

Klimato kaitos prognozės Vilniaus miestui XXI a., remiantis A1B scenarijumi



Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba
prie Aplinkos ministerijos

www.meteo.lt

Rudnios g. 6, LT-09300 Vilnius

2013 m.

Turinys

Santrauka.....	3
Ižanga.....	5
1.Klimato prognozių sudarymo metodika.....	6
1.1. Šiltnamio dujų emisijos scenarijai.....	6
1.2. Globalūs ir regioniniai klimato modeliai.....	7
2. Modeliavimo rezultatų ir matavimų Vilniaus meteorologijos stotyje palyginimas.....	10
3. Klimato pokyčiai Vilniaus mieste XXI a.....	14
3.1. Vidutinės metinės, mėnesio ir sezono temperatūros kaita.....	15
3.2. Metinės, mėnesio ir sezono vidutinės maksimalios temperatūros kaita.....	16
3.3. Metinės, mėnesio ir sezono vidutinės minimalios temperatūros kaita.....	17
3.5. Paros maksimalios oro temperatūros kaita.....	18
3.6. Paros minimalios oro temperatūros kaita.....	19
3.7. Karštų ir šaltų laikotarpių prognozė XXI amžiui.....	20
3.8. Metinio kritulių kiekio kaita.....	22
3.9. Vidutinio mėnesinio ir sezoninio kritulių kiekio kaita.....	23
3.10. Gausių kritulių kiekio kaita.....	24
3. Apibendrinimas	26
Literatūra.....	28
Priedai.....	29

Parengė: Justinas Kilpys

Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba prie Aplinkos ministerijos, Klimatologijos skyrius

Santrauka

Žemės klimatas – sudėtinga sistema, kurią lemia daugybė procesų ir faktorių. Vis didesnę poveikį atmosferos sudėčiai, o kartu ir Žemės klimatui daro žmogaus veikla. Antropogeninis poveikis pasireiškia globaliu mastu, todėl sudarant klimato kaitos prognozes Vilniaus miestui buvo remiamasi globalių ir regioninių klimato modelių išvesties duomenimis. **Klimato kaitos prognozėms sudaryti naudotas trijų klimato modelių (BCM-RCA, ECHAM5-REMO, HadCM3-HadRM) išvesties duomenų vidurkis.** Ateities klimato modeliavimo **rezultatai gauti naudojant A1B šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos scenarijų**, kuris yra dažnai naudojamas klimato kaitos studijose. Modeliavimo rezultatų paklaida dėl modelių ribotumo ir dėl natūralios rodiklių variacijos yra apie 1 °C temperatūrai ir 15 % krituliams (CH2011, 2011).

Prognozuojama, kad **XXI a. vidutinė, minimali ir maksimali temperatūra Vilniuje augs, o ryškiausi pokyčiai įvyks šaltuoju metų laiku.** Tikėtina, kad vidutinė metinė temperatūra kils apie 1,0 °C per 30 metų ir amžiaus pabaigoje bus 9,8 °C (1981-2010 m. buvo 6,8 °C). Panašiai keisis ir vidutinė minimali ir maksimali temperatūra (amžiaus pabaigoje ji sieks atitinkamai – 6,3 °C ir 13,8 °C). XXI a. pabaigoje vidutinė žiemos temperatūra Vilniuje taps teigiama (0,3 °C) ir už 1981-2010 m. vidurkį bus aukštesnė 3,7 °C. Taip pat nebebus fiksuojama didelių šalčių, kai temperatūra nukrenta žemiau -25 °C (1981-2010 m. tokių dienų pasitaikydavo beveik kasmet).

Augant temperatūrai keisis ir ekstremalių kaitrų pasikartojimas. **Stichinių kaitrų tikimybė išaugs apie 31 %** (kai maksimali temperatūra 3 ir daugiau dienų iš eilės ≥ 30 °C). XXI a. pabaigoje stichinės kaitros pasikartos vidutiniškai kas 2,5 metų (1981-2010 m. laikotarpiu pasikartodavo maždaug kas 7,5 metų). Tropinių naktų (kai minimali temperatūra nenukrenta žemiau 20 °C) atvejų skaičius gali padidėti iki 13 kartų, ir vidutiniškai per metus gali būti 7 tokie atvejai. 1981-2010 m. laikotarpiu tropinių naktų pasitaikydavo ne kasmet.

Prognozuojama, kad kritulių kiekis augs iki 2060-2070 m. ir padidės iki 746 mm per metus (bus 60 mm didesnis nei 1981-2010 m. vidurkis). Lyginant su 2060 m. kritulių kiekis XXI a. pabaigoje gali šiek tiek sumažėti, tačiau bus apie 50 mm aukštesnis nei 1981-2010 m. vidurkis (2085 m. – 737 mm). **Labiausiai išaugs kritulių kiekis žiemos sezonu**, ir paskutinį amžiaus trisdešimtmetį sieks 170 mm (bus 24 % arba 33 mm didesnis nei 1981-2010 m. vidurkis). Dėl labai išaugusios vidutinės žiemos temperatūros didžiąją dalį kritulių greičiausiai sudarys mišrios ir skystos sudėties krituliai (šlapdriba ir lietus). Nors vidutinis kritulių kiekis XXI a. didės, tačiau

dienų su krituliais skaičius per metus Vilniuje išliks panašus (apie 127 dienos). **Kritulių atvejų skaičius nesikeis, tačiau didės kritulių intensyvumas.** Visais sezonais labai lietingų laikotarpių (kai per 3 dienas iškrinta 50 mm ir daugiau kritulių) tikimybė išaugs iki 80 % (t.y. tokių atvejų pasitaikys beveik kasmet). 1981-2010 m. laikotarpiu tokių įvykių tikimybė buvo 53 %.

Šioje ataskaitoje pateikiami duomenys atspindi tik vieną iš galimų klimato kaitos scenarijų, tačiau šios prognozės yra puikus atskaitos taškas vertinant klimato pokyčius Vilniaus mieste XXI a. Siekiant išvengti neigiamo klimato kaitos poveikio miesto infrastruktūrai ir žmonių sveikatai svarbu tinkamai pasiruošti ekstremalioms situacijoms ir pritaikyti miesto infrastruktūrą prie besikeičiančių hidrometeorologinių sąlygų.

Ižanga

Pasaulyje gyvena vis daugiau žmonių ir vis didesnė jų dalis gyvena miestuose. Dėl didėjančio antropogeninio poveikio Žemėje keičiasi atmosferos sudėtis, paklotinis paviršius ir ekologinė pusiausvyra. Globaliu mastu Žemė šyla, tačiau vietiniu lygiu klimato kaitos poveikis gali būti skirtingas – kai kur temperatūra pažemėja, kitur sparčiai kyla, keičiasi kritulių intensyvumas ir pasiskirstymas per metus. Dėl didėjančio energijos kiekio atmosferoje daugėja ekstremalių reiškinių (uraganų, sausrų, intensyvių kritulių).

Nors populiacijos didėjimas miestuose ir klimato kaita iš pirmo žvilgsnio nėra susiję, tačiau didėjant gyventojų skaičiui miestuose, miestų prisitaikymas prie ekstremalių klimato reiškinių tampa labai svarbus. Laiku imantis reikalingų prisitaikymo priemonių gali būti išsaugotos žmonių gyvybės ir sumažinta žala miesto infrastruktūrai. Miestuose dėl dirbtinių paviršių (betono, asfalto) ir papildomų šilumos šaltinių (namų šildymo, transporto, pramonės) susiformuoja šilumos salos, kai temperatūra mieste yra aukštesnė nei natūralioje aplinkoje. Dėl šilumos salų, globalios klimato kaitos sukelti pokyčiai miestuose gali būti dar intensyvesni (pvz.: karščio bangų metu mieste temperatūra gali būti aukštesnė ir reiškinys tęstis ilgiau). Siekiant išsaugoti žmonių gyvybes, sveikatą ir sumažinti neigiamą poveikį miesto infrastruktūrai, savivaldybės turėtų įvertinti ir pasiruošti galimiems klimato pokyčiams ateityje.

Klimato kaitos prognozės Vilniaus miestui XXI a. sudarytos ruošiant Vilniaus miesto prisitaikymo prie klimato kaitos planą ir įgyvendinant Europos komisijos projektą „Adaptation Strategies for European Cities“. Klimato kaitos prognozės sudarytos pagrindiniams meteorologiniams rodikliams, kurie turi didžiausią tiesioginį poveikį žmonėms ir aplinkai: temperatūrai ir krituliams. Temperatūros ir kritulių kiekio prognozės Vilniaus miestui sudarytos remiantis A1B šiltnamio dujų emisijos scenarijumi ir trijų regioninių klimato modelių išvesties duomenimis: ECHAM5-REMO (Max Planck meteorologijos institutas, Vokietija), HadCM3-HadRM (Hadley klimato tyrimų ir prognozių centras, D. Britanija) ir BCA-RCA (Rossby centras Švedijos meteorologijos ir hidrologijos institute).

Šioje ataskaitoje pateikiamos prognozės atspindi galimus klimato pokyčius dėl šiltnamio efekto sukeliančių dujų daugėjimo žemės atmosferoje, remiantis vienu iš žmonijos raidos scenarijumi. Reali klimato būseną XXI a. pabaigoje gali būti kitokia dėl skirtingos žmonijos raidos (skirtingos šiltnamio dujų emisijos didėjimo nei buvo prognozuojama) ir dėl gamtos katastrofų (ugnikalnių išsiveržimų, stiprių saulės ir kosminės spinduliuotės audrų ir t.t.).

1. Klimato prognozių sudarymo metodika

1.1. Šiltnamio dujų emisijos scenarijai

Prieš sudarant klimato kaitos prognozes XXI a. svarbu pasirinkti pasaulio socialinės ir ekonominės raidos scenarijus, kurie numato koks bus žmonių populiacijos augimas, ekonomikos vystymasis, naujų technologijų diegimas ir kaip sparčiai bus pereinama nuo iškastinio kuro prie atsinaujinančių energijos šaltinių. Nuo pasirinkto scenarijaus priklauso kokie atmosferos sudėties pokyčiai (šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos didėjimas) numatomi XXI amžiuje. Šiame darbe naudotas socialinės ir ekonominės raidos scenarijus A1B buvo pristatytas specialioje IPCC ataskaitoje (IPCC, 2000). Socialiniai ekonominiai pokyčiai kuriuos numato A1B scenarijus pateikti 1.1 lentelėje. Esminiai A1B scenarijaus numatomi raidos bruožai:

- greitas ekonomikos augimas;
- iki 2050 m. gyventojų skaičius augs iki 9 milijardų, po to pradės mažėti;
- vyks spartus modernių technologijų diegimas;
- numatomas subalansuotas kuro vartojimas.

1.1. lentelė. IPCC A1B socialinės ir ekonominės raidos scenarijus ir su juo susijusi šiltnamio dujų emisija (IPCC, 2000).

Socialinės ekonominės raidos rodiklis	2020	2050	2100
Žmonių populiacija (mlrd.)	7,5	8,7	7,1
Pasaulinis BVP (10^{12} , 1990 USD/metus)	56	181	529
Santykis tarp žmonių pajamų išsivysčiusiose šalyse ir besivystančiose šalyse	6,4	2,8	1,6
Pirminės energijos kiekis (10^{18} J/metus)	711	1347	2226
Atsinaujinančių energijos šaltinių dalis (%)	16	36	65
CO ₂ dujų emisija iš iškastinio kuro (GtC/metus)	12,1	16,0	13,1

Emisijos scenarijus atspindi tam tikrus galimus pokyčius žmonijos demografinėje struktūroje, ekonomikoje, technologijų vystymesi bei energetikoje. Šie scenarijai priklauso nuo žmonijos priimamų sprendimų šiandien ir ateityje, ir kiekvienas iš jų yra vienodai tikėtinas

vertinant iš dabartinės pozicijos. A1B scenarijus yra vienas dažniausiai naudojamu emisijos scenarijų klimato kaitos prognozių sudarymui (ENSEMBLES, 2012; Rimkus ir kt. 2007, Rimkus ir kt. 2009; CH2011, 2011). Sudarant temperatūros ir kritulių kiekio kaitos prognozes Vilniaus miestui naudoti regioninių klimato modelių išvesties duomenis.

