

Klimato rodiklių scenarijai Lietuvos teritorijoje XXI a.

Dovilė Keršytė,

Egidijus Rimkus,

Justas Kažys

*Vilniaus universitetas,
M. K. Čiurlionio g. 21,
LT-03101 Vilnius*

*El. paštas: dovile.kersyte@yahoo.com;
egidijus.rimkus@gf.vu.lt;
justas.kazys@gf.vu.lt*

Dovilė Keršytė, Egidijus Rimkus, Justas Kažys. Klimato rodiklių scenarijai Lietuvos teritorijoje XXI a. *Geologija. Geografija*. 2015. T. 1(1). ISSN 2351-7549.

Straipsnyje pateikiami prognostiniai klimato rodiklių (vidutinės oro temperatūros ir kritulių kiekio) pokyčiai Lietuvos teritorijoje XXI a. Pasinaudota 24 klimato modelių išvesties duomenimis. Oro temperatūros ir kritulių kiekio reikšmės atskirais mėnesiais analizuotos Lietuvos teritorijoje 1861–2100 m. Sudaryti 2016–2035 ir 2081–2100 m. klimato rodiklių scenarijai, palyginti su 1986–2005 m. bazinio laikotarpio vidutinėmis reikšmėmis. Prognostiniai dydžiai pateikiami pagal skirtingus RCP scenarijus 5 gardelėms (jų dydis – $2,5^\circ \times 2,5^\circ$), dengiančioms Lietuvos teritoriją. Taip pat tyrime buvo panaudoti 16 Lietuvos meteorologijos stočių kritulių kiekio ir oro temperatūros duomenys.

Tikimasi, jog XXI a. oro temperatūra Lietuvos teritorijoje didės visais metų laikais, o teritoriniai pokyčių skirtumai bus nedideli (iki $0,5^\circ\text{C}$). Iki 2035 m. vidutinė metinė temperatūra padidės $1,1\text{--}1,4^\circ\text{C}$, o iki 2100 m. – $1,5\text{--}5,1^\circ\text{C}$. Labiausiai turėtų padidėti šaltojo metų laikotarpio temperatūra.

Vidutinis metinis kritulių kiekis iki 2035 m. turėtų išaugti $1,6\text{--}4,0\%$, o iki 2100 m. – nuo $3,7$ iki $13,5\%$. Kritulių kiekio augimas prognozuojamas spalio–birželio mėn., o liepą–rugsėį galimas kritulių kiekio mažėjimas. Šiaurinėje šalies dalyje tikėtini didesni kritulių kiekio pasikeitimai.

Raktažodžiai: klimato kaita, RCP, oro temperatūra, kritulių kiekis

ĮVADAS

Per pastaruosius dešimtmečius pasaulyje pastebimi itin spartūs klimato kaitos procesai, kurių viena pagrindinių priežasčių – žmogaus ūkinė veikla. Remiantis NCDC (*National Climate Data Center*) duomenimis, 1901–2012 m. globali oro temperatūra išaugo $0,89^\circ\text{C}$ (IPCC, 2013). Vidutinė oro temperatūra Vilniuje 1778–2012 m. pakilo $1,4^\circ\text{C}$. Didžiausi pokyčiai nustatyti žiemos mėnesiais (sausį – $3,2^\circ\text{C}$), mažiausi – šiltuoju metų laiku. Itin spartus oro temperatūros augimas Lietuvoje prasidėjo 1988 m. (Mickievič, Rimkus, 2013). Vilniuje oro temperatūra 1850–2012 m. augo greičiau nei globaliu mastu (ypač šaltuoju metų laikotarpiu). Klimato kaitos poveikis Lietuvoje pastebimas analizuojant daugelį meteorologinių rodiklių (Rimkus ir kt., 2006, 2011, 2014; Kažys ir kt., 2009; Gečaitė, Rimkus, 2010). Pagal Tarpvyriausybines klimato kaitos komisijos

(TKKK) AR5 ataskaitą, klimato kaitos poveikis įsibėgėjęs XXI a. tik stiprės (IPCC, 2013).

Klimato scenarijų kūrimas šiuo metu yra labai svarbi mokslinės bendruomenės veiklos sritis, o klimato modeliai – pagrindinė priemonė, leidžianti įvertinti pokyčius ateityje. Didžioji dalis pasaulyje atliktų klimato kaitos tyrimų rėmėsi TKKK paskelbtos AR4 ataskaitos (Solomon ir kt., 2007) CMIP3 (*Coupled Model Intercomparison Project phase 3*) projekto prognozėmis (Meehl ir kt., 2007) bei šiltnamio dujų emisijų scenarijais SRES (*Special Report on Emissions Scenarios*) (Nakićenović ir kt., 2000). Naujausioje TKKK AR5 ataskaitoje (IPCC, 2013) vadovaujamosi CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison Project phase 5*) projekto sudarytomis prognozėmis (Taylor ir kt., 2011) ir visiškai naujais RCP (*Representative Concentration Pathways*) scenarijais (Moss ir kt., 2010; van Vuuren ir kt., 2011a). Remiantis naujais RCP scenarijais, oro temperatūros ir kritulių kiekio prognozės

XXI a. sudaromos tiek pasauliniu mastu (Andrews ir kt., 2010; Watterson, Whetton, 2011), tiek ir Europos regionui (Harris ir kt., 2010; Monier ir kt., 2013). Taip pat nemažas dėmesys Europoje skiriamas vertinant ansamblines prognozes (Kharin ir kt., 2013; Jacob ir kt., 2014).

Specialiai Lietuvos teritorijai pritaikytos meteorologinių rodiklių XXI a. prognozės pradėtos sudarinėti šio amžiaus pradžioje (Bukantis, 2001; Bukantis ir kt., 2001). Prognozės buvo nuolat atnaujinamos, remiantis TKKK ataskaitose paskelbtais globalių klimato modelių rezultatų išvesties duomenimis (Bukantis, Rimkus, 2005; Rimkus ir kt., 2007). Tačiau visos jos buvo paremtos N. Nakićenović ir kt. (2000) paskelbtais SRES. Tyrimai neapsiribojo vien tik pagrindiniais meteorologiniais rodikliais (Bukantis ir kt., 2001; Rimkus ir kt., 2007), juose buvo nagrinėjamas ateities klimato kaitos poveikis žemės ūkiui (Stonevičius ir kt., 2008; Kažys ir kt., 2013), oro taršai (Bukantis ir kt., 2003; Masaitytė, 2008), upių nuotėkiui (Kriaučiūnienė ir kt., 2008; Valiuškevičius ir kt., 2011; Rimkus ir kt., 2012a), Kuršių marioms (Jakimavičius, Kriaučiūnienė, 2013), Baltijos jūros vandens lygiui (Klimato kaita..., 2007; 2012), gruntiniams vandeniems (Klimato kaita..., 2012; Arustienė ir kt., 2013) ir miškams (Lekevičius ir kt., 2012). Pritaikius detalesnius regioninius klimato kaitos modelius, sudarytos ekstremalių reiškinių – gausių kritulių (Rimkus ir kt., 2009, 2011) ir sausrų (Rimkus ir kt., 2012b) – galimų pokyčių prognozės Lietuvai. Taip pat įvertintas klimato kaitos poveikis atskiriems Lietuvos regionams ir miestams (Klimato kaita..., 2007; 2012; Kilpys, 2013; Rimkus ir kt., 2013).

Pagrindinis šio straipsnio tikslas yra pateikti vienų iš svarbiausių meteorologinių rodiklių (vidutinės oro temperatūros ir kritulių kiekio) galimus pokyčius Lietuvos teritorijoje XXI a. Artimiausios ateities (2016–2035) ir ilgalaikiai klimato scenarijai (2081–2100) sudaryti remiantis naujaisiais TKKK AR5 ataskaitoje pateiktais RCP scenarijais ir lyginti su minėtoje ataskaitoje naudojamu baziniu laikotarpiu (1986–2005).

Neabejotina, kad pirmą kartą pateiktos, naujais RCP scenarijais paremtos, meteorologinių rodiklių prognozės sudarys pagrindą tolimesniems išsamiems klimato sistemos tyrimams Lietuvoje. Šis tyrimas yra atskaitos taškas prognozuojant kitus globalių klimato modelių, tiek ir detalesnių

regioninių ar lokalių klimato modelių, išvesties duomenų pokyčius Lietuvoje. Remiantis šiuo tyrimu, galima atlikti įvairių gamtos sistemos dalių ar socialinių ir ekonominių sektorių analizę XXI a. Taip pat šio straipsnio rezultatai turėtų pasitarnauti prisitaikant prie galimos klimato kaitos ir su tuo susijusiais aplinkos pokyčiais, vykdant Lietuvos strateginio ir teritorinio planavimo darbus.

DUOMENYS IR DARBO METODIKA

Ateities klimato pokyčiai siejami su RCP scenarijais. Juos sudaro socioekonominių, šiltnamio dujų emisijų ir klimato scenarijų rinkiniai, kuriuose energinis poveikis (balanso pokyčiai tarp ateinančios ir išeinančios spinduliuotės dėl atmosferos sudėties pokyčių) yra pagrindinis įvesties parametras modeliuojant klimata. Energinio poveikio vertinimas grindžiamas šiltnamio efektą sukeliančių dujų ir kitų veiksnių poveikiu (Moss ir kt., 2010; van Vuuren ir kt., 2011a).

RCP2.6 sukurtas Olandijos aplinkos vertinimo agentūros (*Environmental Assessment Agency*) modeliavimo grupės. Tai scenarijus, pagal kurį energinio poveikio pikas bus pasiektas dar XXI a. viduryje (apie 3 W/m^2 ; $\sim 490 \text{ ppm}$ šiltnamio dujų koncentracija anglies dvideginio ekvivalentu), o iki 2100 m. sumažės iki $2,6 \text{ W/m}^2$. Norint pasiekti tokį energinio poveikio lygį, būtina gerokai sumažinti dabartines šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas (van Vuuren ir kt., 2011b).

