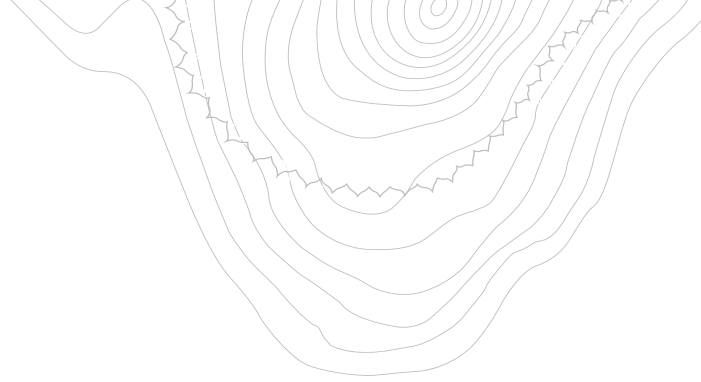


VSIA “LATVIJAS VIDES, ĢEOLOĢIJAS
UN METEOROLOĢIJAS CENTRS”

Ziņojums

**LIDZŠINĒJĀS UN
NĀKOTNES KLIMATA
PĀRMAIŅAS LATVIJĀ**

RĪGA, 2024



Ziņojums sagatavots un izdots ar Norvēģijas finanšu instrumenta 2014.–2021. gada perioda programmas “Klimata pārmaiņu mazināšana, pielāgošanās tām un vide” atbalstu projekta “Klimata pārmaiņu politikas integrācija nozaru un reģionālajā politikā (Nr. LV-CLIMATE-0001)” ietvaros.

Strādājam kopā zaļai Eiropai!

AUTORI:

Svetlana Aņiskeviča

Agate Baumanē

Rita Graustiņa

Dāgs Ādams Grīnbergs

Andris Vīksna

Dace Zandersone

Viesturs Zandersons

ISBN: 978-9-93492-563-4



SATURS

IEVADS	4
AKTUALITĀTE	6
1. KLIMATA MODELĒŠANA	7
2. DATI UN METODES:	11
2.1.1. Hidrometeoroloģisko novērojumu dati	12
2.1.2. Novērojumu datu homogenizācija	14
2.1.3. Trendi un to nozīmīgums.....	15
2.2.1. Klimata pārmaiņu modeļu lejupielāde un Latvijai atbilstošo modeļu izvēle.....	19
2.2.2. Pētījumā izmantotie klimata pārmaiņu modeļi.....	20
2.2.3. Klimata pārmaiņu modeļu telpiskās izšķirtspējas uzlabošana	21
2.2.4. Klimata pārmaiņu modeļu statistiskās kļūdas korekcija	22
3. LĪDZŠINĒJĀS UN NĀKOTNES KLIMATA PĀRMAIŅAS LATVIJĀ	26
3.1.1. Gaisa temperatūra gada griezumā	26
3.1.2. Gaisa temperatūra ziemā	32
3.1.3. Gaisa temperatūra pavasarī	34
3.1.4. Gaisa temperatūra vasarā	35
3.1.5. Gaisa temperatūra rudenī	36
3.2.1. Nokrišņu daudzums gada griezumā	37
3.2.2. Nokrišņu daudzums ziemā	42
3.2.3. Nokrišņu daudzums pavasarī.....	44
3.2.4. Nokrišņu daudzums vasarā.....	46
3.2.5. Nokrišņu daudzums rudenī	46
3.3.1. Sniega segas biezums gada (oktobris–aprīlis) griezumā	48
3.2.2. Sniega segas biezums ziemā	50
3.2.3. Sniega segas biezums pavasarī (marts, aprīlis)	50
3.4.1. Vidējais vēja ātrums gada griezumā.....	51
3.4.2. Vidējais vēja ātrums ziemā.....	55
3.4.3. Vidējais vēja ātrums pavasarī.....	55
3.4.4. Vidējais vēja ātrums vasarā	56
3.4.5. Vidējais vēja ātrums rudenī.....	56
SECINĀJUMI	65
IZMANTOTĀ LITERATŪRA	67

IEVADS

Klimatu var definēt kā teritorijai raksturīgu ilglaicīgu laika apstākļu režīmu. Balstoties uz līdzšinējo klimatisko datu laikrindu analīzi, ir redzamas pārmaiņas – globāli un reģionāli pieaug gaisa temperatūra, mainās nokrišņu daudzums, savstarpēji mijoties ilgstošiem sausuma periodiem ar intensīviem nokrišņiem, kā arī pieaug citu laikapstākļu ekstrēmu skaits, nereti kļūstot par normu tam, kas iepriekš bijis ekstrēms. Lai labāk izprastu Latvijas šī brīža klimatu un spētu novērtēt nākotnes klimata izmaiņas, nepieciešams veikt ilgtermiņa datu analīzi. Tās rezultāti ir viens no būtiskiem pamatiem klimata pārmaiņu pielāgošanās jautājumos, palīdzot tautsaimniecības jomām pēc iespējas efektīvāk pielāgoties mainīgajiem laikapstākļiem.

Norvēģu finanšu instrumenta 2014.–2021. gada perioda programmas “Klimata pārmaiņu mazināšana, pielāgošanās tām un vide” ietvarā veikta līdzšinējo un nākotnes klimata pārmaiņu analīze, balstoties gan uz VSIA “Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs” (turpmāk – LVĢMC) rīcībā esošajiem meteoroloģisko novērojumu staciju datiem, gan jaunākajiem klimata pārmaiņu modeļu scenārijiem “SSP” (Shared Socioeconomic Pathway), kuri apkopoti Klimata pārmaiņu starpvaldības padomes (turpmāk - IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)) 2023. gadā publicētajā 6. nodevumā.

Pētījuma mērķi

1. Balstoties uz LVĢMC meteoroloģisko novērojumu staciju datiem, apzināt un novērtēt līdzšinējās klimata pārmaiņas.
2. Ar klimata pārmaiņu modeļiem un to jaunākajiem “SSP” klimata pārmaiņu modeļu scenārijiem prognozēt klimata pārmaiņas Latvijā līdz 21. gadsimta beigām.

Pētījuma galvenie uzdevumi

1. Apzināt un apkopot meteoroloģisko novērojumu datus tādiem parametriem kā gaisa temperatūra, nokrišņu daudzums, vēja ātrums, sniega segas biezums un jūras līmenis, nepieciešamības gadījumā veicot vēsturisko datu digitalizāciju.
2. Veikt aprēķinus, lai iegūtu diennakts datu vērtības.
3. Veikt novērojumu datu kvalitātes kontroli.
4. Aizpildīt datus iztrūkstošās vērtības un veikt novērojumu datu homogenizāciju jeb datu viendabīguma korekciju.
5. Interpolēt novērojumu datus režģī ar šūnu izšķirtspēju 5x5 km.
6. Lejupielādēt pieejamos nākotnes klimata pārmaiņu modeļus un to scenārijus, kā arī, konsultējoties ar politikas veidotājiem, izvēlēties scenārijus, kurus turpmāk izmantot Latvijā.
7. Sinhronizēt klimata pārmaiņu modeļus, standartizējot modeļu kalendārus un koordinātu sistēmas.

8. Veikt klimata pārmaiņu modeļu datu pārrežģošanu uz vienotu režģi ar šūnu izšķirtspēju 5x5 km.
9. Salīdzināt klimata pārmaiņu modeļu vēsturiskās vērtības ar līdzšinējiem novērojumiem LVĢMC stacijās un ar statistisku metožu palīdzību izvēlēties Latvijas teritorijai atbilstošos klimata pārmaiņu modeļus.
10. Koriģēt klimata pārmaiņu modeļos esošās sistemātiskās kļūdas.
11. Veikt klimatu raksturojošo indeksu aprēķinu līdzšinējiem novērojumu un nākotnes klimata pārmaiņu modeļu datiem.
12. Aprēķināt klimatu raksturojošos indikatoru ilggadējās vidējās vērtības Latvijai, tās pašvaldībām un valstspilsētām.
13. Attēlot un publicēt gūtos rezultātus.

Pētījums veikts ar Norvēģu finanšu instrumenta 2014.–2021. gada perioda programmas “Klimata pārmaiņu mazināšana, pielāģošanās tām un vide” atbalstu.

AKTUALITĀTE

Laikapstākļu izmaiņas kļuvušas par sabiedrībā un medijos plaši apspriestu tematu, klimata pārmaiņām arvien vairāk ietekmējot dažādas tautsaimniecības jomas un cilvēku dzīves visā pasaulē.

Gaisa temperatūra ir viens no klimatu raksturojošiem indikatoriem, ar kura palīdzību tiek raksturotas globālās un reģionālās klimata pārmaiņas. IPCC Sestajā ziņojumā tiek uzsvērts, ka cilvēku darbība, galvenokārt siltumnīcefekta gāzu emisijas, ir nepārprotami izraisījusi globālo sasilšanu (IPCC, 2023). Laika posmā no 2011. līdz 2020. gadam **pasaules vidējā gaisa temperatūra ir par 1,1 °C augstāka** nekā pirmsindustriālā perioda atskaites jeb bāzes līmeņa (1850.–1900. gads) vērtība. Lielākais temperatūras pieaugums (1,6 °C) novērots kontinentos, savukārt gaisa temperatūra virs pasaules okeāniem pieaugusi par 0,1 °C. Kopš 1970. gada Zemes virsmas temperatūra pieaugusi straujāk nekā jebkurā citā 50 gadu periodā pēdējo vismaz 2000 gadu laikā (Calvin et al., 2023; World Meteorological Organization, 2022; IPCC, 2023).

Laika gaitā pieaugusi ne tikai gaisa temperatūra, bet mainījušies arī citi klimatu raksturojoši parametri, piemēram, **pasaules vidējais jūras līmenis no 1901. līdz 2018. gadam pieaudzis par aptuveni 0,2 m**. Pieaudzis arī jūras līmeņa kāpšanās ātrums – vidējais jūras līmeņa kāpums gadā laikā posmā no 1901. līdz 1971. gadam bija ~1,9 mm, savukārt no 2006. līdz 2018. gadam novērots ~3,7 mm jūras līmeņa pieaugums viena gada laikā. Ar augstu ticamību zinātnieki apgalvo, ka vismaz kopš 1971. gada cilvēku darbību ietekme ir bijis galvenais jūras līmeņa celšanās virzītājspēks. Pēdējo gadu laikā arvien vairāk nostiprinās pārliecība, ka **cilvēku darbības ietekmē novērotas izmaiņas ekstremālos laika apstākļos, piemēram, karstuma viļņos, intensīvos nokrišņos, sausuma periodos, tropiskajos ciklonos** (Calvin et al., 2023; IPCC, 2023).



1.

KLIMATA MODELĒŠANA

Nemot vērā globālo gaisa temperatūras pieaugumu un dažādus laikapstākļus, kuri rada riskus, arvien aktuālāka ir nepieciešamība ar modeļu palīdzību pārbaudīt, vai līdz šim novērotās klimatiskās tendences tiks novērotas arī nākotnē.

Nepieciešamība pēc klimata modelēšanas radās jau 20. gadsimta vidū. Pateicoties saviem pētījumiem, 2021. gadā par klimata modelēšanu Nobela balvu fizikā ieguva zinātnieki Sjukuro Manabe un Klauss Haselmans (All Nobel Prizes 2021, n.d.), kurus uzskata par klimata modelēšanas galvenajiem aizsācējiem, un uz kuru paveiktajiem darbiem, izstrādātajām metodēm un iegūtajām datu rindām, tiek veidoti arī mūsdienu klimata skaitliskie modeļi.

Lai gan Nobela prēmija par klimata modelēšanu pasniegta tikai diviem laureātiem, mūsdienās darbā pie klimata skaitlisko modeļu izveides iesaistījušies zinātnieki no dažādām zinātnes nozarēm, tajā skaitā, fizikas, matemātikas, ķīmijas, bioloģijas, programmēšanas, u.c. Pateicoties Klimata pārmaiņu starpvaldības padomes (IPCC) izveidei 1988. gadā, klimata pārmaiņām, to modeļiem, pielāgošanās jautājumiem un klimata pārmaiņu ietekmei uz dažādiem tautsaimniecības sektoriem tiek piešķirta arvien lielāka vērība. Kopš IPCC dibināšanas, padome izstrādājusi sešus ziņojumus, kuros tiek aptverta informācija par jaunākajiem klimata pārmaiņu modeļiem un aktuālākajiem secinājumiem klimata pārmaiņu kontekstā (History — IPCC, n.d.).

1.1. Klimata pārmaiņu starpvaldību padomes novērtējumu ziņojumi

Pirmais IPCC novērtējuma ziņojums FAR (*First IPCC Assessment Report*) tika publicēts 1990. gadā. Tajā uzsvērts, cik būtiski pievērst uzmanību klimata pārmaiņu radītajiem izaicinājumiem, kuri rada globāla mēroga sekas, un kuru mazināšanai nepieciešama starptautiska sadarbība.

Otrais IPCC novērtējuma ziņojums SAR (*Second Assessment Report*) (1995. gads) sniedza būtisku atbalstu politikas veidotājiem, gatavojoties Kioto protokola pieņemšanai 1997. gadā.

2001. gadā publicētais trešais IPCC novērtējuma ziņojums TAR (*Third Assessment Report*) koncentrējās uz klimata pārmaiņu ietekmi un pielāgošanās nepieciešamību.

Ceturtais IPCC novērtējuma ziņojums AR4 (*Fourth Assessment Report*) 2007. gadā ielika pamatus turpmākiem darbiem pēc Kioto protokola pieņemšanas, koncentrējoties uz globālās gaisa temperatūras pieauguma ierobežošanu līdz 2 °C (IPCC, 2007).

Piekto novērtējuma ziņojumu AR5 (*Fifth Assessment Report*) IPCC ekspertu grupa nodeva laikā no 2013. līdz 2014. gadam. Tas sniedza būtisku zinātnisku ieguldījumu Parīzes nolīgumā (IPCC, 2013).

Jaunākais – IPCC sestais novērtējuma ziņojums AR6 (*Sixth Assessment Report*) – tika publicēts 2023. gadā un tas sevī ietver globālo pārskatu saskaņā ar Apvienoto Nāciju Organizācijas Vispārējo konvenciju par klimata pārmaiņām (IPCC, 2023). Uz šī nodevuma rezultātiem balstīti LVĢMC pētījumā izmantotie klimata pārmaiņu modeļu scenāriji.

1.2. IPCC 6. novērtējuma apkopojums un tā “SSP” klimata pārmaiņu modeļu scenāriji

IPCC 6. novērtējumā apkopota informācija par jaunākajiem izstrādātajiem klimata pārmaiņu modeļu scenārijiem “SSP” (*Shared Socioeconomic Pathway*) (IPCC, 2023).

Darbs pie “SSP” klimata pārmaiņu modeļu scenāriju izstrādes uzsākts vairāk nekā pirms 10 gadiem, kad zinātnieku grupa saprata, ka 1990. gados izstrādātie “SRES” klimata pārmaiņu modeļu scenāriji ir novecojuši, ņemot vērā straujās globālās ekonomikas un sabiedrības attīstības tendences. “SRES” klimata pārmaiņu modeļu scenāriji aplūkoja četras dažādas iespējamās iedzīvotāju skaita, ekonomiskās izaugsmes un siltumnīcefekta gāzu emisiju nākotnes izmaiņas.

Iepriekš minētā zinātnieku grupa savu darbību sadalīja divos virzienos. Daļa no zinātniekiem uzsāka darbu pie siltumnīcefekta gāzu emisiju līmeņu aprēķiniem. Tika izstrādāti četri nākotnes scenāriji, kas aptver plašu radiācijas bilances pieauguma izkliedi, un tie tiek aprakstīti ar vērtībām 2,6; 4,5; 6,0 un 8,5 vatiem uz kvadrātmetru (W/m^2) – atbilstoši papildus enerģijas daudzumam, ko katrs Zemes kvadrātmeters saņems 21. gadsimta laikā. Šī zinātnieku grupa savos aprēķinos neiekļāva sociālekonomiskus faktoros. Šie scenāriji aplūkoti IPCC 5. ziņojumā, kur nodēvēti par “RCP” (*Representative Concentration Pathways*) klimata pārmaiņu modeļu scenārijiem. Pēc IPCC 5. ziņojuma publicēšanas, modeļu izstrādes zinātnieku grupa turpināja savu darbu, aprēķinot arī tādus klimata pārmaiņu modeļu scenārijus, kas, atbilstoši siltumnīcefekta gāzu koncentrācijas izmaiņām, raksturo radiācijas bilances pieauguma izkliedi ar vērtībām 1,9; 3,4 un 7,0 W/m^2 .

Otra zinātnieku grupa klimata pārmaiņu modelēšanu balstīja uz sociālekonomiskajiem faktoriem, ņemot vērā to potenciālo mainību nākotnē (klimata pārmaiņu modeļu scenāriji “SSP”). Šajos scenārijos tiek iekļauts iedzīvotāju skaits, ekonomiskā izaugsme, dati par izglītības līmeni, urbanizāciju un tehnoloģiju attīstības tempiem. Šādi tiek aplūkoti pieci dažādi veidi, kā pasaule varētu attīstīties, ja netiktu īstenota nekāda veida klimata politika, un kā iespējams sasniegt klimata pārmaiņu attīstības tempa mazināšanu.

Pieci dažādie “SSP” klimata pārmaiņu modeļu scenāriji raksturo pasauli ar šādām nākotnes tendencēm:

- SSP1 – sabiedrība ir vērsta uz ilgtspēju, izaugsmi un vienlīdzību;
- SSP2 – navbūtisku izmaiņu novēsturiskajiem sociālekonomiskajiem modeļiem;
- SSP3 – jūtama pieaugoša pasaules reģionu savstarpēja sāncensība;
- SSP4 – arvien pieaug nevienlīdzība;
- SSP5 – strauji un neierobežoti pieaug ekonomikas un enerģijas patēriņš.

Lai gan “SSP” bāzes scenāriji atspoguļo dažādus rezultātus, abu zinātnieku grupu pētījumi viens otru papildina – “RCP” klimata pārmaiņu modeļu scenāriji nosaka siltumnīcefekta gāzu koncentrāciju atmosfērā un faktisko sasilšanas apjomu, kas varētu notikt līdz 21. gadsimta beigām, savukārt “SSP” klimata pārmaiņu modeļu scenāriji nosaka posmus, kuros tiks vai netiks sasniegts globālais emisiju samazinājums. Apvienojot “RCP” un “SSP” scenārijus, iegūst jaunus klimata pārmaiņu modeļu scenārijus, kuros pirmā skaitliskā vērtība atspoguļo sociālekonomiskos faktorus, savukārt otrā – radiācijas bilances pieauguma izkliedi vatos uz kvadrātmetru. IPCC 6. novērtējuma ziņojuma secinājumi balstīti šajos klimata pārmaiņu modeļu scenārijos. Klimata pārmaiņu modeļu scenāriji un to raksturojums apkopots 1. tabulā.

1. tabula

**“SSP” klimata pārmaiņu modeļu scenāriji un to raksturojums
(Meinshausen et al., 2020)**

KLIMATA PĀRMAIŅU MODEĻU SCENĀRIJS	SOCIĀLEKONOMISKAIS FAKTORS	RADIĀCIJAS BILANCES PIEAUGUMS 21. GS. LAIKĀ (W/m ²)	“RCP” KLIMATA PĀRMAIŅU MODEĻU SCENĀRIJS
SSP1-1,9	Uz ilgtspēju, izaugsmi un vienlīdzību vērsta sabiedrība	1,9	RCP1,9
SSP1-2,6	Uz ilgtspēju, izaugsmi un vienlīdzību vērsta sabiedrība	2,6	RCP2,6
SSP2-4,5	Nav būtisku izmaiņu no vēsturiskajiem sociālekonomiskajiem modeļiem	4,5	RCP4,5
SSP3-7,0	Pieaugoša reģionu sāncensība	7,0	RCP7,0
SSP5-8,5	Strauji un neierobežoti pieaug ekonomikas un enerģijas patēriņš	8,5	RCP8,5

Īstenojot Norvēģijas finanšu instrumenta 2014.–2021. gada perioda programmas “Klimata pārmaiņu mazināšana, pielāgošanās tām un vide” projektu ““Klimata pārmaiņu politikas integrācija nozaru un reģionālajā politikā (Nr. LV-CLIMATE-0001)”, LVĢMC izvirzīja priekšlikumus un Klimata un enerģētikas ministrija nolēma, ka turpmāk Latvijā tiks izmantoti šādi klimata pārmaiņu modeļu scenāriji:

- SSP1-2,6 – scenārijs, kas raksturo “nelielas” klimata pārmaiņas;
- SSP2-4,5 – scenārijs, kas raksturo “vidējas” klimata pārmaiņas;
- SSP3-7,0 – scenārijs, kas raksturo “būtiskas” klimata pārmaiņas.

1.3. Saistīto modeļa savstarpējās salīdzināšanas projekti

Saistīto modeļu savstarpējās salīdzināšanas projekts (turpmāk – CMIP (*Coupled Model Intercomparison Project*)) ir Pasaules klimata pētnieku programmas projekts, kas izveidots, lai veiksmīgi modelētu pagātnes, tagadnes un nākotnes klimata pārmaiņas.

