir žemiausios oro temperatūros (°C) reikšmės, paros kritulių kiekio suma (mm) ir maksimalus vėjo greitis gūsiuose (m/s). Visi duomenys gauti iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos (toliau – LHMT) prie Aplinkos ministerijos archyvų.

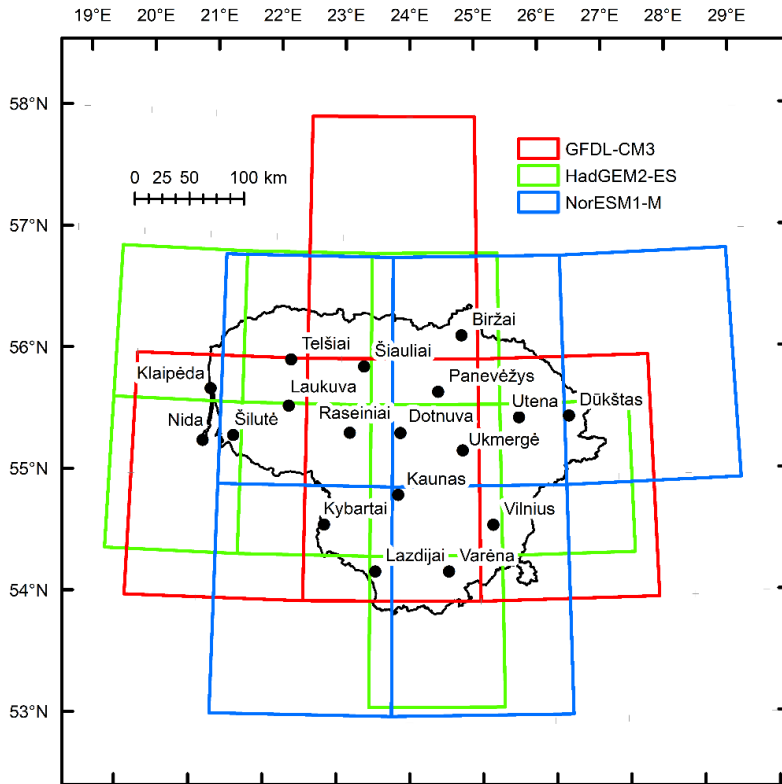
Analizėje naudoto sniego srauto (angl. „*snow flux*“) duomenys buvo apskaičiuoti pagal kritulių kiekį, įvertinus vidutinės, aukščiausios ir žemiausios oro temperatūros pasiskirstymo funkcijas 1950–2005 m. bei pritaikius svertinius koeficientus. Visų pirma, 1950–2005 m. sniego dangos ir kritulių duomenys, tarp kurių buvo didesnis nei  $\pm 0,1$  mm skirtumas, buvo suskirstyti į kategorijas pagal vidutinę, aukščiausią ir žemiausią oro temperatūrą, kurias skyrė šios reikšmės: +10, +5, +3, +2, +1, -1, -2, -3, -5, -10, -15. Iš viso – 36 kategorijos. Nustatyta, kad žemiausia temperatūra, kai

**2.1 lentelė.** Vidutinis santykis tarp sniego dangos ir kritulių kiekio esant skirtingoms temperatūros kategorijoms. Apskaičiuota naudojant 1950–2005 m. duomenis. Raudonai pažymėtos reikšmės – kai sniego danga sudarė <40 proc. kritulių kiekio, oranžiniai – 40–70 proc., geltonai –  $\geq 70$  proc.

Temperatūros reikšmė	Sniego dangos ir kritulių kiekio santykis, kai...		
	žemiausia temperatūra	vidutinė temperatūra	aukščiausia temperatūra
+10...+5			0,25
+5...+3		0,18	0,33
+3...+2		0,18	0,37
+2...+1		0,27	0,41
+1...0	0,26	0,37	0,59
0...-1	0,41	0,57	0,73
-1...-2	0,51	0,66	0,75
-2...-3	0,58	0,69	0,76
-3...-5	0,65	0,79	0,78
-5...-10	0,75	0,77	0,76
-10...-15	0,74	0,77	0,76
-15...	0,77	0,77	0,82



**2.1 pav.** Sniego srauto (angl. „snow flux“) kiekvienai meteorologijos stociui skaičiavimo loginė schema, kartu pateikiami ir naudoti koeficientai, čia:  $T_{min}$  – žemiausia temperatūra,  $T_{vid}$  – vidutinė temperatūra,  $s$  – sniego srautas,  $k$  – kritulių srautas.



**2.2 pav.** Klimato kaitos sąlygų Lietuvos keliuose XXI a. žiemomis tyrime naudotos erdvinio aprėpčių duomenų imtys: meteorologinės stotys Lietuvoje ir globalios cirkuliacijos modelių girdelės (GFDL-CM3, NorESM1-M ir HadGEM2-ES).

tarp sniego dangos ir kritulių susidaręs skirtumas neviršijo  $\pm 0,1$  mm, buvo  $+0,35$  °C. Esant šiai temperatūrai, buvo fiksuojamas snygis. Apskaičiuotas vidutinis sniego dangos storio ir kritulių kiekio santykis kiekvienai kategorijai (2.1 lentelė), iš viso – 31 reikšmė. Pagal nustatytas kritines temperatūros reikšmes buvo sudaryti koeficientai, kuriuos naudojant buvo apskaičiuotas sniego srautas kiekvienoje MS pagal 2.1 paveiksle pateiktą logiką.

Ateities klimato sąlygų prognozėms buvo pasirinkti trys globalios cirkuliacijos modeliai (toliau – GCM): GFDL-CM3 (Donner ir kt., 2011), NorESM1-M (Bentsen ir kt., 2013) ir HadGEM2-ES (Martin ir kt., 2011). Šie modeliai buvo pasirinkti, nes jie dažniausiai buvo naudoti keliuose kituose tyrimuose Lietuvoje ar gretimuose regionuose (Juknys ir kt., 2016; Ruosteenoja ir kt., 2016; Šarausienė ir kt., 2017; Jakimavičius ir kt., 2018;

Stonevičius ir kt., 2018). Tyrimui naudotas Sudėtinis modelių tarpusavio palyginimo projekto 5 fazės (toliau – CMIP5) kasdienių duomenų išvesties duomenys (Taylor ir kt., 2011): vidutinė, aukščiausia ir žemiausia oro temperatūra (°K) prie žemės paviršiaus, kritulių ir sniego srautai ( $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) bei maksimalaus vėjo greitis (m/s) prie žemės paviršiaus. NorESM1-M modelio išvesties duomenyse nėra maksimalaus vėjo greičio, todėl jis buvo praleistas vertinant vieną iš parametrų (AD – dienas su nepalankiomis vairavimui sąlygomis). GFDL-CM3 duomenys buvo gauti iš Nacionalinės vandenynų ir atmosferos direkcijos (angl. „NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration“) GFDL duomenų bazės, o NorESM1-M ir HadGEM2-ES duomenys gauti iš Klimato Duomenų Centro (angl. „World Data Center for Climate“), esančio Vokietijos Klimato skaičiavimų centre (vok. „DKRZ – Deutsches Klimarechenzentrum GmbH“).

GCM išvesties duomenys kaupiami NetCDF duomenų masyvuose, todėl duomenų failams atidaryti buvo naudota NASA/GISS sukurta programa (Panoply, versija 4.4.3). Temperatūra prie žemės paviršiaus buvo perskaičiuota iš °K į °C pridodant 273.15. Kritulių (sniego) srauto duomenys konvertuoti iš  $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$  į milimetrus per dieną dauginant reikšmę iš 86400.

Išskirti trys laikotarpiai: dabarties sąlygos (kaip atskaitos taškas, 1986–2005 m.), artimos ateities (2016–2035 m.) ir tolimos ateities (2081–2100 m.) projekcijos. HadGEM2-ES prognozėje nebuvo 2100 m., todėl analizėje naudoti tik 2080–2099 m. duomenys, kadangi vienu metų trūkumas neiškreipia gautų rezultatų. 1986–2005 m. periodas naudotas kaip klimato norma, kadangi tie metai buvo rekomenduoti naujausioje Tarptautinės klimato kaitos komisijos (toliau – IPCC, angl. „Intergovernmental Panel on Climate Change“) penktoje vertinimo ataskaitoje (AR5) (IPCC, 2014).

Artimos ir tolimos ateities periodų prognozės sudarytos naudojantis 4 klimato kaitos scenarijais (toliau – RCP, angl. „Representative Concentration Pathway“) (van Vuuren ir kt., 2011a): RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 ir RCP8.5. Šie RCP rekomenduojami IPCC ataskaitoje (2014) kaip pagrindiniai scenarijai, modeliuojant ir analizuojant klimato kaitą. Kiekvienas jų atspindi skirtingą žmonių įtakos mastą klimatui:

- RCP2.6 atveju, poveikio pikas bus vidury XXI a. ir sieks apie  $3 \text{ W/m}^2$  (~490 ppm šiltnamio dujų koncentracija anglies dvideginio ekvivalentu), o iki amžiaus pabaigos turėtų sumažėti iki  $2,6 \text{ W/m}^2$  (van Vuuren ir kt., 2011b).



- RCP4.5 atveju, poveikis kis tolygiai ir stabilizuosis iki 2100 m. ir sieks  $4,5 \text{ W/m}^2$  (~650 ppm šiltnamio dujų koncentracija anglies dvideginio ekvivalentu; Thomson ir kt., 2011).
- RCP6.0 atveju, poveikis kis tolygiai ir stabilizuosis iki 2100 m. ir sieks  $6,0 \text{ W/m}^2$  (~850 ppm šiltnamio dujų koncentracija anglies dvideginio ekvivalentu; Masui ir kt., 2011).
- RCP8.5 atveju, poveikis kis tolygiai ir stabilizuosis iki 2100 m. ir sieks  $8,5 \text{ W/m}^2$  (~1 370 ppm šiltnamio dujų koncentracija anglies dvideginio ekvivalentu; Riahi ir kt., 2011).

GCM gardelės Lietuvos teritorijoje skiriasi (2.2 pav.): 4 GFDL-CM3, 5 NorESM1-M ir 8 HadGEM2-ES gardelės. Duomenų skiriamoji geba statistiškai buvo sumažinta, priskiriant MS prie atitinkamos gardelės pagal jos padėtį. Kai kurioms MS buvo „pritrauktos“ prie gretimos gardelės dėl jų klimatinių savybių, pvz., Klaipėdos ir Nidos MS priskirtos prie labiau kontinentinės gardelės, o ne jūrinės.

Pirmajame tyrimo etape naudota mažiau GCM gardelių: po 3 gardeles GFDL-CM3 ir NorESM1-M bei 5 gardelės HadGEM2-ES. Gauti rezultatai buvo panašūs, tačiau vyravo dideli erdviniai reikšmių skirtumai. To priežastimi galėjo būti taikytas interpoliacijos metodas arba tai, jog kai kurios MS buvo priskirtos modelio gardelėms, kurios ne visiškai atitiko jų klimato sąlygas. Todėl buvo padidintas modelio gardelių skaičius ir taip pasiektas aukštesnis GCM duomenų suderinamumas su MS.

Reikšmių tarp MS interpoliacijai bei žemėlapių kūrimui naudota ESRI ArcGIS 10.6 (su „Spatial Analyst“ papildiniu) programinė įranga bei splainų interpoliacijos metodas.

Kadangi pasirinktų modelių gardelių kiekis, tenkantis Lietuvos teritorijai, yra nedidelis, buvo atliktas statistinis duomenų skiriamosios gebos mažinimas. Tam naudoti visų MS klimato normos laikotarpio (1986–2005 m.) duomenys. Kiekvienai MS buvo apskaičiuoti koeficientai:

- kiekvienos metų dienos vidutinis skirtumas tarp MS ir GCM temperatūros duomenų.
- kiekvieno metų mėnesio vidutinis santykis tarp MS ir GCM kritulių ir maksimalaus vėjo duomenų.

Gauti koeficientai buvo pritaikyti artimų ir tolimų GCM prognozių koregavimui: temperatūros koeficientai pridėti prie prognozuojamų GCM reikšmių, o kritulių srautui bei maksimaliam vėjui – padauginti.

Naujai sukurta duomenų bazė suteikė galimybę įvertinti pavojingas ir nepalankias vairavimui klimato sąlygas Lietuvoje XXI a. Tokių sąlygų

ilustravimui sukurti keturi indeksai ir apskaičiuoti jų vidurkiai visiems trims laikotarpiais atskirai. Šie indeksai suformuoti remiantis Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių priežiūros žiemą vadovu (Lietuvos automobilių kelių... 2015) ir kitais žiemos atšiaurumą nusakančiais indeksais (Cornford ir Thornes, 1996; Gustavsson, 1996; Venäläinen ir Kangas, 2003; Strong ir Shvetsov, 2006; Mayes Boustead ir kt., 2015).

*Dienos, kai temperatūra svyruoja apie 0 °C (toliau –  $T\pm 0$ )* – dienų skaičius per metus, kai oro temperatūra svyruoja apie 0 °C (t. y. aukščiausia temperatūra yra teigiama, o žemiausia temperatūra – neigiama). Toks indeksas ar sąvoka, kai temperatūra kerta 0 °C ribą (šalimo-atlydžio ciklai), dažnai naudojamas žiemos atšiaurumui įvertinti (Mayes Boustead ir kt., 2015; Daniel ir kt., 2018), ypač transporto sektoriuje. Dažniausiai taip yra dėl to, jog šis reiškinys yra ryškiausia ledo formavimosi ant kelio priežastis. Todėl šis indeksas laikomas pačiu paprasčiausiu įverčiu, mėginant įvertinti kelių priežiūros darbų žiemą sudėtingumą ar žiemos periodo atšiaurumą. Be to, dažni temperatūros svyravimai apie 0 °C, ypač kai keliai padengti ledaž tirpinančiomis medžiagomis, kenkia kelio dangos struktūrai (Xu ir kt., 2015; Esmaeeli ir kt., 2016; Gonzalez ir kt., 2016; Badeli ir kt., 2018).

*Dienos, kai sninga (toliau – SD)* – dienų skaičius per metus, kai sniego srautas yra  $\geq 0,2$  mm. Pasirinkta  $\geq 0,2$  mm riba, nes GCM išvesties duomenyse, net ir nesant krituliams, yra įvestas skaičius („0,0“). Atliekant statistinį erdvinės skiriamosios gebos sumažinimą ir naudojant pilna duomenų seką, gaunami ypač dideli skirtumai tarp istorinių duomenų meteorologijos stotyse ir GCM.

Krituliai, ypač sniego pavidalu, dar vienas parametras, kuris dažnai naudojamas nustatyti žiemos atšiaurumui. Dažnas snygis mažina kelio paviršiaus sukibimą (Wallman ir Åström, 2001; Haavasoja ir Pilli-Sihvola, 2010; Mataei ir kt., 2016), dėl ko, esant tam tikram eismo intensyvumui ir neatlikus kelio valymo, sniegas gali susispausti ir net virsti ledu. Tai kartu kelia dar didesnę spaudimą kelius prižiūrintiems specialistams. Buvo svarstytas ir kitas parametras (sniego srautas, toliau – SF), sniego (kietos fazinės būsenos vandens) tipo kritulių kiekis milimetrais per metus (šaltuoju sezonu). Kadangi abu šie parametrai vienas nuo kito yra priklausomi bei kinta panašiai, analizei naudotos tik SD reikšmės. Šis indeksas leidžia įvertinti vairavimo sąlygas visos Lietuvos mastu, o sniego kiekis gali būti lengvai įvertinamas lyginant su kritulių kiekiu (Keršytė ir kt., 2015).

*Dienos nepalankiomis vairavimui sąlygomis (toliau – AD)* – dienų skaičius per metus, kai sniego srautas  $\geq 0,2$  mm, didžiausias vėjo greitis  $\geq 10$  m/s ir vidutinė oro temperatūra  $< 0$  °C per metus. NorESM1-M AD nebuvo

skaičiuotas, nes jo išvesties duomenyse trūko maksimalaus vėjo greičio. Šiuo indeksu bandyta apibūdinti sąlygas, kurių metu dažniausiai susiformuoja pūga ar panašios atšiaurios oro sąlygos. Tokios sąlygos gali būti labai pavojingos dėl sumažėjusio matomumo ir staigių sniego sankauptų ant kelio paviršiaus. Tokie atvejai žymiai padidina eismo įvykių riziką bei sutrikdo eismą, dėl ko transporto sistema tampa nepatikima (Dey ir kt., 2015). Taip pat, esant staigiems ir atšiauriems oro sąlygų pokyčiams, stiprūs vėjo gūšiai gali tiesiogiai paveikti sunkiųjų transporto priemonių stabilumą kelyje (Maruyama ir Yamazaki, 2006).

## 2.2. METRo – kelio dangos paviršiaus temperatūros ir būklės modelis

Šiame poskyryje pateikiama trumpa METRo modelio istorija ir veikimo principas – pagrindinės lygtys ir prielaidos, naudojami įrankiai ir kitose šalyse gauti rezultatai. Toliau pateikiama modelio tinkamumo Lietuvos sąlygoms analizės metodika – kokie duomenys buvo naudoti tyrime, problemų sprendimo būdai ir analizės metodai.

### 2.2.1. Modelio istorija ir veikimo principas

Kelio dangos paviršiaus parametrų modeliavimui šiame darbe pasirinktas METRo modelis dėl jo prieinamumo paprastiems vartotojams, lengvo įdiegimo bei populiarumo kitose šalyse. Šiuo metu METRo platinamas pagal Bendrąją viešą licenciją (angl. „*GPL – general public license*“) (Free Software Foundation... 2007), t. y. programa visiškai nemokama, ja gali naudotis bet kuris vartotojas (nesvarbu, kokių tikslu, taip pat jis pats gali keisti programinį kodą). Šiuo metu prieinama stabili METRo 3.3.2 versija, tačiau ji nėra lengvai kalibruojama, t. y., nėra galimybės pakeisti modelyje naudojamų vidinių koeficientų nekoreguojant paties METRo programinio kodo.

2001 m. pristatytas METRo modelis (Crevier ir Delage, 2001) buvo įtrauktas į prognozių sudarymą spalį Otavos regioniniame centre, o šiuo metu jis naudojamas daugelyje Kanados meteorologijos centrų. METRo modelis paremtas energijos ir masės balanso lygtimis bei, naudodamas KOS stočių duomenis, informaciją apie pačias stotis (koordinates ir kelio struktūrą) ir skaitmenines orų prognozes, gali apskaičiuoti kelio dangos parametrų prognozę. Tuo pačiu principu anksčiau sukurti modeliai, pvz., FASST ir SNTHERM, buvo mažiau tikslūs (National Center for... 2007).

METRo modelis tapo ypač populiarus pasaulyje dėl savo paprastumo ir gan aukšto tikslumo lygio (Linden ir Petty, 2008; Linden ir Drobot, 2010; Bližňák ir kt., 2012; Karanko ir kt., 2012; Kršmanc ir kt., 2012a; Habrovský ir Tarjáni, 2014; Karanko ir Saarikangas, 2014; Kršmanc ir kt., 2014; Sokol ir kt., 2014), be to, jis yra nemokamas ir prieinamas internete (Tremblay, 2020).

METRo buvo sukurtas GNU/Linux 86 bitų operacinei sistemai, naudojant *python* ir *fortran 60* programavimo kalbas. Vienos KOS stotelės prognozė ant elementaraus kompiuterio METRo gali apskaičiuoti per mažiau nei 2 sek. Pati programa neturi jokios vaizdinės vartotojo sąsajos (angl. „GUI – graphical user interface“) ir yra valdoma komandine eilute.

METRo modelis įtraukia kelio dangos paviršiaus matavimų duomenis bei orų prognozė, gautą skaitmeninio modeliavimo būdu. Išvesties duomenų paketas apibūdina kelio dangos paviršiaus temperatūros bei akumuliacinio kritulių sluoksnio ant jos kaitą (Linden ir Drobot, 2010).

Modelį sudaro trys dalys:

1. energijos balanso modulis, skirtas aprašyti kelio paviršiui,
2. šilumos laidumo modulis, apibūdinantis kelio pylimo konstrukciją,
3. vandens, sniego ir ledo akumuliacijos modulis.

Vertinant kelio dangos paviršiaus energijos balansą, METRo modelis analizuoja bei apskaičiuoja trumpabangę ir ilgabangę spinduliuotę, turbulencinius srautus bei vandens fazinių virsmų poveikį (Linden ir Drobot, 2010). Svarbiausia teisingai įvertinti fizikinius procesus, lemiančius kelio dangos temperatūrą. Į skaičiavimus įtraukiamos septynios atmosferos sąlygų komponentės (Crevier ir Delage, 2001):

$$R = (1 - \alpha)S + \varepsilon I - \varepsilon \sigma T_s^4 - H - L_a E \pm L_f P + A \quad (2.1)$$

kur:  $R$  – energijos balansas (balanso nesąryšis, liekana),  $\alpha$  – albedas,  $S$  – Bendroji Saulės spinduliuotės prietaka,  $\varepsilon$  – emisija,  $I$  – infraraudonosios spinduliuotės srautas,  $\sigma$  – Stefano–Bolcmano konstanta,  $T_s$  – kelio dangos paviršiaus temperatūra,  $H$  – turbulencinis šilumos srautas,  $L_a$  – garavimo arba sublimacijos šiluma,  $E$  – vandens fazinių virsmų šiluma,  $L_f$  – besikaupiančio vandens šiluma ( $\pm$  nurodo tirpimą arba užšalimą),  $P$  – kritulių kiekis,  $A$  – šilumos srautas dėl antropogeninių veiksmų.

Spinduliuotės rodikliai yra apskaičiuojami pagal įvesties duomenis arba imami iš GEM (angl. „*The Global Environmental Multiscale Model*“) klimatinio modelio, kuris naudojamas Kanadoje.

Vienos dimensijos šilumos difuzijos lygtys yra modelio dalis, pagal kurią apskaičiuojama temperatūra po kelio dangą, naudojant šiluminės talpos bei dirvožemio šilumos srauto parametrus (Crevier ir Delage, 2001):

$$C(z) \frac{\partial T(z,t)}{\partial t} = - \frac{\partial G(z,t)}{\partial z}, \quad (2.2)$$

$$G(z,t) = -k(z) \frac{\partial T(z,t)}{\partial z}, \quad (2.3)$$

kur:  $\partial T$  – kelio pylimą sudarančios medžiagos temperatūros pokytis,  $C$  – šiluminė talpa,  $G$  – dirvožemio šilumos srautas,  $k$  – šiluminis laidumas,  $\partial z$  – gylio pokytis,  $\partial t$  – laiko pokytis.

$C$  ir  $k$  priklauso nuo kelio pylimą sudarančios medžiagos. Taip pat įvertinamas ir KOS stotelės tipas: paprasta ar tilto stotis, nuo ko priklauso apatinio sluoksnio temperatūros pasirinkimas. Esant paprastai stočiai reikiamame gylyje esanti temperatūra įvedama, o tilto – naudojama oro temperatūra.

Modelis atkuria skysto vandens bei sniego ir ledo tūrį ant kelio dangos, stebėdamas bei apskaičiuodamas kritulių kiekį, garavimą bei nuotėkį. Esant būtinybei, galima įtraukti ir sniego nuvalymo faktorių (Linden ir Drobot, 2010), atsirandantį dėl automobilių eismo arba kelio valymo darbų. Naudojama dviejų rezervuarų sistema: esant skystiems krituliams ( $W_l$ ) arba kietiems (sniegui ar ledui,  $W_s$ ). Vienu metu negali būti užpildyti abu rezervuarai, t. y., egzistuoja arba lietus, arba sniegas (ledas). Procesai, kontroliuojantys vandens ar sniego (ledo) kiekį ant kelio dangos, aprašomi šiomis lygtimis (Crevier ir Delage, 2001):

$$\frac{dW_l}{dt} = P - E + \frac{G_0 - G_1}{L_f} - r, \quad (2.4)$$

$$\frac{dW_s}{dt} = P - E - \frac{G_0 - G_1}{L_f} - r, \quad (2.5)$$

kur:  $G_0 - G_1$  – šilumos srautas, nukreiptas žemyn, iš pirmojo į antrąjį kelią sudarančių sluoksnių,  $r$  – nuotėkis,  $E$  – garavimas.

Krituliai ir garavimas vienu metu daro įtaką tik vienam rezervuarui, priklausomai nuo paviršiaus temperatūros (daugiau ar mažiau už  $0^\circ\text{C}$ ), be to,  $R - G_1/L_f$  dalis aktyvuojama tik kai  $T = 0^\circ\text{C}$ .

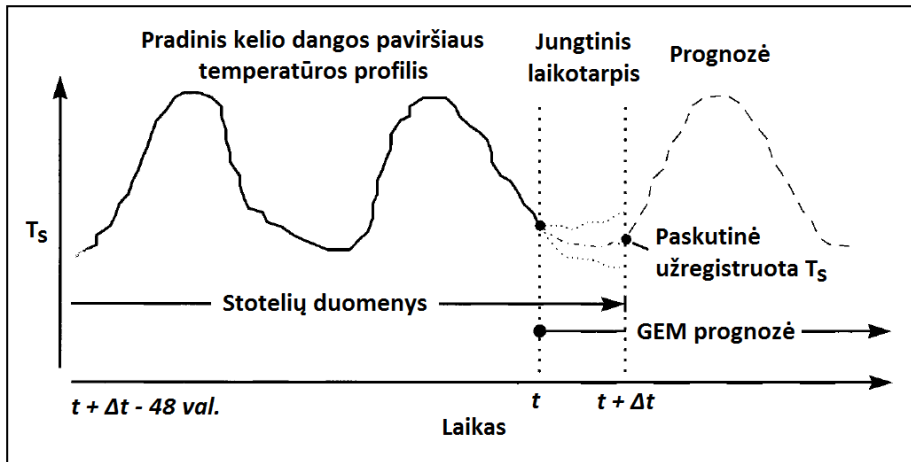
METRo prognozės Otavos (Kanada) centre yra sudaromos dukart per parą: 3 val. ir 15 val., jų trukmė – 24 val., o laiko žingsnis – 20 min. Duomenų įvedimas į modelį gali būti dvejopas: visiškai automatinis arba rankinis (juos įveda meteorologai). Abiem atvejais naudojamas SCRIBE įrankis, specialiai sukurtas palengvinti meteorologų kasdieninį darbą (Verret ir kt., 2019-03-11). Jis integruoja didelius duomenų matricų paketus, sugeneruotus GEM ir kitų statistinių modelių, juos persiunčia regioniniams

centrams ir ten juos iškoduoja. Meteorologai tada turi galimybę koreguoti duomenis grafinėje vartotojo aplinkoje bei generuoti kitus reikiamus produktus. Vienas iš šių produktų – METRo kelio dangos paviršiaus ir būklės prognozė.

Generuojant METRo prognozę automatiškai, naudojamos dvi SCRIBE matricos: standartinis meteorologinių parametrų paketas ir išplėstinis paketas, kuriame yra informacija apie spinduliuotės srautus. Reikiami meteorologiniai parametrai tiesiškai interpoliuojami, siekiant gauti reikiamus laiko tarpus tarp įvesties duomenų. *S* ir *I* parametrai interpoliuojami naudojant momentines ir 3 val.sumines reikšmes. METRo toliau atlieka prognozę be jokios meteorologo intervencijos.

Generuojant prognozę rankiniu būdu, meteorologai SCRIBE įrankiu gali modifikuoti sudarytos orų prognozės meteorologinius parametrus: temperatūrą, drėgnį, vėjo greitį ir kryptį, kritulių tipą ir kiekį bei debesuotumą. Vienintelė išskylanti problema – nelieta galimybės teisingai koreguoti tiesioginės saulės spinduliuotės bei išspinduliuojamos infraraudonosios spinduliuotės srautų, kurie taip pat pakinta koregavus kitus meteorologinius parametrus, ypač debesuotumą. Tokiu atveju METRo modelyje naudojama parametrizacija, kuri paremta statistine GEM spinduliuotės srautų analize.

Tolimesni METRo skaičiavimai bei rezultatai nepriklausomi nuo duomenų įvedimo tipo (Crevier ir Delage, 2001). METRo prognozės sudarymas susideda iš trijų pagrindinių stadijų, pateiktų 2.3 pav. Pirmiausiai sudaromas pradinis kelio dangos paviršiaus temperatūros ( $T_s$ ) profilis iš per pastarųjų dviejų parų KOS stotelės duomenų (arba trumpiau, METRo gali sudaryti prognozę ir esant tik porai stebėjimų duomenų), kuris reikalingas šilumos laidumo modulio iniciacijai. Šio profilio gale – jungtinis laikotarpis (dažniausiai 7–8 val.), kurio metu naudojami KOS stotelių duomenys kartu su GEM modelio prognoze. Tokiu būdu nustatomas reikiamas korekcijos



**2.3 pav.** Trys pagrindinės METRo prognozės sudarymo stadijos: pradinis kelio dangos paviršiaus temperatūros ( $T_s$ ) profilis, jungtinis laikotarpis ir GEM prognozė. GEM – Kanadoje naudojamas orų sąlygų prognozių modelis (pagal Crevier ir Delage, 2001).

koeficientas. Nuo paskutinės turimos KOS stotelės stebėjimų duomenų eilutės pradeda prognozės stadija, kuri tęsiasi iki paskutinio GEM prognozės termino.

Atlikti tyrimai parodė, kad METRo modelio prognozės turi tendenciją nukrypti nuo realiai išmatuotų KOS stotelių reikšmių, ypač vidurinę (Kršmanc ir kt., 2012a). Pasak tyrimo autorių, šiuos nuokrypius galima sumažinti į modelio prognostinį algoritmą įtraukiant papildomus veiksnius, pvz., automobilių srautą ir kitus antropogeninius faktorius. Integruojant modelį į Suomijos, Švedijos ir Rusijos sprendimų priėmimo sistemą buvo pastebėta, kad rudenį prognozuojama neigiama paklaida, o pavasarį teigiama, ir jos auga einant laikui (Karanko ir kt., 2012; Karanko ir Saarikangas, 2014). Moksliniai tyrimai leidžia nuolat tobulinti, šalinanti pasitaikančius trūkumus ir modifikuoti METRo modelį (kas nesudėtinga), kadangi modelio kodas yra laisvai prieinamas ir modifikuojamas.

### 2.2.2. METRo modelio tinkamumo Lietuvos sąlygoms tyrimo duomenys ir metodika

Vertinant METRo modelio tinkamumą Lietuvos regionui, atlikto tyrimo objektas – „Via Baltica“ (A1, A5, A8, A17 ir E67) ir kelias Vilnius–Panevėžys (A2). Naudotos atraminės KOS, kurioms buvo atliktas TK: Maišiagalos, Saločių, Šėtos, Šilų ir Skriaudžių KOS. Naudotų duomenų laikotarpis: nuo 2016-11-14 iki 2017-01-04 (iš viso 51 diena). Rezultatams

pateikti laikotarpis buvo suskirstytas į 7 savaites, kurios pateiktos 2.2 lentelėje. Naudoti orų prognozės duomenys – iš LHMT HIRLAM, kurie atnaujinami kas 6 val. (00:00, 06:00, 12:00 ir 18:00 val. Lietuvos laiku) ir pateikiami LAKD 24 val. į priekį. Kadangi METRo reikia „jungtinio“ laikotarpio tarp KOS ir HIRLAM duomenų, kelio parametrų prognozė buvo sudaryta laikantis šių taisyklių:

- numatoma kelio parametrų prognozės pradžia:  $t_0$ , kuri gali būti viena iš keturių: 00:00, 06:00, 12:00 arba 18:00.
- naudoti KOS duomenys:  $t_1 = [t_0 - 36 \text{ val.}; t_0]$ .
- naudoti HIRLAM duomenys:  $t_2 = [t_0 - 12 \text{ val.}; t_0 + 12 \text{ val.}]$ .

Tokiu būdu, naudojantis 36 val. KOS, 24 val. HIRLAM duomenimis, kurių pusė (12 val.) „persidengia“ su KOS, gaunama bent 12 val. kelio parametrų prognozė. Kadangi HIRLAM modelio, kurio duomenys buvo naudoti sudarant METRo prognozes, prognozės pradžia ne visada buvo lygiai 00:00, 06:00, 12:00 arba 18:00 valandą, „jungtinis“ laikotarpis kai kur buvo trumpesnis ir todėl buvo sudaroma ilgesnė nei 12 val. prognozė.

2.2 lentelė. METRo modelio tinkamumo analizės tyrimo laikotarpiai.

Savaitė	Laikotarpis (imtinai)	
	Nuo	Iki
<b>1 savaitė</b>	2016-11-16	2016-11-22
<b>2 savaitė</b>	2016-11-23	2016-11-29
<b>3 savaitė</b>	2016-11-30	2016-12-06
<b>4 savaitė</b>	2016-12-07	2016-12-13
<b>5 savaitė</b>	2016-12-14	2016-12-20
<b>6 savaitė</b>	2016-12-21	2016-12-27
<b>7 savaitė</b>	2016-12-28	2017-01-03

2.3 lentelė. METRo kelio būklę apibūdinantis kodas ir KOS naudojamo kodo atitikmuo.

Metro kodas		Pritaikytas KOS kodo atitikmuo
Angliškai	Lietuviškai	
Black ice	„Juodasis“ ledas	Apledėjusi
Dew	Rasa (Drėgna)	Drėgna
Dry road	Sausa	Sausa
Ice/snow	Suledėjęs sniegas	Apledėjusi
Icing rain	Lijundra	Apledėjusi
Melting snow	Tirpstantis sniegas	Apsnigta
Mix water/snow	Pažliugęs sniegas	Pažliugęs sniegas
Wet road	Slapia	Slapia



Per analizuojamą laikotarpį teoriškai galėjo būti sudaryta 200 prognozių vienai stočiai, tačiau iš jų buvo sudarytos tik 92 (46 proc.), išskyrus Skriaudžių KOS, kuriai buvo sudaryta dar mažiau – 89 (44,5 proc.). Pagrindinės priežastys – nebuvo HIRLAM prognozės, trūko KOS duomenų arba KOS duomenys buvo brokuoti. Ypač daug trūkių Šėtos KOS, kas apsunkina METRo darbą ir sukelia daugiau netikslumų sudaromoje prognozėje. Didžiausias trūkis duomenyse – nuo 2016-12-17 02:00 iki 2016-12-20 00:20, kada nebuvo pastovių HIRLAM duomenų ir iš viso nebuvo sudaryta METRo prognozių.

METRo pateikiama prognozė kas 20 min., tačiau KOS duomenys – kas 15 min. (Maišiagalos, Šilų ir Saločių KOS) arba 3 min. (Skriaudžių ir Šėtos KOS). Be to, kai kurie tarpai tarp matavimų ilgesni dėl neilgų trūkių duomenyse. Dėl šių priežasčių KOS duomenys buvo perskaičiuojami naudojant tiesinės interpoliacijos principus. Kadangi tarpai tarp matavimų nebuvo ilgi, tai laikoma, kad perskaičiavimas neiškrepė rezultatų.

Tais atvejais, kai vienu laiko momentu buvo turimos kelios METRo prognozės (pvz., 2016-12-14 d. 12 val. turimos prognozės sudarytos 6 ir 12 val.), buvo naudojama naujesnė (šiuo atveju – 12 val.). Ankstesni METRo bandymai parodė, jog sudarytos prognozės nuokrypis auga tostant nuo prognozės pradžios, todėl toks sprendimas sumažina didesnės paklaidos riziką. Todėl operatyviniame darbe būtų naudojama naujausia prognozės versija, sudaryta pagal naujausius duomenis.

Vienas iš METRo prognozės paklaidos įvertinimo būdų, naudotų tyrime, buvo skirtumas tarp prognozuotos ir realiai išmatuotos reikšmės arba kitaip – nuokrypis:

$$\text{Nuokrypis} = f_i - y_i \quad (2.6)$$

kur teigiamas nuokrypis reiškia, kad prognozuota reikšmė viršijo realią, o neigiamas – nepasiekė realios, čia  $f_i$  – prognozuota reikšmė, o  $y_i$  – reali išmatuota reikšmė.

Kitas naudotas parametras buvo absoliuti vidutinė paklaida (toliau – MAE, angl. „Mean Absolute Error“):

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f_i - y_i| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| \quad (2.7)$$

kur  $|e_i| = |f_i - y_i|$  – prognozės nuokrypio modulis.

Siekiant patikrinti kelio būklės prognozę, perskaičiuoti KOS duomenis neįmanoma, nes naudojami skirtingi kodai. Todėl buvo atrinkti tie matavimai, kada matavimo laikas sutapo su prognozės laiku ir atlikta bendra duomenų analizė.

METRo turi 8 kelio būklę apibūdinančias kategorijas, o KOS – 6 (2.3 lentelė), todėl KOS kodo kategorijai „Apledėjusi“ buvo priskirtos trys METRo kodo kategorijos: „Juodasis ledas“, „Suledėjęs sniegas“ ir „Lijundra“. Tokiu būdu buvo galima palyginti prognozuotas ir išmatuotas reikšmes tarpusavyje.

## 2.3. Terminio kartografavimo metodika

Šiame poskyryje pateikiama terminio kartografavimo metodo taikymo taisyklės ir reikalavimai, Lietuvoje atlikto TK duomenų analizės metodika bei gautų rezultatų palyginimo metodika su Čekijoje atlikto TK rezultatais.

### 2.3.1. TK metodo taikymui keliami reikalavimai

Siekiant teisingai atlikti TK, reikia laikytis metodui iškeltų reikalavimų. Jų nesilaikant, gali būti gauti neteisingi duomenys, o jų interpretacija iškreipta (Shao ir kt., 1996). Šiame poskyryje pateikiami pagrindiniai TK reikalavimai, kuriais remiantis buvo atliktas TK 2015 m. Lietuvoje ir kurie sudaryti remiantis pasauline ir VU HKK mokslininkų patirtimi bei atliktais moksliniais tyrimais.

TK atliekamas ant automobilių (geriausia – lengvųjų), montuojant infraraudonųjų spindulių nuotolinius kelio dangos temperatūros prietaisus. Tokie davikliai privalo būti patikrinti ir sertifikuoti. Rekomenduojama daviklius montuoti automobilio priekyje, gale arba kaip rekomenduoja prietaiso gamintojas. Tokius daviklius gamina keletas įmonių, dažniausiai susijusių su kitais meteorologiniais prietaisais: „Vaisala“, „Teconer“, „Luft“, „MetSense“ ir kt.

Montuojant daviklį, jis turi būti nukreiptas į keleivio pusėje esančią automobilio padangos vėžę ir fiksuoti:

- kelio dangos temperatūrą.
- oro temperatūrą.
- GPS koordinates.
- matavimo momento datą ir laiką.
- altitudę (gali būti nustatyta ir naudojantis GIS metodais ar duomenimis).

Minimalus reikalavimas TK prietaisų erdvinei skiriamajai gebai yra 5 m, tačiau jautrūs šiuolaikiniai infraraudonųjų spindulių termometrų davikliai turi gebėti atlikti bent jau 10 matavimų per sek., kas atitiktų 2,5 m skiriamąją erdvinę gebą judant 90 km/val. greičiu.

Kelio ruožo matavimų rezultatų susiejimui naudojami KOS stočių duomenys. Todėl matavimų metu, pravažiuojant KOS, būtina užfiksuoti tikslų laiką, mobilaus (jutiklis ant automobilio) ir stacionaraus (KOS stotis) nuotolinių jutiklių kelio dangos temperatūros rodmenis. Pravažiuojant KOS stotį būtina važiuoti ta juosta, į kuria nukreiptas stacionaraus jutiklio spindulys. Tai galima atlikti „rankiniu“ būdu, užsirašant rezultatus pravažiavimo metu arba analizuojant duomenis vėliau.

Vienas iš pagrindinių TK uždavinių, naudojantis TG, atrasti ekstremalias sąlygas turinčius ir „šalčio taškus“ tiriamuose kelio ruožuose. Siekiant išryškinti kuo mažesnius kelio dangos temperatūros nuokrypius, TG turi būti sudaromi važiuojant antrąją (trečiąją) kelio juosta. Taip pat būtina tiriamuoju maršrutu pravažiuoti į abi puses, kadangi dėl nevienodų dangaus skliauto atvirumo, reljefo ypatybių, nevienodo eismo srautų intensyvumo gali susidaryti reikšmingi kelio dangos temperatūros skirtumai.

Kadangi TK procedūra skirta nustatyti minimalią kelio dangos temperatūrą šaltuoju metų laiku, kelio TG turi būti sudaromi tik šiuo metų laiku. Pats tinkamiausias oro temperatūros intervalas TK darbams – 5 °C...+5 °C. TG turi būti sudaromi tamsioju paros metu, kai oro ir kelio dangos temperatūra yra artimos minimalioms reikšmėms. Šis paros metas mažesnio eismo intensyvumo laikas, todėl darbams neturėtų trukdyti kitos transporto priemonės.

Kadangi net ir žiemą dienos metu kelio danga įšyla, o šiluma kaupiasi kelio konstrukcijoje (išilimas priklauso nuo sankasos grunto šiluminio laidumo ir talpumo), matavimai pradedami ne anksčiau kaip 2 val. po Saulės laidos. Maršrutinius matavimus pradėjus tik Saulei nusileidus, pradinis kelio ruožas būtų šiltesnis už kitus, kurie matuojami vėliau. Matavimai privalo būti užbaigti iki patekiant Saulei, kadangi kelio danga papildomai būtų šildoma Saulės spinduliuotės. Todėl, renkantis maršrutą, svarbu numatyti, kad jis būtų pradėtas ir baigtas tinkamu laiku, siekiant išvengti pašalinio Saulės spinduliuotės poveikio TK duomenims. Lietuvoje matavimai lapkričio ir vasario mėn. gali būti pradedami 20 val. ir baigiami iki 7–8 val. ryto (11–12 val. trukmė), o esant ilgiausioms naktims (gruodį–sausį) matavimus galima vykdyti nuo 19 iki 8 val., t. y., apie 13 val.. Kovo mėn. šis laikas sutrumpėja iki 8 val. (nuo 22 val. iki 6 val. ryto).

Orai, atliekant TK, skirstomi į tris tipus:

- I. giedri ir ramūs orai (anglų kalboje tokie orai vadinami „ekstremaliais“ – „*extreme*“) – būdingi didžiausi kelio dangos temperatūros skirtumai atskiruose kelio ruožuose.

- II. debesuoti su pragiedruliais arba besikeičiančio debesuotumo orai (anglų kalboje tokie orai vadinami „tarpiniais“ – „*intermediate*“) – būdingi vidutiniai kelio dangos temperatūros skirtumai atskiruose kelio ruožuose.
- III. apsiniaukę orai (anglų kalboje tokie orai vadinami „drėgnais“ – „*damp*“) – būdingi mažiausi kelio dangos temperatūros skirtumai atskiruose kelio ruožuose.

Kitose valstybėse dažnai naudojami tik du tipai – I ir III (Brazel ir kt., 1991; Belk, 1992). II tipo orai laikomi per daug kaitūs ir daugiau apima visas situacijas, kurios nepatenka į I arba III tipus, o ne apibrėžia konkrečias orų sąlygas. Be to, svarbiausia įvertinti ekstremaliausias sąlygas, kurias būtent parodo I ir III orų tipai. Taigi, norint sumažinti darbų apimtį, gali būti kartografuojama tik esant šiems orų tipams.

Planuojant TK darbus remiamasi skirtingais metodais analizuojamai teritorijai sudarytomis orų prognozėmis, atskiriems jos regionams ar pavieniams punktam. Oficialiai Lietuvos teritorijai ir jos regionams bei miestams orų prognozes sudaro LHMT. Orų prognozės kitai parai yra sudaromos daugiau kaip prieš 24 val. iki prognozės galiojimo pradžios laiko momento, tai yra prognozės sudarymo dieną iki 12 val.

Prieš priimant sprendimą, rekomenduojama įvertinti daugiau negu vieną informacijos šaltinį. Dažniausiai vienai organizacijai priklausantys SOPM apima žymiai didesnę teritoriją negu valstybės, kurioje yra ši organizacija, plotas. Tai suteikia galimybę įvertinti kelias skaitmenines prognozes. TK darbų organizacija ir vykdymas – tai brangiai kainuojantis procesas, todėl jų sėkmingo vykdymo užtikrinimui reikia tikslios orų prognozės, kurią profesionalus meteorologas turėtų sudaryti remdamasis keliais skirtingo tikslumo ir tipo SOPM šaltiniais. Tam tikslui tinkamiausi yra laisvai prieinami specialūs serveriai, kuriuose talpinama meteorologinė (analizės, diagnozės ir prognozės) informacija, gaunama iš skirtingų šalių meteorologinių tarnybų ir skirtingų SOPM. Pvz., Lietuvos teritoriją dengia Švedijos, Suomijos, Lenkijos ir kt. šalių meteorologinių organizacijų turimi modeliai bei viešai prieinami globalios cirkuliacijos modelių (GCM) žemėlapiai.

Pati populiariausia šiuose specializuotuose serveriuose prognozavimo sistema/modelis (daugiausia registruotų vartotojų ir didžiausias tinklalapių lankomumas) yra GFS (angl. „*Global Forecast System*“), priklausanti pačiam didžiausiam pasaulyje meteorologijos, atmosferos tyrimų ir prognozių koncernui NCEP (angl. „*National Centers for Environmental Prediction*“), kurio centras ir padaliniai yra JAV. Šis modelis prognozuoja

keltas dešimtis skirtingų meteorologinių kintamųjų paviršiuje ir skirtinguose atmosferos lygiuose bei įvairius paviršiaus ir gilesnių sluoksnių geofizinius kintamuosius. GFS skaitmeninės gardelės dydis šiuo metu yra 22 x 22 km visame Žemės rutulyje, prognozės atnaujinamos keturis kartus per parą (00, 06, 12 ir 18 val. Grinvičo laiku), prognozės maksimali trukmė – 16 parų su 6 val. intervalo išvesties duomenimis. Kiti populiarūs ir plačiai naudojami prognozavimui globalūs skaitmeniniai modeliai yra:

- dar vienas NCEP modelis NEMS (angl. „*NOAA Environmental Modelling System*“, kurio gardelių dydis – 12 x 12 km).
- Kanados Klimato centro GEM (angl. „*Global Environmental Multiscale Model*“) modelis, (25 x 25 km).
- Vokietijos Orų tarnybos (vok. „*DWD – Deutcher Wetterdienst*“) GME modelis (20 x 20 km), kurį neseniai pakeitė ICON (angl. „*Icosahedral Nonhydrostatic Model*“) modelis (6 x 6 km).
- Jungtinės Karalystės Meteorologijos Tarnybos (angl. „*UKMO*“) Globalus modelis (20 x 20 km).

Nors globalių modelių erdvinė (ir laikinė) raiška yra mažesnė negu regioninių ar lokalių, tačiau patikimos prognozės trukmė kelis kartus ilgesnė negu didelę raišką turinčių modelių. Taigi, šių modelių rezultatais galima remtis iš anksto planuojant TK darbus. Vidutinis tokios prognozės trukmės laikas neturėtų viršyti 5 parų, todėl savaitgalio darbus tektų planuoti savaitės pradžioje ir pan.

Nusprendus, kad prognozės galiojimo laikotarpiu yra tipinių orų sąlygų, tinkančių TK darbams vykdyti, reikia dar patikrinti skirtingų modelių prognostinius laukus: pvz., ar tikrai numatomu laikotarpiu vyraus anticikloninės sąlygos, lemiančios silpną vidutinį vėjo greitį, minimalios oro temperatūros priartėjimą prie 0 °C ribos, didelę santykinę drėgmę nakties metu ir žymius teritorinius oro temperatūros ir oro drėgnumo skirtumus. Visi globalūs modeliai savo struktūra yra panašūs, bet to, juose skaitmeniniu būdu palaikoma hidrostatinė pusiausvyra, todėl pirmomis prognozės paromis prognostinių slėgio laukų panašumas tarp modelių yra labai didelis – nedaug skiriasi gal tik paribio sluoksnio kintamųjų laukai: santykinė drėgmė, debesų dangos parametrai, paviršiaus temperatūra ir kt. Kitas žingsnis – tai užtikrintas bet kurio iš trijų orų tipų numatymas, darbų planavimas bei patys matavimai.

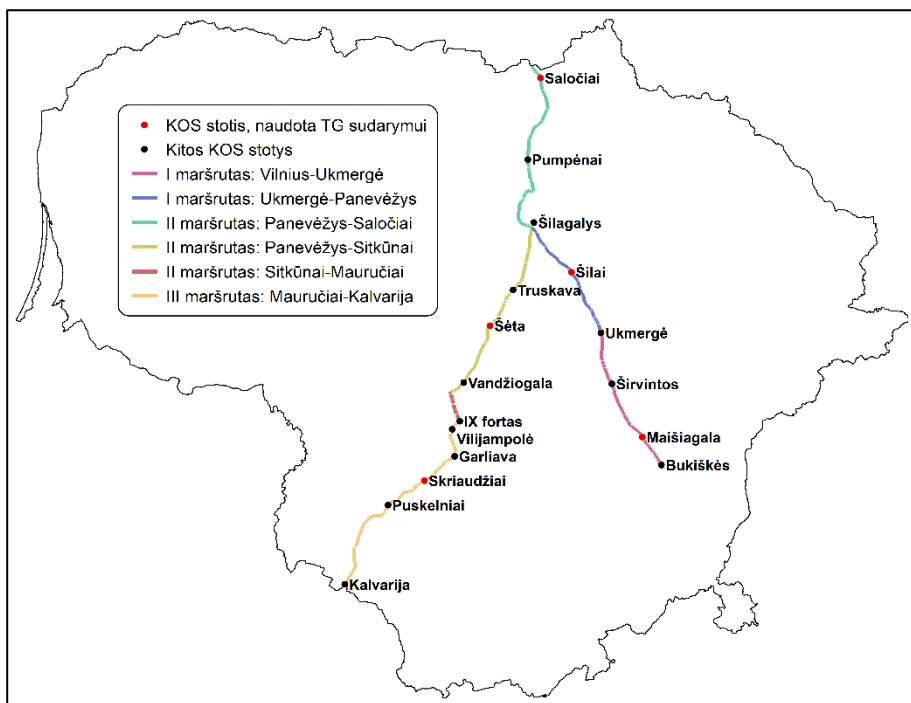
### 2.3.1. TK duomenys ir duomenų analizė

Šiame darbe buvo naudoti TK duomenys, kurie buvo surinkti 2015 m., tarptautinio kelio „ViaBaltica“ (E67) 266 km ilgio atkarpoje esančioje Lietuvos respublikoje – nuo Saločių pasienio posto (ties Lietuvos – Latvijos siena) iki Kalvarių pasienio posto (ties Lietuvos – Lenkijos siena). Kadangi matavimai buvo pradedami nuo Vilniaus, tai kartu buvo kartografuojamas ir A2 kelias Vilnius–Panevėžys, kurio ilgis – 135 km.