RCP4.5 sukurtas JAV jungtinio globalios kaitos tyrimo instituto (*Joint Global Change Research Institute*) modeliavimo grupės. Tai scenarijus, pagal kurį energinis poveikis ($4,5 \text{ W/m}^2$) stabilizuosis iki 2100 m., o šiltnamio dujų koncentracija anglies dvideginio ekvivalentu sieks $\sim 650 \text{ ppm}$. Pagal šį scenarijų taip pat bus plačiai taikomos naujos technologijos ir įgyvendinamos strategijos, skirtos mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas (Thompson ir kt., 2011).

RCP6.0 sukurtas Japonijos nacionalinio aplinkos studijų instituto (*National Institute for Environmental Studies*) modeliavimo grupės. Tai stabilizacinis scenarijus, kai energinio poveikio sustiprėjimas ($6,0 \text{ W/m}^2$) stabilizuosis po 2100 m., panaudojus technologijas ir strategijas, skirtas mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas. Šiltnamio dujų koncentracija anglies dvideginio ekvivalentu bus lygi $\sim 850 \text{ ppm}$ (Masui ir kt., 2011).

RCP8.5 sukurtas Tarptautinio taikomųjų sistemų analizės instituto (*International Institute for Applied Systems Analysis*) modeliavimo grupės Austrijoje. RCP8.5 charakterizuojamas didėjančiomis šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijomis, vedančiomis prie didžiausių energinio poveikio reikšmių ($8,5 \text{ W/m}^2$). Šiltnamio dujų koncentracija amžiaus pabaigoje anglies dvideginio ekvivalentu pasieks $\sim 1\,370 \text{ ppm}$ (Riahi ir kt., 2007, 2011).

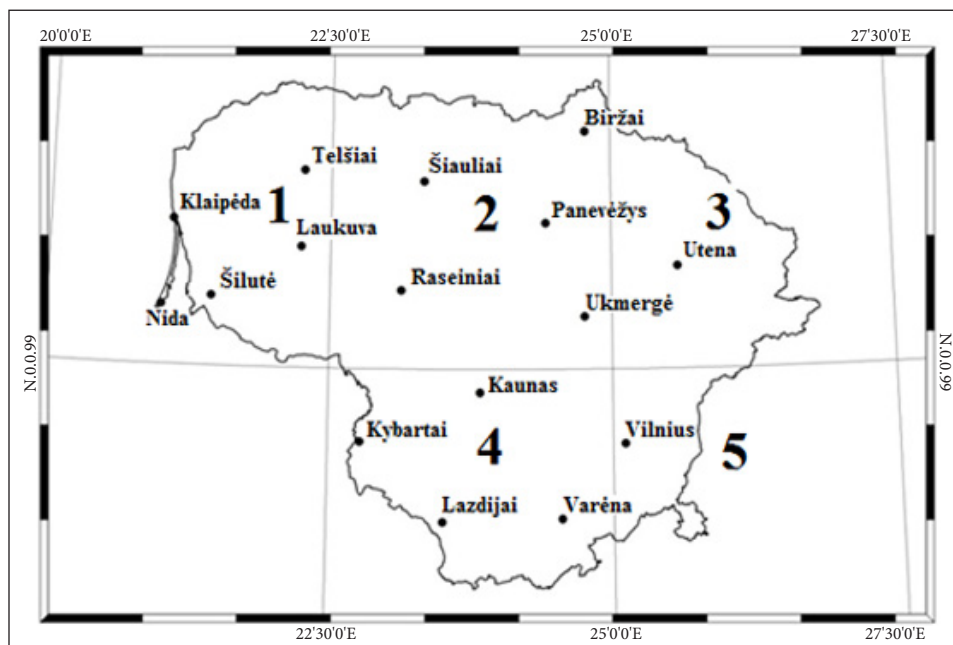
Šie RCP scenarijai naudojami klimato modelių simuliacijoms, kurių išvesties duomenys yra Pasaulio klimato tyrimų programos penktojo modelių palyginimo projekto CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*) dalis (Taylor ir kt., 2011).

Mūsų atliktame tyrime pateikiami klimato rodiklių (vidutinės oro temperatūros ir kritulių kiekio) pokyčių scenarijai Lietuvos teritorijoje XXI a. Sumodeliuotos oro temperatūros ir kritulių kiekio reikšmės paimtos iš KNMI (*Royal Netherlands Meteorological Institute, Ministry of Infrastructure and the Environment*) *Climate Explorer* duomenų bazės. Analizuotos oro temperatūros ir kritulių kiekio reikšmės sausį–gruodį Lietuvos teritorijoje 1861–2100 m. Prognozės sudarytos pagal RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 ir RCP8.5 scenarijus. Remiantis

AR5 ataskaita, laikotarpis nuo 2006 m. jau apima prognostines reikšmes, o istoriniai duomenys iki 2005 m. (imtinai) naudojami kaip bazinis laikotarpis (jie yra vienodi pagal visus RCP).

Šioje duomenų bazėje duomenys suskirstyti į tinklėlį, o kiekvienos gardelės dydis yra lygus $2,5^\circ \times 2,5^\circ$. Lietuvos teritorija patenka į 5 gardeles. Analizuoti 16 Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos (LHMT) meteorologijos stočių (MS) duomenys. Į pirmą gardelę pateko Klaipėdos, Nidos, Šilutės, Telšių ir Laukuvos MS, į antrą – Šiaulių, Raseinių, Panevėžio, Ukmergės ir Biržų MS, į trečią – Utenos MS, ketvirtoje gardelėje – Kybartų, Kauno, Lazdijų ir Varėnos MS, o penktoje – Vilniaus MS (1 pav.). Baziniam laikotarpiui buvo panaudotos išmatuotos rodiklių reikšmės 1986–2005 m., kurios palygintos su KNMI *Climate Explorer* duomenų bazėje pateikiamais to paties laikotarpio dydžiais.

KNMI *Climate Explorer* duomenų bazėje, priklausomai nuo scenarijaus, skiriasi ir modelių skaičius, naudojamas generuojant kiekvienos gardelės rodiklių CMIP5 reikšmes. Didžiausias modelių skaičius naudojamas vertinant vidutinės oro temperatūros ir kritulių kiekio mėnesio reikšmes pagal RCP4.5 scenarijų, mažiausias – pagal RCP6.0



1 pav. Lietuvos meteorologijos stotys, kurių duomenys naudojami tyrime, bei teritorijos suskirstymas į gardeles ($2,5^\circ \times 2,5^\circ$) pagal KNMI duomenų bazę

Fig. 1. Location of meteorological stations which data were used in this study and grid cells with a size of $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ according to KNMI database

(atitinkamai po 42 ir 25 modelius). RCP2.6 scenarijaus reikšmės apskaičiuojamos pagal 32, o RCP8.5 – 39 modelių rezultatus. Tyrimui buvo pasirinkti tik tie modeliai, kurie atliko skaičiavimus pagal visus keturis RCP scenarijus. Iš viso tokių modelių ar jų versijų iš skirtingų modeliavimo centrų buvo 24: bcc, FIO (Kinija); CCSM, CESM, GFDL, GISS (JAV); MIROC, MRI (Japonija); HadGEM (Jungtinė Karalystė; Korėja); IPSL (Prancūzija); NORESM (Norvegija); CSIRO (Australija).

Dėl kiek mažesnio naudotų modelių skaičiaus mūsų apskaičiuotos ir tyrime naudotos medianinės scenarijų reikšmės nežymiai skiriasi nuo CMIP5 medianinių reikšmių (mėnesio temperatūra – iki 0,3 °C, kritulių kiekis – iki 3 %).

Tyrimo metu buvo įvertinti vidutinės oro temperatūros ir kritulių kiekio pokyčiai kiekvienoje Lietuvos teritorijoje esančioje gardelėje. Rodiklių prognozės sudarytos dviem laikotarpiais: artimiausiai (*near-term*) ateičiai, kuri apima laikotarpį nuo 2016 iki 2035 m., ir ilgalaikiams (*long-term*) pokyčiams – 2081–2100 m. Šio uždavinio įgyvendinimui kiekvienoje gardelėje buvo apskaičiuotos 1986–2005, 2016–2035 ir 2081–2100 m. laikotarpių vidutinės oro temperatūros ir kritulių kiekio reikšmės sausio–gruodžio mėn. Įvertinta, kaip pasikeis oro temperatūra ir kritulių kiekis kiekvienoje gardelėje iki 2035 ir 2100 m., palyginti su 1986–2005 m. bazinio laikotarpio vidutinėmis reikšmėmis. Oro temperatūros pokyčiai nustatyti 0,1 °C tikslumu. Kritulių kiekio pokyčių reikšmės išreikštos procentais.

Apskaičiuotos galimų pokyčių pagal visus keturis scenarijus medianos ir, norint aprėpti pokyčių spektrą, 10 bei 90 procentiliai (pagal 24 modelių išvesties rezultatus). Straipsnyje analizuojamos medianinės reikšmės, o procentiliai yra surašyti lentelėse, kurios straipsnyje pateikiamos siekiant tyrimo metu gautus rezultatus padaryti labiau prieinamus vartotojams, norintiems vykdyti tolimesnę su klimato kaita susijusių procesų analizę.

Oro temperatūros scenarijai

Remiantis 24 modelių išvesties rezultatais ir RCP scenarijais, įvertinta, kiek pasikeis oro temperatūra kiekvienoje Lietuvos teritorijoje išskirtoje gardelėje iki 2035 ir 2100 m.

