

## Lietuvos klimato pokyčių XXI a. prognozė

**Egidijus Rimkus,**

**Justas Kažys,**

**Justina Junevičiūtė,**

**Edvinas Stonevičius**

*Vilniaus universitetas*

*El. paštas: egidijus.rimkus@gf.vu.lt*

*Justas.Kazys@gf.vu.lt*

*Justina.Juneviciute@gf.vu.lt*

*stonevicius@geo.lt*

Rimkus E., Kažys J., Junevičiūtė J., Stonevičius E. Lietuvos klimato pokyčių XXI a. prognozė. *Geografija*. 2007. T. 43. Nr. 2. ISSN 1392-1096.

Straipsnyje pateikiamos Lietuvos klimato kaitos prognozės, paremtos ketvirtosios Tarp-tautinės klimato kaitos komisijos ataskaitos išvadomis bei klimato modeliavimo rezultatais. Prognozės sudarytos pasaulinio klimato ECHAM5 ir HadCM3 modelių išvesties duomenų pagal A1B, A2 ir B1 šiltnamio dujų emisijų scenarijus pagrindu. Prognozuojama, jog XXI a. Lietuvoje oro temperatūra augs. Didžiausi absoliutūs pokyčiai numatomi žiemą, mažiausi – vasarą. Kritulių kiekis augs žiemą bei pavasarį, tuo tarpu vasarą ir rudenį mažės. To-liau dažnės vyraujančių vakarinių rumbų vėjai, tuo tarpu vėjo greitis keisis labai mažai: žiemą truputį didės, o vasarą mažės. Augs vidutinė metinė saulės spindėjimo trukmė, nors žiemą laukiamos neigiamos pokyčių tendencijos.

**Raktažodžiai:** klimato kaita, klimato prognozės, oro temperatūra, kritulių kiekis, vėjo kryptis ir greitis, saulės spindėjimo trukmė

### ĮVADAS

Vis akivaizdesni globalaus klimato pokyčiai kelia didelį susirūpi-nimą daugelio šalių gyventojams. Besikeičiantis klimatas veikia beveik visas gamtines ir socialines sferas, todėl pastaraisiais metais pasaulinė bendruomenė siekia sujungti visų šalių pastangas kovai su antropogeninėmis klimato kaitos priežastimis ir pasekmėmis.

Labai svarbi veiklos sritis – moksliniai tyrimai, skirti tiks-liam klimato kaitos tendencijų įvertinimui bei ateities poky-čių prognozei. Daugelyje pasaulio šalių vykdomus tyrimus apibendrina 1988 m. Pasaulinės meteorologijos organizacijos bei Jungtinių Tautų įsteigta Tarpvyriausybinių klimato kai-tos komisija – TKKK (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*). 1990, 1995, 2001 ir 2007 metais publikuotos keturios šios komisijos parengtos ataskaitos, taip pat TKKK tinklalapyje ([www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)) pateikiami nuolat atnaujinami kli-mato modeliavimo rezultatų išvesties duomenys yra pagrindas pasaulinėms bei regioninėms klimato prognozėms.

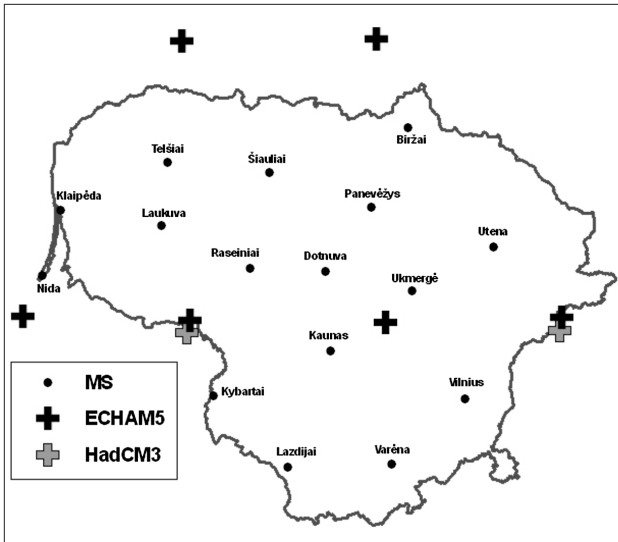
Šiame darbe pateikiamos naujausios Lietuvos klimato kai-tos prognozės, paremtos ketvirtosios TKKK ataskaitos (*Fourth Assessment Report – AR4*) išvadomis bei klimato modelių išvesties duomenimis. Panašaus pobūdžio tyrimai Lietuvoje, daugiausia VU Hidrologijos ir klimatologijos katedros specia-listų pastangomis, buvo atliekami ir anksčiau. Rezultatai pa-teikti keliuose moksliniuose darbuose (Bukantis, Rimkus, 1996; Bukantis ir kt., 2001; Rimkus, Stankūnavičius, 2002; Bukantis,

Rimkus, 2005; Kilkus ir kt., 2006; Rimkus, 2007). Visų jų skaičia-vimai buvo pagrįsti antrosios (1995 m.) ir trečiosios (2001 m.) TKKK ataskaitos išvadomis ir duomenimis. Šis darbas skiriasi ne tik tuo, kad jame pateikiami naujausi modeliavimo rezultatai (paremti labiausiai tikėtiniais šiltnamio dujų emisijų scenarijais), bet ir tuo, jog visų klimato rodiklių atskiriems Lietuvos regio-nams prognozei buvo didinama pasaulinio modelio tinklelio raiška. Taigi išryškėjo ir regioniniai oro temperatūros, kritulių kiekio, vėjo greičio ir krypties bei saulės spindėjimo trukmės po-kyčių skirtumai.

### PANAUDOTI DUOMENYS IR DARBO METODIKA

Klimato rodiklių prognozes XXI a. sudarė 16 Lietuvos meteorolo-gijos stočių (1 pav.). Prognostiniai klimato rodiklių (zoninės ( $u$ ) ir meridianinės ( $v$ ) pernašos intensyvumas, oro temperatūra, atmosferos slėgis, kritulių kiekis) dydžiai pasaulinio tinklelio taš-kams paimti iš Pasaulinio klimato duomenų centro Hamburge CERA duomenų bazės (<http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Index.jsp>). Pradinę prognostinę informaciją sudarė vidutiniai mėnesio klimato rodiklių dydžiai nuo 2001 iki 2100 metų.

Ateities klimato pokyčiai daugiausia siejami su šiltnamio efekta sukeliančių dujų koncentracija. 2000 m. TKKK paskelbė specialią ataskaitą apie galimus šiltnamio efektą sukeliančių ir kitų klimatosferos raidai svarbių dujų emisijos scenarijus (Na-kicenovic, Swart, 2000), kurie paremti socialinės ir ekonominės



1 pav. Lietuvos meteorologijos stotys ir joms artimiausi pasaulinio klimato ECHAM5 ir HadCM3 modelių tinklėlio taškai, kurių duomenys buvo panaudoti tyrime  
Fig. 1. Scheme of the nearest grid points of Global Climate Models ECHAM5 and HadCM3 to Lithuanian meteorological stations used in investigation

žmonijos raidos prognozėmis. Šiame tyrime panaudoti modeliavimo pagal tris emisijos scenarijus (A1B, A2 ir B1) išvesties duomenys.

Pagal A1B scenarijų numatomas labai greitas ekonomikos augimas, gyventojų skaičiaus didėjimas iki XXI a. vidurio, o vėliau mažėjimas, greitas modernių technologijų diegimas bei subalansuotas kuro naudojimas.

Pagal A2 scenarijų prognozuojamas vis dar labai heterogeniškas pasaulis su nuolat didėjančiu gyventojų skaičiumi. Numatomas lėtas ekonomikos augimas, naujos technologijos bus diegiamos tik kai kuriuose, labiau išsivysčiusiuose regionuose.

Pagal B1 scenarijų tikėtina staigi globalizacija, gyventojų skaičiaus kaita panaši kaip A1B scenarijuje, visuomenė mažiau vartojiška, prognozuojamas ypač greitas ekonominės sistemos virtimas informacine bei intensyvus naujų švarių technologijų diegimas.

Didžiausia šiltnamio dujų koncentracija ore prognozuojama tuo atveju, jei žmonija vystysis pagal A2 emisijų scenarijų. B1 scenarijaus išsipildymas lemtų gana nedidelius pokyčius klimatosferoje, A1B yra tarpinis variantas (šiek tiek artimesnis A2 scenarijui). Būtent šiais trimis emisijų scenarijais ir buvo grindžiama ketvirtoji TKKK ataskaita. Nors ataskaitos rengėjai visus scenarijus laiko vienodai tikėtiniais, tačiau didžioji dalis pateikiamų prognostinių dydžių yra apskaičiuoti remiantis A1B emisijų pokyčiais (Solomon et al, 2007).