Atmosfērā notiekošie procesi mēdz būt maza mēroga, bet radīt būtisku ietekmi uz turkāmāko norisi, tāpēc šādus procesus iekļaut klimata skaitlisko modeļu diferenciālvienādojumu sistēmās ir būtiski un, ņemot vērā nelielo mērogu, arī ļoti izaicinoši. Nereti zinātnieki dažādās institūcijās šīs diferenciālvienādojumu sistēmas sastāda atšķirīgi. Dažādu modeļu simulāciju savstarpēja salīdzināšana ir vērtīga, lai saprastu, kuri no gūtajiem rezultātiem ir konsekventi dažādos modeļos un kuri rezultāti ir tikai dažos no aprēķiniem. Kopš 1995. gada CMIP koordinē klimata pārmaiņu modeļu savstarpējo salīdzināšanu visā klimata zinātnieku kopienā.

Kopš aizvadītā gadsimta beigām CMIP ir izaudzis no nelielas par globālu zinātniski pētniecisku iniciatīvu, kura apvieno vairāk nekā 50 modelēšanas centrus visā pasaulē. CMIP gūtie rezultāti tiek izmantoti gan zinātniskos pētījumos, gan arī par pamatu politikas lēmumu pieņemšanā un IPCC ziņojumu izstrādē, tajā skaitā, iepriekš aplūkoto “SSP” klimata pārmaiņu modeļu scenāriju aprēķinos.

Vienlaicīgi ar IPCC 2023. gadā izdoto sesto ziņojumu noslēdzās arī CMIP fāze, kuras “SSP” klimata pārmaiņu modeļu scenāriju rezultāti apkopoti zem nosaukuma CMIP6 un tiek izmantoti šī pētījuma ietvarā veicot Latvijas nākotnes klimata pārmaiņu prognožu aprēķinus (*CMIP Overview - Coupled Model Intercomparison Project, 2023*).



2.

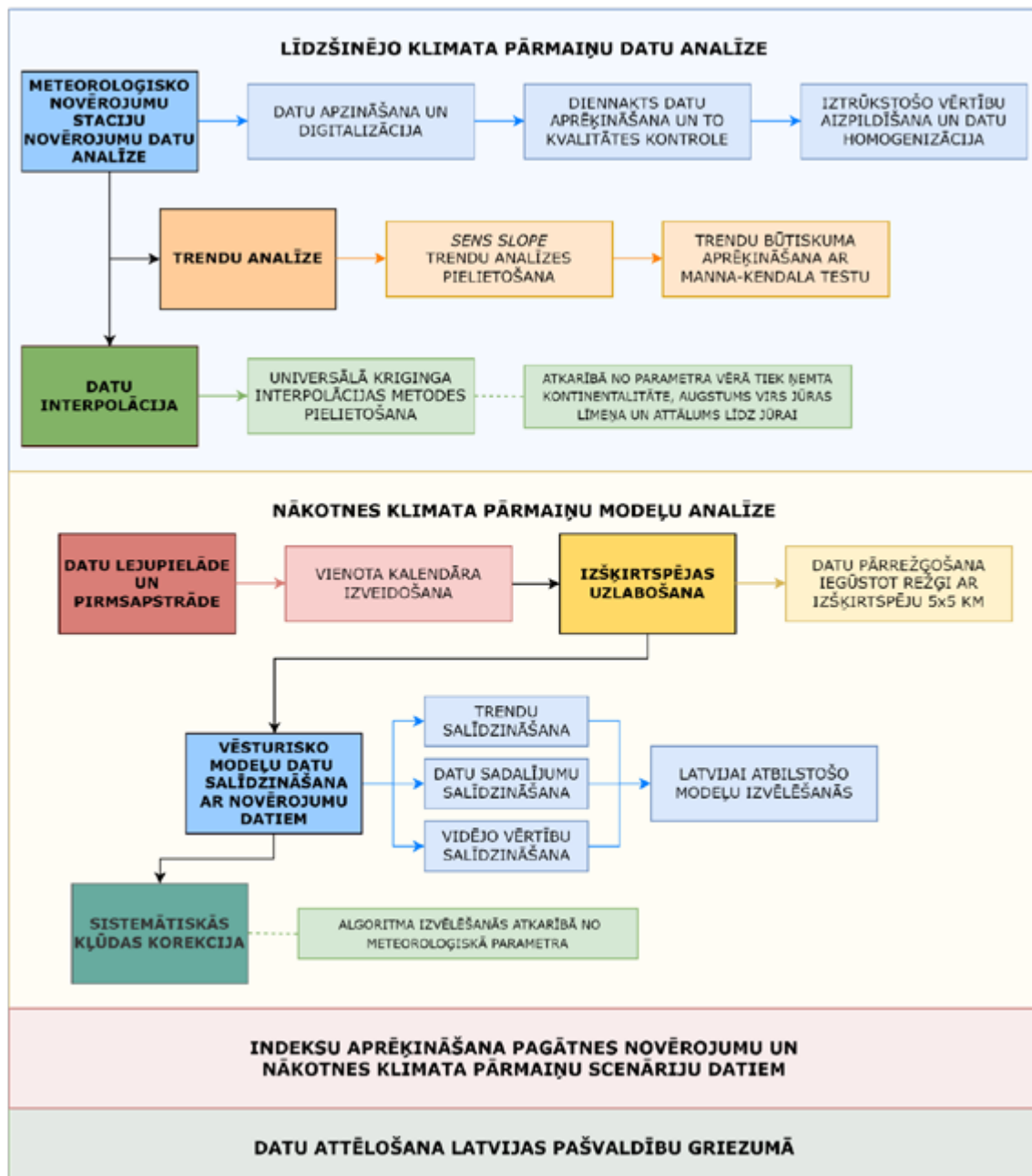
DATI UN METODEDES:

Pētījuma galvenais mērķis: balstoties uz jaunākajiem klimata pārmaiņu modeļu scenārijiem, veikt aprēķinus Latvijas teritorijai, noskaidrojot, kādas klimata pārmaiņas Latvijas teritorijā tiek sagaidītas līdz 21. gadsimta beigām.

- Izvirzītā mērķa sasniegšanai pētījuma gaitā tika risināti šādi uzdevumi:
- līdzšinējo klimata pārmaiņu datu analīze;
- nākotnes klimata pārmaiņu modeļu analīze;
- klimatisko indeksu aprēķins Latvijas pašvaldību un valstspilsētu griezumā, balstoties uz pagātnes novērojumu un nākotnes klimata pārmaiņu modeļu datiem;
- datu attēlošana un publicēšana līdzšinējo un nākotnes klimata pārmaiņu analīzes rīkā.

Minētās sadaļas padziļināti aprakstītas turpmākajā ziņojumā. Ar pētījuma shematisko secību iespējams iepazīties 1. shēmā.

Pētījumā veikto darbu shematiskais attēlojums



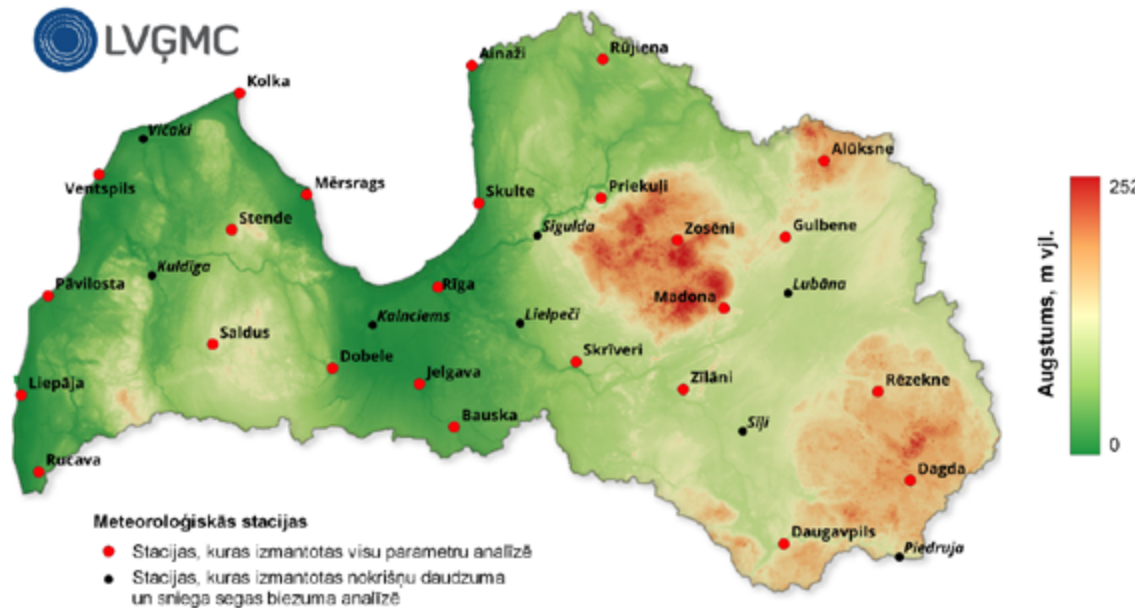
2.1. Līdzšinējo klimata pārmaiņu datu analīze

Lai izprastu, kādas bijušas līdzšinējās klimata pārmaiņas, kā arī spētu modelēt pēc iespējas precīzākas nākotnes klimata pārmaiņu projekcijas, ir nepieciešamas kvalitatīvas vēsturisko novērojumu datu rindas.

2.1.1. HIDROMETEOROLOĢISKO NOVĒROJUMU DATI

Pētījuma ietvarā izmantotas LVĢMC rīcībā esošās piezemes meteoroloģisko novērojumu stacijas, kuru:

- atrašanās vieta un mērījumu kvalitāte atbilst Pasaules Meteoroloģijas organizācijas (*World Meteorological Organization*) rekomendācijām (WMO, 2017);
- izvietojums aptver visu Latvijas teritoriju un raksturo gan piejūras reģionus, gan iekšzemes teritorijā esošo augstieņu un zemieņu klimatu (1. attēls);
- novērojumi tiek veikti vismaz kopš aizvadītā gadsimta vidus līdz pat mūsdienām;
- novērojumos ietilpst vidējā, maksimālā un minimālā gaisa temperatūra, atmosfēras nokrišņu daudzums, vēja raksturlielumi un sniega segas biezums.



1. attēls Pētījumā izmantoto Latvijas hidroloģisko un meteoroloģisko novērojumu staciju ģeogrāfiskais novietojums

Lai pilnvērtīgi analizētu klimata pārmaiņas Latvijas jūras ekonomiskās zonas teritorijā, jūras līmeņa datu analīzei izmantotas 8 piejūras LVĢMC meteoroloģisko novērojumu stacijas. (2. attēls)

Līdzšinējo klimata pārmaiņu raksturojošie klimatisko indeksu aprēķinā izmantotie meteoroloģiskie parametri un datu analīzē izmantotie laika periodi apkopoti 2. tabulā.



2. attēls Pētījumā izmantoto Latvijas piekrastes novērojumu staciju ģeogrāfiskais novietojums

2. tabula

Novērotie meteoroloģiskie parametri un to pētījuma ietvarā izmantotie laika posmi

PARAMETRS	VĒSTURISKI APLŪKOTĀIS LAIKA POSMS
Gaisa temperatūra	1947.–2023. gads
Atmosfēras nokrišņi	1945.–2023. gads
Vēja ātrums	1966.–2023. gads
Sniega sega	1945.–2023. gads
Jūras līmenis	1961.–2023. gads

2.1.2. NOVĒROJUMU DATU HOMOGENIZĀCIJA

Ņemot vērā, ka pētījumā izmantotas vēsturiski garas datu rindas, sākotnēji ir būtiski veikt datu kvalitātes kontroli, pārbaudot potenciālas datu izmaiņas vēsturisko mēriekārtu maiņas dēļ. Lai varētu novērtēt faktiskās klimata pārmaiņas,

nevis izmaiņas datu nevienādabīguma dēļ, datiem veikta homogenizācija jeb datu viendabīguma pārbaude.

Pasaules Meteoroloģijas organizācija ir izstrādājusi soļus, kurus nepieciešams īstenot, lai korekti veiktu klimatisko datu homogenizāciju:

- meteoroloģisko novērojumu staciju vēsturisko metadatu (stacijas atrašanās vieta, tās aizklātība un mērinstrumenti) un kvalitātes kontroles analīze;
- vidējo svērto vērtību aprēķins, iegūstot references laikrindas, kuras izmantot, analizējot savstarpēji tuvāko meteoroloģisko novērojumu staciju datus;
- savstarpēji salīdzinot tuvāko novērojumu staciju datus un veicot laikrindu analīzi individuāli katrā stacijā, tiek identificēti novējumos esošie pārrāvuma punkti;
- balstoties uz pieejamo informāciju par meteoroloģisko novērojumu stacijām un to mērinstrumentiem, tiek aplūkots katrs pārtraukuma punkts un konstatēts, kurus no tiem statistiskā datu analīze atlasījusi stacijas izmaiņu dēļ un kuri radušies klimata pārmaiņu dēļ;
- pamatojoties uz iepriekš gūtajiem secinājumiem, tiek veikta vēsturisko datu rindu koriģēšana, uzlabojot datu kvalitāti un padarot tos viendabīgus un savstarpēji salīdzināmus (World Meteorological Organization, 2020).

Pētījuma ietvarā LVGMC klimatisko datu homogenizācija veikta ar "Climatol" algoritmu. "Climatol" algoritms veic datu nevienādabīguma korekciju, balstoties uz standarta homogenitātes testu. Katra datu rinda tiek atkārtoti sadalīta divās daļās, kurām tiek salīdzināti empīriskie sadalījumi – ja tie atšķiras vairāk nekā sākotnēji norādītā testa kritiskā vērtība, tad tiek konstatēta nehomogenitāte, un dati tiek koriģēti. Katra rinda sekojoši tiek pārbaudīta, līdz vairs netiek atrastas nehomogenitātes, kas ir virs sliekšņa vērtības.

2.1.3. TRENDI UN TO NOZĪMĪGUMS

Meteoroloģisko parametru ilggadējo izmaiņu tendences noteikšanai pētījumā izmantots neparametriskais Manna-Kendala tests (Gilbert, 1987) ar kuru pārbauda, vai laikrindai ir raksturīgs monotons trends. Tā kā tests ir neparametrisks, to var pielietot datiem neatkarīgi no to sadalījuma.

Manna-Kendala testa pamatā ir tā sauktais rangu jeb pāru princips, kad tiek salīdzinātas divas novērojumu vērtības: katrs rindas y_t ($t=1, \dots, n$) i -tais loceklis tiek salīdzināts ar tam sekojošo locekli $y_{i'}$, $i'=i+1, i+2, \dots, n$, un tiek izveidota jauna rinda Y_i , kuras j -tais loceklis ir:

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{ja } y_i < y_{i+j}, \\ 0, & \text{ja } y_i = y_{i+j}, \\ -1, & \text{ja } y_i > y_{i+j}. \end{cases}$$

Manna-Kendala testa statistikas vērtība S ir Y_i rindas locekļu summa:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{n-i} Y_{ij}.$$

Testa statistika S parāda pozitīvo un negatīvo noviržu skaita starpību visiem noviržu pāriem. Ja n ir 9 vai mazāk, tad absolūtā statistikas S vērtība tiek

salīdzināta ar S teorētisko sadalījumu, savukārt ja novērojumu skaits n ir vismaz 10, tad papildus tiek rēķināta statistikas S dispersija pēc formulas:

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right],$$

kur q ir grupu skaits ar vienādām vērtībām ($y_i=y_j, i \neq j$) un t_p ir elementu skaits katrā šādā grupā. Tad, lai aprēķinātu testa statistiku Z , tiek izmantotas statistikas S un tās dispersijas vērtības:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}}, & \text{ja } S > 0, \\ 0, & \text{ja } S = 0, \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}}, & \text{ja } S < 0. \end{cases}$$

Statistiskās tendences esamība tiek novērtēta ar Z vērtības palīdzību. Pozitīvas (negatīvas) Z vērtības liecina par augošu (dilstošu) trendu. Tā kā Z statistika ir standartnormāli sadalīta, tad, lai pārbaudītu hipotēzi par augošu vai dilstošu monotonu trendu pie nozīmības līmeņa α , Z vērtību salīdzina ar normālā sadalījuma $1 - \alpha / 2$ kvantili.

Lai noteiktu trenda koeficienta vērtību, izmantota Sena (*Sen's*) neparametriskā metode (Sen, 1968; Theil, 1950), kas paredzēta lineāra trenda aprēķināšanai. Sākumā aprēķina

$$Q_i = \frac{y_i - y_j}{i - j},$$

kur $i > j$. Ja laikrindai ir n novērojumi, tad kopā būs $N = n(n-1)/2$ vērtības Q_i . Sena trenda novērtētājs ir visu augošā secībā sakārtotu Q_i vērtību mediāna

$$Q = \begin{cases} Q_{[(N+1)/2]}, & \text{ja } N \text{ ir nepāra,} \\ \frac{1}{2} (Q_{[N/2]} + Q_{[N/2+1]}), & \text{ja } N \text{ ir pāra.} \end{cases}$$

Sena trenda vērtības ticamības intervāls pie ticamības $(1-\alpha) \cdot 100\%$ ir aprēķināms ar formulu $(N \pm C_\alpha)/2$, kur $C_\alpha = Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\text{VAR}(S)}$, bet $Z_{1-\alpha/2}$ ir standartnormālā sadalījuma $1 - \frac{\alpha}{2}$ kvantile.

2.1.4. Klimatisko indeksu interpolācija

Ilggadējs meteoroloģisko parametru monitorings, kas veikts meteoroloģisko novērojumu stacijās, nodrošina precīzas un reprezentatīvas informācijas pieejamību attiecīgajiem novērojumu punktiem, savukārt, lai iegūtu meteoroloģisko parametru vērtības teritorijām, kas atrodas starp novērojumu stacijām, nepieciešams veikt novērojumu datu interpolāciju.

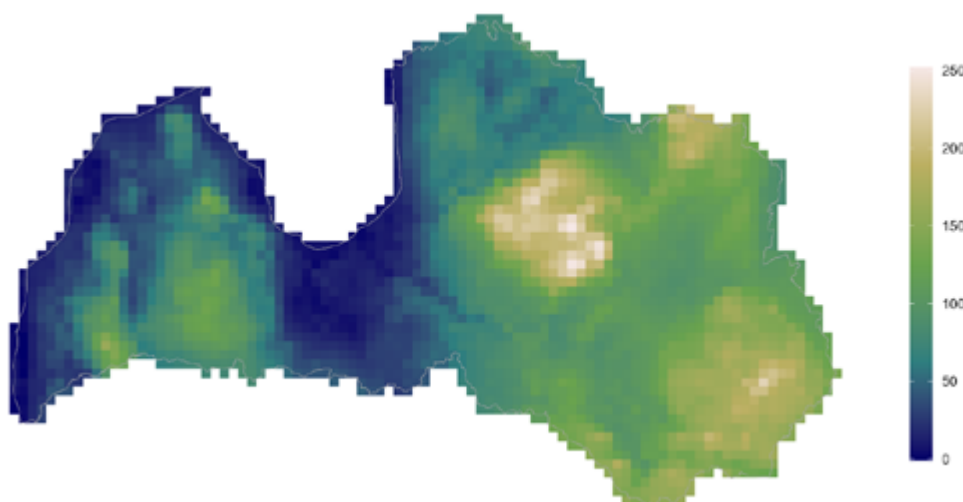
Piezemes novērojumi izmantoti kā sākuma dati parametru interpolācijai Latvijas teritorijai 5x5 kilometru režģim ar universālā Kriginga (*Universal Kriging*) metodi, kas tiek saukta arī par Krigingu ar ārēju tendenci (*Kriging with external drift*) (Hengl, 2009). Šī metode balstās uz pieņēmumu, ka analizēto parametru

jebkurā lauka punktā var izteikt kā divu locekļu – deterministiskā trenda (tendences) un stohastiskās komponentes – summu. Deterministiskais trends nosaka interpolētās vērtības īpatnības, parasti lineārās regresijas veidā. Tad, ja $Z(s)$ – gadījuma lauks, kur Z – gadījuma lielums un s – indekss, un ir zināmas novērojumu vērtības vietās s , kas ir pieejamas ierobežotā skaitā, Kringinga modelis novērtē (interpolē) vērtības tādām vietām s_0 , kur netika veikti novērojumi, izmantojot šādu pieņēmumu:

$$Z(s_0) = \hat{\beta}X(s_0) + \hat{e}(s_0),$$

kur $X(s_0)$ – telpiskās regresijas (tendences) parametri skaitā p , $\hat{\beta}$ – novērtētie regresijas parametri un $\hat{e}(s_0)$ – atlikuma loceklis (Bivand et al., 2013). Papildus arī tiek uzstādīts nosacījums, ka gadījuma lielumu $Z(s_0)$ var izteikt kā svērto kombināciju no novērotām vērtībām $Z(s)$.

Atbilstoši iepriekš aprakstītajai metodikai, lai veiktu novērojumu telpisko interpolāciju, balstoties uz lokāliem un reģionāliem ģeogrāfiskiem apstākļiem, par procesu izskaidrojošiem parametriem izmantotas punkta ģeogrāfiskās koordinātas, augstums virs jūras līmeņa (3. attēls), savukārt gaisa temperatūras, atmosfēras nokrišņu (tai skaitā sniega segas biezuma) datu interpolācijai papildus izmantots kontinentalitātes indekss. Novērojumu datu interpolācijai izmantota R programmas *gstat* pakete (Pebesma, 2004).