Kadangi visos E67 kelio atkarpos TK nėra įmanoma atlikti per vieną naktį, atkarpa padalinta į 2 maršrutus. Tokiu būdu buvo išskirti 3 maršrutai (2.4 pav.) ir, atlikus koreliacinę analizę, nustatytos reprezentacinės KOS stotys kiekviename kelio ruože:

- I maršrutas: Vilnius–Panevėžys:
  - 1 ruožas: Vilnius–Ukmergė, reprezentacinė KOS stotis: Maišiagala; kitos stotys: Bukiškės, Širvintos ir Ukmergė.
  - 2 ruožas: Ukmergė–Panevėžys, reprezentacinė KOS stotis: Šilai; kitų stočių šiame ruože nėra, tačiau duomenų vertinimui naudotos šalia buvusios stotys: Ukmergės ir Šilagalio.
- II maršrutas: Saločiai–Mauručiai:
  - 1 ruožas: Sitkūnai–Mauručiai, reprezentacinė KOS stotis: Šėta; ruože esanti IX forto stotis nenaudota kaip reprezentacinė dėl nekokybiškų duomenų.
  - 2 ruožas: Panevėžys–Sitkūnai, reprezentacinė KOS stotis: Šėta; kitos stotys: Truskava ir Vandžiogala, šalia kelio ruožo buvusi stotis: Šilagalio.
  - 3 ruožas: Panevėžys–Saločiai, reprezentacinė KOS stotis: Saločiai; kita stotis: Pumpėnai, šalia kelio ruožo buvusi stotis: Šilagalio.
- III maršrutas: Mauručiai–Kalvarija, reprezentacinė KOS stotis: Skriaudžiai; kitos stotys: Vilijampolė, Garliava, Puskelniai ir Kalvarija.

Vietinės aplinkos sąlygos buvo įvertintos pravažiuojant abiem kelio E67 maršrutais šviesiuoju paros metu, o papildomai – pasinaudojus EIS sistemoje turimais duomenimis, GIS ir Google Maps pateiktais žemėlapiais.



**2.4 pav.** Kelio ruožai (pažymėti skirtingomis spalvomis), kuriems buvo atliekamas TK ir KOS stotys, esančios šiuose kelio ruožuose: reprezentacinės stotys naudotos TG sudarymui.

TK atliktas naudojant infraraudonųjų spindulių jutiklius, šiuo atveju – RCM411 (gamintojas – „Teconer“), kuris buvo tvirtinamas ant automobilio kablo, nukreiptas į dešinę pusę (ties keleivio vieta). Daviklis Bluetooth ryšiu susietas su mobiliuoju telefonu, esančiu automobilio salone. Telefonas registravo visus išmatuotus duomenis bei veikė kaip GPS imtuvas. Po kiekvieno maršrutinio matavimo duomenys iš telefono buvo įrašomi ir išsaugomi skaitmeninėje laikmenoje, naudojant USB jungtį.

Išskiriant orų tipus, pagrindinis kintamasis yra debesų danga, kuri tamsiuoju paros metu lemia paviršiaus ilgabangio spinduliavimo intensyvumą ir teritorinius kelio dangos paviršiaus temperatūros skirtumus. Be to, teritoriniai skirtumai tuo didesni, kuo ramesnis (mažesnis vėjo greitis) ir stabilesnis oras (pastovi atmosferos stratifikacija). Pats palankiausias slėgio laukas tokioms orų sąlygoms susidaryti ir išsilaikyti bent dalį paros, būna mažai judriuose anticiklonuose ir mažų gradientų bariniuose laukuose.

Atsižvelgiant į orų sąlygų prognozes, 2014–2015 m. žiemos sezonu TK buvo atliktas 7 kartus:

- I tipas (giedra) – 2015 m. sausio 6–7 d. ir 2015 m. vasario 17–18 d.
- II tipas (pereinamas) – 2015 m. sausio 15–16 d. ir 2015 m. vasario 13–14 d.
- III tipas (apsiniaukę) – 2015 m. sausio 19 d., 2015 m. vasario 5–6 d. ir 2015 m. vasario 26–27 d.

Surinkus visus duomenis jie buvo patikrinti keliais etapais. Toliau pateikti pagrindiniai tikrinimo kriterijai ir kiti svarbūs duomenų apdorojimo aspektai.

*Duomenų kokybės patikra.* Nutrūkusios ar praleistos duomenų eilutės buvo rekonstruotos bei ištaisyti klaidingai užrašyti matavimų duomenys (pvz., 5,,43). Tada patikrinta informacija apie judėjimo greitį. Kai kuriais atvejais (pvz., vasario 5 d.) judėjimo greičio rodmenys „šokinėdavo“ ir siekė net 1600 km/val., o tai iškreipdavo ir nuvažiuoto atstumo duomenis. Kadangi judėjimo greitis bei įveiktas atstumas yra apskaičiuojamas pagal fiksuojamų koordinacių pokytį, tai minėtas klaidas galima sieti su koordinacių nustatymo netikslumais. Kelio ruožai su tokio pobūdžio klaidomis buvo „iškerpami“, o susidarę tarpai užpildomi tiesinės interpoliacijos metodu. Taip pat buvo pašalinti atvejai, kada automobilis išsukdavo iš pagrindinio kelio, o susidarę tarpai – interpoliuoti.

*Duomenų susiejimas su kelio ruožais.* Visi surinkti duomenys buvo priderinti prie kelių kilometrinių ruožų (atžymų stulpelių padėtimi). Siekiant, kad visi matavimai prasidėtų ir baigtųsi viename taške, buvo „apkirpti“ maršrutų galai, kad šie sutaptų erdvėje. Taip pat nustatyta tiksli vieta duomenų sekoje, kada automobilis pravažiavo KOS stotį.

*Vizualus ir grafinis duomenų sekos tikrinimas.* Ar duomenys tinkami TG sudarymui, pirmiausiai tikrinta vizualiai ir grafiškai. Atkreiptas dėmesys į:

- Ar tolygiai kinta rezultatai duomenų sekos pradžioje? Dažniausiai matavimus atliekanti transporto priemonė pradiniam maršruto taške sustoja dėl išilusio variklio poveikio, todėl maršruto pradžios duomenys (pirmieji 40–80 m) gali būti ne visai tikslūs. Jei įtariami netikslumai, šie duomenys eliminuoti.
- Ar duomenų sekoje nėra praleistų matavimo rezultatų? Kartais dėl trumpalaikių matavimų sutrikimų kelio ruože gali būti matavimo spragų. Kai sutrikimas buvo trumpalaikis (iki 100–150 m), seka rekonstruojama interpoliuojant turimus duomenis.



- Ar nėra fiksuojama tolygi ar šuoliška jokiais aplinkos faktoriais nepaaiškinama kelio dangos temperatūros kaita? Jei pastebimi sekos lūžiai ar ypač ryškūs trendai, kurie nebuvo nustatyti kitų matavimų tomis pačiomis orų sąlygomis ir jų negalima paaiškinti kelio ruožo aplinkos ypatumais, galima įtarti matavimo prietaisų gedimą. Tuomet matavimo duomenys yra brokuojami.

*Temperatūros svyravimų amplitudė.* Svyravimų amplitudė – tai skirtumas tarp maksimalios ir minimalios temperatūros kelio ruože. Didžiausia temperatūros amplitudė keliai pasižymi giedromis ir mažai vėjuotomis naktimis, mažiausia amplitudė – apsinaukusiomis, drėgnomis ir vėjuotomis naktimis. Tačiau svyravimų amplitudė gali būti nepakankamai informatyvus rodiklis, jei analizuojami pavienių taškų (maksimalaus ir minimalaus) temperatūros skirtumai. Šiuo atveju didelė amplitudė gali būti gauta dėl trumpalaikio techninio gedimo ar dėl labai smulkių kelio ypatumų, t. y. „techninio triukšmo“ (pvz., tepalo dėmė ant kelio ir pan.). Todėl, prieš vertinant amplitudę, buvo nustatyta, ar ekstremalia temperatūra pasižymėjo atskiras taškas, ar išryškėjo kelio ruožas, kuriame kelių ar keliolikos taškų reikšmės buvo labai artimos ekstremaliai. Be to, reikia atsižvelgti ir į mikroklimato priežastis, galimai nulėmusias ekstremumų susidarymą. Jei ekstremumas taškinis ir jis neišryškėja kitų matavimų to paties orų tipo sąlygomis metu, tai jo nereikėtų laikyti ekstremaliu kelio ruožo tašku (to taško rodmenys brokuojami). To paties orų tipo matavimuose ekstremumų vieta ir svyravimų amplitudė turėtų sutapti.

*Duomenų sekos standartinis nuokrypis.* Ekstremaliomis sąlygomis, kai temperatūros svyravimai didžiausi, vidutinis kvadratinis sekos narių nuokrypis taip pat yra pats didžiausias. Atliekant matavimus to paties tipo orų sąlygomis, standartinio nuokrypio reikšmės turėtų būti panašios ( $\pm 20$  proc. nuo  $\sigma$ ) ir skirtis nuo kitomis orų sąlygomis atliktų matavimų rezultatų vidutinio sekos narių kvadratinio nuokrypio. Dėl ankščiau minėtų priežasčių šis rodiklis geriau atspindi temperatūros kaitos ekstremalumą nei svyravimų amplitudė.

*Koreliacijos koeficientas.* Jei koreliacijos koeficiento reikšmė yra aukštesnė nei 0,6–0,8 (arba siekia bent 95 proc. patikimumo lygmenį), galima teigti, kad matavimai atlikti esant tam pačiam orų tipui. Žemesnis koreliacijos koeficientas gali reikšti, kad nebuvo tiksliai nustatytas orų tipas, matavimas vyko labai permainingomis orų sąlygomis, netiksliai užfiksuotas nuvažiuotas atstumas arba įvyko matavimo prietaisų gedimas. Tokiu atveju tikrinama, ar seka nėra priskirtina kitiems orų tipams. Jei glaudaus

koreliacinio ryšio nenustatyta ir su matavimų, atliktų kitais orų tipais, sekomis, duomenų seka brokuojama.

Kita vertus, koreliacinis ryšys gali būti silpnas ir tais atvejais, jei temperatūros pokyčiai kelyje nėra ryškūs ir svyruoja matavimo prietaisų tikslumo ribose. Šiuo atveju labai sunku sudaryti patikimą TG, nes reikalingas didesnis (3–4 ir daugiau) maršrutinių matavimų skaičius, kad išryškėtų kelio ruožo terminiai ypatumai.

*Duomenų išlyginimas.* Matavimų metu automobilio greitis kito priklausomai nuo susidariusios situacijos – atliktas lenkimo manevras, greitis sulėtintas arba padidintas, atsižvelgiant į kelio pokyčius ar posūkius ir kt. Dėl šių priežasčių atstumai tarp dviejų gretimų matavimo taškų dažnai nebuvo vienodi. Siekiant palengvinti duomenų interpretaciją, tiesinės interpoliacijos būdu visos reikšmės buvo perskaičiuotos, suvienodinant atstumus tarp taškų – 20 m.

*Duomenų filtracija.* Sudarant TG, susiduriama su kai kuriomis statistinio pobūdžio problemomis: pirminiame daviklių registruojamame signale išryškėja aukšto dažnio statistinis triukšmas, kuris terminiuose profiliuose (temperatūros kreivėse) matomas kaip išsišokančios smailės. Šios terminio profilio smailės pagal prigimtį yra atsitiktinės ir dažniausiai nepasikartoja tiriant tą patį kelio ruožą iš naujo. Toks triukšmas gali būti nulemtas matavimo sistemos sutrikimų, mechaninio poveikio, vietinių sąlygų staigių pokyčių ir, žinoma, pašalinių medžiagų sluoksnio ant kelio dangos susidarymo.

Tam, kad terminis profilis teisingai atspindėtų kelio paviršiaus būvį, aukšto dažnio statistinį triukšmą būtina pašalinti filtruojant (Shao ir kt., 1996). Vienas tokių statistinio filtravimo pavyzdžių galėtų būti paprastas slankiųjų vidurkių metodas. Tačiau šis filtras terminiam profilyje vienodai išlygina ne tik triukšmą, bet ir staigius pokyčius, atsirandančius dėl realių kelio dangos temperatūros pokyčių. Tokių pokyčių pavyzdžiais gali būti staigi paviršiaus savybių kaita dėl reljefo ir meteorologinių sąlygų (ypač oro temperatūros) pasikeitimų. Šito būtų galima išvengti naudojant Gauso filtrą, kuriame naudojama sekos triukšmui panaikinti, svoriniai koeficientai, mažėjantys nuo vidurinės intervalo reikšmės, kurio vidurkis skaičiuojamas. Teoriškai Gauso filtras gali iš sekos pašalinti didžiąją triukšmo dalį, tuo tarpu realūs temperatūros pokyčiai išlieka.

Atlikus pirminį duomenų vertinimą, staigių temperatūros šuolių, nesusijusių su gautu duomenų triukšmu, nenustatyta, todėl nuspręsta naudoti slankiųjų vidurkių metodą. Vidurkis skaičiuotas  $\pm 100$  m atstumu nuo centrinio taško.

*Oro sąlygų pokyčių įtakos eliminavimas.* Per naktį dažniausiai temperatūra krenta, ypač esant giedriems orams, arba I orų sąlygų tipui. Dėl šios priežasties duomenyse gali atsirasti temperatūros kaitos trendas, kuris yra visiškai nesusijęs su kelio mikroklimato sąlygomis. Siekiant eliminuoti tokių pokyčių įtaką, duomenų eilės detrendizacija, t. y., naudojantis artimiausios KOS stoties duomenimis, nustatytas duomenų eilės trendas ir iš pirminių duomenų atimtas šio pokyčio dydis.

*Santykinės temperatūros skaičiavimas.* Atlikus visus prieš tai aptartus duomenų patikros etapus, iš kiekvieno duomenų sekos taško parametro buvo atimti pasirinktos KOS stoties parametrų duomenys, atsižvelgiant į laiko

2.4 lentelė. Vidutinio kelio dangos temperatūros skirtumo (tarp išmatuotų KOS stotyje ir mobiliais davikliais) moduliai (°C), esant skirtingoms orų sąlygoms, ir jų sumos.

KOS stotis	Vidutinių kelio dangos temperatūrų skirtumų moduliai			
	Giedra (I)	Pereinamas (II)	Apsiniaukę (III)	Suma
Bukiškės	1,1	1,0	0,3	2,4
Maišiagala	0,8	1,1	0,0	1,9
Širvintos	0,8	1,1	0,1	1,9
Ukmergė	0,2	0,9	0,2	1,3
Šilai	0,9	1,1	0,2	2,2
Truskava	1,3	0,7	0,8	2,8
Šėta	0,5	1,3	1,3	3,0
Vandžiogala	1,8	0,7	0,9	3,3
Vilijampolė	3,1	0,8	0,9	4,8
Garliava	1,8	0,8	0,9	3,4
Skriaudžiai	0,1	0,6	1,0	1,7
Puskelniai	2,1	0,4	0,7	3,1
Kalvarija	0,3	1,1	0,8	2,2
Pumpėnai	0,7	0,9	0,5	2,1
Saločiai	0,0	0,5	0,4	0,9

2.5 lentelė. Kelio ruožai su joms priskirtomis KOS stotimis, nuo jų skaičiuojami kelio dangos temperatūros nuokrypiai.

Kelio ruožas	KOS stotys
Vilnius–Ukmergė	Maišiagala
Ukmergė–Panevėžys	Šilai
Panevėžys–Saločiai	Saločiai
Panevėžys–Sitkūnai	Šėta
Sitkūnai–Mauručių viadukas (Kaunas)	Šėta
Mauručių viadukas–Kalvarija	Skriaudžiai

momentą. Tokiu būdu gauta santykinė kelio dangos temperatūra, kuri KOS stoties vietoje yra lygi 0 °C, o tolstant nuo jos – kinta atitinkamai pagal mikroklimato sąlygas. KOS stoties pasirinkimas (2.5 lentelė) paremtas vidutiniu nuokrypio nuo mobiliais davikliais išmatuotos temperatūros modulių skirtingų orų tipų metu suma (2.4 lentelė) bei KOS stoties lokacija kelio ruože.

TK rezultatai yra 2 dimensijų (2D) grafikai. Jie „terminių atspaudų“ pavidalu gali būti pateikiami kaip kelio dangos temperatūros nuokrypiai nuo atraminės KOS stoties. Tačiau pasitelkus GIS gautus rezultatus, galima pateikti lengviau suprantamoje ir greičiau analizuojamoje formoje.

Naudojant skaitmeninį Lietuvos automobilių kelių GIS sluoksnį, TG pateikti kaip spalvota kelio juosta, kurios spalvų kategorijos nusako kelio dangos temperatūros nuokrypį.

GIS automobilių kelių sluoksnyje, kuriame būtų įrašyta TK informacija, kelias buvo suskirstytas į homogeniškus ruožus, kurių kiekvienas turi kelio dangos paviršiaus temperatūros nuokrypio atributą. Tokiu būdu TK informacija nesudėtingai pateikiama vartotojui ją vizualizuojant pagal pasirinktas spalvas. Be to, tokie duomenys naudojami susiejant TK su KOS ir vaizduojant transporto informacinėse sistemose (pvz., EIS) momentines orų sąlygas keliuose.

### 2.3.2. TK rezultatų Lietuvoje ir Čekijoje palyginimas

TK rezultatų tyrimas buvo atliktas pastebėjus, kad Lietuvos TK duomenys pasižymi didele neapibrėžtimi bei įtarus, jog renkant duomenis nebuvo laikytasi visų metodikoje aprašytų taisyklių. Norint patikrinti gautus rezultatus, nuspręsta palyginti Lietuvos TK su kitoje teritorijoje atlikto TK rezultatais. Tačiau TK pirminiai duomenys dažniausiai yra neprieinami jau atlikus analizę. Viena iš priežasčių – tai dideli duomenų masyvai, kuriuos sunku pritaikyti kitai paskirčiai, todėl dažnai jie nėra saugomi ir paliekami tik TG. Be to, TK yra brangus procesas, todėl surinkti duomenys dažnai nėra viešinami. Taigi, gauti patikimų duomenų, kuriais būtų galima remtis atliekant analizę, buvo sudėtinga.

Nepaisant to, autorės atliktos mokslinės praktikos metu Geteborgo universitete (Švedija), gautas nemažas TK duomenų masyvas, kuris panaudotas šios analizės metu. Lietuvos ir Čekijos klimatas turi kelis esminius skirtumus – nors vidutinė oro temperatūra ir kritulių kiekis yra panašūs, jų erdvinė sklaida ir vyraujančios meteorologinės sąlygos atskiruose rajonuose yra visiškai skirtingos. Tai labiausiai nulemta šių teritorijų orografijos (detaliau šie skirtumai aptarti darbo rezultatų 0

poskyryje). Taigi, siekiant palyginti šias dvi skirtingas duomenų sekas, pirmiausia buvo įvertinti statistiniai kelio ir TK rezultatų parametrai bei jų kaita Čekijoje, o tada įvertintas tų pačių parametru ir jų kaitos tendencijų pasikartojimas Lietuvoje.

Terminio kartografavimo duomenys iš Čekijos buvo surinkti 2012–2017 m. žiemomis. Po pirminės duomenų analizės buvo pasirinktos dvi kelio atkarpos, tad panaudotos tik kelios duomenų imtys iš 2015 m. duomenų sekos: CZ1 atkarpa kelyje Nr. 18 (nuo Olbramovice iki Příbram) ir CZ2 atkarpa kelyje Nr. 19 (nuo Tabor iki Lety) (matuojant 3–4 kartus ekstremalioomis ir 1 kartą drėgnomis sąlygomis). Visos atkarpos yra apie 45–50 km ilgio, sąlyginai tiesios ir be didesnių pokyčių. Šie kelio ruožai (CZ1 ir CZ2) buvo pasirinkti analizei, nes yra kalnuotuose regionuose, aukštis virš jūros lygio juose keičiasi staigiai ir nuolatos.

Terminio kartografavimo duomenų seka iš Lietuvos buvo surinkta 2015 m. sausį ir vasarį (detaliau aprašyta 2.3.1 poskyryje). Dėl matuotų kelių skirtumų, visa duomenų imtis padalinta į keturias pagrindines dalis: LT1 greitkelyje A2 (iš Vilniaus į Panevėžį), LT2 greitkelyje A17 ir E67 kelyje (iš Panevėžio į Saločius), LT3 kelyje E67 (iš Panevėžio į Kauną) ir LT4 greitkelyje A5 ir E67 kelyje (iš Kauno į Kalvariją), neįtraukiant didesnių sankryžų ir kelio vingių. Šios atkarpos sąlyginai tiesios ir tik skyrėsi ilgiu – apytiksliai nuo 78 iki 118 km. Lietuvos keliai matuoti tuo metu, kai buvo trys skirtingi orų tipai: giedromis (I tipas, ekstremalių sąlygų ekvivalentas), vidutinėmis (II tipas) ir debesuotomis (III tipas, drėgnų oro sąlygų ekvivalentas) naktimis. Vidutinės sąlygos šiam tyrimui nebuvo naudotos. Taip pat, po pirminių vertinimų, LT2 matmenys pašalinti iš analizės, siekiant sudaryti geriausias sąlygas analizei atlikti. Lietuvos keliuose altitudė nebuvo matuota, todėl reikiami duomenys buvo gauti iš Lietuvos georeferencinės duomenų bazės (GDR10LT). Taigi, ši informacija neatspindi absoliučios kelio altitudės, o greičiau santykinį kelio segmento (taško) aukštį jį supančios aplinkos atžvilgiu.

Siekiant sudaryti kuo lengvesnes sąlygas palyginti skirtingų valstybių duomenis tarpusavyje, buvo atliktas duomenų paruošimas GIS aplinkoje. Pirmiausia buvo išskirta 10 metrų buferinė zona aplink analizuojamus kelius. Tokiu būdu taškai, kurie dėl nedidelių GPS duomenų netikslumo nesutapo tiksliai su automobilių kelių sluoksniu, vis tiek pateko į analizę. Tada buvo panaudotas paprastojo *kriging* interpoliacijos metodas (su sferiniu dalinės variogramos modeliu) ir apskaičiuotas teorinis temperatūros pasiskirstymas buferinėje zonoje kiekvieno matavimo metu atskirai. Tokiu būdu duomenys buvo išlyginti bei išfiltruoti (principas laikomas analogišku slankiųjų

vidurkių metodui TG sudarymo metu). Tada iš gautų erdvinų duomenų buvo išrinktos reikšmės kelio atkarpos kas 25 m.

Naudojant TK ir kitus erdvinis duomenis iš georeferencinių duomenų bazių, apskaičiuoti įvairūs statistiniai parametrai. Kad būtų galima įvertinti kraštovaizdžio pokyčius šalia kelio, keliai buvo suskirstyti į paviršiaus depresijas – dalis ribojamas dviejų santykinų altitudžių paaukštėjimų, ir iš jų analizuoti tik tie, kurių gylis siekė bent 1 m. Taip pat buvo apskaičiuotas ir procentas kelio, kuriame galėjo susidaryti šalto oro sancaupos (ŠOS):

$$\text{ŠOS} = \frac{l_{\text{šOS}}}{l} \times 100\%, \quad (2.8)$$

kai:  $l_{\text{šOS}}$  – kelio atkarpos ilgis, kuris atitinka šiuos reikalavimus: vietos, kur kelias buvo šaltesnis nei oras, o slenkanti koreliacija ( $\pm 0,5$  km) tarp kelio temperatūros ir altitudės buvo  $+0,8$  ar daugiau (ekstremaliomis sąlygomis);  $l$  – pilnas kelio ilgis; abu  $l_{\text{šOS}}$  ir  $l$  turi turėti tuos pačius matavimo vienetus.

Vertinant artimiausios kelio segmento aplinkos įtaką, buvo atsižvelgta į 0,5 km spindulio zoną aplink analizuojamą tašką, t. y., kiekvienam kelio segmentui buvo sukurtas 0,5 km spindulio buferis ir įvertinti jame esantys aplinkos elementai, pvz., miškas. Tarp šių kelio segmentų ir aplinkos elementų parametru reikšmių buvo skaičiuojamas Pirsono koreliacijos koeficientas. Dichotominiams parametrams, pvz., ar šalia yra miškas (atsakymas gali būti tik „taip“ arba „ne“), buvo pasirinktas 25 m spindulio plotas aplink kelią ir skaičiuotas taškinis dviejų duomenų sekų koreliacijos koeficientas (angl. „*point-biserial*“), kuris laikomas matematinio Pirsono koreliacijos ekvivalentu, kai viena iš sekų yra dichotomiška (Gupta, 1960). Visi šioje analizėje pateikti koreliacijos koeficientai statistiškai patikimi, kai  $p = 0.01$ .

### 3. KLIMATO KAITOS SĄLYGOS LIETUVOS KELIUOSE XXI A.

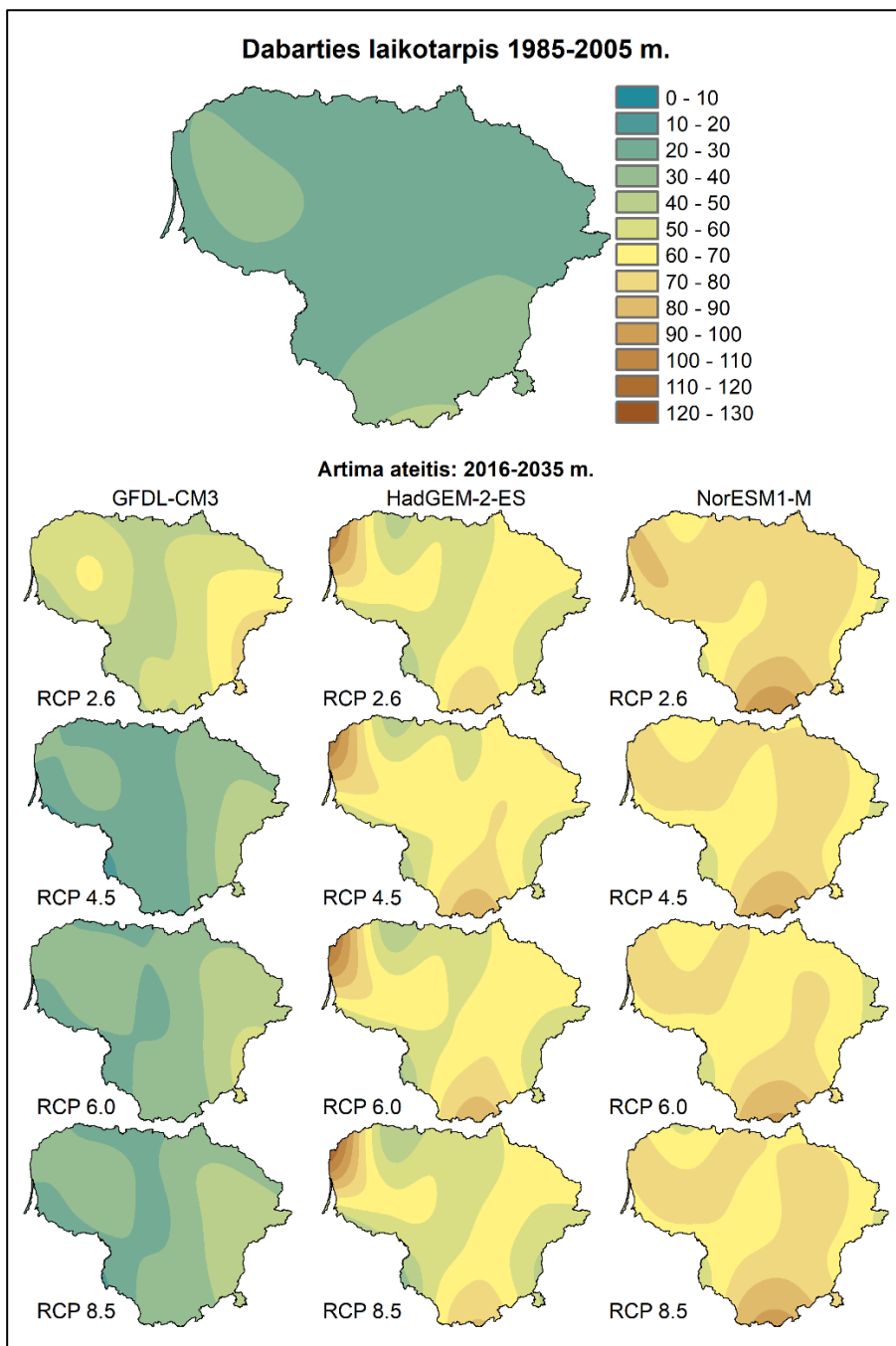
Vidutinių platumų klimato nulemtos ypač kaičios oro sąlygos (Gulev ir kt., 2001; Lucarini ir kt., 2007) tampa iššūkiu kelių priežiūros specialistams: vienais metais sniego gali būti labai daug, o oras išlikti šiltas (aukšta kasdienė avarių rizika ir didelės priežiūros kainos), kitais metais gali būti šalta ir sausa (pasiruošimo stoka, mažesnės priežiūros kainos, bet aukštesnės laukimo kainos). Klimatui keičiantis, sunku įvertinti ko galima tikėtis iš orų ateityje. Dabartinės apibendrintos klimato prognozės numato, kad padidės orų kaitumas ir padažnės ekstremalios sąlygos (IPCC, 2014). Analizuojant Lietuvos klimatą ir jo kaitą (Keršytė ir kt., 2015) iki 2100 m., buvo nustatyta, kad vidutinė metinė oro temperatūra išaugs (ypač šaltuoju metų laiku) ir gali pakilti 1,5–5,0 °C, o vidutinis kritulių kiekis išaugs 3,7–13,5 proc. (ypač spalio–gegužės mėnesiais).

#### 3.1. Dienos, kai temperatūra svyruoja apie 0 °C

Dabarties sąlygų laikotarpiu (1986–2005 m.)  $T_{\pm 0}$  reikšmės panašiai pasiskirstę erdvėje visoje Lietuvoje – vidutiniškai apie 20–40 dienų per metus (3.1 arba 3.2 pav.), aukštumose reikšmės didesnės (30–40 dienų), pavyzdžiui, Žemaičių aukštumoje, žemumose ir lygumose – mažesnės (20–30 dienų). Pajūrio zona neišsiskiria dėl švelnesnių žiemos orų sąlygų.

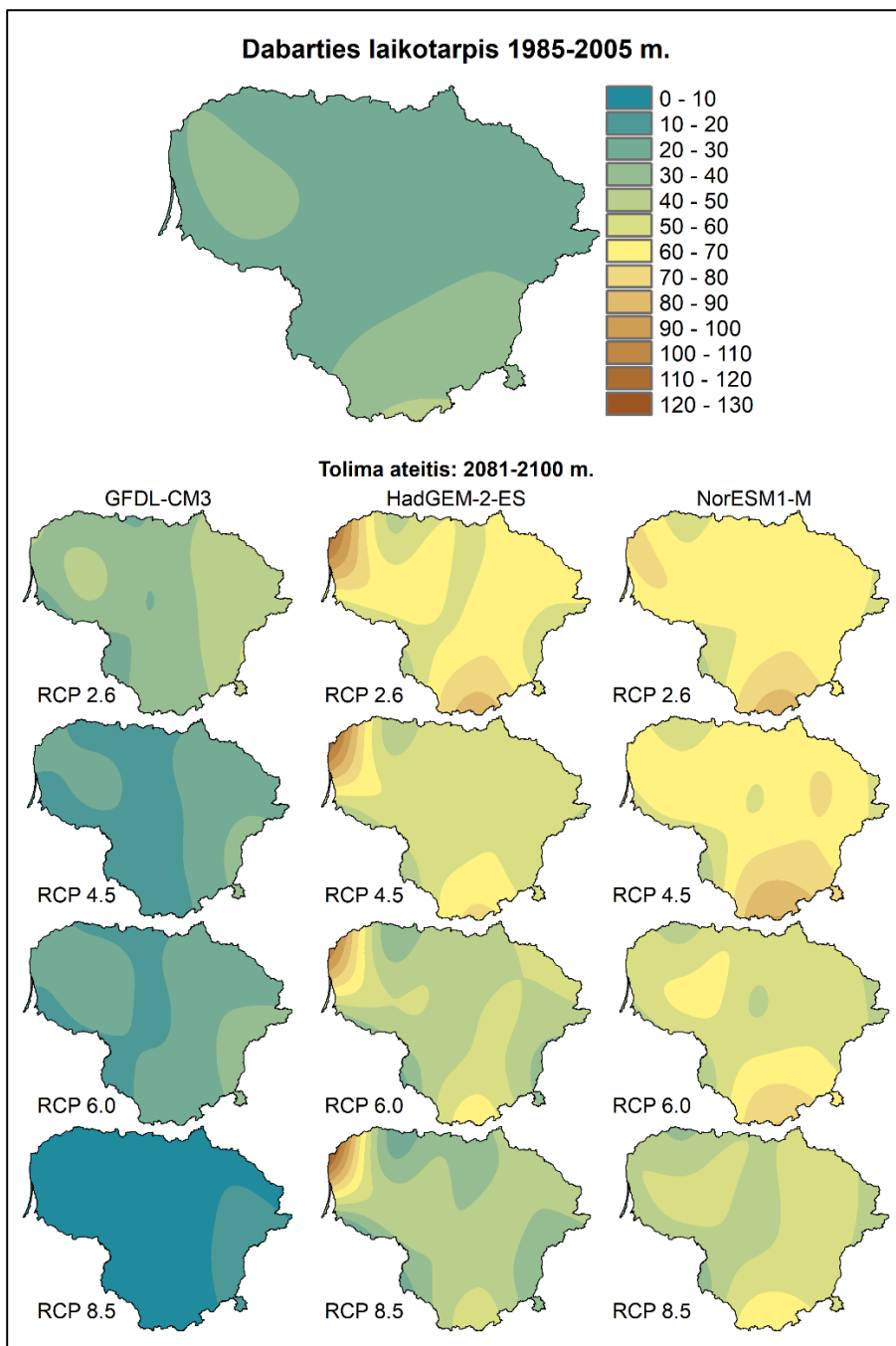
Tyrimas Toronto regione Kanadoje (Ho ir Gough, 2006), kurio platumai panašūs į Lietuvos, parodė, kad iki amžiaus pabaigos prognozuojamas dažnesnis užšalimo-atlydžio ciklas (prognozė sudaryta naudojant daugianares lygtis). Šis ciklas labai panašus į analizuojamą  $T_{\pm 0}$  parametą, todėl pastarojo kaita irgi panaši: GCM prognozės rodo (artimos ateities 3.1 pav., o tolimos ateities 3.2 pav.), kad  $T_{\pm 0}$  išaugs (analizuojant visus RCP scenarijus), tačiau skirtingi GCM pateikia nevienodas reikšmes. GFDL-CM3 netolimos ateities projekcijos (2016–2035 m., 3.1 pav.3.2 pav.) prognozuoja žemiausias  $T_{\pm 0}$  reikšmes (20–80 dienų per metus), HadGEM2-ES – ryškiai išskiriama pakrantės zona (iki 120–130 dienų per metus), o NorESM1-M teikia aukščiausias iš visų  $T_{\pm 0}$  vidutines reikšmes (50–100 dienų per metus).

$T_{\pm 0}$  tolimos ateities visų GCM projekcijų (2081–2100 m., 3.2 pav.) rezultatai taip pat pasiskirstę erdvėje, tačiau reikšmės vidutiniškai mažesnės: apie 0–40 dienų per metus pagal GFDL-CM3, 20–80 dienų pagal



3.1 pav. Dienų skaičius per metus, kai oro temperatūra svyravo apie 0 °C ( $T \pm 0$ ): dabarties laikotarpio (viršuje) ir netolimos ateities (2016–2035 m.) projekcijos pagal skirtingus RCP scenarijus (horizontaliai) ir GCM (vertikaliai).





3.2 pav. Dienų skaičius per metus, kai oro temperatūra svyravo apie 0 °C ( $T \pm 0$ ): dabarties laikotarpio (viršuje) ir tolimos ateities (2081–2100 m.) projekcijos pagal skirtingus RCP scenarijus (horizontaliai) ir GCM (vertikaliai).

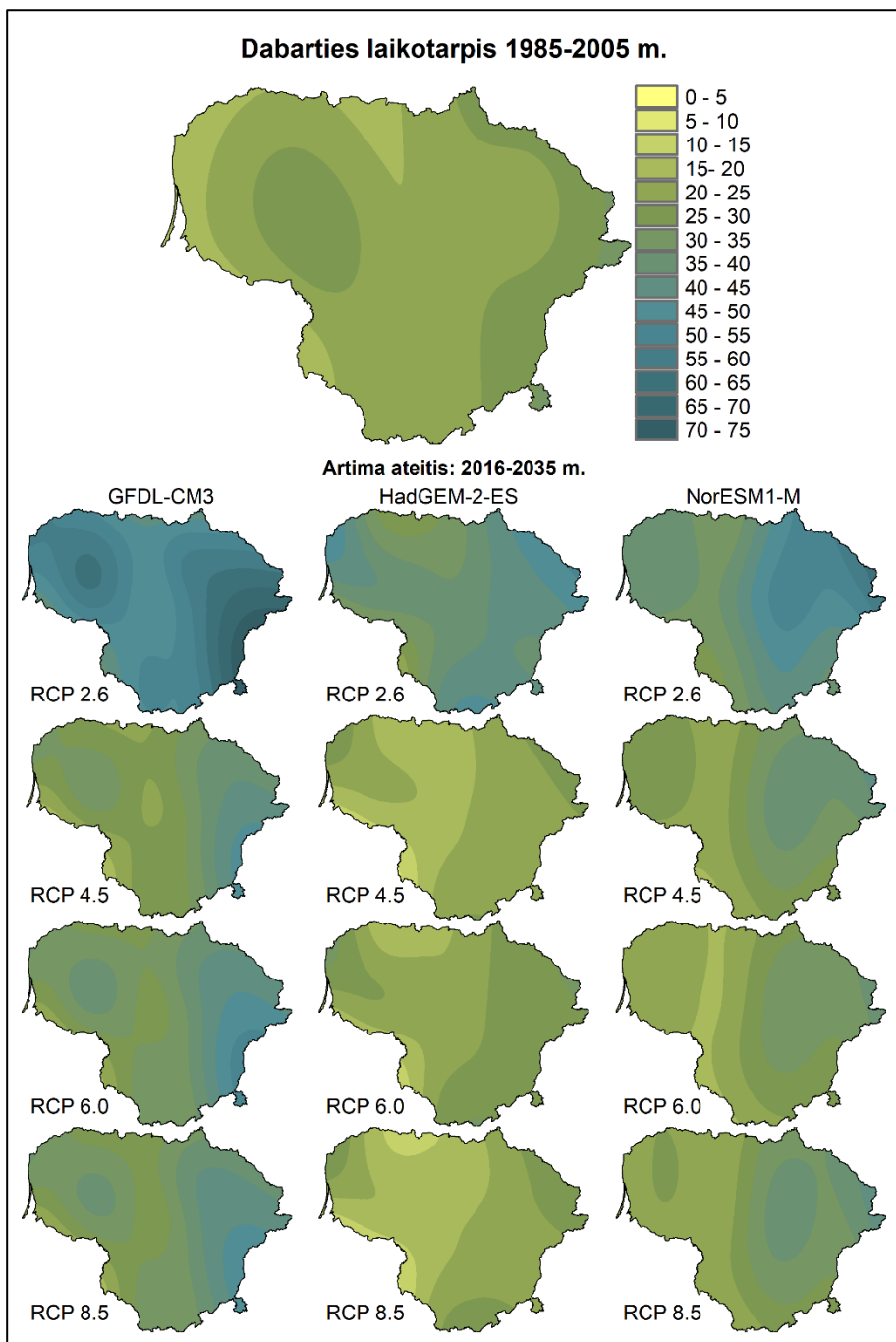
HadGEM-2ES (neskaitant išsiskiriančios pakrantės zonos) ir 20–90 pagal NorESM1-M. Be to, kuo scenarijus aprašo didesnę žmonių įtaką klimatui (nuo RCP2.6 iki RCP8.5), tuo reikšmės žemesnės. Tai leidžia manyti, kad amžiaus pabaigoje, lyginant su artimos ateities prognoze, dienų skaičius, kai temperatūra svyruos apie 0 °C, sumažės, bet jų vis vien išliks kur kas daugiau nei dabar (1986–2005 m. laikotarpiu).

### 3.2. Dienos, kai sninga

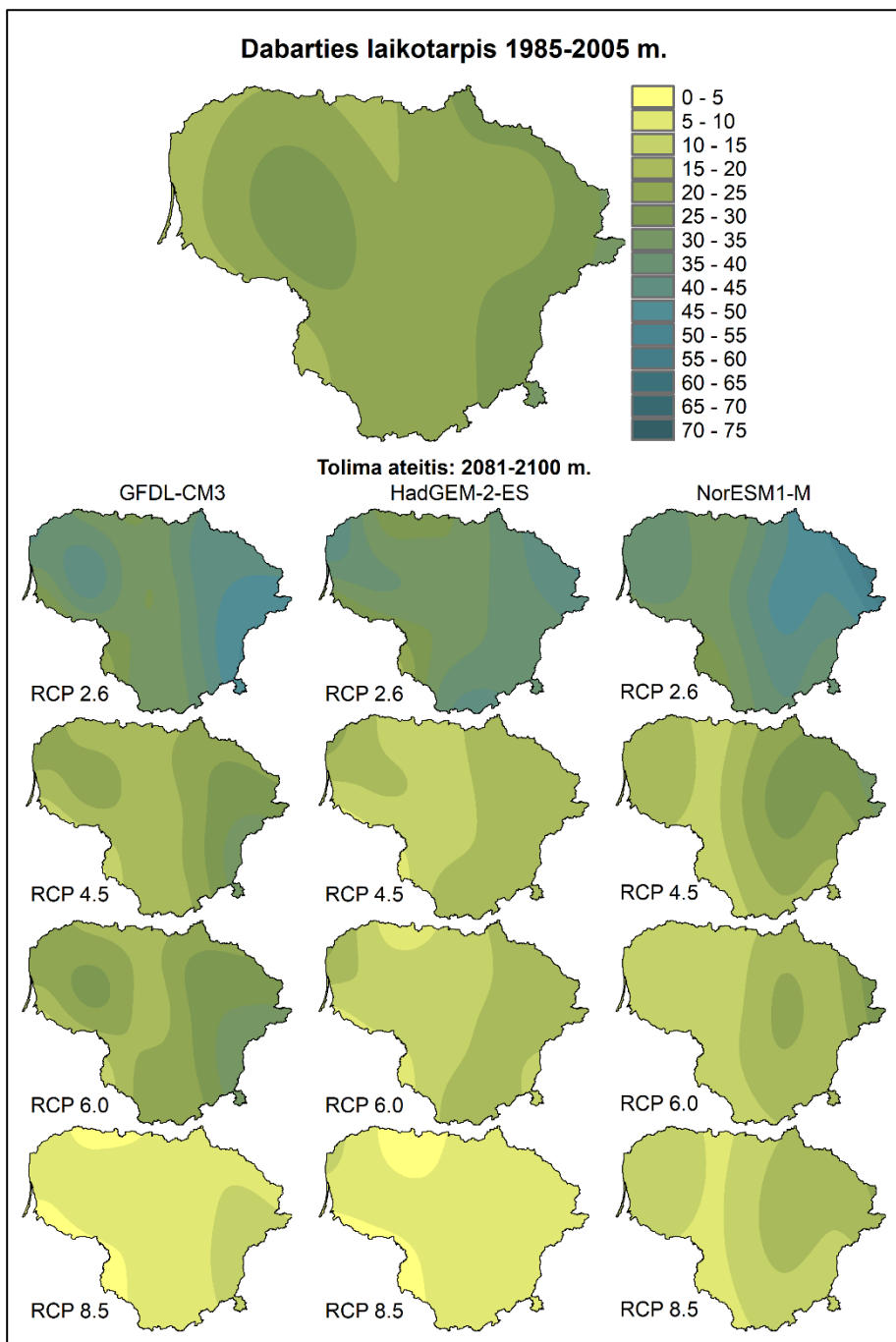
Dienomis, kai sninga (SD), vairavimo sąlygos žymiai sudėtingesnės: sumažėja matomumas, formuojasi sniego sluoksnis ant kelio dangos bei gali susidaryti „baltasis ledas“ (suvažinėtas sniegas, virtęs ledu). Kelių priežiūra tokiomis dienomis susiduria su tokiais iššūkiais, kaip galimybė nespėti valyti kelio, dėl ko situacija gali tik blogėti toliau vykstant snygiui. Šiomis dienomis (1986–2005 m., 3.3 pav. ir 3.4 pav. viršuje) SD reikšmės yra didžiausios aukštumose (iki 25–35 dienų per metus), o mažiausios – lygumose (iki 20 dienų per metus ar net mažiau). Reikšmės prie jūros kranto, ypač Kuršių nerijoje, yra žemiausios visoje šalyje.

Netolimos ateities projekcijos (2016–2035 m., 3.3 pav.) pateikė įvairialypius rezultatus. Pagal visus GCM, SD reikšmės yra didžiausios RCP2.6 scenarijaus metu, o kitų RCP šis skirtumas ne toks žymus. Tik HadGEM-2-ES projekcijos išliko panašios į dabartį kitų RCP atvejais (5–25 dienos per metus). Tuo tarpu kitų dviejų GCM projekcijų SD reikšmės išaugo. Taip pat visi modeliai prognozuoja ženklesnį erdvinį skirtumą tarp skirtingų šalies dalių. Tai glaudžiai siejasi su sritimis, kuriose ir taip vidutiniškai iškrinta daugiau kritulių: didesnės SD reikšmės yra aukštumose, o žemesnės – žemumose.

SD reikšmių tolimos ateities projekcijos (2081–2100 m., 3.4 pav.) pagal visų GCM duomenis labiausiai tikėtina, jog iki amžiaus pabaigos dienų su sniegu sumažės. Paties geriausio scenarijaus (RCP2.6) atveju SD numatomas apie 20–60 dienų per metus. Vienintelio GFDL-CM3 duomenimis – 70–75 dienos per metus. Blogiausio scenarijaus atveju (RCP8.5) – SD viršija vos 10 dienų per metus (NorESM1-M yra vienintelis GCM kuris prognozavo šiek tiek daugiau – iki 20–30 dienų per metus). Erdvinis parametru pasiskirstymas išliks panašus, tačiau RCP8.5 atveju reikšmės yra žemesnės ir ne itin reikšmingos. Kita vertus, dėl šių labai žemų SD reikšmių (0–5 dienų per metus) ypač išryškėja erdviniai skirtumai tarp skirtingų šalies teritorijų.



3.3 pav. Dienų skaičius per metus, kai snigo (SD): dabarties laikotarpio (viršuje) ir netolimos ateities (2016–2035 m.) projekcijos pagal skirtingus RCP scenarijus (horizontaliai) ir GCM (vertikaliai).



3.4 pav. Dienų skaičius per metus, kai snigo (SD): dabarties laikotarpio (viršuje) ir tolimos ateities (2081–2100 m.) projekcijos pagal skirtingus RCP scenarijus (horizontaliai) ir GCM (vertikaliai).

SD reikšmių variacijos skiriasi ir tarp modelių. NorGEM2-ES projekcijoje pokyčiai yra švelnesni tiek tolimos, tiek ir netolimos ateities laikotarpiais, o tuo tarpu GFDL-CM3 ir HadGEM2-ES projekcijos rodo kur kas statesnį reikšmių kritimą iki 2100 m.

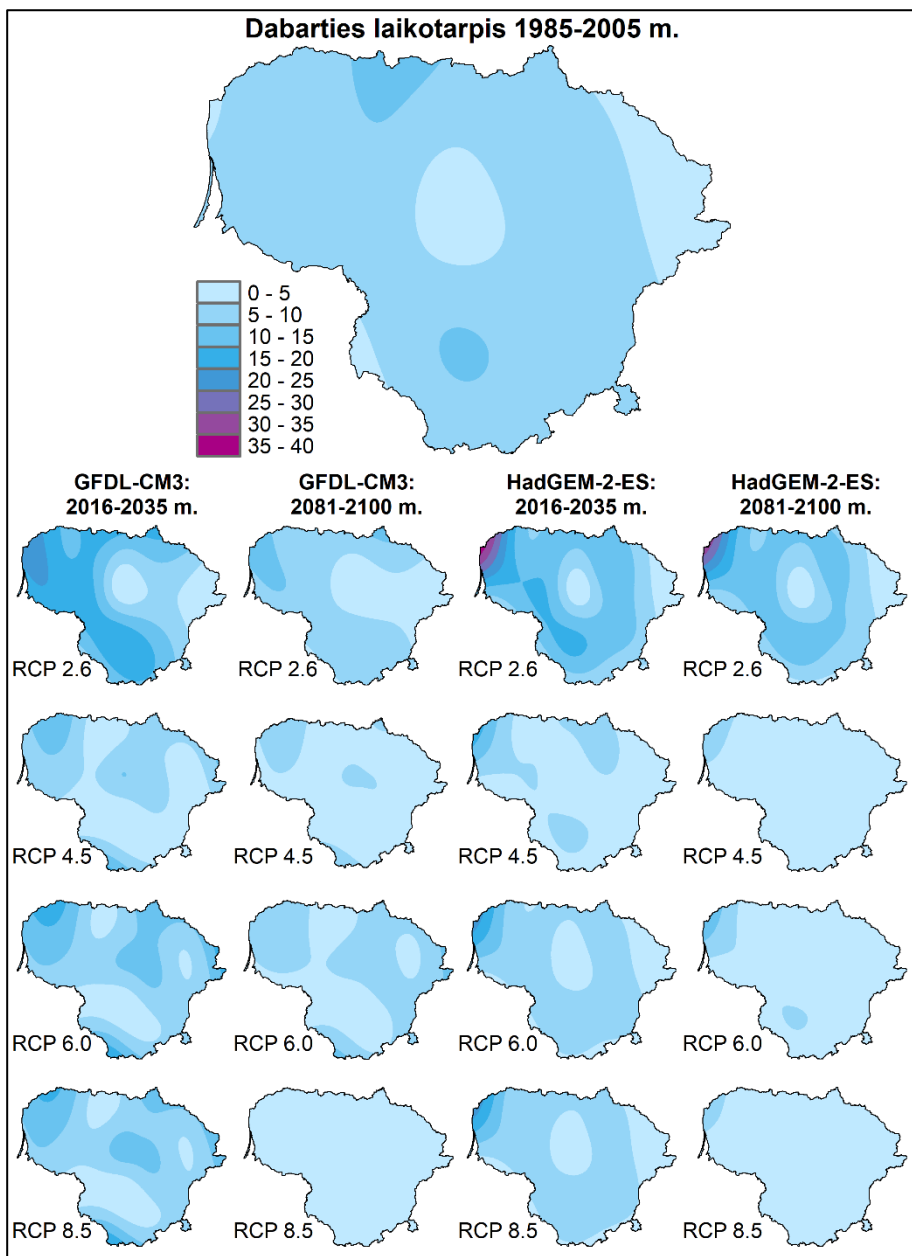
### 3.3. Dienos, kai vyrauja nepalankios vairavimui sąlygos

Dienos nepalankiomis vairavimui sąlygomis (AD) yra neigiamos oro temperatūros, sniego srauto ir maksimalaus vėjo parametru kompleksas. Lietuvos klimato atlase (Galvonaitė ir kt., 2013) pateikiama, kad šiuo metu mes galime tikėtis iki 70 dienų per metus su neigiama temperatūra Šiaurės rytų ir tik 30 dienų vakarų Lietuvos pakrantės zonoje. Dienų skaičius su kietos fazinės būklės krituliais (sniegu, sniego ar ledo gabaliukais) didesnis šiaurės rytuose: 60–70 dienų per metus, tačiau vakaruose ir pietvakariuose – tik 35–40 dienų per metus. Tačiau dienų skaičius, kai maksimalus vėjo greitis  $>15$  m/s, rytų ir centrinėje dalyje yra mažiausias ir lygus 5–10 dienų per metus, kai tuo tarpu pajūryje (vakarų Lietuva) net 40–60 dienų per metus. Pūguotų dienų skaičius (kas iš esmės panašu į AD parametą) yra didžiausias Žemaičių aukštumoje (vakarinė dalis, išskyrus pakrantę) – 25 dienas per metus, mažiausias – mažiau nei 15 dienų per metus pakrantės ir pietryčių Lietuvos dalyse.