Šių scenarijų duomenys – tai bendrosios cirkuliacijos modelių (GCM – *General Circulation Model*) įvesties duomenys, kuriais remdamiesi pasauliniai klimato tyrimų centrai modeliuoja ateities klimato pokyčius. GCM imituoja fizinius procesus atmosferoje, vandenyne, kriosferoje ir žemės paviršiuje ir yra pati moderniausia priemonė vertinant šiltnamio dujų koncentracijos augimo poveikį pasauliniam klimatui. Pastaruoju metu tokio tipo modeliai dažnai vadinami ir pasaulinio klimato modeliais.

Tarptautinės klimato kaitos komisijos duomenų bazėje pateikti septyniolikos modelių išvesties rezultatai. Nors modelio

tikslumas ir priklauso nuo horizontalaus bei vertikalios tinklėlio gardelės dydžio, tačiau didžiausią reikšmę turi pradinės informacijos bei parametrizavimo algoritmų tikslumas. Atskirų Europos regionų klimato prognozėms šiuo metu dažniausiai naudojami HadCM3 (sukurtas Hadley klimato tyrimų ir prognozių centre Jungtinėje Karalystėje) bei ECHAM5 (sukurtas Makso Planko Meteorologijos institute bei Vokietijos klimato skaičiavimo centre) pasaulinio klimato modeliai. Šių modelių išvesties rezultatai ir buvo panaudoti Lietuvos klimato prognozėms (1 pav.).

HadCM3 modelio horizontalus pagrindas –  $2,5 \times 3,75^\circ$  gardelės dydžio tinklėlis virš sausumos ir  $1,25 \times 1,25^\circ$  virš vandens. Vertikalia kryptimi išskiriama 19 sluoksnių atmosferoje ir 20 sluoksnių vandenyne (Gordon et al., 2000).

ECHAM5 modelio horizontalus pagrindas –  $1,865 \times 1,875^\circ$  gardelės dydžio tinklėlis. Vertikalia kryptimi išskiriama 19 sluoksnių atmosferoje ir 23 sluoksniai vandenyne (Roegner et al., 2004).

Klimato modelių tinklėlio gardelės dydis yra per didelis, kad prognozėse atsispindėtų numatomi regioniniai Lietuvos klimato pokyčių ypatumai. Norint pereiti iš globalios į lokalią skalę buvo statistiškai didinama modelio tinklėlio raiška. Yra keletas statistinio tinklėlio raiškos didinimo metodų: linijinė ir daugialypė regresija, diskriminantinė analizė bei logistinė regresija, neuroniniai tinklai ir kt. Šiame darbe buvo naudotas linijinės ir daugialypės regresijos metodas.

Modelio tinklėlio raiška buvo didinama pagal šią schemą:

1. Sukuriami tiesinės arba daugialypės regresijos algoritmai, nusakantys ryšius tarp kintamųjų reikšmių centriniuose globalaus tinklėlio taškuose bei analizuojamose Lietuvos meteorologijos stotyse. Sezoniniai (keturiems metų laikams) algoritmai buvo sudaromi naudojant bazinį 1971–2000 m. laikotarpį. Prognostinių klimato modelių centrinius tinklėlio taškus reprezentuojanti informacija (mėnesio vidurkiai) buvo paimta iš pasaulinio klimato duomenų bazės NCEP / NCAR, sukurtos JAV Nacionaliniame aplinkos prognozių (*National Centers for Environmental Prediction*) bei Nacionaliniame atmosferos tyrimų (*The National Center for Atmospheric Research*) centruose (Kalnay et al, 1996).

Kadangi tiesinės koreliacijos ryšys tarp oro temperatūros, išmatuotos meteorologijos stotyse bei pateiktos pasaulinio klimato duomenų bazėje (artimiausiuose stočiai naudojamame tinklėlio taškuose), visada (visose stotyse ir visais metų laikais) viršijo 0,95, buvo laikoma, jog tiesinės regresijos pakanka tiksliai kintamojo prognozei. Tuo tarpu kritulių, vėjo greičio bei saulės spindėjimo trukmės prognozei buvo sudaromi daugialypės regresijos algoritmai.

Panaudojus statistiniams skaičiavimams skirtą programą STATISTICA, buvo nustatyti daugialypės regresijos modelio koeficientai:

$$y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k$$

Šiame tyrime  $k = 5$ , kadangi į modelį buvo įtraukti penki kintamieji (zoninė bei meridianinė vėjo pernaša  $u$  ir  $v$ , oro temperatūra, atmosferos slėgis ir krituliai).

Naudojant daugialypę regresiją dažnai susiduriama su multikolinearumo problema, nes prediktoriai koreliuoja tarpusavyje (Čekanavičius, Murauskas, 2002). Taigi regresijos funkcijos koeficientai tampa labai nestabilūs (gali keistis netgi jų ženklas). Dažniausiai siekiant išvengti multikolinearumo kintamieji yra eliminuojami: tuo atveju, jei pašalinus kintamąjį koreliacijos

koefficiento reikšmė mažėja labai nedaug, galima šio kintamojo į regresijos lygtį neįtraukti. Šiame darbe po pradinio kintamųjų eliminavimo likdavo nuo 2 iki 4 kintamųjų, kurie ir buvo naudojami prognozėms sudaryti.

2. Remiantis sudarytais ryšiais buvo apskaičiuotos prognostinės oro temperatūros, kritulių kiekio, vėjo greičio ir saulės spindėjimo trukmės reikšmės visiems 2001–2100 m. mėnesiams 16-oje Lietuvos meteorologijos stočių. Prognozės sudarytos ECHAM5 ir HadCM3 pasaulinio klimato modelių išvesties duomenų pagal A1B, A2 ir B1 šiltnamio dujų emisijų scenarijus pagrindu.

Kadangi absoliutūs dydžiai (1971–2000 m.), pateikiami NCEP / NCAR duomenų bazėje, ne visada sutampa su prognostinės sekos pradžia ECHAM5 ir HadCM3 duomenų eilutėse, pirmasis tiesinio trendo narys prognostinėse sekose buvo prilygintas vidutinei išmatuotai reikšmei 1971–2000 metais. Minėtas nesutapimas atsiranda dėl to, jog pradinis dėmuo (mūsų atveju – klimato rodiklių vidutiniai mėnesių dydžiai 2001 m.) prognostinėse sekose yra modeliuojamas ankstesnio bazinio periodo pagrindu nesusiejant jo su realia informacija apie klimatą paskutiniaisiais XX a. dešimtmečiais.

Dar viena problema, kuri iškyla prognozuojant klimatinis rodiklius, yra susijusi su ypač dideliais pokyčiais, numatomais kai kurių klimato scenarijų. Prognozuojami vidutiniai dydžiai

nepatenka į dabartinį prediktorius svyravimo diapazoną, todėl tenka ekstrapoliuoti ryšio grafiką. Šiuo atveju galimi netikslumai dėl realaus ryšio pobūdžio pasikeitimų prognostinių reikšmių srityje. Dideli prognostiniai prediktorių pokyčiai nulėmė ir tai, jog retais atvejais prognozuotos neigiamos analizuojamų rodiklių reikšmės, kai tuo tarpu pastarieji turi aiškią apatinę ribą – 0 (mėnesio kritulių ar saulės spindėjimo trukmės sumos). Tokiais atvejais prognozuojamas dydis buvo ištaisomas, t. y. prilyginamas nuliui.

Sudarius klimato elementų kaitos prognozes, atlikta statistinė numatomų pokyčių laike ir erdvėje analizė. Gautiems rezultatams iliustruoti pasirinktas HadCM3 A1B klimato scenarijus, kurio prognozuojami dydžiai užima tarpinę padėtį tarp optimistinio HadCM3 B1 ir pesimistinio ECHAM5 A2 scenarijų.