3. attēls Augstums virs jūras līmeņa, m

Kontinentalitāte ir viens no pamata klimatiskos apstākļus raksturojošiem faktoriem, kas parāda, vai kādas konkrētas teritorijas klimatiskos apstākļus vairāk ietekmē jūras vai sauszemes klimatiskie procesi. Lai raksturotu kontinentalitāti, pētījuma ietvaros izmantoti divi indeksi: Gorčinska un Gams indeksi.

Nemot vērā atkarību starp temperatūru un ģeogrāfisko platumu, Gorčinskis (Gorczyński, 1920) piedāvāja novērtēt reģiona kontinentalitāti (4. attēls), balstoties uz gaisa temperatūras amplitūdu vērtībām gada griezumā un konkrētās vietas ģeogrāfisko platumu:

$$k = 1,7 \frac{A}{\sin \phi} - 20,4$$

Augstāk attēlotajā formulā, kur iegūtās indeksa k vērtības ir norādītas procentos, kontinentalitāte ir lineāri atkarīga no ilggadējas gaisa temperatūras amplitūdas A (starpība starp vidējo gaisa temperatūru siltākajā un aukstākajā gada mēnesī). Tomēr gaisa temperatūras amplitūda A ir atkarīga arī no saules radiācijas intensitātes, ko lielā mērā nosaka teritorijas ģeogrāfiskais platums – līdz ar to formulā ir iekļauta arī sinusa no ģeogrāfiskā platuma ϕ inversā vērtība. Gorčinska piedāvātais kontinentalitātes indekss izmantots, veicot gaisa temperatūras vērtību interpolāciju.

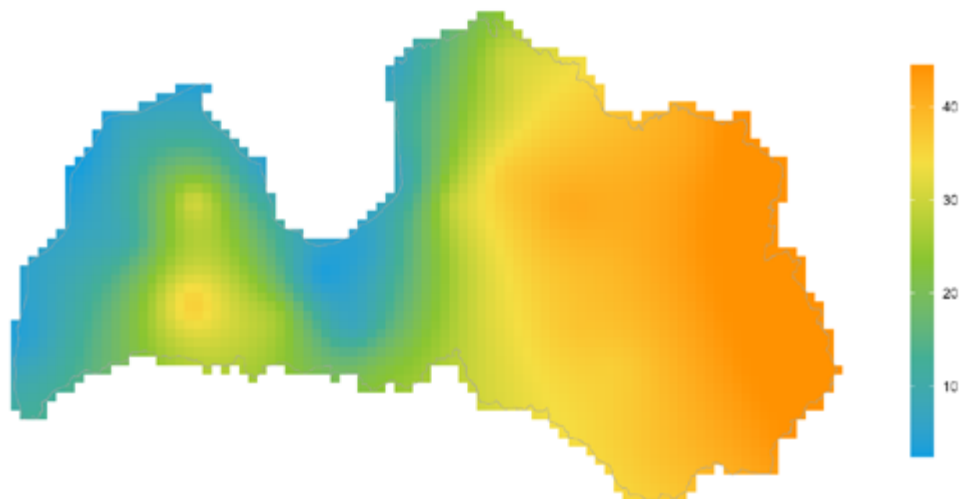


4. attēls Gorčinska kontinentalitātes indeksa vērtības

Lai raksturotu pluviālo jeb atmosfēras nokrišņu ģeogrāfisko izplatību ietekmējošo kontinentalitāti, izmantots Gams indekss (5. attēls), kas atbilst gada nokrišņu summas P un augstuma virs jūras līmeņa A attiecībai. Lai pielāgotu šo indeksu nelielām augstuma svārstībām, izmantota Gams indeksa Mišalē korekcija (Michalet, 1991).

$$\alpha = \text{atcctg} \frac{P - \left(\frac{900 - A}{100} \cdot \frac{P}{10} \right)}{A}$$

Kontinentalitātes indeksu aprēķinam, izmantojot Latvijas meteoroloģisko novērojumu staciju datus, izmantota R programmas pakete *ClimClass* (Eccel et al., 2016).



5. attēls Gams kontinentalitātes indeksa vērtības

Lai raksturotu klimatiskos parametrus Latvijas pašvaldībās un valstpilsētās, nepieciešams aprēķināt telpisko vidējo vērtību katrā teritorijā esošām režģa šūnām, kuras iegūtas datu interpolācijas rezultātā. Režģa šūnas, kas atrodas vairākās pašvaldībās, telpiskās vidējās vērtības aprēķinā tika izmantotas proporcionāli pašvaldībā iekļautajai teritorijai.

2.2. Klimata pārmaiņu skaitlisko modeļu analīze

Veicot nākotnes klimata pārmaiņu skaitlisko modeļu analīzi, pētījumā izmantoti iepriekš 1.2. nodaļā minētie CMIP6 ietvarā izstrādātie modeļi, kas balstīti "SSP" klimata pārmaiņu modeļu scenārijos.

2.2.1. KLIMATA PĀRMAIŅU MODEĻU LEJUPIELĀDE UN LATVIJAI ATBILSTOŠO MODEĻU IZVĒLE

Pētījuma ietvarā sākotnēji lejupielādēti visi konkrētajā brīdī pieejamie nākotnes un pagātnes globālie klimata pārmaiņu modeļi, kopā 53 dažādi modeļi no 14 valstīm. Jau pētījuma sākumā nolemts turpmāk nestrādāt ar tiem modeļiem, kuriem uz konkrēto pētījuma brīdi nebija pieejami rezultāti gan par pagātnes, gan arī nākotnes klimata pārmaiņām, vai arī to aplūkots laika periods pagātnē vai nākotnē bija īsāks par nepieciešamo, piemēram, nav pieejami dati līdz 21. gadsimta beigām.

Lai noskaidrotu, kuri no lejupielādētajiem modeļiem spēj veiksmīgi raksturot nākotnes klimata pārmaiņas Latvijā, nepieciešams veikt datus balstītus secinājumus par modeļu spēju raksturot līdzšinējo Latvijas klimatu. Modeļu izvēle tiek balstīta uz savstarpēju salīdzinājumu starp klimata skaitlisko modeļu rezultātiem, kas modelēti pagātnē, kā arī LVĢMC meteoroloģisko novērojumu staciju tīklā esošo novērojumu staciju datiem. Modeļu izvēlē tiek apsvērti:

- datu sadalījumi;
- starpības starp klimatiskās references (1961.–1990. gads) un klimatiskās normas (1991.–2020. gads) perioda vērtībām;
- datus esošā trenda koeficienti;
- gada un desmit gadu slīdošās vidējās vērtības;
- pagātnes un nākotnes skaitlisko klimata modeļu savstarpējā savienojamība;
- vēja ātrumam – modeļa atbilstības novērtējums citiem parametriem.

Katra pētījumā aplūkotā parametra lejupielādēto modeļu skaits, kā arī rezultāta ansablī izmantoto modeļu skaits aplūkojams 3. tabulā. Sākotnēji lejupielādēto modeļu skaita kopējā vērtība iegūta saskaitot visus modeļus, kas lejupielādēti, neatkarīgi no tā, kāds meteoroloģiskais parametrs modelī pieejams.

Sākotnēji lejupielādēto un rezultātā izmantoto modeļu skaits pa meteoroloģiskajiem parametriem

PARAMETRS	SĀKOTNĒJI LEJUPIELĀDĒTO MODEĻU SKAITS	PĒTĪJUMA REZULTĀTU ANSAMBLĪ IZMANTOTO MODEĻU SKAITS
Vidējā gaisa temperatūra	47	24
Maksimālā gaisa temperatūra	41	22
Minimālā gaisa temperatūra	42	23
Atmosfēras nokrišņi	48	13
Vidējais vēja ātrums	43	19
Vidējais sniega segas biezums	36	19
Kopā	53	30

Jūras līmeņa nākotnes klimata pārmaiņu analīze atšķiras no citiem pētījumā aplūkotajiem parametriem, jo jūras līmenim netika analizēti atsevišķi klimata pārmaiņu modeļi. Pasaules okeāna līmeņa modelēšana ir process, kas iekļauj ne tikai klimata, bet arī ģeodinamisko izmaiņu modelēšanu, kā arī dažādus pieņēmumus, tajā skaitā okeāna ūdens izplešanos. Līdz ar to IPCC jūras līmeņa pārmaiņu modelēšanu īsteno, balstoties uz “Jūras līmeņa izmaiņu novērtēšanas sistēmu” (FACTS - *The Framework for Assessing Changes To Sea-level*) (Kopp et al., 2023). Šajā sistēmā ar varbūtību modelēšanas palīdzību tiek apvienota klimata pārmaiņu modeļu scenāriju, kā arī papildus ietekmējošo faktoru nenoteiktība, modelējot nākotnes scenārijus pasaules okeāna līmeņa izmaiņām. Latvijas gadījumā izmantoti visi pasaules jūras līmeņa izmaiņu modeļi, raksturojot nākotnes prognožu sadalījuma mediānu, kā arī novirzes vienas standartnovirzes apmērā ap to.

2.2.2. PĒTĪJUMĀ IZMANTOTIE KLIMATA PĀRMAIŅU MODEĻI

Pamatojoties uz iepriekš minētā modeļu izvērtējuma rezultātiem, turpmākiem nākotnes klimata pārmaiņu aprēķiniem pētījumā izmantoti klimata pārmaiņu modeļi, kuri apkopoti 4. tabulā.

Pētījumā izmantotie klimata pārmaiņu modeļi

Valsts	Modelis	T	TX	TN	PR	W	SN
Amerikas Savienotās Valstis	CESM2-WACCM	■ ■ ■				■ ■ ■	■ ■ ■
	GFDL-CM4	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■
	GFDL-ESM4	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■
Austrālija	ACCESS-CM2	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■
	ACCESS-ESM1-5	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■
Dienvidkoreja	KACE-1-0-G	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■
	KIOST-ESM						■ ■ ■
Francija	IPSL-CM6A-LR	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■
Indija	IITM-ESM	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■
Itālija	CMCC-CM2-SR5	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■
	CMCC-ESM2	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■
Japāna	MIROC6	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■
	MRI-ESM2-0	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■
Kanāda	CanESM5	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■
Krievija	INM-CM4-8	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■
	INM-CM5-0	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■
Ķīna	BCC-CSM2-MR		■ ■ ■	■ ■ ■			■ ■ ■
	FGOALS-g3						■ ■ ■
	NESM3	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■			
Norvēģija	NorESM2-LM	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■		■ ■ ■	■ ■ ■
	NorESM2-MM	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■		■ ■ ■	■ ■ ■
Taivāna	TaiESM1						■ ■ ■
Vācija	AWI-CM-1-1-MR	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■			
	MPI-ESM1-2-HR	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■		■ ■ ■	
	MPI-ESM1-2-LR	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■		■ ■ ■	
Zviedrija	EC-Earth3				■ ■ ■		
	EC-Earth3-AerChem				■ ■ ■		■ ■ ■
	EC-Earth3-CC	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■		■ ■ ■
	EC-Earth3-Veg	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■		■ ■ ■
	EC-Earth3-Veg-LR	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■			■ ■ ■

- T** Vidējā gaisa temperatūra
TX Maksimālā gaisa temperatūra
TN Minimālā gaisa temperatūra
PR Atmosfēras nokrišņi
W Vidējais vēja ātrums
SN Vidējais sniega segas biezums
- Nelielas pārmaiņas (SSP1-2,6)
■ Vidējas pārmaiņas (SSP2-4,5)
■ Būtiskas pārmaiņas (SSP3-7,0)

2.2.3. KLIMATA PĀRMAIŅU MODEĻU TĒLPISKĀS IZŠĶIRTSPĒJAS UZLABOŠANA

Katra institūcija, kas izstrādā globālos klimata pārmaiņu modeļus, ņemot vērā savus resursus, iespējas un vajadzības, izvēlas, kādā izšķirtspējā veic aprēķinus, tādēļ lejupielādētajiem modeļiem ir dažādas telpiskās izšķirtspējas. Lai gūtu secinājumus par nākotnes klimata pārmaiņām lokālā mērogā, vispirms nepieciešams veikt šo modeļu telpiskās izšķirtspējas uzlabošanu, līdz ar to visu modeļu sniegtā informācija tika bilineāri interpolēta 5x5 km taisnleņķa režģī,

kas pārklāj Latvijas teritoriju. Modeļi atšķiras arī laika pārklājumā – dažiem globālajiem klimata pārmaiņu modeļiem aprēķini veikti 365 dienu kalendārā, neņemot vērā garos gadus ar 29. februāri, vai arī 360 dienu kalendārā, kurā visi mēneši ir 30 dienas gari. Standartizējot modeļu kalendārus, trūkstošās vērtības lineāri interpolētas, balstoties uz iepriekšējo un nākamo dienu vērtībām.

Jūras līmeņa parametriem globālie modeļi visā pasaulē modelēti $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ taisnleņķa režģī. Ņemot vērā modeļu izšķirtspēju, jūras parametriem nav veikta izšķirtspējas uzlabošana, bet vienas vērtības aprēķins, kas atbilst vienmērīgām izmaiņām visā Latvijas jūras teritorijā.

2.2.4. KLIMATA PĀRMAIŅU MODEĻU STATISTISKĀS KĻŪDAS KOREKCIJA

Klimata pārmaiņu modeļi aprēķinus veic ne tikai nākotnes, bet arī pagātnes klimatam. Salīdzinot modeļu aprēķinu rezultātus ar faktiskajiem novērojumiem, ir iespējams noskaidrot, cik precīzs konkrētajā teritorijā ir izvēlētais modelis. Ikviens klimata pārmaiņu modelis vairāk vai mazāk atšķiras no novērojumiem. Kļūdas modeļu aprēķinos rodas, piemēram, zemas izšķirtspējas, vienkāršotu termodinamisko un fizikālo procesu vai nepilnīgu zināšanu par Zemes klimatisko sistēmu dēļ. Piemēram, gaisa temperatūras simulētās vērtības no faktiski novērotajām var atšķirties pat par pāris grādiem (Ruosteenoja, et al., 2016), kas var būtiski ietekmēt turpmāko aprēķinu rezultātus. Pastāv dažādi algoritmi, ar kuru palīdzību iespējams veikt modeļu sistemātiskās kļūdas labošanu (*bias correction*). Visiem algoritmiem pamatā tiek izmantoti novērojumu dati, ar to palīdzību pielāgojot modeļu rezultātus lokālajiem klimatiskajiem apstākļiem.

Šajā pētījumā veikta klimata pārmaiņu modeļu aprēķinu rezultātu pielāgošana Latvijas klimatiskajiem apstākļiem, izmantojot interpolētus LVĢMC meteoroloģisko novērojumu staciju datus ar Kriginga interpolācijas metodi 5×5 km LKS92 režģī (skat. 2.1.4. nodaļu). Vēsturiskie novērojumi salīdzināti ar klimata pārmaiņu modeļa simulētajām vēsturiskajām vērtībām, tādā veidā novērtējot modeļa sistemātisko kļūdu, lai pēc tam konkrēto novērtējumu izmantotu arī nākotnes vērtību uzlabošanā.

Ņemot vērā, ka ekstremālas atmosfēras nokrišņu parādības modelēt ir īpaši izaicinoši, visiem atmosfēras nokrišņu indeksiem, izņemot nokrišņu summu, tika izlemts sistemātiskās kļūdas labošanu veikt tiešā veidā, proti, kā vēsturiskos novērojumus, simulētās vēsturiskās un nākotnes vērtības izmantojot Latvijas 5×5 km LKS92 režģī aprēķinātas indeksu vērtības, kas iegūtas no interpolētām parametru vērtībām. Šāda pieeja nereti tiek izmantota tādu indeksu, kuri balstās uz vairākiem parametriem, sistemātiskās kļūdas labošanā (Ansari, 2023). Pārējiem parametriem un to klimatiskajiem indeksiem sistemātiskās kļūdas labošana veikta netiešā veidā, kā vēsturiskos novērojumus, simulētās vēsturiskās un nākotnes vērtības izmantojot Latvijas 5×5 km LKS92 režģī interpolētas parametru vērtības.

Šī pētījuma ietvaros rezultāti iegūti, izmantojot trīs sistemātiskās kļūdas labošanas metodes: lineārā mērogošana (*linear scaling*), kvantiļu attēlošana (*quantile mapping*) un kvantiļu starpību attēlošana (*quantile delta mapping*) (Cannon et al., 2015). Metodes izvēle ir atkarīga no aplūkotā parametra (5. tabula), taču visos gadījumos sistemātiskās kļūdas labošana tiek pielietota katram mēnesim atsevišķi. Lai pielietotu minētās metodes, izmantots *BiasAdjustCXX* komandrindas rīks (Schwertfeger et al., 2023).

Lineārās mērogošanas mērķis ir pielīdzināt simulēto vēsturisko un novēroto mēneša vidējo vērtību. Tā aprēķina vidējo atšķirību starp vēsturiskajiem novērojumiem un simulētajām vēsturiskajām vērtībām un pievieno šo starpību simulētajām nākotnes vērtībām (Teutschbein & Seibert, 2012).

Kvantiļu attēlošana un kvantiļu starpību attēlošana ir metodes, kas balstās uz datu statistiskajiem sadalījumiem. Kvantiļu attēlošanā tiek konstruētas ikmēneša korekciju funkcijas, kas pielīdzina novērojumu un simulētās datu kopas kvantiļu sadalījumus. Šīs funkcijas tiek izmantotas, lai transformētu simulētās nākotnes vērtības. Savukārt kvantiļu starpību attēlošanā pēc simulēto nākotnes vērtību transformēšanas ir vēl viens solis – transformētajām vērtībām tiek pievienotas projicētās kvantiļu starpības starp vēsturisko (kalibrācijas) periodu un nākotnes periodu (Tong et al., 2021).

5. tabula

Pētījumā izmantotie katra meteoroloģiskā parametra sistemātiskās kļūdas labošanas algoritmi

PARAMETRS	PĒTĪJUMĀ IZMANTOTAIS SISTEMĀTISKĀS KĻŪDAS LABOŠANAS ALGORITMS	
	LATVIEŠU VALODĀ	ANĢĻU VALODĀ
Vidējā gaisa temperatūra	Kvantiļu starpību attēlošana	Quantile delta mapping
Maksimālā gaisa temperatūra	Lineārā mērogošana	Linear scaling
Minimālā gaisa temperatūra		
Atmosfēras nokrišņi	Kvantiļu starpību attēlošana Lineārā mērogošana	Quantile delta mapping Linear scaling
Vidējais vēja ātrums	Kvantiļu starpību attēlošana	Quantile delta mapping
Vidējais sniega segas biezums	Lineārā mērogošana	Linear scaling
Jūras līmenis	Lineārā mērogošana	Linear scaling

2.3. Klimatiskie indeksi

Lai raksturotu klimata pārmaiņu procesus un izvērtētu iespējamās klimata pārmaiņu ietekmes uz dažādiem saimnieciskajiem un ekonomiskajiem rādītājiem, 20. gadsimta deviņdesmito gadu sākumā tika izvirzīta nepieciešamība pēc viegli aprēķināmu un nākotnē ar klimata modeļu palīdzību prognozējamu klimatu raksturojošu indeksu izstrādes (Easterling & Kates, 1995). Klimata pārmaiņu un indeksu ekspertu grupa (ETCCDI – *The Expert Team on Climate Change Detection and Indices*) ir izstrādājusi klimatisko parādību indeksus (ECA&D, 2024), ar kuru palīdzību iespējams raksturot gan klimatiskos apstākļus un to mainību, gan arī gūt priekšstatu par klimata pārmaiņu iespējamajām ietekmēm uz sociālajiem un ekonomiskajiem rādītājiem. Šie indeksi ir izveidoti, lai raksturotu klimatisko parādību vidējās un ekstremālās vērtības, kā arī, lai nodrošinātu pietiekami lielu ikgadējo datu apjomu, izstrādāti tādi indeksi, kas nav unikāli klimatiski gadījumi,

bet kuru atkārtojamības perioda ilgums ir vērtējams nedēļās (Klein Tank et al., 2006). Viena no pamata pieejām šo indeksu izstrādē ir aprēķināt dienu skaitu gadā, kad tiek pārsniegta noteikta parametra robežvērtība. Šādi indeksi ir, piemēram, vasaras dienu skaits un dienu skaits gadā ar stipriem atmosfēras nokrišņiem. Lai noteiktu klimatisko parādību vidējo vērtību un ekstremālo notikumu līdzšinējo izplatību un izmaiņu tendences Latvijā, pētījumā izmantoti Klimata pārmaiņu un indeksu ekspertu grupas izstrādātie gaisa temperatūras, atmosfēras nokrišņu, vēja ātruma, sniega segas un jūras līmeņa izmaiņu raksturojoši indeksi (6. tabula).