Dabarties laikotarpiu (1986–2005 m.) AD reikšmės kinta visoje Lietuvos teritorijoje: nuo 1 dienos šiaurės rytuose iki 15 dienų Žemaičių aukštumoje (3.5 pav. viršuje). Dėl nedažnų stiprių vėjų šiaurės rytų Lietuvoje apskaičiuotos žemesnės AD reikšmės, nors neigiamos temperatūros ir kietų kritulių parametrai čia aukščiausi. Antras minimumas yra centrinėje dalyje (vidurio Lietuvos lygumose). Taip nutiko dėl to, jog čia visi parametrai turi žemesnes reikšmes nei visos Lietuvos vidutinės reikšmės.

Didžiausias dienų skaičius Žemaičių aukštumoje yra didesnis dėl dažnesnio stipraus vėjo ir didesnio sniego srauto. Antras maksimumas (pietvakarių Lietuvoje) susiformavo dėl to, jog visi analizuojami meteorologiniai parametrai aukštesni už vidutines visos Lietuvos reikšmes.

Netolimos ateities projekcijos (3.5 pav., 1 stulpelis) pagal GFDL-CM3 modelį parodė, kad tikėtina, jog erdviniai skirtumai daugiausia išliks dėl dienų su stipriais vėjais pasiskirstymo. RCP2.6 scenarijaus atveju, AD reikšmės ypač pakils vakarų ir pietvakarių Lietuvoje (iki 26 dienų per metus), o blogesnių RCP scenarijų atveju – taip pat ir centrinėje ir šiaurės



3.5 pav. Dienų skaičius per metus, kai buvo nepalankios vairavimui sąlygos (AD): dabarties laikotarpio (viršuje), netolimos ateities (2016–2035 m., pirmas ir trečias stulpeliai) ir tolimos ateities (2081–2100 m., antras ir ketvirtas stulpeliai) projekcijos pagal skirtingus RCP scenarijus (horizontaliai) ir GCM (vertikaliai).

rytų Lietuvoje. HadGEM2-ES netolimos ateities projekcijos (3.5 pav., 3 stulpelis) pasižymi mažesniais erdviniais AD reikšmių skirtumais kiekvienu RCP scenarijaus atveju, išskyrus RCP2.6. Tai nulėmė mažesni dienų su sniegu ir neigiama temperatūra rodikliai visoje Lietuvos teritorijoje.

Tikėtina, kad XXI a. pabaigoje (2081–2100 m.) vairavimo sąlygos bus geresnės, remiantis abiejų GCM projekcijomis ir visais RCP scenarijais (3.5 pav., 2 ir 4 stulpeliai). Tikėtis daugiau nei 10 AD dienų galima tik pagal RCP2.6 scenarijų. Tiek netolimos ateities, tiek ir tolimos ateities laikotarpių GFDL-CM3 projekcijose žymesnis erdvinis AD reikšmių pasiskirstymas nei HadGEM2-ES. Tačiau pastarasis modelis prognozuoja kur kas žymesnį parametru kilimą pakrantėje, kas numatoma visų RCP scenarijų atvejais. Šie skirtumai daugiausia atsiranda dėl dienų su stipriais vėjais pasiskirstymo: tai rodo ryškesni vėjo lauko nevienodumo GFDL-CM3 duomenys. RCP8.5 scenarijaus atveju nelieka skirtumų tarp GCM projekcijų, kadangi amžiaus pabaigoje ypač sumažėja neigiamos oro temperatūros ir kietų kritulių dienų skaičius. Be to, vidutiniai scenarijai (RCP4.5 ir RCP6.0) išryškina skirtumus tarp dviejų modelių.

### 3.4. Meteorologinių sąlygų Lietuvos keliuose prognozė XXI a.

Remiantis GCM projekcijomis tikėtina, kad dienų skaičius, kai oro temperatūra svyruoja apie 0 °C ( $T \pm 0$ ), žymiai išaugs iki amžiaus pabaigos. Negana to, didžiausios reikšmės turėtų būti Vakarų Lietuvoje, pakrantės zonoje, taigi čia vairavimo sąlygos bus kur kas sudėtingesnės nei vietovėse toliau nuo jūros. Šiuo metu tyrimai rodo, kad statistiškai dažniausiai yra du užšalimo–atlydžio ciklų pikai per žiemą (Ho ir Gough, 2006) – gruodį ir vasarį. Tačiau, keičiantis klimatui ir kylant oro temperatūrai (IPCC, 2014), situacija pasikeis: kylant vidutinei oro temperatūrai, bus mažiau dienų, kai aukščiausia paros temperatūra bus neigiama, dėl ko užšalimo–atlydžio ciklų skaičius gali padidėti. Tikėtina, kad tai daugiausiai paveiks sausio ir vasario mėnesius, dėl ko dviejų modų pasiskirstymas gali pavirsti į vienos modos.

Iki XXI a. pabaigos sniego dienų (SD) grėsmė taip pat gerokai sumažės, o kai kuriuose vietose gali ir visai išnykti, ypač šiltesnėmis žiemomis. Kadangi prognozuojama, jog sumažės kietųjų kritulių dienų skaičius, tad bent jau šiuo atveju vairavimo sąlygos turėtų gerėti. Dėl to kelių priežiūra žiemą greičiausiai taps lengvesnė ir reikalaus mažiau resursų: mažiau sniego, todėl reikės mažiau ledą tirpančių medžiagų ir darbo valandų. Kadangi žiemos atšiaurumas didės (AD parametro rezultatai), gali kilti sunkumų dėl

staigių ir stiprių snygio atvejų. Atsiranda grėsmė, kad kelių priežiūros specialistai nebus pakankamai pasiruošę, o vairuotojai bus mažiau atidūs. Tyrimų rezultatai rodo, kad eismo avarijų skaičius atšiauriomis oro sąlygomis yra tiesiogiai proporcingas laikui tarp atvejų. Be to, atidus vairavimas sumažina eismo įvykių sunkumą, bet ne dažnį (Eisenberg, 2004; Eisenberg ir Warner, 2005).

Tikėtina, kad dienų skaičius nepalankiomis vairavimui sąlygomis (AD) netolimoje ateityje svyruos ir tai priklausys nuo padažnėjusio stipraus vėjo tam tikruose regionuose. Iki XXI a. pabaigos sąlygos turėtų pagerėti, o didesnis AD skaičius išliks tik tose vietovėse, kurios yra labiau veikiamos stiprių vėjų, pvz., jūros pakrantėje. Kitur šis parametras bus daugiau nulemtas sumažėjusių snieguotų dienų skaičiaus. Panašūs rezultatai buvo gauti ir ankstesniame tyrime (Kažys, 2006a), kuriame buvo sudarytos potencialaus avaringumo (PA) indekso prognozės XXI a., remiantis HadCM3 GCM modelio projekcijomis. Potencialus avaringumas šiame darbe skaičiuotas įvertinant konkretaus eismui nepalankaus meteorologinio reiškimo santykinio autoįvykių dažnumą ir vidutinę metinę eismui nepalankaus meteorologinio reiškimo trukmę. Nors AD parametro skaičiavimo metodika kitokia, tačiau abu indeksai vertina atvejus, kai pablogėja vairavimo sąlygos dėl sniego ar pustymo (pūgos). Apskaičiuota PA prognozė 2020 m., 2050 m. ir 2080 m. parodė, kad PA indekso reikšmės tolygiai mažės. „Šaltuoju“ metų laiku PA indekso reikšmių mažėjimą daugiausia lems labai ryškus sniego ir pūgų trukmės mažėjimas. Šiuo atveju nedideliais pokyčiais išsiskirs ne tik Lietuvos pajūris, bet ir Rytų Lietuva. Tai siejama su šioje Lietuvos dalyje stipriai išaugsiančia šlapdribos, liūtinio lietaus ir ypač lietaus trukme (Kažys, 2006a).

Taigi, iki XXI a. pabaigos vairavimo sąlygos žiemą turėtų pagerėti, o kelių priežiūros darbų turėtų sumažėti. Panašius rezultatus publikavo ir Matthews, Andrey ir Picketts (2017). Jų tyrimas parodė, kad iki 2050 m. Kanadoje kasmetinis poreikis kelių priežiūrai turėtų sumažėti 13–22 proc.. Todėl išlieka tikimybė, kad tiek eismo saugumas, tiek ir kelių priežiūra dėl pasiruošimo ir budrumo stokos taps mažiau efektyviais. Tikėtina, kad gali kilti staigių, netikėtų vairavimo sąlygų pablogėjimų, kuriems nebus laiku pasiruošta ir prisitaikyta. Kadangi numatoma, kad ateityje didės klimato ekstremalumas, kelių priežiūra gali tapti sudėtingesnė, bent tokiais vienkartiniais atvejais (Swedish Government Official... 2007; Venner ir Zamurs, 2012; Nemaniute-Guziene ir Kazys, 2017).

Kelių priežiūros SPPS – vienas iš pasaulyje jau taikomų ir pasiteisusių įrankių, kuris sumažintų transporto sistemos jautrumą klimato kaitos

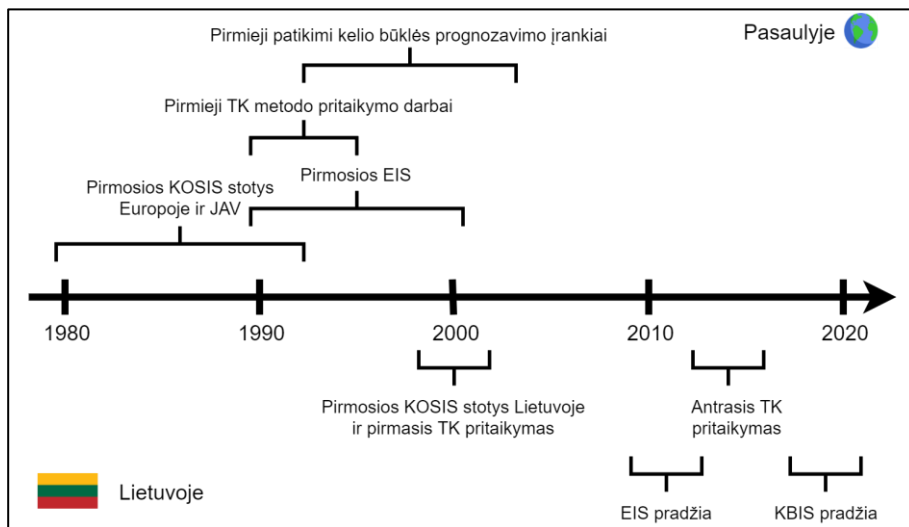


padariniams (Ye ir kt., 2009; Vaisala, 2010; Kociánová, 2015; Pilli-Sihvola ir kt., 2015; Nefzi ir kt., 2016; NCAR UCAR, 2020). Tokios sistemos dalis (kelio dangos meteorologinių parametų prognozavimo modulis) yra būtinas, siekiant gauti gerus rezultatus. Galimos kelių priežiūros SPPS, kurioje jau yra įtrauktas šis modulis, koncepcijos pasiūlymas pateikiamas 4 skyriuje.

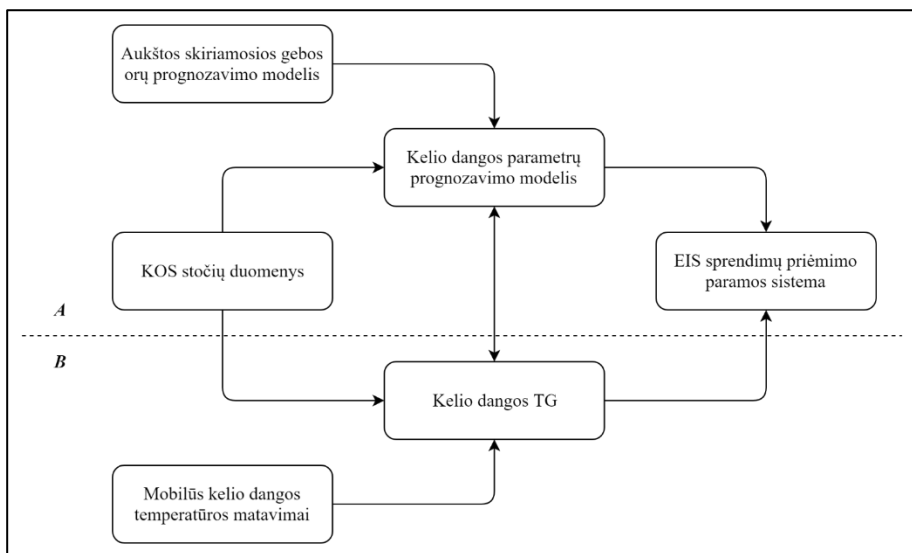
#### 4. KELIŲ PRIEŽIŪROS SPRENDIMŲ PRIĖMIMO PARAMOS SISTEMOS KONCEPCIJA

Siekiant užtikrinti racionalų ir optimalų kelių priežiūros tarnybų darbą žiemos metu, Lietuvoje reikia tobulinti kelių priežiūros sistemą. Šiuo metu LAKD pateikiamuose įrankiuose galima patikrinti KOS, įvertinti jų kaitą, peržiūrėti kamerų nuotraukas ir kitų daviklių informaciją bei atlikti kitas kelių priežiūros darbų užduotis. Kelių tarnybose žiemą budintys meistrai nuolatos stebi kelio būklę jiems priskirtose teritorijose, kai kurie naudoja mobilius slidumo matuoklius, o pastebėję pavojų – iškviečia sunkvežimių su barstytuvais ir sniego valymo peiliais vairuotojus. Tačiau norintys planuoti darbus artimiausioje ateityje, turi patys apžvelgti viešai teikiamas bendro turinio prognozes, radarų duomenis ir kitus duomenų šaltinius, kuriuose pateikiama informacija nėra orientuota kelius prižiūrintiems specialistams, bei taip priimti sudėtingus sprendimus. Tokia sistema yra neefektyvi ekonomiškai bei jautri žmogiškoms klaidoms.

4.1 pav. pateikta automobilių kelių meteorologijos ir naudotų metodų apibendrinta raida pasaulyje ir Lietuvoje. Pirmieji SPPS kūrimo žingsniai pasaulyje buvo pradėti apie 1980 m., diegiant automatines KOS stotis. Per 20 metų, lygiagrečiai vystantis TK ir prognozavimo metodams, buvo



4.1 pav. Automobilių kelių meteorologijos ir metodų apibendrinta raida pasaulyje (aukščiau laiko juostos) ir Lietuvoje (žemiau).



4.2 pav. Siūloma EIS kelių priežiūros sistemos veiklos schema Lietuvoje, naudojant TK metodu gautus duomenis. A schemos dalis apima vienos dimensijos prognozę KOS stoties vietoje, o B – dviejų dimensijų kelio ruožė. Rodyklės vaizduoja duomenų srautus.

sukurtos pirmosios EIS sistemos, kurios pavirto pirmosiomis SPPS. Lietuvoje ši raida prasidėjo daug vėliau – tik apie 2000 m., kai buvo įdiegtos pirmosios 20 KOS stočių ir atliktas pirmasis TK. Tačiau praėjus 20 metų nuo KOSIS pradžios, Lietuvoje vis dar nėra sukurtos visapusiškos SPPS. Šios disertacijos darbo pradžia sutampa antrojo TK pritaikymo Lietuvoje metu.

Šiuolaikinės SPPS sukūrimas – neišvengiamas ir ypač svarbus žingsnis tolimesnėje kelių priežiūros žiemą metodų raidoje Lietuvoje. Tačiau siekiant sukurti pažangią sistemą, kiekviena jos dalis privalo atlikti savo funkcijas kiek įmanoma efektyviau ir pateikti kuo tikslesnius rezultatus.

Lietuvoje kelio būklės ar temperatūros prognozavimui ne kartą buvo bandyti pritaikyti statistiniai modeliai (Bukantis, 2001; Kažys, 2006a; Laurinavičius ir kt., 2015). Prognozuojant kelio meteorologinius parametrus, labai svarbu kuo geriau ir tiksliau įvertinti visus juos veikiančius faktorius, todėl dažnai statistinių modelių prognozės nepasižymi dideliu tikslumu – šių faktorių poveikis dažnai apibendrinamas naudojant koeficientus. Be to, statistiniai modeliai remiasi lokalaus klimato rodikliais, kurie neišvengiamai kinta vykstant klimato kaitai. Taigi, dabar sukurtas modelis gali tapti visiškai netikslus ir klaidinantis jau po kelerių metų, o jo atnaujinimas – sudėtingas procesas. Tačiau, naudojant skaitmeninius modelius, kurie nuolatos

atnaujinami, tobulinami ir tikslinami vis naujais duomenų šaltiniais, galima išvengti šios problemos.

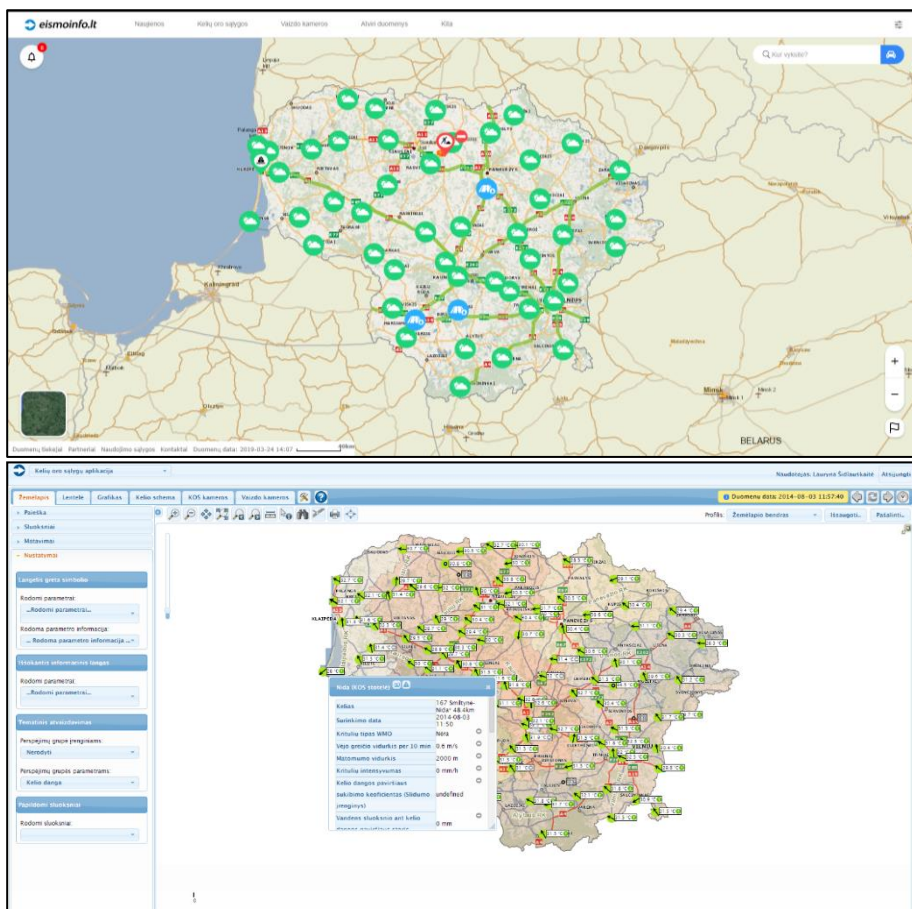
Vienas iš Lietuvoje veikiančių sistemų tobulinimo būdų, kuris įtraukia TK ir skaitmeninį kelio dangos parametrų prognozavimo modelį (siūloma – METRo), pavaizduotas 4.2 pav. Tokia pačia struktūra pasižymintis tyrimas buvo atliktas ir Austrijos Alpėse (Todeschini ir kt., 2016a; Todeschini ir kt., 2016b), kur pritaikius TK buvo sėkmingai identifikuoti „šalčio taškai“ kalnų kelyje, o pritaikius METRo – sėkmingai apskaičiuota prognozė ne tik KOS stoties vietoje, bet ir visam kelio ruožui. Panašia schema yra vadovaujama ir Čekijos sistemoje „Metis“ (Cross, 2019-03-23), kur ji sumažino ekonominius kelių priežiūros kaštus bei kartu padidino eismo dalyvių saugumą ir padėjo išsaugoti žmonių gyvybes keliuose. Tačiau tokios sistemos veiklai Lietuvoje užtikrinti reikia įdiegti tam tikrus naujus struktūrinius blokus.

Dvi svarbiausios tokios kelių priežiūros sistemos dalys yra kelio dangos (paviršiaus) temperatūros ir būklės prognozavimas, panaudojant TK (4.2 pav. Siūloma EIS kelių priežiūros sistemos veiklos schema Lietuvoje, naudojant TK metodu gautus duomenis. A schemos dalis apima vienos dimensijos prognozę KOS stoties vietoje, o B – dviejų dimensijų kelio ruože). Viršutinėje schemos dalyje (A) kelio dangos parametrų prognozavimo modeliu sudaromos prognozės ties KOS stočių vietomis. Apatinėje dalyje (B), remiantis TK žemėlapiais, kelio dangos paviršiaus temperatūros ir būklės prognozės pritaikomos visam kelio ruožui. Abi kelių priežiūros sistemos dalys turėtų užtikrinti nenutrūkstamą bei nuolat atnaujinamą informacijos srautą į sprendimo priėmimo paramos sistemą (SPPS). Keli tokios sistemos aspektai:

- Ypač svarbi sistemos dalis yra KOS stočių tinklas ir jo duomenys (4.2 pav. Siūloma EIS kelių priežiūros sistemos veiklos schema Lietuvoje, naudojant TK metodu gautus duomenis. A schemos dalis apima vienos dimensijos prognozę KOS stoties vietoje, o B – dviejų dimensijų kelio ruože). KOS stočių tinklo informacija yra būtina prognozuojant kelio dangos temperatūrą ir būklę, sudarant terminius kelių žemėlapius. Todėl jų veiklos ir kokybės užtikrinimas yra ypač svarbus.
- Sudarant kelio dangos parametrų prognozes reikalingos skaitmeninės, Lietuvos sąlygoms pritaikyto aukštos skiriamosios gebos modelio generuojamos, pagrindinių meteorologinių rodiklių prognozės. Prognozės laiko žingsnis turi būti ne ilgesnis kaip 1 val.

- Sudarant kelio dangos paviršaus terminus žemėlapius, reikalingi mobilūs kelio dangos paviršiaus temperatūrą ir būklę matuojantys prietaisai bei tam, kad tokia sistema veiktų visoje Lietuvoje, reikia surinkti TK duomenis iš visų Lietuvos kelių.
- Kelio dangos parametrų prognozavimo modelio sudarytos prognozės su turima terminių žemėlapių informacija patektų į sprendimų priėmimo sistemą (4.2 pav. Siūloma EIS kelių priežiūros sistemos veiklos schema Lietuvoje, naudojant TK metodu gautus duomenis. A schema dalis apima vienos dimensijos prognozę KOS stoties vietoje, o B – dviejų dimensijų kelio ruože). Tai užtikrintų optimalų kelių priežiūros darbų organizavimą (pateiktų rekomendacijas operatoriui dėl galimų veiksmų kelio priežiūrai (valyti, barstyti, kokį mišinį, kokius kiekius, kokius ruožus valyti/barstyti). Atnaujinus ir patikslinus prognozę, operatyviai būtų koreguojami kelių priežiūros darbai.

Turint gan platų KOS stočių tinklą bei tvirtą duomenų bazę, tokią kaip SPPS, būtų galima operatyviai ir tiksliai perspėti eismo dalyvius apie pavojingą kelio dangos būklę dar prieš jai susidarant bei laiku imtis reikiamų kelių priežiūros priemonių.



4.3 pav. EIS skirtingų vartotojų profilių vaizduojamų eismo žemėlapių palyginimas: eiliniams vartotojams viešai prieinama sąsaja internete (LAKD, 2019-03-11a) (viešasis profilis, viršuje) ir kelius prižiūrintiems bei kitiems darbuotojams prieinama sąsaja (darbuotojų profilis, apačioje).

Šiuo metu EIS ir KOSIS informacija yra teikiama internete (LAKD, 2019-03-11a) interaktyviu GIS pagrindu parengtu žemėlapiu „Android“ bei „iOS“ operacines sistemas turinčių mobiliųjų telefonų programėlėmis. Taip pat yra sudaromi kasdieniai pranešimai apie esamas ir būsimas eismo sąlygas, pasitelkiant LHMT prognozes, KOSIS ir regioninių centrų pranešimais bei apie keliuose vykstančius remonto darbus ar kitus eismo apribojimus.

Eismo dalyviams prieinama informacija (toliau – viešasis profilis) nėra viskas, ką apibendrina ir pateikia dabartinė EIS (4.3 pav.). Kita sistemos

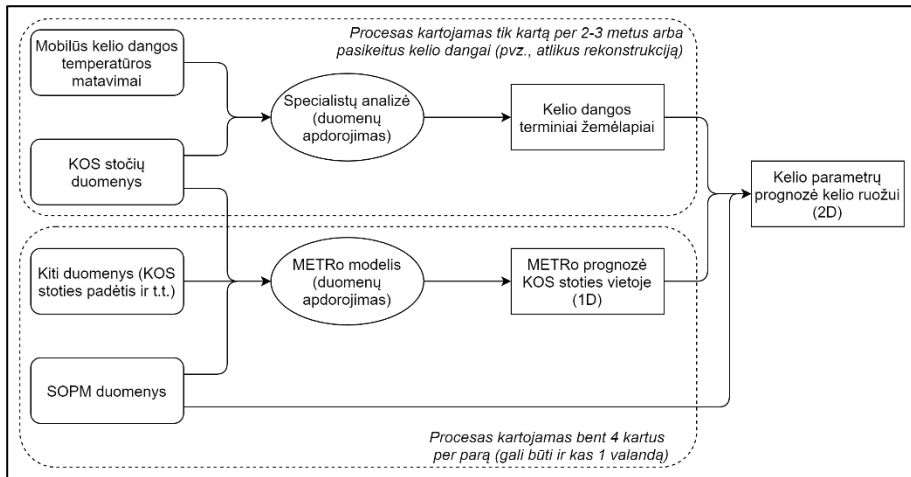
dalį, kurią pasiekia kelius prižiūrintys darbuotojai (toliau – darbuotojų profilis), pateikia dar didesnę informacijos kiekį bei įrankius jai apdoroti.

Viešajame profilyje vartotojas gali naudotis pagrindiniu informacijos pateikimo būdu – eismo žemėlapiu. Tai GIS technologijomis parengtas 2D žemėlapis, leidžiantis vartotojui įjungti norimą informacijos sluoksnį, pvz., kelių orų sąlygas ar vaizdo kameras. Žemėlapyje esančios lengvai interpretuojamos ikonos yra interaktyvios – jas paspaudus gaunama papildoma informacija iššokančiame vidiniame informaciniame lange, atitinkamai kelių orų sąlygos (kelio dangos paviršiaus temperatūra, vidutinis vėjo greitis, atmosferos slėgis ir t. t.) ar vaizdo kamera gauta kelio nuotrauka. Taip pat šiame lange pateikiamos ir nuorodos į retrospektyvinius duomenis. Vartotojas taip pat gali įvesti savo planuojamą maršrutą ir gauti ne tik nurodymus, kaip nuvažiuoti iš taško A į tašką B, tačiau įvertinti ir pakeliui būsiančias kelio sąlygas – orus bei kelio apribojimus.

Darbuotojo profilis suteikia daugiau įrankių informacijos pateikimui, kurie yra mažiau pritaikyti paprastiems vartotojams. Visi viešojo profilio įrankiai prieinami ir darbuotojo profilyje, tačiau čia vartotojas turi galimybę keisti, kuriuos parametrus jis nori matyti žemėlapyje, kuriuos – iššokančiame lange bei kitus nustatymus. Taip pat šiame profilyje duomenis galima vaizduoti ir lentelės būdu, taip pat prieinamas vaizdo kamerų filmuotas vaizdas (ne tik nuotraukos).

METRo yra vienos dimensijos modelis, t. y., jo prognozė skaičiuojama vienam taškui erdvėje – KOS stotelei. Sujungus METRo prognozę su TG, galima skaičiuoti kelio dangos parametrų prognozę dvejoms dimensijoms (4.4 pav.) – kelio ruožui.

Sudarant TK, kelias suskirstomas į homogeniškus ruožus, kuriuose kelio savybės bei parametrai nekinta arba kinta nežymiai. Šie ruožai turi vidutinį kelio dangos paviršiaus temperatūros nuokrypį esant skirtingiems orų tipams (pvz., esant giedrai ar apsiniaukus) nuo geriausiai tą ruožą reprezentuo-



4.4 pav. Siūloma kelio dangos paviršiaus parametru prognozės kelio ruožui (2D) sudarymo schema. Rodyklės vaizduoja duomenų srautus.

jančios KOS stotelės. Taigi, turint METRo prognozę KOS stotelei bei orų prognozę, siekiant nustatyti orų tipą, ją galima nesunkiai pritaikyti reprezentuojamam kelio ruožui.

Remiantis siūlomais įrankiais bei kitose valstybėse naudojamomis sistemomis ir iš anksto turint sudarytus TK, kelio dangos parametru prognozavimas turėtų būti atliekamas tokia tvarka:

1. Duomenų surinkimas iš skirtingų informacijos šaltinių (KOS stočių, LHMT).
2. Duomenų paruošimas METRo prognozei (reikiamų \*.xml failų sukūrimas).
3. METRo skaičiavimai.
4. METRo prognozė susiejama su turimais TG (apskaičiuojami homogeniški kelio ruožų kelio dangos paviršiaus temperatūra) pagal LHMT prognozuojamą orų tipą.
5. Atliekama prognozės patikra, siekiant išvengti sisteminių skaičiavimo klaidų.
6. Gauta 2D prognozė vaizduojama EIS sistemoje kaip atskiras sluoksnis su laiko eilutės funkcija.

Lietuvoje šiuo metu veikia 118 KOS stočių. Vienos stoties prognozei sudaryti METRo užtrunka apie 2 sek. (National Center for... 2007). Taigi, apskaičiuoti prognozę visoms stotims apytiksliai reikėtų mažiau nei 4 min.

Lietuvos teritorija yra pakankamai homogeniška lyginant su kitomis Europos šalimis, todėl sudarant TK turi būti atrinktos atraminės KOS stotys,



kurios ir turėtų būti pagrindinės, prognozuojant kelio dangos parametrus. Einant laikui, pastebėjus, jog atraminė stotis visgi nereprezentuoja tam tikrų kelio ruožų, galima kurti virtualias KOS stoteles. Virtuali KOS stotelė – taškas kelio ruože, kuriame interpoliacijos būdu apskaičiuojami meteorologiniai parametrai pagal šalia esančias realias KOS stotis arba jie tiesiogiai prilyginami kuriai nors KOS stočiai, jei teritorija yra pakankamai homogeniška. Tačiau šis metodas neturėtų būti taikomas, jei artimiausios KOS stotys yra toli nuo virtualios KOS stoties vietos (toliau nei 15 km, esant homogeniškai teritorijai). Kitu atveju gali būti atliekamas daugiau resursų reikalaujantis duomenų asimiliacijos procesas, pasitelkiant aukštos skiriamosios gebos klimato modelį arba atliekama kita duomenų asimiliacija.

METRo prognozei sudaryti reikia, kad KOS stotis matuotų kelio dangos paviršiaus ir kelio pylimo temperatūrą. Pastaroji yra matuojama ne visose stotyse, tačiau anksčiau atlikti tyrimai (Šidlauskaitė, 2013) parodė, kad stočiai be kelio pylimo temperatūros daviklio prognozei galima naudoti kitos netoliese esančios stoties duomenis, kadangi temperatūros pokyčiai kelio pylime nėra tokie staigūs kaip kelio paviršiuje ir susidarantys skirtumai nežymūs. Be to, iteracijos būdu galima atlikti modelio skaičiavimus daug kartų, į naują duomenų seką įtraukiant buvusios sekos apskaičiuotą kelio pylimo temperatūrą ir taip po daug skaičiavimų ciklų gauti artimą realiai kelio pylimo temperatūrą. Naudojantis šiais metodais, nėra privaloma įrengti papildomus daviklius atraminėse KOS stotyse, jei prieš tai jų nebuvo arba, naudojant kitos KOS duomenis, išvengti kelio dangos parametrų prognozės trūkių daviklių gedimo atveju.

Tokiai kelio dangos parametrų prognozės modulio vizijai įgyvendinti privaloma atlikti TK visuose aktualiuose keliuose bei patikrinti pasirinkto modelio tinkamumą Lietuvos klimatui. Toliau darbe vertinamas siūlomo METRo modelio tinkamumas ir analizuojami 2015 m. TK duomenys.

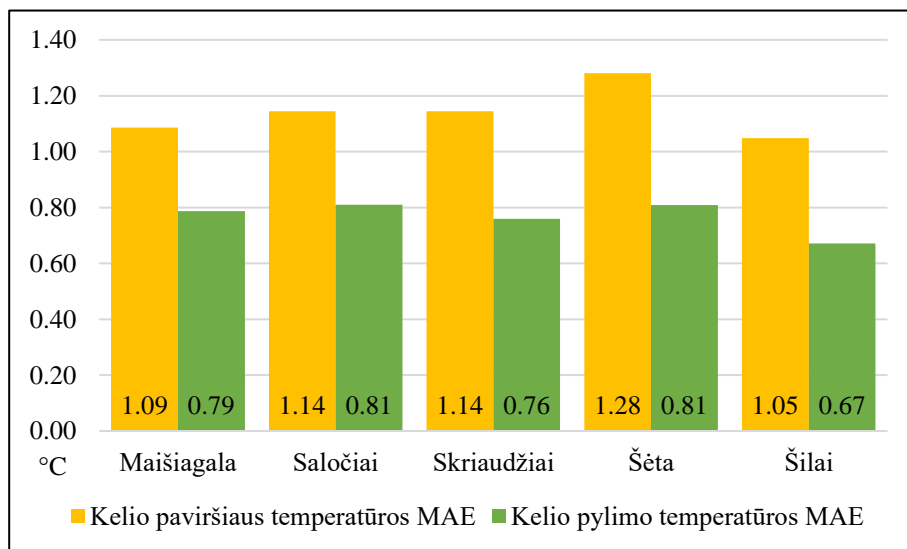
## 5. METRO TINKAMUMO LIETUVOS SĄLYGOMS TYRIMAS

Nors METRO modelis yra nesudėtingas ir jo naudojimas nereikalauja daug resursų, jis nėra lengvai kalibruojamas ir adaptuojamas. Dėl šių priežasčių buvo atlikta METRO tinkamumo Lietuvos teritorijai analizė, kuri pateikta šiame skyriuje.

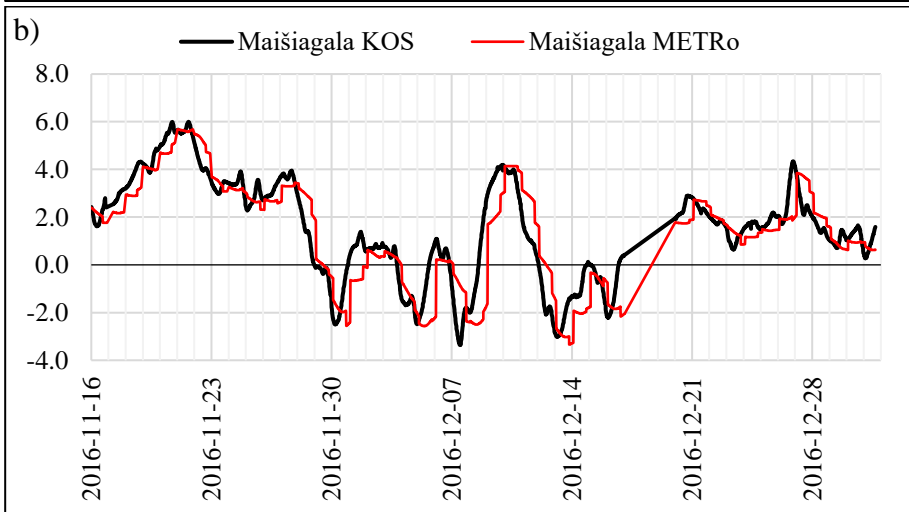
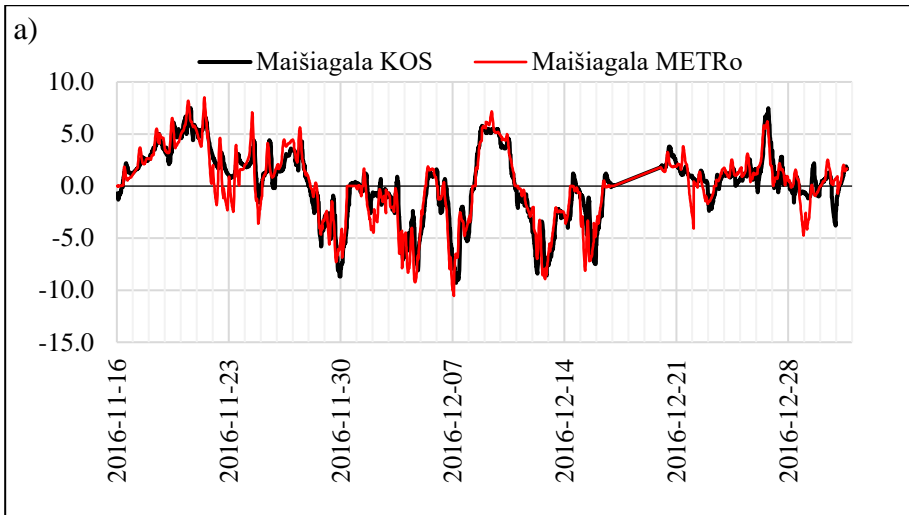
### 5.1. Kelio dangos paviršiaus ir kelio pylimo temperatūros analizė

Svarbiausi kelio dangos parametrai – kelio paviršiaus ir kelio pylimo temperatūra. Tik teisingai prognozuota kelio paviršiaus ir kelio pylimo temperatūra leidžia neklystant įvertinti būsimą kelio būklę. Dėl šios priežasties jų prognozavimas aptartas pirmiausiai. Bendriems visoms KOS analizės rezultatams pateikti pasirinkta Maišiagalos KOS, o visų stočių diagramos pateiktos prieduose (1–8 priedai).

5.1 pav. pavaizduotas viso laikotarpio MAE parametras kiekvienai stotčiai atskirai. Nesunku pastebėti, kad METRO prognozuota kelio paviršiaus ir kelio pylimo temperatūros reikšmės vidutiniškai nukrypsta nuo išmatuotų atitinkamai apie 1–1,3 °C ir 0,7–0,8 °C.



5.1 pav. Vidutinė absoliuti paklaida (angl. MAE – „Mean Absolute Error“) (°C, 2.7 lygtis) skirtingose KOS stotyse per analizuojamą laikotarpį.



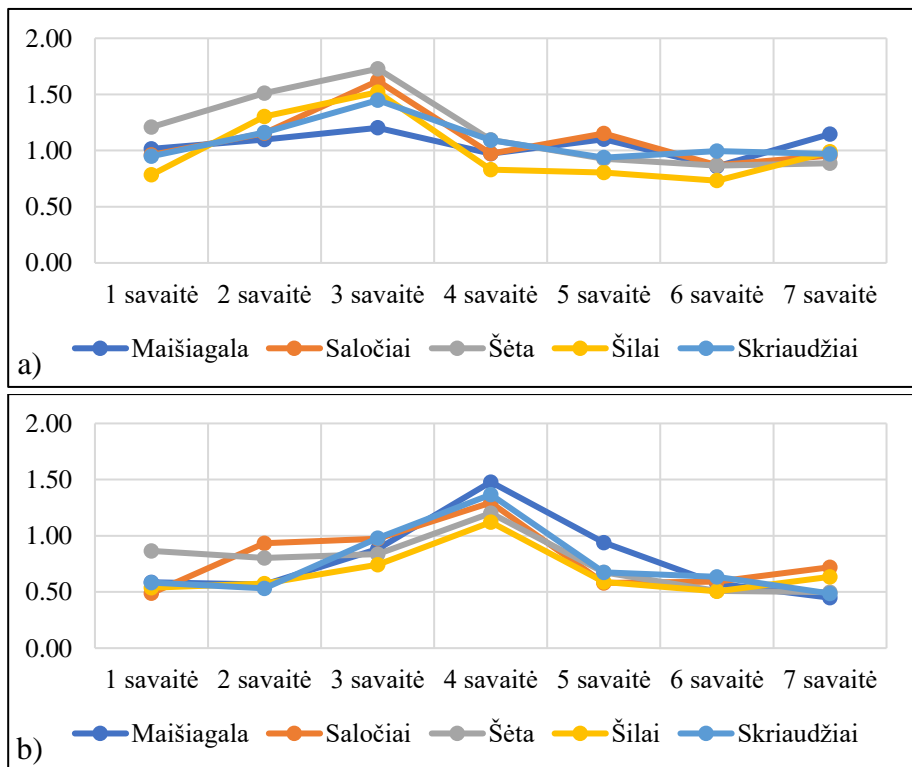
**5.2 pav.** Kelio dangos (a, viršuje) ir kelio pylimo (b, apačioje) temperatūra (°C) Maišiagalos KOS stotyje (kitos stotys 1–4 prieduose) ir jų METRo prognozė visam analizuojamam laikotarpiui.

Apibendrinant visą laikotarpį, didžiausiomis kelio paviršiaus temperatūros paklaidomis pasižymi Šėtos KOS stotis (5.1 pav.) –  $-1,28$  °C, mažiausiomis – Šilų, kelio pylimo temperatūros – atitinkamai Šėtos ir Saločių (po  $0,81$  °C) bei Šilų ( $0,67$  °C). Skirtumai tarp skirtingų stočių nėra dideli ir pastebimai priklauso nuo duomenų kokybės. Pvz., nors Šėtos KOS stotis perdavė daugiau duomenų nei Skriaudžių KOS (atitinkamai 84,9 ir 74,3 proc. visų galimų atvejų, jei būtų perduota tiksliai kas 3 min.), tačiau pastarosios duomenys buvo daug kokybiškesni, nes papildomos patikros

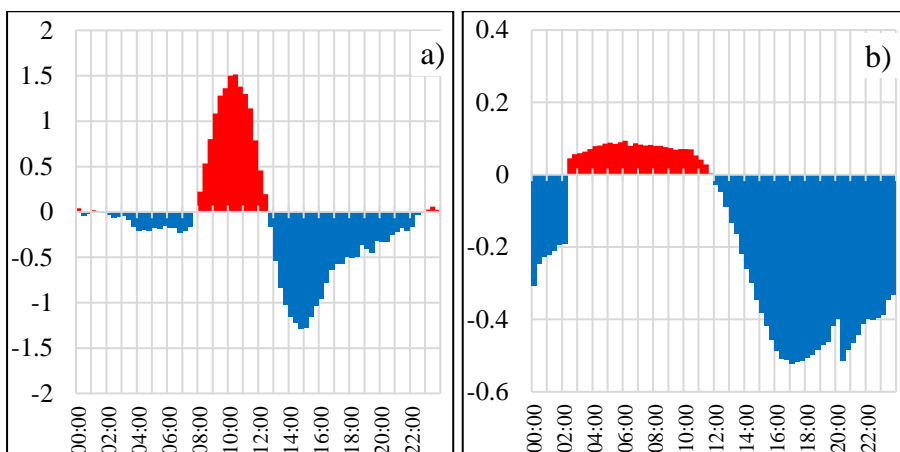
metu buvo brokuota apie penktadalis Šėtos KOS stoties duomenų, o tuo tarpu Skriaudžių – vos keletas. Panaši situacija buvo ir su Šilų KOS stotimi – perduota santykinai daugiausia (91,5 proc., jei būtų perduota tiksliai kas 15 min.), tačiau dažnai pasitaikančios klaidos sumažino duomenų kokybę. Dėl šių priežasčių, siekiant užtikrinti gerą METRO prognozių kokybę, verčiau reikėtų ne didinti perduodamų duomenų dažnį, o kelti jų kokybę, mažinant atsirandančių sisteminių klaidų skaičių.

Analizuojant viso laikotarpio kelio paviršiaus temperatūros METRO prognozę (pavyzdys – Maišiagalos KOS, 5.2 pav.), galima išskirti kelis trumpus laikotarpius, kada prognozės paklaida buvo didžiausia:

- nuo 2016-11-21 iki 2016-11-24.
- nuo 2016-12-01 iki 2016-12-04.
- nuo 2016-12-20 iki 2016-12-23.
- nuo 2016-12-28 iki 2016-12-29.



5.3 pav. Kelio dangos (a, viršuje) ir kelio pylimo (b, apačioje) temperatūros vidutinės absoliučios paklaidos (angl. „Mean Absolute Error – MAE“, 2.7 lygtis, °C) kaita nuo 2016-11-14 iki 2017-01-04 (išskirtos savaitės) Maišiagalos KOS.



5.4 pav. METRo prognozuotos kelio dangos (a, kairėje) ir kelio pylimo (b, dešinėje) temperatūros nuokrypio nuo realios Maišiagalos KOS kaita per parą (kitos stotys 5–8 prieduose) vidutiniškai per visą analizuojamą laikotarpį.

Šiais laikotarpiais buvo vidutiniškai šilčiau nei prognozuota. Šiluma buvo nulemta teigiamos temperatūros advekcijos, kurios kilmė įvairi – šiltas atmosferos frontas ar šilumą atnešęs atmosferos barinis gūbrys, nutysęs iš pietų ar pietvakarių. Šilumos advekcijos poveikio METRo apskaičiuoti negali, todėl tai turi atlikti SOPM ir integruoti šį poveikį į sudaromą prognozę, kurią naudoja METRo. Dėl to SOPM gebėjimas teisingai prognozuoti atmosferos parametrus lemia ir METRo prognozių patikimumą, ypač kai orų sąlygas didžiąja dalimi lemia orų pernaša iš kitų regionų, o ne vietinės mikroklimato sąlygos.

Analizuojant viso laikotarpio kelio pylimo temperatūros METRo prognozę (pavyzdys – Maišiagalos KOS stoties, 5.2 pav.) matomas prognozuojamų reikšmių vėlavimas apie 12–24 val., pvz., Maišiagalos KOS kelio pylimo temperatūros maksimumas gruodžio 19 d. METRo prognozėje buvo pasiektas tik po 22 val. Tai galėjo nulemti neteisingai įvertinta šilumos apykaita kelio pylime. Tyrime naudota reali kelio pylimo sandara, tačiau dažnai šie parametrai yra keičiami ir naudojami modelio kalibracijai, siekiant realiau įvertinti vietos sąlygas, t. y., įvedama tikrovėje neegzistuojanti kelio pylimo sandara, tačiau leidžianti sudaryti tikslesnes prognozes.

METRo kelio paviršiaus temperatūros rezultatų paklaida didžiausia buvo 3 savaitę (5.3 pav.), kada vyravo nepastovūs orai ir temperatūra ypač kito. Šiuo metu didžiausia MAE buvo Šėtos KOS – 1,73 °C, mažiausia

Maišiagalos KOS – 1,2 °C. Analizuojamo laikotarpio 4 savaitę įvyko orų atšilimas ir paklaidos sumažėjo iki 0,83–1,09 °C. Tuo tarpu didžiausia kelio pylimo temperatūros MAE buvo pasiekta būtent 4 savaitę, kada temperatūros kilimas buvo prognozuojamas vėliau nei buvo iš tikrųjų. Didžiausia paklaida buvo Maišiagalos KOS – 1,48 °C, o mažiausia Šilų KOS – 1,12 °C. Vėlgi tai indikuoja, kad METRo rezultatai didžiąja dalimi nulemti HIRLAM prognozės kokybės, todėl operatyviame darbe į tai privaloma atkreipti dėmesį.

Analizuojant METRo prognozuojamų kelio paviršiaus temperatūros nuokrypių kaitą per parą nustatyta, kad visose KOS, išskyrus Šilų KOS, egzistuoja vienas teigiamų nuokrypių maksimumas (pavyzdys – Maišiagalos KOS, 5.4 pav.) ir vienas neigiamų minimumas (Šilų KOS – po du, 8 priedas). Visų KOS ciklai skirtingi – vienu maksimumas yra nakties valandomis, kitų – vakare. Todėl galima daryti išvadą, jog šie skirtumai galėjo atsirasti dėl kiekvienos KOS mikroklimato sąlygų. Tyrime nebuvo naudoti dangaus skliauto uždengtumo duomenys, kurie galimai pakeistų gaunamus rezultatus. Atlikus reikiamus tyrimus, būtų galima pritaikyti tuos duomenis METRo ir, galbūt, taip patikslinti gaunamą rezultatą.

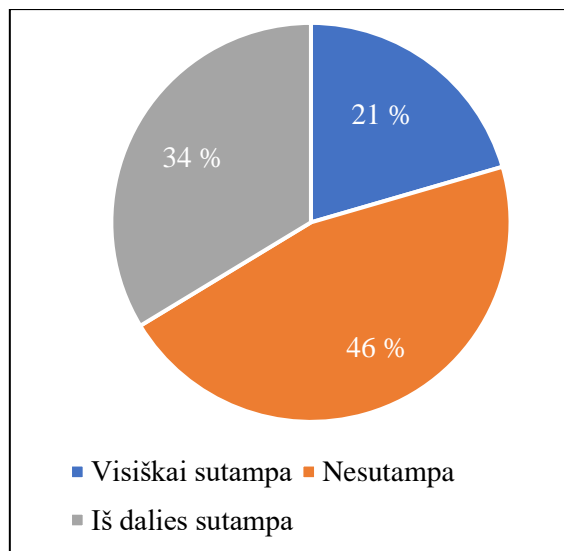
Tuo tarpu kelio pylimo temperatūros nuokrypių kaita per parą dar įvairesnė. Maišiagalos KOS (5.4 pav.) nedidelių teigiamų nuokrypių laikotarpis tęsiasi 02:00–12:00 val. (iki +0,09 °C), toliau – neigiami (iki –0,52 °C). Panašiai yra ir Skriaudžių KOS (6 priedas) – teigiamų nuokrypių laikotarpis yra 00:00–08:00 val., o toliau – neigiami (atitinkamai iki +0,12 °C ir –0,27 °C). Saločių KOS (5 priedas) pasižymi aukštais teigiamais nuokrypiais pirmoje paros pusėje (iki +0,35 °C, jei paros pradžia laikysime 00:00), o antroje – mažais neigiamais (iki –0,16 °C). Tuo tarpu teigiami nuokrypiai Šėtos KOS (iki +0,33 °C, 7 priedas) – 06:00–19:00 val., o nežymūs neigiami kitomis valandomis (iki –0,16 °C). Kadangi jau buvo minėta, jog pastebėtas METRo prognozės „vėlavimas“, tai šiuos nuokrypių pasiskirstymus paroje galėjo nulemti būtent šis neatitikimas. Vėlgi, tokie rezultatai galėtų būti pakoreguoti dirbtinai keičiant kelio pylimo sandarą, ją pritaikant realioms KOS sąlygoms. Be to, rezultatus patikslintų ir duomenys apie KOS dangaus skliauto uždengimą.