## ORO TEMPERATŪRA

Prognozuojama, kad XXI a. oro temperatūra Lietuvos teritorijoje labai stipriai išaugs. Ypač dideli pokyčiai numatomi žiemą. Vidutinė šio sezono temperatūra priklausomai nuo modelio ir emisijų scenarijaus, turėtų padidėti 4–8 °C (lentelė). Pagal A1B emisijų scenarijų, daugiausia padidės sausio temperatūra, o pagal A2 ir B1 scenarijus, ypač sušils vasaris. Išryškėja ir kai kurie

Lentelė. Prognozuojamas vidutinis sezoninis klimato rodiklių trendas per metus Lietuvoje (16 stočių vidurkis) XXI a. remiantis ECHAM5 ir HadCM3 modelių išvesties rezultatais, grindžiamais A1B, A2, B1 šiltnamio dujų emisijų scenarijais

Table. Forecasted seasonal trends of meteorological parameters according to ECHAM5 and HadCM3 Global Climate Circulation models output data based on A1B, A2, B1 greenhouse emission scenarios in the 21<sup>st</sup> century in Lithuania (data from 16 meteorological stations)

	1971–2000 vidurkis 1971–2000 average	ECHAM5			HadCM3			
		A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	
Oro temperatūra (°C/metuis) Air temperature (°C/per year)	žiema winter	-2,9	0,068	0,079	0,048	0,067	0,079	0,047
	pavasaris spring	6,1	0,039	0,042	0,022	0,038	0,040	0,021
	vasara summer	16,3	0,033	0,031	0,017	0,033	0,031	0,017
	ruduo autumn	6,8	0,040	0,037	0,028	0,039	0,036	0,027
	<b>metai annual</b>	<b>6,6</b>	<b>0,045</b>	<b>0,047</b>	<b>0,029</b>	<b>0,044</b>	<b>0,047</b>	<b>0,028</b>
	Kritulių kiekis (mm) / Precipitation (mm)	134	0,1232	0,5967	0,0526	0,1541	0,6048	0,0607
Vėjo greitis (m/s/ metuis) Wind speed (m/s/per year)	žiema winter	4,1	0,0013	0,0027	0,0002	0,0017	0,0036	0,0006
	pavasaris spring	3,5	-0,0004	0,0003	0,0004	-0,0003	0,0005	0,0005
	vasara summer	2,9	-0,0021	-0,0016	-0,0008	-0,0020	-0,0013	-0,0006
	ruduo autumn	3,7	-0,0005	0,0011	-0,0004	-0,0006	0,0015	-0,0002
	<b>metai annual</b>	<b>3,6</b>	<b>-0,0004</b>	<b>0,0006</b>	<b>-0,0001</b>	<b>-0,0003</b>	<b>0,0011</b>	<b>0,0001</b>
	Saulės spindėjimo trukmė (val/metuis) Sunshine duration (hours/ per year)	žiema winter	129	-0,3724	-0,7246	-0,2695	-0,2522	-0,5519
pavasaris spring		572	1,2551	1,2447	0,3108	1,1347	1,0150	0,1430
vasara summer		777	1,4152	1,0983	0,6418	1,4489	1,0352	0,6036
ruduo autumn		304	1,4115	1,2510	0,9871	1,4036	1,1215	0,8571
<b>metai annual</b>		<b>1783</b>	<b>3,7094</b>	<b>2,8695</b>	<b>1,6702</b>	<b>3,7350</b>	<b>2,6198</b>	<b>1,4572</b>

regioniniai pokyčių skirtumai. ECHAM5 klimato modelis numato didžiausius pokyčius Pajūryje, pietiniuose Žemaičių aukštumos šlaituose bei šalies pietvakariuose, o mažiausius – Šiaurės Žemaitijoje bei Rytų Lietuvoje. Regioniniai pokyčių skirtumai sieks 1,5–2,5 °C. Tuo tarpu HadCM3 klimato modelis prognozuoja vienodesnius pokyčius Lietuvoje (skirtumai 0,5–1,0 °C). Labiausiai temperatūra turėtų išaugti Vidurio Lietuvoje, mažiausiai – rytinėje Lietuvos dalyje bei šiauriniuose Žemaičių aukštumos šlaituose. Išliks artimas dabartiniam meridianinis oro temperatūros lauko pobūdis (2 pav., *a*) su ryškiai pakitusiomis absoliučiomis temperatūros reikšmėmis. Visoje Lietuvos teritorijoje pagal HadCM3 A1B klimato scenarijų vidutinė oro temperatūra bus teigiama.

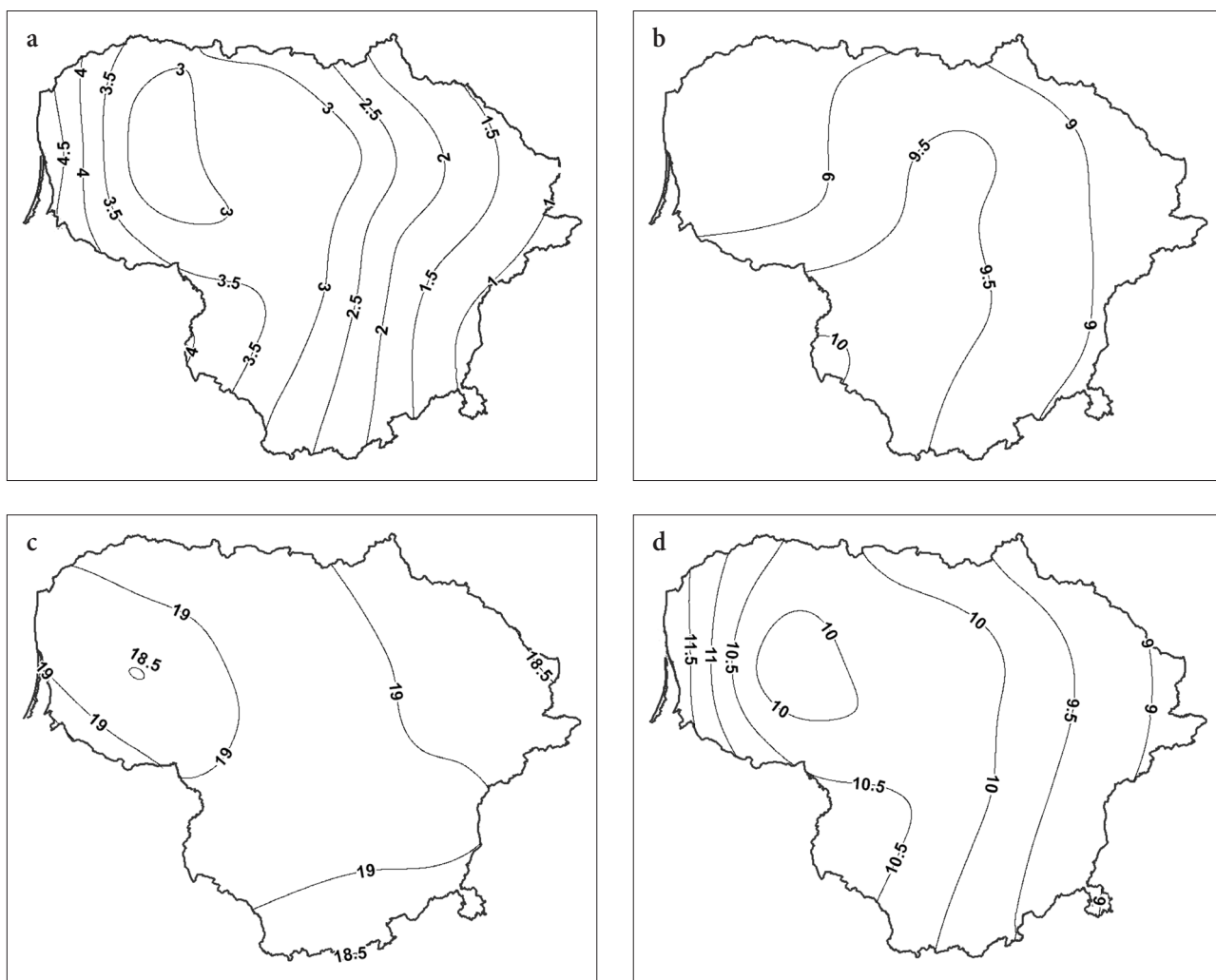
Vidutinės žiemos oro temperatūros kaita XXI a. Vilniuje ir Klaipėdoje pateikiama 3 a ir b paveiksluose. Modalinis intervalas ryškiai pasislinks aukštesnių temperatūrų link. XXI a. pabaigoje vyraus teigiamos 2–6 °C oro temperatūros. Klaipėdoje net 87% atvejų vidutinė žiemos mėnesių temperatūra viršys 0 °C.

Numatomi pokyčiai žiemą Lietuvoje bus didesni nei prognozuojami pasikeitimai Vidurio bei Vakarų Europoje, tačiau

mažesni nei Skandinavijoje ir Šiaurės Rytų Europoje (Solomon et al, 2007).