6. tabula

***Pētījuma ietvarā aprēķinātie klimata pārmaiņu indeksi,
to definīcijas un mērvienības***

INDEKSS	DEFINĪCIJA	MĒRVIENĪBA
Sala dienu skaits	Dienu skaits, kad diennakts minimālā gaisa temperatūra zemāka nekā 0 °C	Dienu skaits
Vasaras dienu skaits	Dienu skaits, kad diennakts maksimālā gaisa temperatūra augstāka nekā +25,0 °C	Dienu skaits
Dienu skaits bez atkušņa	Dienu skaits, kad diennakts maksimālā gaisa temperatūra zemāka nekā 0 °C	Dienu skaits
Tropisko nakšu skaits	Dienu skaits, kad diennakts minimālā gaisa temperatūra augstāka nekā +20,0 °C	Dienu skaits
Veģetācijas perioda ilgums	Dienu skaits gadā starp pirmo secīgu 6 dienu periodu, kad diennakts vidējā gaisa temperatūra ir virs +5,0 °C, un pirmo secīgu 6 dienu periodu pēc 1. jūlija, kad diennakts vidējā gaisa temperatūra ir zem +5,0 °C	Dienu skaits
Vidējās gaisa temperatūras minimālā vērtība	Minimālā diennakts vidējās gaisa temperatūras vērtība	°C
Vidējās gaisa temperatūras vidējā vērtība	Vidējā diennakts vidējās gaisa temperatūras vērtība	°C
Vidējās gaisa temperatūras maksimālā vērtība	Maksimālā diennakts vidējās gaisa temperatūras vērtība	°C
Minimālās gaisa temperatūras minimālā vērtība	Minimālā diennakts minimālās gaisa temperatūras vērtība	°C
Minimālās gaisa temperatūras vidējā vērtība	Vidējā diennakts minimālās gaisa temperatūras vērtība	°C
Minimālās gaisa temperatūras maksimālā vērtība	Maksimālā diennakts minimālās gaisa temperatūras vērtība	°C
Maksimālās gaisa temperatūras minimālā vērtība	Minimālā diennakts maksimālās gaisa temperatūras vērtība	°C
Maksimālās gaisa temperatūras vidējā vērtība	Vidējā diennakts minimālās gaisa temperatūras vērtība	°C

INDEKSS	DEFINĪCIJA	MĒRVIENTĪBA
Maksimālās gaisa temperatūras maksimālā vērtība	Maksimālā diennakts maksimālās gaisa temperatūras vērtība	°C
Karstuma viļņu ilgums	Dienu skaits, kad vismaz divas dienas pēc kārtas diennakts maksimālā gaisa temperatūra ir vismaz +27,0 °C	Dienu skaits
Aukstuma viļņu ilgums	Dienu skaits, kad vismaz divas dienas pēc kārtas diennakts minimālā gaisa temperatūra ir –20,0 °C vai zemāka	Dienu skaits
Diennakts gaisa temperatūras amplitūda	Vidējā starpība diennakts maksimālās un minimālās gaisa temperatūras starpībai	°C
Nokrišņu summa	Nokrišņu summa	mm
Dienu skaits ar stipriem nokrišņiem	Dienu skaits, kad diennakts kopējais nokrišņu daudzums ir vismaz 10 mm	Dienu skaits
Nokrišņu intensitātes indekss	Kopējā nokrišņu daudzuma mitrās dienās (diennakts nokrišņu daudzums vismaz 1 mm) attiecība pret mitro dienu skaitu	mm/dienu skaits
Vidējais vēja ātrums	Vidējā vērtība diennakts vidējam vēja ātrumam	m/s
Bezvēja dienu skaits	Dienu skaits, kad diennakts vidējais vēja ātrums ir 2,0 m/s vai zemāks	Dienu skaits
Vētraino dienu skaits	Dienu skaits, kad diennakts vidējais vēja ātrums ir vismaz 10,8 m/s	Dienu skaits
Vidējais sniega segas biezums	Vidējā vērtība sniega segas biezumam	cm
Vidējais jūras līmenis	Gada vidējais jūras līmenis	cm v.j.l. LAS 2000,5 augstumu atskaites sistēmā

Pētījuma ietvarā klimatisko indeksu aprēķini Latvijas teritorijai veikti gada un četru sezonu griezumā:

- ziemas sezona aptver decembri, janvāri un februāri;
- pavasara sezona sniedz informāciju par martu, aprīli un maiju;
- vasaras sezonā ietilpst dati par jūniju, jūliju un augustu;
- rudens sezona ir septembris, oktobris un novembris.

Pētījuma ietvarā katrs klimatiskais rādītājs, kas balstīts nākotnes klimata pārmaiņu modeļos, tiek raksturots ne tikai ar klimata pārmaiņu modeļu ansambļa vidējo vērtību, bet arī ar modeļu savstarpējo standartnovirzi. Ziņojuma 3. nodaļā standartnovirze attēlota kvadrātiekvās aiz klimatiskā indeksa ansambļa vidējās vērtības.

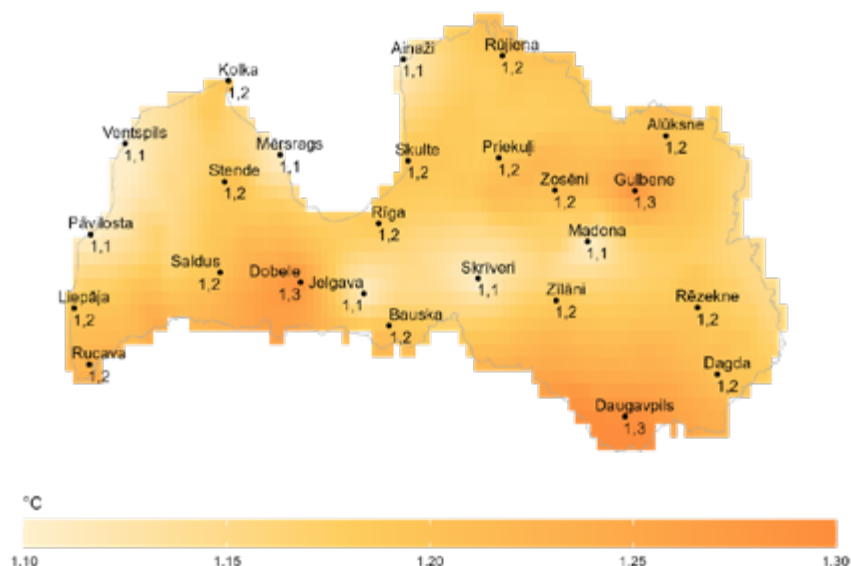
3.

LĪDZŠINĒJĀS UN NĀKOTNES KLIMATA PĀRMAIŅAS LATVIJĀ

3.1. Gaisa temperatūra

3.1.1. GAISA TEMPERATŪRA GADA GRIEZUMĀ

Latvijā pēdējie gadi bijuši siltākie novērojumu vēsturē. Siltākais gads kopš 1947. gada bijis 2020. gads (+8,7 °C), vēsākie – 1956. un 1987. gads (+4,0 °C). Savstarpēji salīdzinot klimatiskās references perioda (1961.–1990. gads) un klimatiskās normas perioda (1991.–2020. gads) vērtības, **vidējā gaisa temperatūra Latvijā ir pieaugusi par 1,2 °C** – no +5,6 °C līdz +6,8 °C (6. attēls).

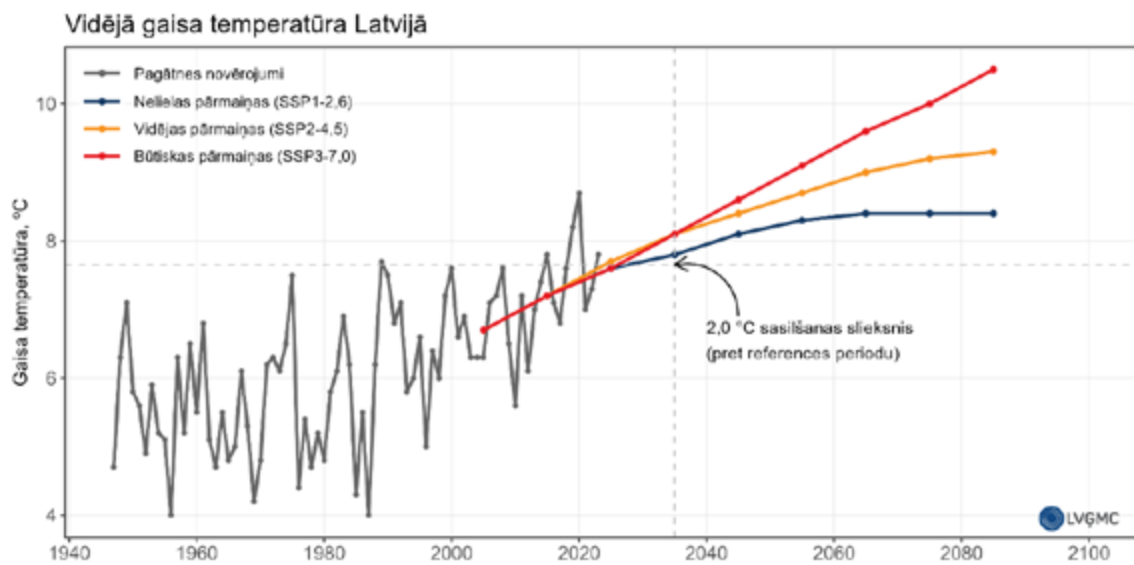


6. attēls Vidējās gaisa temperatūras pieaugums Latvijas teritorijā, līdzšinējās klimatiskās normas periodu (1991.–2020. gads) salīdzinot ar klimatiskās references periodu (1961.–1990. gads)

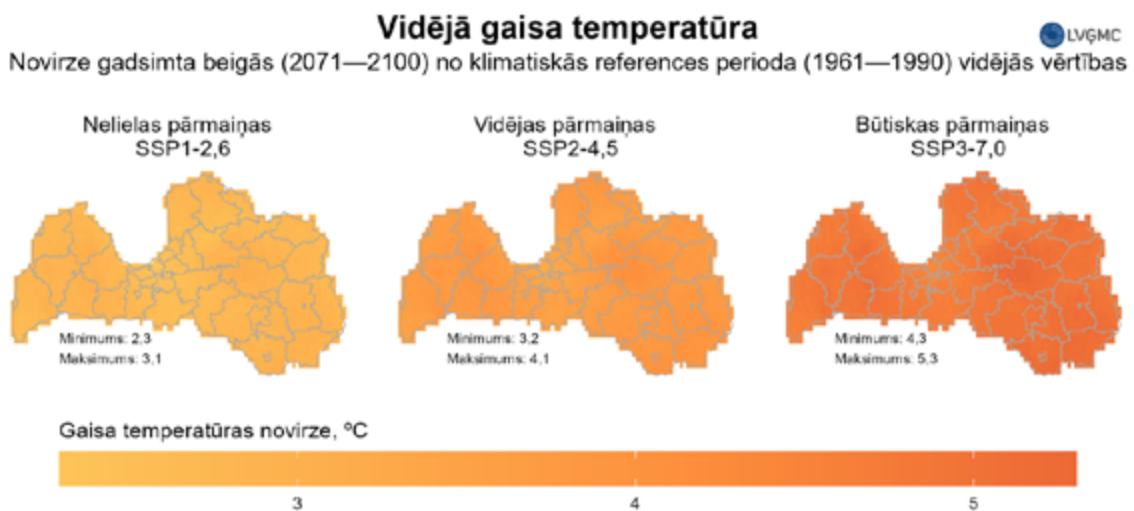
Līdz šim lielākais gaisa temperatūras pieaugums (1,3 °C) novērots Daugavpilī, Gulbenē un Dobelē, kur klimatiskās references periodā vidējā gaisa temperatūra bija attiecīgi 5,3 °C, 4,8 °C un 5,9 °C, bet šī brīža norma ir attiecīgi 6,6 °C, 6,1 °C un 7,2 °C, savukārt atšķirības starp līdzšinējo klimatiskās normas periodu un references periodu salīdzinoši mazākas (1,1 °C) ir piejūras reģionos un Skrīveros, Jelgavā un Madonā (6. attēls).

Nākotnes klimata pārmaiņu modeļu prognozes liecina, ka **gaisa temperatūras pieaugums turpināsies visa 21. gadsimta laikā** (7. attēls). Jau 2021.–2050. gadu periodā Latvijas ilggadējā vidējā gaisa temperatūra būs pārsniegusi 2,0 °C sliekšni attiecībā pret klimatiskās references periodu.

Straujākais augšupejošais trends tiek prognozēts būtisku klimata pārmaiņu modeļu scenārijā (SSP3-7,0), kurš paredz, ka gadsimta beigās (2071.–2100. gads) **gada vidējā gaisa temperatūra** Latvijā būs +10,5 [$\pm 1,02$] °C (3,7 °C pieaugums pret līdzšinējās klimatiskās normas periodu un 4,9 °C pieaugums pret klimatiskās references periodu). Vidēju klimata pārmaiņu gadījumā (SSP2-4,5) vidējā gaisa temperatūra Latvijā gadsimta beigās būs +9,3 [$\pm 0,97$] °C (2,5 °C pieaugums pret līdzšinējās klimatiskās normas periodu un 3,7 °C pieaugums pret klimatiskās references periodu), savukārt pēc nelielu klimata pārmaiņu prognožu scenārija (SSP1-2,6) vidējā gaisa temperatūra būs +8,4 [$\pm 0,81$] °C (1,6 °C pieaugums pret līdzšinējās klimatiskās normas periodu un 2,8 °C pieaugums pret klimatiskās references periodu) (8. attēls).

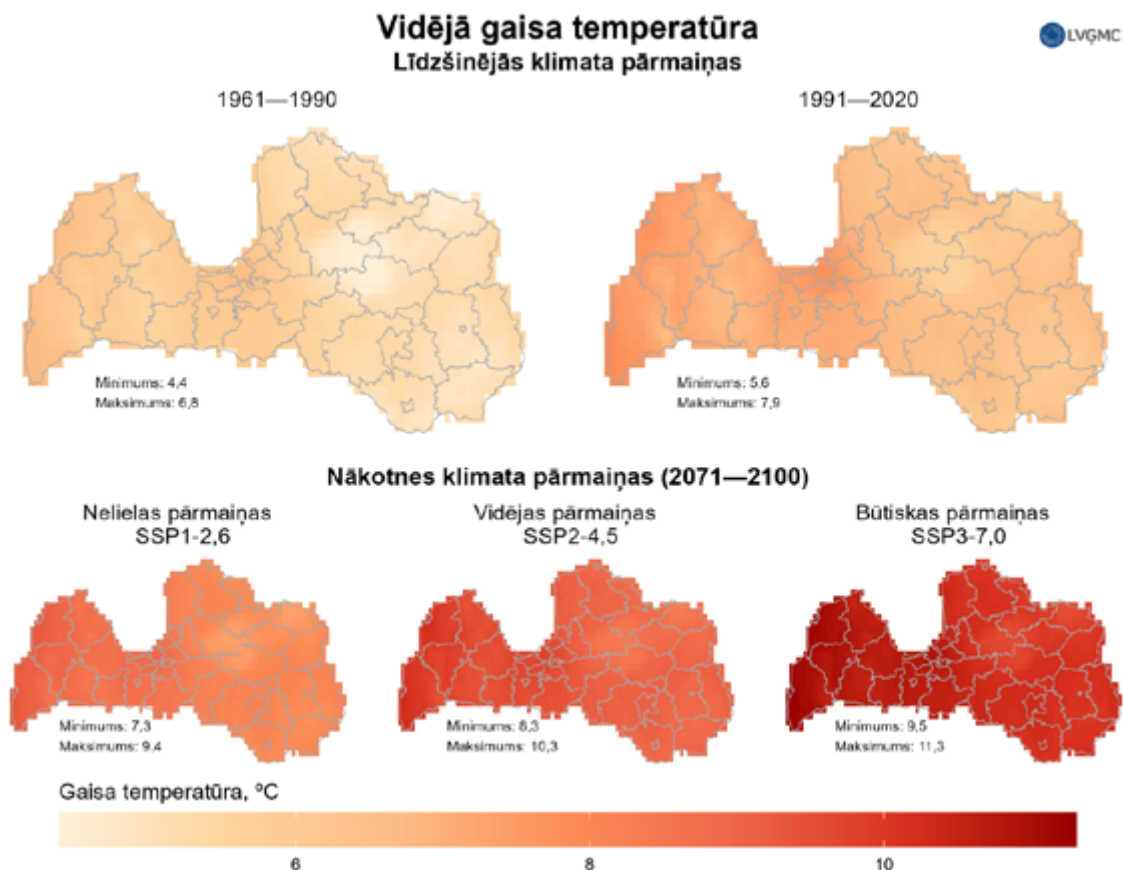


7. attēls Latvijas vidējā gaisa temperatūra kopš 1947. gada (novērojumu dati) līdz 2100. gadam (klimata pārmaiņu modeļu scenāriju SSP1-2,6; SSP2-4,5 un SSP3-7,0 dati)



8. attēls Vidējās gaisa temperatūras pieaugums Latvijā 21. gadsimta beigās salīdzinājumā ar klimatiskās references perioda vērtībām

Nākotnes klimata pārmaiņu modeļi prognozē, ka gadsimta beigās, līdzīgi kā mūsdienās, augstākas vidējās gaisa temperatūras tiks novērotas Baltijas jūras atklātās daļas piekrastē, savukārt salīdzinoši vēsāks klimats būs Latvijas augstienēs (9. attēls).



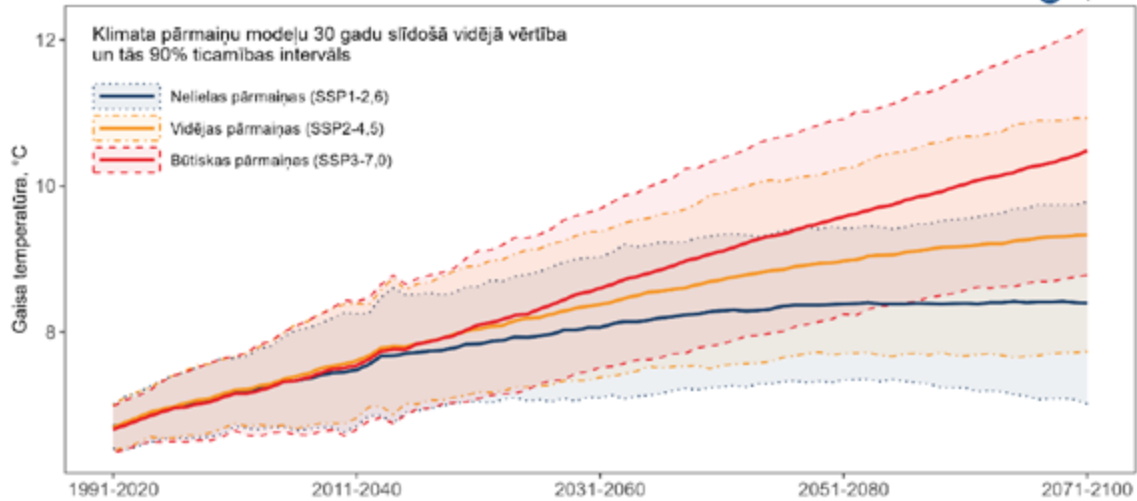
9. attēls Augšējā rindā: Latvijas vidējā gaisa temperatūra klimatiskās references (1961.–1990. gads) un klimatiskās normas periodā (1991.–2020. gads), kas balstīta uz LVGMC meteoroloģisko novērojumu staciju datiem.

Apakšējā rindā: Latvijas vidējā gaisa temperatūra, kas 21. gadsimta beigām (2071.–2100. gads) aprēķināta balstoties uz klimata pārmaiņu modeļu scenārijiem SSP1-2,6; SSP2-4,5 un SSP3-7,0

Lai gan gaisa temperatūras pieaugums vērojams visos pētījumā izmantotajos klimata pārmaiņu modeļos un to scenārijos, savstarpēji modeļu rezultāti uzrāda atšķirīgu gaisa temperatūras kāpumu. Vidējās gaisa temperatūras 30 gadu slīdošās vidējās vērtības un to 90% ticamības intervāli redzami 10. attēlā.