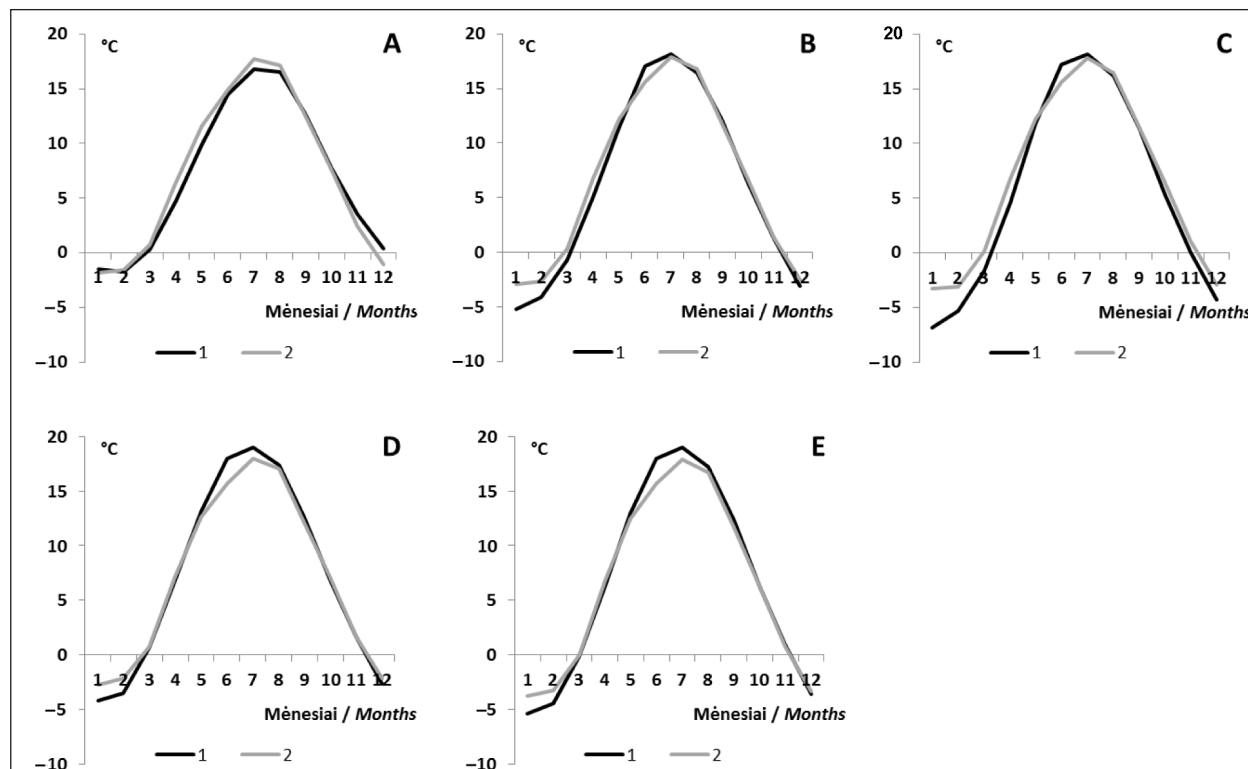
Tyrimo pradžioje palyginta 1861–2005 m. 24 modelių išvesties reikšmių vidutinės metinės oro

temperatūros mediana 5 gardelėje bei vidutinė metinė oro temperatūra Vilniuje. Penkta gardelė pasirinkta dėl to, jog Vilniuje oro temperatūros matavimai pradėti 1770 m., todėl įmanoma palyginti modeliuotus ir išmatuotus dydžius per ilgą laiko tarpą. Nustatyta, jog Vilniuje išmatuotos reikšmės yra žemesnės (vidutiniškai 0,6 °C) nei modelių reikšmių mediana. Tai galima iš dalies paaiškinti Vilniaus padėtimi šiaurinėje gardelės dalyje.

Lyginant sumodeliuotą (24 modelių mediana) ir išmatuotą (LHMT tinklo stočių vidurkis) oro temperatūros vidurkį visose gardelėse 1986–2005 m. nustatyta, jog vidutinės metinės oro temperatūros skirtumai nėra dideli (iki 1 °C trečioje gardelėje) (2 pav.). Pirmoje gardelėje vidutinė metinė temperatūra skiriasi vos 0,2 °C. Kadangi dalis gardelės yra virš Baltijos jūros, tai dėl vandens terminės inercijos pavasarį ir vasarą sumodeliuotos (gardelės vidurkis) reikšmės yra žemesnės nei ant sausumos esančiose stovyse, o rudenį ir žiemą – aukštesnės. Antroje ir trečioje gardelėje išmatuotos reikšmės yra aukštesnės nei sumodeliuotos daugiausiai dėl skirtumų žiemą bei pavasarį. Iš dalies (ypač trečios gardelės atveju) tai galima paaiškinti tuo, jog Lietuvai priklauso pietinė gardelės dalis. Ketvirtoje bei penktoje gardelėje sumodeliuota vidutinė metinė temperatūra beveik nesiskiria nuo išmatuotos (skirtumas vos 0,1 °C), tik šiose gardelėse sumodeliuotos žiemos yra kiek šaltesnės, o vasaros šiltesnės.

Pagal 24 modelių išvesties duomenų medianą, iki 2035 m. oro temperatūra augs visoje Lietuvoje (1 lentelė, 3 pav.). Vidutinė metinė temperatūra padidės 1,1–1,4 °C. Didžiausi pokyčiai prognozuojami pagal RCP4.5, mažiausi – pagal RCP6.0 scenarijų.

Didžiausius oro temperatūros pokyčius 2016–2035 m. laikotarpiu Lietuvoje numato RCP4.5 ir RCP8.5 scenarijai. Iki 2035 m. Lietuvoje labiausiai išsaugus šaltojo metų laikotarpio temperatūra. Didžiausi oro temperatūros pokyčiai prognozuojami vasario ir kovo mėn. Iki 2035 m. antroje ir penktoje gardelėje labiausiai išsaugus vasario mėn. vidutinė oro temperatūra (1,5–1,8 °C). Šiuos pokyčius numato RCP4.5 scenarijus. Vakarų Lietuvoje šaltojo metų sezono temperatūra pakils mažiau. Šioje Lietuvos dalyje sparčiausias oro temperatūros augimas pagal RCP8.5 prognozuojamas vasarį ir kovą (iki 1,4 °C). Spartų oro temperatūros augimą pagal RCP8.5 scenarijų modeliai numato



2 pav. Sumodeliuota (24 modelių mediana) (1) ir išmatuota (LHMT tinklo stočių vidurkis) (2) vidutinė oro temperatūra 1-oje (A), 2-oje (B), 3-ioje (C), 4-oje (D) ir 5-oje (E) gardelėse Lietuvos teritorijoje 1986–2005 m.
 Fig. 2. Simulated (24 models median) (1) and measured (LHMS network stations average) (2) mean air temperature in the first (A), second (B), third (C), fourth (D) and fifth (E) cells in 1986–2005

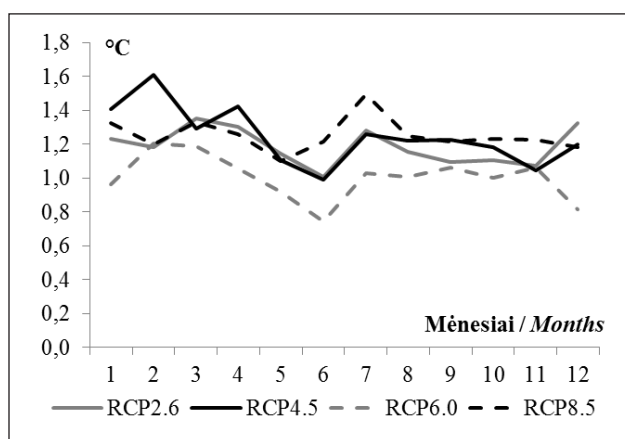
1 lentelė. Prognozuojami oro temperatūros pokyčiai (°C) 2016–2035 m. laikotarpiu (24 modelių mediana, 10 ir 90 procentiliai), palyginti su baziniu 1986–2005 m. laikotarpiu

Table 1. The projected air temperature changes (°C) in 2016–2035 (median value, 10th and 90th percentiles of 24 models outputs) compared to the base period of 1986–2005

RCP	Gardelės Cells	Žiema / Winter			Pavasaris / Spring			Vasara / Summer			Ruduo / Autumn			Metai / Annual		
		Med	10	90	Med	10	90	Med	10	90	Med	10	90	Med	10	90
2.6	1	1,3	0,4	2,4	1,3	0,5	1,9	1,2	0,5	2,0	1,0	0,5	1,8	1,2	0,5	1,9
	2	1,4	0,4	2,5	1,3	0,4	2,1	1,1	0,5	1,9	1,0	0,3	1,9	1,2	0,6	1,9
	3	1,3	0,3	2,6	1,3	0,4	2,1	1,2	0,5	1,9	1,0	0,2	1,9	1,2	0,6	2,0
	4	1,3	0,4	2,5	1,1	0,4	2,0	1,2	0,5	1,9	1,0	0,4	1,9	1,2	0,6	1,9
	5	1,3	0,5	2,6	1,2	0,4	2,2	1,2	0,5	1,9	1,0	0,4	2,0	1,2	0,6	2,0
4.5	1	1,1	0,6	2,3	1,3	0,6	1,8	1,1	0,7	1,8	1,1	0,7	1,9	1,2	0,6	1,8
	2	1,3	0,6	2,7	1,5	0,6	1,9	1,1	0,6	1,8	1,1	0,7	1,9	1,4	0,7	1,9
	3	1,4	0,6	2,6	1,4	0,6	2,2	1,1	0,6	1,7	1,2	0,7	1,9	1,4	0,8	2,0
	4	1,4	0,6	2,4	1,3	0,5	1,8	1,2	0,6	1,8	1,1	0,7	1,8	1,3	0,7	1,8
	5	1,4	0,5	2,5	1,3	0,5	2,1	1,2	0,6	1,8	1,1	0,8	1,9	1,3	0,7	1,9
6.0	1	1,0	0,2	2,0	1,1	0,4	1,9	1,0	0,5	1,7	0,8	0,5	1,5	1,1	0,5	1,7
	2	1,1	0,2	2,5	1,1	0,4	2,0	0,9	0,5	1,8	0,9	0,6	1,7	1,1	0,5	1,8
	3	1,1	0,2	2,6	1,1	0,3	2,1	1,0	0,5	1,7	0,9	0,6	1,7	1,1	0,5	1,8
	4	1,0	0,2	2,5	1,0	0,2	1,9	0,9	0,3	1,8	1,0	0,5	1,8	1,1	0,5	1,6
	5	1,0	0,2	2,5	1,1	0,1	2,0	0,9	0,5	1,7	1,0	0,5	1,8	1,1	0,6	1,7