Pavasario temperatūra Lietuvoje keisis ne taip stipriai – 2–4 °C per šimtą metų. Labiausiai sušils kovas, tuo tarpu gegužės temperatūra pasikeis nedaug. ECHAM5 klimato modelis numato didžiausius pokyčius Pajūryje bei Šiaurės Žemaitijoje, o mažiausius – Rytų Lietuvoje (regioniniai pokyčių skirtumai sieks 1–2 °C). HadCM3 klimato modelis vėlgi didžiausius pokyčius prognozuoja Vidurio Lietuvai, kai tuo tarpu Pajūris sušils tiek mažiau (regioniniai pokyčių skirtumai vos siekia 0,5 °C). Būtent Vidurio Lietuvoje ir bus fiksuojamos aukščiausios sezono temperatūros, nors teritoriniai skirtumai pagal HadCM3 A1B klimato scenarijų bus labai maži (2 pav., *b*).

Vasaros oro temperatūra pakils dar mažiau (1,5–3,5 °C), tačiau vertinant pokyčius vidutinės sklaidos požiūriu pasikeitimai vasarą nenusileidžia žiemai ir daugeliu atvejų dvigubai viršija vidutinį kvadratinį nuokrypį. Pagal A1B emisijų scenarijų, labiausiai sušils liepa, o pagal A2 ir B1 scenarijus – rugpjūtis. Teritoriniai pokyčių skirtumai bus labai menki – apie 0,5 °C. ECHAM5 klimato modelis didžiausius pasikeitimus numato Vilniui (mažiausius – Biržams), o HadCM3 – Nidai



2 pav. Vidutinė oro temperatūra (°C) Lietuvoje 2071–2100 m. pagal HadCM3 modelio A1B emisijų scenarijų: *a* – žiemą, *b* – pavasarį, *c* – vasarą, *d* – rudenį  
Fig. 2. Mean air temperature (°C) in Lithuania according to HadCM3 A1B climate change scenario: *a* – winter; *b* – spring; *c* – summer; *d* – autumn

(mažiausius – Varėnai). Pagal HadCM3 A1B klimato scenarijų, vidutinės oro temperatūros erdvinė sklaida bus labai nedidelė. Vidutinė vasaros sezono temperatūra Vidurio Lietuvoje kiek viršys 19 °C, tuo tarpu Laukuvoje ji pakils tik iki 18,5 °C (2 pav., c). Šilčiausia bus Nidoje – 19,9 °C.

XXI a. pabaigoje ir Vilniuje, ir Klaipėdoje vidutinė vasaros mėnesių temperatūra pateks į intervalą nuo 18 iki 20 °C (3 pav., c, d). Nenumatoma, kad vidutinė mėnesio reikšmė nukristų žemiau 14 °C, nors galimi pavieniai atvejai, kai šis dydis viršys 24 °C.

Vasaros pokyčiai Lietuvoje bus artimi pasikeitimams visame Baltijos jūros regione, kai tuo tarpu Viduržemio jūros pakrantėje temperatūra kils daug ryškiau – net iki 5 °C.

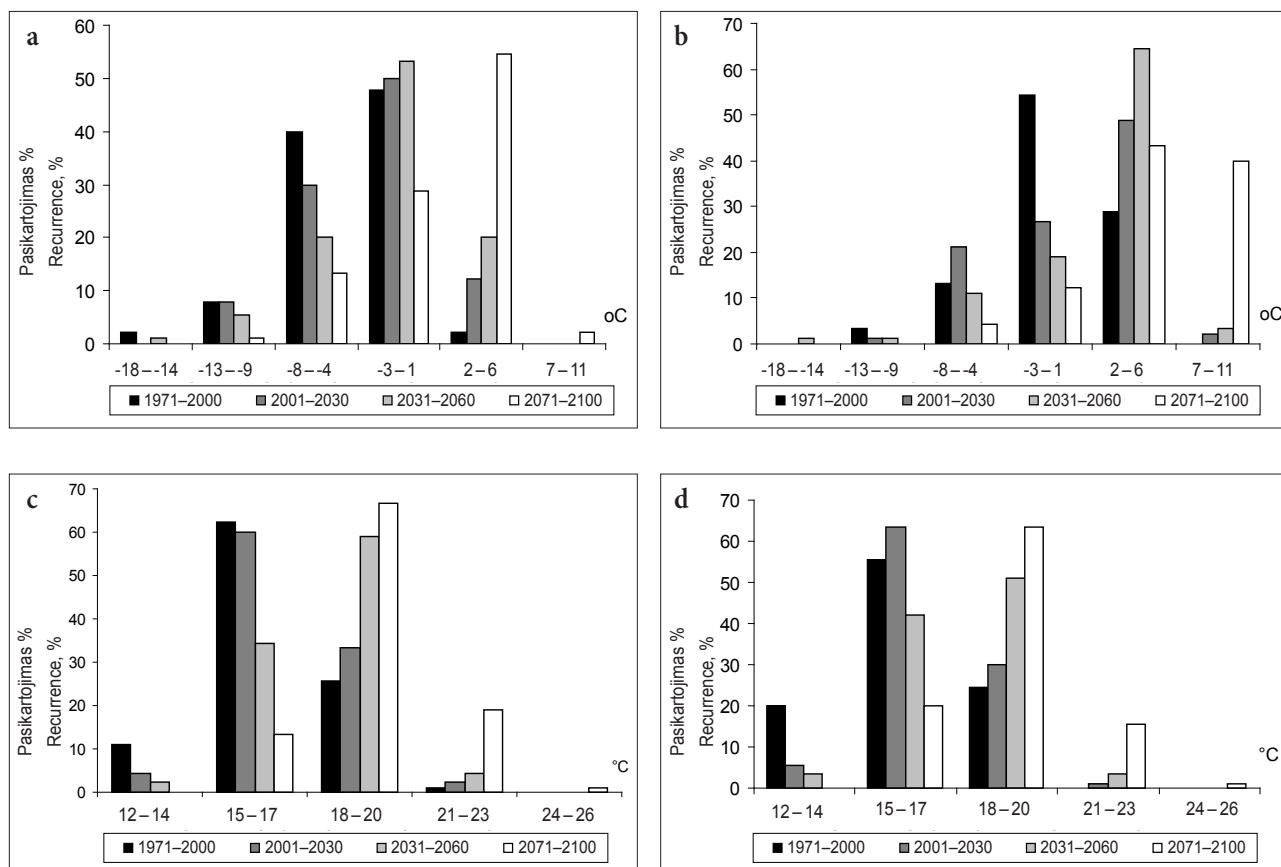
Rudens temperatūros pokyčiai bus labai artimi pavasario – 2,5–4 °C per šimtą metų. Pagal A1B ir A2 emisijų scenarijus daugiausia išaugs spalio mėnesio temperatūra, o pagal B1 scenarijų – rugsėjo. Pagal ECHAM5 modelio išvesties duomenis, labiausiai rudens oro temperatūra padidės Pajūryje, o HadCM3 modelis didžiausius pokyčius numato Vidurio Lietuvai. Tuo tarpu mažiausi pasikeitimai visais atvejais prognozuojami šiaurės rytinei šalies daliai. Regioniniai pokyčių skirtumai neviršys 1 °C. Rudens oro temperatūros (kaip ir žiemą) išlaikys meridianinį lauko pobūdį Lietuvos teritorijoje – vidutinė temperatūra mažės rytų link (2 pav., d).

Vidutinė metinė oro temperatūra Lietuvoje išaugs 4–5 °C tuo atveju, jei šiltnamio dujų emisijos kils pagal A1B ar A2 scenarijus. Jei pasitvirtins B1 scenarijus, pokyčiai bus mažesni – 2–3 °C. Dėl didelių pokyčių žiemą ir pavasarį pagal ECHAM5 modelį labiausiai išaugs oro temperatūra Pajūryje, o HadCM3 modelis prognozuoja, jog labiausiai oras sušils Vidurio Lietuvoje.

## KRITULIŲ KIEKIS

Vieno kaičiausių ir labiausiai varijuojančių meteorologinių elementų – kritulių – kaitos tendencijos XXI a. skirsis priklausomai nuo metų laiko ir prognozei panaudotų klimato kaitos scenarijų (lentelė). Apibendrinus visos Lietuvos duomenis paaiškėjo, kad modeliavimo pagal A2 ir B1 emisijų scenarijus išvesties rezultatai prognozuoja vidutinio metinio kritulių kiekio padidėjimą (30–85 mm). Didžiausius pokyčius numato ECHAM5 modelis pagal A2 emisijų scenarijų, tuo tarpu pagal A1B scenarijų numatomas vidutinių reikšmių sumažėjimas (40 mm). Pagal šį scenarijų kritulių kiekis turėtų itin stipriai sumažėti vasarą ir rudenį, todėl antroje vasaros pusėje bei rudens pradžioje labai išaugs sausringumas visoje Lietuvoje.