1.2. Globalūs ir regioniniai klimato modeliai

Klimato kaitos prognozės pagal šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos scenarijus sudaromos naudojant globalius klimato modelius (GCM). Klimato modeliai remiasi matematinėmis-fizinėmis lygtimis, kurios aprašo Žemės klimato sistemą, atmosferos, vandenyno ir sausumos sąveiką. Fiziniai procesai, kurie yra mažesnio masto nei modelio skiriamoji geba, yra parametrizuojami. Remiantis šiltnamio dujų emisijos scenarijumi GCM sumodeliuoja globalius klimato pokyčius dėl pasikeitusios atmosferos sudėties (padidėjusios šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracijos).

1.2. lentelė. Tyrime naudotų globalių klimato modelių parametrai (IPCC, 2007).

Modelis	Tyrimo institutas, šalis	Atmosferos skiriamoji geba	Vandenyno skiriamoji geba	Modelio jautrumas (T padidėjimas °C, padvigubinus CO ₂ kiekį atmosferoje)
UKMO-HadCM3, 1997	Hadley klimato tyrimų ir prognozių centras, D. Britanija	Skiriamoji geba 2,5° x 3,75° Vertikalus sluoksnių skaičius – 19	Skiriamoji geba 1,25° x 1,25° Vertikalus sluoksnių skaičius – 20	3,3 °C
ECHAM5/MPI-OM, 2005	Max Planck meteorologijos institutas, Vokietija	Skiriamoji geba 1,9° x 1,9° Vertikalus sluoksnių skaičius – 31	Skiriamoji geba 1,5° x 1,5° Vertikalus sluoksnių skaičius – 40	3,4 °C
BCCR-BCM 2.0, 2005	Bjerknes klimato tyrimų centras, Norvegija	Skiriamoji geba 1,9° x 1,9° Vertikalus sluoksnių skaičius – 31	Skiriamoji geba 0,5°–1,5° x 1,5° Vertikalus sluoksnių skaičius – 35	Informacijos nėra.

Klimato pokyčiai vietinių lygiu įvertinami statistiškai didinant GCM duomenų skiriamąją gebą (priimant prielaidą, kad vietinis klimatas su globaliu Žemės klimatu yra susijęs nekintančiais ryšiais) arba įvedant GCM išvesties duomenis į regioninius klimato modelius (RCM). Regioninių klimato modelių skiriamoji geba yra apie 10 kartų didesnė nei GCM, juose

daug tiksliau apibūdinamos vietinės sąlygos (reljefas, paklotinis paviršius, vegetacijos sezoninė kaita ir t.t.). Dėl didesnės skiriamosios gebos naudojant RCM galima daug tiksliau sumodeliuoti vietines klimato sąlygas.

Sudarant klimato kaitos prognozes Vilniaus miestui buvo pasirinktas antrasis variantas ir buvo naudojami regioninių klimato modelių išvesties duomenys. Buvo pasirinkti trys regioniniai modeliai (REMO, HadRM3Q0, RCA, 1.3. lentelė) iš skirtingų klimato tyrimų institucijų (atitinkamai Vokietijos Max Planck meteorologijos instituto, D. Britanijos Hadley klimato tyrimų ir prognozių centro, Rossby centro Švedijos meteorologijos ir hidrologijos institute). Minėti RCM remiasi tų pačių klimato tyrimo institucijų, globalių klimato modelių išvesties duomenimis (ECHAM5-r3, HadCM3Q0, BCM 2.0). 1.2 lentelėje pateiktos tyrime naudotų globalių klimato modelių charakteristikos.

1.3. lentelė. Tyrime naudotų regioninių klimato modelių parametrai (Hewitt, Griggs, 2004).

Modelis	Tyrimo institutas, šalis	Horizontali skiriamoji geba	Vertikali skiriamoji geba (sluoksnių skaičius)
REMO 5.7	Max Planck meteorologijos institutas, Vokietija	~ 25 km	27
HadRM 3.0	Hadley klimato tyrimų ir prognozių centras, D. Britanija	~ 25 km	19
RCA 3.0	Rossby centras Švedijos meteorologijos ir hidrologijos institute	~ 25 km	24

1.3. Klimato kaitos prognozių sudarymas Vilniaus miestui

Klimato kaitos (temperatūros ir kritulių) prognozės Vilniaus miestui sudarytos naudojant trijų regioninių klimato modelių išvesties duomenis, pagal A1B šiltnamio dujų emisijos scenarijų. RCM duomenys gauti naudojantis ENSEMBLES projekto duomenų baze (<http://ensemblesr3.dmi.dk/>) (ENSEMBLES, 2012), 1981-2099 metų laikotarpiui. Tyrime naudoti duomenys: vidutinė paros temperatūra (T_{vid}), maksimali paros temperatūra (T_{max}), minimali paros temperatūra (T_{min}), kritulių kiekis per parą (P).

Siekiant įvertinti RCM tikslumą 1981-2010 m. laikotarpio modelių išvesties duomenys buvo palyginti su stebėjimų duomenimis Vilniaus meteorologijos stotyje (Vilniaus MS). Duomenų palyginimui ir prognozių sudarymui naudotas RCM tinklelio taškas, esantis arčiausiai Vilniaus MS ($54,625992^{\circ}$ N $25,107064^{\circ}$ E). Remiantis 30 metų kontroliniu laikotarpiu (1981-

2010 m.) buvo apskaičiuotos vidutinės paklaidos tarp modelių rezultatų ir stebėjimų duomenų. Temperatūrai buvo skaičiuojama absoliuti paklaida (1), o krituliams santykinė (2):

$$\partial T(d) = \bar{T}^{SCE}(d) - \bar{T}^{CTL}(d) \quad (1)$$

∂T – temperatūros paklaida, d – metų diena, T^{SCE} – sumodeliuota vidutinė daugiametė paros temperatūra, T^{CTL} – Vilniaus MS užfiksuota vidutinė daugiametė paros temperatūra.

$$\partial P(d) = \bar{P}^{SCE}(d) / \bar{P}^{CTL}(d) \quad (2)$$

∂P – kritulių kiekio santykinė paklaida, d – metų diena, P^{SCE} – sumodeliuota vidutinis daugiametis paros kritulių kiekis, P^{CTL} – Vilniaus MS užfiksuotas vidutinis daugiametis kritulių kiekis.

Apskaičiuotos paklaidos vėliau buvo įvestos į klimato modelių išvesties duomenis remiantis prielaida, kad kontroliniu laikotarpiu nustatyti skirtumai tarp modeliavimo rezultatų ir tiesioginių matavimų išliks nepakitę per visą XXI a. Modelių duomenys su įvesta paklaida buvo naudojami temperatūros ir kritulių prognozėms Vilniaus mieste trimis laikotarpiais:

1. 2015-2044 m. – centrinis taškas 2030 m.
2. 2045-2074 m. – centrinis taškas 2060 m.
3. 2070-2099 m. – centrinis taškas 2085 m.

Remiantis modelių duomenimis apskaičiuota kaip keisis vidutinė, maksimali, minimali temperatūra, kritulių kiekis per metus, per sezoną ir per mėnesį. Klimato prognozėms sudaryti naudotas ansamblinis trijų regioninių klimato modelių vidurkis, nes duomenų palyginimas su tiesioginiais matavimais Vilniaus MS, parodė, kad naudojant ansamblinį vidurkį susidaro mažiausios paklaidos ([žr. 2 skyrelį](#)).

Rodiklių kaita parodyta naudojant 30 metų laikotarpių vidutinę reikšmę. 30 metų klimatologijoje laikomi minimaliu laikotarpiu reikalingu įvertinti vietines klimato sąlygas. Didelis dėmesys darbe buvo skiriamas ekstremaliems klimato reiškiniams: labai žemos ir aukštos temperatūros pasikartojimui ir labai lietingų dienų pasikartojimui.

Analizuojant gausių kritulių atvejų kaitą ir pasiskirstymą ateityje apskaičiuoti šie parametrai:

- maksimalus paros kritulių kiekis;
- dienų su krituliais skaičius (kai kritulių kiekis $\geq 0,1$ mm);
- atvejų skaičius ir pasikartojimo tikimybė, kai paros kritulių kiekis siekia 10, 20, 30 mm ar daugiau;

- atvejų skaičius ir pasikartojimo tikimybė, kai 3 parų kritulių kiekis siekia 50 mm ar daugiau;
- atvejų skaičius ir pasikartojimo tikimybė, kai 5 parų kritulių kiekis siekia 90 mm ar daugiau;

Siekiant įvertinti ekstremalios oro temperatūros kaitos tendencijas XXI amžiuje, apskaičiuoti skirtingi rodikliai vasaros ir žiemos sezonams (atitinkamai maksimaliai ir minimaliai oro temperatūrai):

- dienų skaičius kai vasaros maksimali oro temperatūra $\geq 20, \geq 25, \geq 30, \geq 35$ °C, o žiemos maksimali oro temperatūra $\leq -5, \leq -10$ °C;
- dienų skaičius kai žiemos minimali temperatūra $\leq -10, \leq -15, \leq -20, \leq -25$ °C, o vasaros minimali temperatūra $\geq 18, \geq 20$ °C;
- atvejų skaičius ir pasikartojimo tikimybė kai žiemos minimali paros temperatūra 3 bei 5 ir daugiau dienų yra žemesnė nei -20 °C (stiprūs šalčiai);
- atvejų skaičius ir pasikartojimo tikimybė kai vasaros maksimali paros temperatūra 3 bei 5 ir daugiau dienų yra aukštesnė nei 30 °C (stichinė kaitra);

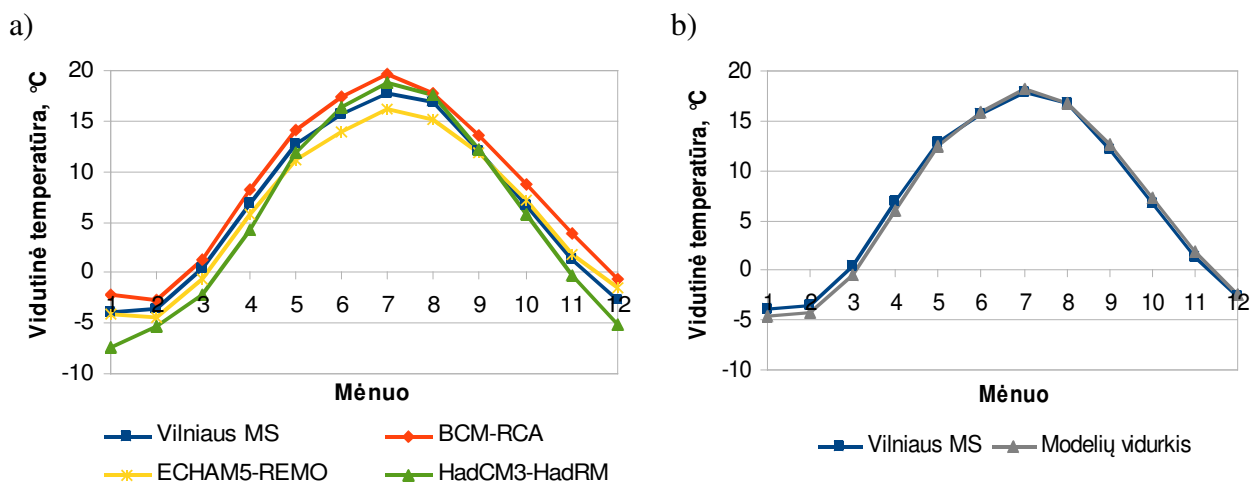
Visi aukščiau paminėti rodikliai skirtingais ateities laikotarpiais buvo lyginami su 1981-2010 m. matavimų Vilniaus MS duomenimis, siekiant tiksliau įvertinti karštų ir šaltų laikotarpių pasikartojimą bei nustatyti XXI a. pokyčių tendencijas ir greitį.