## 5.2. Kelio dangos būklės analizė

Kelio dangos būklė – išvestinis parametras, kuris didžiąja dalimi priklauso nuo teisingai prognozuotos kelio paviršiaus ir kelio pylimo temperatūros. Kadangi ji nėra išreiškia jokia skaitine reikšme ar koeficientu

(naudojamos kategorijos pateiktos 2.3 lentelėje), patikrinti METRo prognozės teisingumą sudėtinga. Dėl šios priežasties buvo ne tik sulyginotos KOS ir METRo kategorijos, tačiau ir apskaičiuotas „iš dalies sutampančių“ reikšmių kiekis. Manoma, kad KOS kategorijos „sausas“, „drėgnas“ ir „šlapia“ nesukelia poreikio papildomiems kelių priežiūros darbams, t. y., esant tokiam keliui, nereikia jo barstyti leda tirpdančiomis medžiagomis ar valyti. Taigi, „iš dalies sutampančios“ KOS ir METRo reikšmės – tos reikšmės, kurių rezultatai šiuo klausimu taip pat sutampa. Pvz., pagal KOS duomenis kelio danga tam tikru laiko momentu buvo apledėjusi, todėl tokia situacija reikalauja papildomų kelių priežiūros darbų. Tuo tarpu METRo prognozėje nurodyta, jog kelio danga tuo pačiu laiko momentu gali būti apsnigta, kas irgi reikalauja papildomų kelių priežiūros darbų. Taigi, šios reikšmės laikomos „iš dalies sutampančiomis“. Taip pat „iš dalies sutampančiomis“ reikšmėmis būtų laikoma ir priešinga situacija, pvz., KOS – danga drėgna, o METRo – šlapia.

Atlikti skaičiavimai parodė, jog iš viso buvo 6970 atvejų (bendrai visoms KOS), kada buvo galima palyginti METRo ir KOS duomenis. Iš jų – vos daugiau nei pusė laikomi teisingais (55 proc., 5.5 pav.), o visiškai sutapo – tik 21 proc. Taigi, pagal turimus duomenis, tikimybė, jog METRo teisingai priims ar nukreips sprendimus dėl kelių priežiūros darbų pasitelkiant tik



5.5 pav. Ar sutampa METRo prognozuota ir KOS išmatuota kelio būklė? Kategorijų paaiškinimas tekste, apskaičiuota per visą analizuojamą laikotarpį ir visoms KOS stotims bendrai

kelio būklės prognozę – viena iš dviejų. Tačiau paanalizavus atidžiau, pastebėta, jog prognozuojama dangos būklė neįgavo pavojingos reikšmės tik todėl, jog kelio paviršiaus temperatūra nenukrito žemiau 0 °C. Algoritmas, kuris identifikuoja dangos būklę, yra konkretus ir dangą apibūdins „plikledžiu“ tik tada, jei ji atitiks visus konkrečius parametrus. Pvz., prognozuojama, kad danga yra šlapia ir jos temperatūra nukris iki +0,1 °C. Tokioje METRo prognozėje danga visada išliks šlapia, tačiau kelius prižiūrintis specialistas, įvertinęs turimą informaciją, tikriausiai vykdys prevencinius barstymo darbus, kadangi realybėje tokia danga jau galėtų užšalti ir formuotųsi ledas.

5.1 poskyryje pateikta analizė parodė, jog vidutiniškai METRo kelio paviršiaus temperatūros prognozė gali nukrypti 0,5–1 °C nuo išmatuotų reikšmių. Tokios reikšmės gautos ir kitų mokslininkų tyrimuose (Kršmanc ir kt., 2012a; Habrovský ir Tarjáni, 2014; Sokol ir kt., 2014). Taigi, remiantis šiais duomenimis, nerekomenduojama visiškai pasikliauti vien tik vienu prognozuojamu parametru priimant sprendimus. Verčiau įvertinti visą turimą informaciją ir priimti kompleksinį sprendimą, siekiant išvengti klaidų.



## 6. TERMINIO KELIO RuoŽŲ KARTOGRAFAVIMO REZULTATAI

Lietuvoje 2015 m. atlikto TK metu buvo išskirti 3 maršrutai, kurių rezultatų analizė pateikta šiame skyriuje:

- I maršrutas: Vilnius–Panevėžys.
- II maršrutas: Saločiai–Mauručiai.
- III maršrutas: Mauručiai–Kalvarija.

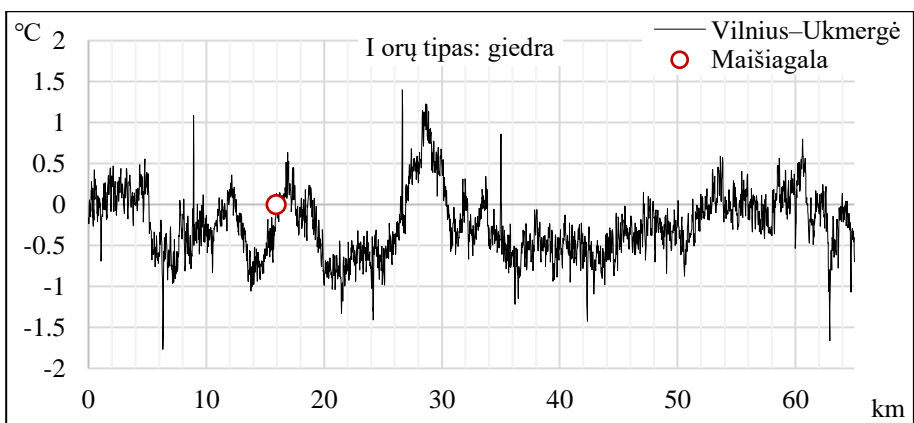
Analizės metu sudaryti TG bei nuokrypių žemėlapiai. Didžioji jų dalis pateikta prieduose.

### 6.1. I maršrutas: Vilnius–Ukmergė

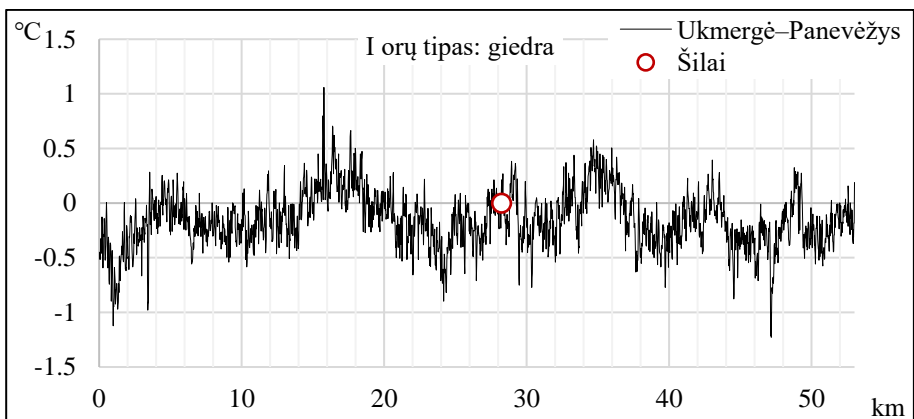
Sudarius kelio ruožo *Vilnius–Ukmergė* TG matyti, kad kelio paviršiaus temperatūros nuokrypiai nuo Maišiagalos KOS stoties (6.1 pav., kiti orų tipai 1 priede) didžioje kelio dalyje, net ir giedromis naktimis, neviršija  $\pm 1$  °C. Staigūs temperatūros šuoliai (tiek teigiami, tiek neigiami) susiję su viadukais, t. y. važiuojant virš kelio fiksuojami neigiami nuokrypiai, o važiuojant po – teigiami.

6.1 lentelė. I maršruto kelio ruožų dangos temperatūros nuokrypių nuo KOS stočių pasiskirstymas kategorijose.

Temperatūros nuokrypis (°C)	Giedra		Pereinamas		Apsiniaukę	
	km	%	km	%	km	%
<b><i>Kelio ruožas</i></b>	<i>Vilnius–Ukmergė</i>		<b><i>KOS stotis</i></b>		<i>Maišiagala</i>	
< -3,5						
nuo -3,5 iki -2,5						
nuo -2,5 iki -1,5	0,06	0,1	-	-	-	-
nuo -1,5 iki -0,5	17,7	27,2	0,22	0,3	0,02	0,0
nuo -0,5 iki +0,5	44,88	69,0	64,76	99,6	57	87,7
nuo +0,5 iki +1,5	2,36	3,6	0,02	0,0	7,98	12,3
Iš viso	65,00	100	65,00	100	65,00	100
<b><i>Kelio ruožas:</i></b>	<i>Ukmergė– Panevėžys</i>		<b><i>KOS stotis:</i></b>		<i>Šilai</i>	
nuo -1,5 iki -0,5	3,64	6,9	-	-	-	-
nuo -0,5 iki +0,5	48,98	92,4	52,96	99,9	45,92	86,6
nuo +0,5 iki +1,5	0,38	0,7	0,04	0,1	7,08	13,4
Iš viso	53,00	100	53,00	100	53,00	100

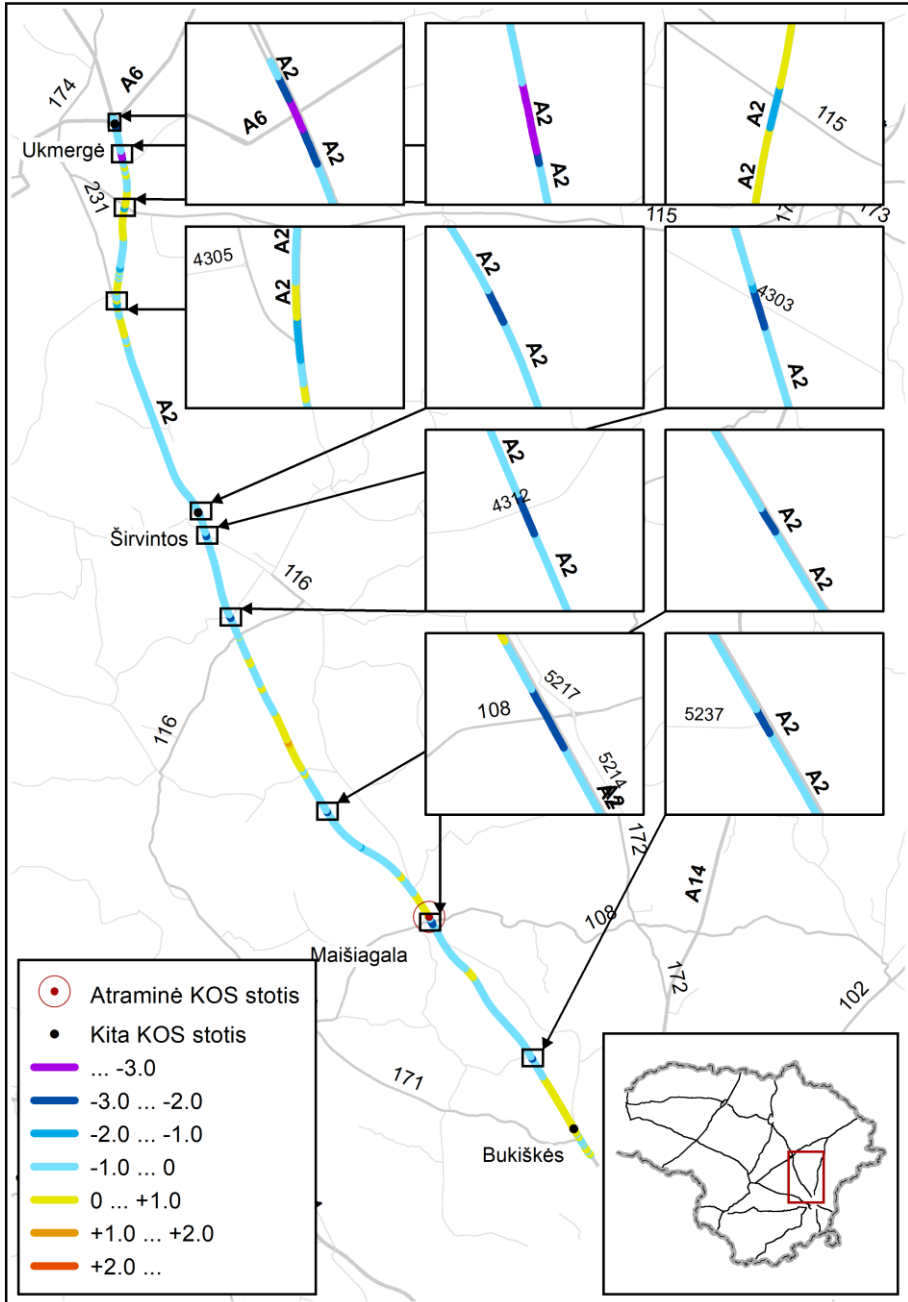


6.1 pav. Kelio ruožo Vilnius–Ukmergė kelio dangos temperatūros TG. Nuokrypiai skaičiuoti nuo Maišiagalos KOS stoties (vieta išryškinta apskritimu). I orų tipas: giedra. Naudoti 2015 m. TK duomenys.



6.2 pav. Kelio ruožo Ukmergė–Panevėžys kelio dangos temperatūros TG. Nuokrypiai skaičiuoti nuo Šilų KOS stoties (vieta išryškinta apskritimu). I orų tipas: giedra. Naudoti 2015 m. TK duomenys.

Daugiau negu 2/3 kelio ruožo ilgio temperatūros nuokrypiai nesiekia  $\pm 0,5$  °C (6.1 lentelė). Mažiausiai nuokrypis kinta esant pereinamajam orų sąlygų tipui, daugiausiai – esant giedroms naktims. Apsiniaukusiomis naktimis (lyginant su giedromis) išauga didesnių už  $+0,5$  °C nuokrypių pasikartojimas. Jeigu naktį giedra, kelio ruožo Vilnius–Ukmergė žemėlapyje aiškiai įžiūrimos atkarpos, kurioms būdingi nežymūs neigiami nuokrypiai (6.3 pav.), tai esant apsiniaukusiai naktčiai ar pereinamoms sąlygoms, tokie ruožai išnyksta (16–17 priedai).



6.3 pav. Kelio ruožo Vilnius–Ukmergė kelio dangos temperatūros terminis žemėlapis – vidutinis kelio dangos temperatūros nuokrypis nuo atraminės KOS stoties. I orų tipas: giedra. Naudoti 2015 m. TK duomenys.

Kelio ruožas *Ukmergė–Panevėžys* yra tame pačiame kelyje – A2. Nuokrypių reikšmės taip pat išlieka panašios (6.1 lentelė). Šiame ruože temperatūros skirtumai yra itin nedideli, didžioji dalis reikšmių patenka į  $\pm 0,5$  °C intervalą (virš 86 proc. esant bet kuriam orų sąlygų tipui). Tik keliose siaurose atkarpose, esant giedrai nakčiai, kelio dangos paviršiaus temperatūros nuokrypiai viršija  $\pm 1,0$  °C (6.2 pav., kiti orų tipai 10 priede).

Giedromis naktimis, skirtingai nei Vilnius–Ukmergė ruože, kelio ruožui *Ukmergė–Panevėžys* nebūdingos ilgesnės, neigiamais nuokrypiais pasižyminčios atkarpos (18 priedas). Viena iš galimų priežasčių gali būti mažesnis viadukų ir tiltų skaičius bei vienodesnis ir mažiau kalvotas kraštovaizdis. Šiai A2 daliai būdingi nežymiai teigiamų nuokrypių atkarpos esant apsiniaukusiomis naktimis (19–20 priedai).

## 6.2. II maršrutas: Saločiai–Mauručiai

Itin stabilios kelio dangos paviršiaus temperatūros (daugiau nei 88 proc. reikšmių patenka į  $\pm 0,5$  °C intervalą) būdingos kelio ruožui *Panevėžys–Saločiai* (6.2 lentelė). Visi didesni nuokrypiai ( $>\pm 1,0$  °C) siejami su viadukais.

Labiau išsiskiriančios sąlygos būdingos ruožo pradžiai, t. y. Panevėžio aplinkkeliui, toliau, link Latvijos sienos, sąlygos tampa homogeniškomis (6.4 pav., kiti orų tipai 11 priede).

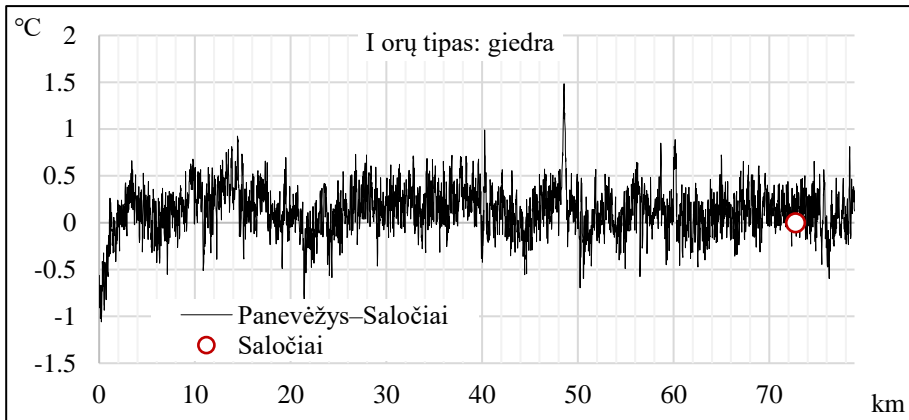
6.2 lentelė. II maršruto kelio ruožų dangos temperatūros nuokrypių nuo KOS stočių pasiskirstymas kategorijose.

Temperatūros nuokrypis (°C)	Giedra		Pereinamas		Apsiniaukę	
	km	%	km	%	km	%
<b>Kelio ruožas:</b>	<i>Panevėžys–Saločiai</i>		<b>KOS stotis:</b>		<i>Saločių</i>	
nuo -1,5 iki -0,5	0,98	1,2	9,0	11,4	4,72	6,0
nuo -0,5 iki +0,5	72,96	92,5	69,9	88,6	74,12	93,9
nuo +0,5 iki +1,5	4,96	6,3	-	-	0,06	0,1
Iš viso	78,90	100	78,90	100	78,90	100
<b>Kelio ruožas:</b>	<i>Panevėžys–Sitkūnai</i>		<b>KOS stotis:</b>		<i>Šėtos</i>	
nuo -3,5 iki -2,5	2,16	2,7	-	-	-	-
nuo -2,5 iki -1,5	20,6	25,9	0,3	0,4	-	-
nuo -1,5 iki -0,5	45,54	57,2	51,86	65,2	37,58	47,2
nuo -0,5 iki +0,5	10,7	13,4	27,42	34,4	42,02	52,8
nuo +0,5 iki +1,5	0,6	0,8	0,02	0,0	-	-
Iš viso	79,60	100	79,60	100	76,60	100

Tęsinys kitame puslapyje

6.2 lentelės tęsinys.

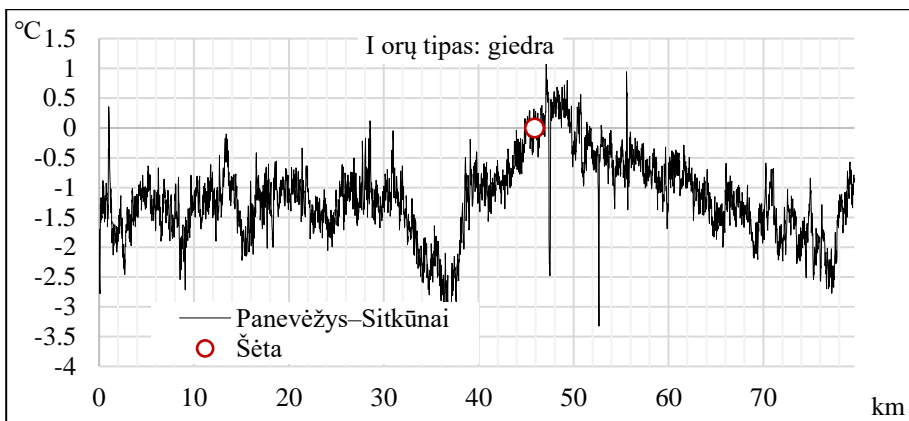
Temperatūros nuokrypis (°C)	Giedra		Pereinamas		Apsiniaukę	
	km	%	km	%	km	%
<b>Kelio ruožas:</b>	<i>Sitkūnai–Mauručiai</i>		<b>KOS stotis:</b>		<i>Šėtos</i>	
< -3,5	0,14	0,5	-	-	-	-
nuo -3,5 iki -2,5	0,82	2,9	-	-	-	-
nuo -2,5 iki -1,5	10,18	35,9	1,88	6,6	-	-
nuo -1,5 iki -0,5	14,78	52,1	11,84	41,7	11,12	39,2
nuo -0,5 iki +0,5	2,32	8,2	13,54	47,7	17,16	60,5
nuo +0,5 iki +1,5	-	-	1,1	3,9	0,08	0,3
≥ +1,5	0,12	0,4	-	-	-	-
Iš viso	28,36	100	28,36	100	28,36	100



6.4 pav. Kelio ruožo Panevėžys–Saločiai kelio dangos temperatūros TG. Nuokrypiai skaičiuoti nuo Saločių KOS (vieta išryškinta apskritimu). I orų tipas: giedra. Naudoti 2015 m. TK duomenys.

Nedidelis skirtumas, lyginant kelio ruožą Panevėžys–Saločiai su A2 keliu yra tai, kad daugiau kelio atkarpų pasižymi nedideliais neigiamais kelio paviršiaus temperatūros nuokrypiais (nuo -0,5 iki -1,5 °C) esant pereinamam ir apsiniaukusiam orų sąlygų tipams (22–23 priedai) lyginat su giedromis naktimis (21 priedas).

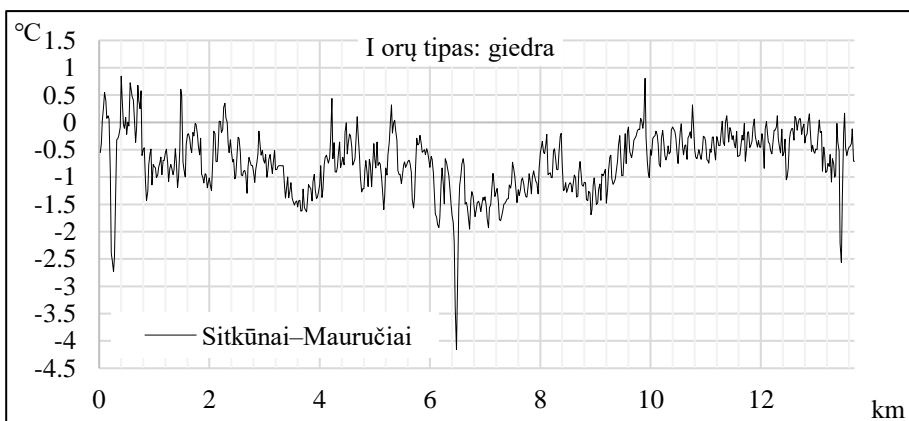
Skirtingai nuo ankščiau aptartų variantų, kelio ruože *Panevėžys–Sitkūnai*, visais orų sąlygų tipais, neigiami nuokrypiai būdingi mažiausiai 47 proc. viso atkarpos ilgio (6.2 lentelė). Neigiamų nuokrypių priežastis – Šėtos KOS (6.5 pav., kiti orų tipai 12 priede), kuri patenka į teigiamais nuokrypiais pasižyminčio ruožo dalį.



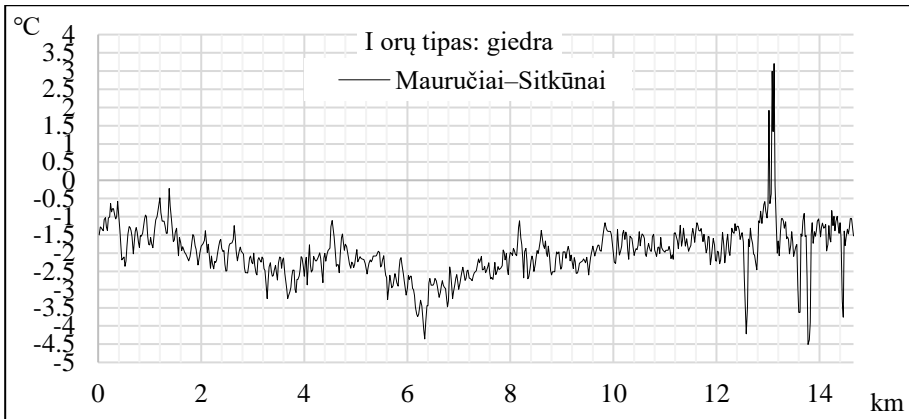
6.5 pav. Kelio ruožo Panevėžys–Sitkūnai kelio dangos temperatūros TG. Nuokrypiai skaičiuoti nuo Šėtos KOS (vieta išryškinta apskritimu). I orų tipas: giedra. Naudoti 2015 m. TK duomenys.

Neigiamų nuokrypių fone išryškėja kelio temperatūrą didinantis urbanizuotos teritorijos poveikis ties Kėdainiais (24 priedas). Silpnesnis šildantis poveikis pasireiškia esant kitiems orų sąlygų tipais (25–26 priedai).

Kelio ruožas *Sitkūnai–Mauručiai* pats trumpiausias, tačiau didžiausiais kelio dangos temperatūros nuokrypiais pasižymintis ruožas (daugiau nei 9 °C). Dėl skirtingų atstumų važiuojant į vieną ar į kitą pusę bei didelių nuokrypių susidariusius dėl sudėtingos kelio konfigūracijos, šiam ruožui TK atskirai atliktas važiuojant pirmyn (6.6 pav., kiti orų tipai 13 priede) ir atgal



6.6 pav. Kelio ruožo Sitkūnai–Mauručiai (važiuojant pirmyn) kelio dangos temperatūros TG. Nuokrypiai skaičiuoti nuo Šėtos KOS. I orų tipas: giedra. Naudoti 2015 m. TK duomenys.



6.7 pav. Kelio ruožo Sitkūnai–Mauručiai (važiuojant atgal) kelio dangos temperatūros TG. Nuokrypiai skaičiuoti nuo Šėtos KOS. I orų tipas: giedra. Naudoti 2015 m. TK duomenys.

(6.7 pav., kiti orų tipai 14 priede). Giedroms naktims būdinga labai didelė temperatūros nuokrypių įvairovė atskirose atkarpose lyginat su kitais orų sąlygų tipais.

Priešingose kelio pusėse labiausiai nuokrypiai išsiskiria ties Sitkūnais ir Mauručiais (27 priedas), o skirtumai tarp atskirų kelio pusių beveik išnyksta esant pereinamo ir apsiniaukusio orų sąlygų tipams (28–29 priedai).

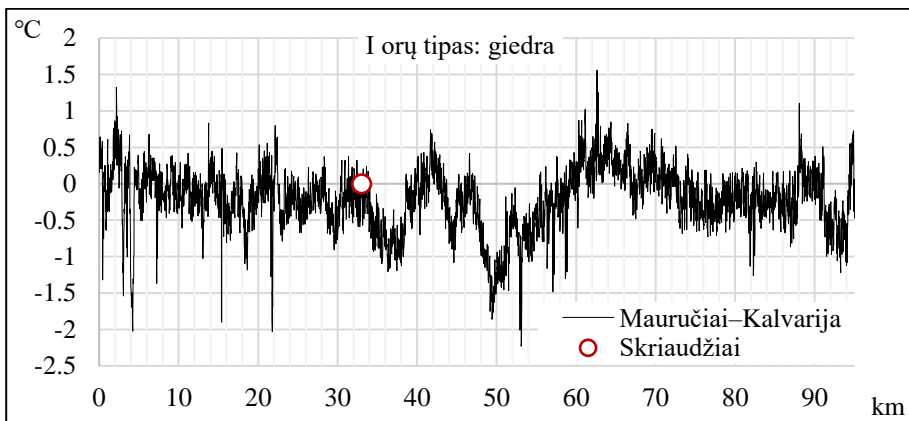
### 6.3. III maršrutas: Mauručiai–Kalvarija

Kelio ruožui *Mauručiai–Kalvarija*, kaip ir didžiajai daliai ankstesnių ruožų, būdingi nedideli kelio dangos temperatūros nuokrypiai (patenkantys į  $\pm 0,5$  °C intervalą), jie sudaro ne mažiau 2/3 viso ruožo ilgio (**Error! Not a valid bookmark self-reference.**). Dėl galimo didesnio reljefo poveikio atskiros kelio ruožo atkarpos pasižymi vienodais nuokrypiais (6.8 pav., kiti orų tipai 15 priede). Taip pat TG atsispindi tiltų ir viadukų poveikis, ties šiomis atkarpomis kelio dangos temperatūra nukrinta 1–1,5 °C.

Giedromis naktimis kelio ruožui Mauručiai–Kalvarija būdinga aiškiai pastebimos, nedideliais neigiamais nuokrypiais pasižyminčios, atkarpos (30 priedas). Priešingai, ta pati atkarpa (nuo Marijampolės iki Kalvarijų), esant apsiniaukusioms naktims (32 priedas), vyrauja nedideli teigiami nuokrypiai. Pereinamu laikotarpiu (31 priedas) nuokrypiai išlieka vidutiniai.

6.3 lentelė. II maršruto kelio ruožų dangos temperatūros nuokrypių nuo KOS stočių pasiskirstymas kategorijose

Temperatūros nuokrypis (°C)	Giedra		Pereinamas		Apsiniaukę	
	km	%	km	%	km	%
<b>Kelio ruožas:</b>	<i>Mauručiai–Kalvarija</i>		<b>KOS stotis:</b>		<i>Skriaudžiai</i>	
nuo –2,5 iki –1,5	0,82	0,9	0,02	0,0	-	-
nuo –1,5 iki –0,5	19,52	20,5	6,46	6,8	0,04	0,0
nuo –0,5 iki +0,5	71,52	75,3	80,36	84,6	68,84	72,5
nuo +0,5 iki +1,5	3,12	3,3	8,16	8,6	26,12	27,5
≥ +1,5	0,02	0,0	-	-	-	-
Iš viso	95,00	100	95,00	100	95,00	100



6.8 pav. Kelio ruožo Mauručiai–Kalvarija kelio dangos temperatūros TG. Nuokrypiai skaičiuoti nuo Skriaudžių KOS (vieta išryškinta apskritimu). I orų tipas: giedra. Naudoti 2015 m. TK duomenys.

#### 6.4. Terminio kartografavimo rezultatų Lietuvoje apibendrinimas ir palyginimas su Čekijos terminio kartografavimo duomenimis

Atlikus TK duomenų analizę Lietuvoje ir nustatius, kad didžiojoje analizuotų kelių dalyje vyrauja nedideli temperatūros skirtumai (vidutiniškai  $\pm 0,5$  °C). Pirmojo TK taikymo Lietuvoje metu buvo nustatyta (Bukantis, 2000, 2001), kad tada kelio temperatūros skirtumai irgi buvo nedideli, o jų svyravimo amplitudė – nežymi (1,1–2,3 °C). Jau pirmojo TK metodo taikymo Lietuvoje metu buvo akcentuojama, kad ypač didelę svarbą turi KOS stočių duomenų kokybė naudojant TG prognozavimui. Buvo suabejota,



ar šis metodas yra toks pat efektyvus lygumose, kaip ir kalvotose teritorijose ar aukštumose bei kiek jo rezultatai yra tinkami kelio dangos parametrų prognozavimui Lietuvos sąlygomis.

Kitose šalyse atliktuose tyrimuose kelio dangos temperatūros nuokrypiai yra žymiai aukštesni (Shao ir kt., 1996; Shao ir kt., 1997; Marchetti ir kt., 2012) nei buvo nustatyti Lietuvoje. Labiausiai tikėtini „šaltieji taškai“ Lietuvos TK metu buvo aptikti ir išskirti (pvz., tiltai ir viadukai). Tačiau nepastebėta ypač ryškių ir nuspėjamų temperatūros skirtumų, atsirandančių dėl absoliutaus aukščio (altitudės) kaitos. Taigi, nuspręsta įvertinti galimas klaidų atsiradimo galimybes ir detaliau palyginti Lietuvos TK duomenis su labiau kalvoto ar kalnuoto regiono duomenimis. Išsikelta hipotezė, kad TK metodo pritaikomumas yra nevienodas lygumų ir kalnų klimato zonose.

Čekijos duomenų bazė itin didelė, kadangi ten TK atliktas praktiškai visuose valstybinės reikšmės keliuose. Be to, nors Čekija yra piečiau nei Lietuva, žiemos sąlygos keliuose panašios. Vidutiniais daugiamečiais duomenimis žiemos Lietuvoje yra šiek tiek šaltesnės ir čia iškrinta daugiau kritulių nei Čekijoje. Pvz., Vilniuje vidutinė mėnesio oro temperatūra yra 2–3 °C žemesnė nei Prahoje (Čekijos sostinėje), o vidutinė mėnesio kritulių kiekio suma – 18–25 mm didesnė (Timeanddate.com, 2019-03-11a, b). Tačiau didžiausias skirtumas tarp šalių – jų altitudės pokyčiai. Čekijos kelio ruožai, kurie buvo naudoti šiame tyrime, yra 277–547 m aukštyje virš jūros lygio, o Lietuvos – tik 7–202 m. Be to, nustatyta, kad vidutiniai altitudės pokyčiai buvo atitinkamai 0,47 m ir 0,34 m tarp analizės taškų.

Kadangi dažniausiai „šalti taškai“ kelių ruožuose formuojasi dėl šalto oro sankaujų reljefo įdubose (Bogren, 1991; Bogren ir Gustavsson, 1991; Bogren ir kt., 2001b), jos buvo įvertintos visose analizuojamuose ruožuose. Čekijos kelių ruožuose nustatyta žymiai mažiau įdubų nei Lietuvos kelių ruožuose: 1 km kelio ruožui Čekijoje tenka 0,39 įdubos, o Lietuvoje – 0,53–1,08. Be to, Čekijoje esančios įdubos yra labai panašios (6.4 lentelė): dažniausiai jos yra 16–18 m gylio (altitudės pokytis tarp aukščiausio ir žemiausio taškų), kai kurios pasiekia 66–128 m. Be to, jos dažniausiai yra daugiau nei 1 km ilgio, kartais siekia 4–5 km. Tuo tarpu Lietuvos kelių ruožuose įdubos dažniausiai yra vos 2–3 m gylio, o jų ilgis neviršija 1 km, dažniausiai jis yra tarp 138–175 m.

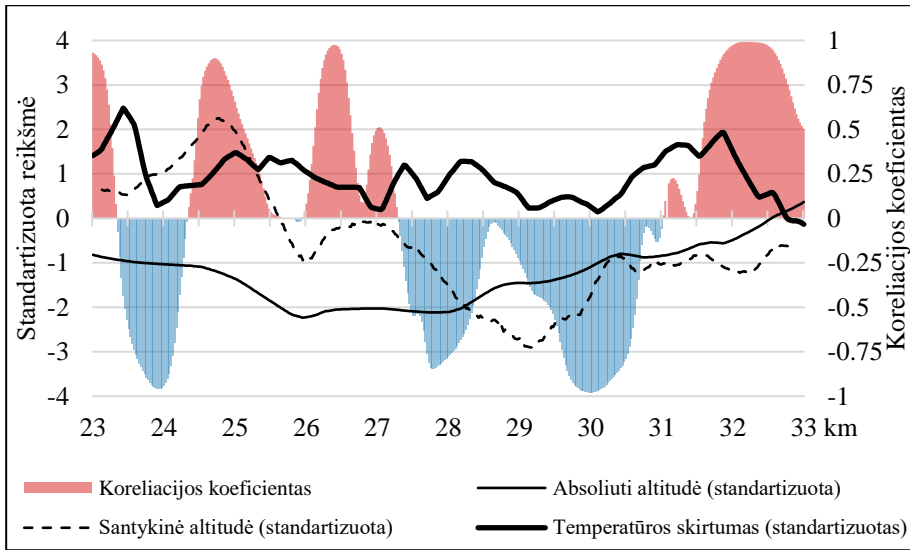
Tokiose kalnuotose vietovėse, kaip Čekija, naktį, esant giedroms oro sąlygoms, tikėtina, kad formuosis šalto oro sankaupos įdubose. Tai iš dalies parodo ir pasirinkti keliai: bendras vidutinis skirtumas tarp oro temperatūros įdubose ir kalvų viršūnėse yra  $-0.78$  °C, o kelio temperatūros –  $-0.25$  °C (neigiamas skirtumas – kelio paviršius yra šaltesnis nei oras). Pats skirtumas

tarp kelio paviršiaus ir oro temperatūros yra didesnis įdubose nei kalvų viršūnėse vidutiniškai 0,52 °C. Tačiau ne kiekviename įduboje gali susidaryti šalto oro sankaupos, kadangi kelias nebūtinai yra nutiestas per žemiausią slėnio dalį, o ir pačios įdubos nebūtinai yra „dubens“ formos. Todėl statistiškai reikšmingi koreliacijos koeficientai tarp įdubos altitudės ir oro temperatūros žemiausiuose įdubos vietose nėra aukšti (vidutiniškai 0,20 CZ1 ir 0,49 CZ2, giedromis oro sąlygomis), tačiau kinta vienodai ir CZ1, ir CZ2. Taip pat nustatyta, kad kuo įduba yra aukščiau, tuo rečiau kelias būna šaltesnis nei oras. Ši tendencija panaši abiejuose kelio ruožuose: koreliacijos koeficientas tarp altitudės ir temperatūros skirtumo (kelio paviršiaus ir oro) CZ1 ruože yra lygus –0,35 įdubose ir –0,49 kalvų viršūnėse, o CZ2 – –0,59 įdubose ir –0,59 kalvų viršūnėse.

Oro temperatūros kaita altitudės atžvilgiu nėra vienoda visuose keliuose. Koreliacijos koeficientas abiejuose Čekijos keliuose yra teigiamas ir nusako vidutinio stiprumo ryšį: CZ1 ir CZ2 atitinkamai 0,50–0,52 ir 0,48–0,66. Tose atkarpose, kuriose yra santykinai status nuolydis, slenkančios koreliacijos (0,5 km atstumu apie tašką) reikšmės iš teigiamų tampa artimos 0, o kitose vietose vėl tampa neigiamos. Pvzd, Vltava ir Brzina upių slėnyje (6.9 pav.),

6.4 lentelė. Bendra įdubų statistika (aukščio pokytis yra didesnis nei 1 m) analizuojamuose kelių ruožuose Čekijoje (CZ1 ir CZ2) ir Lietuvoje (LT1, LT3 ir LT4), kurie paaiškinti 2.3.2 poskyryje.

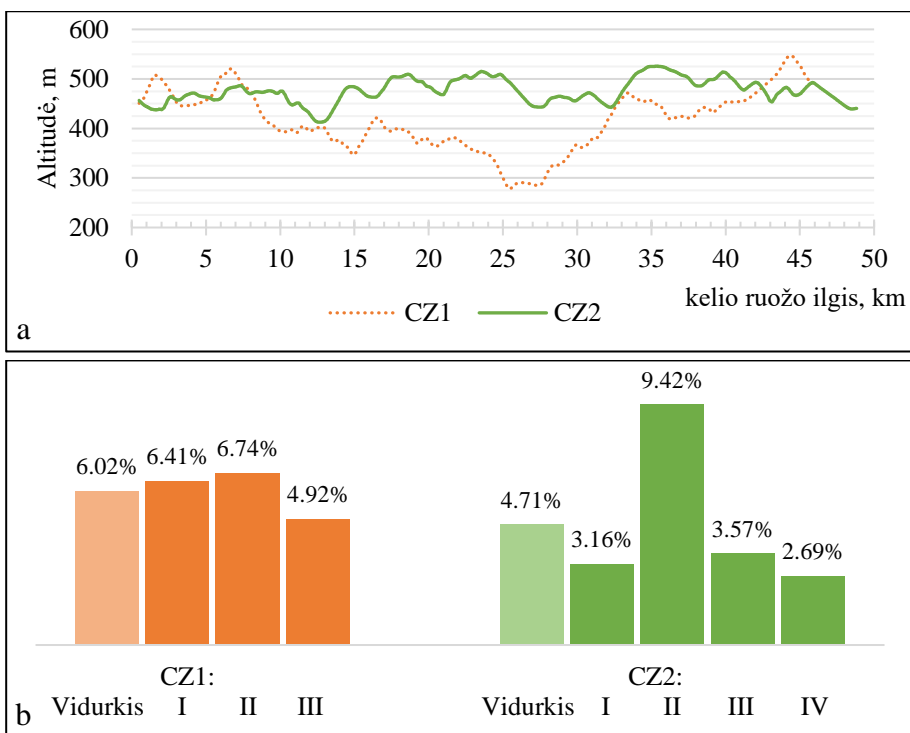
<b>Kelio ruožas:</b>	<b>CZ1</b>	<b>CZ2</b>	<b>LT1</b>	<b>LT3</b>	<b>LT4</b>
<i>Įdubų kiekis kelio ruože</i>					
Iš viso (vnt.)	18	19	127	42	70
Kelio ruožo ilgis (km)	45,750	48,825	117,325	78,725	95,150
Kiek tenka 1 km	0,39	0,39	1,08	0,53	0,74
<i>Įdubos gylis (D), metrais</i>					
Vidutinis	29,5	22,4	6,7	4,5	4,3
Mediana	18,0	16,0	3,0	3,0	2,0
Mažiausias	1,2	1,1	2,0	2,0	2,0
Didžiausias	127,7	65,9	113,0	15,0	45,0
<i>Įdubos ilgis (W), metrais</i>					
Vidutinis	2295,8	1943,4	258,5	231,0	199,3
Mediana	1862,5	1425,0	175,0	150,0	137,5
Mažiausias	925,0	500,0	50,0	75,0	50,0
Didžiausias	5125,0	4375,0	1000,0	950,0	875,0
<i>Vidutinis įdubos ilgio ir gylio santykis (W/D)</i>					
Vidutinis	367,9	263,1	67,7	69,1	75,0



6.9 pav. Slenkančios koreliacijos koeficiento (užpildytas plotas) kaitos pavyzdys Čekijos kelio ruože ties Vltava ir Brzina upėmis, kartu pateikta: absoliuti (plona ištisinė linija) ir santykinė (punkttyrinė linija) altitudės bei skirtumas tarp kelio paviršiaus ir oro temperatūros (stora ištisinė linija, neigiamas skirtumas – kelias šaltėsnis už orą)

kelio ruožuose, kuriuose santykinė kelio altitudė (lyginant su plotu, ribojamu 0,5 km spindulio aplink kelio tašką) žymiai keičiasi, slenkantis koreliacijos koeficientas krinta iš stipraus teigiamo į silpną ir netgi į stiprų neigiamą. Tuo tarpu kelio ruožuose, kur santykiniai altitudės pokyčiai neviršija bendro duomenų triukšmo ribų arba pasikeičia tik nežymiai, koeficientas stiprus ir teigiamas. Galima daryti išvadą, kad oro temperatūros ryšio su altitudė stiprumas priklauso nuo to, ar teritorija yra sąlyginai plokščia, ar turi nuolydį. Pirmuoju atveju oro temperatūrą būtų galima prognozuoti pagal altitudę lygumose, tačiau antruoju atveju prognostinis tokio ryšio potencialas yra žemesnis.

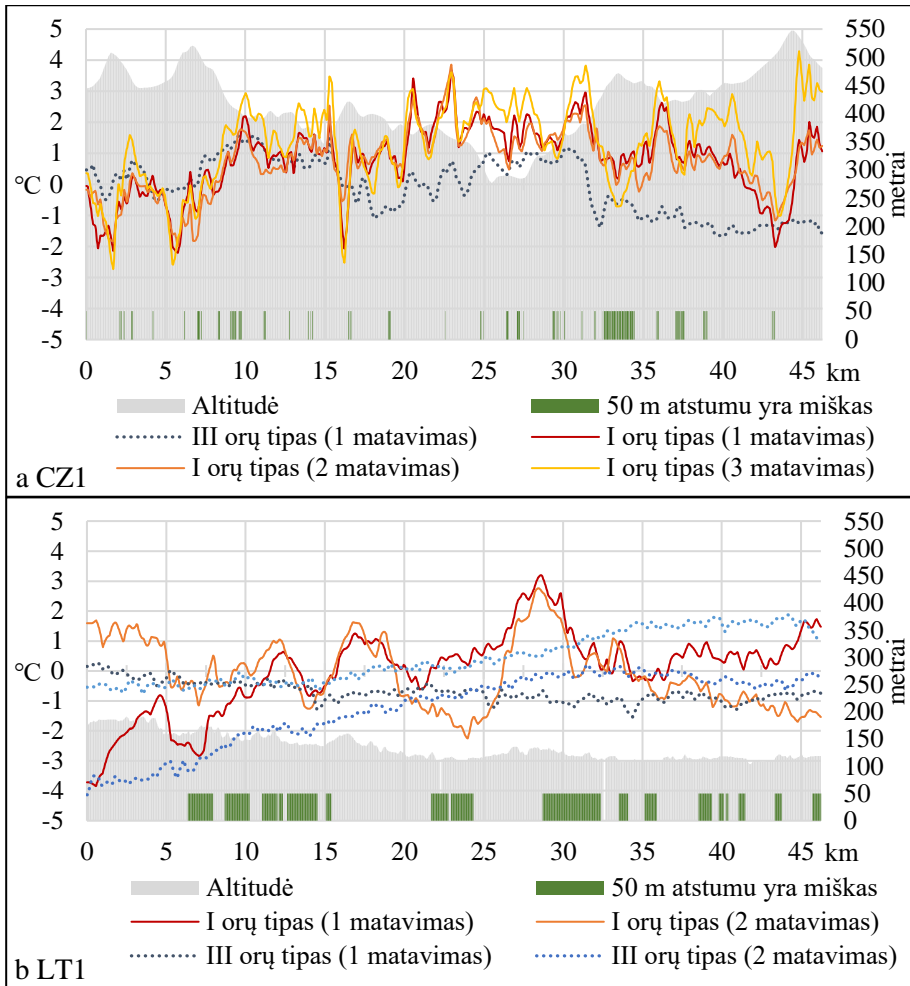
Nors analizuojami Čekijos keliai CZ1 ir CZ2 savo parametrais atrodo labai panašūs, tačiau jų duomenų analizė davė skirtingus rezultatus. CZ1 absoliutus aukštis kito mažiau nei CZ2 (6.10 pav.). CZ1 aukščiausiai esantys taškai – ruožo galuose, o ruožo viduryje – keli didesni slėniai, tačiau šis ruožas išsiskiria aukščiausiomis kalvų viršūnėmis ir žemiausiomis įdubomis (6.10 pav., absoliutus aukštis svyruoja tarp 277–547 m) – altitudės amplitudė yra didesnė nei CZ2. Tuo tarpu CZ2 absoliutus aukštis labiau kaitus – kalvas nuolatos keičia įdubos, tačiau šis ruožas pasižymi mažesniu absoliučiu



6.10 pav. a – analizuojamų Čekijos kelio ruožų (CZ1 ir CZ2) kelių altitudės kaita, b – ŠOS parametras (2.8 lygtis) tuose pačiuose ruožuose skirtingų matavimų metu (I, II, III ir IV)

aukščiau (6.10 pav., absoliutus aukštis svyruoja tarp 413–526 m) ir mažesne kaitos amplitudė. Naudojant vidutinius I orų tipo matavimo duomenis, nustatyta, jog ŠOS (2.8 lygtis) lygus tik 6,0 proc. CZ1 kelio ruože ir 4,7 proc. CZ2 kelio ruože. Šio indekso kaita (amplitudė) skirtingiems I orų tipo matavimams yra žymesnė CZ2 negu CZ1: atitinkamai 6,7 proc. ir 1,8 proc.. Taip nutiko dėl vieno iš matavimų, kurio metu ŠOS pasiekė labai aukštą vertę (6.10 pav., II matavimas pasiekė 9,4 proc.), o kitų matavimų metu liko panašiose ribose – vidutiniškai 3,17 proc.. ŠOS reikšmė galėjo susidaryti labai aukšta šio matavimo metu, nes susidarė ypač ekstremalios I orų tipo sąlygos.

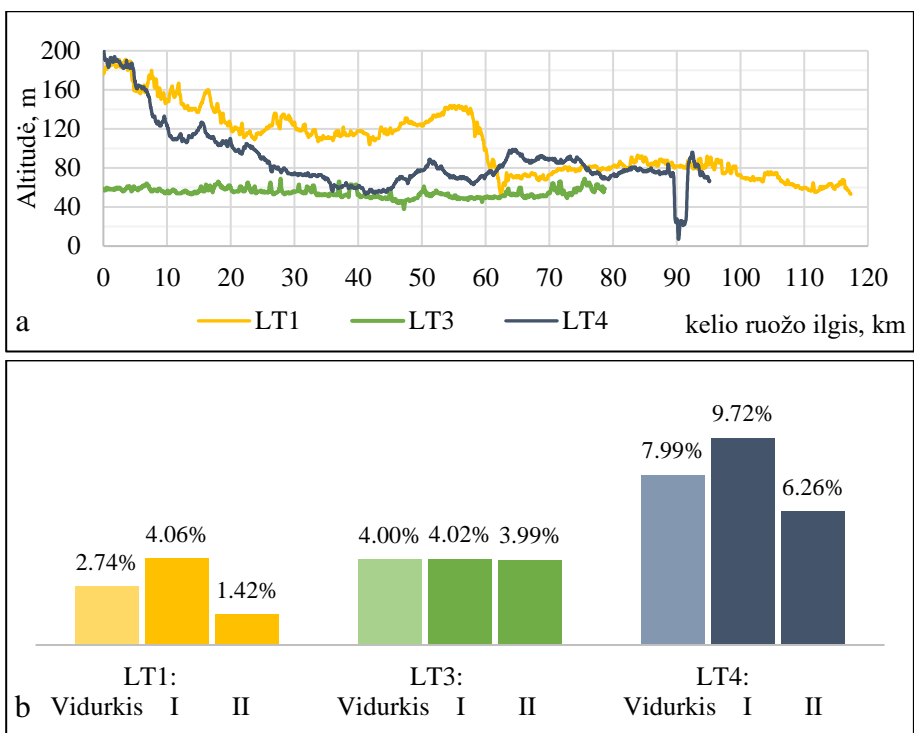
CZ1 pasižymi kur kas ilgesniais šlaitais nei CZ2, o įdubos – sąlyginai platesnės (6.4 lentelė). Tai galėjo nulemti ŠOS indekso skirtumus (vidutiniškai). Didesnėse įdubose su statesniais šlaitais yra didesnė tikimybė pusiau vertikalaus oro judėjimui šlaitu su sąlyga, jog nėra kokių nors žymių kliūčių, kurios trikdytų tėkmę. Taip pat taškuose, kuriuose esama didesnių



6.11 pav. Kelio paviršiaus ir oro temperatūros skirtumai (neigiamas skirtumas – kelias šaltesnis nei oras) Čekijos CZ1 kelio ruože (a) ir Lietuvos LT1 kelio ruože (b, pateikta dalis ruožo) skirtingų TK matavimų metu

altitudės pokyčių, tikėtini didesni temperatūros svyravimai. Taigi, remiantis šiais duomenimis, galima teigti, jog lygumose temperatūra sunkiau prognozuojama nei kalvotuose regionuose su besikeičiančiu kraštovaizdžiu.