Vidējā gaisa temperatūra Latvijā

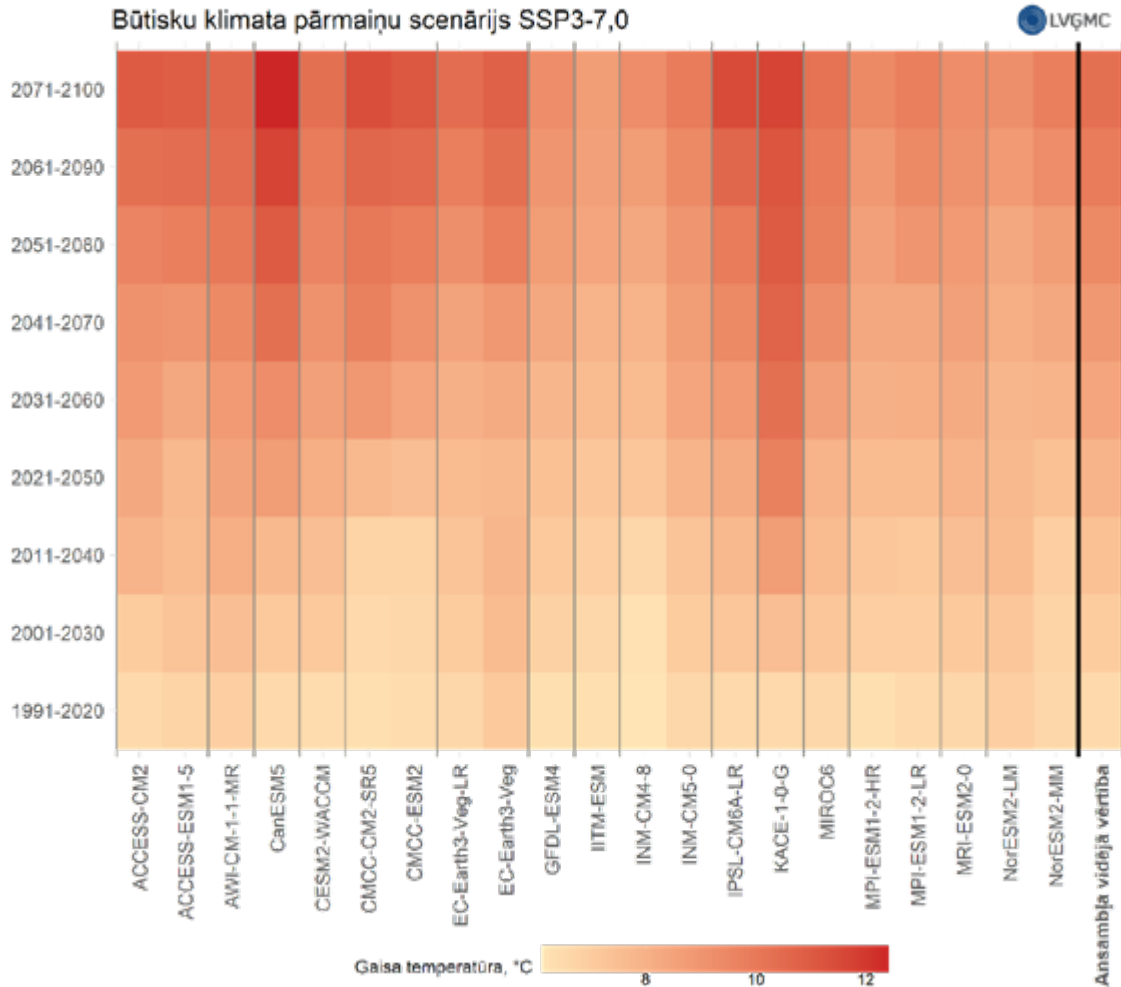
LVGMC



10. attēls Klimata pārmaiņu modeļu prognozētās Latvijas vidējās gaisa temperatūras 30 gadu slīdošās vidējās vērtības un to 90% ticamības intervāls līdz 21. gadsimta beigām

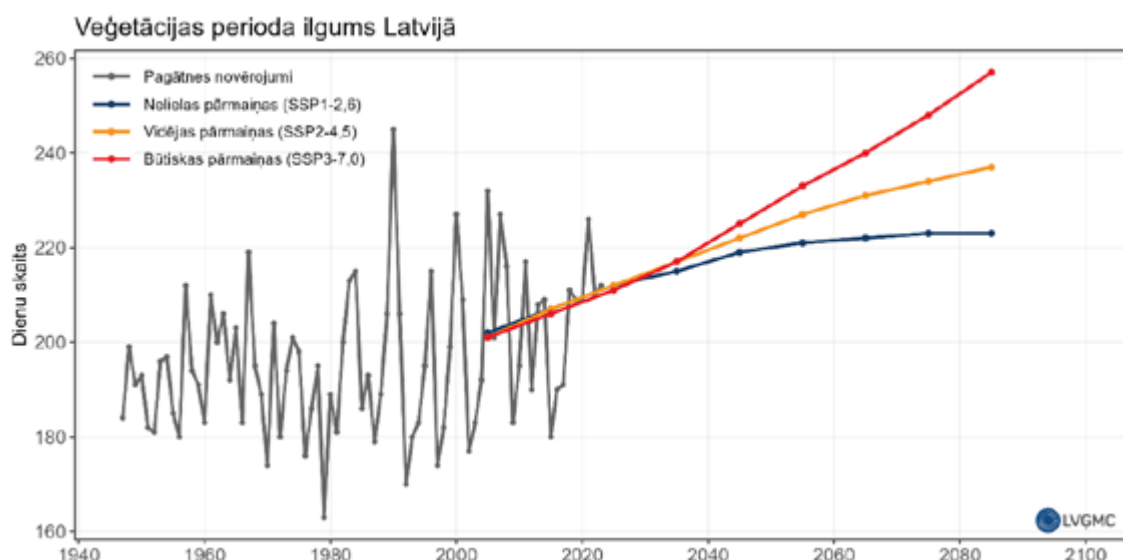
Atšķirības starp ansablī izmantotajiem modeļiem būtisku klimata pārmaiņu gadījumā (SSP3-7,0) katrā nākotnes trīsdesmit gadu periodā, kā arī ansambļa vidējo vērtību, kas izmantota rezultātu secinājumos, iespējams aplūkot 11. attēlā.

Latvijas 21. gadsimta vidējā gaisa temperatūra, balstoties uz dažādu institūciju
nākotnes klimata pārmaiņu modeļiem

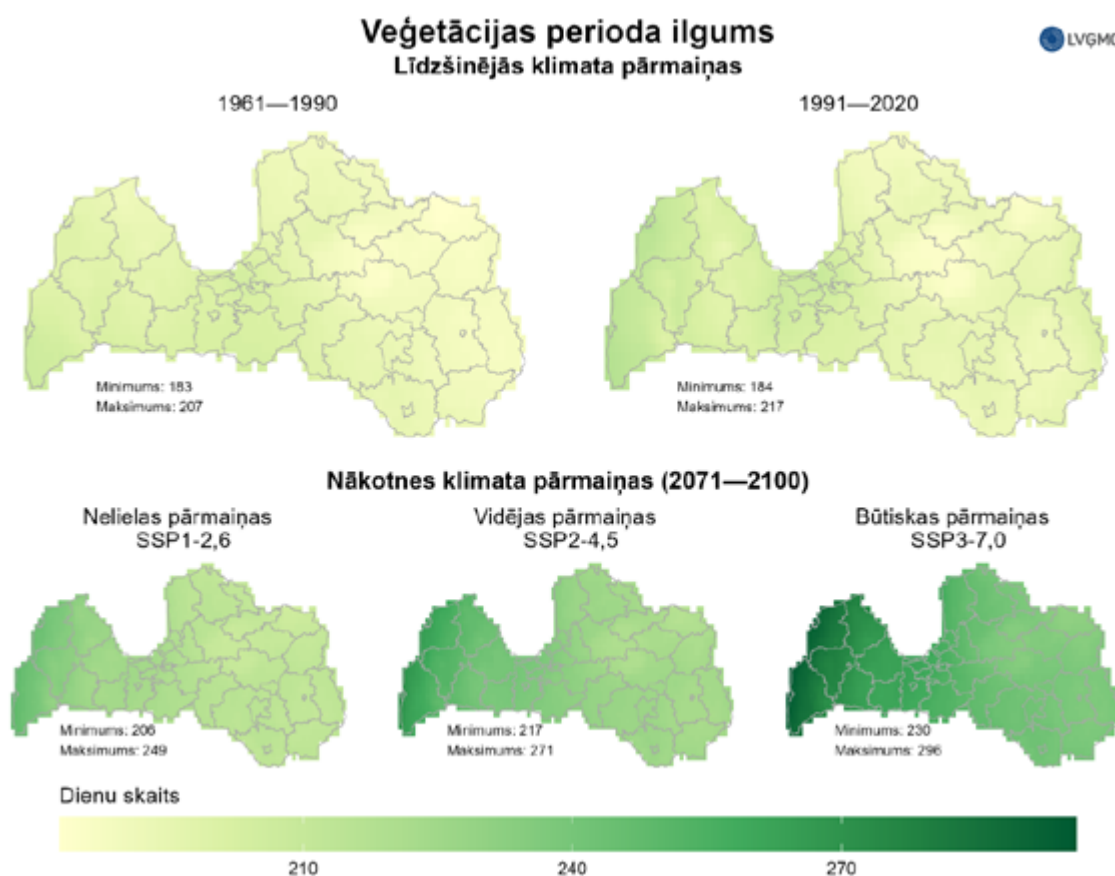


11. attēls Dažādu institūciju aprēķināto klimata pārmaiņu modeļu slīdošās vidējās trīsdesmit gadu vidējās gaisa temperatūras vērtības un modeļu ansambļa vidējā vērtība būtisku klimata pārmaiņu gadījumā (SSP3-7,0)

Pieaugums tiek novērots ne tikai vidējās gaisa temperatūras vērtībās, bet arī klimata pārmaiņu raksturojošos indeksos, tai skaitā **veģetācijas perioda ilgumā**. Klimatiskās referenču periodā veģetācijas periods Latvijā bija 196 diennaktis, savukārt šī brīža klimatiskās normas periodā tas pieaudzis par 3 diennaktīm (199 diennaktis). Klimata pārmaiņu modeļu scenāriju aprēķini gadsimta beigās prognozē veģetācijas perioda kāpumu par vēl 30 (nelielas klimata pārmaiņas) līdz pat 66 (būtiskas klimata pārmaiņas) diennaktīm, 2071.–2100. gadā veģetācijas periodam esot 226 [±14] diennaktis (nelielas klimata pārmaiņas), 241 [±18] diennaktis (vidējās klimata pārmaiņas) un 262 [±18] diennaktis (būtiskas klimata pārmaiņas) (12. attēls).



12. attēls Veģetācijas perioda ilgums Latvijā kopš 1947. gada (novērojumu dati) līdz 2100. gadam (klimata pārmaiņu modeļu scenāriju SSP1-2,6; SSP2-4,5 un SSP3-7,0 dati)

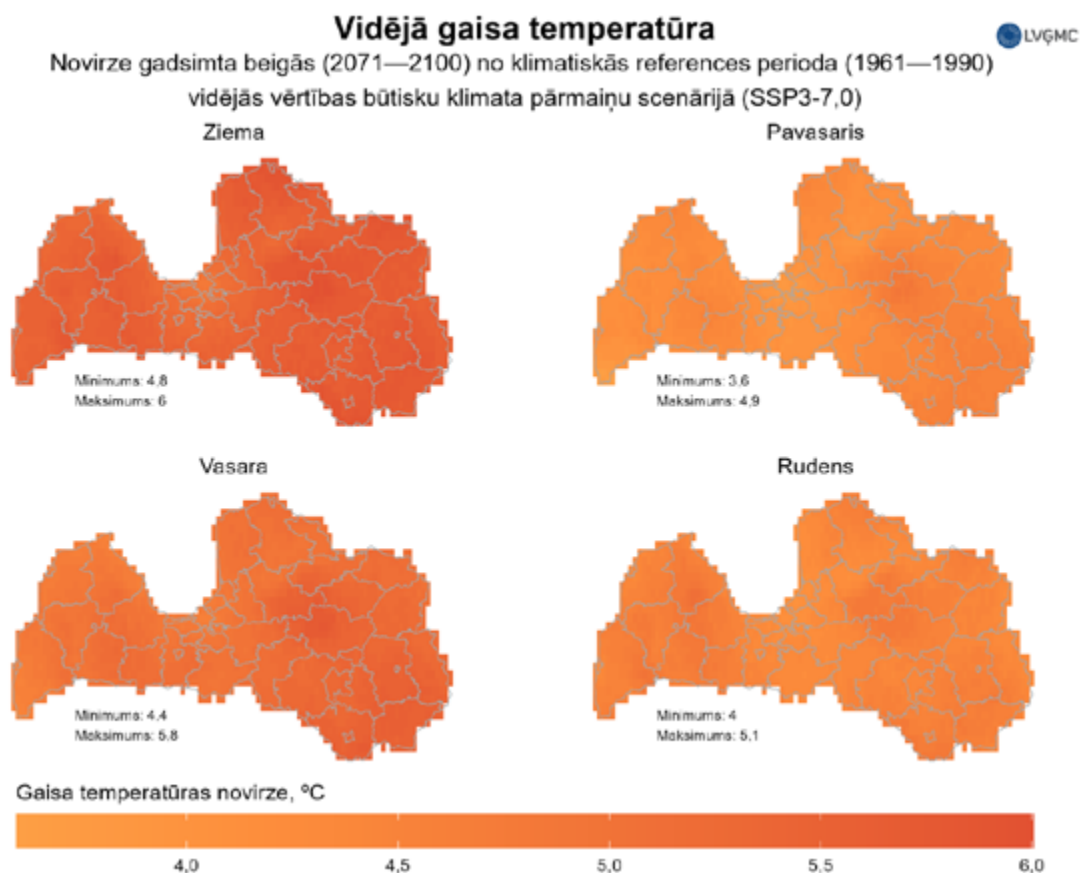


13. attēls Augšējā rindā: Veģetācijas perioda ilgums Latvijas klimatiskās references (1961.–1990. gads) un klimatiskās normas periodā (1991.–2020. gads), kas balstīts uz LVGMC meteoroloģisko novērojumu staciju datiem. Apakšējā rindā: Veģetācijas perioda ilgums Latvijā, kas 21. gadsimta beigām (2071.–2100. gads) aprēķināts balstoties uz klimata pārmaiņu modeļu scenārijiem SSP1-2,6; SSP2-4,5 un SSP3-7,0

Augstākās vidējās gaisa temperatūras vērtības, gluži tāpat kā līdz šim, arī nākotnē tiks novērotas Baltijas jūras atklātās daļas piekrastes reģionos, tādēļ arī veģetācijas perioda ilgums visilgākais tiek prognozēs tieši Kurzemē, jūras piekrastes reģionos (13. attēls).

3.1.2. GAISA TEMPERATŪRA ZIEMĀ

Gaisa temperatūras pieaugums gada ietvaros netiek novērots vienmērīgi (14. attēls). Līdz šim straujāk pieaugušas ziemas vidējās gaisa temperatūras vērtības, klimatiskās normas periodā ziemām ($-2,4\text{ }^{\circ}\text{C}$) esot par $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ siltākām nekā klimatiskās references periodā ($-4,4\text{ }^{\circ}\text{C}$).



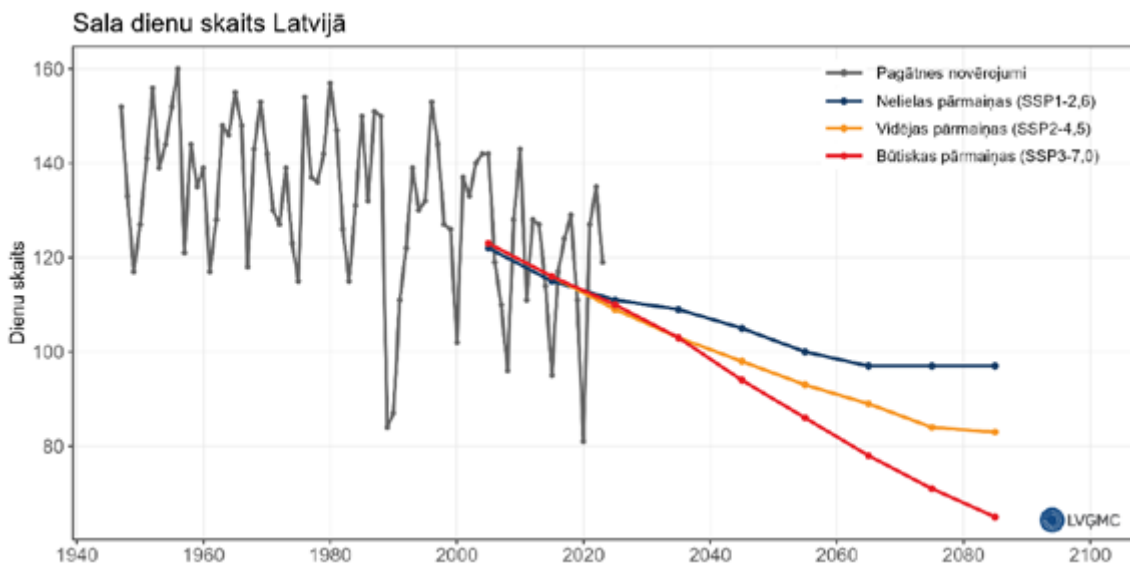
14. attēls Vidējās gaisa temperatūras pieaugums ziemā, pavasarī, vasarā un rudenī, salīdzinot klimata pārmaiņu modeļu prognozētās 2071. līdz 2100. gada vērtības (SSP3-7,0) ar klimatiskās references periodā (1961.–1990. gads) novērotajām vērtībām

Klimata pārmaiņu modeļu rezultāti prognozē, ka gadsimta beigās ziemas būs vēl siltākas – būtisku klimata pārmaiņu (SSP3-7,0) gadījumā ziemas vidējā gaisa temperatūra būs pozitīva ($+1,2 [\pm 0,96]\text{ }^{\circ}\text{C}$), pret klimatisko referenci tai pieaugot par $5,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nelielu klimata pārmaiņu modeļu scenārijs SSP1-2,6 gadsimta beigās prognozē ziemas vidējās gaisa temperatūras pieaugumu par $3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, Latvijā ziemai esot ar gaisa temperatūru $-1,2 [\pm 0,97]\text{ }^{\circ}\text{C}$, savukārt vidēju klimata pārmaiņu gadījumā ziemas vidējā gaisa temperatūra būs $-0,1 [\pm 0,95]\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($4,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ pieaugums pret klimatiskās references periodu) (15. attēls).



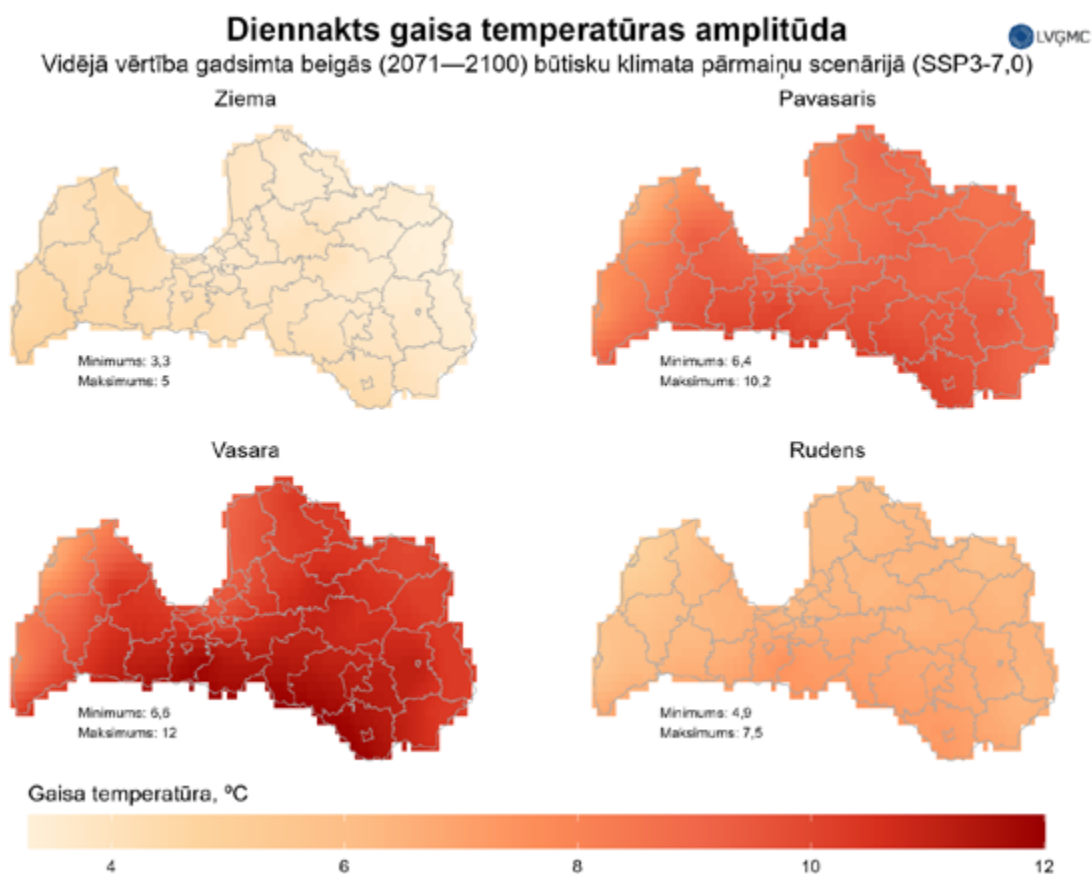
15. attēls Vidējā gaisa temperatūra Latvijā ziemā kopš 1947. gada (novērojumu dati) līdz 2100. gadam (klimata pārmaiņu modeļu scenāriju SSP1-2,6; SSP2-4,5 un SSP3-7,0 dati)

Ziemai kļūstot siltākai, samazinās ziemīgus laikapstākļus raksturojošo indeksu vērtības. **Sala dienu skaits** gadā gadsimta beigās būtisku klimata pārmaiņu (SSP-7,0) gadījumā tiek prognozēts par vairāk nekā diviem mēnešiem (70 diennaktīm) īsāks nekā klimatiskās references periodā (16. attēls). Ja klimatiskās references periodā sala dienu skaits Latvijā vidēji gadā bija 135 diennaktis un klimatiskās normas periodā – 123 diennaktis, tad nākotnes prognozēs sala dienu skaits būs 97 [±19] diennaktis nelielu klimata pārmaiņu, 83 [±18] diennaktis vidēju klimata pārmaiņu un 65 [±21] diennaktis būtisku klimata pārmaiņu gadījumā.