2. Modeliavimo rezultatų ir matavimų Vilniaus meteorologijos stotyje palyginimas

Imituoti klimato sistemą matematiname modelyje nėra paprasta. Kadangi nėra iki galo išaiškinti visi Žemėje vykstantys procesai, taip pat dėl ribotų techninių modeliavimo galimybių, klimato sistema modelyje yra supaprastinama. Todėl paklaidos tarp modelio išvesties duomenų ir tiesioginių matavimų rezultatų yra neišvengiamos.

Šiame tyrime naudoti 3 skirtingi regioniniai klimato modeliai, kurie naudoja skirtingų globalių klimato modelių duomenis, skiriasi jų vertikalė skiriamoji geba ir parametrizacijos schemos. Todėl skiriasi ir modeliavimo rezultatai, bei susidaro skirtingos dydžio paklaidos lyginant su matavimais Vilniaus MS. 2.1 paveiksle pavaizduota RCM sumodeliuota vidutinė mėnesio temperatūra ir temperatūros matavimų rezultatai Vilniuje 1981-2010 m. laikotarpiu. Paklaidų dydis tarp modelių pateikiamų rezultatų ir išmatuotų reikšmių priklauso ne tik nuo modelio, bet ir nuo sezono.

Iš 2.1 paveikslo matyti, kad sumodeliuota vidutinė mėnesio temperatūra labai priklauso nuo modelio. Pvz.: BCM-RCA modelis visais mėnesiais sumodeliuoja aukštesnę temperatūrą nei buvo užfiksuota Vilniaus MS (paklaida 0,9-2,6 °C), o HadCM3-HadRM modelio rezultatų paklaida labai priklauso nuo sezono: vasaros metu sumodeliuota temperatūra buvo 0,4-1,0 °C aukštesnė nei išmatuota Vilniuje, o žiemą – 1,4-3,6 °C žemesnė, ECHAM5-REMO modelio didžiausios paklaidos susidaro vasarą – vidutinė temperatūra buvo 1,6-1,7 °C žemesnė nei Vilniaus MS. Remiantis rezultatais galima teigti, kad BCM-RCA modelis tiksliausiai atspindi metinę temperatūros eiga Vilniuje, tačiau turi teigiamą paklaidą (paaukština temperatūrą). HadCM3-HadRM modelis turi tendencija padidinti ekstremumus, t.y. sumodeliuoja šaltesnes žiemas ir šiltesnes vasaras. ECHAM5-REMO modelis gerai reprezentuoja sezoninę temperatūros kaitą, tačiau modeliuoja šaltesnes vasaras. Visi trys modeliai pakankamai tiksliai sumodeliuoja pavasario ir rudens mėnesių vidutinę temperatūrą. Naudojant modelių ansamblinį vidurkį vidutinės mėnesio temperatūros paklaida visais mėnesiais neviršija 0,9 °C ir tiksliai atkartoja sezoninę kaitą (2.1. pav. b), todėl klimato kaitos prognozėms Vilniaus mieste sudaryti naudotas visų trijų modelių vidurkis.



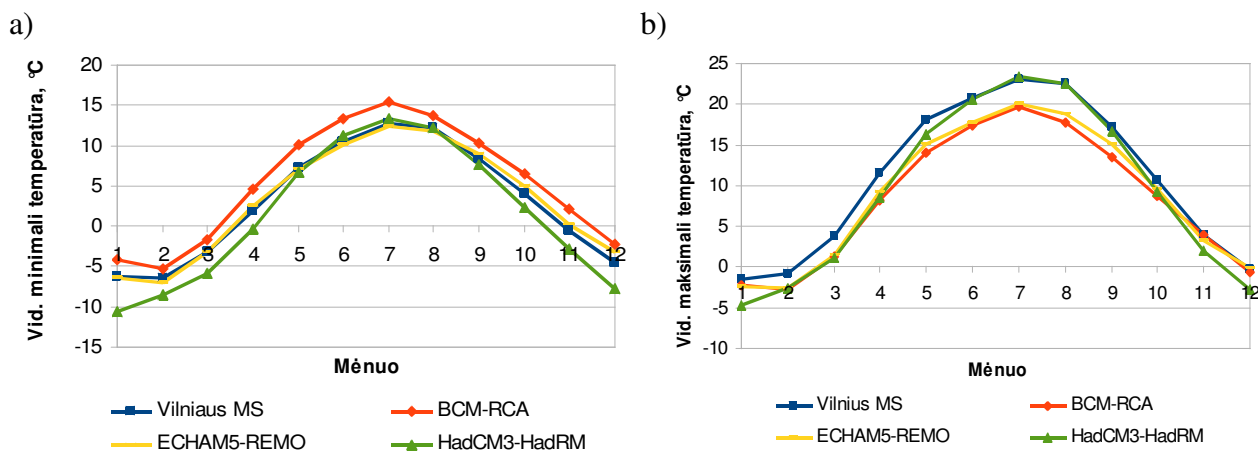
2.1. pav. Išmatuota ir sumodeliuota vidutinė oro temperatūra Vilniuje, kontroliniu 1981-2010 m. laikotarpiu: a) trijų regioninių modelių (BCM-RCA, ECHAM5-REMO, HadCM3-HadRM) išeities duomenys; b) modelių vidurkio palyginimas su Vilniaus MS duomenimis.

Paklaidos tarp skirtingų modelių ir matavimų Vilniaus MS stotyje atsiranda dėl skirtingų modeliuose naudojamų fizinių procesų parametrizavimo schemų, modelio vertikalios ir horizontalios skiriamosios gebos skirtumų. Paklaidų skirtumas tarp atskirų metų sezonų,

ECHAM5-REMO, HadCM3-HadRM rezultatuose, gali susidaryti dėl modelių sugebėjimo tiksliai sumodeliuoti atmosferos cirkuliacijos ypatumus. Žiemą Lietuvoje vyrauja jūrinės Atlanto oro masės, tuo tarpu vasarą klimatas labiau veikiamas vietos faktorių, kurie yra sunkiau prognozuojami negu regioninio ar globalaus masto procesai.

Kiek kitokie skirtumai susidaro analizuojant vidutinę mėnesio minimalią ir maksimalią oro temperatūrą (2.2. pav.). Paklaidos tarp sumodeliuotos ir išmatuotos minimalios temperatūros panašios į aukščiau aptartos vidutinės temperatūros skirtumus, tačiau vertinant vidutinę maksimalią temperatūrą modeliai beveik visais mėnesiais pateikia žemesnę temperatūrą nei ji buvo užfiksuota Vilniaus MS.

Lyginant sumodeliuota vidutinę minimalią temperatūrą su išmatuota Vilniaus MS, BCM-RCA modelio rezultatai visais mėnesiais buvo 1,0-2,8 °C aukštesni (2.2. pav. a). ECHAM5-REMO modelio rezultatai patys tiksliausi, paklaidos visais mėnesiais nesiekia 1,4 °C. HadCM3-HadRM tiksliai sumodeliuoja (paklaidos neviršija 1,3 °C) šiltojo sezono (gegužės-rugsėjo mėn.) minimalią temperatūrą, tačiau žiemos mėnesiais paklaidos gerokai didesnės (2,2-4,4 °C) (2.2. pav. a). Naudojant visų modelių vidurkį minimalios temperatūros paklaida nė vieną mėnesį nesiekė 1,0 °C.

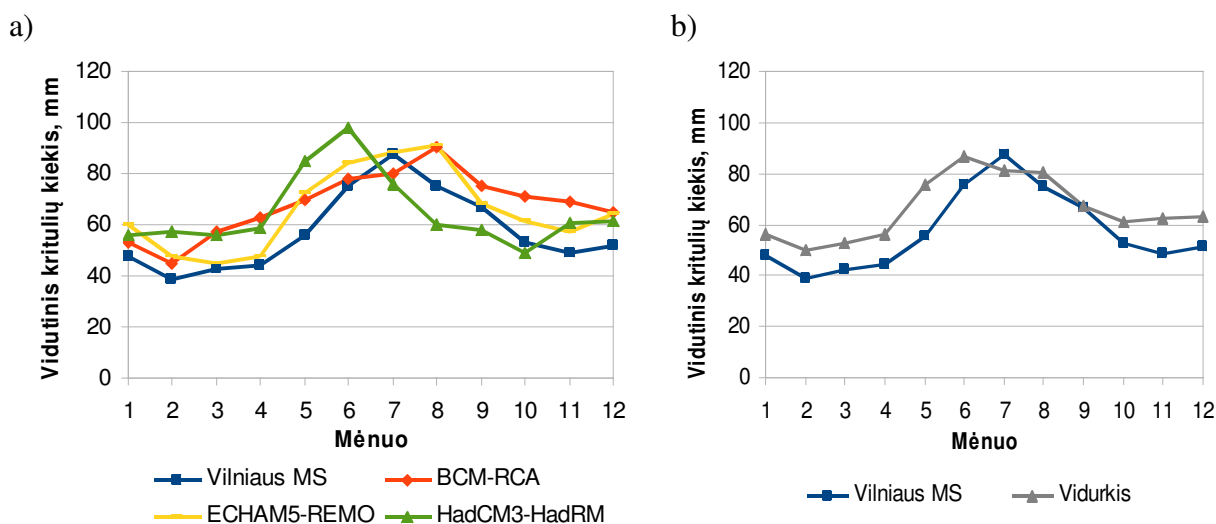


2.2. pav. Išmatuota ir sumodeliuota vidutinė mėnesio minimali (a) ir maksimali (b) oro temperatūra (°C) Vilniuje 1981-2010 m. laikotarpiu.

Visi modeliai (išskyrus HadCM3-HadRM liepos mėn.) modeliuoja žemesnę vidutinę maksimalią mėnesio temperatūrą, nei ji buvo užfiksuota Vilniaus MS (2.2. pav. b). BCM-RCA ir ECHAM5-REMO modelių rezultatai labai panašūs ir tarpusavyje skiriasi nedaug (0,2-1,6 °C). Tačiau sumodeliuota maksimali temperatūra buvo 0,1-4,7 °C žemesnė nei išmatuota

meteorologijos stotyje. HadCM3-HadRM modelis tiksliai sumodeliavo vasaros maksimalią temperatūrą (paklaidos neviršijo 0,4 °C), tačiau žiemos mėnesiais gerokai pažemino vidutinę maksimalią temperatūrą (1,8-3,2 °C žemesnė nei išmatuota Vilniaus MS). Naudojant visų trijų modelių vidurkį, vidutinė mėnesio maksimali temperatūra visais mėnesiais buvo 0,9-2,9 °C žemesnė nei išmatuota, tačiau vidutinė paklaida buvo mažesnė nei naudojant bet kurį modelį atskirai.

Skirtumai tarp sumodeliuotų ir išmatuotų kritulių kiekio reikšmių yra daug didesni nei tarp temperatūros. Krituliai yra vienas iš labiausiai svyruojančių klimato elementų, todėl kritulių kiekis negali būti taip tiksliai sumodeliuotas. Didžiąją metų dalį Vilniuje sumodeliuotas mėnesio kritulių kiekis 1981-2010 m. laikotarpiu viršija meteorologijos stotyje išmatuotas reikšmes (2.3 pav.).



2.3. pav. Išmatuotas ir sumodeliuotas mėnesio kritulių kiekis Vilniuje 1981-2010 m. laikotarpiu: a) trijų skirtingų modelių (BCM-RCA, ECHAM5-REMO, HadCM3-HadRM) rezultatai; b) trijų modelių vidurkio palyginimas su Vilniaus MS.

Didžiausios absoliutinės paklaidos (23-30 mm) tarp išmatuoto ir sumodeliuoto kritulių kiekio susidaro gegužės ir birželio mėnesiais naudojant HadCM3-HadRM modelį. Netiksliausiai kritulių kiekį ir sezoninę kaitą sumodeliuoja HadCM3-HadRM modelis. Naudojant HadCM3-HadRM kritulių maksimumas susidaro birželio mėn, tuo tarpu Vilniaus MS jis fiksuojamas liepos mėn. Taip pat HadCM3-HadRM 7-20 % sumažina liepos-rugsėjo mėn. kritulių kiekį ir iki 48 % padidina šaltojo laikotarpio kritulių kiekį (2.3. pav. a).