1 lentelė (tęsinys)
Table 2. (continued)

RCP	Gardelės Cells	Žiema / Winter			Pavasaris / Spring			Vasara / Summer			Ruduo / Autumn			Metai / Annual		
		Med	10	90	Med	10	90	Med	10	90	Med	10	90	Med	10	90
8.5	1	1,2	0,4	2,4	1,1	0,5	2,0	1,2	0,7	2,2	1,2	0,8	1,8	1,2	0,6	2,1
	2	1,4	0,4	2,8	1,1	0,4	2,3	1,3	0,6	2,2	1,3	0,8	1,8	1,3	0,7	2,0
	3	1,4	0,4	2,8	1,3	0,4	2,4	1,3	0,7	2,1	1,4	0,9	1,8	1,3	0,8	2,1
	4	1,2	0,3	2,6	1,2	0,4	2,1	1,3	0,7	2,2	1,4	0,8	1,8	1,2	0,7	2,0
	5	1,3	0,3	2,7	1,2	0,5	2,3	1,3	0,7	2,3	1,4	0,9	1,9	1,2	0,7	2,1



3 pav. Prognozuojami oro temperatūros pokyčiai Lietuvoje iki 2035 m. (penkių gardelių vidurkis), remiantis RCP scenarijais

Fig. 3. The projected air temperature changes in Lithuania up to 2035 (mean value of all 5 cells) under RCPs

liepos mėn. Pirmoje ir ketvirtoje gardelėse oro temperatūra šį mėnesį pakils po 1,5 °C, o penktoje gardelėje – 1,6 °C.

Mažiausi oro temperatūros pokyčiai prognozuojami pagal RCP6.0 scenarijų. Didžiojoje Lietuvos dalyje mažiausiai išaugs birželio mėn. oro temperatūra (pokyčiai neturėtų viršyti 0,7–0,8 °C), o pietvakarių Lietuvoje mažiausias oro temperatūros augimas prognozuojamas gruodį – 0,6 °C.

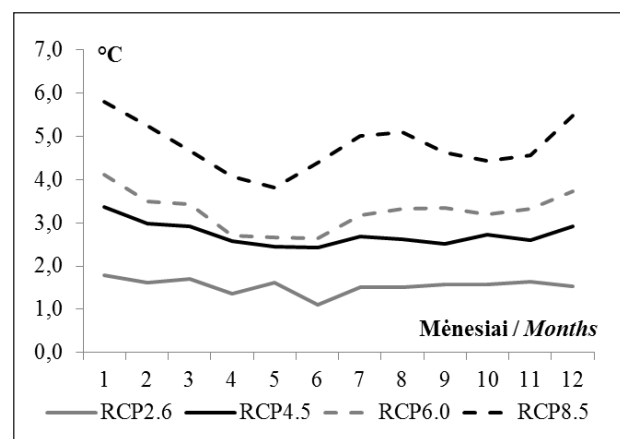
Tikėtina, jog pirmaisiais XXI a. dešimtmečiais vidinių klimato sistemos svyravimų nulemtos oro temperatūros fluktuacijos vis dar gali būti didesnės už pokyčius, atsiradusius dėl išorinių veiksnių (daugiausia antropogeninės kilmės šiltnamio dujų) poveikio, todėl didelių skirtumų tarp scenarijų nėra (Kirtman ir kt., 2013).

Prognozuojama, kad paskutiniaisiais XXI a. dešimtmečiais oro temperatūra Lietuvoje ir toliau augs

(2 lentelė, 4 pav.). Vidutinė metinė temperatūra gali išaugti nuo 1,5 iki 5,1 °C. Didžiausi pokyčiai Lietuvos teritorijoje XXI a. prognozuojami pagal RCP8.5 scenarijų, o mažiausi – pagal RCP2.6 scenarijų.

XXI a. pabaigoje oro temperatūra Lietuvoje sparčiausiai augs šaltuoju metų laikotarpiu. Remiantis RCP8.5 scenarijumi, XXI a. pabaigoje Lietuvoje labiausiai išaugs sausio mėn. vidutinė oro temperatūra. Daugiausiai oro temperatūra šį mėnesį pakils Šiaurės rytų Lietuvoje, pokyčiai čia gali siekti iki 6,3 °C. Mažiausiai sausio mėn. oro temperatūra pasikeis pirmoje gardelėje – 5,3 °C. Žymų oro temperatūros augimą modeliai numato ir rugpjūčio mėn. Pagal RCP8.5 scenarijų, oro temperatūros pokyčiai šį mėnesį skirtingose šalies dalyse gali kisti nuo 4,7 iki 5,4 °C.

XXI a. pabaigoje mažiausiai turėtų pasikeisti gegužės mėn. vidutinė oro temperatūra. Net ir pagal



4 pav. Prognozuojami oro temperatūros pokyčiai Lietuvoje iki 2100 m. (penkių gardelių vidurkis), remiantis RCP scenarijais

Fig. 4. The projected air temperature changes in Lithuania up to 2100 (mean value of all 5 cells) under RCPs

2 lentelė. Prognozuojami oro temperatūros pokyčiai (°C) 2081–2100 m. laikotarpiu (24 modelių mediana, 10 ir 90 procentiliai), palyginti su baziniu 1986–2005 m. laikotarpiu

Table 2. The projected air temperature changes (°C) in 2081–2100 (median value, 10th and 90th percentiles of 24 models outputs) compared to the base period of 1986–2005

RCP	Gardelės Cells	Žiema / Winter			Pavasaris / Spring			Vasara / Summer			Ruduo / Autumn			Metai / Annual		
		Med	10	90	Med	10	90	Med	10	90	Med	10	90	Med	10	90
2.6	1	1,4	0,6	3,0	1,6	0,2	2,5	1,4	0,1	2,8	1,5	0,4	2,4	1,6	0,4	2,6
	2	1,4	0,4	3,3	1,5	0,1	2,5	1,4	0,2	2,7	1,5	0,5	2,4	1,6	0,4	2,6
	3	1,6	0,3	3,6	1,5	0,1	2,8	1,4	0,3	2,7	1,6	0,6	2,5	1,7	0,5	2,8
	4	1,5	0,1	3,3	1,4	0,1	2,5	1,4	0,1	2,8	1,6	0,6	2,4	1,5	0,4	2,6
	5	1,6	0,0	3,6	1,5	0,0	2,7	1,3	0,1	2,7	1,8	0,6	2,5	1,8	0,5	2,8
4.5	1	2,9	2,1	4,4	2,5	1,6	3,6	2,3	1,4	3,5	2,5	1,6	3,7	2,7	1,7	3,9
	2	3,2	2,1	4,9	2,9	1,5	3,8	2,5	1,3	4,0	2,5	1,7	3,6	2,8	1,7	3,8
	3	3,3	2,2	5,0	2,8	1,7	3,9	2,5	1,4	3,9	2,5	2,0	3,7	2,9	1,9	4,0
	4	2,9	1,8	4,5	2,6	1,3	3,6	2,7	1,2	4,0	2,5	1,9	3,5	2,7	1,7	3,6
	5	3,1	1,9	4,7	2,7	1,3	3,7	2,7	1,2	4,0	2,5	2,0	3,6	2,8	1,7	3,8
6.0	1	3,5	2,2	5,0	2,8	1,9	4,1	3,0	1,7	4,3	3,1	2,1	4,1	3,2	2,3	4,4
	2	4,0	2,6	5,5	2,7	1,8	4,4	3,1	1,6	4,6	3,2	2,2	4,1	3,3	2,4	4,5
	3	4,2	2,7	5,7	3,1	1,8	4,9	3,2	1,7	4,8	3,3	2,3	4,2	3,5	2,4	4,7
	4	3,6	2,4	5,4	2,7	1,5	4,4	3,2	1,6	5,0	3,3	2,1	4,1	3,3	2,2	4,4
	5	3,7	2,5	5,6	2,7	1,6	4,6	3,2	1,8	5,0	3,3	2,2	4,2	3,3	2,2	4,6
8.5	1	5,1	3,4	6,9	4,2	3,1	5,8	4,5	2,8	6,2	4,3	3,3	6,1	4,6	3,5	6,2
	2	5,8	3,8	7,5	4,1	2,9	5,9	4,7	2,9	6,9	4,4	3,5	6,2	4,9	3,7	6,4
	3	6,1	4,2	7,9	4,3	3,1	6,4	5,0	3,1	7,1	4,6	3,6	6,4	5,1	4,0	6,7
	4	5,3	3,8	7,2	4,0	3,0	5,8	5,0	3,1	7,3	4,4	3,5	6,2	4,7	3,6	6,3
	5	5,5	4,1	7,5	4,1	3,0	6,1	5,2	3,2	7,4	4,5	3,6	6,4	4,9	3,8	6,5

RCP8.5 scenarijų oro temperatūros pokyčiai ši mėnesį neviršys 3,9 °C.