Visi be išimties klimato kaitos modeliai prognozuoja didžiausią kritulių kiekio augimą žiemos metu (5–60 mm per šimtmetį) ir ne tokį intensyvų – pavasarį (5–38 mm per



3 pav. Vidutinės žiemos ir vasaros mėnesių temperatūros pasikartojimo kaita Vilniuje ir Klaipėdoje XXI a. pagal HadCM3 modelio A1B emisijų scenarijų: a – žiemą Vilniuje, b – žiemą Klaipėdoje, c – vasarą Vilniuje, d – vasarą Klaipėdoje

Fig. 3. Changes of monthly mean winter and summer air temperature recurrence according to HadCM3 A1B climate change scenario output data in the 21<sup>st</sup> century in Vilnius (a), Klaipėda (b) in winter and in Vilnius (c), Klaipėda (d) in summer

šimtmetį). Taip pat visi scenarijai numato kritulių kiekio mažėjimą vasarą (iki  $-0,3088$  mm/metus). Skirtinga kritulių kiekio kaita prognozuojama rudenii, tačiau šiuo metų laiku vidutinis kritulių kiekis turėtų išlikti mažiausiai pakitęs. Kritulių kiekio kaita XXI a. nėra vienoda tiek laiko (skiriasi kaitos intensyvumas ar net tendencijos kryptis skirtingais trisdešimtmečiais), tiek ir erdvės atžvilgiu (skirtingas kaitos greitis ir tendencijos Lietuvos teritorijoje) (4 pav.).

Palyginus prognozuojamus kritulių kiekio pokyčius žiemos metu per šimtą metų Vilniaus ir Klaipėdos meteorologijos stotyse matyti, kad kritulių kiekis XXI a. pabaigoje bus didesnis už dabartinį (4 pav., a). Tik pagal B1 emisijų scenarijų numatomi kiek mažesni teigiami (4–6%), o amžiaus viduryje – net ir neigiami (–4% ir –1%) pokyčiai lyginant su dabartiniu kritulių kiekiu. Tuo tarpu pagal HadCM3 A2 klimato scenarijų, šimtmečio pabaigoje Klaipėdoje kritulių kiekis išaugs 32%, o Vilniuje – 46%. Kadangi Pajūryje numatomi mažesni pokyčiai, žiemos laikotarpio teritoriniai skirtumai Lietuvoje turėtų sumažėti.

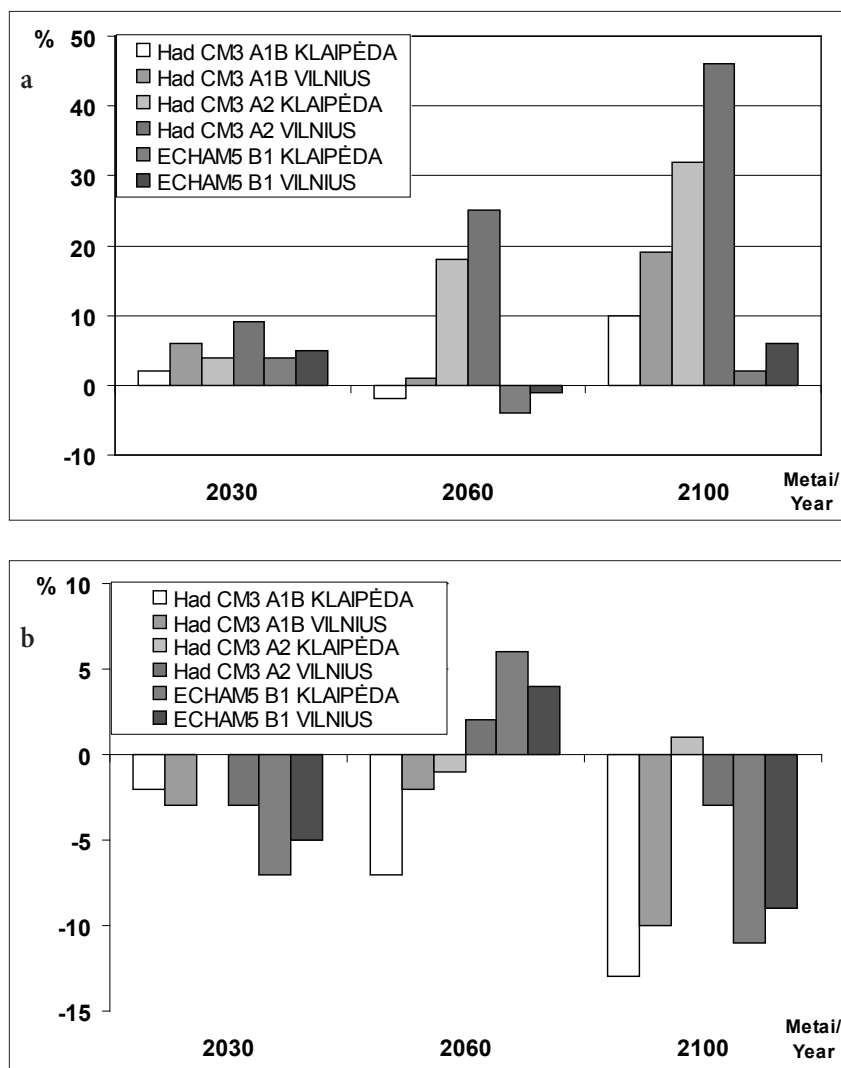
Vasarą kritulių kiekio kaita nėra tokie ryški kaip žiemos metu (4 pav., b). Tik HadCM3 A1B klimato scenarijus numato nenutrūkstamą kritulių kiekio mažėjimą: amžiaus pabaigoje jis pasieks 13% Klaipėdoje ir 11% Vilniuje. Tuo tarpu remiantis

ECHAM B1 klimato scenarijumi, amžiaus viduryje kritulių kiekis turėtų kiek išaugti, o vėliau vėl pradėti mažėti. Nors vasarą regioniniai pokyčių skirtumai nėra tokie ryškūs kaip žiemą, visgi kritulių kiekis labiau sumažės Pajūryje.

Remiantis HadCM3 A1B klimato kaitos scenarijumi prognozuojama, kad žiemos metu intensyviausiai kritulių kiekis augs aukštumose (26–34 mm), o teritorijose, gaunančiose mažesnius kritulių kiekius, prieaugs bus mažesnis (13–18 mm). Ypač dideli kritulių kiekio gradientai (apie 100 mm) susidarys Žemaičių aukštumos rytiniuose šlaituose (5 pav., a). Augant oro temperatūrai žiemą vis didesnę kritulių dalį sudarys skysti krituliai (ypač pajūryje).

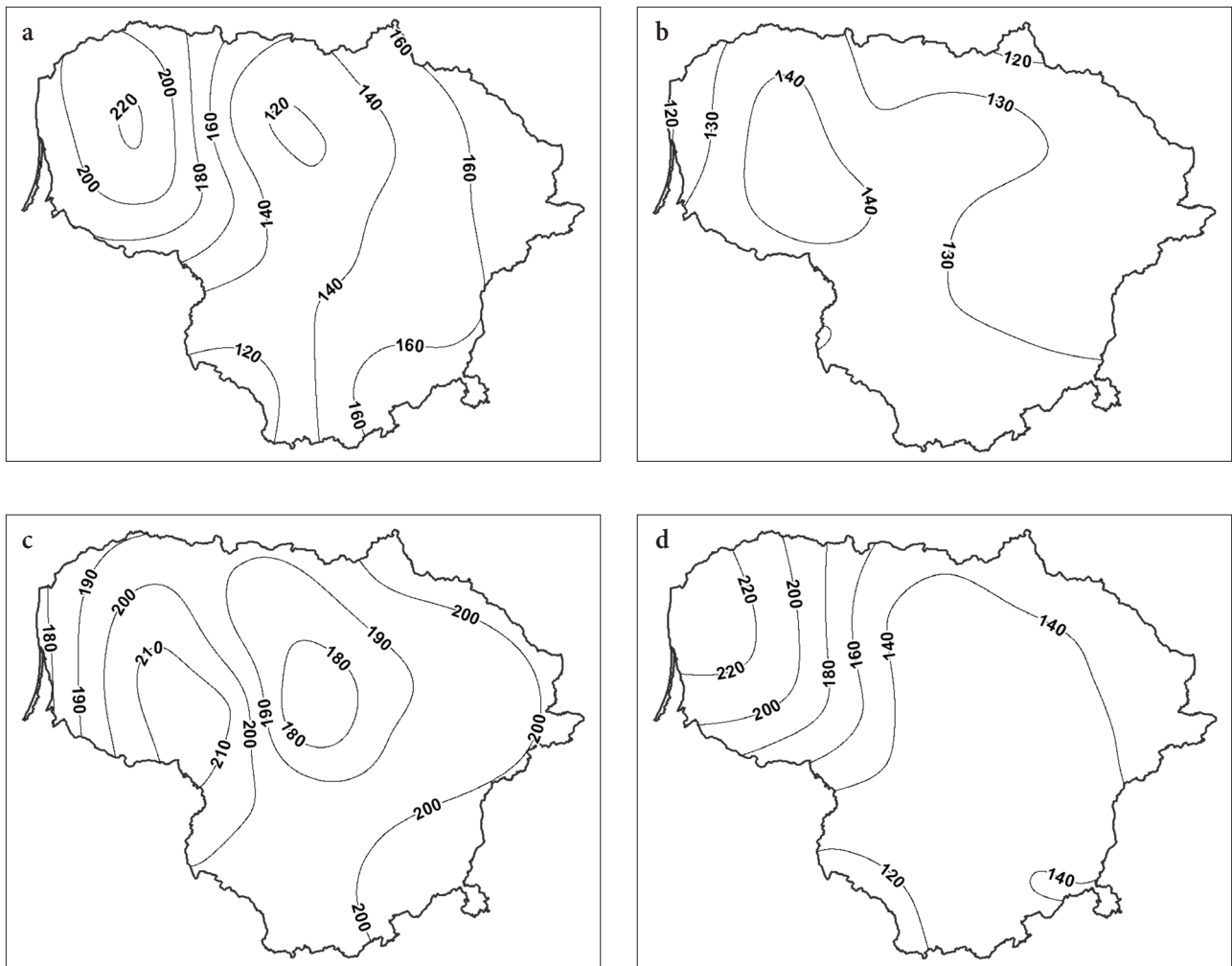
Pavasario mėnesiais teritoriniai kritulių kiekio skirtumai Lietuvoje sumažės (5 pav., b). Vakarų Lietuvoje jų kiekis išliks artimas dabartiniam, Pietryčių Lietuvoje mažės ir tik Vidurio Lietuvoje bei Žemaičių aukštumos rytinėje dalyje truputį išaugs.