Lietuvos TK rezultatai skiriasi nuo Čekijos TK rezultatų. Koreliacija tarp temperatūros skirtumo (kelio paviršiaus temperatūra minus oro temperatūra) ir altitudės I orų tipo skirtingų matavimų metu tame pačiame kelyje nebuvo pastovi. Pvz. LT1 buvo matuotas du kartus (tą pačią naktį) ir koreliacijos koeficientas skirtingų matavimų metu buvo  $-0,55$  ir  $+0,23$  (vidutiniškai). Tai



6.12 pav. a – analizuojamų Lietuvos kelio ruožų (LT1, LT3 ir LT4) kelių altitudės kaita, b – ŠOS parametras (2.8 lygtis) tuose pačiuose ruožuose skirtingų matavimų metu (I ir II)

leidžia manyti, kad šalto oro sankaupos įdubose galimai nesusiformavo, nes čia oro sąlygas veikia kiti veiksniai. Pvz., 6.1 pav. kelio paviršiaus temperatūra aiškiai „seka“ altitudės pokyčius Čekijos kelio ruože, tačiau Lietuvos – temperatūros pokyčiai altitudės neatitinka. Be to, I ir II oro tipų matavimų rezultatai Lietuvoje nėra panašūs, kai tuo tarpu Čekijoje linijos kaita panaši. Lietuvos kalvos ir įdubos, lyginant su Čekijos, yra tolygiau kintančios ir įdubos seklesnės. Taigi, galima teigti, kad šaltas oro sankaupas formuojantis pusiau vertikaliuos oro tėkmės greitis gali pasiekti tik labai mažas reikšmes. Tai parodo, kad šalto oro sankaupoms susidaryti ir išsilaikyti ilgesniam laikotarpiui reikia ilgiau išliekančių tam palankių sąlygų, taigi – vienos nakties susidaryti tokioms sankaupoms neužtenka.

Todėl galima teigti, kad ŠOS indeksas (2.8 lygtis) yra panašus į Čekijos kelių ruožų reikšmes. LT1 ir LT4 keliai turi labiau besikeičiantį kraštovaizdį, kurių viename gale absoliutus aukštis yra apie 200 m, kitame – 60–80 m virš jūros lygio. Tuo tarpu LT3 yra sąlyginai lygus ruožas – visas ruožas yra apie 60 m virš jūros lygio (6.12 pav.). Abu matavimai viename kelyje atlikti tą

pačią naktį, bet skirtingą valandą (II matavimas vėliau nei I). Skirtingose kelio atkarpose ir skirtingų matavimų I orų tipo metu ŠOS svyravo tarp 1,42 proc. ir 9,72 proc. Visuose trijuose ruožuose indeksas sumažėjo antro matavimo metu ir jo kaita buvo stabilesnė tose teritorijose, kur kraštovaizdis buvo lygesnis.

Apibendrinant galima teigti, kad lygumose altitudė turi mažesni prognostinį potencialą kelio paviršiaus temperatūrai nuspėti nei kaitesniame kraštovaizdyje. Pirmu atveju orus lemia oro masės ypatybės ir bendri orų pokyčiai nei vietinis kraštovaizdis. Be to, TK rezultatai lygumose neduoda konkrečių rezultatų, lyginant su aukštumomis. Geriausiai temperatūros kaita lygumose „atitinka“ absoliutaus aukščio pokyčius tik esant I orų tipui, o kalvotose – tendencijos pastebimos ir 3-io orų tipo metu.

Lietuvoje vis vien esama kelių, kur, pvz., kelio temperatūra visuomet nukrisdavo žemiau nei oro visų matavimų metu, tad TK išlieka pritaikomas metodas nustatinėjant tokius „šaltus taškus“. Tačiau, norint gauti gerus rezultatus, privaloma užtikrinti, kad TK metu I tipo orų sąlygos būtų kuo labiau atitinkančios aprašymą. Taigi, Lietuvoje yra daug svarbiau ir sunkiau sulaukti tikrai tinkamų oro sąlygų TK atlikti.

Dėl šių priežasčių TK žemėlapių panaudojimas kelio temperatūros prognozavimui kai kuriais aspektais tampa abejotinu. Yra nemaža tikimybė, kad rezultatai bus nekokybiški, o kadangi pats metodas yra gana brangus, TK tampa ne pačiu efektyviausiu būdu terminiams lygumų kelių bruožams nustatyti. Šiuolaikinė technologijų pažanga ir didėjantis skaičiavimo išteklių prieinamumas suteikia kur kas mažiau kainuojančių ir kur kas labiau užtikrintų būdų gauti reikiamą rezultatą: skaitmeninis modeliavimas (Bogren ir kt., 2001a; Wojcik ir kt., 2003; Kangas ir kt., 2006; Sokol ir kt., 2014), atviri duomenų šaltiniai (LAKD, 2019-03-11b) ir t. t. Nors tokie metodai vis dar palyginti nauji, nuolatinis jų vystymasis ir inovacijos veda kelio temperatūros prognozavimą į kur kas efektyvesnį ir tikslesnį amžių.

## 7. REKOMENDACIJOS KELIŲ PRIEŽIŪROS SPPS BEI ATSKIRŲ JOS DALIŲ INTEGRACIJAI IR KŪRIMUI

1. Rekomenduojama toliau vystyti KOSIS ir EIS bei integruoti jas į visapusišką kelių priežiūros SPPS. Atlikti tyrimai parodė, kad iki XXI a. pabaigos kelių orų sąlygos Lietuvoje kis. Kai kuriais aspektais jos taps paprastesnėmis kelių priežiūrai žiemą, tačiau kitais – sudėtingės.
2. Šiame darbe siūloma SPPS versija, kurią sudaro dvi pagrindinės dalys – terminis kelių kartografavimas ir skaitmeninis kelio būklės prognozavimas. Šias dalis sujungus, galima sudaryti prognozes kelio ruožams, o ne vienam taškui erdvėje (pvz., KOSIS stočiai). Svarbu kelio būklės prognozavimą atlikti operatyviai – prognozes reikėtų atnaujinti bent 4 kartus per parą, geriausia – kas 1 val. Atlikti tyrimai parodė, kad modelio tikslumas labai sumažėja tostant nuo prognozės pradžios.
3. Atliekant kitus tyrimus su METRo modeliu reikia atkreipti dėmesį į papildomus duomenis, kuriuos gali įvertinti modelis ir, galbūt, taip patikslinti gaunamą rezultatą. Analizuojant METRo modelio tinkamumą, tyrime naudoti kelio pylimo parametrai, kurie buvo paimti iš kelio projektų, sudarytų juos rekonstruojant. Realybėje net ir nedideli nuokrypiai nuo šių reikšmių gali iškreipti gaunamą rezultatą, todėl dažnai modelyje naudojamas koreguotų parametrų rinkinys, kuris teikia geresnius prognozių rezultatus. Tyrime nebuvo naudoti dangaus skliauto uždengimo parametrai, kurie taip pat patikslintų gaunamus rezultatus.
4. Ypatingas dėmesys turi būti skiriamas prietaisų patikrai ir kalibravimui, duomenų kokybei. Nustatyta, kad net ir mažos sisteminės paklaidos nulemia neteisingus rezultatus, o METRo prognozė ypač jautri duomenų kokybei – kuo daugiau KOS stotyse trūkių, tuo bus blogesni prognozės rezultatai.
5. Priimant sprendimą, nerekomenduojama visiškai pasikliauti vien tik vienu prognozuojamu parametru, pvz., tik kelio būkle. Verčiau įvertinti visą turimą informaciją ir priimti kompleksinį sprendimą, siekiant išvengti klaidų. Be to, reikėtų įvertinti ir paros metą, kadangi METRo modelis labiausiai pritaikytas prognozuoti „jautriausiomis plikledžiui“ valandomis, t. y. 6–10 val. ryte, taigi šiomis valandomis jis tiksliausias.



6. Užtikrinus renkamų duomenų TK metu kokybę būtų išvengta neteisingų TG, taigi rekomenduojama ypač kruopščiai laikytis TK metodikoje numatytų reikalavimų, pvz., pradėti matavimus 2 val. po saulės laidos ir baigti likus ne mažiau 2 val. iki saulėtekio, matavimus atlikti tik visiškai orų tipą atitinkančių naktų metu. Abejojant TK metodu surinktų duomenų kokybe, reikėtų atlikti daugiau matavimų, tokiu būdu mažinant klaidų atsiradimo tikimybę.
7. TK turi būti kartojamas tame pačiame kelyje bent kartą per 2–3 metus arba pasikeitus kelio konstrukcijai, pvz., po kelio rekonstrukcijos darbų. Net jei pats kelias ir nepasikeičia, šalia kelio esantys objektai, pvz., iškirstas (arba atvirkščiai – ataugęs) miškas, gali nulemti visiškai kitokias kelio termines savybes.
8. Būtina tinkamai prižiūrėti ir nuolat kalibruoti mobilius matavimo įrenginius. Tyrimų rezultatai parodė, kad kelio dangos paviršiaus temperatūros svyravimai Lietuvoje nėra dideli, todėl netiksliai veikiančių ar nekalibruotų prietaisų paklaidos gali viršyti natūraliai susidariusius erdvinis temperatūros lauko pokyčius.
9. Ypatingas dėmesys turi būti skiriamas ir KOS sotyse esančių prietaisų patikrai ir kalibravimui, kadangi stočių duomenys būtų naudojami kaip kelio dangos paviršiaus temperatūros prognozių atskaitos taškai. Kelio dangos temperatūra, išmatuota mobiliu temperatūros davikliu pravažiuojant KOS stotį, turėtų iš esmės sutapti su stoties parodymais (leidžiama tik nedidelė  $\pm 0,1$  °C paklaida).
10. Vien tik apskaičiuoti kelio dangos parametrų prognozę neužtenka, ją reikia pateikti EIS vartotojams. Pateikiama informacija turi būti lengvai suprantama ir interpretuojama, o siūlomi vaizdo redagavimo įrankiai – intuityvūs ir neperkraunantys sistemos ekrano. Geriausias būdas vaizduoti turimą 2D kelio dangos parametrų prognozę – atskiru informacijos sluoksniu esamoje EIS GIS aplinkoje. Šiame sluoksnyje kelio ruožai, kuriems paskaičiuota kelio dangos parametrų prognozė, būtų vaizduojama spalvota linija, kur spalvos reprezentuotų skirtingą pavojaus lygmenį ar kelio dangos paviršiaus temperatūrą.

## 8. IŠVADOS

1. Apibendrinant gautus rezultatus galima teigti kad, iki XXI a. pabaigos vairavimo sąlygos žiemą turėtų pagerėti, o kelių priežiūros darbų turėtų reikėti mažiau. Tačiau ne visų reiškinų dažnumas keisis vienodai: dienų skaičius, kai oro temperatūra svyruoja apie 0 °C, išaugs, sniego iškris mažiau ir rečiau, o ypač sudėtingų vairavimo sąlygų (pūgų) – mažės, tačiau išsiskirs Baltijos pajūrio zona, kurioje tokių dienų bus daugiau.
2. Remiantis klimato globalios cirkuliacijos modelių projekcijomis yra tikėtina, kad dienų skaičius, kai oro temperatūra svyruoja apie 0 °C ( $T \pm 0$ ), žymiai išaugs iki XXI amžiaus pabaigos: vidutiniškai iki +20 dienų per metus lygumose ir +80 dienų pajūrio regione (vidutiniškai iki 50–100 proc. daugiau nei dabar). Tokių dienų skaičiaus augimas apsunkins kelių priežiūrą žiemą – bus daugiau dienų, kai galės formuotis plikledis, be to, augs eismo įvykių tikimybė.
3. Iki XXI amžiaus pabaigos sniego dienų (SD) grėsmė gerokai sumažės (pvz. apie 15 proc. per metus esant RCP 4.5 scenarijui ir 100 proc. per metus esant RCP 8.5 scenarijui), o kai kuriuose vietose gali ir visai išnykti, ypač šiltesnėmis žiemomis. Mažesnis dienų su snygiu skaičius turėtų palengvinti vairavimo sąlygas keliuose, o kelių priežiūra žiemą šiuo aspektu taps lengvesnė ir reikalaus mažiau resursų: mažiau sniego, todėl reikia mažiau ledą tirpdančių medžiagų ir darbo valandų.
4. Tikėtina, kad dienų skaičius su nepalankiomis vairavimui sąlygomis (AD) netolimoje ateityje (2016–2035 m.) pasikeis ir tai priklausys nuo padažnėjusio stipraus vėjo kai kuriuose regionuose, pvz., Baltijos aukštumose (Lietuvos pietuose–pietryčiuose). Iki XXI a. pabaigos sąlygos turėtų pagerėti (AD sumažės nuo 1–15 iki 0–10 dienų per metus), o didesnis AD skaičius išliks tik tose vietovėse, kurios yra labiau veikiamos stiprių vėjų – Baltijos jūros pakrantėje.
5. Atlikti tyrimai parodė, kad šiame darbe pateikiamos kelių priežiūros sprendimų priėmimo paramos sistemos (SPPS) koncepcijos dalys (terminis kartografavimas ir skaitmeninis kelių orų prognozavimas) yra tinkamos Lietuvos teritorijai, tačiau ypač didelis dėmesys turėtų būti skiriamas visų duomenų kokybei. Tyrimai parodė, kad didžiąją dalį neatitikimų ir paklaidų galima pataisyti išvengiant sisteminių ir kitų klaidų.
6. Prognozuojant METRo modeliu pastebėta, kad skirtumai tarp skirtingų stočių prognozių nėra dideli. Nustatyta, kad daugiausiai kelio

- dangos temperatūros prognozė nukrypsta Šėtos kelių orų sąlygų stotyje (KOS) – vidutinė absoliuti paklaida (MAE) lygi 1,28 °C, o mažiausiai buvo Šilų KOS – MAE lygi 1,05 °C, kelio pylimo temperatūros prognozė – atitinkamai Šėtos ir Saločių KOS (po 0,81 °C) bei Šilų KOS (0,67 °C). Šie skirtumai pastebimai priklauso nuo duomenų kokybės, todėl užtikrinti gerą METRo prognozių kokybę galima ne didinant perduodamų duomenų dažnį, o keliant jų kokybę, mažinant atsirandančių sisteminių klaidų skaičių.
7. Pastebėta, kad didžiausios METRo paklaidos atsiranda esant ryškiai atmosferos cirkuliacijos įtakai, t. y., kai vyrauja oro masių judėjimas ar atmosferos frontai. Taigi, skaitmeninio orų prognozių modelio gebėjimas teisingai prognozuoti atmosferos parametrus lemia ir METRo prognozių patikimumą. Tai ypač pasireiškia tada, kai orų sąlygas didžiąja dalimi lemia oro masių pernaša iš kitų regionų, o ne vietinės mikroklimato sąlygos. Modelio tinkamumo tyrimo metu atrinkti didžiausiomis paklaidos (pvz., Maišiagalos KOS prognozuotos reikšmės buvo 1–2 °C žemesnės, nei išmatuotos) reikšmėmis pasižymintys laikotarpiai buvo esant teigiamos temperatūros advekcijai iš pietų ar pietvakarių.
  8. METRo kelio būklės prognozė sunkiai verifikuojama. Tyrimo metu nustatyta, kad 55 proc. atvejų METRo prognozė bent iš dalies sutampa su KOS duomenimis. Dėl šios priežasties nerekomenduojama kelių priežiūros žiemą darbų planavimo metu visiškai pasikliauti tik vienu prognozuojamu parametru. Verčiau įvertinti visą turimą informaciją ir priimti kompleksinį sprendimą, siekiant išvengti klaidų.
  9. Įvertinus terminio kartografavimo (TK) metu sudarytus kelių terminius žemėlapius stebėta, kad didžiąjai daliai kelių vyrauja itin nedideli ( $\pm 0,5$  °C) kelio dangos temperatūros nuokrypiai. Didesni temperatūros nuokrypiai atsiranda tik neilgose specifiniu temperatūriniu režimu pasižyminčiose kelio atkarpose (tiltai ir viadukai). Didžiausi kelio dangos temperatūros nuokrypiai būdingi kelio ruožui Sītūkūnai–Mauručiai: daugiau nei 9 °C, o mažiausiais nuokrypiais pasižymi kelio ruožas Panevėžys–Saločiai: daugiau nei 88 proc. reikšmių patenka į  $\pm 0,5$  °C intervalą, o visi didesni nuokrypiai ( $> \pm 1,0$  °C) sietini su viadukais.
  10. Palyginus Lietuvos terminio kartografavimo (TK) duomenis su Čekijos TK duomenimis nustatyta, kad kelio paviršiaus temperatūros ir reljefo ryšys lygumose yra silpnesnis nei labiau kalvotuose ar kalnuotuose regionuose. Pirmu atveju daugiau orus lemia oro masės

ypatybės ir bendri orų pokyčiai nei vietinis kraštovaizdis. Be to, TK rezultatai lygumose neduoda konkrečių rezultatų, lyginant su aukštumomis. Geriausiai temperatūros kaita lygumose „atitinka“ absoliutaus aukščio pokyčius tik esant giedrai, o kalvotose tendencijos pastebimos ir debesuotų orų metu.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

Alirezaei M., Onat N. C., Tatari O., Abdel-Aty M. 2017. The Climate Change-Road Safety-Economy Nexus: A System Dynamics Approach to Understanding Complex Interdependencies. *Systems*. 5(1): 6.

Andersson A. K., Chapman L. 2011. The impact of climate change on winter road maintenance and traffic accidents in West Midlands, UK. *Accident Analysis & Prevention*. 43(1): 284-289. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.08.025>

Attanasi E. D., Johnson S. R., LeDuc S., McQuigg J. D. 1973. Forecasting work conditions for road construction activities: an application of alternative probability models. *Monthly weather review*. 101: 223-230. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1973\)101%3C0223:FWCFCR%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1973)101%3C0223:FWCFCR%3E2.3.CO;2)

Badeli S., Carter A., Doré G. 2018. Complex Modulus and Fatigue Analysis of Asphalt Mix after Daily Rapid Freeze-Thaw Cycles. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 30(4): 04018056. DOI:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002236

Bazlova T., Bocharnikov N., Pugachev A., Solonin A. 2012a. Decision Support System for Winter Maintenance - Research and Practice. *16th International Road Weather Conference*, Helsinki, Finland, 23-25th May, SIRWEC. <http://sirwec.org/wp-content/uploads/Papers/2012-Helsinki/59.pdf> (Žiūrėta 2019-03-11)

Bazlova T., Bocharnikov N., Pugachev A., Solonin A. 2012b. Road weather forecasting for a ring highway. *16th International Road Weather Conference*, Helsinki, Finland, 23-25th May, SIRWEC. <http://sirwec.org/wp-content/uploads/Papers/2012-Helsinki/57.pdf> (Žiūrėta 2019-03-11)

Belk D. G. 1992. *Thermal mapping for a highway gritting network*. PhD dissertation. University of Sheffield: Department of Civil and Structural Engineering. Sheffield, UK

Bentsen M., Bethke I., Debernard J. B., Iversen T., Kirkevåg A., Seland Ø., Drange H., Roelandt C., Seierstad I. A., Hoose C., Kristjánsson J. E. 2013. The Norwegian Earth System Model, NorESM1-M – Part 1: Description and basic evaluation of the physical climate. *Geoscientific Model Development*. 6(3): 687-720. DOI: 10.5194/gmd-6-687-2013

Berkhout F., Hertin J., Gann D. M. 2006. Learning to Adapt: Organisational Adaptation to Climate Change Impacts. *Climatic Change*. 78(1): 135-156. DOI: 10.1007/s10584-006-9089-3

Bertauskas J. 2007. *Fuzzy Logic metodo prognozuojant nepalankius eismui meteorologinius reiškinius taikymas*. Bakalauro darbas. Vilniaus universitetas: Hidrologijos ir klimatologijos katedra. Vilnius

Binderytė S. 2019. *Automobilių kelių orų sąlygų poveikio eismo intensyvumui tyrimas Lietuvoje*. Bakalauro darbas. Vilniaus universitetas: Hidrologijos ir klimatologijos katedra. Vilnius

Bles T., Bessembinder J., Chevreuil M., Danielsson P., Falemo S., Venmans A., Ennesser Y., Löfroth H. 2016. Climate Change Risk Assessments and Adaptation for Roads – Results of the ROADAPT Project. *Transportation Research Procedia*. 14: 58-67. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.041>

Bližňák V., Hošek J., Chládová Z., Pešice P., Sedlák P., Sokol Z., Zacharov P. 2012. The application of METRO model to the Czech road data – preliminary results. *16th International Road Weather Conference, 23-25th May, SIRWEC*. <http://sirwec.org/wp-content/uploads/Papers/2012-Helsinki/77.pdf> (Žiūrėta 2019-02-04)

Blomqvist G., Johansson E.-L. 1999. Airborne spreading and deposition of de-icing salt — a case study. *Science of The Total Environment*. 235(1): 161-168. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00209-0](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00209-0)

Bogren J. 1991. Screening effects on road surface temperature and road slipperiness. *Theoretical and Applied Climatology*. 43(1-2): 91-99. <https://doi.org/10.1007/BF00865043>

Bogren J. 1996. A local climatological model for stretchwise road surface temperature information. *8th International Road Weather Conference, Birmingham, UK, SIRWEC1996 Proceedings*: 68–72

Bogren J., Gustavsson T. 1989. A method for the development of a local climatological models for predict of slipperiness on roads. *Ataskaita, GUNI rapport 20, Gothenburg, Sweden*.

Bogren J., Gustavsson T. 1991. Nocturnal air and road surface temperature variations in complex terrain. *International Journal of Climatology*. 11(4): 443-455. DOI: 10.1002/joc.3370110408

Bogren J., Gustavsson T., Bullock T. 2001a. Feasibility study: adaptation of the Local Climatological Model (LCM) to southern Ontario. *Ataskaita*, <https://aurora-program.org/research/completed/adaptation-of-the-local-climatological-model/> (Žiūrėta 2019-03-11)

Bogren J., Gustavsson T., Karlsson M. 2001b. Temperature differences in the air layer close to a road surface. *Meteorological Applications*. 8(4): 385-395. DOI:10.1017/S1350482701004017

Bogren J., Gustavsson T., Karlsson M., Postgård U. 2000. The impact of screening on road surface temperature. *Meteorological Applications*. 7(2): 97-104. DOI:10.1017/S135048270000150X

Bogren J., Gustavsson T., Lindqvist S. 1992. A description of a local climatological model used to predict temperature variations along stretches of road. *Meteorological Magazine*. 121: 157-164.

Boselly S. E., III, Thornes J. E., Ulberg C. 1993. Road Weather Information Systems, Volume 1: Research Report. *Ataskaita*, National Research Council, Washington, DC. <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/shrp/shrp-h-350.pdf> (Žiūrėta 2019-03-11)

Boyce D. 2019. *Transportation systems: Transportation engineering and planning*. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS). <https://www.eolss.net/Sample-Chapters/C05/E6-40-02.pdf> (Žiūrėta 2020-02-23)

Bradley A. V., Thornes J. E., Chapman L., Unwin D., Roy M. 2002. Modelling spatial and temporal road thermal climatology in rural and urban areas using a GIS. *Climate Research*. 22(1): 41-55.

Braybooke S. 1992. Runway ice prediction and monitoring. *Vaisala News*. 127: 16-21.

Brazel A. J., Ring S. L., Nanninga J. A., Musk L., Nysten E., Palutikof J., Thornes J. E. 1991. *Highway Meteorology*. E & FN Spon: London, UK. ISBN: 0-442-31380-2.

Bukantis A. 2000. Kelio šiluminių grafikų sudarymo metodika. *Ataskaita*, Vilniaus universitetas, Vilnius.

Bukantis A. 2001. Minimalios kelio dangos temperatūros prognozavimas. *Ataskaita*, Vilniaus universitetas, Vilnius.

Bukantis A. 2012. Nuotolinių slidumo matavimo prietaisų bandymo duomenų analizė. *Ataskaita*, Vilniaus universitetas, Vilnius.

Bukantis A., Rimkus E., Stankūnavičius G. 2000. Automobilių kelių mikroklimato tyrimai Lietuvoje. *Geografija*. 36(2): 16-21.

Bulevičius M., Mučinis D., Čygas D., Laurinavičius A., Vaitkus A. 2014. Materials and Technologies for Winter Road Maintenance in Lithuania. *Routes/Roads*. 361: 61-67. PIARC.

Chapman L. 2007. Transport and climate change: a review. *Journal of Transport Geography*. 15(5): 354-367. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2006.11.008>

Chapman L., Handa H., Yao X., Thornes J. E. 2006. Salting route optimisation using XRWIS and evolutionary computation. *13th International Road Weather Conference*, Torino, Italy, 25-27th March,

SIRWEC. <http://www.sirwec.org/wp-content/uploads/Papers/2006-Torino/D-23.pdf> (Žiūrėta 2020-04-15)

Chapman L., Hooper E. 2012. *Chapter 5 The Impacts of Climate Change on National Road and Rail Networks*. Transport and Climate Change. Emerald Group Publishing Limited: [https://doi.org/10.1108/S2044-9941\(2012\)0000002008](https://doi.org/10.1108/S2044-9941(2012)0000002008) (Žiūrėta 2019-03-31)

Chapman L., Thornes J. E. 2003. The use of geographical information systems in climatology and meteorology. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*. 27(3): 313-330. DOI: 10.1191/0309133303pp384ra

Chapman L., Thornes J. E. 2005. The influence of traffic on road surface temperatures: implications for thermal mapping studies. *Meteorological Applications*. 12(4): 371-380. DOI: 10.1017/S1350482705001957

Chapman L., Thornes J. E. 2006. A geomatics-based road surface temperature prediction model. *Science of The Total Environment*. 360(1-3): 68-80. 10.1016/j.scitotenv.2005.08.025

Chapman L., Thornes J. E. 2008. Small-scale road surface temperature and condition variations across a road profile. *14th International Road Weather Conference*, Prague, Czech Republic, 14-16 May, SIRWEC. <http://sirwec.org/wp-content/uploads/Papers/2008-Prague/D-1.pdf> (Žiūrėta 2019-02-04)

Chapman L., Thornes J. E., Bradley A. V. 2001a. Modelling of road surface temperature from a geographical parameter database. Part 1: Statistical. *Meteorological Applications*. 8(4): 409-419. DOI: 10.1017/s1350482701004030

Chapman L., Thornes J. E., Bradley A. V. 2001b. Modelling of road surface temperature from a geographical parameter database. Part 2: Numerical. *Meteorological Applications*. 8(4): 421-436. DOI: 10.1017/s1350482701004042

Chinowsky P. S., Price J. C., Neumann J. E. 2013. Assessment of climate change adaptation costs for the U.S. road network. *Global Environmental Change*. 23(4): 764-773. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.03.004>

Clements C. B., Whiteman C. D., Horel J. D. 2003. Cold-Air-Pool Structure and Evolution in a Mountain Basin: Peter Sinks, Utah. *Journal of Applied Meteorology*. 42(6): 752-768. DOI: 10.1175/1520-0450(2003)042<0752:csaiea>2.0.co;2

Cornford D. A. N., Thornes J. E. 1996. A COMPARISON BETWEEN SPATIAL WINTER INDICES AND EXPENDITURE ON WINTER ROAD MAINTENANCE. *International Journal of Climatology*. 16(3): 339-357.



DOI: 10.1002/(SICI)1097-0088(199603)16:3<339::AID-JOC40>3.0.CO;2-U

Crevier L.-P., Delage Y. 2001. METRo: A New Model for Road-Condition Forecasting in Canada. *Journal of Applied Meteorology*. 40: 2026-2037. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2001\)040%3C2026:MANMFR%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2001)040%3C2026:MANMFR%3E2.0.CO;2)

Cross. *Road Weather and winter maintenance*. [http://www.cross.cz/docs/CROSS\\_BRO\\_RoadWeather\\_EN.pdf](http://www.cross.cz/docs/CROSS_BRO_RoadWeather_EN.pdf) (Žiūrēta 2019-03-23)

Cross. *Cross references - Europa, Sweden*. <http://www.cross.cz/en/solutions-road-weather> (Žiūrēta 2020-02-15)

Daniel J. S., Jacobs J. M., Miller H., Stoner A., Crowley J., Khalkhali M., Thomas A. 2018. Climate change: potential impacts on frost–thaw conditions and seasonal load restriction timing for low-volume roadways. *Road Materials and Pavement Design*. 19(5): 1126-1146. DOI: 10.1080/14680629.2017.1302355

Datla S., Sharma S. 2008. Impact of cold and snow on temporal and spatial variations of highway traffic volumes. *Journal of Transport Geography*. 16(5): 358-372. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2007.12.003>

Dey K. C., Mishra A., Chowdhury M. 2015. Potential of Intelligent Transportation Systems in Mitigating Adverse Weather Impacts on Road Mobility: A Review. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 16(3): 1107-1119. DOI: 10.1109/TITS.2014.2371455

Doll C., Trinks C., Sedlacek N., Pelikan V., Comes T., Schultmann F. 2014. Adapting rail and road networks to weather extremes: case studies for southern Germany and Austria. *Natural Hazards*. 72(1): 63-85. DOI: 10.1007/s11069-013-0969-3

Donner L. J., Wyman B. L., Hemler R. S., Horowitz L. W., Ming Y., Zhao M., Golaz J.-C., Ginoux P., Lin S. J., Schwarzkopf M. D., Austin J., Alaka G., Cooke W. F., Delworth T. L., Freidenreich S. M., Gordon C. T., Griffies S. M., Held I. M., Hurlin W. J., Klein S. A., Knutson T. R., Langenhorst A. R., Lee H.-C., Lin Y., Magi B. I., Malyshev S. L., Milly P. C. D., Naik V., Nath M. J., Pincus R., Ploshay J. J., Ramaswamy V., Seman C. J., Shevliakova E., Sirutis J. J., Stern W. F., Stouffer R. J., Wilson R. J., Winton M., Wittenberg A. T., Zeng F. 2011. The Dynamical Core, Physical Parameterizations, and Basic Simulation Characteristics of the Atmospheric Component AM3 of the GFDL Global Coupled Model CM3. *Journal of Climate*. 24(13): 3484-3519. DOI: 10.1175/2011JCLI3955.1

Džiautas M. 2010. *Fuzzy Logic metodo tinkamumo kelio apledėjimo prognozavimui analizė*. Bakalauro darbas. Vilniaus universitetas: Hidrologijos ir klimatologijos katedra. Vilnius

Eisenberg D. 2004. The mixed effects of precipitation on traffic crashes. *Accident Analysis & Prevention*. 36(4): 637-647. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(03\)00085-X](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(03)00085-X)

Eisenberg D., Warner K. E. 2005. Effects of Snowfalls on Motor Vehicle Collisions, Injuries, and Fatalities. *American Journal of Public Health*. 95(1): 120-124. DOI: 10.2105/ajph.2004.048926

Eriksson M. 2000. GIS applications of slipperiness modeling. *10th International Road Weather Conference*, Davos, Switzerland, 22-24th March, SIRWEC: 78-84

Eriksson M. 2001. Regional influence on the occurrence of road slipperiness during winter precipitation events. *Meteorological Applications*. 8(4): 449-460. DOI: 10.1017/S1350482701004066

Epicum M., Frédéric M., Nyssen T., Mabilie G., Litt S. 2005. Real-time Regional Automatic Mapping of Nocturnal Winter Road Temperatures: Application of a Methodology of Analogous Situations, The Case of the Walloon Region (Belgium). *15th Conference on Applied Climatology / 13th Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation*, JP 1.4. <https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/93984.pdf> (Žiūrėta 2019-03-11)

Esmaeeli H. S., Farnam Y., Bentz D. P., Zavattieri P. D., Weiss W. J. 2016. Numerical simulation of the freeze-thaw behavior of mortar containing deicing salt solution. *Materials and Structures*. 50(1): 96. DOI: 10.1617/s11527-016-0964-8

European Commission. 1983. EUCO-COST 30 - European project on electronic traffic aids on major roads. *Ataskaita*, Brussels. <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/089c0a48-f7cd-437b-b368-35c5421018f5/language-en> (Žiūrėta 2019-03-11)

European Commission. 1985. Electronic traffic aids on major roads: COST 30 bis. *Ataskaita*, Brussels. <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/060fe472-6800-4ac3-b692-e87518d61c16/language-en> (Žiūrėta 2019-03-11)

Europos komisija. 2013. Komisijos komunikatas Europos parlamentui, Tarybai, Europos ekonomikos ir socialinių reikalų komitetui ir Regionų komitetui. *ES prisitaikymo prie klimato kaitos strategija*. Nr. COM 0216 final, Briuselis, Belgija. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/lt/ALL/?uri=CELEX:52013DC0216> (Žiūrėta 2019-03-31)

Farmer S., Tonkinson P. 1989. Road surface temperatures model verification using input data from air fields, road side sites and the mesoscale model. *London meteorological office*. Special investigation. 58: 1-28.

Feng T., Feng S. 2012. A Numerical Model for Predicting Road Surface Temperature in the Highway. *Procedia Engineering*. 37: 137-142. 10.1016/j.proeng.2012.04.216

Foreca. *Winter Maintenance Decision Support System*. <https://corporate.foreca.com/en/weather-services/winter-maintenance> (Žiūrėta 2020-04-15)

Free Software Foundation, Inc. 2007. GNU General Public License. <https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.en.html> (Žiūrėta 2019-03-11)

Frisk G. 2017. Climate risks and adaptation pathways for coastal transport infrastructure. Guidelines for planning and adaptive responses. *Ataskaita*, National Climate Change Adaptation Research Facility, Gold Coast.

Fuller S. R. 2005. Verification of OpenRoad forecasts of sub-zero road surface temperatures. *NWP Gazette*.

Galvonaitė A., Valiukas D., Kilpys J., Kitrienė Z., Misiūnienė M. 2013. *Lietuvos klimato atlasas*. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba prie Aplinkos ministerijos: Vilnius, Lietuva. 978-9955-9758-5-4.

Garbenčiūtė R. 2016. *"Via Baltica" kelio ruožo Saločiai-Kalvarija mikroklimatinių sąlygų analizė*. Bakalauro darbas. Vilniaus universitetas: Hidrologijos ir klimatologijos katedra. Vilnius

Gelete G., Gokcekus H. 2018. The Economic Impact of Climate Change on Transportation Assets. *Journal of Environmental Pollution and Control*. 1(1): 105. DOI: 10.15744/2639-9288.1.105

Gonzalez M., Tighe S. L., Hui K., Rahman S., de Oliveira Lima A. 2016. Evaluation of freeze/thaw and scaling response of nanoconcrete for Portland Cement Concrete (PCC) pavements. *Construction and Building Materials*. 120: 465-472. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.043>

Gulev S. K., Zolina O., Grigoriev S. 2001. Extratropical cyclone variability in the Northern Hemisphere winter from the NCEP/NCAR reanalysis data. *Climate Dynamics*. 17(10): 795-809. DOI: 10.1007/s003820000145

Gupta S. D. 1960. Point biserial correlation coefficient and its generalization. *Psychometrika*. 25(4): 393-408. DOI: 10.1007/BF02289756

Gustavsson T. 1991. Analyses of local climatological factors controlling risk of road slipperiness during warm-air advections. *International Journal of Climatology*. 11(3): 315-330. DOI: 10.1002/joc.3370110307

Gustavsson T. 1996. Test of indices for classification of winter climate. *Meteorological Applications*. 3(3): 215-222. DOI: 10.1002/met.5060030303

Gustavsson T. 1998. A critical review of thermal mapping techniques. *9th International Road Weather Conference*, Luleå, Sweden, SIRWEC1998 Proceedings: 25-31

Gustavsson T., Bogren J. 1991. Infrared thermography in applied road climatological studies. *International Journal of Remote Sensing*. 12(9): 1811-1828. DOI: 10.1080/01431169108955211

Gustavsson T., Bogren J. 2000. Speed regulation by use of climate data. *10th International Road Weather Conference*, Davos, Switzerland, 22-24th March, SIRWEC: 231-234

Gustavsson T., Bogren J. 2002. Measurement of road climatological variables. *11th International Road Weather Conference*, Sapporo, Japan, 26-28th January, SIRWEC:

Gustavsson T., Bogren J., Green C. 2001. Road Climate in Cities: A Study of the Stockholm Area, South-East Sweden. *Meteorological Applications*. 8(4): 481-489. DOI: 10.1017/S1350482701004091

Gustavsson T., Karlsson M., Bogren J., Lindqvist S. 1998. Development of Temperature Patterns during Clear Nights. *Journal of Applied Meteorology*. 37(6): 559-571. DOI: 10.1175/1520-0450(1998)037<0559:dotpdc>2.0.co;2

Haavasoja T., Pili-Sihvola Y. 2010. Friction as a measure of slippery road surfaces. *15th International Road Weather Conference*, Quebec City, Canada, 5-7th February, SIRWEC. <http://sirwec.org/wp-content/uploads/Papers/2010-Quebec/D-11.pdf> (Žiūrēta 2019-02-04)

Habrovský R., Tarjáni V. 2014. Kalman Filter Preprocessing within METRoSTAT Project and Application of the New Method in the Roadcast System. *17th International Road Weather Conference*, La Massana, Andorra, 30th January – 1st February, SIRWEC. <http://sirwec.org/wp-content/uploads/Papers/2014-Andorra/D-33.pdf> (Žiūrēta 2019-02-04)

Hambly D., Andrey J., Mills B., Fletcher C. 2013. Projected implications of climate change for road safety in Greater Vancouver, Canada. *Climatic Change*. 116(3): 613-629. DOI: 10.1007/s10584-012-0499-0

Harris K. D. 2018. *An analysis of Atlanta road surface temperatures for the improvement of urban transit*. Magistro darbas. University of Georgia: Department of Geography.

Hertl S., Schaffar G. 1998. An autonomous approach to road temperature prediction. *Meteorological Applications*. 5(3): 227-238. DOI: 10.1017/S1350482798000838

Hippi M., Fortelius C. 2012. SURFEX compared to FMI' s road weather model and road weather observations. *16th International Road Weather Conference*, Helsinki, Finland, 23-25th May, SIRWEC. <http://sirwec.org/wp-content/uploads/Papers/2012-Helsinki/43.pdf> (Žiūrėta 2020-04-15)

Ho E., Gough W. A. 2006. Freeze thaw cycles in Toronto, Canada in a changing climate. *Theoretical and Applied Climatology*. 83(1): 203-210. DOI: 10.1007/s00704-005-0167-7

Holmer B., Postgård U., Eriksson M. 2001. Sky view factors in forest canopies calculated with IDRISI. *Theoretical and Applied Climatology*. 68(1): 33-40. DOI: 10.1007/s007040170051

Hu Y., Almkvist E., Lindberg F., Bogren J., Gustavsson T. 2016. The use of screening effects in modelling route-based daytime road surface temperature. *Theoretical and Applied Climatology*. 125(1-2): 303-319. DOI: 10.1007/s00704-015-1508-9

IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Ataskaita*, The Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland.

Jacobs W., Raatz W. E. 1996. Forecasting road-surface temperatures for different site characteristics. *Meteorological Applications*. 3(3): 243-256. DOI: 10.1002/met.5060030306

Jakimavičius D., Kriaučiūnienė J., Šarauskienė D. 2018. Impact of climate change on the Curonian Lagoon water balance components, salinity and water temperature in the 21st century. *Oceanologia*. 60(3): 378-389. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2018.02.003>

Juga I., Hippi M., Moisseev D., Saltikoff E. 2012. Analysis of weather factors responsible for the traffic 'Black Day' in Helsinki, Finland, on 17 March 2005. *Meteorological Applications*. 19(1): 1-9. 10.1002/met.238

Juknevičiūtė L., Laurinavičius A. 2008. Analysis and Evaluation of Depth of Frozen Ground Affected by Road Climatic Conditions. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. 3(4): 226-232. DOI: 10.3846/1822-427X.2008.3.226-232

Juknys R., Kanapickas A., Šveikauskaitė I., Sujetovienė G. 2016. Response of deciduous trees spring phenology to recent and projected climate change in Central Lithuania. *International Journal of Biometeorology*. 60(10): 1589-1602. DOI: 10.1007/s00484-016-1149-4

Kalma J. D., Laughlin G. P., Green A. A., O'Brien M. T. 1986. Minimum temperature surveys based on near-surface air temperature measurements and airborne thermal scanner data. *Journal of Climatology*. 3: 1-19.

Kangas M., Heikinheimo M., Hippi M. 2015. RoadSurf: a modelling system for predicting road weather and road surface conditions. *Meteorological Applications*. 22(3): 544-553. <http://dx.doi.org/10.1002/2Fmet.1486>

Kangas M., Hippi M., Ruotsalainen J., Näsman S., Ruuhela R., Venäläinen A., Heikinheimo M. 2006. The FMI Road Weather Model. *HIRLAM Newsletter*. No. 51: 117-123. [http://hirlam.org/index.php/component/docman/doc\\_download/476-hirlam-newsletter-no-51-article17-kangas-fmi-roadweathermodel?Itemid=70](http://hirlam.org/index.php/component/docman/doc_download/476-hirlam-newsletter-no-51-article17-kangas-fmi-roadweathermodel?Itemid=70) (Žiūrėta 2020-04-15)

Karanko S., Alanko I., Manninen M. 2012. Integrating METRo into a winter maintenance weather forecast system covering Finland, Sweden and Russia. *16th International Road Weather Conference*, Helsinki, Finland, 23-25th May, SIRWEC. <http://sirwec.org/wp-content/uploads/Papers/2012-Helsinki/51.pdf> (Žiūrėta 2019-02-04)

Karanko S., Saarikangas K. 2014. The effect of measured vs. estimated - 40 cm subsurface temperatures on METRo forecasts. *17th International Road Weather Conference*, La Massana, Andorra, 30th January – 1st February, SIRWEC. <http://sirwec.org/wp-content/uploads/Papers/2014-Andorra/D-9.pdf> (Žiūrėta 2019-02-04)

Karlsson M. 2001. Prediction of hoar-frost by use of a Road Weather information System. *Meteorological Applications*. 8: 95-105. <https://doi.org/10.1017/S1350482701001086>

Kažukauskas L. 2010. *Kelio dangos paviršiaus temperatūros priklausomybė nuo gilesnių sluoksnių temperatūros kaitos*. Bakalauro darbas. Vilniaus universitetas: Hidrologijos ir klimatologijos katedra. Vilnius

Kažys J. 2002. *Kelio dangos apledėjimo prognozavimas Lietuvoje*. Magistro darbas. Vilniaus universitetas: Hidrologijos ir klimatologijos katedra. Vilnius

Kažys J. 2004. Nepalankios eismui meteorologinės sąlygos, turinčios įtakos avaringumo padidėjimui Vilniuje. *Mokslas Gamtos mokslų fakultete*, Vilnius, balandžio 22-23 d., fakulteto III konferencijos pranešimai, 232-239.

Kažys J. 2005a. Eismo įvykių skaičiaus kaitą ir vairavimo sąlygas lemiančių meteorologinių faktorių analizė. *Meteorologija ir hidrologija Lietuvoje: raida ir perspektyvos*, Vilnius, kovo 23 d., Respublikinės mokslinės konferencijos pranešimai, 52-53.

Kažys J. 2005b. Eismui nepalankių meteorologinių sąlygų poveikis avaringumui Vilniaus mieste. *Geografija*. 41(2): 10-16.

Kažys J. 2006a. *Nepalankių meteorologinių sąlygų formavimasis Lietuvos keliuose*. Daktaro disertacijos darbas. Vilniaus universitetas: Hidrologijos ir klimatologijos katedra. Vilnius

Kažys J. 2006b. Prediction of Potential Road Accident Risk (due to adverse weather conditions) in the 21st Century. *5th NCCR Climate Summer School*, Grindelwald, Switzerland, 27th August – 1st September.

Kažys J. 2007a. Nuotolinių dangos būklės ir temperatūros daviklių DSC111 ir DST111 bandymų KOSIS stotelėje „Bubiai“ analizė. *Ataskaita*, Vilniaus universitetas, Vilnius.

Kažys J. 2007b. Nuotolinių dangos būklės ir temperatūros daviklių DSC111 ir DST111 bandymų KOSIS stotelėje „Bukiškės“ analizė. *Ataskaita*, Vilniaus universitetas, Vilnius.

Kažys J., Kytra P. 2008. Remote sensors tests on Lithuanian roads. *14th International Road Weather Conference*, Prague, Czech Republic, 14-16 May, SIRWEC. <http://sirwec.org/wp-content/uploads/Papers/2008-Prague/D-7.pdf> (Žiūrėta 2020-04-15)

Kažys J., Rimkus E., Valiukas D. 2006. Variation of traffic accidents volume on different phases of adverse weather conditions. *13th International Road Weather Conference*, Torino, Italy, 25-27th March, SIRWEC, 128-131. <http://www.sirwec.org/wp-content/uploads/Papers/2006-Torino/D-19.pdf> (Žiūrėta 2020-04-15)

Kažys J., Šidlauskaitė L., Valiukas D. 2018. Future climate conditions for summer roads in Lithuania. *19th International Road Weather Conference*, Smolenice, Slovakia, 30th May – 1st June, SIRWEC. <http://develop.sirwec.org/wp-content/uploads/Papers/2018-Smolenice/7-2.pdf> (Žiūrėta 2020-04-15)

Kažys J., Valiukas D., Rimkus E. 2004. Meteorologinių sąlygų nulemta potencialaus avaringumo Lietuvos keliuose įvertinimas. *Geografija*. 40(2): 5-10.

Keay K., Simmonds I. 2005. The association of rainfall and other weather variables with road traffic volume in Melbourne, Australia. *Accident Analysis & Prevention*. 37(1): 109-124. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2004.07.005>

Keršytė D., Rimkus E., Kažys J. 2015. Klimato rodiklių scenarijai Lietuvos teritorijoje XXI a. *Geologija. Geografija*. 1(1): 22-35. <https://doi.org/10.6001/geol-geogr.v1i1.3069>

Khattak A. J., Kantor P., Council F. M. 1998. Role of Adverse Weather in Key Crash Types on Limited-Access: Roadways Implications for

Advanced Weather Systems. *Transportation Research Record*. 1621(1): 10-19. DOI: 10.3141/1621-02

Kiefer M. T., Zhong S. 2015. The role of forest cover and valley geometry in cold-air pool evolution. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 120(17): 8693-8711. DOI: 10.1002/2014JD022998

Kim K., Ha S., Kim H. 2017. Using real options for urban infrastructure adaptation under climate change. *Journal of Cleaner Production*. 143: 40-50. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.152>

Knollhoff D. S., Takle E. S., Gallus Jr W. A., Burkheimer D., McCauley D. 2003. Evaluation of a frost accumulation model. *Meteorological Applications*. 10(4): 337-343. DOI: 10.1017/S1350482703001026

Kociánová A. 2015. The Intelligent Winter Road Maintenance Management in Slovak Conditions. *Procedia Engineering*. 111: 410-419. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.07.109>

Koetse M. J., Rietveld P. 2009. The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 14(3): 205-221. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.12.004>

Kršmanc R., Šajn Slak A., Čarman S., Korošec M. 2012a. METRo Model Testing at Slovenian Road Weather Stations and Suggestions for Further Improvements. *16th International Road Weather Conference*, Helsinki, Finland, 23-25th May, SIRWEC. <http://sirwec.org/wp-content/uploads/Papers/2012-Helsinki/54.pdf> (Žiūrēta 2019-02-04)

Kršmanc R., Slak A. Š., Demšar J. 2012b. Statistical approach for forecasting road surface temperature. *Meteorological Applications*. 20(4): 439-446. 10.1002/met.1305

Kršmanc R., Tarjani V., Habrovský R., Šajn Slak A. 2014. Upgraded METRo model within the METRoSTAT project. *17th International Road Weather Conference*, La Massana, Andorra, 30th January – 1st February, SIRWEC. <http://sirwec.org/wp-content/uploads/Papers/2014-Andorra/D-26.pdf> (Žiūrēta 2019-02-04)

Kwon T. J., Fu L. 2017. Spatiotemporal variability of road weather conditions and optimal RWIS density — an empirical investigation. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 44(9): 691-699. DOI: 10.1139/cjce-2017-0052

LAKD. *Eismoinfo.lt*. <https://eismoinfo.lt/> (Žiūrēta 2019-03-11)

LAKD. *Eismoinfo.lt - atviri duomenys*. <https://eismoinfo.lt/#!/news/8592> (Žiūrēta 2019-03-11)



Lam W. H. K., Shao H., Sumalee A. 2008. Modeling impacts of adverse weather conditions on a road network with uncertainties in demand and supply. *Transportation Research Part B: Methodological*. 42(10): 890-910. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2008.02.004>

Laughlin G. P., Kalma J. D. 1990. Frost risk mapping for landscape planning: A methodology. *Theoretical and Applied Climatology*. 42(1): 41-51. DOI: 10.1007/BF00865525

Laurinavičius A., Bertulienė L., Minkevič A. 2015. The use of road weather information system data for the forecasts of climatic conditions. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. 10(1): 71-78. DOI:10.3846/bjrbe.2015.09

Laurinavičius A., Čygas D., Vaitkus A., Ratkevičius T., Bulevičius M., Mučinis D., Baltrušaitis A. 2016. Research of snow melting materials performance efficiency for road winter maintenance. *Transport*. 31(3): 322-332. DOI:10.3846/16484142.2016.1211551

Laurinavičius A., Juknevičiūtė-Žilinskienė L. 2011. Eleven years of rwis operation in Lithuania: Possibilities for the use of the data collected. *Environmental Engineering*, Vilnius, 19–20th May, VGTU, 1108-1112.

Laurinavičius A., Vaitkus A., Ratkevičius T. 2018. Climatic regioning of Lithuania from the point of view of winter road maintenance. *XVth International Winter Road Congress*, Gdansk, Poland, 20-23th February, PIARC.

Leonovich I., Melnikova I., Puodžiukas V. 2013. Estimation of the cracking probability in road structures by modeling of external influences. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. 8(4): 240-249. DOI: 10.3846/bjrbe.2013.31

Letestu A. C., Keller U. 2010. The new Road Forecast Tool (RFT) and its data management. *15th International Road Weather Conference*, Quebec City, Canada, 5-7th February, SIRWEC. <http://sirwec.org/wp-content/uploads/Papers/2010-Quebec/D-3.pdf> (Žiūrėta 2020-04-15)

Li N., Li X., Dong Y. 2017. Estimate on the Effect of Vehicle Heat Source on Road Surface Temperature in Winter. *Journal of Arid Meteorology*. 35(4): 682-687.

Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos. 2012. Direktorius įsakymas. *Dėl Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos generalinio direktoriaus 2009 m. birželio 16 d. įsakymo Nr. V-170 "Dėl Valstybinės reikšmės kelių eismo informacinės sistemos nuostatų ir Valstybinės reikšmės kelių eismo informacinės sistemos duomenų saugos nuostatų patvirtinimo" pakeitimo*. Nr. V-311, 2012 m.

spalio 23 d., Vilnius. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.435774> (Žiūrėta 2020-04-15)

Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos. 2015. Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių priežiūros žiemą vadovas. <https://lakd.lrv.lt/lt/lietuvos-valstybines-reiksmes-automobiliu-keliu-prieziuros-ziema-vadovas> (Žiūrėta 2019-02-04)

Lietuvos Respublikos Vyriausybė. 2016. Nutarimas. *Dėl Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2013 m. balandžio 23 d. nutarimo Nr. 366 „Dėl Nacionalinės klimato kaitos valdymo politikos strategijos tikslų ir uždavinių įgyvendinimo tarpinstitucinio veiklos plano patvirtinimo“ pakeitimo*. Nr. 2016-22692, 2016-08-26, Vilnius. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/bfb5d0406b5311e6a421ea2bde782b94> (Žiūrėta 2020-03-13)

Lietuvos statistikos departamentas. *Oficialiosios statistikos portalas*. <https://osp.stat.gov.lt/> (Žiūrėta 2019-06-01)

Linden S. K., Drobot S. D. 2010. The Evolution of METRo in a Roadway DSS. *15th International Road Weather Conference*, Quebec City, Canada, 5-7th February, SIRWEC. <http://sirwec.org/wp-content/uploads/Papers/2010-Quebec/D-38.pdf> (Žiūrėta 2019-02-04)

Linden S. K., Petty K. R. 2008. The Use of METRo (Model of the Environment and Temperature of the Roads) in Roadway Operation Decision Support Systems. *24th Conference on IIPS*, New Orleans, USA, AMS. <https://ams.confex.com/ams/88Annual/webprogram/24IIPS.html> (Žiūrėta 2019-02-04)

Lister P. J. 2002. Prestigious Fitzroy Prize to Dr. Jianmin Shao. *Vaisala News*. 158: 32-33.