Ilgalaikių scenarijų atveju yra prognozuojama, jog išorinio (daugiausiai antropogeninės kilmės šiltnamio dujų) poveikio nulemti oro temperatūros pokyčiai bus žymiai stipresni nei atsirandantys dėl vidinių klimato sistemos svyravimų. Todėl klimato rodiklių pasikeitimai tiesiogiai priklausys nuo prognozuojamo energinio poveikio klimato sistemai stiprumo, ir skirtumai tarp RCP scenarijų bus dideli (Kirtman ir kt., 2013).

Atnaujintų oro temperatūros scenarijų Lietuvoje pagal skirtingus RCP palyginimas su ankstesnių tyrimų rezultatais, paremtais SRES (Rimkus ir kt., 2007), rodo, kad prognozuojami pokyčiai išlieka gana panašūs. Vidutinė oro temperatūra iki 2100 m. turėtų išaugti 1,5–5,1 °C, anksčiau buvo prognozuojamas 2,8–4,7 °C prieaugis. Dabartiniuose scenarijuose prognozuojami mažesni žiemos oro temperatūros pokyčiai (1,4–6,1 °C) nei

anksčiau (4,7–7,9 °C). Vasaros temperatūra turėtų kilti stipriau (1,3–5,2 °C) nei buvo prognozuojama pagal TKKK ketvirtajai ataskaitai pateiktus klimato modelių išvesties duomenis (1,7–3,3 °C).

Kritulių kiekio scenarijai

Šioje darbo dalyje įvertinta, kaip pasikeis kritulių kiekis (procentais) kiekvienoje Lietuvos teritorijoje išskirtoje gardelėje iki 2035 ir 2100 m.

Kritulių kiekis Vilniuje pradėtas matuoti 1887 m. Nustatyta, jog šiuo laikotarpiu Vilniuje išmatuota metinė kritulių suma yra žymiai mažesnė už modeliaivimo rezultatus. Modelių reikšmių mediana penktoje gardelėje yra vidutiniškai 19 % aukštesnė. Kitų tyrimų metu buvo nustatyta, jog CMIP5 ansamblių sudarantys modeliai Centrinei Europai pateikia pernelyg aukštas šalčio laikotarpio bei per mažas vasaros reikšmes (Liu ir kt., 2014). Tai iš dalies paaiškinama ribotu šiuolaikinių modelių gebėjimu modeliuoti itin gausius kritulius (jie

sudaro nemažą vasaros kritulių dalį) bei generuojamu pernelyg dideliu dienų su krituliais skaičiumi (tai veikia šaltojo laikotarpio kritulių sumą, nes šiam metų laikui būdingi dažni, bet negausūs krituliai) (Sun ir kt., 2006).

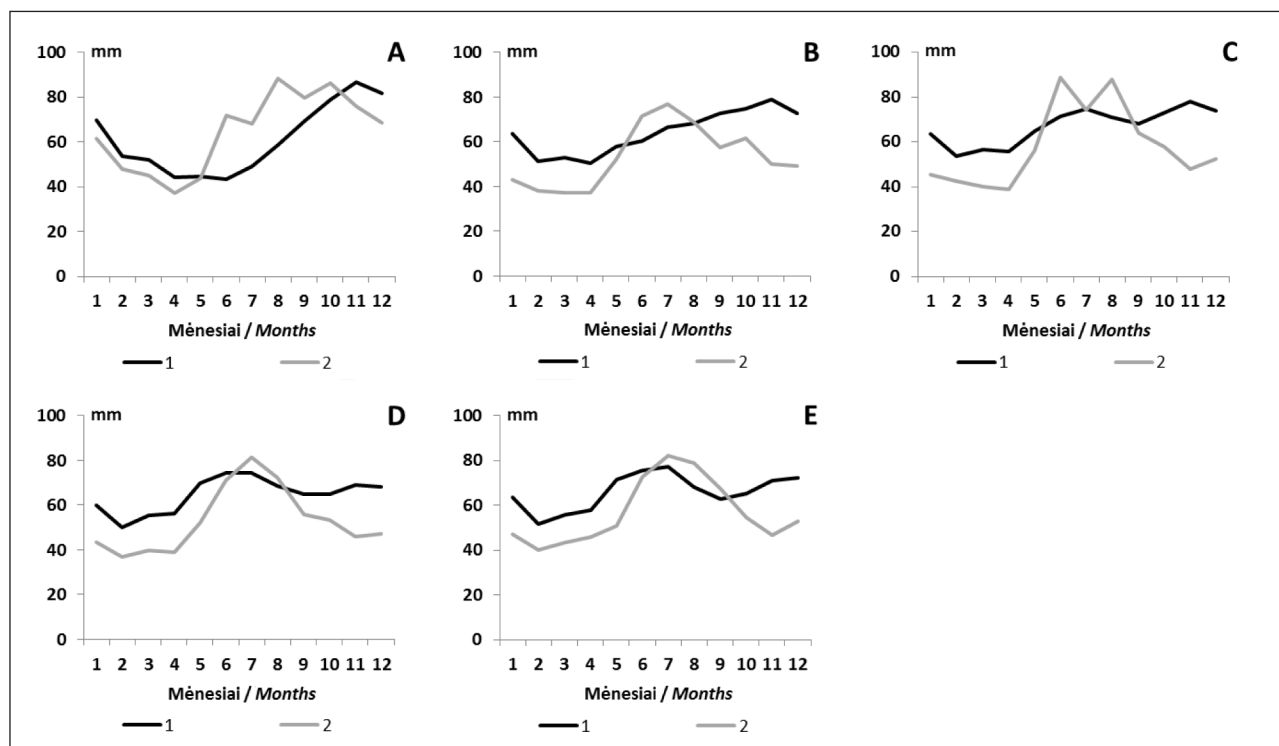
Visa tai patvirtina ir mūsų gauti rezultatai (5 pav.). Visose gardelėse 1986–2005 m. modeliuojamas per didelis šaltojo periodo kritulių kiekis ir tik vasaros kritulių yra išmatuojama daugiau. Išsiskiria pirma gardelė, kur didesnis nei sumodeliuotas kritulių kiekis yra išmatuotas birželio–spalio mėnesiais. Tai galima paaiškinti tuo, kad gardelė iš dalies yra virš jūros, o sausumoje vasarą bei rudens pradžioje iškrenta didesnis kritulių kiekis nei virš jūros akvatorijos. Todėl šioje gardelėje išmatuotas metinis kritulių kiekis yra 6 % didesnis nei sumodeliuotas. Kitose gardelėse sumodeliuotas kritulių kiekis yra didesnis: nuo 16 (3 ir 5 gardelėje) iki 21 % (4 gardelėje).

Iki 2035 m. vidutinis metinis kritulių kiekis turėtų išaugti 1,6–4,0 %. Labiausiai kritulių kiekis turėtų padidėti pirmoje, mažiausiai – ketvirtoje gardelėje. Didžiausi pokyčiai prognozuojami pa-

gal RCP4.5, o mažiausi – pagal RCP6.0 scenarijų (3 lentelė).

Modelių išvesties rezultatai pagal visus keturis RCP scenarijus XXI a. pradžioje visoje Lietuvos teritorijoje prognozuoja kritulių kiekio augimą spalio–balandžio ir birželio mėn. Rugsėjo mėn. kritulių kiekio mažėjimas Lietuvos teritorijoje yra prognozuojamas visų RCP scenarijų, išskyrus Vakarų Lietuvą (RCP4.5). Gegužės, liepos ir rugpjūčio mėn. prognozuojamų kritulių kiekio pokyčių kryptis Lietuvos teritorijoje bei tarp scenarijų išsiskiria.

Iki 2035 m. Lietuvos teritorijoje kritulių kiekis labiausiai išaugs pirmoje metų pusėje (6 pav.). Didžiausių kritulių kiekio pokyčių tikimasi Vakarų Lietuvoje, mažiausių – pietrytinėje šalies dalyje. Vakarų, Vidurio ir Pietryčių Lietuvoje kritulių kiekis labiausiai išaugs balandžio mėn. Šiuos pokyčius modeliai prognozuoja pagal optimistinį RCP2.6 scenarijų. Šiaurės rytinėje Lietuvos dalyje sparčiausias kritulių kiekio augimas tikėtinas vasario mėn. – 8,3 %, šalies pietvakariuose – birželio mėn. (8,0 %).



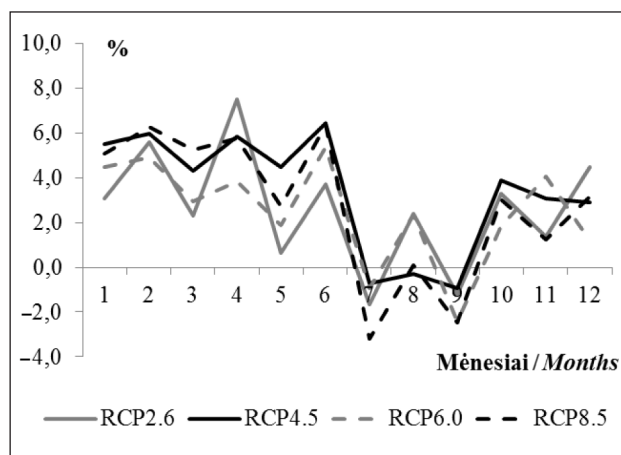
5 pav. Sumodeliuotas (24 modelių mediana) (1) ir išmatuotas (LHMT tinklo stočių vidurkis) (2) kritulių kiekis 1-oje (A), 2-oje (B), 3-ioje (C), 4-oje (D) ir 5-oje (E) gardelėse Lietuvos teritorijoje 1986–2005 m.