XXI a. pabaigoje vasarą visoje teritorijoje kritulių kiekis bus 22–32 mm mažesnis už dabartinį, išskyrus pačią šiaurinę dalį, kurioje jis pakis nedaug (apie 3 mm) (5 pav., c). Teritoriniai skirtumai bus mažesni ir sudarys vos 40 mm. Daugiausia kritulių kiekis mažės Žemaičių aukštumoje bei pajūryje (27–32 mm). Likusioje dalyje pokyčiai bus ne tokie ryškūs.



4 pav. Prognozuojamas kritulių kiekio pokytis žiemą (a) ir vasarą (b) Klaipėdoje ir Vilniuje XXI a. pagal skirtingus klimato kaitos scenarijus

Fig. 4. Winter (a) and summer (b) precipitation changes (%) according to different climate change scenarios in the 21<sup>st</sup> century in Klaipėda and Vilnius



5 pav. Vidutinis kritulių kiekis (mm) Lietuvoje 2071–2100 m. pagal HadCM3 modelio A1B emisijų scenarijų: a – žiemą, b – pavasarį, c – vasarą, d – rudenį  
 Fig. 5. Mean precipitation (mm) in Lithuania according to HadCM3 A1B climate change scenario: a – winter; b – spring; c – summer; d – autumn

Rudenį, kaip ir vasarą, numatomos panašios kritulių kiekio kaitos tendencijos laike ir erdvėje, tačiau teritoriniai skirtumai išliks patys didžiausi (per 100 mm) (5 pav., d).

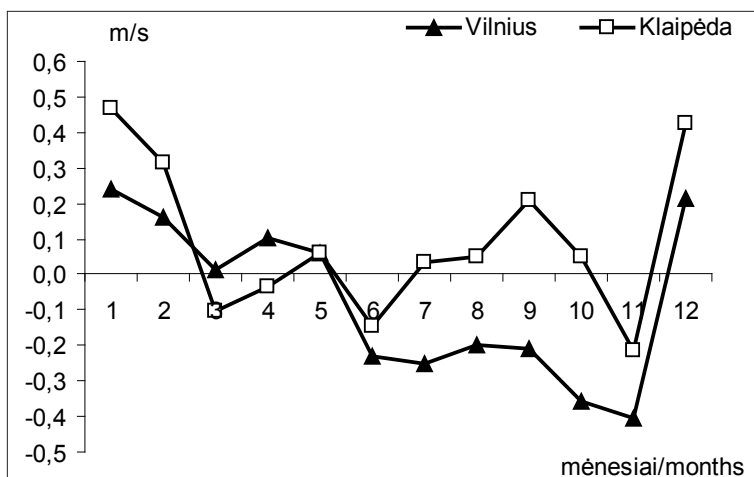
Klimato modeliavimo rezultatai rodo, jog Šiaurės Europoje ir žiemą, ir vasarą kritulių kiekis didės (žiemą daugiausia Skandinavijoje bei Kolos pusiasalyje – 30–40%), o Pietų Europoje mažės (Graikijoje ir Pietų Italijoje net iki 50%) (Solomon et al, 2007). Lietuva užima tarpinę padėtį – skirtingo ženklo pokyčiai skirtingais metų laikais.

## VĖJAS

Klimato modeliai prognozuoja, jog Lietuvoje XXI a. visais metų laikais prie žemės paviršiaus didės vakarinio zoniinio vėjo dėmens  $u$ , o žiemą, pavasarį ir rudenį – pietinio meridianinio vėjo dėmens  $v$  reikšmės. Todėl išaugs ir dabar vyraujančių vakarinių rumbų vėjų pasikartojimas. Vasarą dar dažniau pūs šiaurės vakarų, kitais metų laikais – pietvakarių vėjai.

Vidutinis metinis vėjo greitis XXI a. Lietuvos teritorijoje keisis nedaug. Net ir didžiausius teigiamus pokyčius numatantis HadCM3 A2 klimato scenarijus prognozuoja vos 0,1 m/s padidėjimą (lentelė). Tai iš dalies galima aiškinti sezoninių pokyčių ženklo skirtumais, nors ir atskirais metų laikais numatomi pasikeitimai bus labai nedideli. Žiemą vėjo greitis didės (iki 0,3 m/s pagal A2 emisijų scenarijų), o vasarą mažės (iki 0,2 m/s pagal A1B emisijų scenarijų). Pavasarį ir rudenį numatomi dar mažesni pasikeitimai ir pagal daugumą prognozių neviršys 0,1 m/s.

Atskiruose Lietuvos regionuose nors ir numatomi didesni pokyčiai, tačiau vėlgi neviršys 0,5 m/s. Šiek tiek vėjo greitis turėtų padidėti pajūryje. Pagal HadCM3 A1B klimato scenarijų, XXI a. Klaipėdoje vėjas stiprės žiemą (0,3–0,5 m/s) bei pirmoje rudens pusėje, kai tuo tarpu Vilniuje vasarą ir rudenį tikėtinas kiek ryškesnis neigiamas pokyčių trendas (0,2–0,4 m/s) (6 pav.).



6 pav. Numatomi vėjo greičio pokyčiai Vilniuje ir Klaipėdoje XXI a. pagal HadCM3 modelio A1B emisijų scenarijų  
 Fig. 6. Forecasted wind speed changes according to HadCM3 A1B climate change scenario in the 21<sup>st</sup> century in Klaipėda and Vilnius