Tiksliausi sezoninės kritulių kaitos ir kiekio rezultatai gauti naudojant ECHAM5-REMO modelį. Remiantis šio modelio išvesties duomenimis, visais mėnesiais kritulių kiekis buvo aukštesnis negu išmatuotas Vilniaus MS, tačiau vidutinė santykinė paklaida buvo mažiausia (ECHAM5-REMO – 16 %, BCM-RCA – 23%, HadCM3-HadRM – 26 %). Kontroliniu laikotarpiu (1981-2010 m.) visi modeliai tiksliausiai sumodeliavo liepos mėn. kritulius (vidutinė modelių paklaida buvo 7 %).

Naudojant visų modelių ansamblinį vidurkį vidutinė paklaida nuo kritulių kiekio išmatuoto Vilniaus MS buvo apie 21 % (2.3. pav. b). Kritulių kiekis pagal trijų modelių vidurkį visais mėnesiais buvo aukštesnis nei išmatuotas (išskyrus liepą). Naudojant vidurkį kritulių kiekio maksimumas gautas birželio mėn., nors 1981-2010 m. Vilniaus MS jis fiksuotas liepos mėnesį. Didžiausias kritulių kiekis gautas birželio mėnesį dėl didelės HadCM3-HadRM modelio paklaidos.

Gamtoje vykstančių procesų neįmanoma visiškai tiksliai aprašyti fizikinėmis-matematinėmis lygtimis ar išreikšti koeficientais, todėl skaitmeniniuose klimato modeliuose atsiranda paklaidos ir modeliavimo rezultatai nevisiškai sutampa su tiesioginiais matavimais. Tačiau paklaidas galima sumažinti naudojant ansamblinę modelių prognozę. Naudojant kelių modelių vidurkį paklaidos yra mažesnės nei naudojant kiekvieno modelio rezultatus atskirai. Remiantis 1981-2010 metų Vilniaus MS duomenimis ir lyginamąja analize į modelių rezultatus buvo įvestos paklaidos: temperatūrai – absoliuti, krituliams – santykinė (žr. 1 skyrių). Tolimesniuose skyreliuose pateiktos klimato prognozės sudarytos naudojant modelių rezultatus su įvestomis pataisomis ir naudojant modelių reikšmių vidurkį.

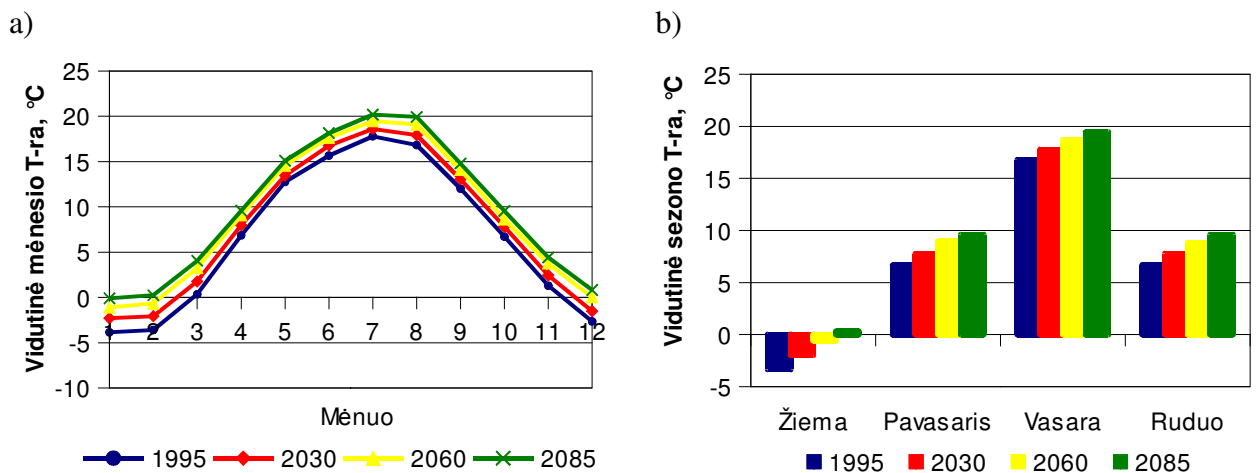
3. Klimato pokyčiai Vilniaus mieste XXI a.

Orų sąlygos, ypač temperatūra ir krituliai, lemia kasdieninę žmonių veiklą ir miesto funkcionavimą. Esant normaliai ir komfortiškai temperatūrai ir krituliams, miestai ir žmonės gyvena savo ritmu. Tačiau ekstremalūs orai (dideli karščiai ar šalčiai, gausūs krituliai) gali sutrikdyti kasdieninį miesto ritmą ir sukelti žmonių sveikatos sutrikimų. Labai svarbu būti pasiruošus tokiems atvejams ir imtis saugumo priemonių, siekiant apsaugoti žmonių sveikatą ir miesto infrastruktūrą. XXI a. keičiantis klimatui ekstremalių orų tik daugės, o kartu keisis ir tai kas yra laikoma “normaliu” oru. Kalbant apie klimato pokyčius ir prisitaikymą prie jų, svarbu ne tik sugebėjimas reaguoti į ekstremalius įvykius, bet ir į besikeičiančias vidutines klimato rodiklių reikšmes.

3.1. Vidutinės metinės, mėnesio ir sezono temperatūros kaita

Vidutinės mėnesio, sezono oro temperatūros augimas skirtingais XXI a. laikotarpiais atsispindi 3.1 paveiksle. Prognozuojama, kad vidutinė metinė oro temperatūra, lyginant su 1981-2010 m. laikotarpiu, iki 2100 m. išaugs apie 3,0 °C. Iki 2070 m. vidutinė metinė oro temperatūra kas 30 metų vidutiniškai padidės apie 1,2 °C, tačiau pačioje XXI a. pabaigoje temperatūros augimas sulėtės ir bus apie 0,7 °C per 30 metų. Dėl modelių paklaidų ir natūralių klimato svyravimų realus temperatūros pokyčių dydis XXI a. pabaigoje gali būti didesnis arba mažesnis.

Nagrinėjant vidutinę mėnesio ir sezono temperatūros kaitą (3.1. pav.), matyti, kad labiausiai vidutinė temperatūra pasikeis žiemą. Remiantis A1B scenarijumi 2085 m. vidutinė žiemos temperatūra taps teigiama ir bus 3,7 °C aukštesnė nei buvo 1981-2010 m. Vidutinė gruodžio-kovo mėn., temperatūra išaugs 3,5-3,8 °C, o sausis bus vienintelis mėnuo, kurio vidutinė temperatūra bus žemesnė už 0 °C.



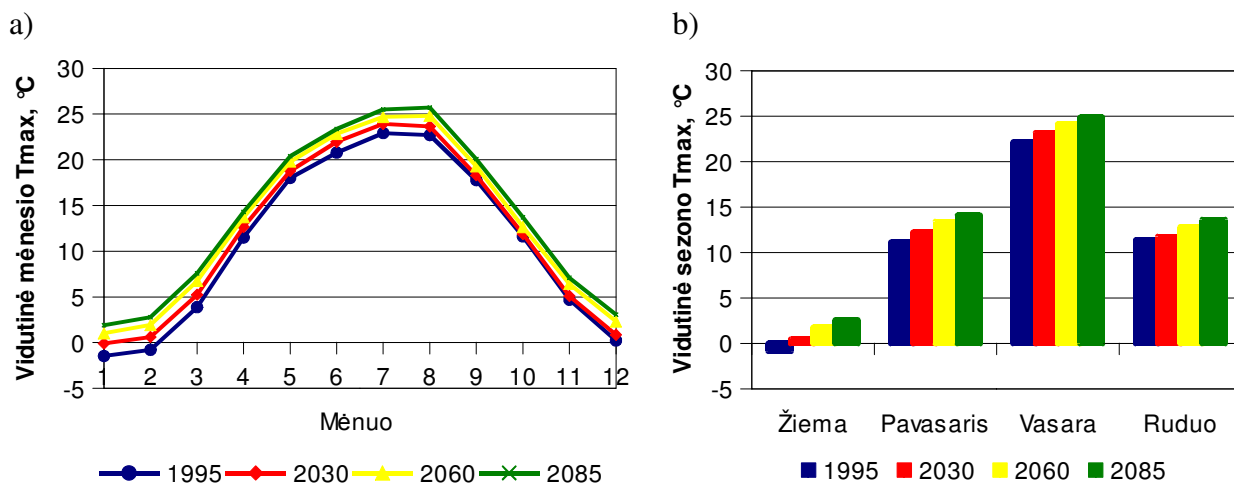
3.1. pav. Išmatuota (1995 m.) ir prognozuojama XXI amžiui (2030, 2060, 2085 m.) a) vidutinė mėnesio ir b) vidutinė sezono temperatūra Vilniuje remiantis A1B emisijos scenarijumi.

Mažiausiai keisis vasaros vidutinė temperatūra, iki XXI a. pabaigos ji išaugs apie 2,6 °C (3.1. pav. b). Nagrinėjant mėnesinę oro temperatūrą, mažiausi pokyčiai tikėtini gegužės ir birželio mėn. – prognozuojama, kad temperatūra 2085 m. už dabartinį vidurkį bus aukštesnė 2,4-2,5 °C, o rugpjūčio mėn. temperatūra gali išaugti iki 3,1 °C. Pavasario ir rudens temperatūra keisis šiek tiek daugiau (3.1. pav. b). Prognozuojama, kad iki XXI a. pabaigos ji išaugs 2,9 °C. Iki 2070 m. pavasario ir rudens temperatūros augimas bus apie 1,0-1,2 °C per 30 metų, o vėliau sulėtės ir per paskutinį amžiaus trisdešimtmetį temperatūra paaugs apie 0,6-0,8 °C. Toks pat temperatūros augimo sulėtėjimas 2070-2099 m. būdingas ir vasaros bei žiemos vidutinei temperatūrai.

3.2. Metinės, mėnesio ir sezono vidutinės maksimalios temperatūros kaita

Augant vidutinei temperatūrai Vilniuje XXI a. augs ir vidutinė maksimali oro temperatūra (T_{\max}). 3.2 pav. pavaizduota kaip keisis vidutinė mėnesio ir sezono maksimali temperatūra atskirais XXI a. laikotarpiais. Prognozuojama, kad vidutinė maksimali oro temperatūra iki 2100 m. išaugs apie 3,0 °C. Maksimalios temperatūros augimas bus intensyvesnis iki 2070 metų ir sieks 1,1 °C per 30 metų, o vėliau temperatūros augimas sumažės ir bus apie 0,8 °C per 30 metų.

Vidutinė maksimali oro temperatūra labiausiai pasikeis žiemos sezonu. 1995 m. žiemos sezono vidutinė maksimali temperatūra buvo -0,8 °C, tačiau prognozuojama, kad 2085 m. ši temperatūra bus apie 2,6 °C. Visų žiemos mėnesių vidutinė maksimali temperatūra taps teigiama ir bus 2,8-3,6 °C aukštesnė nei dabartinė (3.2. pav. a). Prognozuojama, kad mažiausiai keisis rudens vidutinė maksimali temperatūra – iki amžiaus pabaigos ji padidės apie 2,3 °C. Vasaros maksimali temperatūra išaugs apie 2,7 °C (1995 m. vidutinė vasaros maksimali oro temperatūra buvo 22,2 °C, o 2085 m. gali siekti 24,9 °C). 1981-2010 m. laikotarpiu karščiausias vasaros mėnuo buvo liepa (vidutinė T_{\max} buvo 22,9 °C), bet 2085 m. karščiausiu mėnesiu gali tapti rugpjūtis (vidutinė T_{\max} bus apie 25,7 °C, liepos vidutinė T_{\max} bus apie 25,5 °C) (3.2. pav. a).