Fig. 5. Simulated (24 models median) (1) and measured (LHMS network stations average) (2) precipitation amount in the first (A), second (B), third (C), fourth (D) and fifth (E) cells in 1986–2005

3 lentelė. Prognozuojami kritulių kiekio pokyčiai (%) 2016–2035 m. laikotarpiu (24 modelių mediana, 10 ir 90 procentiliai), palyginti su baziniu 1986–2005 m. laikotarpiu

Table 3. The projected precipitation amount changes (%) in 2016–2035 (median value, 10th and 90th percentiles of 24 models outputs) compared to the base period of 1986–2005

RCP	Gardelės Cells	Žiema / Winter			Pavasaris / Spring			Vasara / Summer			Ruduo / Autumn			Metai / Annual		
		Med	10	90	Med	10	90	Med	10	90	Med	10	90	Med	10	90
2.6	1	6,4	-1,1	17,6	2,4	-3,0	12,5	1,7	-13,1	9,3	2,4	-6,9	8,2	3,7	-1,4	7,3
	2	5,0	-2,8	17,8	4,4	-3,3	11,4	2,7	-6,8	10,7	2,6	-7,7	10,3	3,8	-2,7	7,6
	3	4,4	-0,4	17,8	3,6	-8,4	11,8	2,7	-3,5	9,1	2,1	-6,5	9,8	3,7	-4,0	8,0
	4	3,5	-4,3	16,9	2,9	-4,3	11,8	3,3	-5,1	17,3	1,6	-4,0	6,4	1,7	-3,0	8,3
	5	3,4	-4,1	14,4	4,5	-3,8	13,4	2,4	-9,0	12,5	1,7	-4,4	8,8	2,3	-3,3	8,0
4.5	1	4,7	-1,5	13,5	4,5	-2,8	11,8	2,1	-7,1	9,6	4,8	-4,7	11,4	4,4	-1,6	8,5
	2	4,4	0,2	15,2	5,5	-2,3	12,9	3,3	-5,5	6,5	3,2	-5,3	11,4	3,8	-2,9	7,4
	3	5,5	-0,2	12,9	6,8	-2,1	14,3	2,5	-5,5	5,6	3,0	-3,4	10,0	3,6	-2,2	7,2
	4	3,8	-3,6	9,9	4,1	-2,6	13,2	0,2	-6,4	5,4	3,5	-7,6	6,9	2,0	-4,5	6,6
	5	4,0	-3,4	9,9	4,9	-2,9	14,0	0,3	-9,1	7,8	2,2	-8,6	6,3	1,3	-3,1	6,4
6.0	1	4,1	-0,2	16,1	3,2	-7,4	12,0	0,6	-4,5	13,6	1,5	-4,9	6,8	2,3	-0,7	7,7
	2	3,5	-0,9	15,7	4,1	-6,8	11,3	2,7	-3,9	14,0	1,6	-4,1	6,8	2,6	-2,0	6,5
	3	3,5	-0,9	14,2	3,1	-6,2	9,6	2,2	-3,2	12,6	0,2	-3,2	8,4	2,5	-2,0	7,1
	4	3,1	-2,5	15,7	3,7	-4,8	8,8	3,1	-8,1	14,2	-0,1	-5,3	7,0	1,6	-1,3	9,6
	5	2,0	-2,4	13,8	3,8	-7,9	9,6	4,4	-10,1	12,0	0,8	-3,7	6,8	2,1	-1,4	8,3
8.5	1	6,2	1,0	16,5	4,1	-1,9	12,7	0,9	-6,8	12,1	0,8	-2,1	8,4	4,0	-0,3	8,9
	2	5,0	-1,4	17,3	5,6	-1,2	21,2	1,1	-3,3	15,9	1,8	-3,6	7,3	3,3	-0,4	8,7
	3	6,1	0,1	14,7	5,4	-0,3	21,8	0,9	-3,8	9,9	1,4	-2,8	8,3	3,5	0,1	9,1
	4	4,0	0,0	13,0	4,3	-1,9	11,7	2,4	-5,1	12,5	0,4	-5,5	6,7	1,8	-0,9	9,5
	5	4,6	0,3	10,2	4,8	-1,2	17,8	3,0	-9,0	8,5	1,2	-8,1	4,8	2,5	-1,4	6,2



6 pav. Prognozuojami kritulių kiekio pokyčiai (%) Lietuvoje iki 2035 m. (penkių gardelių vidurkis), remiantis RCP scenarijais

Fig. 6. The projected precipitation amount changes (%) in Lithuania up to 2035 (mean value of all 5 cells) under RCPs

Modelių išvesties duomenys didžiausius neigiamus kritulių kiekio pokyčius visose gardelėse rodo liepos mėn. Labiausiai kritulių sumažės Pietryčių Lietuvoje – -4,2 %, mažiausiai (-2,6 %) – Lietuvos šiaurės rytuose.

Dar didesni kritulių kiekio pokyčiai prognozuojami XXI a. pabaigoje. Vidutinis metinis kritulių kiekis gali išaugti nuo 3,7 iki 13,5 % (4 lentelė). Šiaurinėje šalies dalyje prognozuojami didesni pokyčiai nei pietinėje. Mažiausiai metinis kritulių kiekis pasikeis pagal RCP2.6, o daugiausiai – pagal RCP8.5 scenarijų.

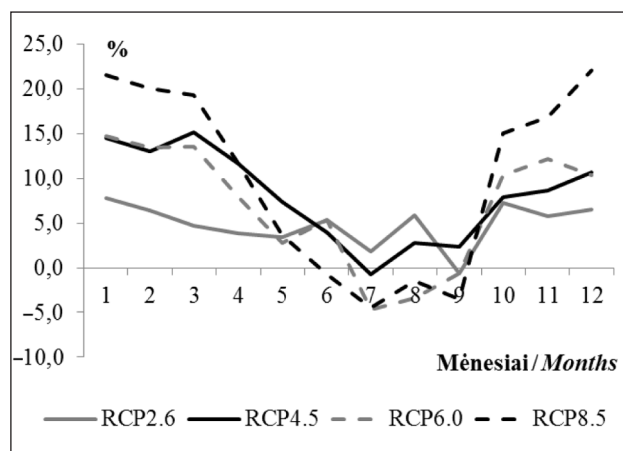
Pagal visus RCP scenarijus kritulių kiekio augimas yra prognozuojamas spalio–gegužės mėn. Likusiais mėnesiais prognozuojama kritulių kiekio pokyčių kryptis tarp RCP scenarijų skiriasi.

XXI a. pabaigoje kritulių kiekis labiausiai išaugs šaltuoju metų laiku (7 pav.). Vakarų ir Pietryčių Lietuvoje kritulių kiekis sparčiausiai augs

4 lentelė. Prognozuojami kritulių kiekio pokyčiai (%) 2081–2100 m. laikotarpiu (24 modelių mediana, 10 ir 90 procentiliai), palyginti su baziniu 1986–2005 m. laikotarpiu

Table 4. The projected precipitation amount changes (%) in 2081–2100 (median value, 10th and 90th percentiles of 24 models outputs) compared to the base period of 1986–2005

RCP	Gardelės Cells	Žiema / Winter			Pavasaris / Spring			Vasara / Summer			Ruduo / Autumn			Metai / Annual		
		Med	10	90	Med	10	90	Med	10	90	Med	10	90	Med	10	90
2.6	1	8,9	-0,4	20,8	6,2	-4,4	14,4	7,0	-7,9	20,1	5,5	-4,2	16,6	4,3	-0,1	13,8
	2	6,5	-2,3	20,0	4,3	-5,3	15,2	4,9	-6,2	15,4	5,2	-4,5	16,1	4,0	-0,9	13,4
	3	8,7	-3,5	27,1	3,2	-5,2	15,1	4,5	-7,5	14,5	4,1	-2,9	15,0	4,2	-1,1	14,2
	4	5,8	-5,4	18,6	3,1	-7,0	18,3	6,0	-12,9	18,1	4,7	-6,7	17,0	3,8	-1,6	14,8
	5	5,2	-3,1	19,6	3,6	-5,3	16,8	6,3	-10,9	15,3	3,4	-7,2	12,5	3,7	-3,0	12,2
4.5	1	14,7	7,5	31,7	11,2	1,0	19,9	2,5	-13,2	22,3	9,7	-2,7	17,7	9,0	3,7	15,7
	2	13,2	6,0	31,6	12,4	2,7	23,0	2,2	-14,1	17,9	7,9	-2,5	18,4	7,9	2,8	16,3
	3	12,9	7,3	29,4	11,0	3,9	25,6	1,9	-14,4	13,4	6,5	0,3	16,9	7,8	2,0	17,9
	4	12,0	2,8	30,2	10,5	2,2	21,6	2,5	-19,4	14,6	5,4	-5,1	13,3	5,5	0,3	15,3
	5	11,4	5,1	27,6	11,5	4,4	24,4	3,4	-19,8	13,6	5,3	-1,1	14,0	6,9	0,2	14,9
6.0	1	13,4	7,3	27,4	8,1	-1,5	20,9	4,4	-18,7	13,6	8,0	-1,7	21,8	7,6	3,2	15,5
	2	14,3	5,9	28,0	7,7	-0,3	22,2	4,9	-16,8	16,9	8,6	-2,3	22,3	6,4	0,6	16,9
	3	14,3	5,8	34,7	9,7	-0,1	21,2	3,2	-16,5	20,2	5,8	-2,4	20,8	7,4	-0,7	18,5
	4	10,2	2,9	29,4	8,4	-2,3	24,7	1,8	-23,1	11,5	1,7	-5,7	16,0	5,0	-2,9	16,7
	5	11,5	4,2	31,0	7,3	-2,3	22,7	2,6	-19,8	12,0	1,0	-5,5	13,8	5,3	-2,0	17,3
8.5	1	25,8	14,0	42,0	15,7	3,7	27,1	0,4	-26,7	26,4	11,8	2,8	26,9	13,2	7,4	21,0
	2	21,6	11,4	42,3	12,7	4,4	30,0	-1,5	-30,8	22,3	11,7	1,0	24,7	10,8	3,8	20,2
	3	26,9	12,0	48,3	14,3	6,2	30,3	-2,8	-30,7	17,2	10,2	3,2	22,7	10,5	3,7	20,0
	4	18,7	6,0	31,1	11,8	2,8	27,1	3,5	-36,1	12,8	4,9	-1,2	22,3	6,5	0,6	16,3
	5	21,5	6,9	38,2	13,4	0,9	29,0	-1,4	-36,1	7,6	2,7	-2,3	20,2	4,8	0,0	16,7