16. attēls Sala dienu skaits Latvijā kopš 1947. gada (novērojumu dati) līdz 2100. gadam (klimata pārmaiņu modeļu scenāriju SSP1-2,6; SSP2-4,5 un SSP3-7,0 dati)

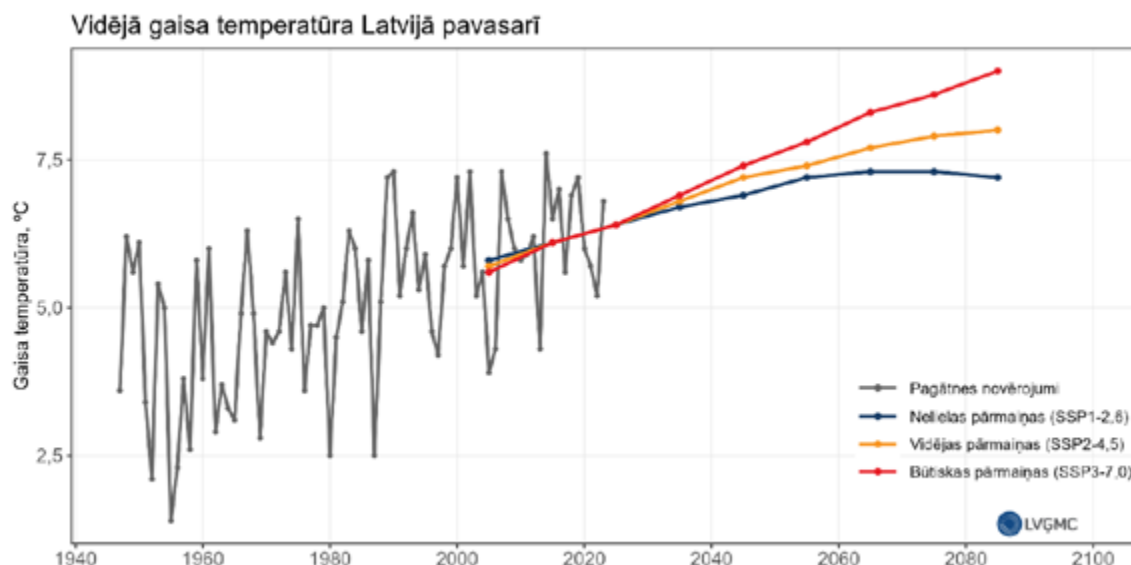
Ierasti ziema bijis tas gadalaiks, kad **diennakts temperatūras amplitūdas** jeb atšķirības starp diennakts maksimālo un minimālo gaisa temperatūru bijušas vismazākās (klimatiskās normas periodā tie ziemā ir vidēji 4,9 °C). Pret klimatiskās references periodu šī vērtība jau samazinājusies par 0,7 °C, savukārt klimata pārmaiņu modeļi prognozē nākotnē vēl mazākas ziemas sezonas maksimālās un minimālās diennakts gaisa temperatūras atšķirības, gadsimta beigās vidēji tām esot 4,0 – 4,5 °C diapazonā (vasarā šīs vērtības ir vislielākās un nākotnē tās prognozētas gandrīz tādas pašas kā līdzšinējā klimatiskās normas periodā (10,2 °C) – 9,9 [±0,35] °C nelielu, 10,0 [±0,41] °C vidēju un 10,1 [±0,51] °C būtisku klimata pārmaiņu modeļu scenārijā) (17. attēls).



17. attēls Modeļu prognozētās 2071. līdz 2100. gadu perioda vidējās diennakts gaisa temperatūras amplitūdas vērtības ziemā, pavasarī, vasarā un rudenī (SSP3-7,0)

3.1.3. GAISA TEMPERATŪRA PAVASARĪ

Līdz šim pavasara vidējā gaisa temperatūra Latvijā mainījusies no +4,8 °C klimatiskās references periodā līdz +5,9 °C šī brīža klimatiskās normas periodā, mūsdienās pavasariem vidēji esot 1,1 °C siltākiem. Nākotnes klimata pārmaiņu modeļu scenāriju prognozēs laikā no 2071. līdz 2100. gadam pavasara vidējās gaisa temperatūras pieaugums pret klimatiskās references periodu būs diapazonā no 2,4 °C (nelielas klimata pārmaiņas) līdz 4,2 °C (būtiskas klimata pārmaiņas), gadsimta beigās temperatūrai esot +7,2 [±0,74] °C (nelielas klimata pārmaiņas), +8,0 [±0,90] °C (vidējas klimata pārmaiņas) un +9,0 [±0,80] °C (būtiskas klimata pārmaiņas) (18. attēls).

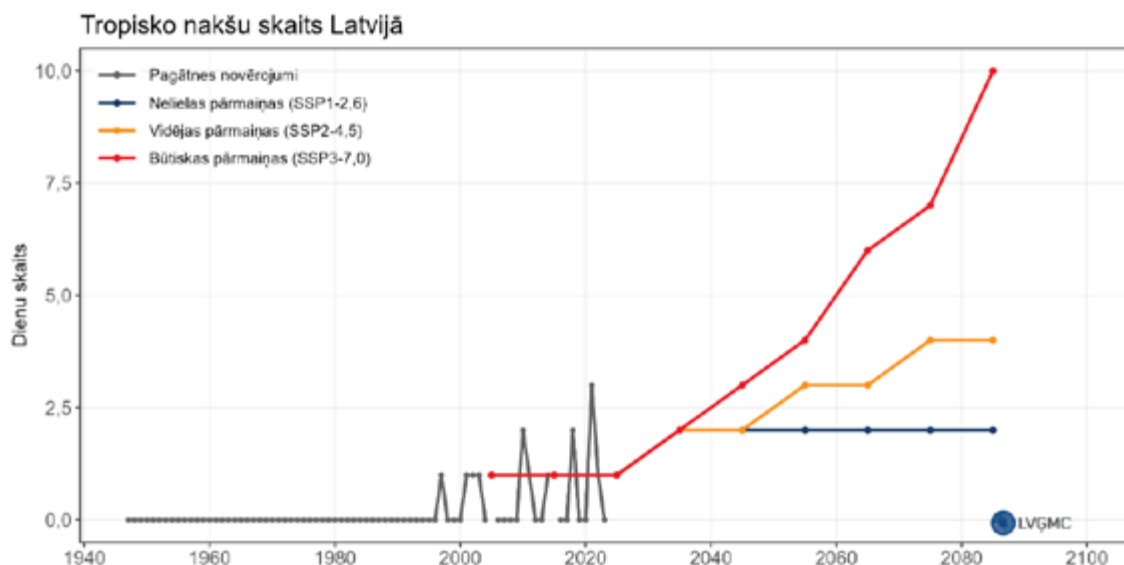


18. attēls Vidējā gaisa temperatūra Latvijā pavasarī kopš 1947. gada (novērojumu dati) līdz 2100. gadam (klimata pārmaiņu modeļu scenāriju SSP1 2,6; SSP2-4,5 un SSP3-7,0 dati)

3.1.4. GAISA TEMPERATŪRA VASARĀ

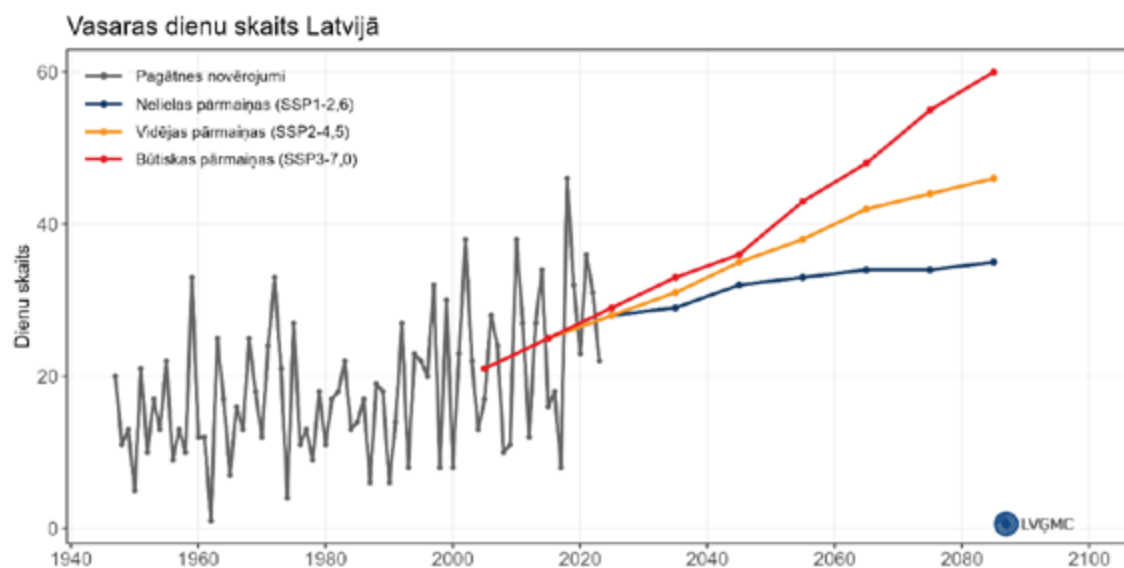
Vasaras vidējā gaisa temperatūra Latvijā līdz šim pieaugusi par 1,1 °C, klimatiskās references periodā tai esot +15,6 °C un šī brīža normai esot +16,7 °C. Gadsimta beigās vasaras vidējā gaisa temperatūra būtisku klimata pārmaiņu gadījumā (SSP3-7,0) pārsniegs +20,0 grādu sliekšni, Latvijā tai vidēji esot +20,7 [±1,43] °C (5,1 °C pieaugums pret klimatiskās references periodu). Vidēju klimata pārmaiņu modeļu scenārijs (SSP2-4,5) prognozē 3,8 °C vasaras gaisa temperatūras pieaugumu gadsimta beigās (+19,4 [±1,19] °C), savukārt nelielu klimata pārmaiņu modeļu scenārijs (SSP1-2,6) paredz 2,9 °C pieaugumu, vasaras gaisa temperatūrai esot +18,5 [±1,04] °C.

Vasarai kļūstot siltākai, biežākas būs arī diennaktis, kuras klimatoloģijā raksturo kā **tropiskās naktis**. Šādu diennakšu skaits būtisku klimata pārmaiņu gadījumā vidēji Latvijā pieaugs līdz 10 [±8] diennaktīm (19. attēls). Līdz šim visbiežāk tropiskās naktis tiek novērotas Rīgā. Nākotnes prognozes liecina, ka būtisku klimata pārmaiņu gadījumā gadsimta beigās vidējais tropisko nakšu skaits gadā Rīgā būs 16 diennaktis.



19. attēls Tropisko diennakšu skaits Latvijā kopš 1947. gada (novērojumu dati) līdz 2100. gadam (klimata pārmaiņu modeļu scenāriju SSP1-2,6; SSP2-4,5 un SSP3-7,0 dati)

Pieaugs arī **vasaras dienu skaits**, gadsimta beigās tam esot no 35 [±11] dienām (nelielas klimata pārmaiņas) līdz 60 [±15] dienām (būtiskas klimata pārmaiņas), pret klimatiskās references periodu vērtībām pieaugot par vairāk nekā mēnesi – 44 dienām (būtisku klimata pārmaiņu modeļu scenārijā) (20. attēls).

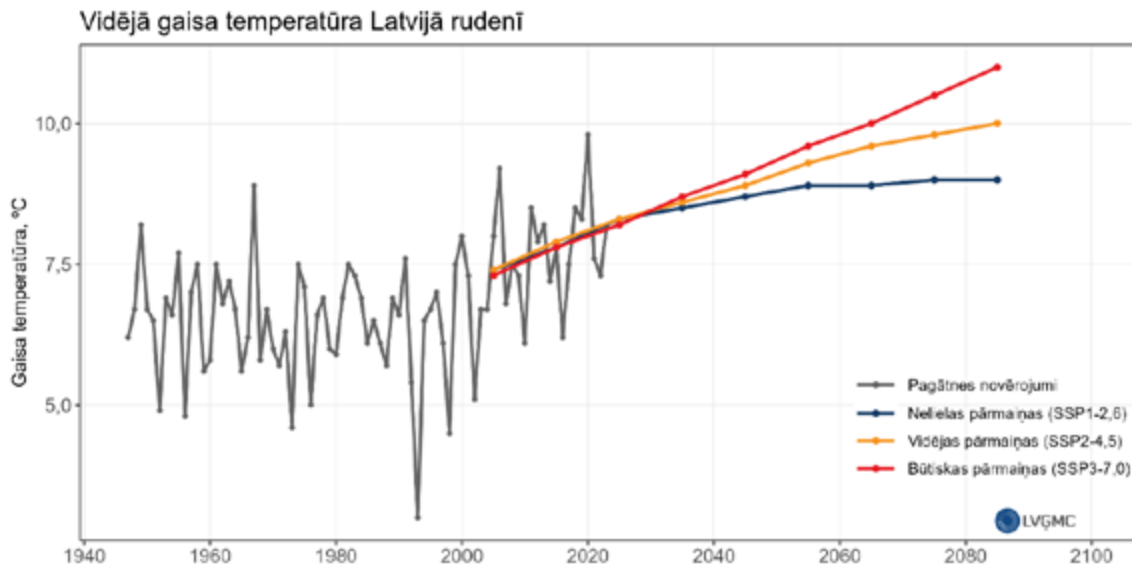


20. attēls Vidējais vasaras dienu skaits Latvijā, kas aprēķināts no meteoroloģisko novērojumu staciju datiem, kā arī nākotnes klimata pārmaiņu modeļu scenārijiem (SSP1-2,6; SSP2-4,5; SSP3-7,0)

3.1.5. GAISA TEMPERATŪRA RUDENĪ

Salīdzinoši mazākais līdz šim novērotais vidējās gaisa temperatūras pieaugums (**0,6 °C**) ir rudenī, kur līdzšinējā klimata norma ir +7,1 °C, savukārt klimatiskās references perioda vērtība ir +6,5 °C. Klimata pārmaiņu modeļi prognozē, ka 21. gadsimta beigās rudenī gaisa temperatūra pret klimatiskās references periodu

būs pieaugusi par 2,5 °C (nelielas klimata pārmaiņas), 3,5 °C (vidējas klimata pārmaiņas) un 4,5 °C (būtiskas klimata pārmaiņas), kad Latvijā vidējā gaisa temperatūra attiecīgi būs +9,0 [±0,85] °C (SSP1-2,6), +10,0 [±1,08] °C (SSP2-4,5), +11,0 [±1,14] °C (SSP3-7,0) (21. attēls).



21. attēls Vidējā gaisa temperatūra Latvijā rudenī kopš 1947. gada (novērojumu dati) līdz 2100. gadam (klimata pārmaiņu modeļu scenāriju SSP1-2,6; SSP2-4,5 un SSP3-7,0 dati)

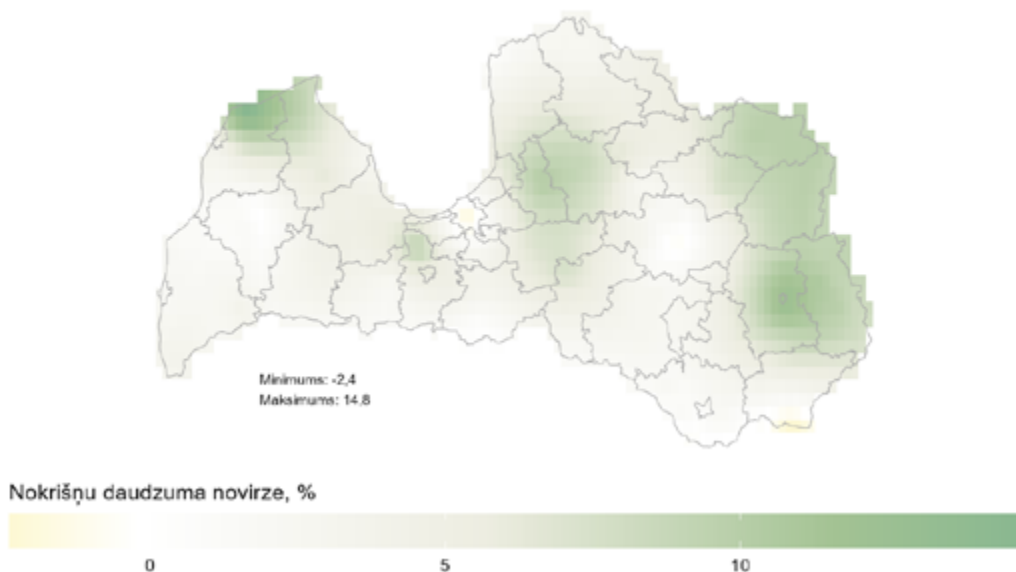
3.2. Nokrišņu daudzums

3.2.1. NOKRIŠŅU DAUDZUMS GADA GRIEZUMĀ

Pieaugums ir novērojams ne tikai gaisa temperatūras, bet arī nokrišņu daudzuma vērtībās. Lai gan šī brīža klimatiskās normas periodā Latvijā piedzīvojām arī sausus gadus, tajā skaitā 2018. gadu ar kopējo nokrišņu daudzumu tikai 487,6 mm, **1991. līdz 2020. gada vidējais nokrišņu daudzums (684,6 mm) ir par 4,4% jeb 28,6 mm vairāk nekā klimatiskās references perioda vērtība (656,0 mm)** (22. attēls).

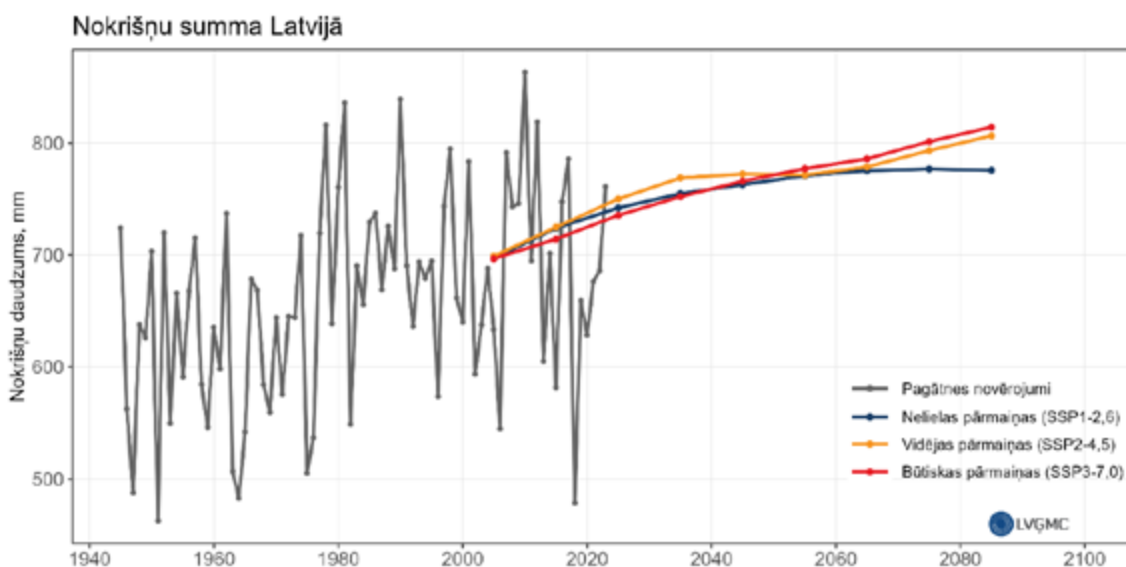
Nokrišņu summa

Novirze klimatiskās normas periodā (1991—2020) no klimatiskās references perioda (1961—1990) vidējās vērtības



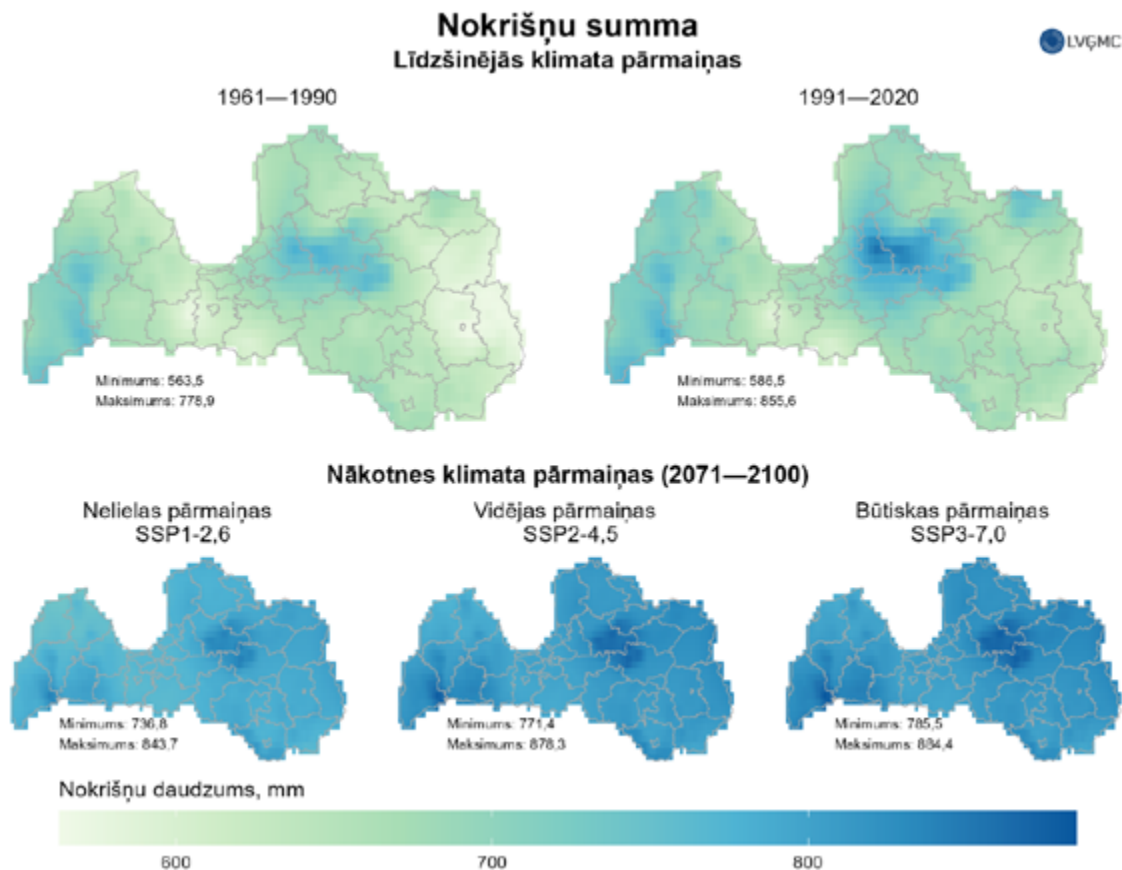
22. attēls Gada kopējā nokrišņu daudzuma novirze Latvijā, salīdzinot klimatiskās references (1961.–1990. gads) un klimatiskās normas periodu (1991.–2020. gads)

Arī 21. gadsimta laikā klimata pārmaiņu modeļi prognozē gada kopējo nokrišņu daudzuma pieaugumu, vidēji Latvijā gadā 775,7 [±60,0] mm nelielu, 806,5 [±72,8] mm vidēju un 814,2 [±79,7] mm būtisku klimata pārmaiņu gadījumā. Piepildoties nelielu klimata pārmaiņu modeļu scenārijam, gadsimta beigās nokrišņu daudzums pret klimatiskās references periodu būs pieaudzis par 18,2%, savukārt vidēju klimata pārmaiņu gadījumā pieaugums būs 22,9%, bet būtisku klimata pārmaiņu gadījumā – 24,1% (23. attēls).