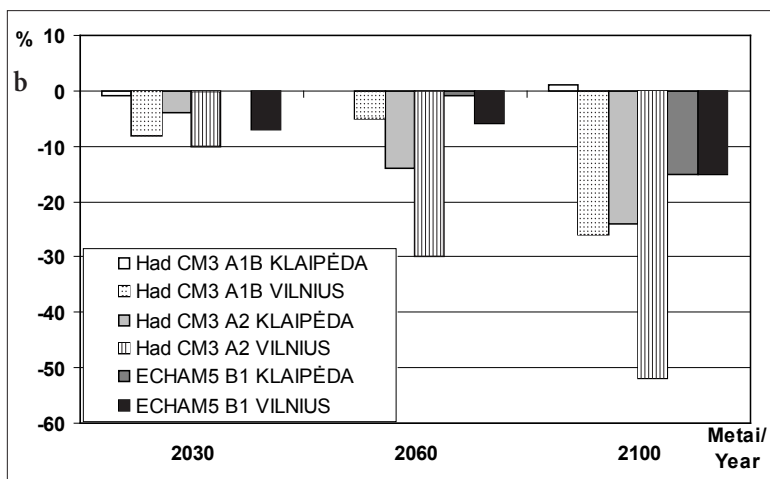
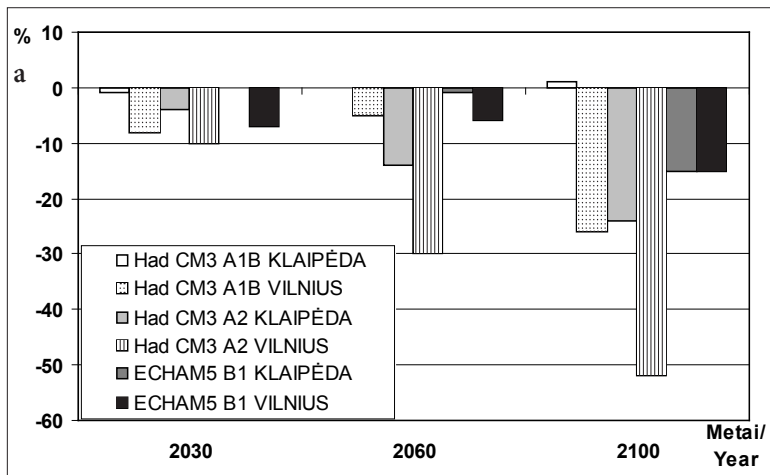
**SAULĖS SPINDĖJIMO TRUKMĖ**

XXI a. keičiantis atmosferos cirkuliacijos sąlygoms neišvengiamai kils ir saulės spindėjimo trukmė. Apibendrinus gautus rezultatus galima apibūdinti numatomas vidutinės saulės spindėjimo trukmės kaitos tendencijas atskirais metų laikais bei per metus (lentelė).

Visi be išimties klimato kaitos scenarijai numato vidutinės metinės saulės spindėjimo trukmės padidėjimą XXI a. (146–371 val.). Didžiausi pokyčiai prognozuojami pagal A1B emisijų scenarijų. Saulės spindėjimo trukmė labiausiai išaugs gegužės–rugėję

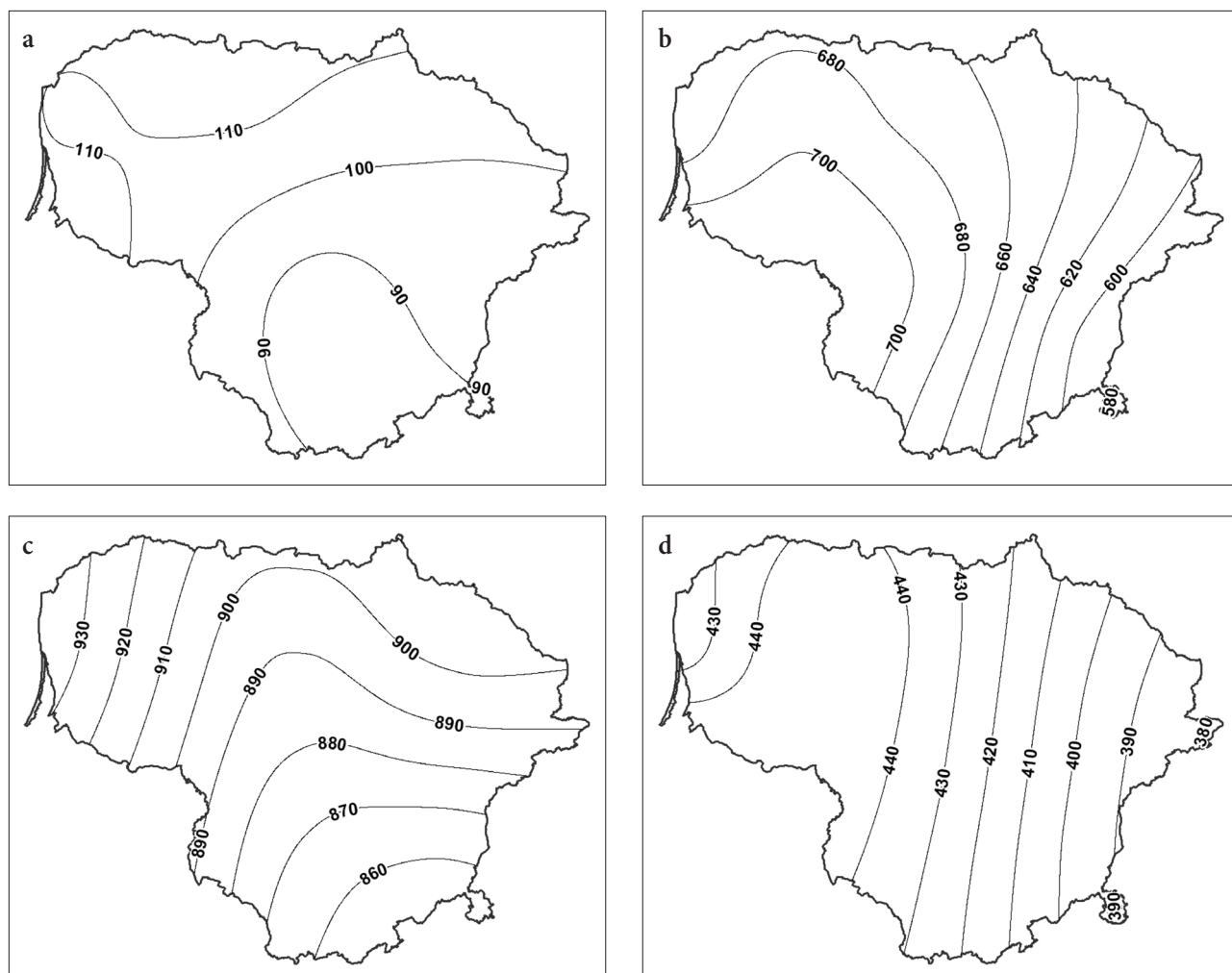
mėnesiais. Kaip ir laukta, šio rodiklio pasikeitimai gerai dera su numatomais kritulių pokyčiais: visi klimato scenarijai prognozuoja kritulių kiekio, debesuotumo padidėjimą žiemos metu, o kartu ir saulės spindėjimo trukmės mažėjimą (15–72 val.). Dėl intensyvėjančios zoninės cirkuliacijos antroje žiemos pusėje ypač sumažės saulės spindėjimo trukmė vasarį (net iki 40–50%).

Prognozuojami žiemos pokyčiai bus ryškesni Rytų Lietuvoje nei Pajūryje. Ypač ekstremalus jie numatomi pagal HadCM3 A2 klimato scenarijų: Vilniuje saulė spindės perpus trumpiau nei dabar (7 pav., a).



7 pav. Prognozuojamas saulės spindėjimo trukmės pokytis žiemą (a) ir vasarą (b) Klaipėdoje ir Vilniuje XXI a. pagal skirtingus klimato kaitos scenarijus  
 Fig. 7. Winter (a) and summer (b) sunshine duration changes (%) according to different climate change scenarios in the 21<sup>st</sup> century in Klaipėda and Vilnius





8 pav. Vidutinė Saulės spindėjimo trukmė Lietuvoje (val.) Lietuvoje 2071–2100 m. pagal HadCM3 modelio A1B emisijų scenarijų: a – žiemą, b – pavasarį, c – vasarą, d – rudenį  
 Fig. 8. Mean sunshine duration (mm) in 2071–2100 in Lithuania according to HadCM3 A1B climate change scenario: a – winter; b – spring; c – summer; d – autumn

Vasaros metu saulės spindėjimo trukmė turėtų augti palaipsniui: 3–6% padidėjimas iki 2030 m., 7–11% – 2060 m. ir 10–18% – 2100 metais. Labiau į žemyną nutolusiuose Lietuvos regionuose procesas turėtų būti intensyvesnis negu pajūryje (7 pav., b).

Pagal HadCM3 klimato kaitos modelio A1B scenarijų, žiemos metu didžiausios saulės spindėjimo reikšmės išliks pajūryje (>110 val.) bei Žemaičių aukštumos šiaurinėje dalyje (8 pav., a). Čia neigiami pokyčiai neviršys 20 val. Likusioje teritorijos dalyje saulės spindėjimo trukmė sumažės daugiau nei 30 valandų.

Didžiausi saulės spindėjimo trukmės teritoriniai skirtumai susidarys pavasarį. XXI a. pabaigoje šio meteorologinio elemento reikšmės tarp rytinės ir pietvakarinės dalies skirsis 120 valandų (8 pav., b). Nors daugiau saulėtų valandų numatoma visoje Lietuvoje, rytinėje dalyje jų suma išaugs iki 80, kai likusioje teritorijoje – iki 100 val. ir daugiau.