Liu B., Yan S., You H., Dong Y., Li Y., Lang J., Gu R. 2018. Road surface temperature prediction based on gradient extreme learning machine boosting. *Computers in Industry*. 99: 294-302. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.03.026>

Louise A., Johan S., Anders S., Jan T. 2018. Continuous Preventive Bridge Maintenance of Swedish Municipalities – A Survey on Common Practice. *Nordic Concrete Research*. 58(1): 127-142. <https://doi.org/10.2478/ncr-2018-0008>

Lucarini V., Calmanti S., Dell'Aquila A., Ruti P. M., Speranza A. 2007. Intercomparison of the northern hemisphere winter mid-latitude atmospheric variability of the IPCC models. *Climate Dynamics*. 28(7): 829-848. DOI: 10.1007/s00382-006-0213-x

Lufft. *MARWIS - Mobile Advanced Road Weather Information Sensor*. <https://www.lufft.com/products/road-runway-sensors-292/marwis-umb->

mobile-advanced-road-weather-information-sensor-2308/ (Žiūrėta 2019-06-01)

Mahura A., Petersen C., Sass B. 2008. Application of DMI-HIRLAM for Road Weather Forecasting. *HIRLAM Newsletter*. No. 54: 169-176. [http://hirlam.org/index.php/component/docman/doc\\_download/149-hirlam-newsletter-no-54-paper-24-mahura?Itemid=70](http://hirlam.org/index.php/component/docman/doc_download/149-hirlam-newsletter-no-54-paper-24-mahura?Itemid=70) (Žiūrėta 2019-03-11)

Mahura A., Petersen C., Sass B., Holm P. 2007a. Thermal Mapping Data for Verification of the Overall Performance of the DMI-HIRLAM Road Weather Modelling System. *Ataskaita*, Danish Meteorological Institute (DMI), Copenhagen. <https://www.dmi.dk/fileadmin/Rapporter/TR/tr06-16.pdf> (Žiūrėta 2019-03-11)

Mahura A., Petersen C., Sass B., Holm P., Pedersen T. 2007b. Road Stretch Weather Forecasting: Thermal Mapping Data Applicability. *Ataskaita*, Danish Meteorological Institute (DMI), Copenhagen. <https://www.dmi.dk/fileadmin/Rapporter/SR/sr07-06.pdf> (Žiūrėta 2019-03-11)

Marchetti M., Durickovic I., Derombise G., Bouyer J., Moutton M., Ludwig S., Roos F., F. B., Colomb M. 2012. Multivariate Data Analysis. A new Insight for Thermal Mapping. *16th International Road Weather Conference*, Helsinki, Finland, 23-25th May, SIRWEC. <http://sirwec.org/wp-content/uploads/Papers/2012-Helsinki/10.pdf> (Žiūrėta 2019-03-11)

Marchetti M., Khalifa A., Bues M. 2015. Methodology to Forecast Road Surface Temperature with Principal Components Analysis and Partial Least-Square Regression: Application to an Urban Configuration. *Advances in Meteorology*. 2015: 10. 10.1155/2015/562621

Marchetti M., Khalifa A., Bues M., Chapman L. 2014. Road Surface temperature forecast. The statistical insight. *17th International Road Weather Conference*, La Massana, Andorra, 30th January – 1st February, SIRWEC. <http://sirwec.org/wp-content/uploads/Papers/2014-Andorra/D-53.pdf> (Žiūrėta 2019-03-11)

Martin G. M., Bellouin N., Collins W. J., Culverwell I. D., Halloran P. R., Hardiman S. C., Hinton T. J., Jones C. D., McDonald R. E., McLaren A. J., O'Connor F. M., Roberts M. J., Rodriguez J. M., Woodward S., Best M. J., Brooks M. E., Brown A. R., Butchart N., Dearden C., Derbyshire S. H., Dharssi I., Doutriaux-Boucher M., Edwards J. M., Falloon P. D., Gedney N., Gray L. J., Hewitt H. T., Hobson M., Huddleston M. R., Hughes J., Ineson S., Ingram W. J., James P. M., Johns T. C., Johnson C. E., Jones A., Jones C. P., Joshi M. M., Keen A. B., Liddicoat S., Lock A. P., Maidens A. V., Manners J. C., Milton S. F., Rae J. G. L., Ridley J. K., Sellar A., Senior C.

A., Totterdell I. J., Verhoef A., Vidale P. L., Wiltshire A. 2011. The HadGEM2 family of Met Office Unified Model climate configurations. *Geoscientific Model Development*. 4(3): 723-757. DOI: 10.5194/gmd-4-723-2011

Martorina S., Loglisci N. 2005. Monitoring and forecast service for ice formation over mountain road surface. *Hrvatski meteorološki časopis*. 40(40): 414-417.

Maruyama Y., Yamazaki F. 2006. Driving simulator experiment on the moving stability of an automobile under strong crosswind. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 94(4): 191-205. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2005.12.006>

Masson V., Le Moigne P., Martin E., Faroux S., Alias A., Alkama R., Belamari S., Barbu A., Boone A., Bouyssel F., Brousseau P., Brun E., Calvet J. C., Carrer D., Decharme B., Delire C., Donier S., Essaouini K., Gibelin A. L., Giordani H., Habets F., Jidane M., Kerdraon G., Kourzeneva E., Lafaysse M., Lafont S., Lebeauvin Brossier C., Lemonsu A., Mahfouf J. F., Marguinaud P., Mokhtari M., Morin S., Pigeon G., Salgado R., Seity Y., Taillefer F., Tanguy G., Tulet P., Vincendon B., Vionnet V., Voldoire A. 2013. The SURFEXv7.2 land and ocean surface platform for coupled or offline simulation of earth surface variables and fluxes. *Geoscientific Model Development*. 6(4): 929-960. DOI: 10.5194/gmd-6-929-2013

Masui T., Matsumoto K., Hijioaka Y., Kinoshita T., Nozawa T., Ishiwatari S., Kato E., Shukla P. R., Yamagata Y., Kainuma M. 2011. An emission pathway for stabilization at 6 Wm<sup>-2</sup> radiative forcing. *Climatic Change*. 109(1): 59. DOI: 10.1007/s10584-011-0150-5

Mataei B., Zakeri H., Zahedi M., Nejad F. M. 2016. Pavement Friction and Skid Resistance Measurement Methods: A Literature Review. *Open Journal of Civil Engineering*. 6(4): 28. DOI: 10.4236/ojce.2016.64046

Matulla C., Hollósi B., Andre K., Gringinger J., Chimani B., Namyslo J., Fuchs T., Auerbach M., Herrmann C., Sladek B., Berghold H., Gschier R., Eichinger-Vill E. 2018. Climate Change driven evolution of hazards to Europe's transport infrastructure throughout the twenty-first century. *Theoretical and Applied Climatology*. 133(227): DOI: 10.1007/s00704-017-2127-4

Maunder W. J., Johnson S. R., McQuigg J. D. 1971. Study of the effect of weather on road construction: a simulation model. 99(12): 939-945. DOI: 10.1175/1520-0493(1971)099<0939:Soteow>2.3.Co;2

Mayes Boustead B. E., Hilberg S. D., Shulski M. D., Hubbard K. G. 2015. The Accumulated Winter Season Severity Index (AWSSI). *Journal of*

*Applied Meteorology and Climatology*. 54(8): 1693-1712. DOI: 10.1175/JAMC-D-14-0217.1

Maze T. H., Agarwal M., Burchett G. 2006. Whether Weather Matters to Traffic Demand, Traffic Safety, and Traffic Operations and Flow. *Journal of the Transportation Research Board*. 1948(1): 170-176. DOI: 10.1177/0361198106194800119

McDonald A. 1996. The application of thermal mapping and GPS in the selective salting of highways. *8th International Road Weather Conference*, Birmingham, UK, SIRWEC1996 Proceedings:

Melvin A. M., Larsen P., Boehlert B., Neumann J. E., Chinowsky P., Espinet X., Martinich J., Baumann M. S., Rennels L., Bothner A., Nicolsky D. J., Marchenko S. S. 2017. Climate change damages to Alaska public infrastructure and the economics of proactive adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 114(2): E122. DOI: 10.1073/pnas.1611056113

Meng C., Zhang C. 2010. Fine forecast of road surface temperature in Beijing City. *15th International Road Weather Conference*, Quebec City, Canada, 5-7th February, SIRWEC. <http://sirwec.org/wp-content/uploads/Papers/2010-Quebec/D-5.pdf> (Žiūrėta 2019-03-11)

Mirzanamadi R., Johansson P., Grammatikos S. A. 2018. Thermal properties of asphalt concrete: A numerical and experimental study. *Construction and Building Materials*. 158: 774-785. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.068>

Moore D. F. 1975. *The friction of pneumatic tyres*. Elsevier Scientific Publishing Company: Amsterdam; New York. ISBN: 0444413235. <https://nla.gov.au/nla.cat-vn1187396> (Žiūrėta 2019-03-11)

Moser S. C. 2012. Adaptation, mitigation, and their disharmonious discontents: an essay. *Climatic Change*. 111(2): 165-175. DOI: 10.1007/s10584-012-0398-4

National Center for Atmospheric Research. 2007. A Comparison of Road Temperature Models: FASST, METRo, and SNTHERM. [https://www.rap.ucar.edu/projects/rdwx\\_mdss/documents/RoadModel\\_Comparison\\_Report\\_v2.0\\_8\\_3\\_07.pdf](https://www.rap.ucar.edu/projects/rdwx_mdss/documents/RoadModel_Comparison_Report_v2.0_8_3_07.pdf) (Žiūrėta 2019-03-11)

Nazari R., Wang H., Chen X., Spanos N., Minner N., Perdomo C., Jacob G., Roberts J., Thornton T. 2018. Road Weather Information Systems for Winter Road Maintenance. *Ataskaita*, <http://www.utrc2.org/sites/default/files/Final-Report-Road-Weather-Information-Systems.pdf> (Žiūrėta 2019-04-07)

NCAR UCAR. *Maintenance decision support system (MDSS)*. <https://ral.ucar.edu/solutions/products/maintenance-decision-support-system-mdss> (Žiūrėta 2020-04-15)

Nefzi M., Marzouki A., Hajji A., Mellouli S., Rekik M. 2016. Performance-Based Maintenance Decision Support System (MDSS) in snow disposal context. *11th International Conference on MOdeling, Optimization and SIMlation*, Montréal, Québec, Canada, August 22-24th, MOSIM' 16.

Nemaniute-Guziene J., Kazys J. 2017. Climate Change and Lithuanian Roads: Impacts, Vulnerability and Adaptation. *10th International Conference „Environmental Engineering“*, Vilnius, Lithuania, 27–28 April 2017. <https://doi.org/10.3846/enviro.2017.138>. (Žiūrėta 2019-11-23)

Neumann J. E., Price J., Chinowsky P., Wright L., Ludwig L., Streeter R., Jones R., Smith J. B., Perkins W., Jantarasami L., Martinich J. 2015. Climate change risks to US infrastructure: impacts on roads, bridges, coastal development, and urban drainage. *Climatic Change*. 131(1): 97-109. DOI: 10.1007/s10584-013-1037-4

Norrman J. 2000. Slipperiness on roads –an expert system classification. *Meteorological Applications*. 7(1): 27-36. DOI: 10.1017/S1350482700001407

Norrman J., Eriksson M., Lindqvist S. 2000. Relationships between road slipperiness , traffic accident risk and winter road maintenance activity. *Climate Research*. 15: 185-193.

Pakalniškis R. 2018. *Meteorologinių sąlygų poveikis kelio dangos galimai deformacijai šiltuoju metų laiku*. Bakalauro darbas. Vilniaus universitetas: Hidrologijos ir klimatologijos katedra. Vilnius

Palin E. J., Scaife A. A., Wallace E., Pope E. C. D., Arribas A., Brookshaw A. 2016. Skillful Seasonal Forecasts of Winter Disruption to the U.K. Transport System. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 55(2): 325-344. DOI: 10.1175/jamc-d-15-0102.1

Parmenter B. S., Thornes J. E. 1986. The use of a computer model to predict the formation of ice on road surfaces. *Ataskaita*, Transport and Road Research Laboratory, <https://trl.co.uk/reports/RR71> (Žiūrėta 2019-03-11)

Picketts I. M., Andrey J., Matthews L., Déry S. J., Tighe S. J. R. E. C. 2016. Climate change adaptation strategies for transportation infrastructure in Prince George, Canada. *Regional Environmental Change*. 16(4): 1109-1120. DOI: 10.1007/s10113-015-0828-8

2015. Evolving winter road maintenance ecosystems in Finland and Hokkaido, Japan. *Institution of Engineering and Technology*. <https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/iet-its.2014.0220>

Poška Ž. 2018. *Išalo po kelio dangą formavimosi Lietuvoje analizė*. Bakalauro darbas. Vilniaus universitetas: Hidrologijos ir klimatologijos katedra. Vilnius

Postgård U. 2000. The effect of weather changes on air and road surface temperatures. *10th International Road Weather Conference*, Davos, Switzerland, 22-24th March, SIRWEC: 103-110

Postgård U. 2001. Adjustment time for road surface temperature during weather changes. *Meteorological Applications*. 8(4): 397-407. DOI: 10.1017/S1350482701004029

2019. Road Surface Condition Prediction using Long Short-Term Memory Neural Network based on Historical Data. *Ataskaita*,

Puodžiukas V., Pakalnis A. 2002. Determination of seasonal factors for structural condition values of bituminous pavements. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. 8(2): 133-137. DOI:10.1080/13923730.2002.10531265

Raatz W. E. 2002. *Straßenzustands – und Wetterinformationssystem (SWIS), Germany's Road Weather Information System*. [https://www.wmo.int/pages/prog/amp/pwsp/documents/RoadWeather\\_Germany.pdf](https://www.wmo.int/pages/prog/amp/pwsp/documents/RoadWeather_Germany.pdf) (Žiūrėta 2019-03-11)

Ratkevičius T., Laurinavičius A. 2017. Assessment model of levels for winter road maintenance. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. 12(2): 127-134. DOI:10.3846/bjrbe.2017.15

Ratkevičius T., Laurinavičius A., Juknevičiūtė-Žilinskienė L. 2013. Possibilities for the use of RWIS Data in a Building Sector. *Procedia Engineering*. 57: 938-944. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.119>

Ratkevičius T., Laurinavičius A., Tuminienė F., Bradulienė J. 2014. Reduction of negative impact of salts used for winter road maintenance on the environment. *The 9th International Conference "ENVIRONMENTAL ENGINEERING"*, Vilnius, 22–23 May. <http://dx.doi.org/10.3846/enviro.2014.165>.

Rayer P. 1987. The meteorological office forecast road surface model. *Meteorological Magazine*. 116: 180-191.

Revuckas K. 2006. *Meteorologinių sąlygų ir avaringumo ryšio nustatymas Lietuvoje*. Bakalauro darbas. Vilniaus universitetas: Hidrologijos ir klimatologijos katedra. Vilnius

Riahi K., Rao S., Krey V., Cho C., Chirkov V., Fischer G., Kindermann G., Nakicenovic N., Rafaj P. 2011. RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*. 109(1): 33. DOI: 10.1007/s10584-011-0149-y

Riehm M., Gustavsson T., Bogren J., Jansson P.-E. 2012. Ice formation detection on road surfaces using infrared thermometry. *Cold Regions Science and Technology*. 83-84: 71-76. DOI: 10.1016/j.coldregions.2012.06.004

Road status information. *RSI – application ver. 2.11*. <https://www.roadstatus.info/en/software/> (Žiūrėta 2019-06-01)

Rodrigue J.-P. 2016. *Transportation and Disasters*. The Geography of Transport Systems. ISBN 978-1138669574. [https://transportgeography.org/?page\\_id=6295](https://transportgeography.org/?page_id=6295) (Žiūrėta 2019-03-31)

Rowland B. D., Davey J. D., Freeman J. E., Wishart D. E. 2007. Road transport sensitivities to weather and climate change in Australia. *30th Australasian Transport Research Forum*, Melbourne, Australia, The Planning and Transport Research Centre (PATREC):

Ruosteenoja K., Räisänen J., Venäläinen A., Kämäräinen M. 2016. Projections for the duration and degree days of the thermal growing season in Europe derived from CMIP5 model output. *International Journal of Climatology*. 36(8): 3039-3055. DOI: 10.1002/joc.4535

Šarauskiene D., Akstinas V., Kriaučiūnienė J., Jakimavičius D., Bukantis A., Kažys J., Povilaitis A., Ložys L., Kesminas V., Virbickas T., Pliuraitė V. 2017. Projection of Lithuanian river runoff, temperature and their extremes under climate change. *Hydrology Research*. 49(2): 344-362. DOI: 10.2166/nh.2017.007

Shao J. 2000. Fuzzy Categorization of Weather Conditions for Thermal Mapping. *Journal of Applied Meteorology*. 39(10): 1784-1790. DOI: 10.1175/1520-0450-39.10.1784

Shao J., Hart G., Patterson R., Lister P. J., McDonald A. N., Shneider L. 2000. Exploring spatial variation of road surface temperature in New York City by thermal mapping. *Transportation Research Board 79th annual meeting*, Washington, D.C., January 9-13, Transportation Research Board of the National Academies:

Shao J., Lister P. J. 1995. Data filtering for thermal mapping of road surface temperatures. *Meteorological Applications*. 2(2): 131-135. <https://doi.org/10.1002/met.5060020206>

Shao J., Lister P. J. 1996. An Automated Nowcasting Model of Road Surface Temperature and State for Winter Road Maintenance. *Journal of Applied Meteorology*. 35(8): 1352-1361. DOI: 10.1175/1520-0450(1996)035<1352:AANMOR>2.0.CO;2



Shao J., Lister P. J., Hart G. D., Pearson H. B. 1996. Thermal mapping: reliability and repeatability. *Meteorological Applications*. 3(4): 325-330. DOI: 10.1002/met.5060030405

Shao J., Swanson J. C., Patterson R., Lister P. J., McDonald A. N. 1997. Variation of Winter Road Surface Temperature Due to Topography and Application of Thermal Mapping. *Meteorological Applications*. 4: 131-137. <https://doi.org/10.1017/S135048279700042X>

Šidlauskaitė L. 2011. *Kelių oro sąlygų informacinės sistemos (KOSIS) stočių reprezentatyvumo įvertinimas*. Bakaluro darbas. Vilniaus universitetas: Hidrologijos ir klimatologijos katedra. Vilnius

Šidlauskaitė L. 2013. *Kelio dangos paviršiaus parametrų modeliavimas ir slidumo įvertinimas*. Magistro darbas. Vilniaus universitetas: Hidrologijos ir klimatologijos katedra. Vilnius

Šidlauskaitė L., Bogren J. 2018. Thermal mapping in flat lowlands and undulating uplands – a comparison of results. *19th International Road Weather Conference*, Smolenice, Slovakia, 30th May – 1st June, SIRWEC. <http://develop.sirwec.org/wp-content/uploads/Papers/2018-Smolenice/5-3.pdf> (Žiūrėta 2019-03-11)

Šidlauskaitė L., Kažys J. 2012. Lietuvos kelių orų sąlygų (KOS) stotelių duomenų taikymas erdvinio temperatūros lauko analizei. *Geografija*. 48(2): 86-96.

Šidlauskaitė L., Kažys J., Bukantis A., Rimkus E., Stankūnavičius G. 2017. Kelio dangos paviršiaus temperatūros ir būklės prognozavimo modelio diegimo studija. *Ataskaita, Problematika*, Vilnius.

Siegel E. G. 2011. A potent formula Model calculates potential for ice-covered roads. *Roads & Bridges*. 2011 February: 52-55. [https://www.roadsbridges.com/sites/rb/files/52\\_icing%20potential%200211RB.pdf](https://www.roadsbridges.com/sites/rb/files/52_icing%20potential%200211RB.pdf) (Žiūrėta 2019-03-11)

Simonsen E., Janoo Vincent C., Isacsson U. 2002. Resilient Properties of Unbound Road Materials during Seasonal Frost Conditions. *Journal of Cold Regions Engineering*. 16(1): 28-50. DOI: 10.1061/(ASCE)0887-381X(2002)16:1(28)

Smeding-Zuurendonk I., Wisse J., Wokke M., Jonker M., Noort M., Mimpfen M. 2014. Latest developments in road weather forecasting. *17th International Road Weather Conference*, La Massana, Andorra, 30th January – 1st February 2014, SIRWEC. <http://sirwec.org/wp-content/uploads/Papers/2014-Andorra/D-22.pdf> (Žiūrėta 2019-02-04)

Snow J. T., Carter E., Christiansen D. L., Colman B. R., Delannoy P. J., Francois F. B., Frederick G. L., Holt F. C., Lemone M. A., Pape C.,

Smithson L., Stock D., Wagoner R., Staudt A., Godwin S., Demuth J., Szatanek P., Greenway R., Barron E. J., Serafin R. J., Anderson F. R., Ban R. J., Beardsley R. C., Bierbaum R. M., Bras R. L., Carroll M. A., Emanuel K. A., Fesen C. G., Lemone M. A., Logan J. A., Mario M. J., Randel W. J., Wakimoto R. M., Wyngaard J. C., Busalacchi A. J., Jr., Wood E. F., Elfring C., Drobot S. D., Staudt A., Demuth J., Galinis E. A., Greenway R., Gustafson D., Morris R., Giuliano G., Townes M. S., Skinner R. E., Jr., Behrens M. W., Boardman J. H., Campbell S. C., Casey J. F., Codell J. C., III, Craig J. J., Groseclose B. S., Jr., Hanson S., Hoel L. A., Hungerbeeler H. L., Kanafani A. K., Kirby R. F., Levinson H. S., Meyer M. D., Morales J. P., Movassaghi K. K., Murray C. A., Plavin D. Z., Rebensdorf J. H., Ross C. L., Skoutelas P. P., Wickham M. W. 2004. *Where the weather meets the road: a research agenda for improving road weather services*. The National Academies Press: Washington, D. C. <https://www.nap.edu/read/10893/chapter/1> (Žiūrėta 2019-03-11)

Sokol Z., Bližňák V., Sedlák P., Zacharov P., Pešice P., Škuthan M. 2017. Ensemble forecasts of road surface temperatures. *Atmospheric Research*. 187: 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.12.010>

Sokol Z., Zacharov P., Sedlák P., Hošek J., Bližňák V., Chládová Z., Pešice P., Škuthan M. 2014. First experience with the application of the METRo model in the Czech Republic. *Atmospheric Research*. 143: 1-16. DOI: 10.1016/j.atmosres.2014.01.017

Stažytė K. 2018. Tikisi, kad žiema netikėtai nebeužklups: Kauno rajone atidarytas Kelių priežiūros valdymo centras. *15min.lt*. <https://www.15min.lt/gazas/naujiena/gatve/tikisi-kad-ziema-netiketai-nebeuzklups-kauno-rajone-atidarytas-keliu-prieziuros-valdymo-centras-221-1048774> (Žiūrėta 2019-03-24)

Stonevičius E., Rimkus E., Kažys J., Bukantis A., Kriauciūienė J., Akstinas V., Jakimavičius D., Povilaitis A., Ložys L., Kesminas V., Virbickas T., Pliūraitė V. 2018. Recent aridity trends and future projections in the Nemunas River basin. *Climate Research*. 75(2): 143-154.

Strong C., Shvetsov Y. 2006. Development of Roadway Weather Severity Index. *Transportation Research Record*. 1948(1): 161-169. DOI: 10.1177/0361198106194800118

Surgue J. G., Thornes J. E., Osborne R. 1983. Thermal mapping of road surface temperatures. *Physical Technology*. 14: 212-213.

Swedish Government Official Reports. 2007. Sweden facing climate change – threats and opportunities SOU 2007:60: chapter 4 The Consequences of Climate Change and Extreme Weather Events. *Ataskaita*,

<https://www.government.se/49b75f/contentassets/5f22ceb87f0d433898c918c2260e51aa/sweden-facing-climate-change-chapter-4-sou-200760> (Žiūrėta 2019-03-11)

Takahashi N., Tokunaga R. A., Nishiyama N. 2010. A method for predicting road surface temperature distribution using Pasquill Stability classes. *15th International Road Weather Conference*, Quebec City, Canada, 5-7th February, SIRWEC. <http://sirwec.org/wp-content/uploads/Papers/2010-Quebec/D-32.pdf> (Žiūrėta 2019-03-11)

Tauginaitė K. 2005. *Prognostinių minimalios kelio dangos temperatūros algoritmų taikymas Lietuvos teritorijoje*. Bakalauro darbas. Vilniaus universitetas: Hidrologijos ir klimatologijos katedra. Vilnius

Taylor K. E., Stouffer R. J., Meehl G. A. 2011. An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 93(4): 485-498. DOI: 10.1175/BAMS-D-11-00094.1

Taylor M. A. P., Philp M. L. 2015. Investigating the impact of maintenance regimes on the design life of road pavements in a changing climate and the implications for transport policy. *Transport Policy*. 41: 117-135. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2015.01.005>

Teconer. 2018. *Winter maintenance of roads and runways*. <http://www.teconer.fi/en/winter.html> (Žiūrėta 2019-06-01)

Thomson A. M., Calvin K. V., Smith S. J., Kyle G. P., Volke A., Patel P., Delgado-Arias S., Bond-Lamberty B., Wise M. A., Clarke L. E., Edmonds J. A. 2011. RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. *Climatic Change*. 109(1): 77. DOI: 10.1007/s10584-011-0151-4

Thornes J. E. 1984. *The prediction of ice formation on motorways in Britain*. Doktoro disertacijos darbas. University of London: Department of Geography. London, UK

Thornes J. E. 1985. The prediction of ice formation on roads. *Highways and Transportation*. 32(8): 3-12.

Thornes J. E. 1991. *Thermal mapping and road weather information systems for highway engineers*. Highway meteorology. CRC Press: 9780419156703. <https://www.crcpress.com/Highway-Meteorology/Perry-Symons/p/book/9780419156703> (Žiūrėta 2019-02-04)

Thornes J. E., Chapman L., White S. 2006. XRWIS: A new paradigm for winter road maintenance. *13th International Road Weather Conference*, Torino, Italy, 25-27th March, SIRWEC. <http://www.sirwec.org/wp-content/uploads/Papers/2006-Torino/D-35.pdf> (Žiūrėta 2019-03-11)

Thornes J. E., Shao J. 1991. Spectral analysis and sensitivity tests for a numerical road surface temperature prediction model. *Meteorology Magazine*. 120: 117-124.

Timeanddate.com. *Annual Weather Averages in Vilnius*. <https://www.timeanddate.com/weather/lithuania/vilnius/climate> (Žiūrėta 2019-03-11)

Timeanddate.com. *Annual Weather Averages Near Prague*. <https://www.timeanddate.com/weather/czech-republic/prague/climate> (Žiūrėta 2019-03-11)

Todeschini I., Di Napoli C., Pretto I., Merler G., Cavaliere R., Apolloni R., Antonacci G., Piazza A., Benedetti G. 2016a. *Thermal mapping as a valuable tool for road weather forecast and winter road maintenance. An example from the Italian Alps*. Project: CLEAN-ROADS. [https://www.researchgate.net/publication/315552490\\_Thermal\\_mapping\\_as\\_a\\_valuable\\_tool\\_for\\_road\\_weather\\_forecast\\_and\\_winter\\_road\\_maintenance\\_An\\_example\\_from\\_the\\_Italian\\_Alps](https://www.researchgate.net/publication/315552490_Thermal_mapping_as_a_valuable_tool_for_road_weather_forecast_and_winter_road_maintenance_An_example_from_the_Italian_Alps) (Žiūrėta 2020-02-15)

Todeschini I., Napoli C. D., Pretto I., Merler G., Cavaliere R., Apolloni R., Antonacci G., Piazza A., Benedetti G. 2016b. *Thermal mapping as a valuable tool for road weather forecast and winter road maintenance: an example from the Italian Alps*. SPIE: <https://doi.org/10.1117/12.2240484>

Toivonen K., Kantonen J. 1998. New development phases of the Finish road weather information system. *9th International Road Weather Conference*, Luleå, Sweden, SIRWEC1998 Proceedings: 25-31

Tomás V. R., Pla-Castells M., Martínez J. J., Martínez J. 2016. Forecasting Adverse Weather Situations in the Road Network. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 17(8): 2334-2343. DOI: 10.1109/TITS.2016.2519103

Tompkins E. L., Neil Adger W. 2005. Defining response capacity to enhance climate change policy. *Environmental Science & Policy*. 8(6): 562-571. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2005.06.012>

METRo. <https://framagit.org/metroprojects/metro/wikis/METRo> (Žiūrėta 2020-04-15)

Vaisala. 2009. *IceNet data services – Ready access to all your informatikon*. *Vaisala application notes: Roads, B210849EN-A*. <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/IceNet%20Data%20Services%20Application%20Note.pdf> (Žiūrėta 2019-03-11)

Vaisala. 2009. *Route-Based Measurement – Sensors Going Mobile*. *Vaisala application notes: Roads, B210857EN-A*. <https://www.vaisala.com/>

sites/default/files/documents/Route%20based%20measurement%20Application%20Note.pdf (Žiūrėta 2019-03-11)

Vaisala. 2009. *Route Specific Forecast Thermal Maps – The devil is in the detail. Vaisala application notes: Roads, B210859EN-A*. <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/Route%20Specific%20Forecast%20Thermal%20Maps%20Application%20Note.pdf> (Žiūrėta 2019-03-11)

Vaisala. 2010. *Vaisala Maintenance Decision Support System (MDSS) Guidance for 21st Century Roadway Operations. Vaisala application notes: Roads, B210938EN-A*. <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/MDSS-Datasheet-B210938EN-A-LOW-v6.pdf> (Žiūrėta 2019-03-11)

Vaisala. 2011. *Identifying Cold Spots. Vaisala application notes: Roads, B210854EN-B*. <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/WCO-RDS-Global%20Cold%20Spot%20Application%20Note-B210854EN-B%20Low.pdf> (Žiūrėta 2019-03-11)

Vaisala. 2019. *Vaisala Mobile Detector MD30*. <https://www.vaisala.com/en/products/instruments-sensors-and-other-measurement-devices/weather-stations-and-sensors/md30> (Žiūrėta 2019-06-01)

Valiukas D. 2001. *Minimalių kelio dangos paviršiaus temperatūrų prognozė*. Bakalaurų darbas. Vilniaus universitetas: Hidrologijos ir klimatologijos katedra. Vilnius

Valiukas D. 2003. *Pavojingi meteorologiniai reiškiniai Lietuvos keliuose*. Magistro darbas. Vilniaus universitetas: Hidrologijos ir klimatologijos katedra. Vilnius

van Vuuren D. P., Edmonds J., Kainuma M., Riahi K., Thomson A., Hibbard K., Hurtt G. C., Kram T., Krey V., Lamarque J.-F., Masui T., Meinshausen M., Nakicenovic N., Smith S. J., Rose S. K. 2011a. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*. 109(1): 5. DOI: 10.1007/s10584-011-0148-z

van Vuuren D. P., Stehfest E., den Elzen M. G. J., Kram T., van Vliet J., Deetman S., Isaac M., Klein Goldewijk K., Hof A., Mendoza Beltran A., Oostenrijk R., van Ruijven B. 2011b. RCP2.6: exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2°C. *Climatic Change*. 109(1): 95. DOI: 10.1007/s10584-011-0152-3

Vavrik W. R., Dwyer C. E., Brink W. C., Larson G. 2016. Evaluation of Software Simulation of Road Weather Information System. A report of the findings of ICT-R27-142. *Ataskaita*, Illinois Center for Transportation, Rantoul, IL. <http://hdl.handle.net/2142/93363> (Žiūrėta 2019-04-07)

Venäläinen A., Kangas M. 2003. Estimation of winter road maintenance costs using climate data. *Meteorological Applications*. 10(1): 69-73. DOI: 10.1017/S1350482703005073

Venner M., Zamurs J. 2012. Increased Maintenance Costs of Extreme Weather Events: Preparing for Climate Change Adaptation. *Transportation Research Record*. 2292(1): 20-28. DOI: 10.3141/2292-03

Verret R., Vigneux D., Marcoux J., Parent R., Petrucci F., Landry C., Pelletier L., Hardy G. *SCRIBE 3.0: A Product Generator*. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.130.2389&rep=rep1&type=pdf> (Žiūrēta 2019-03-11)

Vitasse Y., Klein G., Kirchner J. W., Rebetez M. 2017. Intensity, frequency and spatial configuration of winter temperature inversions in the closed La Brevine valley, Switzerland. *Theoretical and Applied Climatology*. 130(3): 1073-1083. DOI: 10.1007/s00704-016-1944-1

Vosper S. B., Brown A. R. 2008. Numerical Simulations of Sheltering in Valleys: The Formation of Nighttime Cold-Air Pools. *Boundary-Layer Meteorology*. 127(3): 429-448. DOI: 10.1007/s10546-008-9272-3

Walker B. J. A., Adger W. N., Russel D. 2014. Institutional barriers to climate change adaptation in decentralised governance structures: Transport planning in England. *Urban Studies*. 52(12): 2250-2266. DOI: 10.1177/0042098014544759

Wallman C.-G., Åström H. 2001. Friction measurement methods and the correlation between road friction and traffic safety: A literature review. *Ataskaita*, Linköping, Sweden. (Žiūrēta 2019-03-11)

Weller J., Thornes J. E. 2001. An investigation of winter nocturnal air and road surface temperature variation in the West Midlands, UK under different synoptic conditions. *Meteorological Applications*. 8(4): 461-474. DOI: 10.1017/S1350482701004078

Whiteman C. D., Haiden T., Pospichal B., Eisenbach S., Steinacker R. 2004. Minimum Temperatures, Diurnal Temperature Ranges, and Temperature Inversions in Limestone Sinkholes of Different Sizes and Shapes. *Journal of Applied Meteorology*. 43(8): 1224-1236. DOI: 10.1175/1520-0450(2004)043<1224:MTDTRA>2.0.CO;2

Whiteman C. D., Zhong S., Shaw W. J., Hubbe J. M., Bian X., Mittelstadt J. 2001. Cold Pools in the Columbia Basin. *Weather and Forecasting*. 16(4): 432-447. DOI: 10.1175/1520-0434(2001)016<0432:CPITCB>2.0.CO;2

Wojcik G. S., Fitzjarrald D. R., Plawsky J. L. 2003. Modelling the interaction between the atmosphere and curing concrete bridge decks with

the SLABS model. *Meteorological Applications*. 10(2): 165-186. DOI: 10.1017/S135048270300207

Wood N. L. H., Clark R. T. 1999. The variation of road-surface temperatures in Devon, UK during cold and occluded front passage. *Meteorological Applications*. 6(2): 111-118. DOI: 10.1017/S1350482799001097

Xu H., Guo W., Tan Y. 2015. Internal structure evolution of asphalt mixtures during freeze–thaw cycles. *Materials & Design*. 86: 436-446. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.07.073>

Yang C. H., Kim S. B., Yoon C. J., Kim J. G., Park J. H., Yun D. G. 2017. Analysis of Road Surface Temperature Change Patterns using Machine Learning Algorithms. *International Journal of Highway Engineering*. 19(2): 35-44. <https://doi.org/10.7855/IJHE.2017.19.2.035>

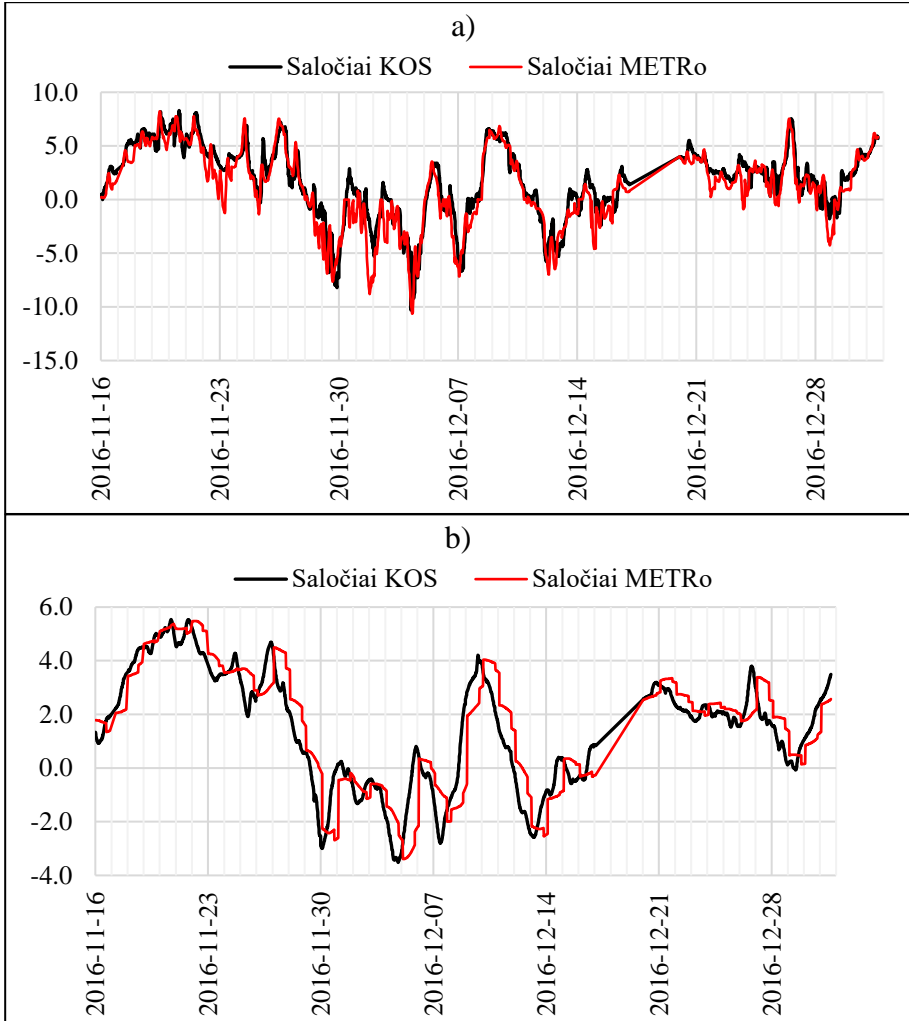
Ye Z., Strong C. K., Shi X., Conger S. M., Huft D. L. 2009. Benefit–Cost Analysis of Maintenance Decision Support System. *Transportation Research Record*. 2107(1): 95-103. 10.3141/2107-10

Žilionienė D., De Luca M., Dell’Acqua G. 2013. Evaluation of climatic factors based on the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. 8(3): 158-165. DOI: 10.3846/bjrbe.2013.20

Žilionienė D., Laurinavičius A. 2007. De-icing experience in Lithuania. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. 2(2): 73-79.

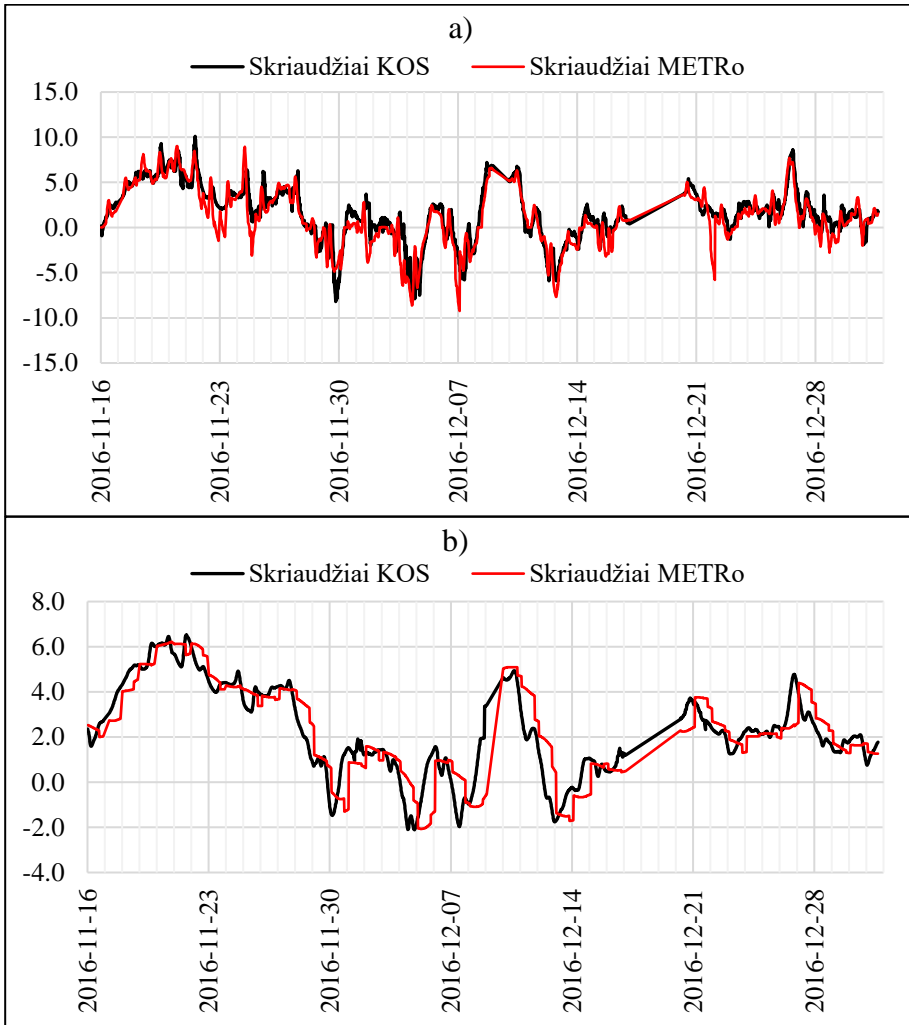
## PRIEDAI

1 priedas. Kelio dangos (a) ir kelio pylimo (b) temperatūra (°C) Saločių KOS stotyje ir jų METRo prognozė visam analizuojamam laikotarpiui

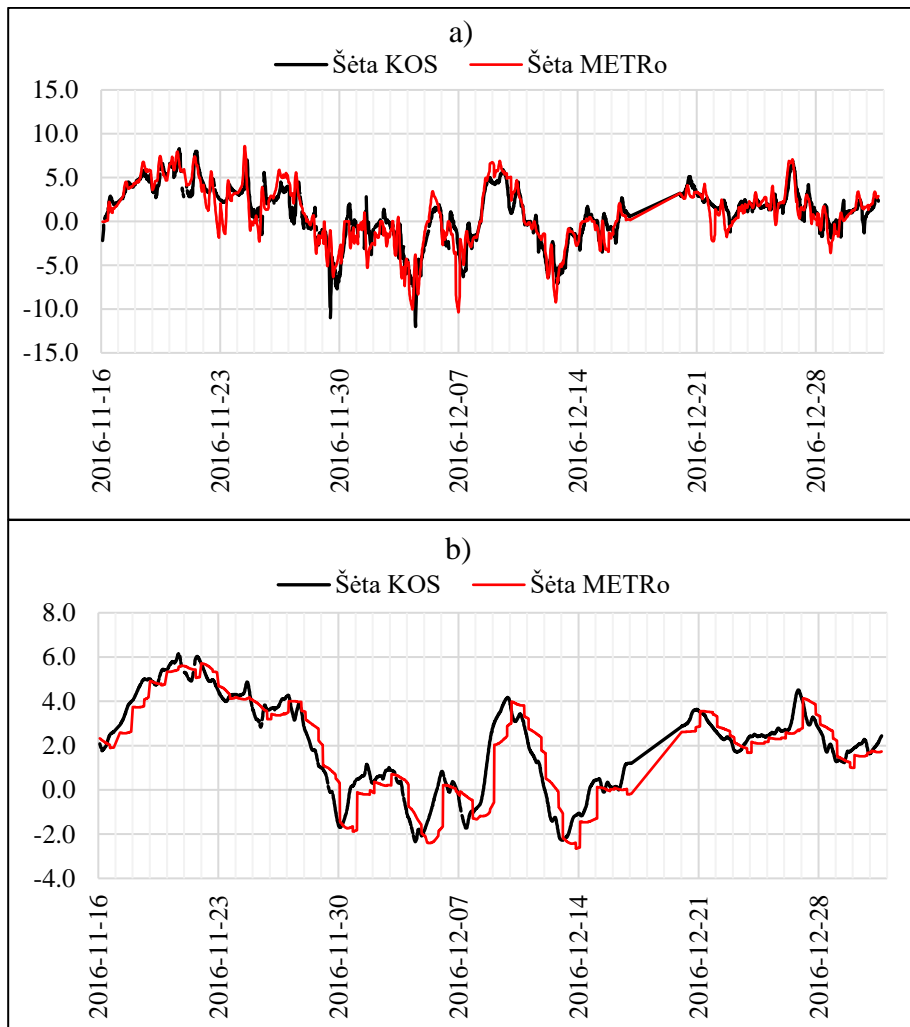




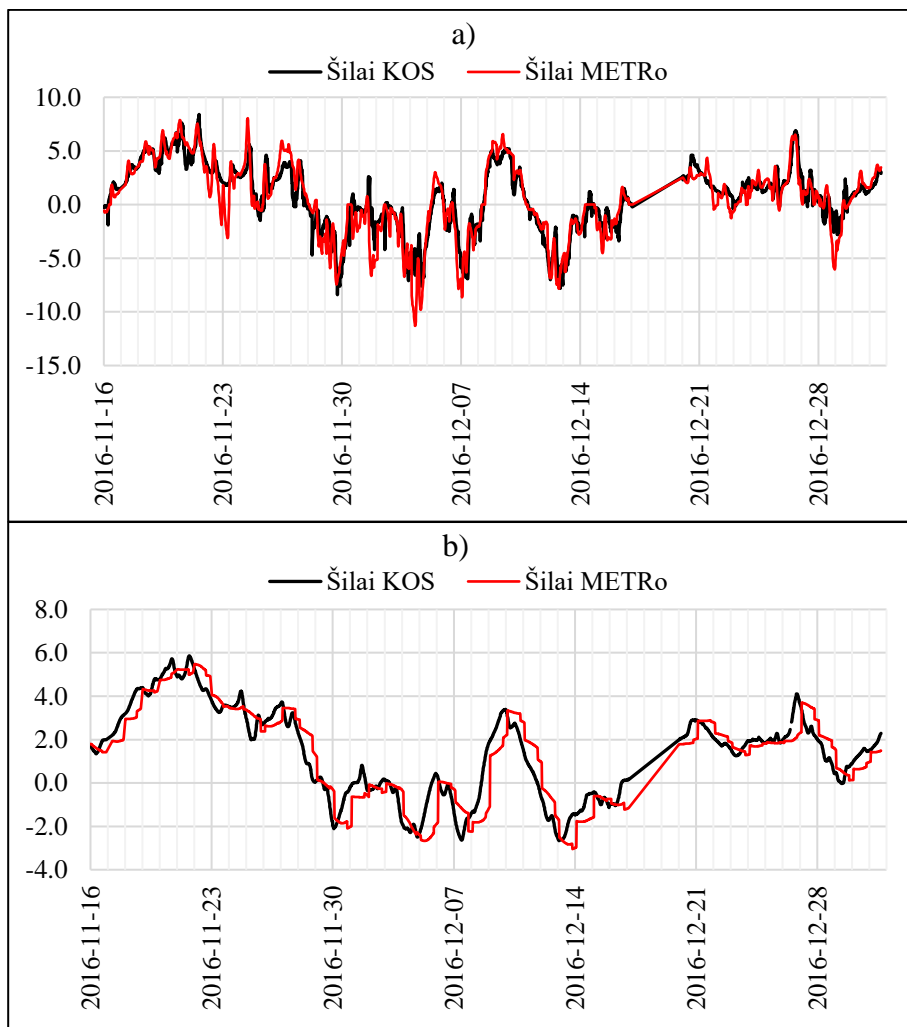
2 priedas. Kelio dangos (a) ir kelio pylimo (b) temperatūra (°C) Skriaudžių KOS stotyje ir jų METRo prognozė visam analizuojamam laikotarpiui



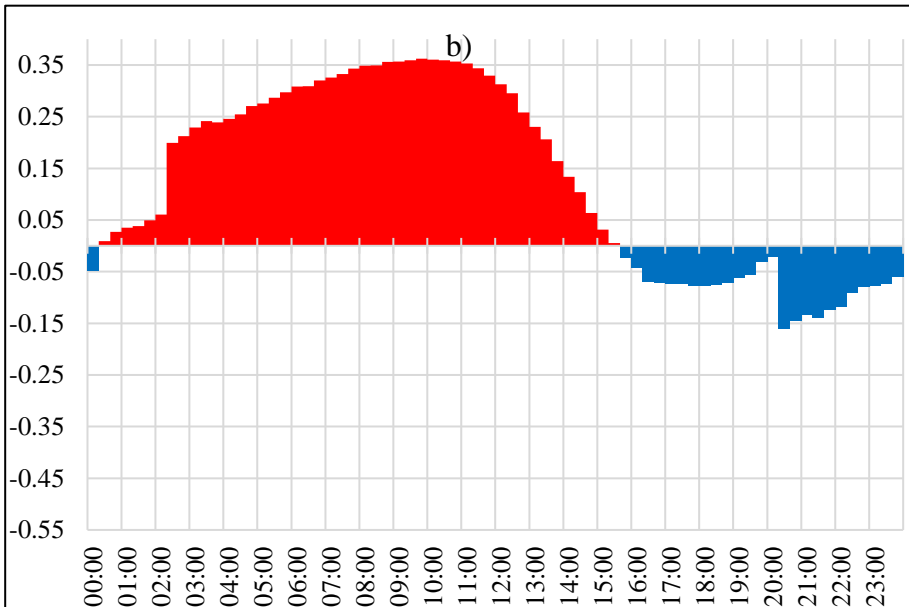
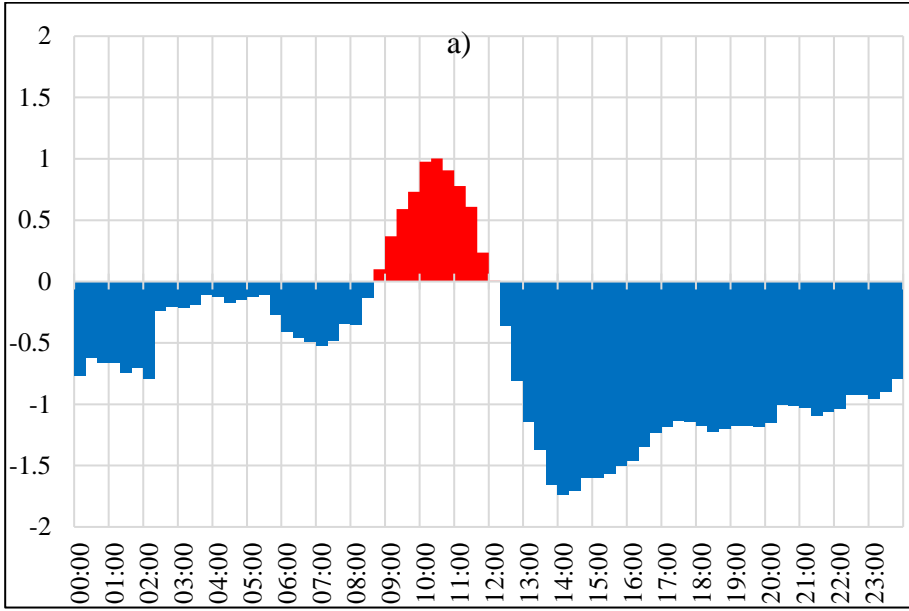
3 priedas. Kelio dangos (a) ir kelio pylimo (b) temperatūra (°C) Šėtos KOS stotyje ir jų METRo prognozė visam analizuojamam laikotarpiui



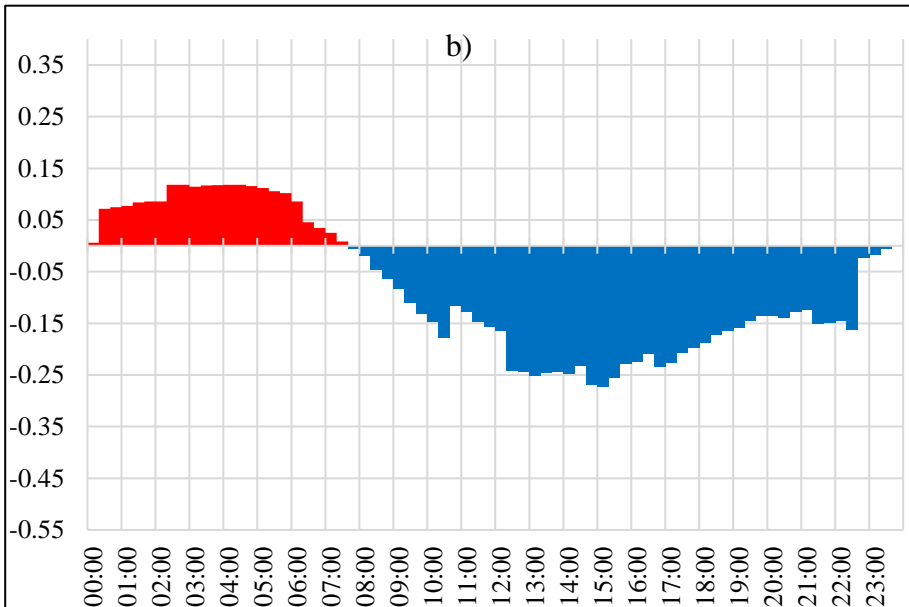
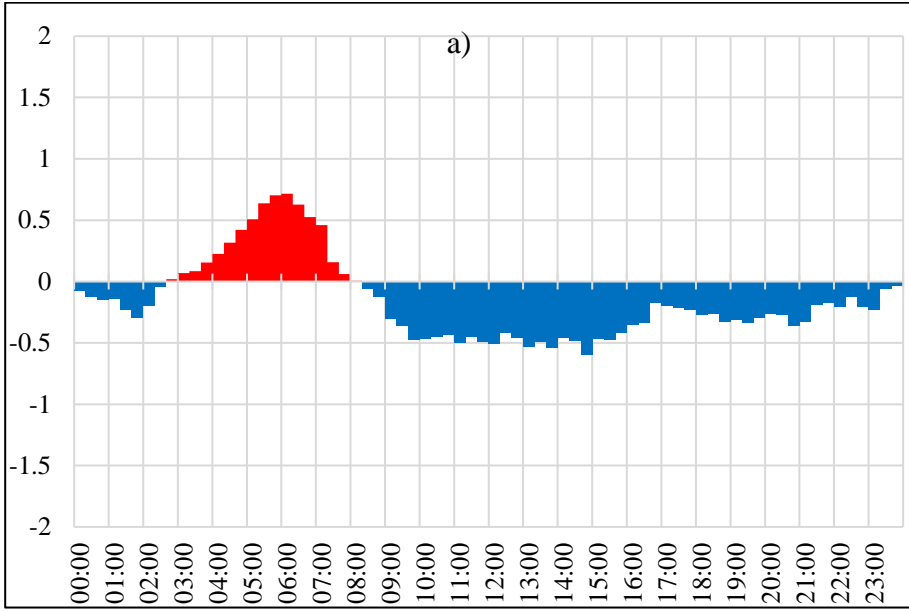
4 priedas. Kelio dangos (a) ir kelio pylimo (b) temperatūra (°C) Šilų KOS stotyje ir jų METRo prognozė visam analizuojamam laikotarpiui



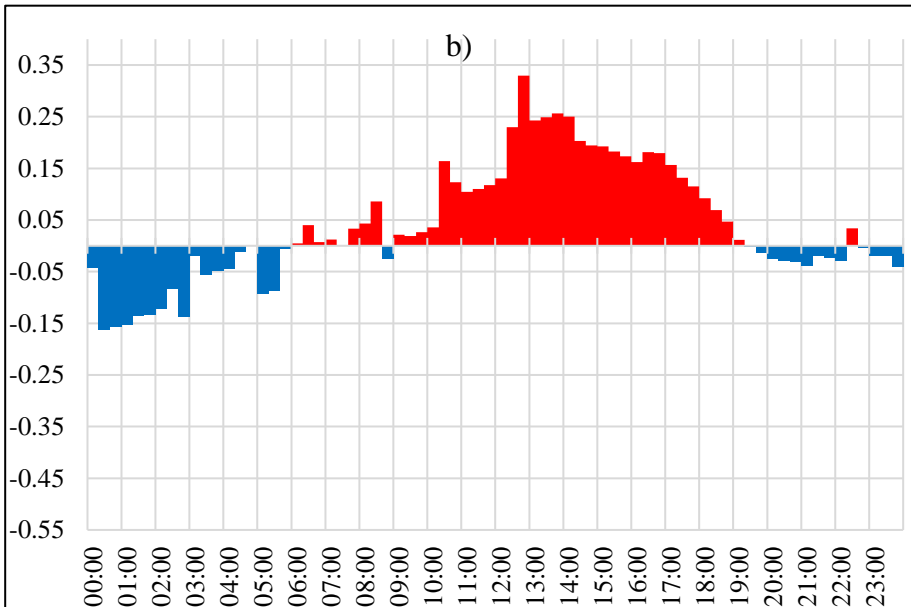
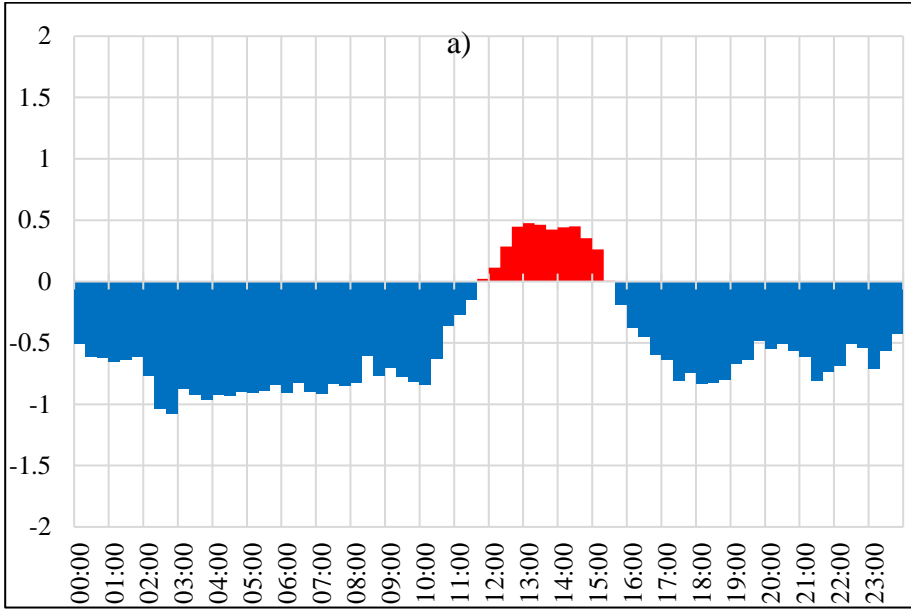
5 priedas. METRo prognozuotos kelio dangos (a) ir kelio pylimo (b) temperatūros nuokrypio nuo realios Saločių KOS kaita per parą vidutiniškai per visą analizuojamą laikotarpį.