23. attēls Gada kopējais nokrišņu daudzums Latvijā, kas aprēķināts no meteoroloģisko novērojumu staciju datiem, kā arī nākotnes klimata pārmaiņu modeļu scenārijiem (SSP1-2,6; SSP2-4,5; SSP3-7,0)

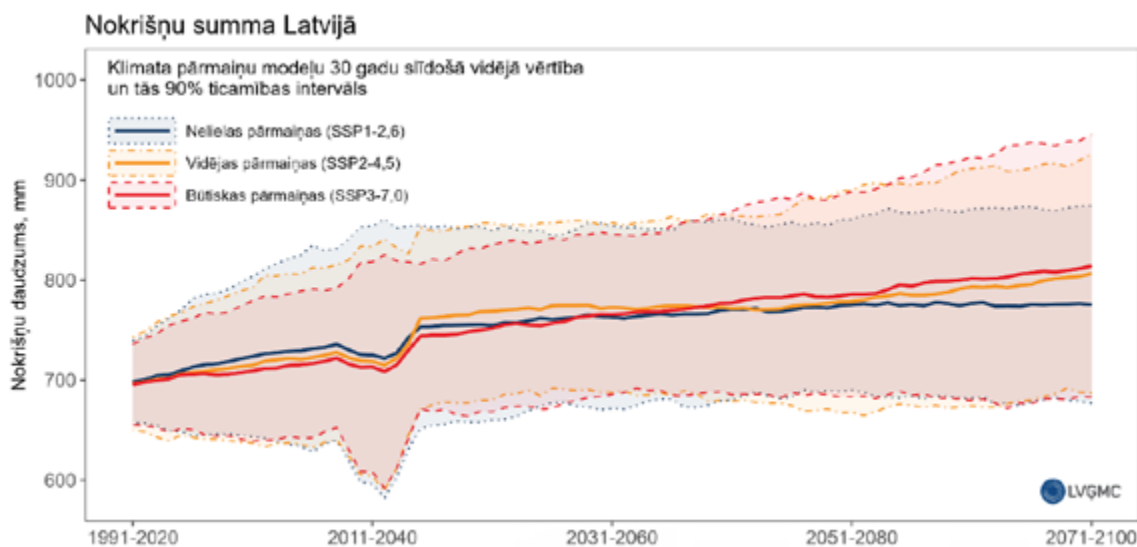
Ja gaisa temperatūra ir teritoriāli salīdzinoši homogēns meteoroloģiskais parametrs, tad nokrišņu daudzums, līdzīgi arī kā vēja ātrums, mēdz būt ļoti lokāls meteoroloģiskais parametrs. Līdz šim visvairāk nokrišņu Latvijā novēroti Siguldā, savukārt vismazākais nokrišņu daudzums ir Zemgales līdzenumā. Nākotnes klimata pārmaiņu modeļi prognozē, ka nākotnē visvairāk nokrišņu būs augstieņu reģionos (24. attēls).



24. attēls Augšējā rindā: Latvijas gada kopējais nokrišņu daudzums klimatiskās references (1961.–1990. gads) un klimatiskās normas periodā (1991.–2020. gads), kas balstīts uz LVGMC meteoroloģisko novērojumu staciju datiem.

Apakšējā rindā: Latvijas gada kopējais nokrišņu daudzums, kas 21. gadsimta beigām (2071.–2100. gads) aprēķināts balstoties uz klimata pārmaiņu modeļu scenārijiem SSP1-2,6; SSP2-4,5 un SSP3-7,0

Gaisa temperatūrai, neatkarīgi no institūcijas, kura izstrādājusi klimata pārmaiņu modeļi, visos aprēķinu rezultātos 21. gadsimta laikā tiek prognozēts pieaugums, savukārt nokrišņu daudzuma vērtības nav tik viennozīmīgas, tas ir, starp pētījumā izmantotajiem modeļiem ir tādi, kuri gadsimta beigās prognozē zemāku nokrišņu daudzumu nekā šobrīd. Šādu modeļu skaits ir mazāks un vidēji tiek prognozēts gada kopējā nokrišņu daudzuma pieaugums (25. attēls).

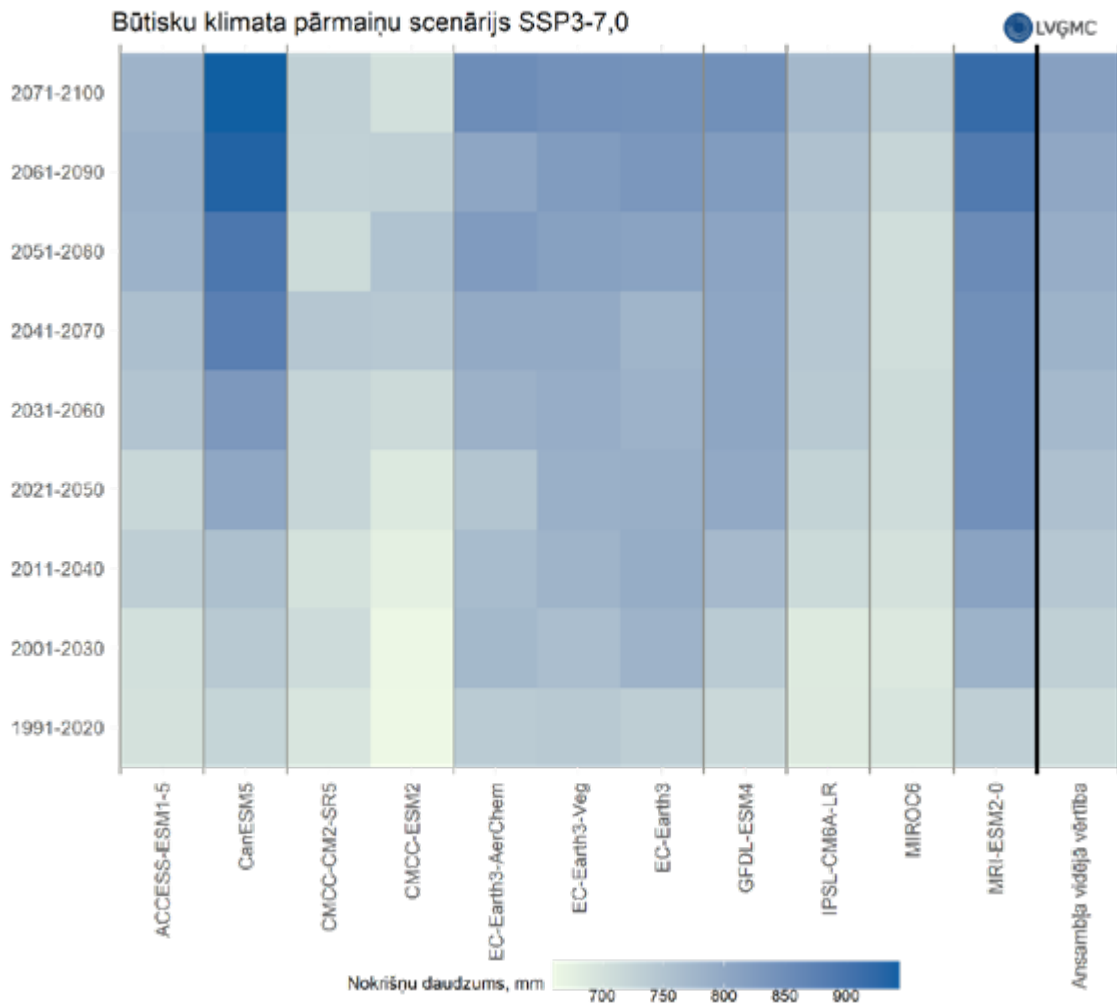


25. attēls Klimata pārmaiņu modeļu prognozētās Latvijas vidējā gada kopējā nokrišņu daudzuma 30 gadu slīdošās vidējās vērtības un to 90% ticamības intervāls līdz 21. gadsimta beigām

Atšķirības starp ansablī izmantotajiem modeļiem būtisku klimata pārmaiņu gadījumā (SSP3-7,0) katrā nākotnes trīsdesmit gadu periodā, kā arī ansambļa vidējo vērtību, kas izmantota rezultātu secinājumos, iespējams aplūkot 26. attēlā.

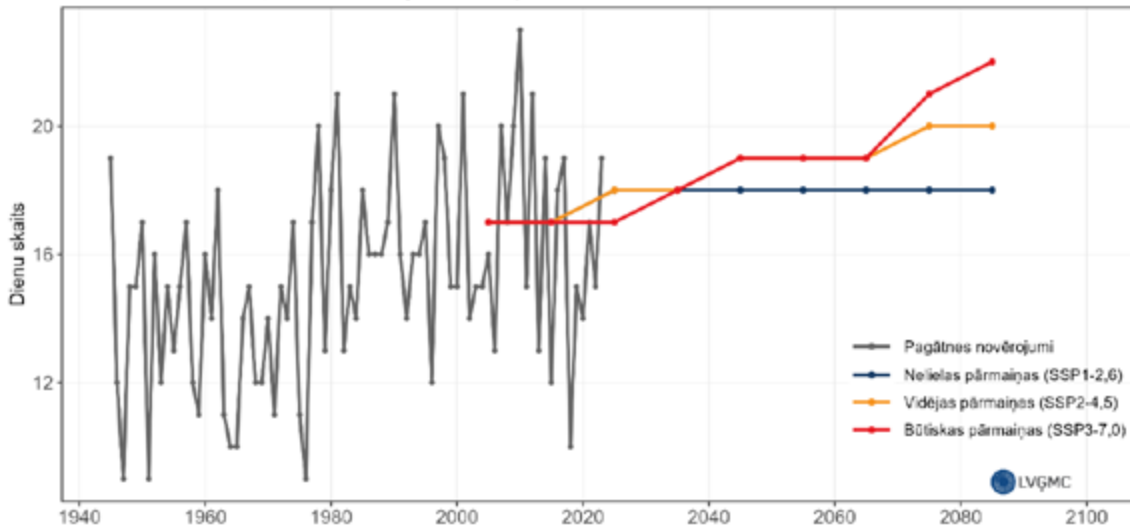
Līdz šim pieaudzis ne tikai gada kopējais nokrišņu daudzums, bet arī nokrišņu intensitāte. **Dienu skaits ar stipriem nokrišņiem** normas periodā (17 diennaktis) ir par 3 diennaktīm vairāk nekā references periodā (14 diennaktis). Arī 21. gadsimta laikā visu trīs klimata pārmaiņu scenāriju gadījumā tiek prognozēts pieaugums tām dienām, kad nokrišņu daudzums būs vismaz 10 mm – no 18 [±1] dienām gadā nelielu klimata pārmaiņu gadījumā līdz 22 [±2] dienām būtisku klimata pārmaiņu gadījumā (27. attēls). Līdzīgas pārmaiņas gaidāmas **nokrišņu intensitātes indeksa** vērtībās. Normas periodā mitrajās dienās ir vidēji 5,3 mm nokrišņu, kas ir par 0,3 mm vairāk nekā references periodā. Gadsimta beigās tiek prognozēts nokrišņu intensitātes pieaugums mitrajās dienās no 5,4 [±0,1] mm nelielu līdz 5,7 [±0,2] mm būtisku klimata pārmaiņu gadījumā.

Latvijas 21. gadsimta gada summārais nokrišņu daudzums,
balstoties uz dažādu institūciju nākotnes klimata pārmaiņu modeļiem



26. attēls Dažādu institūciju aprēķināto klimata pārmaiņu modeļu slidošās vidējās trīsdesmit gadu gada kopējā nokrišņu daudzuma vērtības un modeļu ansambļa vidējā vērtība būtisku klimata pārmaiņu gadījumā (SSP3-7,0)

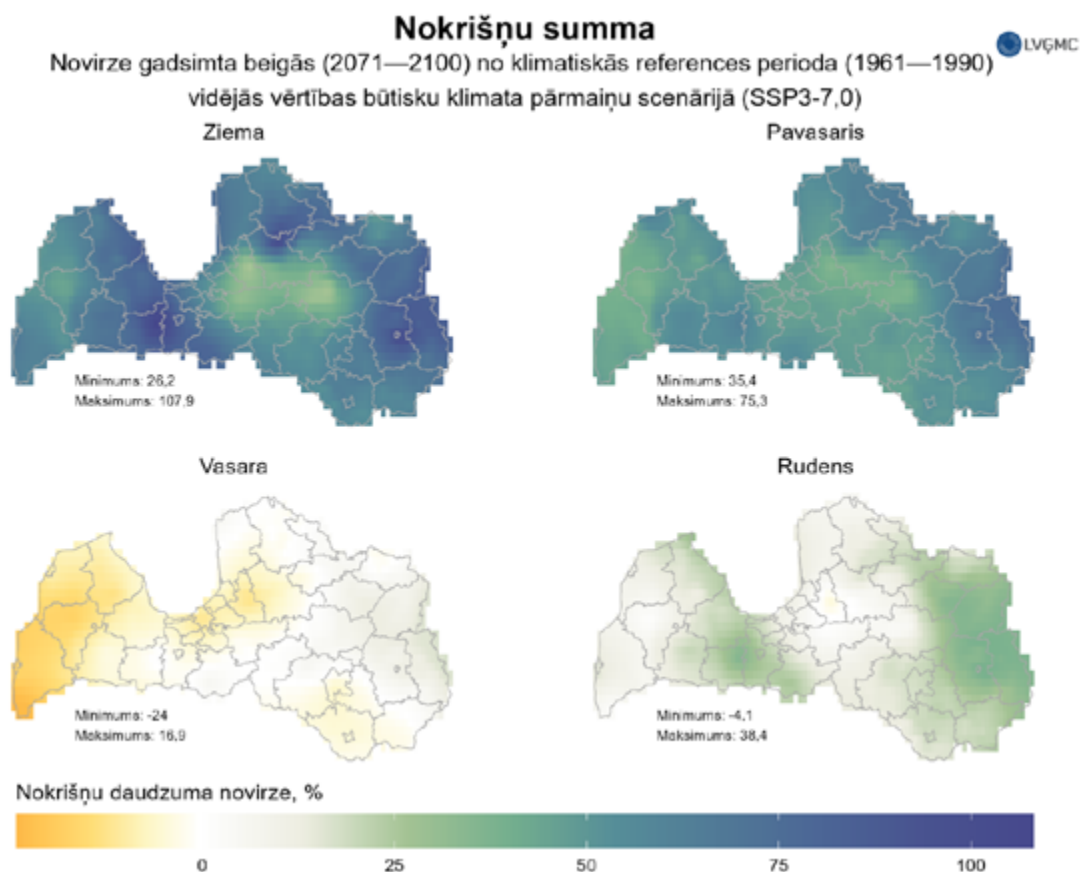
Dienu skaits ar stipriem nokrišņiem Latvijā



27. attēls Latvijas vidējais dienu skaits gadā ar stipriem nokrišņiem, kas aprēķināts no meteoroloģisko novērojumu staciju datiem, kā arī nākotnes klimata pārmaiņu modeļu scenārijiem (SSP1-2,6; SSP2-4,5; SSP3-7,0)

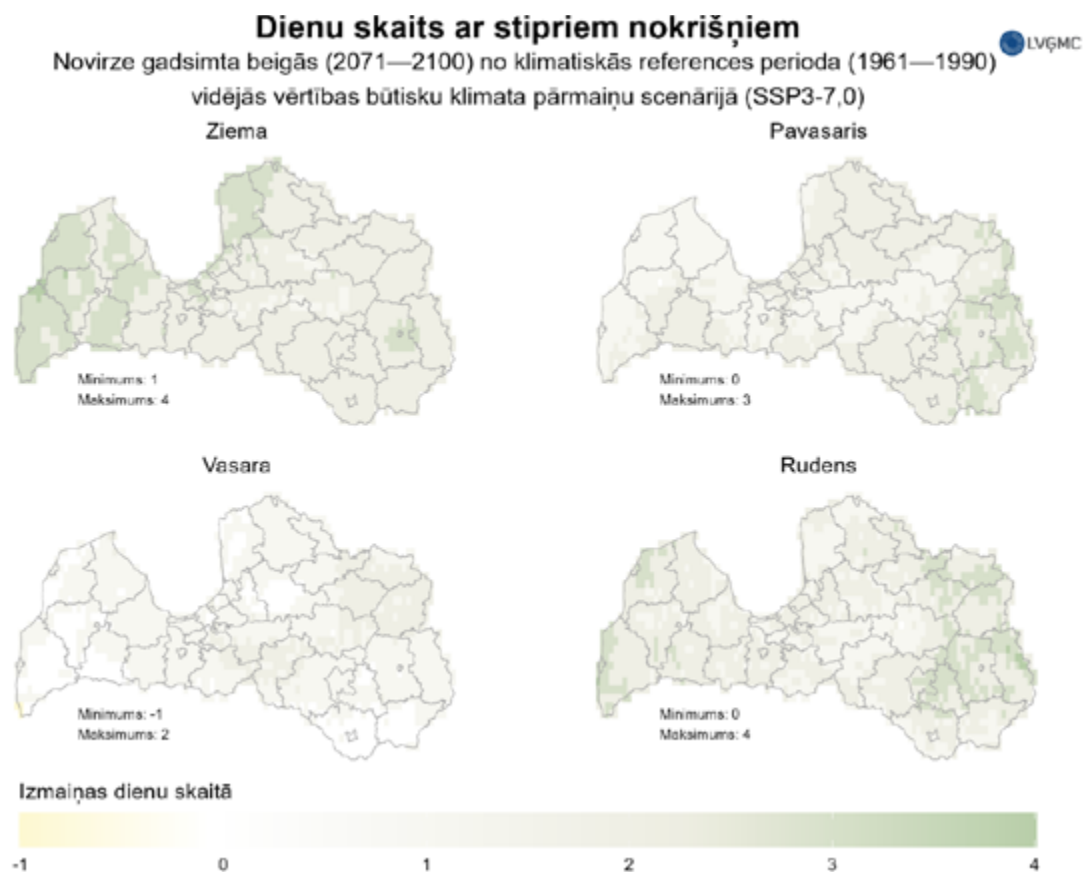
3.2.2. NOKRIŠŅU DAUDZUMS ZIEMĀ

Savstarpēji salīdzinot klimatiskās referenes perioda un līdzšinējās klimatiskās normas perioda nokrišņu daudzuma vērtības, **visstraujākais pieaugums novērots ziemā, nokrišņu daudzumam vidēji Latvijā pieaugot par 18,4%** (no 121,8 mm līdz 144,2 mm) (28. attēls). 21. gadsimta laikā tiek prognozēts ziemas nokrišņu daudzuma pieaugums pret klimatiskās referenes periodu par 62,3% (197,7 [±29,7] mm) būtisku klimata pārmaiņu (SSP3-7,0), 53,4% (186,8 [±23,8] mm) vidēju klimata pārmaiņu (SSP2-4,5,) un par 41,0% (171,7 [±21,6] mm) nelielu klimata pārmaiņu gadījumā.



28. attēls Nokrišņu daudzuma izmaiņas ziemā, pavasarī, vasarā un rudenī, salīdzinot klimata pārmaiņu modeļu prognozētās 2071. līdz 2100. gada vērtības (SSP3-7,0) ar klimatiskās referenču periodā (1961.–1990. gads) novērotajām vērtībām

Kopš referenču perioda mūsdienās **stipru nokrišņu daudzums** ziemā ir pieaudzis par 1 dienu. Nelielu klimata pārmaiņu gadījumā modeļi neprognozē pieaugumu dienu skaitā ar stipriem nokrišņiem vai nokrišņu intensitātes pieaugumu ziemā. Tomēr gan pie vidējām, gan būtiskām klimata pārmaiņām šāds pieaugums līdz gadsimta beigām tiek prognozēts. Ja normas periodā dienu skaits ar stipriem nokrišņiem ziemā bija 2 dienas, tad vidēju un būtisku klimata pārmaiņu gadījumā gadsimta beigās tiek sagaidītas attiecīgi 3 [± 1] vai 4 [± 1] tādas dienas. Turklāt tieši ziemā tiek prognozēts lielākais sezonas dienu skaita ar stipriem nokrišņiem pieaugums būtisku klimata pārmaiņu gadījumā (29. attēls), it īpaši Latvijas rietumu daļā un Vidzemes jūras piekrastē.