Kaip ir dabartiniu laikotarpiu, vasarą saulės spindėjimo trukmės erdvinė sklaida bus platuminė: šiaurėje ir vakaruose – 900–930 val. ir pietryčiuose – apie 860 val. (8 pav., c). Šiuo metų laiku prognozuojamas greitesnis saulės spindėjimo trukmės didėjimas rytinėje Lietuvos dalyje, o kartu ir teritorinių skirtumų mažėjimas.

Numatoma, kad rudenį daugiausia saulė švies Žemaitijoje, o mažiausiai – Lietuvos rytuose (390 val.) (8 pav., d). Visoje teritorijoje saulės spindėjimo trukmė išaugs 120–130 val., tik pajūryje pokyčiai bus mažesni (apie 100 val.).

## IŠVADOS

1. XXI a. Lietuvoje oro temperatūra augs. Didžiausi absoliutūs pokyčiai numatomi žiemą (4–8 °C), mažiausi – vasarą (1,5–3,5 °C). ECHAM5 modelio išvesties duomenimis, vidutinė metinė oro temperatūra labiausiai išaugs Pajūryje, o pagal HadCM3 modelį, labiausiai oras sušils Vidurio Lietuvoje. Regioniniai pokyčių skirtumai bus nedideli ir tik žiemą gali viršyti 2 °C.

2. A2 ir B1 emisijų scenarijais paremto klimato modeliavimo rezultatai rodo nedidelį vidutinio metinio kritulių kiekio augimą XXI a. Lietuvoje, tuo tarpu pagal A1B scenarijų numatomas neigiamas pokyčių trendas. Visais atvejais kritulių kiekis augs žiemą bei pavasarį, tuo tarpu vasarą ir rudenį šio rodiklio reikšmės mažės. Augant oro temperatūrai žiemą, vis didesnę kritulių dalį sudarys skysti krituliai. Antroje vasaros pusėje bei rudens pradžioje visoje Lietuvoje labai padidės sausringumas.

Pavasari, vasarą ir rudenį mažės kritulių kiekio teritoriniai skirtumai.

3. Klimato modeliai prognozuoja, kad Lietuvoje XXI a. išaugs ir dabar vyraujančių vakarinių rumbų vėjų pasikartojimas. Vasarą dar dažniau pūs šiaurės vakarų, kitais metų laikais – pietvakarių vėjai. Vidutinis vėjo greitis keisis nedaug. Žiemą vėjo greitis didės (iki 0,3 m/s pagal A2 emisijų scenarijų), o vasarą – mažės (iki 0,2 m/s pagal A1B emisijų scenarijų).

4. Vidutinė saulės spindėjimo trukmė per XXI a. didės. Didžiausi pokyčiai prognozuojami pagal A1B emisijų scenarijų. Saulės spindėjimo trukmė labiausiai išaugs gegužės–rugsėjo mėnesiais, tuo tarpu žiemos mėnesiais (ypač vasarį) sumažės. Prognozuojami pokyčiai bus ryškesni Rytų Lietuvoje nei Pajūryje.

## PADĖKA

Straipsnio autoriai dėkoja Lietuvos valstybiniam mokslo ir studijų fondui, Lietuvos Respublikos Žemės ūkio ministerijai, parėmusiems šiuos tyrimus.

Gauta 2007 10 11  
Parengta 2007 10 16

## Literatūra

- Bukantis A., Rimkus E. (1996). Lietuvos agroklimatinių rešursų dinamika ir prognozės. *Geografija*. 32: 22–27.
- Bukantis A., Gulbinas Z., Kazakevičius S., Kilkus K., Mikeliniskienė A., Morkūnaitė R., Rimkus E., Samuila M., Stankūnavičius G., Valiuškevičius G., Žaromskis R. (2001). *Klimato svyravimų poveikis fiziniams geografiniams procesams Lietuvoje*. Vilnius: Geografijos institutas, Vilniaus universitetas.
- Bukantis A., Rimkus E. (2005). Climate variability and change in Lithuania. *Acta Zoologica Lituanica*. 15(2): 100–104.
- Čekanavičius V., Murauskas G. (2002). *Statistika ir jos taikymai. II*. Vilnius: TEV.
- Gordon C., Cooper C., Senior C. A., Banks H., Gregory J. M., Johns T. C., Mitchell J. F. B., Wood R. A. (2000). The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Climate Dynamics*. 16: 147–168.
- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Leetmaa A., Reynolds B., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Jenne R., Joseph D. (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 77(3): 437–471.
- Kilkus K., Štaras A., Rimkus E., Valiuškevičius G. (2006). Changes in water balance structure of Lithuanian rivers under different climate change scenarios. *Aplinkos tyrimai inžinerija ir vadyba*. 2(36): 3–10.
- Nakicenovic N., Swart R. (eds). (2000). *Special Report on Emissions Scenarios*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rimkus E., Stankūnavičius G. (2002). Snow water equivalent variability and forecast in Lithuania. *Boreal Environment Research*. 7(4): 457–462.
- Rimkus E. (2007). Klimato kaitos prognozės. E. Rimkus, S. Sinkevičius (red.). *Globali aplinkos kaita*. Vilnius: Vilniaus universitetas.
- Roeckner E., Bäuml G., Bonaventura L., Brokopf R., Esch M., Giorgetta M., Hagemann S., Kirchner I., Kornbluh L., Manzini E., Rhodin A., Schlese U., Schulzweida U., Tompkins A. (2003). The atmospheric general circulation model ECHAM 5. PART I: Model description. *Max Planck Institut Report*. 349. Hamburg: Max-Planck-Institut für Meteorologie.
- Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K. B., Tignor M. Miller H. L. (eds.) (2007). *IPCC, 2007: Climate Change. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.

Egidijus Rimkus, Justas Kažys,  
Justina Junevičiūtė, Edvinas Stonevičius

## CLIMATE CHANGE PREDICTIONS FOR THE 21ST CENTURY IN LITHUANIA

### Summary

Climate change predictions for the Lithuanian territory according to the latest IPCC Fourth Assessment Report (AR4) issues and climatic models are presented.

Predictions of meteorological variables in the 21st century are made for 16 meteorological stations across Lithuania. The prognostic values of variables (zonal (*u*) and meridional (*v*) wind component, air temperature, sea level pressure, precipitation) were derived from CERA database. Primary dataset was formed from monthly means of meteorological variables for the years 2001 to 2100. Climate predictions were made according to ECHAM5 and HadCM3 Global Climate Circulation models based on A1B, A2, B1 greenhouse emission scenarios. A linear and multiple regression downscaling procedure was made in order to get a local scale of predictions.

Seasonal (for every season) algorithms were made by using the basic period from 1971 to 2000. Grid point data information (monthly means) was obtained from the NCEP / NCAR database. The linear regression method was used for air temperature forecast because data from meteorological stations and NCEP / NCAR data were very similar for all seasons and at all stations (correlation coefficient more than 0.95). Multiple regression algorithms were used for other variables (precipitation, wind speed, sunshine duration).

Forecast of air temperature, precipitation, wind speed, sunshine duration was made using these relations for the years 2001 to 2100 for all 16 meteorological stations across the country.

Air temperature will rise in the 21st century in Lithuania. The largest increase will be observed in winter seasons (4–8 °C), and not so strong in summer (1.5–3.5 °C). Based on the ECHAM5 Global Climate model output data, the temperature will tend to rise more by the seaside, and the HadCM3 Global Climate Circulation model shows a more intense air temperature rising in the central part of Lithuania. Regional differences in temperature change would not be very high, only in winter season reaching more than 2 °C.

A forecast based on A2, B1 greenhouse emission scenarios shows that the mean precipitation amount will rise during the 21st century in all parts of Lithuania. Meanwhile the A1B greenhouse emission scenario shows negative trends. Precipitation will increase in winter and spring and will decrease in summer and autumn. Precipitation type will tend to liquid phase because of rising air temperatures in winter seasons. In July, August and in the beginning of autumn the probability of draughts will rise dramatically. Also, precipitation distribution spatial differences will tend to decrease in spring, summer and autumn.

All models show an increase of westerly wind direction frequency which will prevail in the 21st century in Lithuania. Most common

wind directions for summer will be north-west and for the rest of seasons south-west. Mean wind speed change will be negligible. It will increase in winter (to 0.3 m/s in the A2 emission scenario) and will decrease in summer (to 0.2 m/s in the A1B emission scenario).

Sunshine duration will increase during the 21st century. The modeling based on the A1B emission scenario shows most significant changes. Also, sunshine duration will be most evident from May to September. Meanwhile, a decrease of sunny hours (particularly on February) in winter seasons is expected. Changes will be more significant in the eastern part than on the seaside.