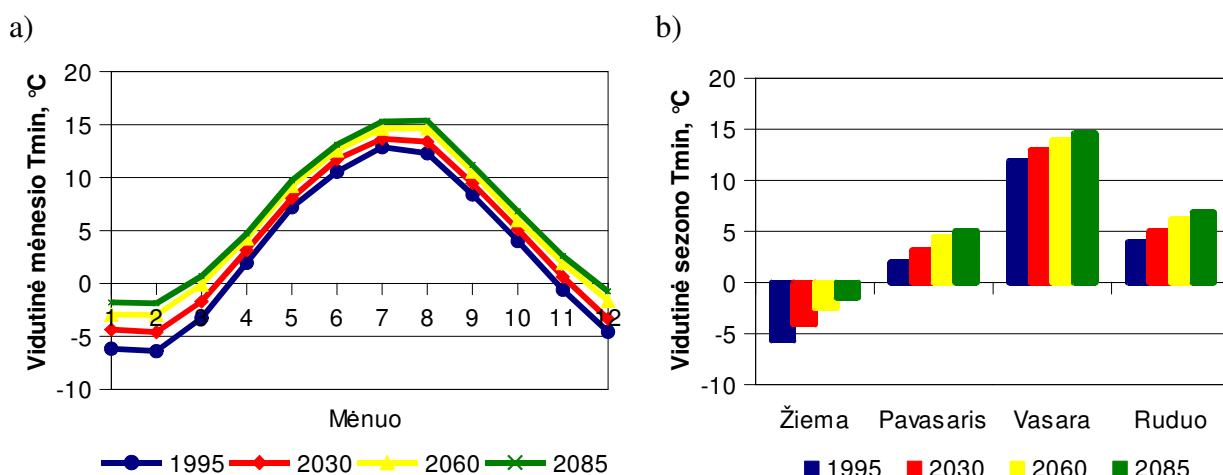
3.2. pav. Išmatuota (1995 m.) ir prognozuojama XXI amžiui (2030, 2060, 2085 m.) vidutinė a) mėnesio ir b) sezono maksimali temperatūra (°C) Vilniuje remiantis A1B emisijos scenarijumi.

Lėčiausiai vidutinė maksimali oro temperatūra keisis spalio mėn. Iki 2030 m. spalio maksimali temperatūra padidės apie 0,3 °C, iki 2060 m. apie 1,0 °C, o 2085 m. bus apie 2,1 °C aukštesnė už dabartinę (1995 m. vidutinė spalio T_{\max} buvo 11,6 °C).

3.3. Metinės, mėnesio ir sezono vidutinės minimalios temperatūros kaita

Vidutinės minimalios (T_{\min}) mėnesio ir sezono oro temperatūros kaita XXI amžiuje sutampa su vidutinės ir maksimalios temperatūros kaitos tendencijomis. Prognozuojama, kad vidutinė minimali oro temperatūra Vilniaus mieste iki 2100 m. išaugs apie $3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (remiantis trijų modelių ansambliniu vidurkiu). 3.3. pav. pateikta vidutinės minimalios mėnesio ir sezono temperatūros kaita XXI a.

Iš 3.3. paveikslo matyti, kad labiausiai vidutinė minimali oro temperatūra pakils žiemos mėnesiais, ir 2085 m. bus net $4,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ aukštesnė nei buvo 1995 m. (T_{\min} buvo $-5,7\text{ }^{\circ}\text{C}$). Vidutinė minimali vasario mėn. temperatūra, gali pakilti net $4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2085 m. T_{\min} bus apie $-1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1995 m. T_{\min} buvo $-6,4\text{ }^{\circ}\text{C}$). Ši minimalios temperatūros kaita rodo, kad žiema taps gerokai šiltesnė ir vidutinė temperatūra dažnai svyruos apie $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.



3.3. pav. Išmatuota (1995 m.) ir prognozuojama XXI amžiui (2030, 2060, 2085 m.) vidutinė a) mėnesio ir b) sezono minimali temperatūra ($^{\circ}\text{C}$) Vilniuje remiantis A1B emisijos scenarijumi.

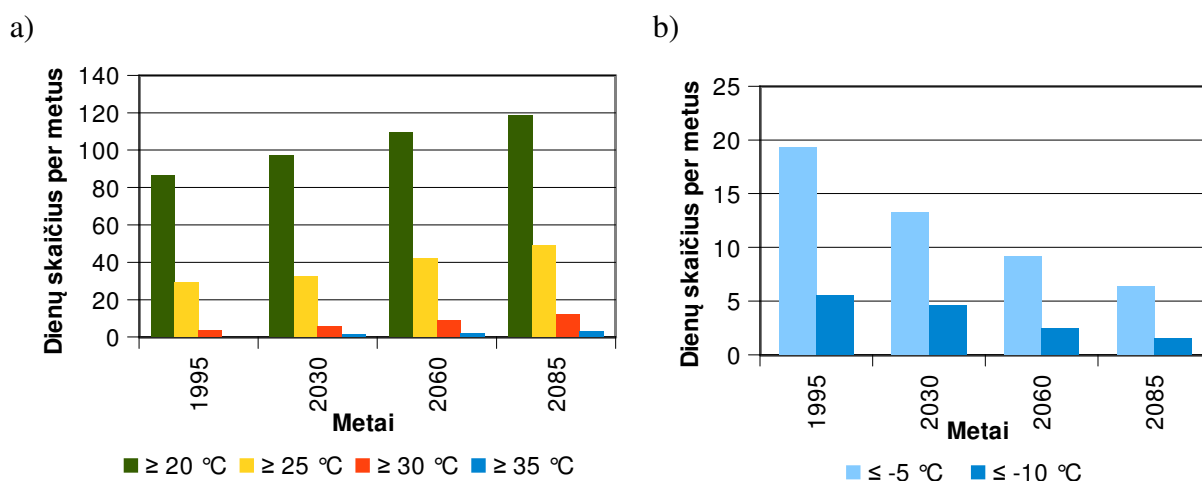
Kaip ir anksčiau aptartos vidutinės ir vidutinės maksimalios temperatūros atveju, vidutinė minimali temperatūra mažiausiai keisis vasaros laikotarpiu. Prognozuojama, kad 2085 m. vidutinė minimali vasaros temperatūra bus $14,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ aukštesnė už 1981-2010 m. Vilniuje fiksuotą vidutinę minimalią temperatūrą). Minimali temperatūra visais mėnesiais iki 2070 m. augs $1,2\text{--}1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ per 30 metų, o paskutinįjį trisdešimtmetį augimas sulėtės ir bus apie $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ per 30 metų.

Nustatyta, kad maksimalios ir minimalios oro temperatūros pasikeitimai XXI a. amžiaus pradžioje daugiausia yra susiję su anticikloninių procesų dažnesniu pasikartojimu vasarą ir

retesniu žiemą (lyginant su XX amžiaus pabaigos laikotarpiu) (Bukantis ir kt., 2008). Todėl tikėtina, kad tokie atmosferos cirkuliacijos pokyčiai išliks ir ateityje ir XXI a. pabaigoje vasarą anticikloninė cirkuliacija pasitaikys dažniau, o žiemą rečiau.

3.5. Paros maksimalios oro temperatūros kaita

Pastaraisiais metais Lietuvoje, o kartu ir Vilniaus mieste, pastebima vidutinės maksimalios oro temperatūros augimo tendencija (Galvonaitė, Valiukas, 2005). Ta pati tendencija atsispindi ir XXI amžiaus prognozėse. 3.4 paveiksle vaizduojamas dienų skaičius per metus, kai viršijama tam tikra sezono maksimali oro temperatūra ir tokių atvejų kaita XXI amžiuje.



3.4. pav. Dienų skaičius per metus su skirtinga a) šiltojo sezono, b) šaltojo sezono maksimalia oro temperatūra 1981-2099 m. laikotarpiu Vilniuje.

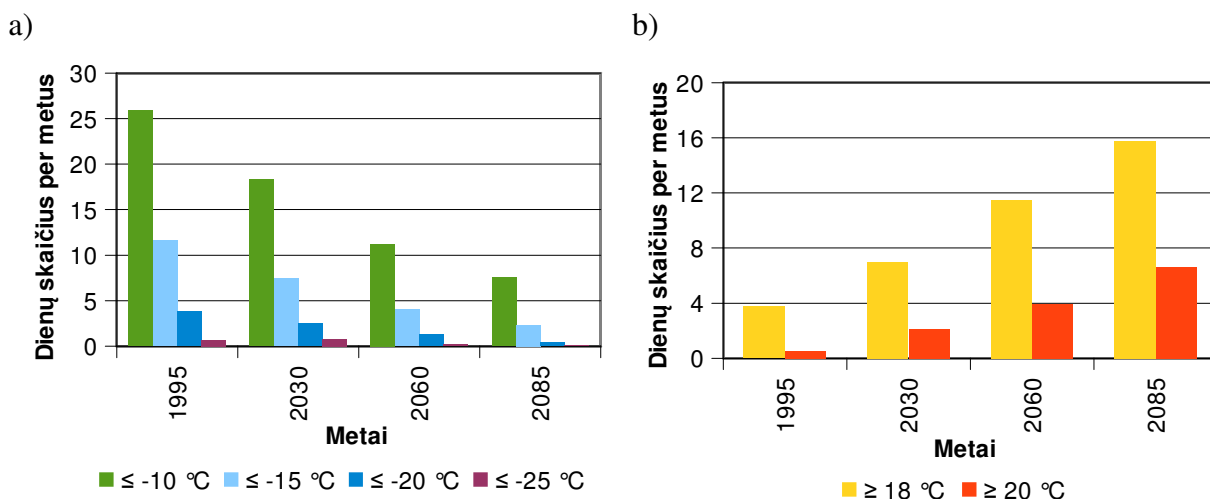
Remiantis modeliavimo rezultatais prognozuojama, kad dienų skaičius, kai maksimali oro temperatūra yra ne mažesnė kaip 20 °C, Vilniuje kas 30 metų padidės apie 10 dienų, ir XXI amžiaus pabaigoje tokių dienų per metus bus apie 118 (1995 m. buvo 87). Dienų kai maksimali oro temperatūra lygi arba aukštesnė nei 25 °C, XXI a. kas 30 metų padaugės vidutiniškai 7 dienomis, ir 2085 m. tokių atvejų bus beveik 70 % daugiau nei 1995 m. (2085 m. bus 49 dienos, 1995 m. buvo 29 dienos) (3.4. pav. a). Atvejų, kai dienos maksimali temperatūra bus fiksuojama ne mažesnė kaip 30 °C ar 35 °C, iki amžiaus pabaigos padaugės maždaug 3 kartus (3.4. pav. a). 1981-2010 m. laikotarpiu, dienų, kai maksimali temperatūra Vilniuje viršijo 35 °C, beveik nepasitaikė (vidutinis atvejų skaičius per metus – 0), tačiau jau nuo 2030 metų tokių atvejų

pasitaikys bent kartą per metus. Tikėtina, kad 2085 m. tokie karščiai bus fiksuojami vidutiniškai 3 dienas per metus (3.4. pav. a).

Šaltuoju metų sezonu maksimali oro temperatūra taip pat augs, o dienų skaičius, kuomet temperatūros reikšmės yra neigiamos, mažės (3.4. pav. b). Iš 3.4. pav. paveikslu matyti, kad dienų skaičius, kai temperatūra žiemą nepakils aukščiau $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki XXI a. pabaigos sumažės apie 3 kartus (1995 m. tokių dienų buvo apie 19 per metus, 2085 m. jų pasitaikys tik 6 kartus per metus). Kas 30 metų tokių atvejų skaičius sumažės 3-6 dienomis. Panašios tendencijos nustatytos ir tuo atveju, kai maksimali oro temperatūra fiksuojama žemesnė kaip $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (3.4. pav. b). Tikėtina, kad amžiaus pabaigoje tokių atvejų pasitaikys labai retai (tik 1-2 kartus per metus), kai tuo tarpu 1995 m. tokių atvejų būdavo 5-6 per metus.

3.6. Paros minimalios oro temperatūros kaita

Remiantis regioninių klimato modelių išvesties duomenimis Vilniuje minimali paros oro temperatūra šaltuoju sezonu XXI amžiuje augs (žiemos taps šiltesnės). 3.5. paveiksle, vaizduojamas dienų skaičius, kai minimali paros temperatūra nukrinta žemiau pasirinktos ribinės temperatūros, tarpmetinė kaita.



3.5. pav. Dienų skaičius su skirtinga a) šaltojo sezono, b) šiltojo sezono minimalia oro temperatūra 1981-2099 m. laikotarpiu Vilniuje.