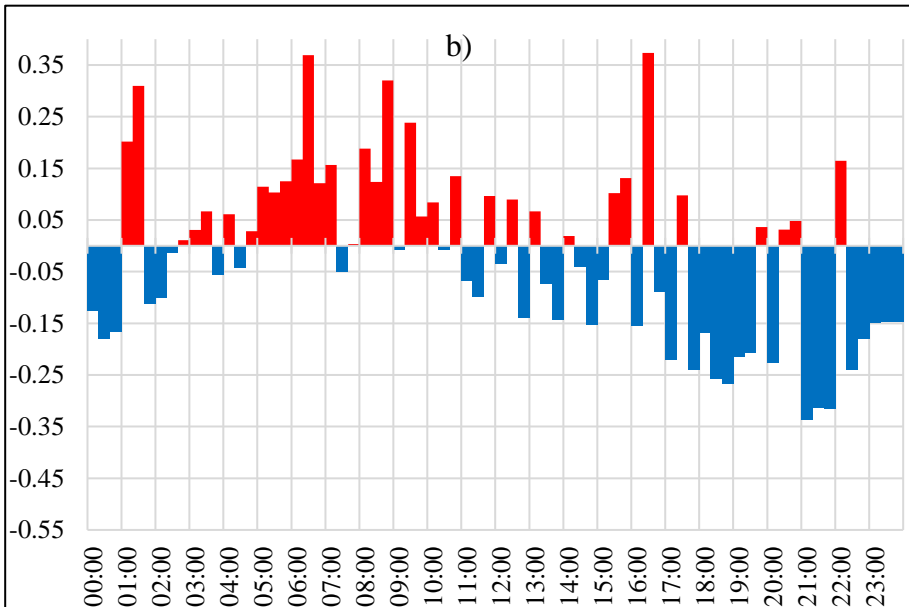
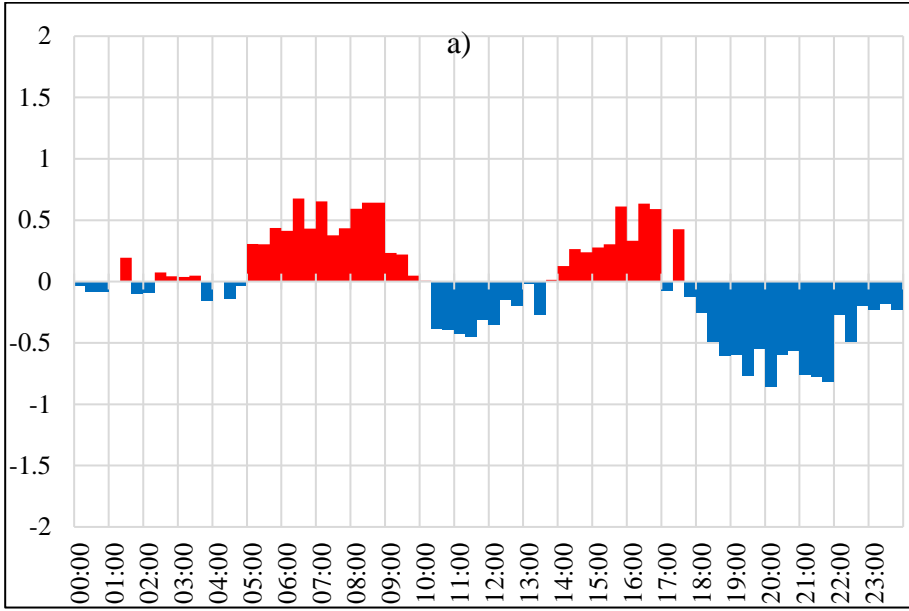
6 priedas. METRo prognozuotos kelio dangos (a) ir kelio pylimo (b) temperatūros nuokrypio nuo realios Skriaudžių KOS kaita per parą vidutiniškai per visą analizuojamą laikotarpį.



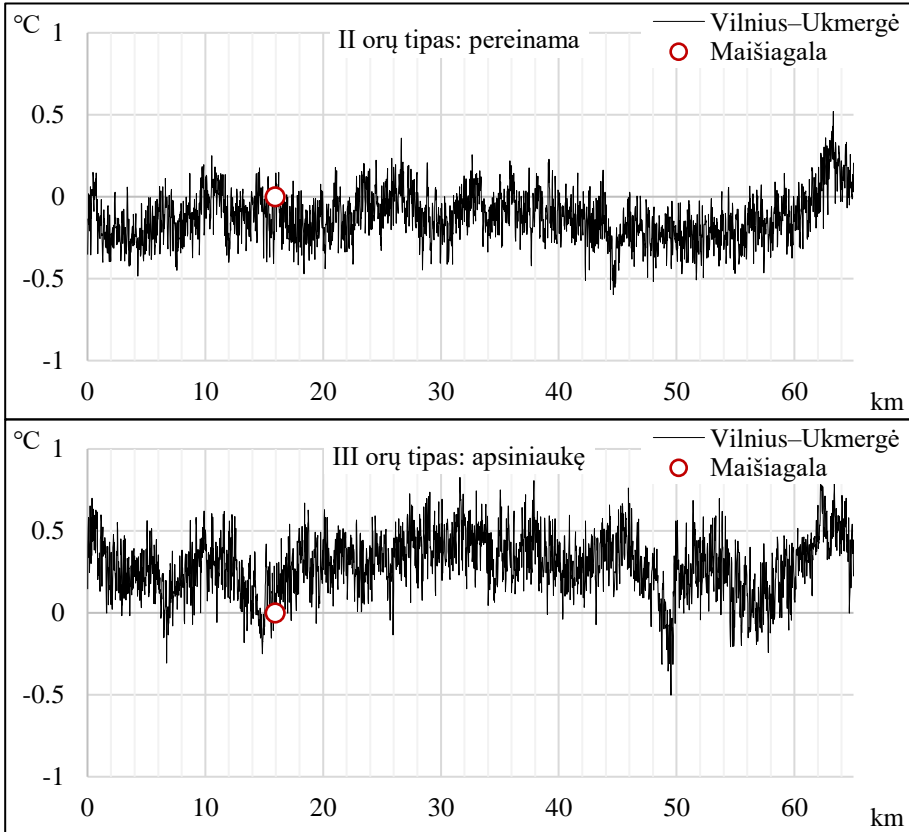
7 priedas. METRO prognozuotos kelio dangos (a) ir kelio pylimo (b) temperatūros nuokrypio nuo realios Šėtos KOS kaita per parą vidutiniškai per visą analizuojamą laikotarpį.



8 priedas. METRo prognozuotos kelio dangos (a) ir kelio pylimo (b) temperatūros nuokrypio nuo realios Šilų KOS kaita per parą vidutiniškai per visą analizuojamą laikotarpį.

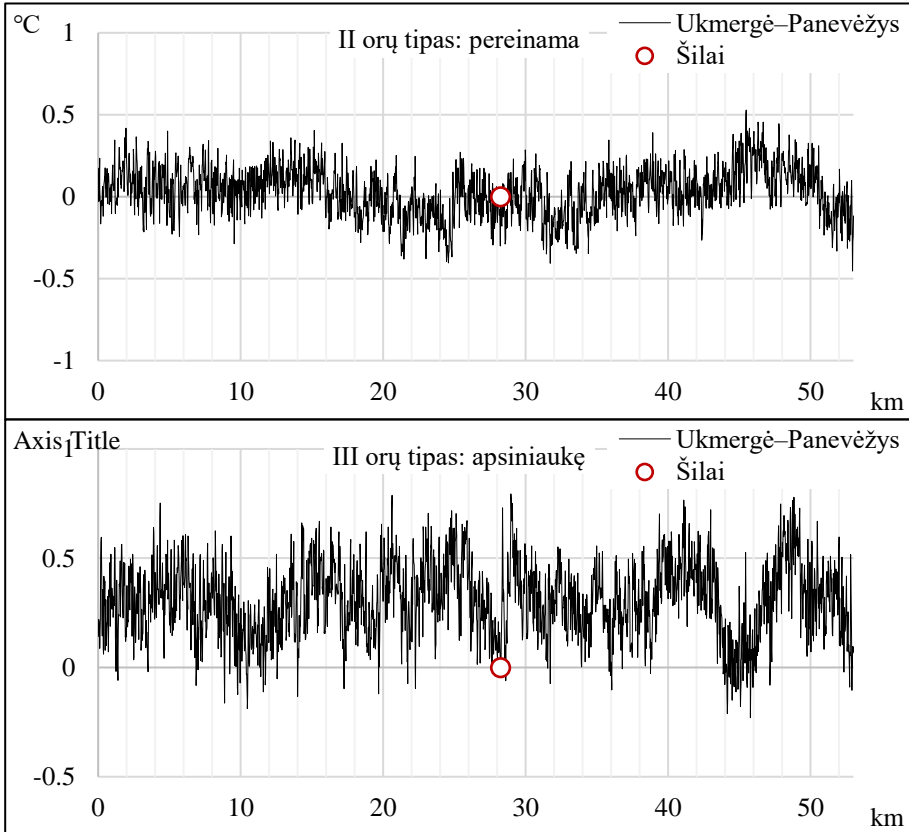


9 priedas. Kelio ruožo Vilnius–Ukmergė kelio dangos temperatūros TG. Nuokrypiai skaičiuoti nuo Maišiagalos KOS stoties (vieta išryškinta apskritimu). Viršuje – II orų tipas: pereinama, apačioje – III orų tipas: apsiniukę. Naudoti 2015 m. TK duomenys.

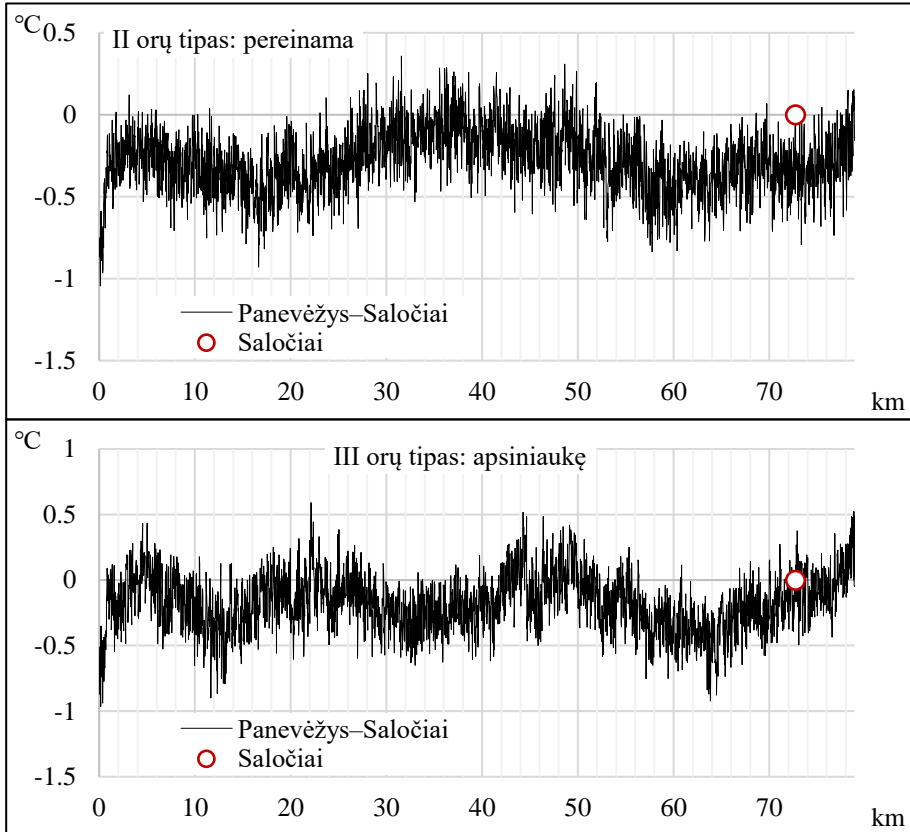




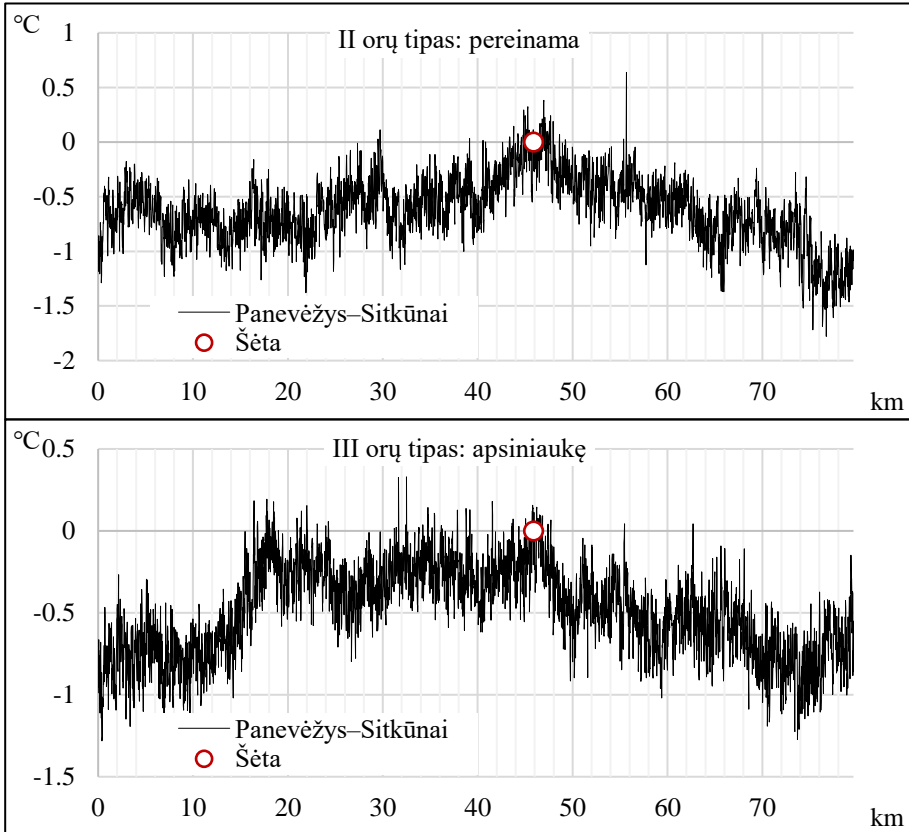
10 priedas. Kelio ruožo Ukmergė–Panevėžys kelio dangos temperatūros TG. Nuokrypiai skaičiuoti nuo Šilų KOS stoties (vieta išryškinta apskritimu). Viršuje – II orų tipas: pereinama, apačioje – III orų tipas: apsiniaukę. Naudoti 2015 m. TK duomenys.



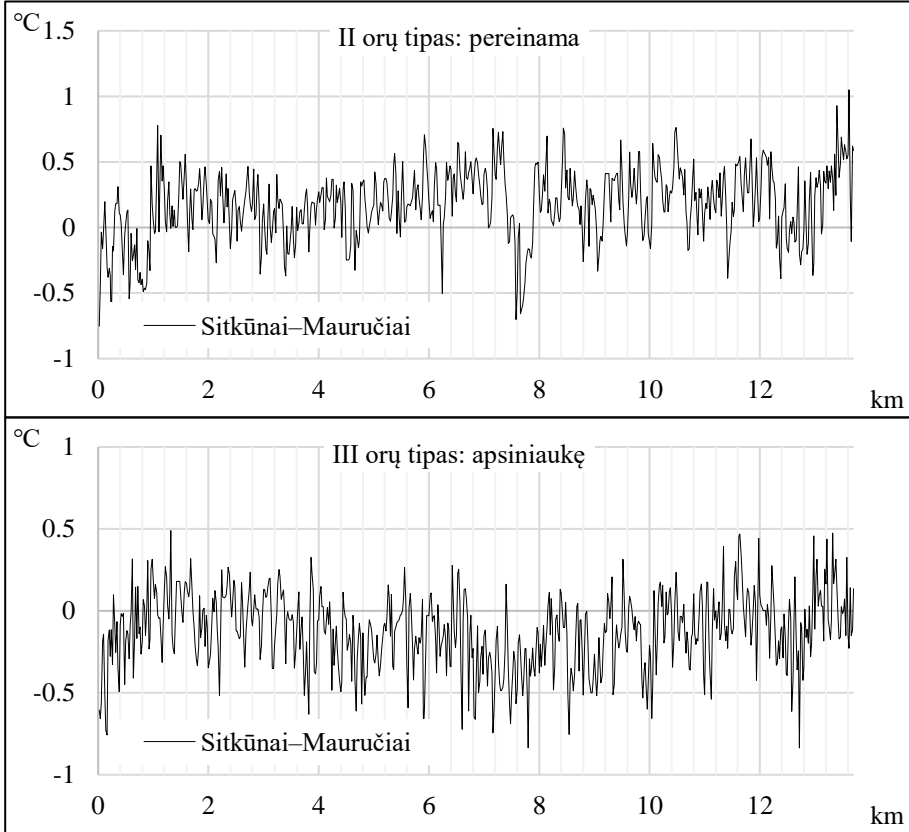
11 priedas. Kelio ruožo Panevėžys–Saločiai kelio dangos temperatūros TG. Nuokrypiai skaičiuoti nuo Saločių KOS stoties (vieta išryškinta apskritimu). Viršuje – II orų tipas: pereinama, apačioje – III orų tipas: apsiniaukę. Naudoti 2015 m. TK duomenys.



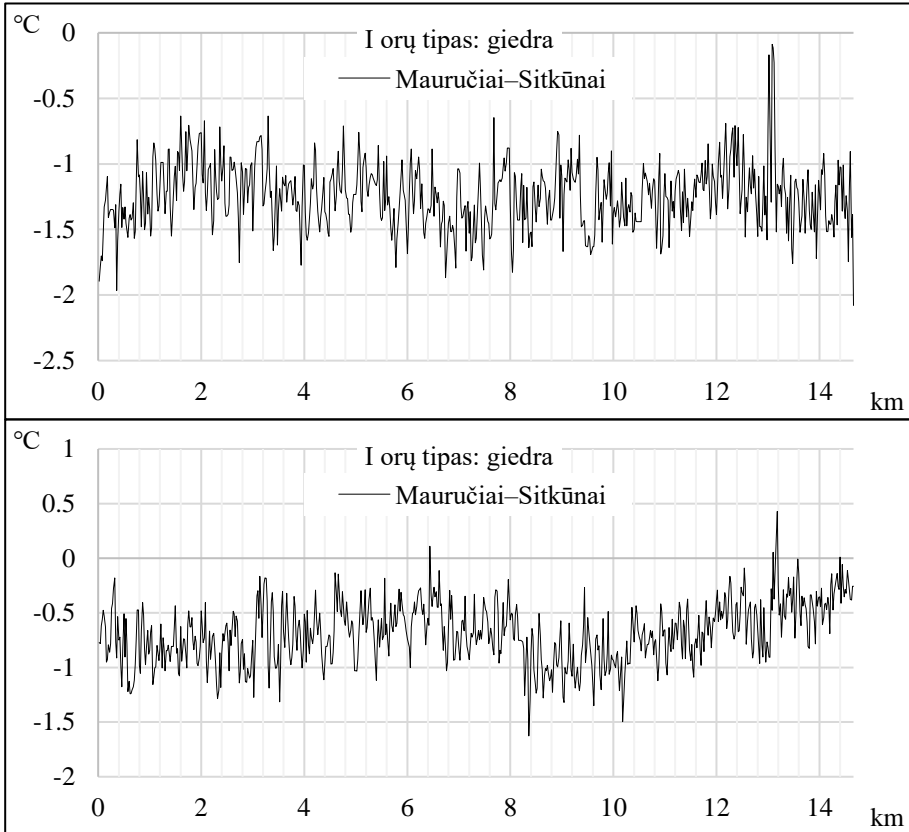
12 priedas. Kelio ruožo Panevėžys–Sitkūnai kelio dangos temperatūros TG. Nuokrypiai skaičiuoti nuo Šėtos KOS stoties (vieta išryškinta apskritimu). Viršuje – II orų tipas: pereinama, apačioje – III orų tipas: apsiniaukę. Naudoti 2015 m. TK duomenys.



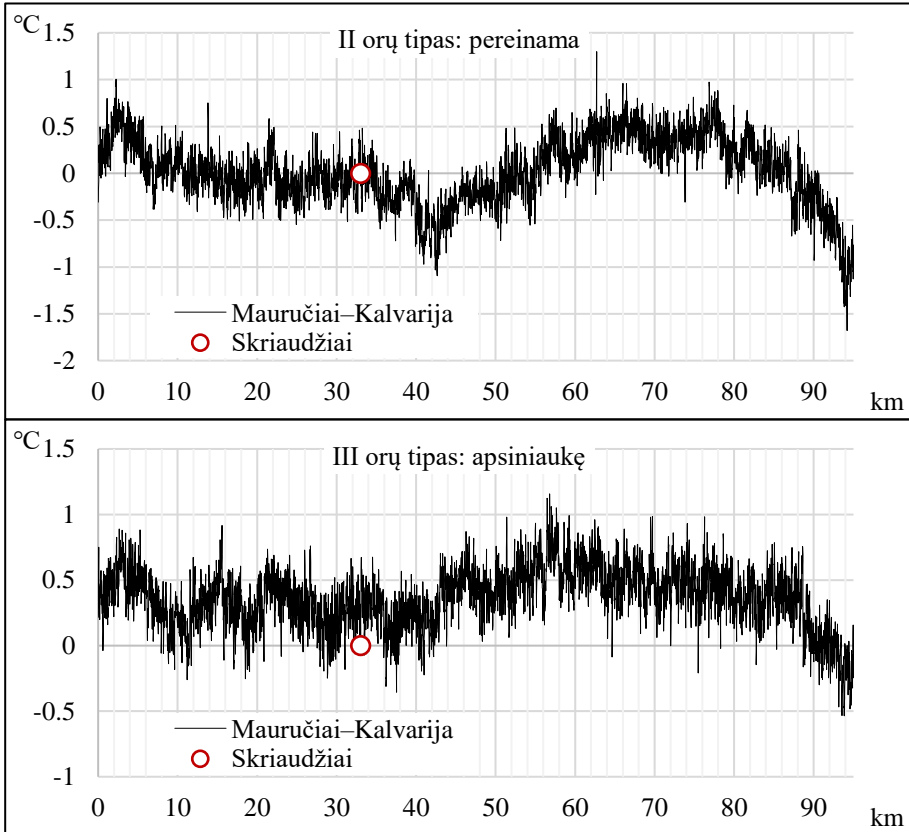
13 priedas. Kelio ruožo Sitkūnai–Mauručiai kelio dangos temperatūros TG. Nuokrypiai skaičiuoti nuo Šėtos KOS stoties (vieta išryškinta apskritimu). Viršuje – II orų tipas: pereinama, apačioje – III orų tipas: apsiniaukę. Naudoti 2015 m. TK duomenys.



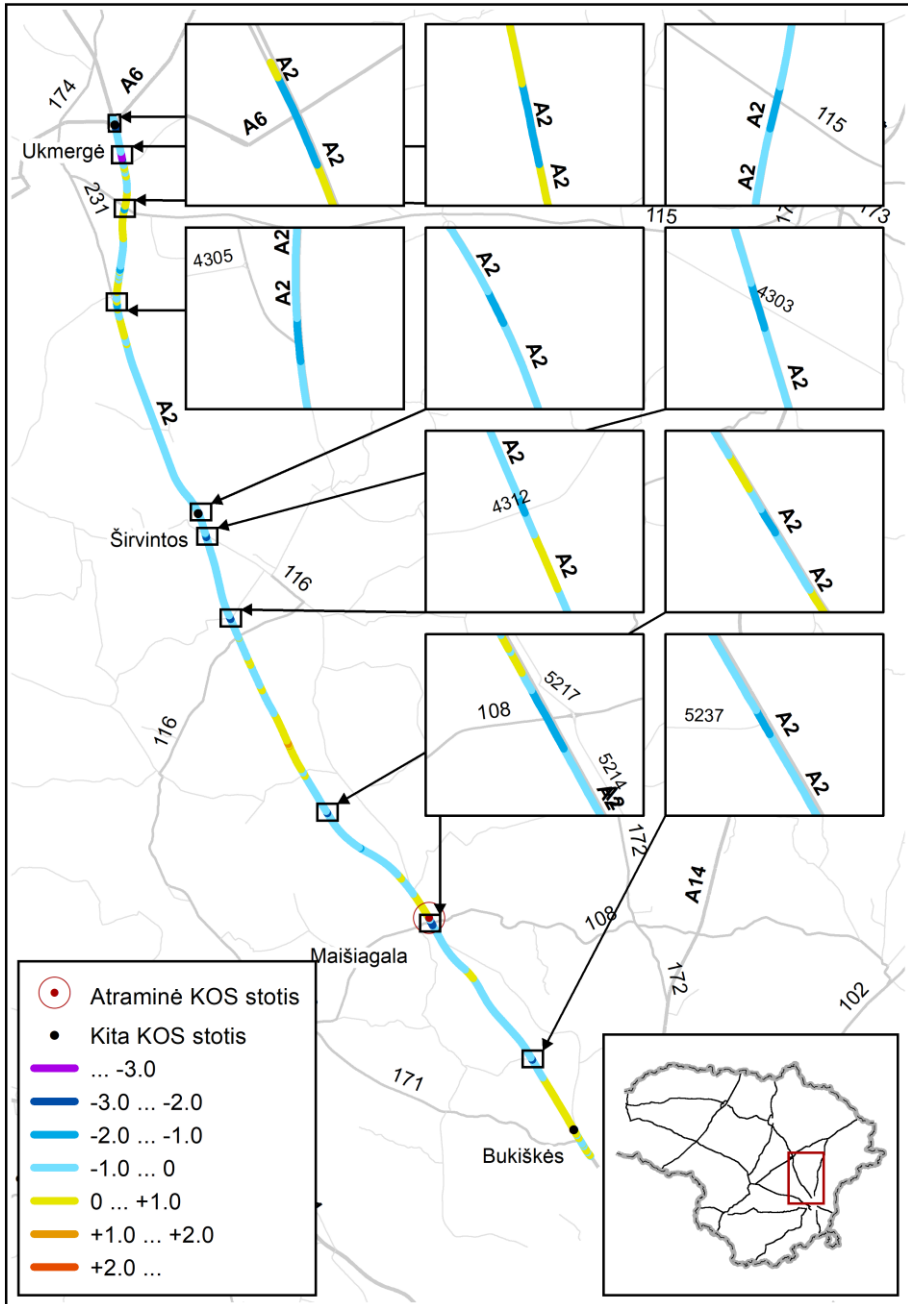
14 priedas. Kelio ruožo Mauručiai–Sitkūnai kelio dangos temperatūros TG. Nuokrypiai skaičiuoti nuo Šėtos KOS stoties (vieta išryškinta apskritimu). Viršuje – II orų tipas: pereinama, apačioje – III orų tipas: apsiniaukę. Naudoti 2015 m. TK duomenys.



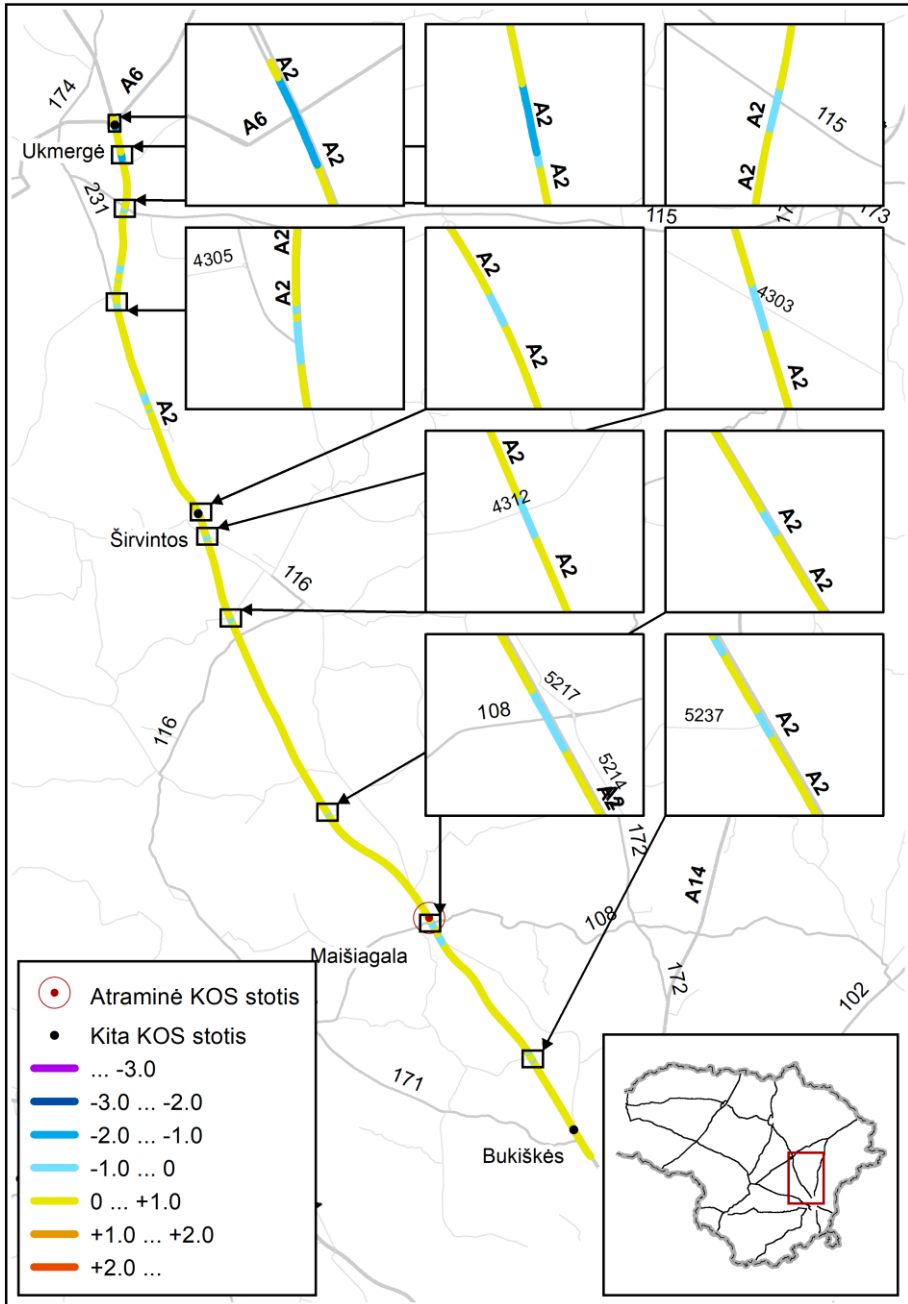
15 priedas. Kelio ruožo Mauručiai–Kalvarija kelio dangos temperatūros TG. Nuokrypiai skaičiuoti nuo Skriaudžių KOS stoties (vieta išryškinta apskritimu). Viršuje – II orų tipas: pereinama, apačioje – III orų tipas: apsiniaukę. Naudoti 2015 m. TK duomenys.



16 priedas. Kelio ruožo Vilnius–Ukmergė kelio dangos temperatūros terminis žemėlapis. II orų tipas: pereinamas. Naudoti 2015 m. TK duomenys.

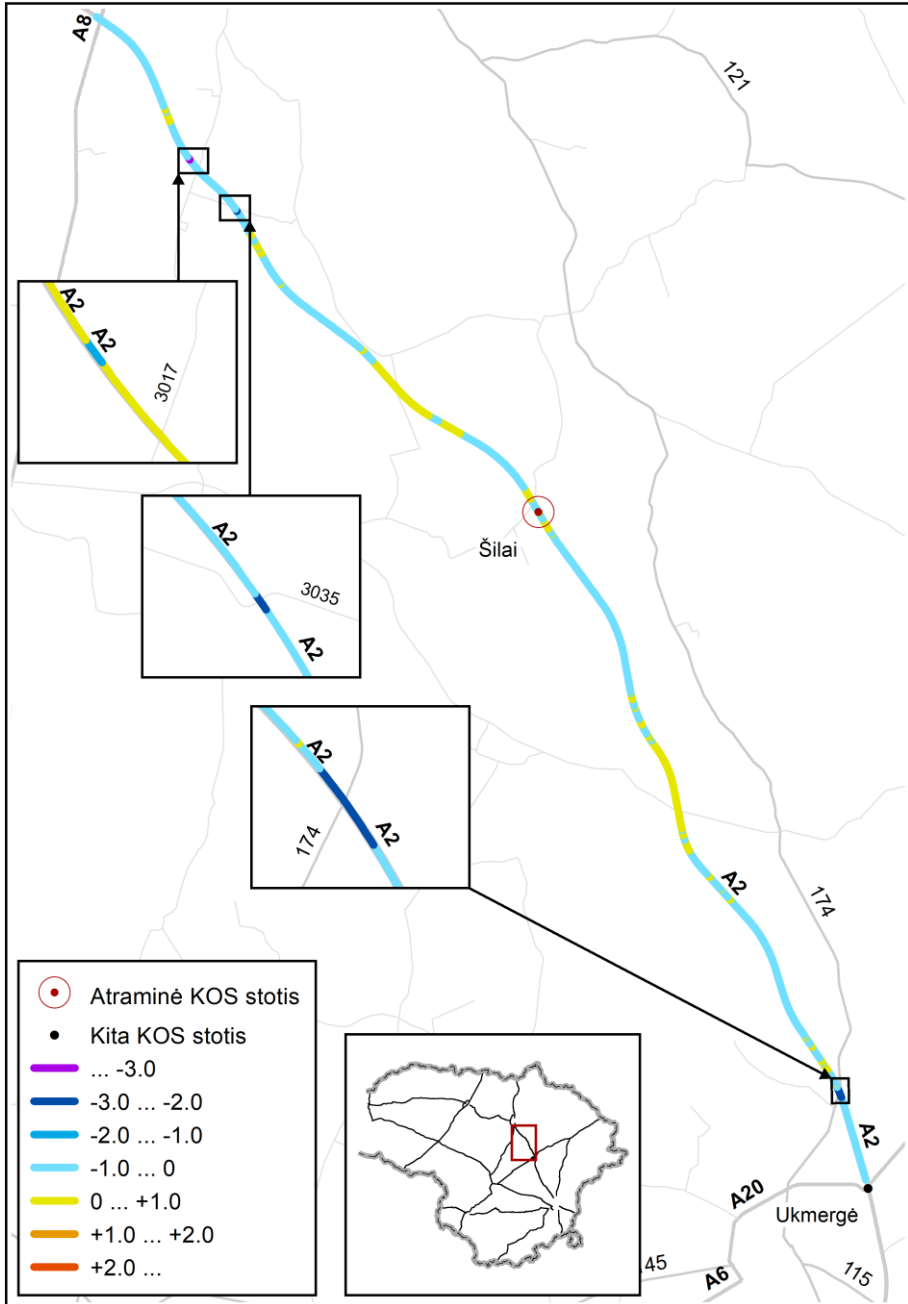


17 priedas. Kelio ruožo Vilnius–Ukmergė kelio dangos temperatūros terminis žemėlapis. III orų tipas: apsiniaukę. Naudoti 2015 m. TK duomenys.

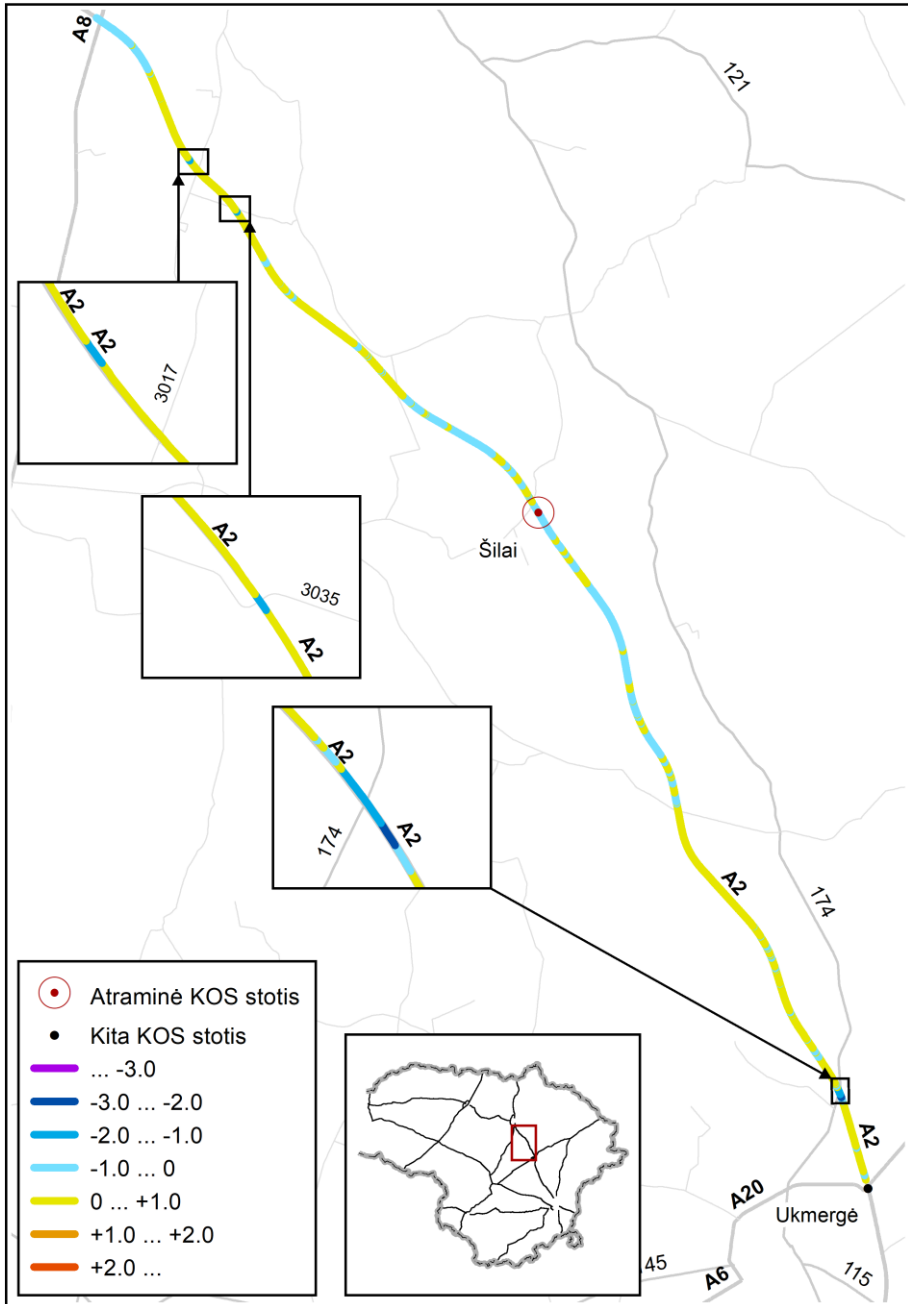




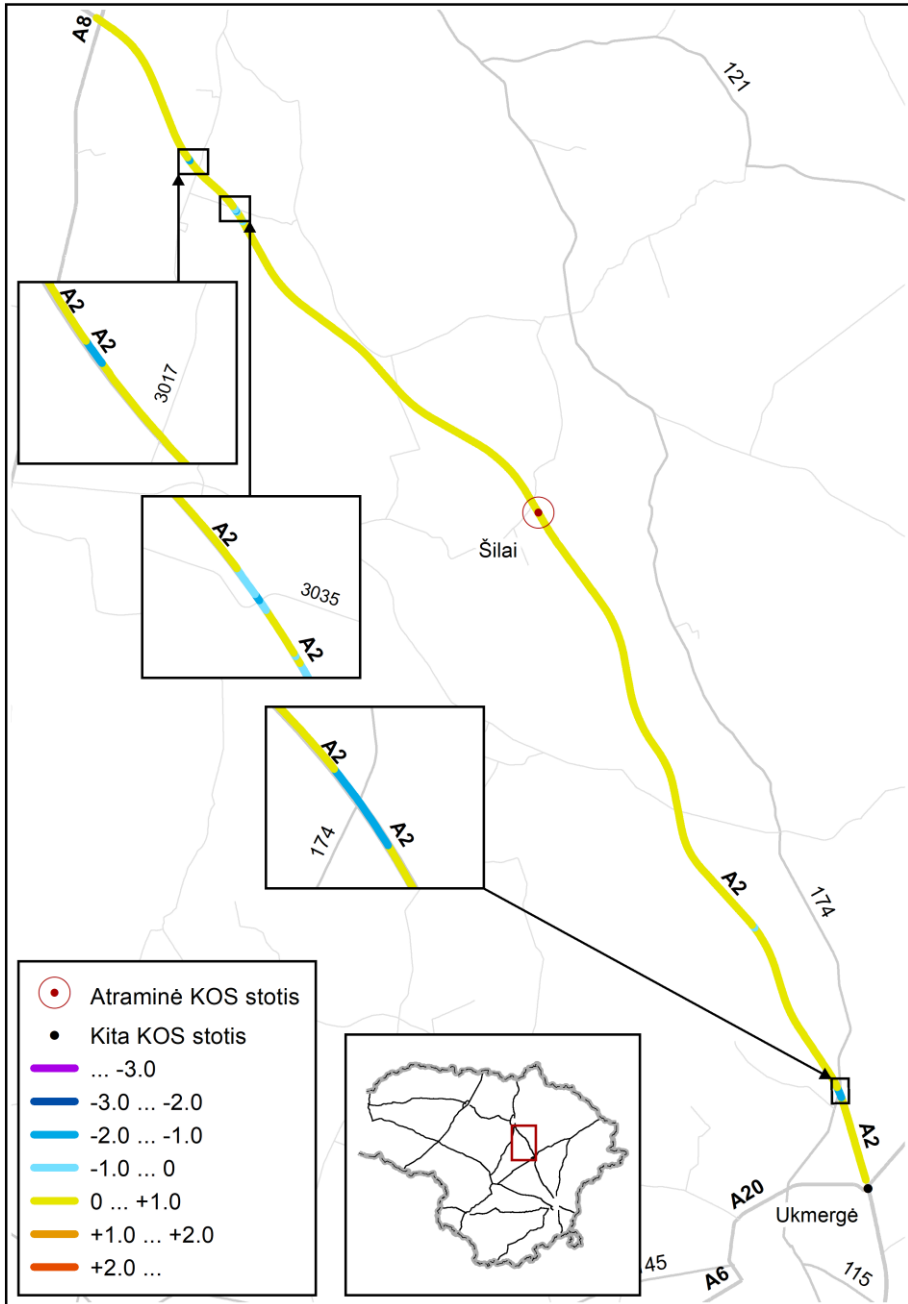
18 priedas. Kelio ruožo Ukmergė–Panevėžys kelio dangos temperatūros terminis žemėlapis. I orų tipas: giedra. Naudoti 2015 m. TK duomenys.