7 pav. Prognozuojami kritulių kiekio pokyčiai (%) Lietuvoje iki 2100 m. (penkių gardelių vidurkis), remiantis RCP scenarijais

Fig. 7. The projected precipitation amount changes (%) in Lithuania up to 2100 (mean value of all 5 cells) under RCPs

sausio mėn., atitinkamai po 26,5 ir 15,3 %, o Vidurio Lietuvoje ir šiaurės rytinėje Lietuvos dalyje – gruodį. Tikėtini pokyčiai šiose šalies dalyse sieks atitinkamai 26,6 ir 27,5 %. Pietvakarinėje Lietuvos dalyje kritulių kiekio reikšmės labiausiai išaugs kovą, prognozuojamas kritulių kiekis bus 18,7 % didesnis nei baziniu laikotarpiu. Šiuos pokyčius Lietuvos teritorijoje modeliai numato pagal RCP8.5 scenarijų. Prognozuojama, kad kritulių kiekio pokyčiai ateityje bus didesni šiaurinėje Lietuvos dalyje.

Šiltuoju metų laiku prognozuojamas kritulių kiekio mažėjimas. Labiausiai kritulių kiekis turėtų sumažėti šalies pietryčiuose, o mažiausiai – vakarinėje dalyje. Vidurio, šiaurės rytų ir Pietryčių Lietuvoje kritulių kiekis labiausiai sumažės liepos mėn. Arčiausiai jūros esančioje Lietuvos dalyje sparčiausias kritulių kiekio mažėjimas prognozuojamas rugpjūtį, o pietvakariuose – rugsėjį.

Palyginus naujausias kritulių kiekio kaitos tendencijas su anksčiau Lietuvai prognozuotais dydžiais (Rimkus ir kt., 2007), didesnių skirtumų nepastebėta, t. y. bendros prognozuojamų pokyčių tendencijos išlieka tokios pat. Šio tyrimo metu nustatyta, kad kritulių kiekis augs visais metų laikais (iki ~27 %), tik vasarą galimas nedidelis kritulių kiekio sumažėjimas (-2,8 %). Ankstesni skaičiavimai rodė, kad kritulių kiekis daugiau augs pavasarį ir žiemą (iki ~45 %), o rudens ir vasaros metu mažės stipriau (-13 %). Taigi, naujausi modelių išvesties duomenys numato ne tokį stiprų kritulių kiekio persiskirstymą per metus.

IŠVADOS

1. Remiantis 24 modelių išvesties duomenimis, XXI a. oro temperatūra Lietuvos teritorijoje didės visais metų laikais, o teritoriniai pokyčiai bus nedideli (iki 0,5 °C). Prognozuojama, jog iki 2035 m. vidutinė metinė temperatūra padidės 1,1–1,4 °C (medianinės modelių išvesties duomenų reikšmės pagal skirtingus RCP). Didžiausi pokyčiai tikėtini pagal RCP4.5, o mažiausi – pagal RCP6.0 scenarijų. Labiausiai išaugs šaltojo metų laikotarpio temperatūra (vasarį – 1,5–1,8 °C pagal skirtingus RCP). Iki 2100 m. vidutinė metinė temperatūra gali pakilti 1,5–5,1 °C. Didžiausi pokyčiai Lietuvos teritorijoje XXI a. pabaigoje tikėtini pagal RCP8.5 scenarijų, o mažiausi – pagal RCP2.6. Oro temperatūra sparčiausiai augs šaltuoju metų laikotarpiu. Vidutinė sausio mėn. temperatūra Šiaurės rytų Lietuvoje gali padidėti 6,3 °C pagal RCP8.5 scenarijų.

2. Iki 2035 m. vidutinis metinis kritulių kiekis gali išaugti 1,6–4,0 %. Didžiausi kritulių kiekio pokyčiai prognozuojami Vakarų Lietuvoje, mažiausi – šalies pietvakariuose. Kritulių kiekio augimas prognozuojamas sausio–birželio (daugiausiai balandį), šiek tiek mažesnis spalio–gruodžio mėn., o liepą–rugsėį galimas kritulių kiekio mažėjimas (ypač liepą). Panašios tendencijos turėtų išsilaikyti iki XXI a. pabaigos. Vidutinis metinis kritulių kiekis iki 2100 m. turėtų išaugti nuo 3,7 iki 13,5 %. Mažiausiai metinis kritulių kiekis pasikeis pagal RCP2.6, o daugiausiai – pagal RCP8.5 scenarijų. Pagal visus RCP scenarijus kritulių kiekio augimas yra prognozuojamas spalio–gegužės mėn. (daugiausiai gruodį ir sausį). Likusiais mėnesiais pro-

gnozuojama kritulių kiekio pokyčių kryptis tarp RCP scenarijų skiriasi. Šiaurinėje šalies dalyje tikėtini didesni kritulių kiekio pasikeitimai.

PADEKA

Autoriai dėkoja tyrimus rėmusiai Lietuvos–Šveicarijos bendradarbiavimo programai, kuria siekiama sumažinti ekonominius ir socialinius skirtumus išsiplėtusioje Europos Sąjungoje; projekto Nr. CH-3-ŠMM-01/05.

Gauta 2014 08 16
Priimta 2014 09 30

LITERATŪRA

1. Andrews T., Forster P., Boucher O., Bellouin N., Jones A. 2010. Precipitation, radiative forcing and global temperature change. *Geophysical Research Letters*. 37: L14701.
2. Arustienė J., Kriukaitė J., Satkūnas J., Gregorauskas M. 2013. Climate change and groundwater – from modelling to some adaptation means in example of Klaipėda Region, Lithuania. In: Schmidt-Thome P., Klein J. (eds.). *Climate Change Adaptation in Practice: From Strategy Development to Implementation*. 157–169.
3. Bukantis A. 2001. Climatic fluctuations in Lithuania against a background of Global Warming. *Acta Zoologica Lituanica*. 11(2): 113–120.
4. Bukantis A., Gulbinas Z., Kazakevičius S., Kilkus K., Mikelinskienė 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.
5. Bukantis A., Rimkus E. 2005. Climate variability and change in Lithuania. *Acta Zoologica Lituanica*. 15(2): 100–104.
6. Bukantis A., Rimkus E., Stankūnavičius G. 2003. Atmosferos taršos kaitos urbanizuotose teritorijose prognozė. *Geografijos metraštis*. 36(2): 7–19.
7. Gečaitė I., Rimkus E. 2010. Sniego dangos režimas Lietuvoje. *Geografija*. 46(1–2): 17–24.
8. Harris G. R., Collins M., Sexton D. M. H., Murphy J. M., Booth B. B. B. 2010. Probabilistic projections for 21st century European climate. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 10: 2009–2020.
9. IPCC, 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker T. F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S. K.,

- Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P. M. (eds.). Cambridge: Cambridge University Press.
10. Jacob D., Petersen J., Eggert B., Alias A., Christensen O. B., Bouwer L., Braun A., Colette A., Déqué M., Georgievski G., Georgopoulou E., Gobiet A., Menut L., Nikulin G., Haensler A., Hempelmann N., Jones C., Keuler K., Kovats S., Kröner N., Kotlarski S., Kriegsmann A., Martin E., Meijgaard E., Moseley C., Pfeifer S., Preuschmann S., Radermacher C., Radtke K., Rechid D., Rounsevell M., Samuelsson P., Somot S., Sousana J.-F., Teichmann C., Valentini R., Vautard R., Weber B., Yiou P. 2014. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*. 14(2): 563–578.
 11. Jakimavičius D., Kriaučiūnienė J. 2013. The climate change impact on the water balance of the Curonian Lagoon. *Water Resources*. 40(2): 120–132.
 12. Kažys J., Rimkus E., Bukantis A. 2009. Gausūs krituliai Lietuvoje 1961–2008 metais. *Geografija*. 45(1): 44–53.
 13. Kažys J., Valiukas D., Lutikas D. 2013. Methodology for Territorial Vulnerability Assessment in Agriculture in Panevėžys District, Lithuania. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES)*. 3(4): 637–644.
 14. Kharin V. V., Zwiers F. W., Zhang X., Wehner M. 2013. Changes in temperature and precipitation extremes in the CMIP5 ensemble. *Climatic Change*. 119(2): 345–357.
 15. Kilpys J. 2013. *Klimato kaitos prognozės Vilniaus miestui XXI a., remiantis A1B scenarijumi*. Vilnius: Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba prie Aplinkos ministerijos.
 16. Kirtman B., Power S. B., Adedoyin J. A., Boer G. J., Bojariu R., Camilloni I., Doblas-Reyes F. J., Fiore A. M., Kimoto M., Meehl G. A., Prather M., Sarr A., Schär C., Sutton R., van Oldenborgh G. J., Vecchi G., Wang H. J. 2013. Near-term Climate Change: Projections and Predictability. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker T. F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S. K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P. M. (eds.). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
 17. *Klimato kaita Klaipėdos mieste ir rajone: poveikis, sąnaudos ir prisitaikymas*. 2012. INTERREG IV B projekto: Climate Change: Impacts, Costs and Adaptation in the Baltic Sea Region (BaltCICA) leidinys, Vilnius: Vilniaus universiteto leidykla.
 18. *Klimato kaita: prisitaikymas prie jos poveikio Lietuvos pajūryje*. 2007. INTERREG III B projektas: Developing Policies & Adaptation Strategies to Climate Change in the Baltic Sea Region (ASTRA) leidinys. Vilnius: Vilniaus universiteto leidykla.
 19. Kriaučiūnienė J., Meilutytė-Barauskienė D., Rimkus E., Kažys J., Vincevičius A. 2008. Climate change impact on hydrological processes in Lithuanian Nemunas River Basin. *Baltica*. 21(1–2): 51–61.
 20. Lekevičius E., Samas A., Galvonaitė A., Valiukas D. 2012. Galimas klimato kaitos poveikis Lietuvos miškams. *Mokslas Gamtos mokslų fakultete*, 7-osios mokslinė konferencijos, vykusios 2012 m. spalio 5 d., pranešimai. Vilnius: Vilniaus universiteto leidykla. 60–70.
 21. Liu Z., Mehran A., Phillips T. J., AghaKouchak A. 2014. Seasonal and regional biases in CMIP5 precipitation simulations. *Climate Research*. 60: 35–50.
 22. Masaitytė M. 2008. Klimato kaitos XXI a. įtaka miesto oro užterštumui (Klaipėdos miesto pavyzdžiu). *Mokslas – Lietuvos ateitis*, VGTU 11-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos, vykusios 2008 m. balandžio 3 d., pranešimai. Vilnius: VGTU leidykla „Technika“. 97–107.
 23. Masui T., Matsumoto K., Hijioka Y., Kinoshita T., Nozawa T., Ishiwitari S., Kato E., Shukla P. R., Yamagata Y., Kainuma M. 2011. An emission pathway to stabilize at 6 W/m² of radiative forcing. *Climatic Change*. 109: 59–76.
 24. Meehl G. A., Covey C., Taylor K. E., Delworth T., Stouffer R. J., Latif M., McAvaney B., Mitchell J. F. B. 2007. THE WCRP CMIP3 Multimodel Dataset: A new era in climate change research. *Bulletin of American Meteorological Society*. 88: 1383–1394.
 25. Mickievič A., Rimkus E. 2013. Vidutinės oro temperatūros dinamika Lietuvoje. *Geografija*. 49(2): 114–122.
 26. Monier E., Sokolov A., Schlosser A., Scott J., Gao X. 2013. Probabilistic projections of 21st century climate change over Northern Eurasia. *Environmental Research Letters*. 8: 045008. DOI:10.1088/1748-9326/8/4/045008.
 27. Moss R. H., Edmonds J. A., Hibbard K. A., Manning M. R., Rose S. K., van Vuuren D. P., Carter T. R., Emori S., Kainuma M., Kram T., Meehl G. A., Mitchell J. F. B., Nakicenovic N., Riahi K., Smith S. J., Stouffer R. J., Thomson A. M., Weyant J. P., Wilbanks T. J. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*. 463: 747–756.
 28. Nakićenović N., Davidson O., Davis G., Grübler A., Kram T., Lebre La Rovere E., Metz B., Morita T., Pepper W., Pitcher H., Sankovski A., Shukla P., Swart R., Watson R., Dadi Z. 2000. *Special Report on Emissions Scenarios*. Cambridge: Cambridge University Press.
 29. Riahi K., Grubler A., Nakicenovic N. 2007. Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization. *Technological Forecasting and Social Change*. 74(7): 887–935.

30. Riahi K., Rao S., Krey V., Cho C., Chirkov V., Fischer G., Kindermann G., Nakicenovic N., Rafaj P. 2011. RCP 8.5 – A scenarios of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*. 109: 33–57.
31. Rimkus E., Kažys J., Bukantis A. 2009. Gausių kritulių Lietuvoje prognozė XXI amžiui pagal regioninį CCLM modelį. *Geografija*. 45(2): 122–130.
32. Rimkus E., Kažys J., Bukantis A., Krotovas A. 2011. Temporal variation of extreme precipitation events in Lithuania. *Oceanologia*. 53(1-TI): 259–277.
33. Rimkus E., Kažys J., Butkutė S., Gečaitė I. 2014. Snow cover variability in Lithuania over the last 50 years and its relationship with large-scale atmospheric circulation. *Boreal Environmental Research*. 19 (spaudoje).
34. Rimkus E., Kažys J., Junevičiūtė J., Stonevičius E. 2007. Lietuvos klimato pokyčių XXI amžiuje prognozė. *Geografija*. 43(2): 99–109.
35. Rimkus E., Korneev V., Pakhomau A., Stonevičius E. 2012a. *Climate Change in the Nemunas River Basin: Observed Trends and Future Predictions*. “River Basin Management and Climate Change Adaptation in the Neman River Basin” UNECE projekto ataskaita. Vilnius–Minsk.
36. Rimkus E., Valiukas D., Kažys J., Gečaitė I., Stonevičius E. 2012b. Dryness dynamics of the Baltic Sea region. *Baltica*. 25(2): 129–142.
37. Rimkus E., Kažys J., Stonevičius E., Valiuškevičius G. 2013. Adaptation to climate change in the Smeltalė River Basin, Lithuania. In: Schmidt-Thome P., Klein J. (eds.). *Climate Change Adaptation in Practice: From Strategy Development to Implementation*. 111–122.
38. 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.
39. Stonevičius E., Štaras A., Valiuškevičius G. 2008. Dirvožemio drėgmės režimo pokyčių XXI a. prognozės pagal skirtingus klimato kaitos scenarijus. *Geografija*. 44(1): 17–25.
40. Sun Y., Solomon S., Dai A., Portmann R. W. 2006. How often does it rain? *Journal of Climate*. 19: 916–934.
41. 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.
42. Thompson 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: 77–94. DOI: 10.1007/s10584-011-0151-4.
43. Valiuškevičius G., Bukantis A., Stonevičius E., Rimkus E., Kažys J., Štaras A. 2011. Klimato kaitos poveikio vertinimas. *Lietuvos vandens telkinių būklė ir ūkinės veiklos poveikis*. Red. B. Paukštys. 255–326.
44. 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 A. K. 2011a. A representative concentration pathway: an overview. *Climatic Change*. 109: 5–31.
45. van Vuuren D. P., Stehfest E., den Elzen M. G. J., Kram T., van Vliet J., Deetman S., Isaac M., Golde-wijk K. K., Hof A., Beltran A. M., Oostenrijk R., van Ruijven B. 2011b. RCP2.6: exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2 °C. *Climatic Change*. 109: 95–116.
46. Watterson I. G., Whetton P. H. 2011. Distributions of decadal means of temperature and precipitation change under global warming. *Journal of Geophysical Research*. 116: D07101.

Dovilė Keršytė, Egidijus Rimkus, Justas Kažys

NEAR-TERM AND LONG-TERM CLIMATE PROJECTIONS FOR LITHUANIA

Summary

This study provides projections of the major climate parameters (mean air temperature and precipitation amount) for the territory of Lithuania in the 21st century. Outputs of 24 climate models were taken from the KNMI (Royal Netherlands Meteorological Institute, Ministry of Infrastructure and the Environment) *Climate Explorer* database. Gridded monthly values of air temperature and precipitation amount were downloaded for the territory of Lithuania according to the RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 and RCP8.5 scenarios up to 2100. Projections were made for two periods: firstly, for the near-term future, which covers the period from 2016 to 2035, and, secondly, for the long-term period (2081–2100). For this purpose the mean air temperature and precipitation amount have been estimated for every month in each cell for 1986–2005 (base period), 2016–2035, and 2081–2100.

According to the median value of 24 models outputs air temperature increase throughout Lithuania by the year 2035 should be expected. The annual average temperature will increase by 1.1–1.4 °C. The largest changes are expected by RCP4.5, while the smallest changes are predicted by RCP6.0. Spatial differences will be very small. Positive changes in the cold period of the year will be higher than in the warm period. The largest air temperature changes are projected for February and March. The rapid air temperature rise according to RCP8.5 is predicted also for July.

Models projections show that in the second part of the twenty-first century air temperature in Lithuania

will continue to grow. The annual average temperature could increase from 1.5 to 5.1 °C up to 2100. The largest changes at the end of the twenty-first century can be expected by the RCP8.5 scenario while the lowest changes can be expected by RCP2.6. By the end of the twenty-first century the air temperature in Lithuania will also mostly increase during the cold period of the year. The air temperature rise in north-eastern Lithuania in January according to the RCP8.5 scenario can reach up to 6.3 °C.

It is projected that by 2016–2035 the average annual rainfall will increase by 1.6–4.0%. The largest rise is foreseen in Western Lithuania, while the smallest rise is expected in the south-western part of the country. The climate models provide the largest changes according to RCP4.5, and the smallest changes according to RCP6.0. Model outputs for all four RCP scenarios foresee precipitation amount growth in January–June and October–December throughout the Lithuanian territory at the beginning of the 21st century. In July–September the decrease of precipitation amount is projected, however, the sign of projected precipitation changes varies depending on RCP.

Projected precipitation amount changes at the end of the twenty-first century are larger. The mean annual precipitation may increase from 3.7 to 13.5%. Projected changes in the northern part of the country are higher than in the southern part. The smallest changes are foreseen under the RCP2.6 scenario, while the largest changes are foreseen according to RCP8.5. At the end of the 21st century precipitation amount will mostly increase in the cold season while decrease in precipitation amount during the warm season of the year is also projected at the end of the century.

Key words: climate change, RCP, air temperature, precipitation