Prognozuojama, kad dienų skaičius, kai fiksuojama žemesnė nei $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ oro temperatūra, Vilniuje iki XXI pabaigos sumažės 3,4 karto (1995 m. tokių dienų buvo 26 per

metus, 2085 m. bus tik apie 8 dienas per metus). Šaltų dienų ($T_{\min} \leq -10 \text{ }^\circ\text{C}$) iki 2070 m. mažės maždaug 7 dienomis per 30 metų, tačiau amžiaus pabaigoje pokyčių tempas sulėtės – per 30 metų atvejų skaičius sumažės 3-4 dienomis.

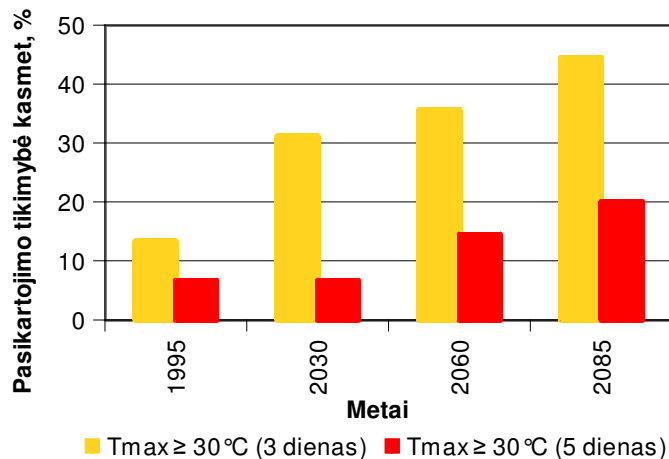
Panašūs augimo tempai ir tendencijos numatomi ir dienoms kai minimali oro temperatūra $\leq -15 \text{ }^\circ\text{C}$, $\leq -20 \text{ }^\circ\text{C}$, $\leq -25 \text{ }^\circ\text{C}$ (3.5. pav. a). Itin šaltų dienų skaičius Vilniuje, kuomet oro temperatūra nukris žemiau $-20 \text{ }^\circ\text{C}$, ateityje labai sumažės ir tokių atvejų per metus nuo XXI a. vidurio pasitaikys vos 1-2 kartus per žiemą. Atvejų, kai paros minimali temperatūra bus žemesnė nei $-25 \text{ }^\circ\text{C}$ nuo antros XXI amžiaus pusės praktiškai visai nebeliks.

Šiltuoju metų sezonu vis daugiau pasitaikys dienų, kai minimali oro temperatūra nenukris žemiau $18 \text{ }^\circ\text{C}$ ar $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (3.5. pav. b). Dienų skaičius, kai minimali oro temperatūra aukštesnė arba lygi $18 \text{ }^\circ\text{C}$ iki XXI a. pabaigos padidės 4 kartus, ir 2085 m. vidutiniškai bus 16 tokių atvejų per metus. Minimali paros temperatūra paprastai fiksuojama naktį arba rytinėmis valandomis. Naktis, kai minimali oro temperatūra nenukrenta žemiau $20 \text{ }^\circ\text{C}$, laikoma „tropine naktimi“. Tropinės naktys dažniausiai fiksuojamos karščio bangų metu ir tokie reiškiniai gali sukelti rimtų sveikatos sutrikimų pagyvenusiems žmonėms, vaikams, žmonėms sergantiems širdies ar kvėpavimo takų ligomis. 1981-2010 m. tropinių naktų Vilniuje pasitaikė retai (maždaug kas 2 metai), tačiau numatoma, kad tokių atvejų vis daugės (vidutiniškai po 1-2 dienas per 30 metų) ir amžiaus pabaigoje tropinės naktys bus fiksuojamos 6-7 kartus per metus.

3.7. Karštų ir šaltų laikotarpių prognozė XXI amžiui

Itin karštų ar šaltų dienų laikotarpiai, net ir trumpalaikiai, turi didelį poveikį žmonėms ir yra žalingi sveikatai. Karšti laikotarpiai taip pat daro didelę įtaką žemės ūkiui (augalų ir gyvulių produktyvumui, ligų ir kenkėjų paplitimui, žemės ūkio produktų kainoms), įvairioms pramonės šakoms bei energetikai. Itin karštų ir šaltų laikotarpių pasikartojimo prognozės labai svarbios sudarant ekstremalių situacijų veiksmų planus, rengiant ir įgyvendinant prevencijos priemones.

Remiantis modeliavimo rezultatais, Vilniuje XXI a. pabaigoje, karštų laikotarpių, kai ne mažiau kaip 3 ar 5 dienas iš eilės maksimali oro temperatūra bus lygi arba viršys $30 \text{ }^\circ\text{C}$, padaugės iki trijų kartų. 3.6. paveiksle pavaizduota kaip keisis stichinės kaitros pasikartojimo tikimybė per XXI a. Ši tikimybė išreikšta procentais, parodo kokia yra galimybė, kad reiškinys, atitinkantis nustatytus kriterijus, pasikartos kasmet.

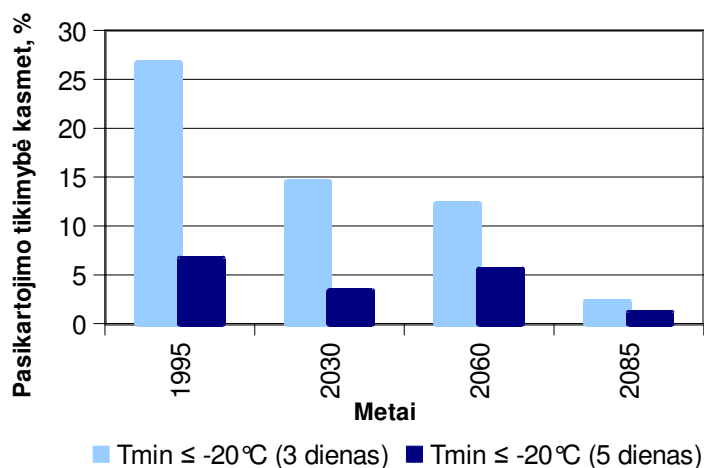


3.6. pav. Stichinės kaitros (kai maksimali oro temperatūra ≥ 30 °C išsilaiko ilgiau nei 3 arba 5 dienas iš eilės) pasikartojimo tikimybė Vilniuje, skirtingais laikotarpiais XXI a.

Kontroliniu laikotarpiu (1981-2010 m.) tikimybė, kad pasitaikys 3 dienas ir ilgiau trunkantys karščiai buvo apie 13 % (tokios kaitros pasikartodavo maždaug kas 7,5 metų). Prognozuojama, kad XXI amžiaus pabaigoje tokia tikimybė išaugs iki 44 % (kaitros pasikartos maždaug kas 2,5 metų). Tikimybė, kad Vilniuje temperatūra pasieks ≥ 30 °C ir tokie karščiai tęsis 5 dienas iš eilės arba ilgiau, šiuo metu yra 6,7 % (tokie atvejai pasikartoja maždaug kas 15 metų), prognozuojama, kad amžiaus pabaigoje tokių karščių tikimybė išaugs iki 20,0 % (pasikartojimo dažnis bus 5 metai) (3.6. pav.).

Šalti laikotarpiai, priešingai negu karšti, XXI amžiuje pasitaikys vis rečiau ir rečiau. Prognozuojama, kad per XXI amžių dienų, kai oro temperatūra bus lygi arba žemesnė už -20 °C, skaičius sumažės iki 8 kartų. 3.7. pav. pavaizduota kaip keisis labai šaltų laikotarpių tikimybė per ateinantį šimtmetį. XXI a. amžiaus pabaigoje tikimybė, kad 3 dienas ir ilgiau minimali oro temperatūra bus žemesnė nei -20 °C sumažės iki 2 % (t.y. 2070-2099 m. tokie šalti laikotarpiai pasikartos tik maždaug kas 15 metų, kai tuo tarpu 1981-2010 m. pasikartodavo kas 4 metus).

Ateityje taip pat sumažės ir šaltų laikotarpių, kai ≤ -20 °C temperatūra išsilaiko ne mažiau kaip 5 dienas iš eilės (3.7. pav.). XXI amžiaus pabaigoje tokių šalčių tikimybė tesieks 1,0 % ir pasikartos tik kartą per 30 metų (1981-2010 m. tokių šalčių tikimybė buvo apie 7,0 % ir jie pasikartodavo vidutiniškai kas 15 metų).



3.7. pav. Vidutinė metinė labai šaltų periodų (kai 3 arba 5 dienas ir ilgiau minimali oro temperatūra išsilaiko žemiau -20°C) tikimybė skirtingais XXI a. laikotarpiais.

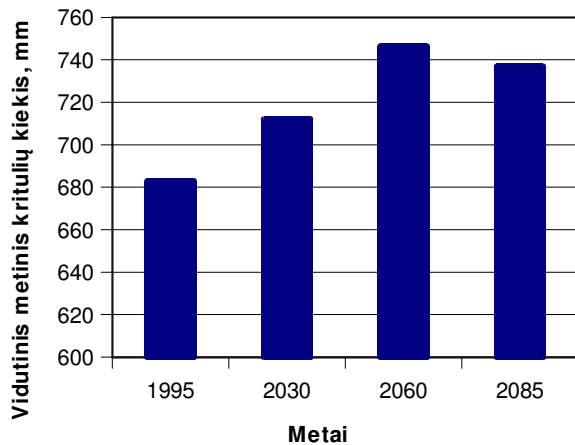
3.8. Metinio kritulių kiekio kaita

Kritulių prognozės Vilniaus miestui XXI a. pasižymi daug didesne variacija tarp modelių ir šių prognozių patikimumas yra mažesnis nei temperatūros. Paklaidos atsiranda todėl, kad krituliai su šiltnamio efektą sukeliančiomis dujomis nėra susiję taip tiesiogiai kaip temperatūra, be to kritulius sudėtingiau sumodeliuoti dėl daugybės veiksnių, įtakančių jų susidarymą.

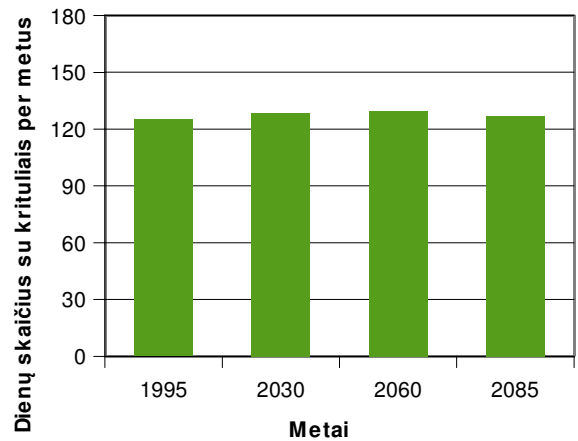
Remiantis visų tyrime naudotų modelių (BCM-RCA, ECHAM5-REMO, HadCM3-HadRM) išvesties duomenų vidurkiu, kritulių kiekis Vilniuje augs iki 2070 m. (60 mm arba 8,7 % lyginant su 1995 m.), o vėliau iki XXI amžiaus pabaigos gali ir sumažėti (apie 10 mm arba 1,3 % lyginant su 2070 m.). Tačiau kritulių kiekis 2085 m. vis tiek liks apie 50 mm (7,3 %) didesnis nei 1981-2010 m. vidurkis (3.8. pav. a).

Nors prognozuojama, kad kritulių kiekis Vilniuje per XXI a. padidės, lietingų dienų skaičius nesikeis (3.8. pav. b) ir išliks apie 127 dienas per metus. Nesikeičiantis vidutinis dienų skaičius su krituliais leidžia daryti išvadą, kad lietaus tikimybė XXI a. išliks tokia pati kaip yra šiuo metu, tačiau krituliai bus intensyvesni, ir per tą patį laiką iškris didesnis jų kiekis.

a)



b)

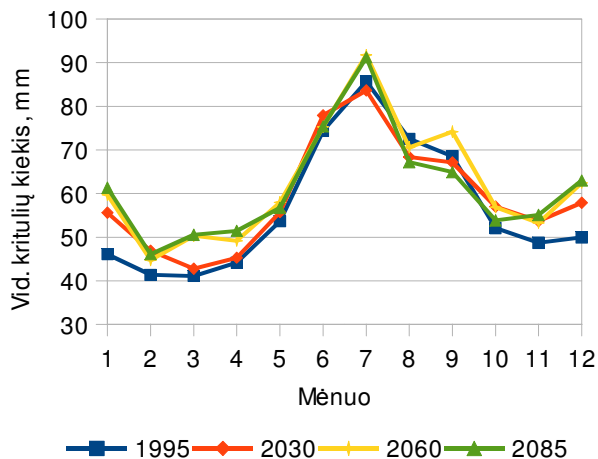


3.8. pav. a) vidutinis metinis kritulių kiekis (mm) skirtingais XXI a. laikotarpiais Vilniuje; b) vidutinis dienų skaičius su krituliais per metus.