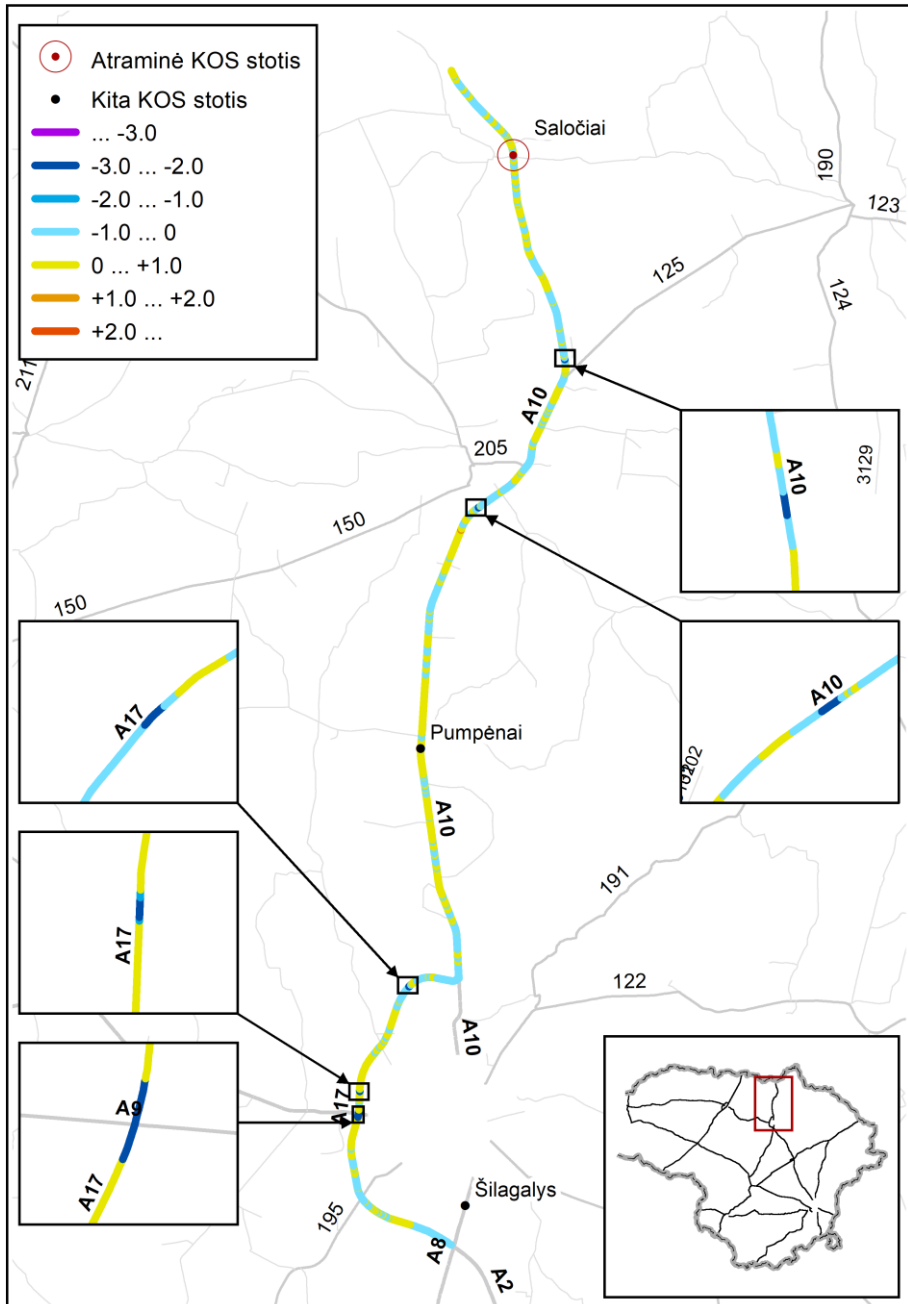
19 priedas. Kelio ruožo Ukmergė–Panevėžys kelio dangos temperatūros terminis žemėlapis. II orų tipas: pereinamas. Naudoti 2015 m. TK duomenys.



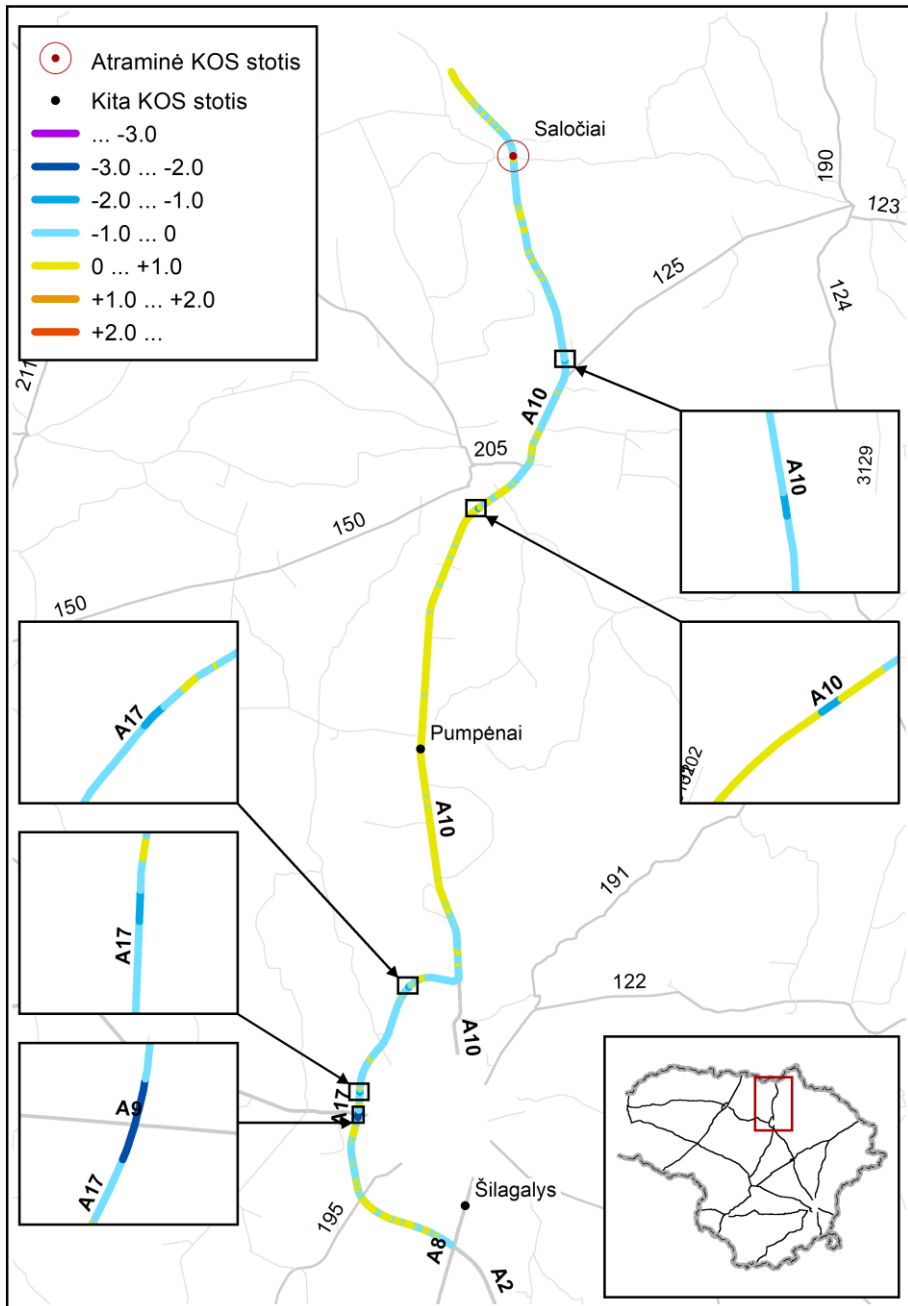
20 priedas. Kelio ruožo Ukmergė–Panevėžys kelio dangos temperatūros terminis žemėlapis. III orų tipas: apsiniaukę. Naudoti 2015 m. TK duomenys.



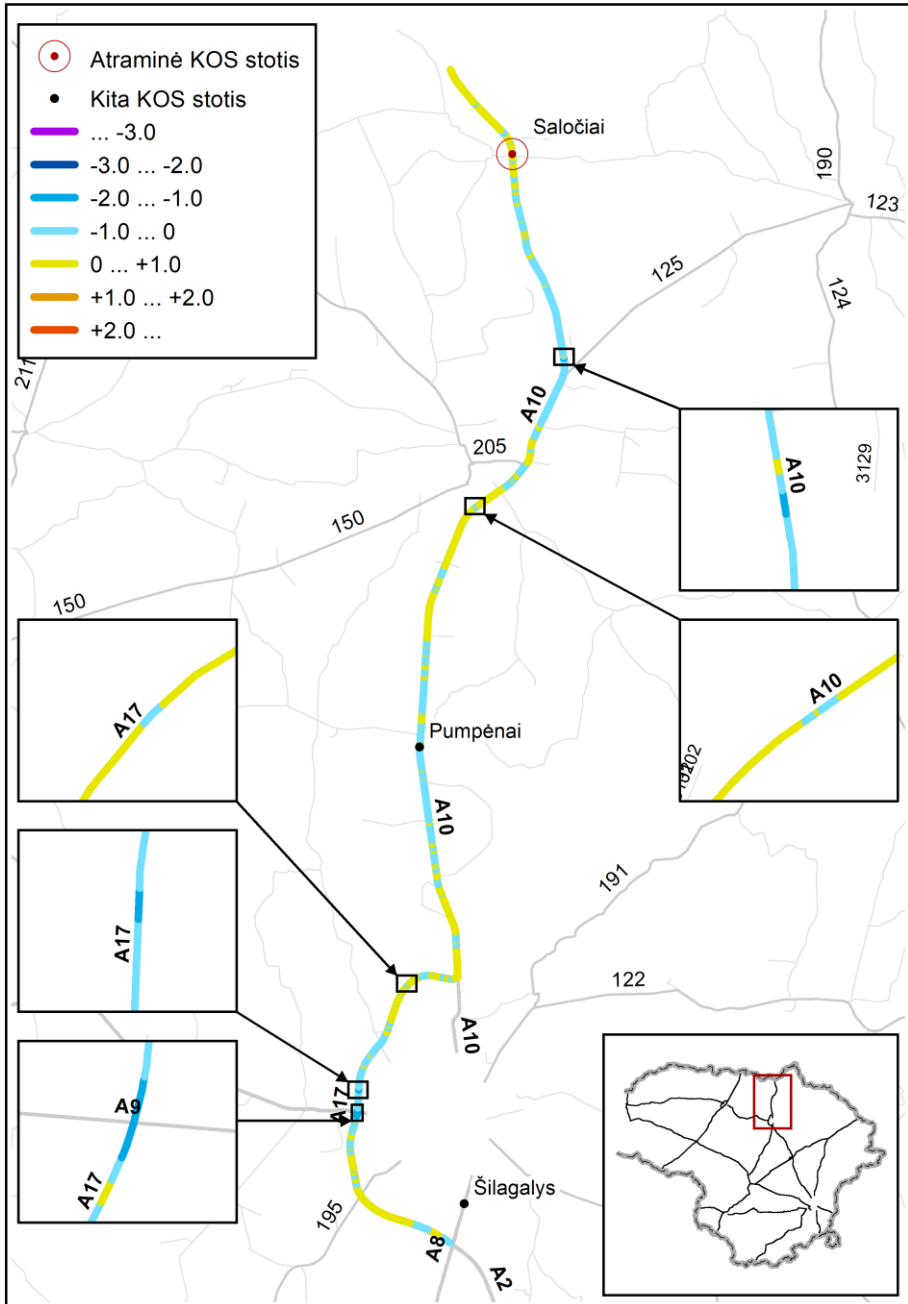
21 priedas. Kelio ruožo Panevėžys–Saločiai kelio dangos temperatūros terminis žemėlapis. I orų tipas: giedra. Naudoti 2015 m. TK duomenys.



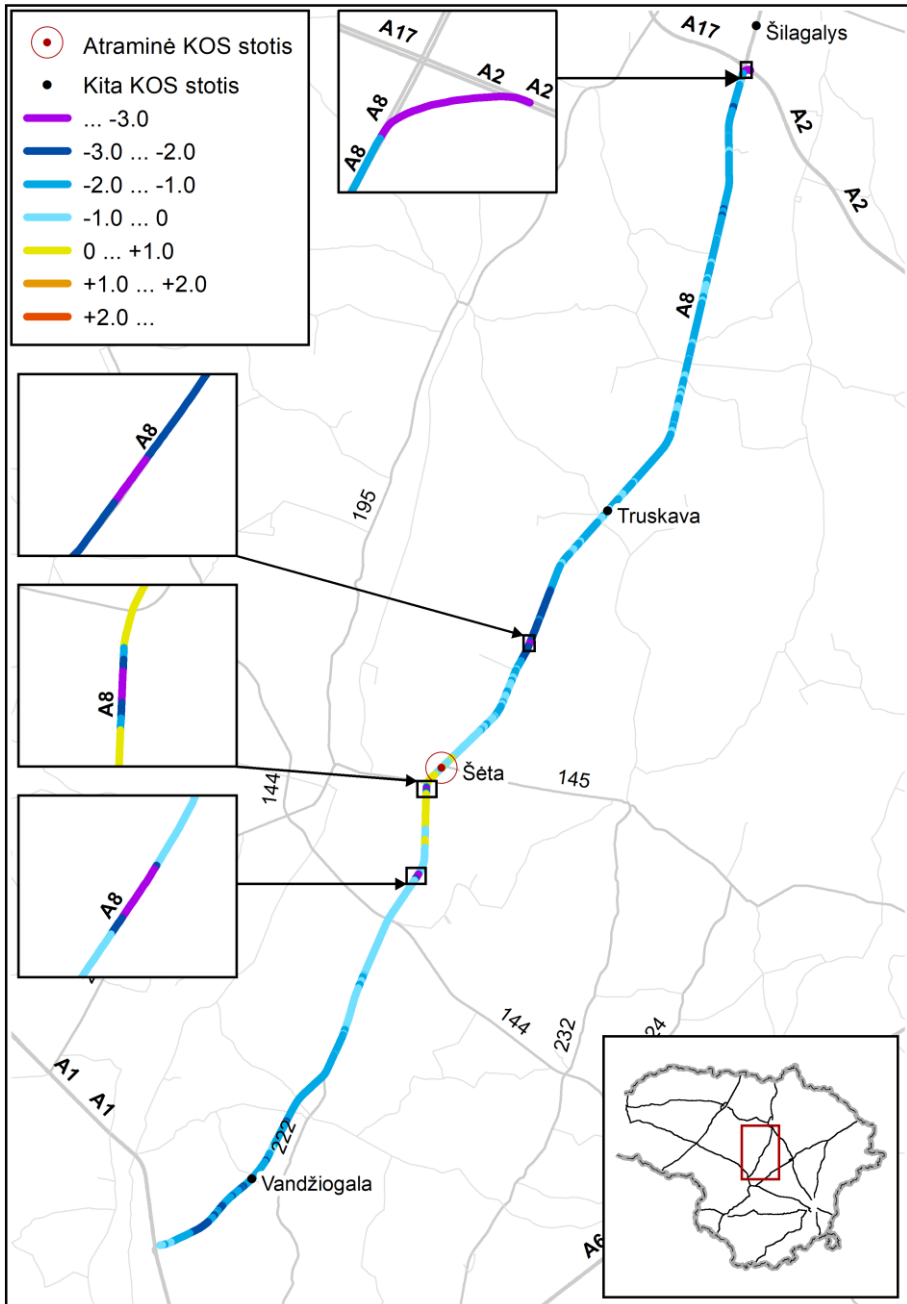
22 priedas. Kelio ruožo Panevėžys–Saločiai kelio dangos temperatūros terminis žemėlapis. II orų tipas: pereinamas. Naudoti 2015 m. TK duomenys.



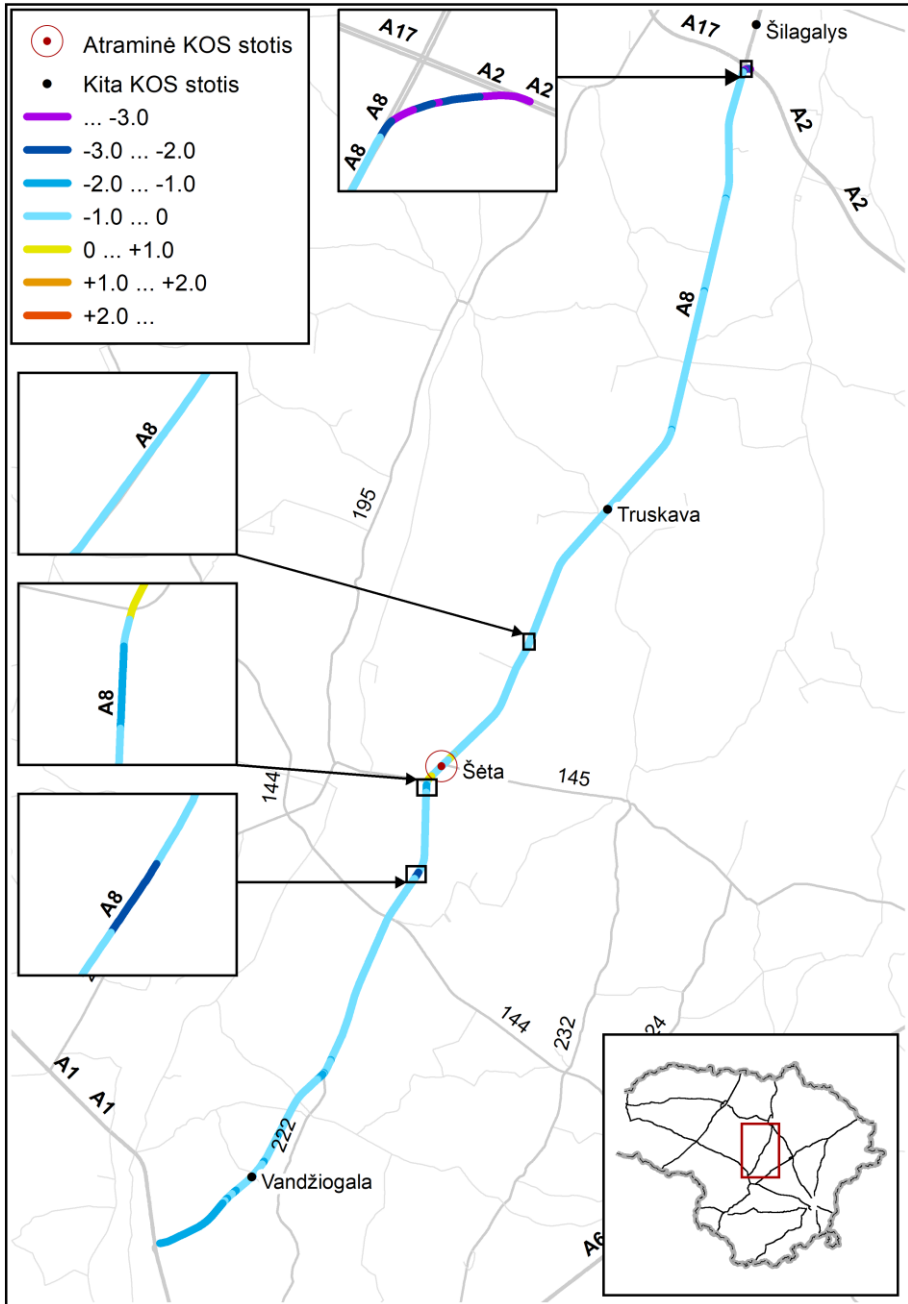
23 priedas. Kelio ruožo Panevėžys–Saločiai kelio dangos temperatūros terminis žemėlapis. III orų tipas: apsiniaukę. Naudoti 2015 m. TK duomenys.



24 priedas. Kelio ruožo Panevėžys–Šitkūnai kelio dangos temperatūros terminis žemėlapis. I orų tipas: giedra. Naudoti 2015 m. TK duomenys.

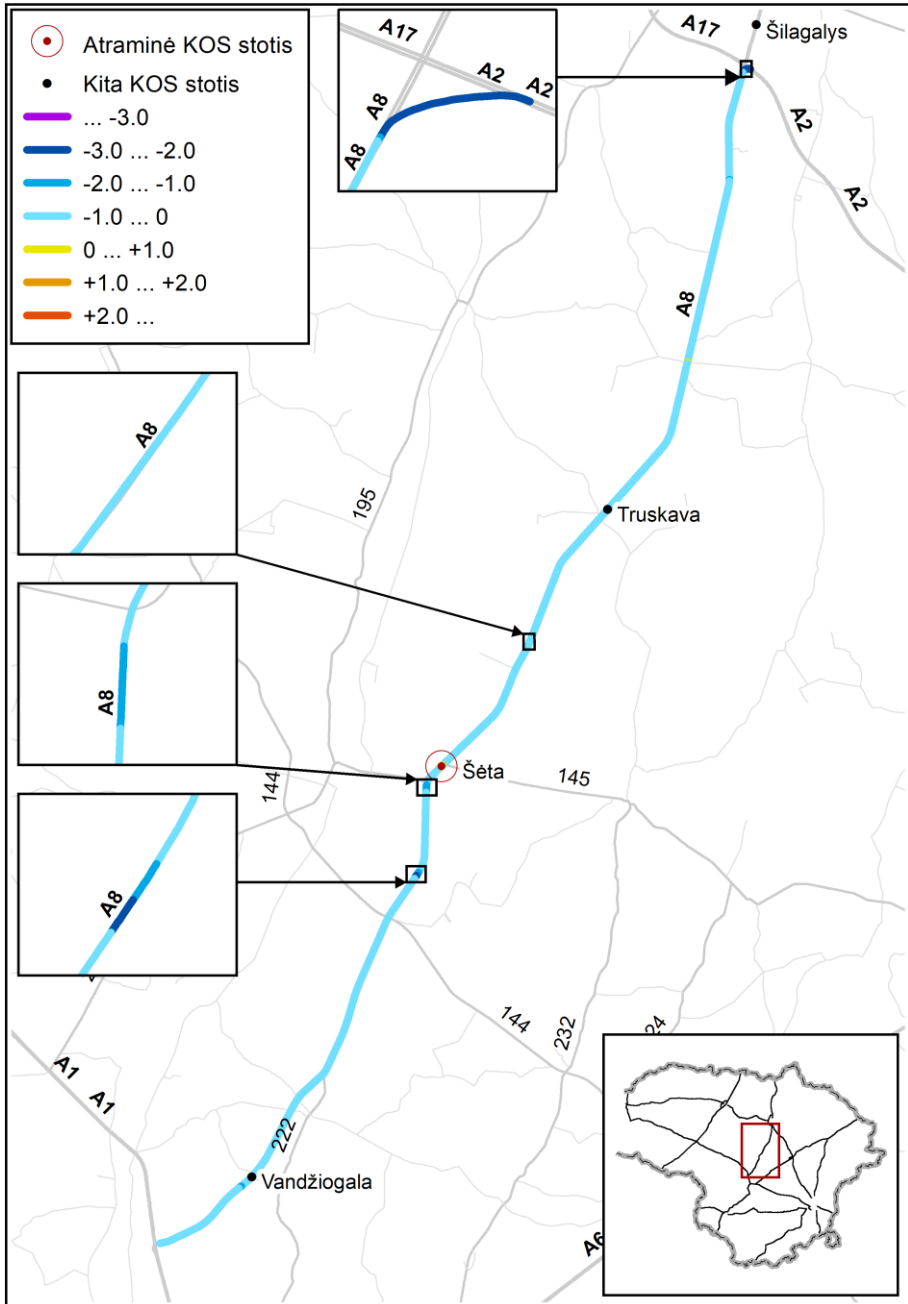


25 priedas. Kelio ruožo Panevėžys–Sitkūnai kelio dangos temperatūros terminis žemėlapis. II orų tipas: pereinamas. Naudoti 2015 m. TK duomenys.

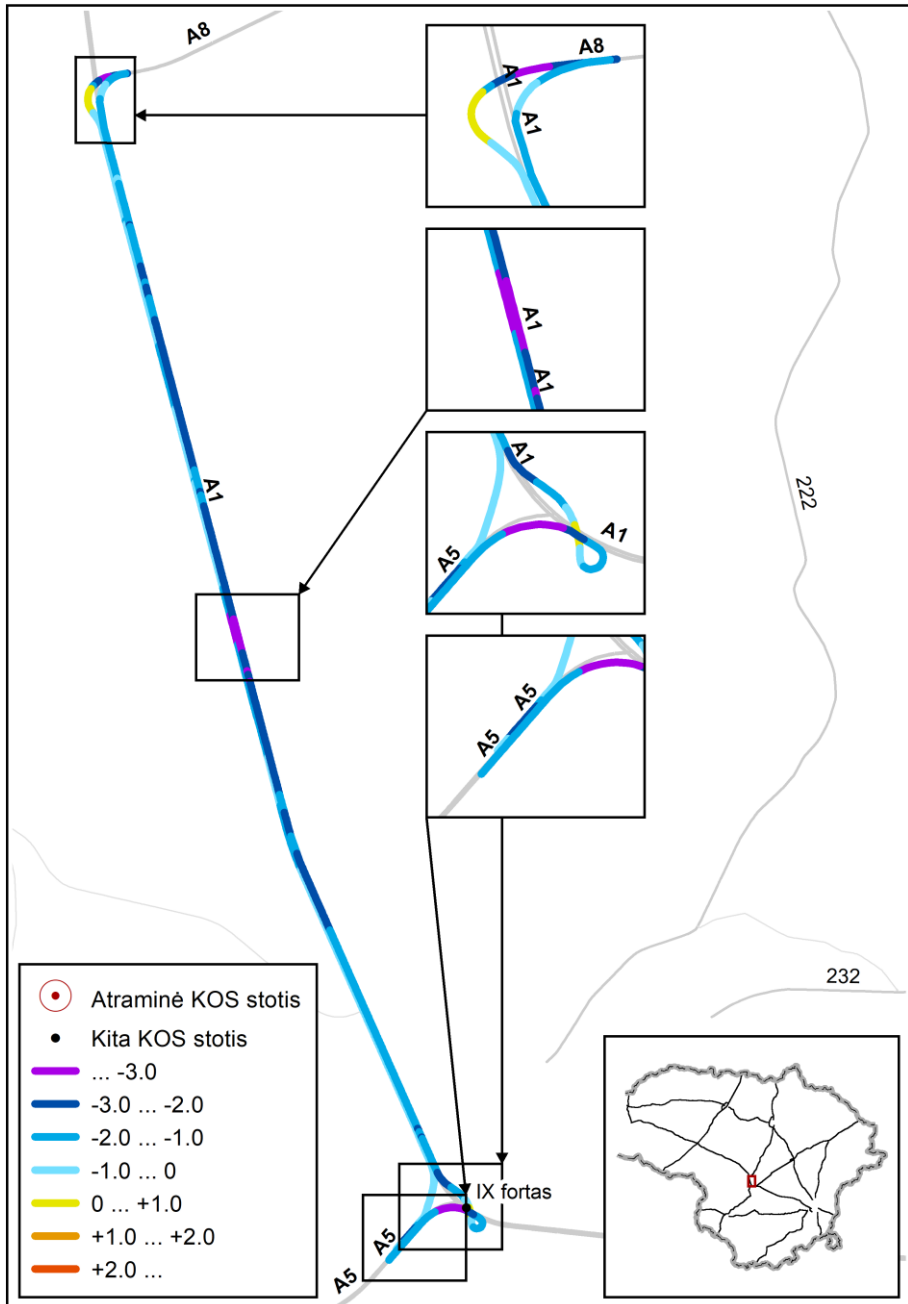




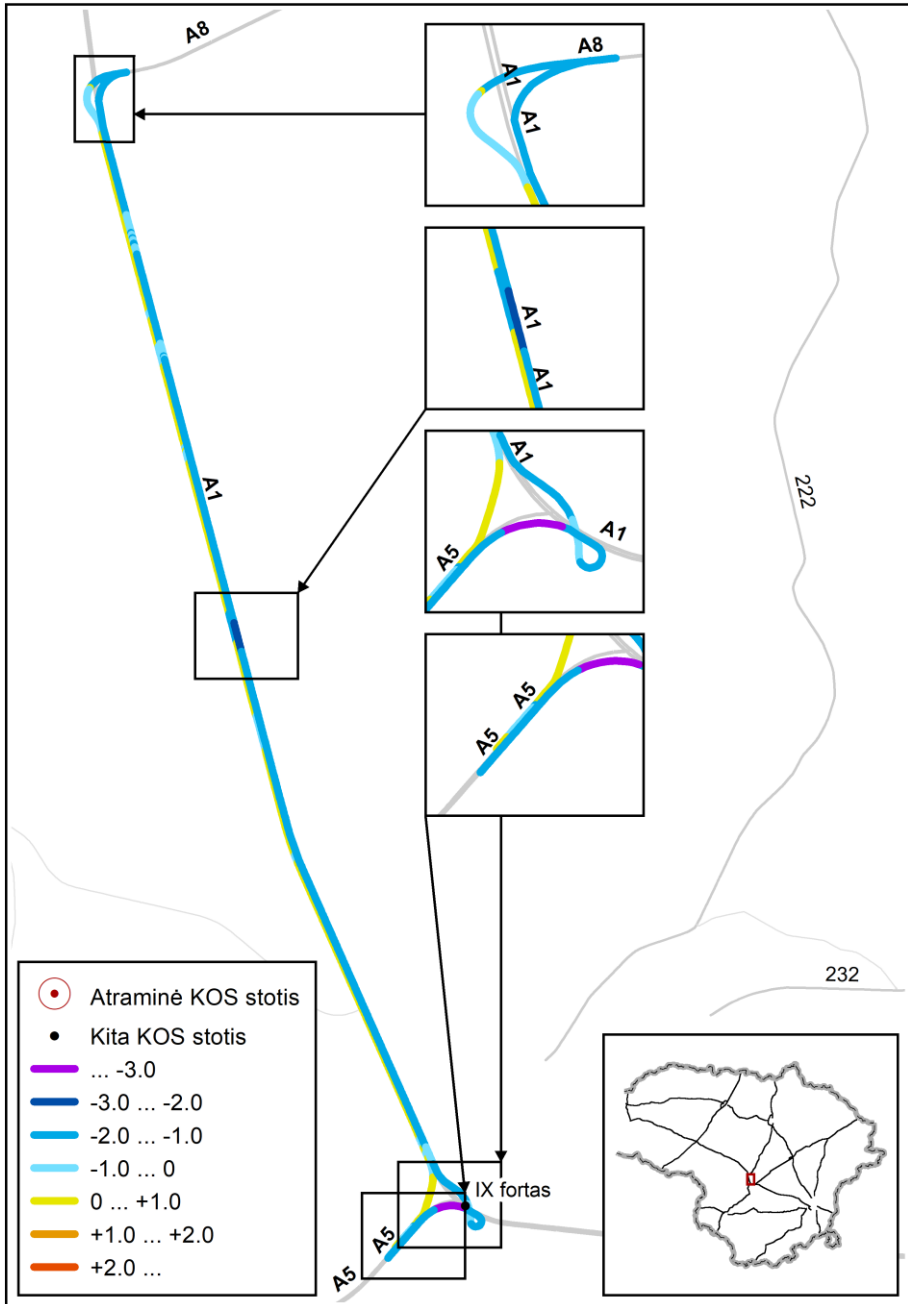
26 priedas. Kelio ruožo Panevėžys–Sūkūnai kelio dangos temperatūros terminis žemėlapis. III orų tipas: apsiniaukę. Naudoti 2015 m. TK duomenys.



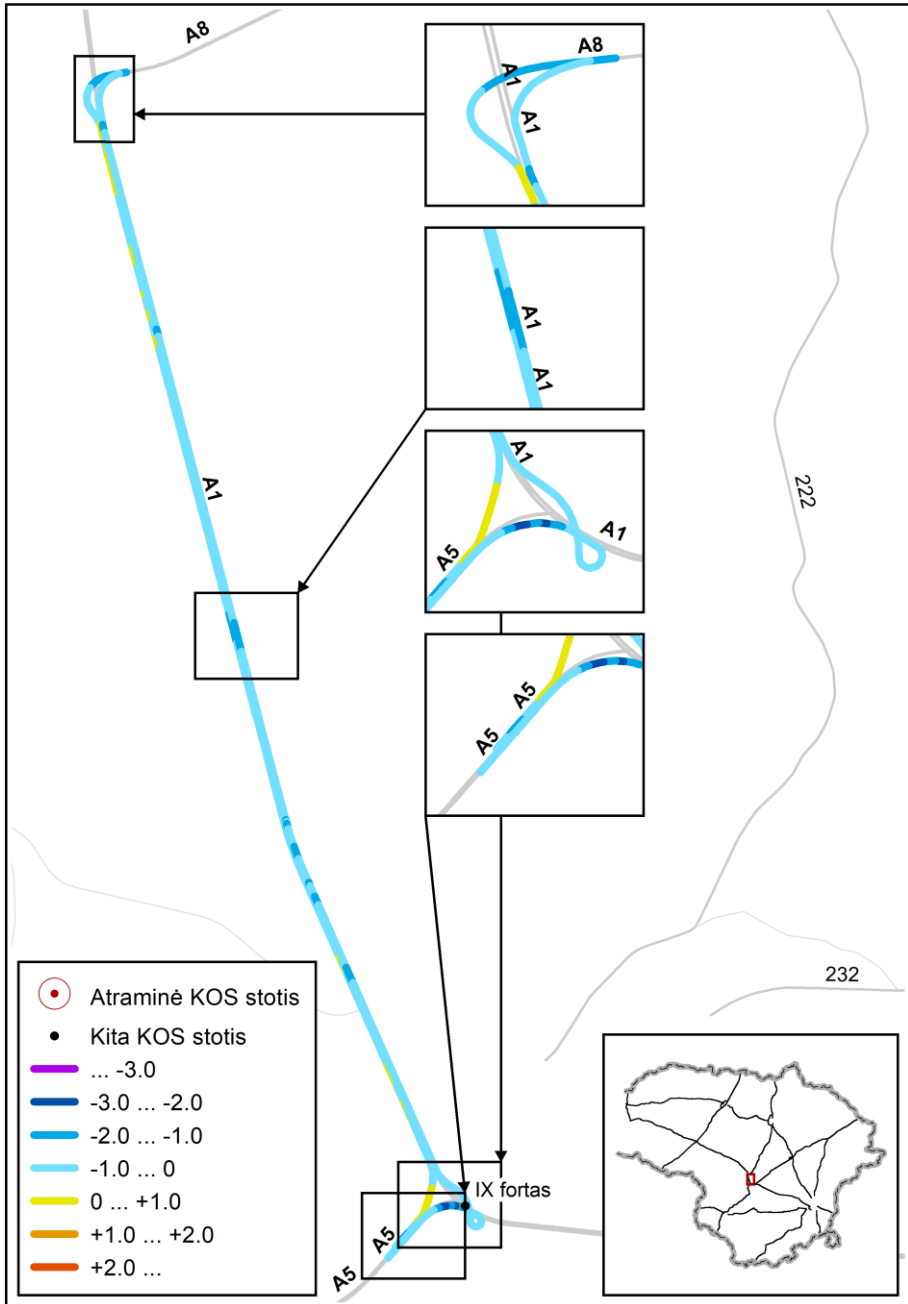
27 priedas. Kelio ruožo Sitkūnai–Mauručiai kelio dangos temperatūros terminis žemėlapis. I orų tipas: giedra. Naudoti 2015 m. TK duomenys.



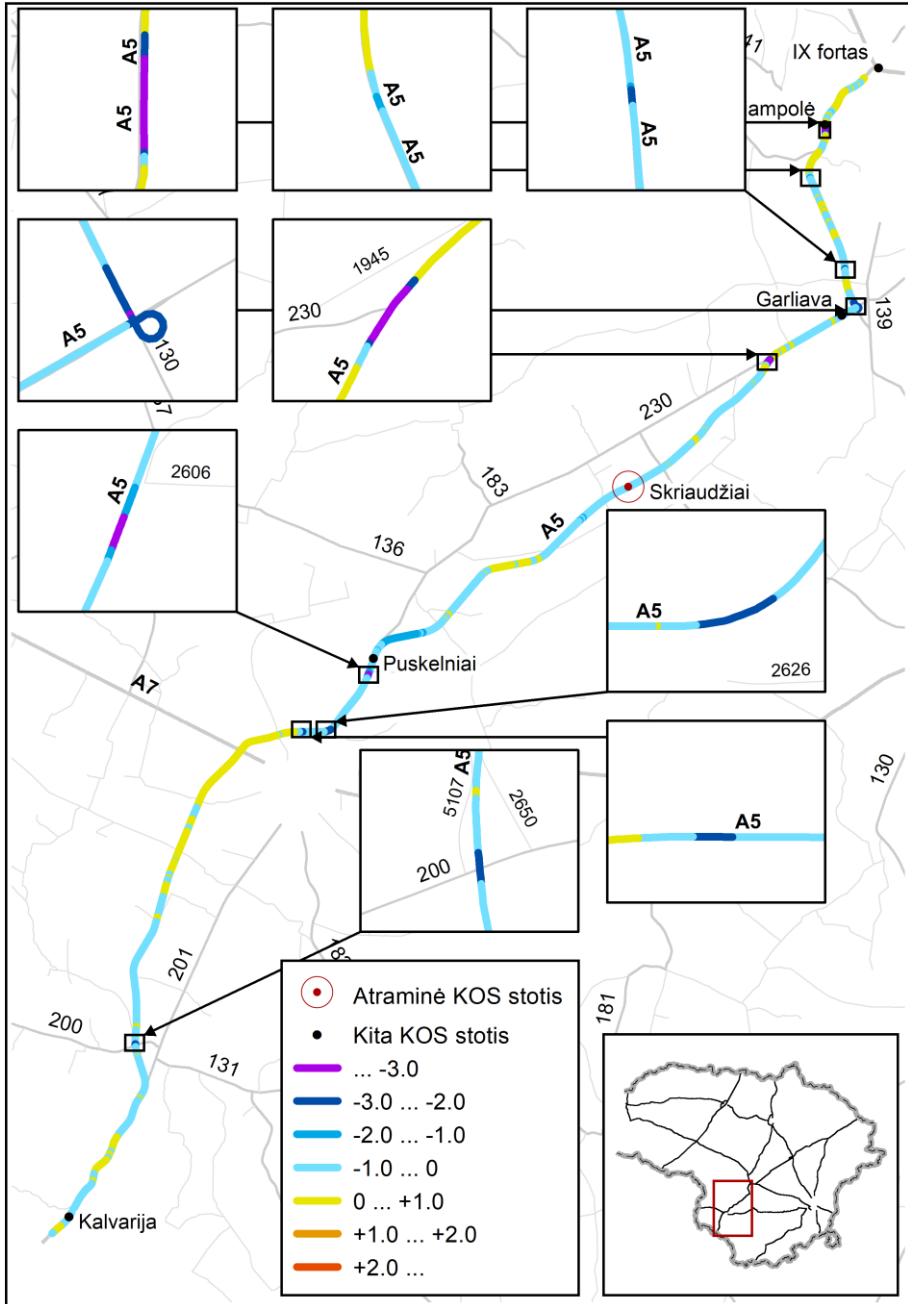
28 priedas. Kelio ruožo Sitkūnai–Mauručiai kelio dangos temperatūros terminis žemėlapis. II orų tipas: pereinamas. Naudoti 2015 m. TK duomenys.



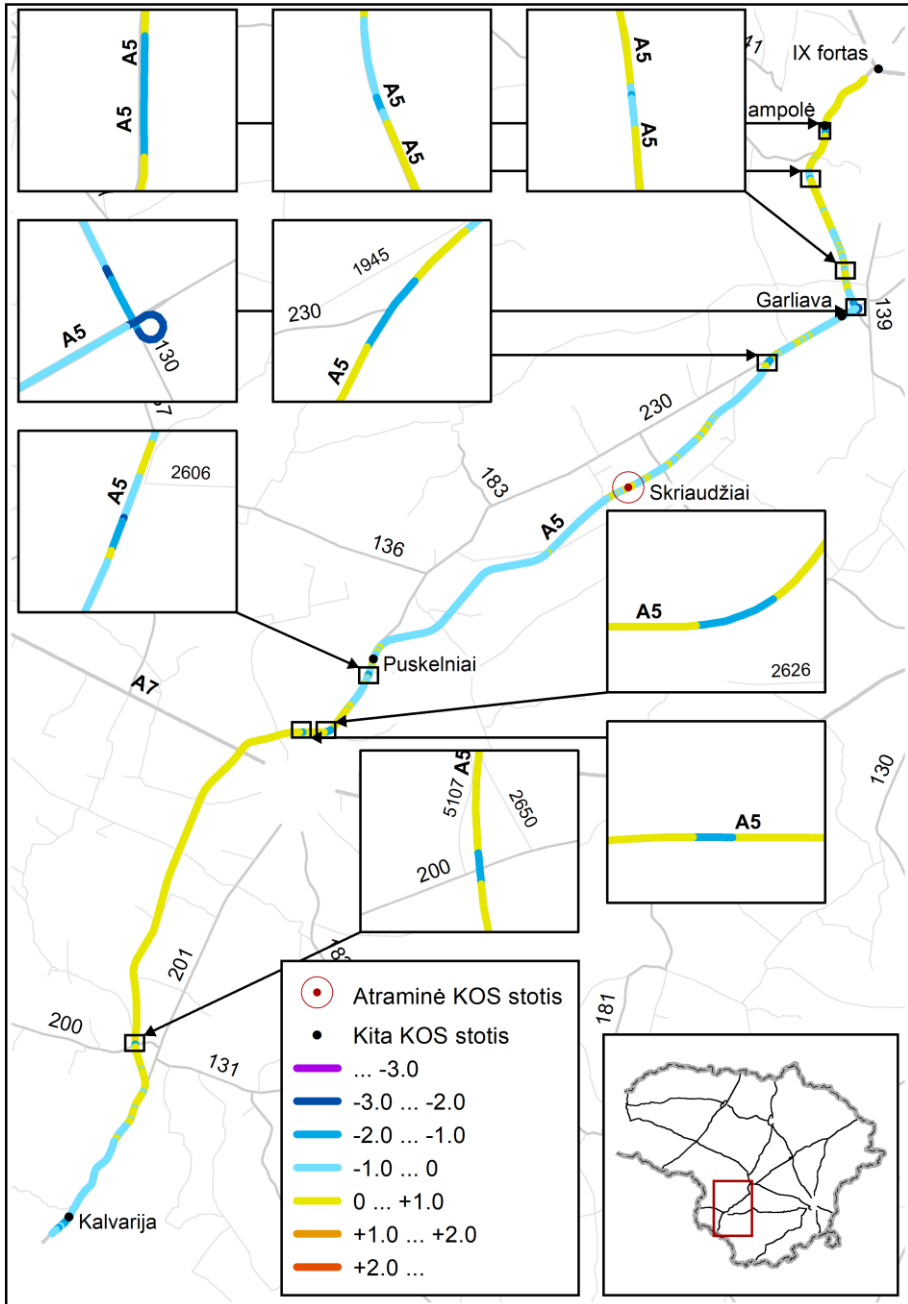
29 priedas. Kelio ruožo Sitkūnai–Mauručiai kelio dangos temperatūros terminis žemėlapis. III orų tipas: apsiniaukę. Naudoti 2015 m. TK duomenys.



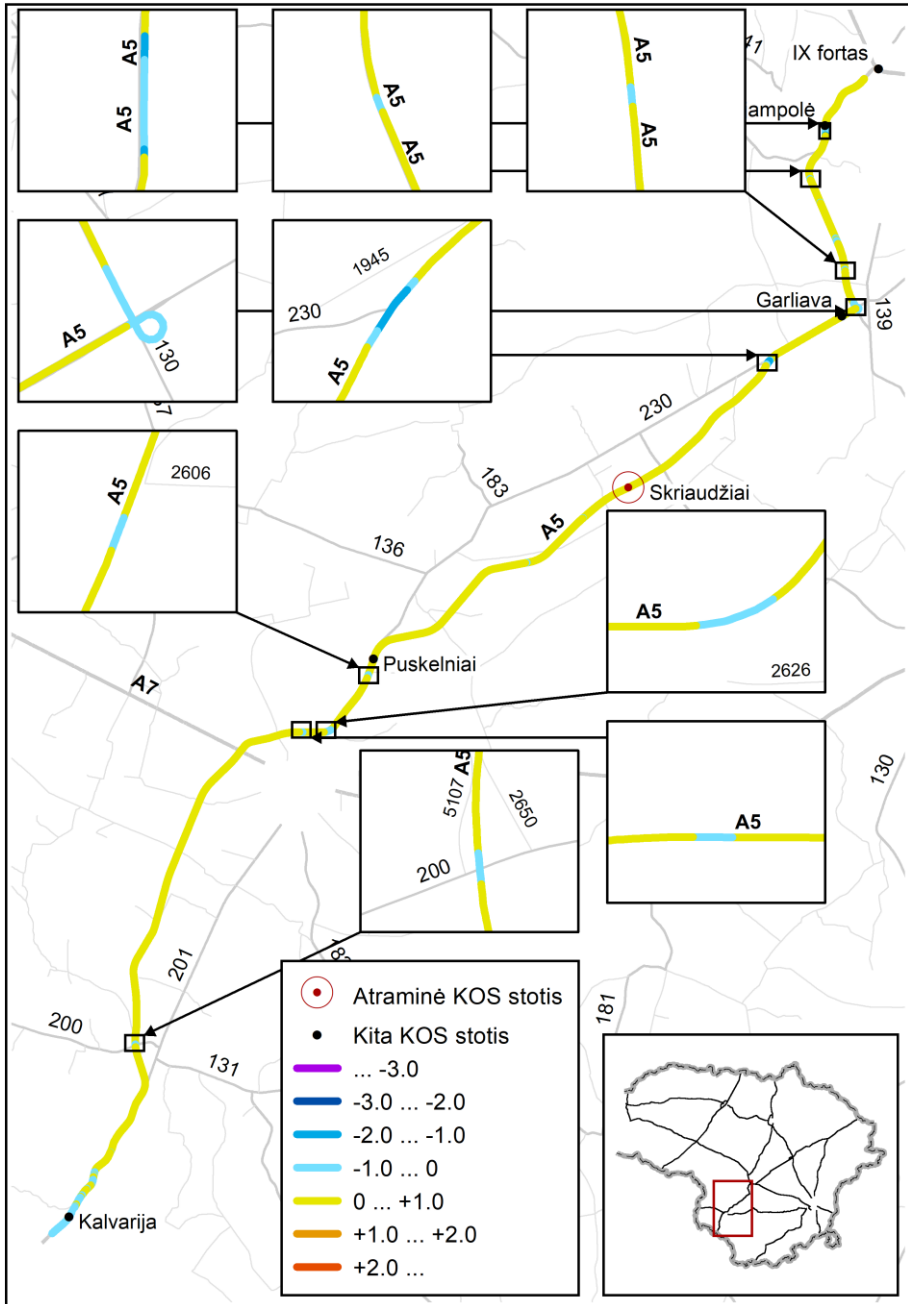
30 priedas. Kelio ruožo Mauručiai–Kalvarija kelio dangos temperatūros terminis žemėlapis. I orų tipas: giedra. Naudoti 2015 m. TK duomenys.



31 priedas. Kelio ruožo Mauručiai–Kalvarija kelio dangos temperatūros terminis žemėlapis. II orų tipas: pereinamas. Naudoti 2015 m. TK duomenys.



32 priedas. Kelio ruožo Mauručiai–Kalvarija kelio dangos temperatūros terminis žemėlapis. III orų tipas: apsiniaukę. Naudoti 2015 m. TK duomenys.



## SANTRAUKA

Klimato kaita ir transportas dažniausiai siejami vertinant poveikį klimatui, o ne atvirkščiai. Tačiau didelę svarbą turi ir prisitaikymo prie klimato kaitos tema, kuri šioje srityje yra mažai vertinta. Taigi, šiame darbe analizuojama klimato kaitos įtaka transporto sistemai, daugiausia dėmesio skiriant kelių priežiūrai ir eismo saugumui žiemą. Ši įtaka įvertinta sudarius specializuotą automobilių kelių būklę galinčius paveikti veiksnius atspindinčių meteorologinių parametrų prognozę XXI a. Remiantis projekcijomis nustatyta, kad vidutiniškai kelių orų ir eismo sąlygos žiemą pagerės – bus mažiau sniego ir pūgų atvejų, vyraus aukštesnė temperatūra. Tačiau gauti rezultatai parodė, kad kelių priežiūra žiemą nepalengvės – bus didesnė tikimybė susidaryti plikledžiui ir užtikrinti gerą kelio būklę bus sudėtingiau.

Pasaulyje naudojamos kelių priežiūros sprendimų priėmimo paramos sistemos (SPPS) – geriausias įrankis trumpalaikiame ir ilgalaikiame kelių priežiūros darbų planavime. Šiame darbe pasiūloma SPPS koncepcija Lietuvai, kuri leistų labiau prisitaikyti prie grėšiančio neigiamo klimato kaitos poveikio. Siūloma taikyti metodus, kurie jau ne kartą naudoti ir analizuoti Lietuvos teritorijoje – terminį kartografavimą (TK) ir skaitmeninį kelio būklės prognozavimą. Būtent šie du SPPS komponentai ir jų tinkamumas Lietuvos keliams yra vertinamas šiame darbe.

Išanalizavus 2015 m. atlikto terminio kartografavimo rezultatus ir įvertinus jų kokybę nustatyta, kad Lietuvoje kelio temperatūros nuokrypiai yra nežymūs ( $\pm 0,5$  °C) ir dažniausiai yra mažesni, nei sudaromų prognozių paklaida. Taigi palyginus šiuos duomenis su kitos šalies TK duomenimis (gauti duomenys, surinkti Čekijoje) prieita prie išvados, kad TK rezultatų tikslumui Lietuvoje ypač didelę reikšmę turi surinktų duomenų kokybė bei metodikos laikymasis. Be to, Lietuvos klimato ir geografinės sąlygos nulemia, kad kelio temperatūra labiau priklauso nuo oro masių advekcijos, o ne nuo lokalių kelio aplinkos parametrų, pavyzdžiui, aukščio virš jūros lygio ir jo kaitos. Nepaisant to, TK metodas išlieka kaip vienas tiksliausių būdų atrasti ir įvertinti tuos kelio ruožus, kuriuose dėl ypatingų mikroklimato sąlygų dažniau gali formuotis ledas arba atvirkščiai – kurie išlieka šiltesni, nei kiti to paties kelio ruožai.

Skaitmeninis kelio būklės prognozavimas buvo atliktas naudojant vienos dimensijos energijos balanso lygtimi paremtą METRo modelį bei atlikta jo verifikacija, naudojant Lietuvos Kelių orų sąlygų informacinės sistemos (KOSIS) duomenis. Nustatyta, kad net ir nepritaikius struktūrinių paties modelio ar jo logikos pakeitimų, gaunami pakankamai tikslūs rezultatai –



naktį ir ankstyvą rytą kelio temperatūros nuokrypis yra nežymus. Šis paros metas yra laikomas „kritiniu“ kelių priežiūroje žiemą, nes būtent tada yra didžiausia tikimybė susiformuoti plikledžiui.

Taigi sujungiant šiuos du metodus, kurie jau buvo sėkmingai pritaikyti Lietuvoje, į vieną SPPS koncepciją ir diegiant šią technologiją Lietuvoje galima ypač palengvinti žiemą kelius prižiūrinčių specialistų darbą. Taip pat kartu tokiu būdu užtikrinti saugesnes orų sąlygas keliuose bei taip galimai sumažinti avarijų kiekį. Nėgana to, tokios SPPS įgyvendinimas būtų žymus žingsnis prisitaikymo prie klimato kaitos kelyje ir sumažintų Lietuvos automobilių transporto sistemos jautrumą klimato kaitos padariniams.

## PUBLIKACIJŲ SĄRAŠAS

Darbo rezultatų pagrindu paskelbtos 2 publikacijos referuojamuose mokslo leidiniuose (ISI WoS) anglų kalba:

1. Šidlauskaitė L., Kažys J. 2019. Changing temperate climate conditions for winter roads in the twenty-first century (Lithuanian example). *Journal of Theoretical and Applied Climatology*. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02938-1>
2. Šidlauskaitė L., Bogren J. 2019. Thermal mapping in flat lowlands and undulating uplands – a comparison of results. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. 14(3): 326-340. <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2019-14.446>

# UŽRAŠAMS

Vilniaus universiteto leidykla  
Saulėtekio al. 9, III rūmai, LT-10222 Vilnius  
El. p.: [info@leidykla.vu.lt](mailto:info@leidykla.vu.lt), [www.leidykla.vu.lt](http://www.leidykla.vu.lt)  
Tiražas 20 egz.