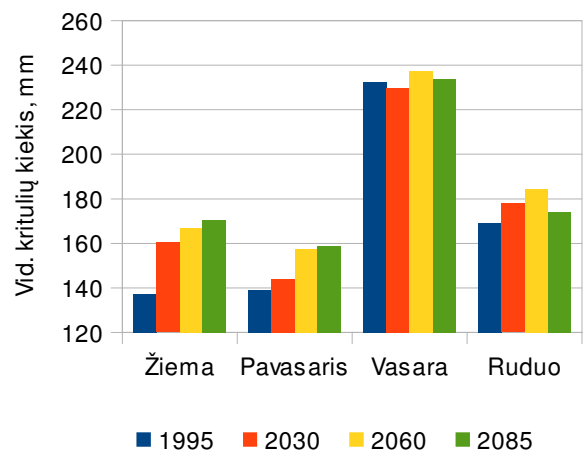
3.9. Vidutinio mėnesinio ir sezoninio kritulių kiekio kaita

Vidutinis mėnesio kritulių kiekis per XXI a. labiausiai keisis gruodžio ir sausio mėnesiais (padidės 13-15 mm (26-33 %) iki amžiaus pabaigos). Mažiausi vidutinio kritulių kiekio pokyčiai XXI a. pabaigoje, lyginant su kontroliniu laikotarpiu, įvyks gegužės-birželio ir spalio mėnesiais (kritulių kiekis padidės 1-3 mm arba 1,4-5,7 %) (3.9. pav. a).

a)



b)



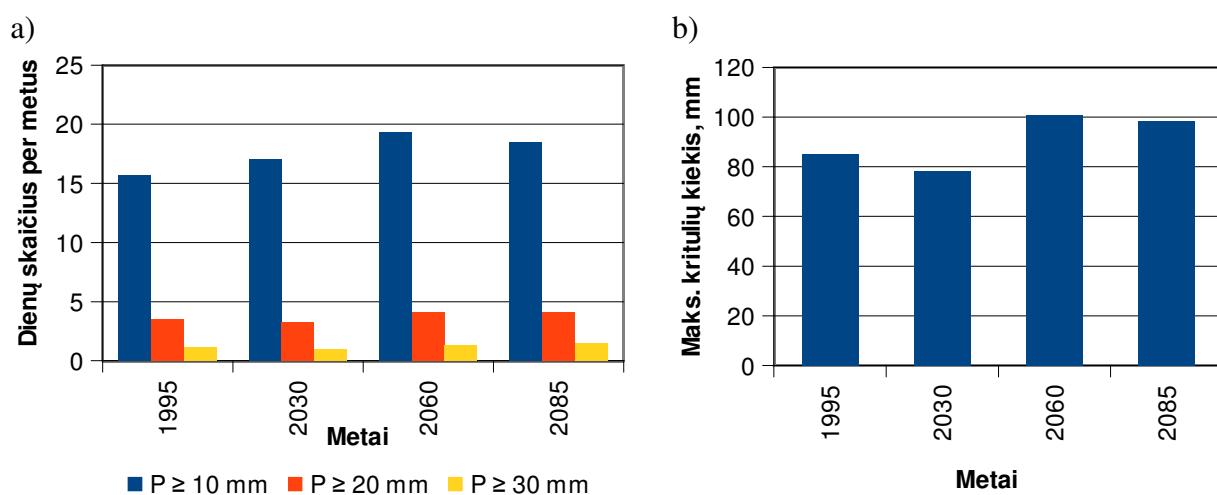
3.9. pav. Apskaičiuotas (1995 m.) ir prognozuojamas a) vidutinis mėnesio, b) vidutinis sezono kritulių kiekis Vilniuje XXI amžiui.

Labiausiai kritulių kiekis XXI a. keisis žiemą ir pavasarį (3.9. pav. b). Prognozuojama, kad vidutinis žiemos kritulių kiekis iki amžiaus pabaigos padidės apie 33 mm (24 %), pavasario kritulių kiekis padidės apie 20 mm (14 %) lyginant su 1981-2010 m. laikotarpiu. Dėl aukštesnės vidutinės temperatūros vis didesnę dalį žiemos kritulių sudarys šlapdriba ir lietus. Daugėjant skystų kritulių galimi dažnesni upių (Neries, Vilnelės) poplūdžiai šaltuoju metų laiku, tačiau gali sumažėti upių vandens lygis pavasario potvynio metu (dėl mažesnių vandens atsargų sniege).

Prognozuojama, kad iki 2060 m. rudens kritulių kiekis išaugs 15 mm (9 %), tačiau amžiaus paskutiniaisiais dešimtmečiais vėl pradės mažėti ir už dabartinį vidurkį bus didesnis tik apie 5 mm (3 %). Mažiausiai kritulių kiekis keisis vasarą. Atskirais periodais XXI amžiuje jis gali šiek tiek sumažėti ar padidėti (1-2 %), tačiau bendras vasaros kritulių kiekis išliks panašus (apie 235 mm per sezoną) (3.9. pav. b).

3.10. Gausių kritulių kiekio kaita

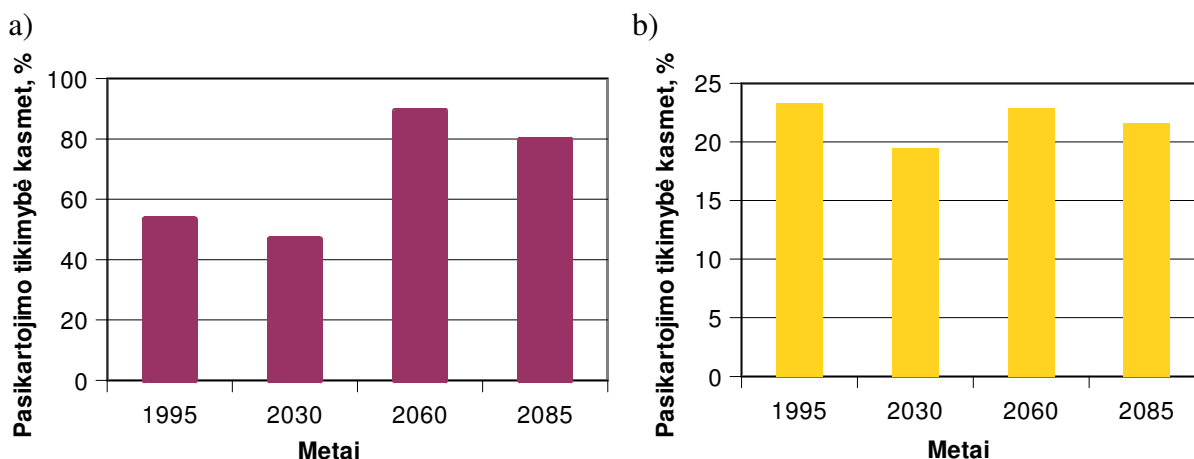
Gausių kritulių atvejų, kai per parą iškrenta daugiau kaip 10 mm kritulių, XXI a. daugės. Prognozuojama, kad iki 2060 m. tokių atvejų padaugės 4 dienomis (3.10. pav. a). Amžiaus pabaigoje tokių dienų vėl gali sumažėti (1 diena per metus), tačiau tokio intensyvumo krituliai vis tiek bus apie 18 % dažnesni nei 1981-2010 m. laikotarpiu. Dienų skaičius kai per parą iškrenta daugiau kaip 20, ar 30 mm kritulių XXI a. keisis nežymiai (3.10. pav. a).



3.10. pav. Gausių kritulių kaita Vilniuje XXI amžiuje: a) dienų kai kritulių kiekis viršija 10, 20, 30 mm skaičius per metus; b) vidutinis maksimalaus kritulių kiekis per parą.

Prognozuojama, kad vidutinis maksimalus paros kritulių kiekis per parą XXI a. didės (3.10. pav. b). Tikėtina, kad amžiaus pabaigoje vidutinis maksimalus paros kritulių kiekis gali siekti 98 mm ir bus apie 15 % didesnis, nei 1981-2010 m.

Remiantis modeliavimo rezultatais lietingų laikotarpių, kai per 3 dienas iškrenta 50 mm ir daugiau kritulių, tikimybė XXI a. amžiuje išaugs apie 27 % ir tokių atvejų pasitaikys beveik kasmet (1981-2010 m. laikotarpiu pasitaikydavo vidutiniškai kas 2 metus) (3.11. pav. a). Ilgai trunkantys lietingi periodai (atitinkantys stichinių reiškinių kriterijų), kai per 5 dienas iškrenta 90 ir daugiau mm kritulių, XXI a. keisis nežymiai ir jų tikimybė svyruos priklausomai nuo sausringų ir lietingų ilgalaikių periodų (3.11. pav. b). Tikėtina, per ateinančius 30 metų tokių stichinių atvejų tikimybė sumažės apie 5 %, tačiau apie 2060 m. vėl bus tokia pat kaip ir šiuo metu (1981-2010 m. Vilniuje tokie reiškiniai pasitaikydavo vidutiniškai kas 4 metai). Apie 2085 metus stichinio ilgai trunkančio lietaus atvejų gali sumažėti apie 2 % lyginant su pastaraisiais 30 metų.



3.11. pav. Labai lietingų laikotarpių, kai a) per 3 dienas iškrinta 50 mm ir daugiau kritulių ir b) kai per 5 dienas iškrinta 90 mm ir daugiau kritulių pasikartojimo kaita Vilniuje XXI a.

Kritulių kiekio ir intensyvumo analizė rodo, kad XXI a. vidutinis metinis kritulių kiekis didės pirmiausia dėl to, kad išaugs kritulių atvejų skaičius, kai per parą iškrenta 10 ir daugiau mm kritulių, bei augant maksimaliam kritulių kiekiui per parą. Tačiau stichinių ilgalaikių kritulių (≥ 5 dienas) tikimybė keisis nežymiai, arba tokių atvejų gali ir sumažėti.

3. Apibendrinimas

Lietuvos, o kartu ir Vilniaus miesto klimatas XXI a. keisis priklausomai nuo globalių Žemėje vykstančių procesų, kuriems vis didesnę įtaką turi žmonių veikla. Klimato prognozės XXI. a. sudaromos remiantis klimato modeliais, kurie sugeba tiksliai atkartoti praeities klimato svyravimus ir yra naudojami kaip įrankis ateities klimatui modeliuoti. Ateities klimato modeliavimas atliekamas pasirenkant šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos scenarijus, kurie priklauso nuo socialinės-ekonominės žmonijos raidos. Šiame tyrime naudoti trijų regioninių klimato modelių (ECHAM5-REMO, HadCM3-HadRM) išvesties duomenys, pagal A1B emisijos scenarijų. Klimato pokyčiai apibūdinami remiantis 30 metų vidurkais trims laikotarpiams į ateitį: 2030, 2060 ir 2085 m.

Prognozuojama, kad 2030 m. vidutinė metinė temperatūra Vilniuje bus 7,9 °C (1,1 °C aukštesnė, nei 1981-2010 m.). Dienų su krituliais skaičius išliks panašus, tačiau kritulių kiekis per metus bus apie 712 mm (26 mm aukštesnis, nei 1981-2010 m.). Daugiausiai kritulių kiekis augs žiemos sezonu ir sieks 160 mm (1981-2010 m. buvo 137 mm). Apie 12 % sumažės didelių šalčių tikimybė (kai minimali oro temperatūra ≤ -20 °C išsilaiko 3 dienas ir ilgiau), o vasarą vidutiniškai 6 dienas per metus bus fiksuojama aukštesnė nei 30 °C temperatūra (1981-2010 m. buvo apie 3 dienas per metus).

2060 m. vidutinė metinė temperatūra Vilniuje bus apie 9,0 °C (2,3 °C aukštesnė, nei 1995 m.) kritulių kiekis per metus išaugs 60 mm lyginant su 1981-2010 m. vidurkiu ir sieks 746 mm. Labiausiai išaugs kritulių kiekis žiemos sezonu (apie 30 mm). Labai lietingų laikotarpių (kai per 3 dienas iškrenta 50 mm ir daugiau kritulių) tikimybė išaugs iki 90 % (t.y. tokių atvejų pasitaikys beveik kasmet). 1981-2010 m. tokių lietingų laikotarpių tikimybė buvo 53 %. Prognozuojama, kad labai šaltų dienų (kai minimali oro temperatūra ≤ -20 °C) sumažės 3 kartus, ir tokie atvejai pasitaikys vos kartą per metus. Stichinės kaitros (kai maksimali paros temperatūra ≥ 30 °C išsilaiko 3 dienas ir ilgiau) tikimybė išaugs 23 % lyginant su kontroliniu laikotarpiu ir sieks 36 % (tokios kaitros pasikartos vidutiniškai kas 3 metus). Tropinių naktų (kai minimali paros temperatūra nenukrenta žemiau 20 °C) atvejų skaičius padidės beveik 8 kartus. 2060 m. per metus bus fiksuojamos 4 tropinės naktys, kai tuo tarpu 1981-2010 m. laikotarpiu tropinių naktų pasitaikydavo ne kasmet.

Apie 2085 m. Vilniuje žiemos vidutinė temperatūra taps teigiama (0,3 °C) ir už 1981-2010 m. vidurkį bus aukštesnė 3,7 °C. Pavasario, vasaros ir rudens sezonų vidutinė temperatūra bus atitinkamai 9,6 °C, 19,4 °C, 9,6 °C (t. y. maždaug 2,8 °C aukštesnė nei 1981-2010 m.). Šie pokyčiai atsispindės ir vidutinėje metinėje temperatūroje – ji bus 3,0 °C aukštesnė nei 1981-2010

m. ir sieks 9,8 °C. Lyginant su 2060 m. kritulių kiekis XXI. pabaigoje gali šiek tiek sumažėti, tačiau išliks apie 50 mm aukštesnis nei 1981-2010 m. vidurkis (2085 m. - 737 mm). Kaip ir minėta anksčiau, labiausiai pasikeis kritulių kiekis žiemos sezonu, kuris 2085 m. sieks 170 mm (bus 24 % didesnis nei 1995 m.). Tačiau dėl labai išaugusios vidutinės žiemos temperatūros, didžiąją dalį kritulių greičiausiai sudarys mišrios ir skystos sudėties krituliai (šlapdriba ir lietus). Vidutinis maksimalus paros kritulių kiekis išaugs 13 mm ir bus apie 98 mm. Tikėtina, kad 2085 m. temperatūra Vilniuje niekada nenukris žemiau -25 °C (1981-2010 m. tokių atvejų pasitaikydavo beveik kasmet). Vidutinė vasaros temperatūra keisis mažiau nei žiemos (lyginant su 1981-2010 m. pakils 2,7 °C), tačiau gerokai išaugs (31 %) stichinių kaitrų tikimybė ir jos pasikartos vidutiniškai kas 2,5 metų (1981-2010 m. laikotarpiu pasikartodavo maždaug kas 7,5 metų). Tropinių naktų atvejų skaičius gali padidėti iki 13 kartų, ir vidutiniškai per metus gali būti 7 tokie atvejai.

Išanalizuoti modeliavimo rezultatai, remiantis A1B scenarijumi leidžia teigti, kad XXI a. temperatūra Vilniuje augs ir didžiausi pokyčiais įvyks šaltuoju metu sezonu. Dėl kylančios temperatūros žiemą padaugės skystų ir mišrių kritulių atvejų ir išaugs sezoninis kritulių kiekis. Vidutinis metinis kritulių kiekis didės, tačiau dienų su krituliais skaičius išliks panašus kaip ir šiuo metu (t. y. daugės intensyvių kritulių atvejų). Amžiaus pabaigoje labai išaugs kaitrų tikimybė ir vis dažniau bus fiksuojamos „tropinės naktys“, kai minimali paros temperatūra nenukris žemiau 20 °C. Rezultatai gauti atlikus tyrimą sutampa su dabartinėmis klimato rodiklių kaitos tendencijomis (Galvonaitė, Valiukas, 2005) ir su kitų autorių darbais (Rimkus ir kt., 2007; Rimkus ir kt. 2009, Margelytė 2011), kuriuose taip pat teigiama, kad temperatūrą XXI a. Lietuvoje augs, vidutinis kritulių kiekis didės, o didžiausi pokyčiai numatomi žiemą.

Visi šie klimato pokyčiai turės didelę reikšmę Vilniaus gyventojams ir miesto funkcionavimui. Besikeičiantys kasdieniniai orai (besiformuojantis naujas klimato rodiklių vidurkis) ir ekstremalūs meteorologiniai reiškiniai gali sukelti pavojų žmonių gyvybėms ir sveikatai. Miesto infrastruktūra taip pat turi būti prisitaikyti prie besikeičiančių sąlygų (pvz.: turėtų būti padidintas lietaus kanalizacijos pralaidumas, įrengtos vėdinimo sistemos visuomeniniuose pastatuose, naudojamos medžiagos turėtų būti atsparesnės aukštesnei vasaros temperatūrai, o žiemą dažnam temperatūros svyravimui apie 0 °C). Šiame tyrime pateiktos klimato prognozės atspindi tik vieną iš galimų šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos scenarijų ir priklausomai nuo šiandieninių žmonijos pasirinkimų ir sprendimų klimato pokyčiai XXI a. pabaigoje gali būti mažesni arba didesni.

Literatūra

- Bukantis A. ir kt. (2008). Lietuvos gamtinė aplinka, būklė, procesai ir raida, Vilnius, p. 238.
- CH2011 (2011). Swiss Climate Change Scenarios CH2011. Published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC. Zurich, Switzerland, p. 88. <http://www.ch2011.ch/>
- ENSEMBLES (2012). ENSEMBLES project, funded by the European Commission's 6th Framework Programme through contract GOCE-CT-2003-505539. <http://ensembles-eu.metoffice.com/index.html>
- Galvonaitė A., Valiukas D. (2005). Lietuvos klimato kaita 1991-2003. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba, p. 80.
- Hewitt C. D., Griggs D. J. (2004). Ensembles-based Predictions of Climate Changes and their Impacts. Eos, 85, p. 566.
- IPCC (2000). Special Report Emissions Scenarios. Cambridge University Press, UK, p. 570.
- IPCC (2007) Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, p. 104.
- Margelytė S. (2011). Lietuvos klimato prognozė XXI amžiui remiantis COSMO-CLM modeliu. Magistro darbas, darbo vadovas doc. E. Rimkus, p. 70.
- Rimkus E., Kažys J., Junevičiūtė J., Stonevičius E. (2007). Lietuvos klimato pokyčių XXI amžiuje prognozė, Geografija 43(2): 37-47.
- Rimkus E., Kažys J., Bukantis A. (2009). Gausių kritulių Lietuvoje prognozė XXI amžiui pagal regioninį CCLM modelį, Geografija 45(2): 122-130.
- Storch H., Zwiers F. W. (2003). Statistical Analysis in Climate Research. Cambridge University Press (Virtual Publishing), p. 495.

Priedai

1 lentelė. Vidutinė (T_{vid}), vidutinė minimali (T_{min}), vidutinė maksimali (T_{max}) metinė temperatūra, vidutinis kritulių kiekis per metus (P_{vid}), vidutinis maksimalus kritulių kiekis per parą (P_{max}) ir dienų skaičius su krituliais (P_{dienos}) Vilniuje XXI a.

Metai	T_{vid} , (°C)	T_{min} , (°C)	T_{max} , (°C)	P_{vid} , (mm)	P_{max} , (mm)	P_{dienos}
1995	6,7	3,1	10,8	686	85	125
2030	7,7	4,3	11,9	712	78	128
2060	9,0	5,5	13,1	746	101	129
2085	9,8	6,3	13,8	737	98	127

2 lentelė. Vidutinė oro temperatūra (T_{vid}) ir vidutinis kritulių kiekis (P_{vid}) skirtingais sezonais Vilniaus mieste XXI a.

Metai	T_{vid} , (°C)				P_{vid} , (mm)			
	Žiema	Pavasaris	Vasara	Ruduo	Žiema	Pavasaris	Vasara	Ruduo
1995	-3,4	6,6	16,8	6,8	137	139	233	169
2030	-2,0	7,7	17,8	7,8	160	144	230	178
2060	-0,6	9,0	18,7	8,8	167	158	238	184
2085	0,3	9,6	19,4	9,6	170	159	234	174

3 lentelė. Vidutinė minimali (T_{min}) ir maksimali (T_{max}) oro temperatūra skirtingais sezonais Vilniaus mieste XXI a.

Metai	T_{min} , (°C)				T_{max} , (°C)			
	Žiema	Pavasaris	Vasara	Ruduo	Žiema	Pavasaris	Vasara	Ruduo
1995	-5,7	2,0	11,9	3,9	-0,8	11,1	22,1	11,4
2030	-4,1	3,2	12,9	5,1	0,4	12,2	23,2	11,8
2060	-2,5	4,5	14,0	6,2	1,7	13,4	24,1	12,8
2085	-1,5	5,1	14,6	6,9	2,6	14,1	24,9	13,6

4 lentelė. Vidutinė mėnesio oro temperatūra (T_{vid}) ir vidutinis mėnesio kritulių kiekis (P_{vid}) Vilniaus mieste XXI a.

Mėnuo	T_{vid} , (°C)				P_{vid} , (mm)			
	1995	2030	2060	2085	1995	2030	2060	2085
1	-3,9	-2,3	-1,1	-0,1	46	56	60	61
2	-3,6	-2,1	-0,7	0,2	41	47	45	46
3	0,3	1,8	3,3	4,0	41	43	50	51
4	6,9	8,0	9,1	9,6	44	45	49	51
5	12,8	13,5	14,6	15,1	54	56	58	57
6	15,7	16,8	17,6	18,2	74	78	75	75
7	17,8	18,6	19,5	20,2	86	84	95	91
8	16,8	17,9	19,1	19,9	73	68	71	67
9	12	13,1	14,1	14,8	69	67	74	65
10	6,7	7,8	8,6	9,6	52	57	57	54
11	1,3	2,4	3,8	4,4	49	54	53	55
12	-2,7	-1,5	0,0	0,8	50	58	62	63

5 lentelė. Vidutinė mėnesio minimali (T_{min}) ir maksimali (T_{max}) oro temperatūra Vilniaus mieste XXI a.

Mėnuo	T_{min} , (°C)				T_{max} , (°C)			
	1995	2030	2060	2085	1995	2030	2060	2085
1	-6,2	-4,4	-2,9	-1,8	-1,5	-0,1	1,0	1,9
2	-6,4	-4,6	-3,0	-1,9	-0,8	0,6	1,9	2,8
3	-3,3	-1,7	-0,1	0,7	3,9	5,2	6,7	7,6
4	1,9	3,1	4,3	4,7	11,5	12,7	13,7	14,3
5	7,2	8,1	9,2	9,7	18,0	18,8	19,8	20,4
6	10,5	11,7	12,6	13,1	20,8	22,0	22,8	23,4
7	12,9	13,6	14,6	15,3	22,9	23,9	24,7	25,5
8	12,3	13,4	14,6	15,4	22,7	23,6	27,8	25,7
9	8,4	9,5	10,6	11,2	17,8	18,3	19,3	20,1
10	4,0	5,1	6,0	6,8	11,6	11,9	12,7	13,7
11	-0,6	0,6	1,9	2,8	4,7	5,1	6,4	7,1
12	-4,6	-3,3	-1,6	-0,7	0,2	0,8	2,3	3,0