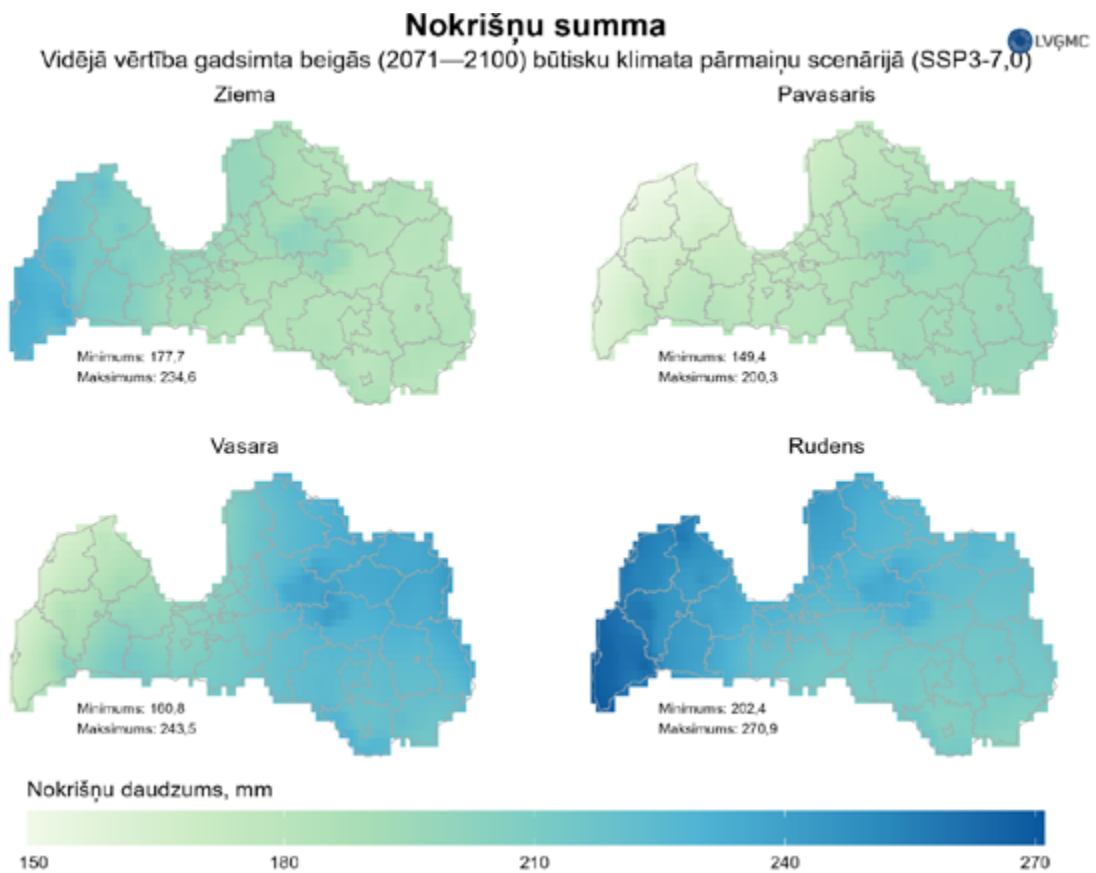


29. attēls *Dienu skaita ar stipriem nokrišņiem pieaugums ziemā, pavasarī, vasarā un rudenī, salīdzinot klimata pārmaiņu modeļu prognozētās 2071. līdz 2100. gada vērtības (SSP3-7,0) ar klimatiskās references periodā (1961.–1990. gads) novērotajām vērtībām*

Savukārt **nokrišņu intensitātes indekss**, kas normas periodā ziemā bija 3,9 mm un kopš references perioda ir pieaudzis par 0,4 mm (kas ir arī straujākais nokrišņu intensitātes pieaugums, kas novērots atsevišķā sezonā), tiek prognozēts, ka gadsimta beigās būs pieaudzis līdz 4,1 [$\pm 0,2$] mm un 4,2 [$\pm 0,2$] mm mitrajās dienās attiecīgi vidēju un būtisku klimata pārmaiņu gadījumā.

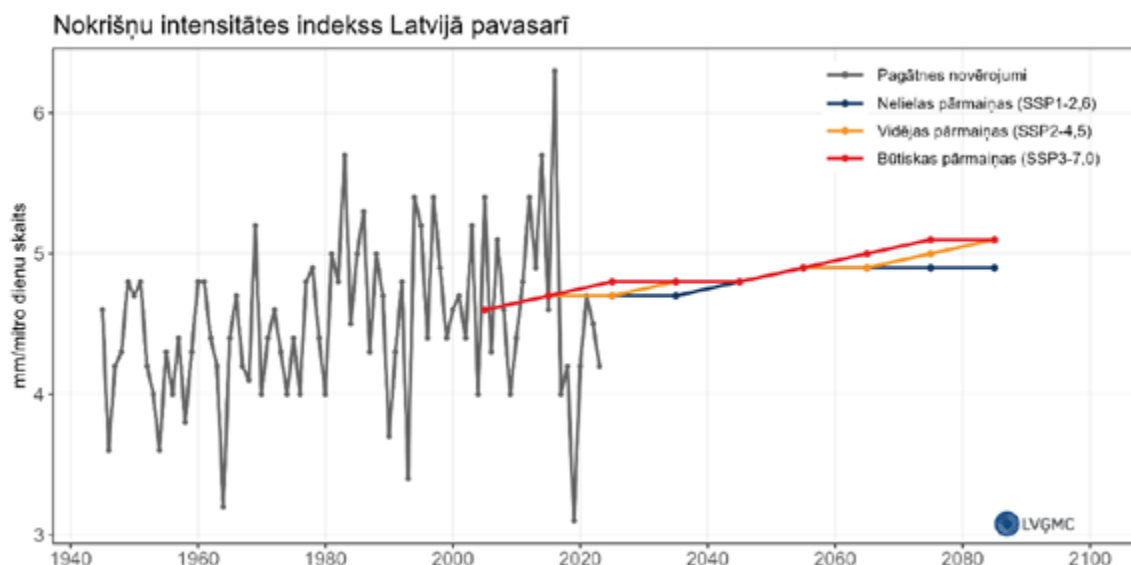
3.2.3. NOKRIŠŅU DAUDZUMS PAVASARĪ

Pavasara sezona līdz šim ir bijusi sausākā un, lai gan nokrišņu daudzums pavasarī nākotnē pieaugs, tā joprojām būs sausākā sezona Latvijā (30. attēls). Līdz šim pavasarī nokrišņu daudzums pieaudzis par 4,1% (no 118,5 mm līdz 123,4 mm), savukārt gadsimta beigās nokrišņu daudzums Latvijā būs 165,3 [$\pm 17,1$] mm (39,5% pieaugums) nelielu, 174,1 [$\pm 17,3$] mm (46,9% pieaugums) vidēju un 178,4 [$\pm 13,6$] mm (50,5% pieaugums) būtisku klimata pārmaiņu gadījumā.



30. attēls Nokrišņu daudzums 21. gadsimta beigās ziemā, pavasarī, vasarā un rudenī būtisku klimata pārmaiņu (SSP3-7,0) gadījumā.

Līdzīgi kā ziemā, arī pavasarī normas periodā **dienu skaits ar stipriem nokrišņiem** kopš referenes perioda ir pieaudzis par vienu dienu (3 dienas normas periodā), un gadsimta beigās nelielu klimata pārmaiņu gadījumā izmaiņas netiek prognozētas, savukārt gan vidēju, gan būtisku klimata pārmaiņu gadījumā pavasarī tiek prognozētas 4 [±1] dienas ar stipriem nokrišņiem. Kaut arī **nokrišņu intensitāte** kopš referenes perioda (4,5 mm) ir pieaugusi tikai par 0,1 mm klimatiskās normas periodā, līdz gadsimta beigām tiek prognozēts, ka tā pieaugs par vēl līdz pat 0,5 mm (būtisku pārmaiņu gadījumā), sasniedzot vērtības no 4,9 [±0,2] mm pie nelielām klimata pārmaiņām līdz 5,1 [±0,2] mm gan vidēju, gan būtisku pārmaiņu gadījumā (31. attēls).



31. attēls Nokrišņu intensitātes indekss Latvijā pavasarī kopš 1945. gada (novērojumu dati) līdz 2100. gadam (klimata pārmaiņu modeļu scenāriju SSP1 2,6; SSP2-4,5 un SSP3-7,0 dati)

3.2.4. NOKRIŠŅU DAUDZUMS VASARĀ

Lai gan vasarā līdz šim novērots neliels (3,3%) nokrišņu daudzuma pieaugums klimatiskās references periodā, vasarā vidēji izkrītot 215,1 mm, savukārt klimatiskās normas periodā – 222,3 mm nokrišņu, **vasara ir vienīgā sezona, kurā būtisku klimata pārmaiņu gadījumā nākotnē tiek prognozēts nokrišņu daudzuma samazinājums** par 4,0% (būtiskas klimata pārmaiņas ar vasaras nokrišņu daudzumu 206,5 [$\pm 49,0$] mm). Vidējās klimata pārmaiņās vasarā nokrišņu daudzums tiek prognozēts gandrīz tāds pats kā references periodā (214,6 [$\pm 44,3$] mm), un nelielu klimata pārmaiņu gadījumā prognozēts 2,0% pieaugums (vasaras nokrišņu daudzums 219,5 mm [$\pm 36,6$] mm). Nokrišņu daudzuma samazināšanās dēļ vasara nākotnē vairs nebūs nokrišņiem bagātākā sezona Latvijā (30. attēls).

Vasara vēsturiski ir sezona ar intensīvākajiem nokrišņiem. Ja references periodā vidēji tika piedzīvotas 6 dienas ar stipriem nokrišņiem, tad normas periodā tādas dienas ir 7. Ne tikai nokrišņu daudzumam netiek prognozētas lielas izmaiņas vasaras sezonā, bet arī dienu skaitā ar stipriem nokrišņiem – gadsimta beigās visu trīs klimata pārmaiņu scenāriju gadījumā tiek prognozētas vidēji tās pašas 7 [± 1] dienas ar stipriem nokrišņiem. Tomēr vasarā līdz gadsimta beigām tiek prognozētas izmaiņas **nokrišņu intensitātē** mitrajās dienās. References periodā mitrajās vasaras dienās vidēji tika piedzīvoti 6,9 mm nokrišņu, bet normas periodā 7,0 mm. Gadsimta beigās visi trīs scenāriji prognozē nokrišņu intensitātes pieaugumu līdz 7,3 [$\pm 0,3$] mm mitrajās vasaras dienās.

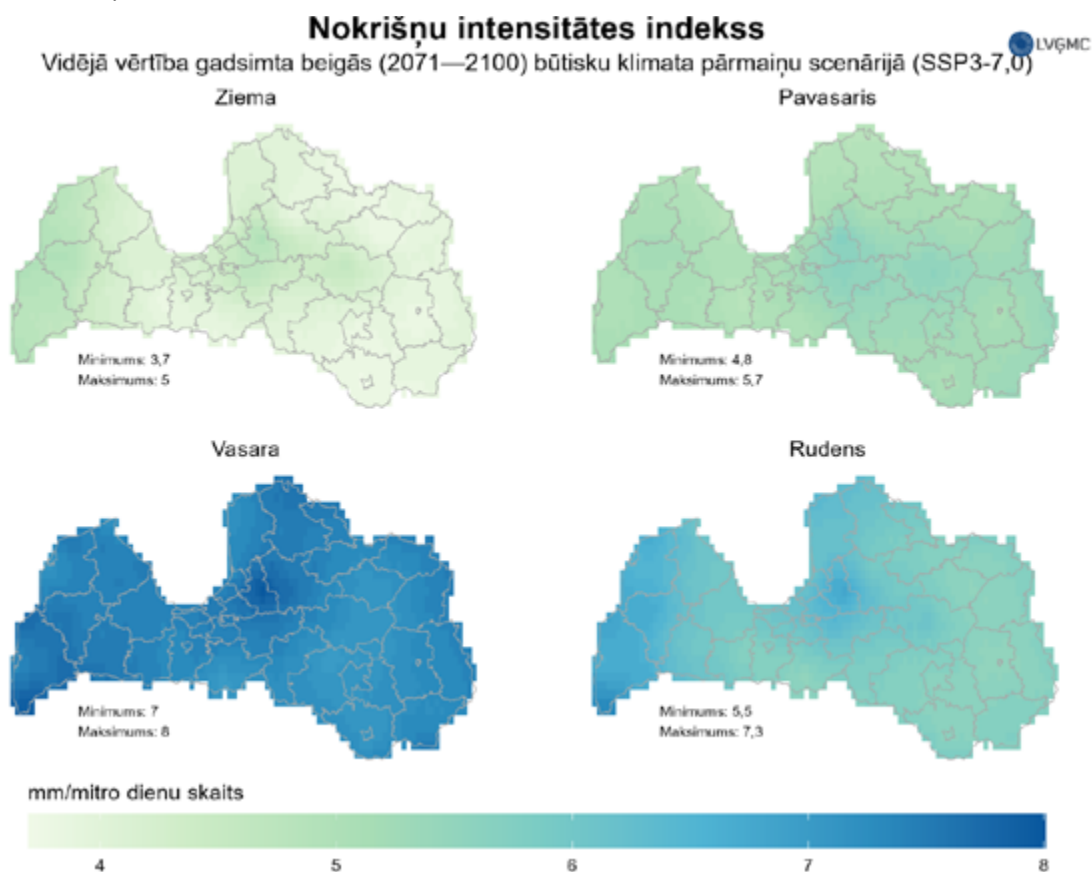
3.2.5. NOKRIŠŅU DAUDZUMS RUDENĪ

Salīdzinot klimatiskās references perioda nokrišņu daudzumu (200,6 mm) ar klimatiskās normas perioda nokrišņu daudzumu (194,6 mm), **vienīgā sezona, kurā Latvijā tas samazinājies (par 3,0%), ir rudens.** 21. gadsimta laikā netiek prognozēts nokrišņu daudzuma samazinājums, tieši pretēji, klimata pārmaiņu modeļu rezultāti liecina, ka **gadsimta beigās rudens būs nokrišņiem bagātākā**

sezona Latvijā (28. attēls) ar nokrišņu daudzumu 219,1 [$\pm 23,7$] mm nelielu, 230,9 [$\pm 21,6$] mm vidēju un 231,2 [$\pm 27,7$] mm būtisku klimata pārmaiņu gadījumā.

Rudens ir vienīgais gadalaiks, kurā kopš references perioda nav mainījies diennakšu **skaits ar stipriem nokrišņiem** (5 dienas). Tomēr gadsimta beigās tiek prognozēts, ka nelielu un vidēju klimata pārmaiņu gadījumā dienu skaits ar stipriem nokrišņiem pieaugs līdz 6 [± 1] dienām, bet būtisku pārmaiņu gadījumā rudenī dienas ar stipriem nokrišņiem būs vidēji tik pat, cik vasarā (7 [± 1] dienas).

Lai gan līdz šim kopējais nokrišņu daudzums rudenī ir samazinājies, rudens (pēc ziemas) ir sezona ar otro lielāko **nokrišņu intensitātes pieaugumu** kopš references perioda. Ja references periodā nokrišņu intensitāte mitrajās dienās bija vidēji 5,3 mm, tad normas periodā 5,6 mm. Līdz gadsimta beigām tiek prognozēts, ka nelielu klimata pārmaiņu gadījumā nokrišņu intensitāte mitrajās dienās vairs nemainīsies, tomēr vidējās pārmaiņās tiek prognozēts, ka indeksa vērtība būs 5,9 [$\pm 0,1$] mm mitrajās dienās, bet būtiskās klimata pārmaiņās 6,1 [$\pm 0,1$] mm. Kaut arī gadsimta beigās nokrišņu daudzums rudenī būs lielāks nekā vasarā (līdzšinējā nokrišņiem bagātākajā sezonā), tiek prognozēts, ka vasara saglabāsies kā sezona ar vidēji intensīvākajiem nokrišņiem mitrajās dienās (32. attēls).



32. attēls Modeļu prognozētās 2071. līdz 2100. gada nokrišņu intensitātes indeksa vērtības ziemā, pavasarī, vasarā un rudenī (SSP3-7,0)

3.3. Sniega segas biežums

3.3.1. SNIEGA SEGAS BIEŽUMS GADA (OKTOBRIS–APRĪLIS) GRIEZUMĀ

Gaisa temperatūras pieaugums un nokrišņu daudzuma izmaiņas ietekmē arī sniega segu – tās biežumu un dienu skaitu ar sniega segu. Tā kā klimata pārmaiņu modeļos sniega segas biežums tiek aprēķināts mēneša griezumā un raksturo mēneša vidējās vērtības, pētījuma ietvarā aplūkotas tieši šo vērtību izmaiņas.

Lai gan ziemas sezonā pieaudzis nokrišņu daudzums, pieaugošās gaisa temperatūras dēļ vēsajos gada mēnešos nereti tiek novēroti nokrišņi lietūs, nevis sniega formā. **Līdz šim gada griezumā (no oktobra līdz aprīlim) vidējais sniega segas biežums samazinājies no 7 cm klimatiskās references periodā līdz 4 cm klimatiskās normas periodā (33. attēls).**

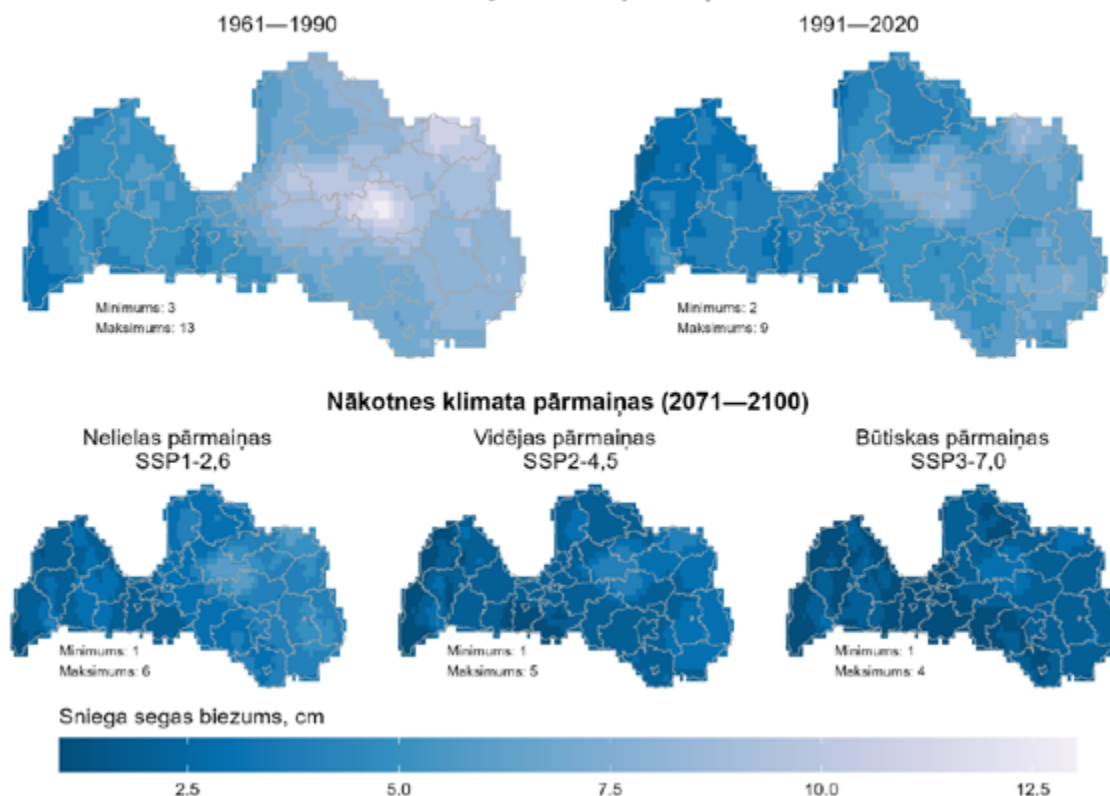


33. attēls Latvijas gada vidējā sniega segas biežuma novirze, salīdzinot klimatiskās references (1961.–1990. gads) un klimatiskās normas periodu (1991.–2020. gads)

Klimata pārmaiņu modeļi prognozē, ka 21. gadsimta beigās sniega sega Latvijā laika posmā no oktobra līdz aprīlim būs vidēji no 1 [±1] līdz 3 [±1] cm bieža (attiecīgi būtisku un nelielu klimata pārmaiņu scenārijos). Līdz šim Latvijā **visbiezākā sniega sega novērota Vidzemes un Alūksnes augstienēs**, arī 21. gadsimta laikā augstienēs sniega sega būs biezāka nekā citviet Latvijā (34. attēls).

Vidējais sniega segas biežums Līdzšinējās klimata pārmaiņas

LVĢMC

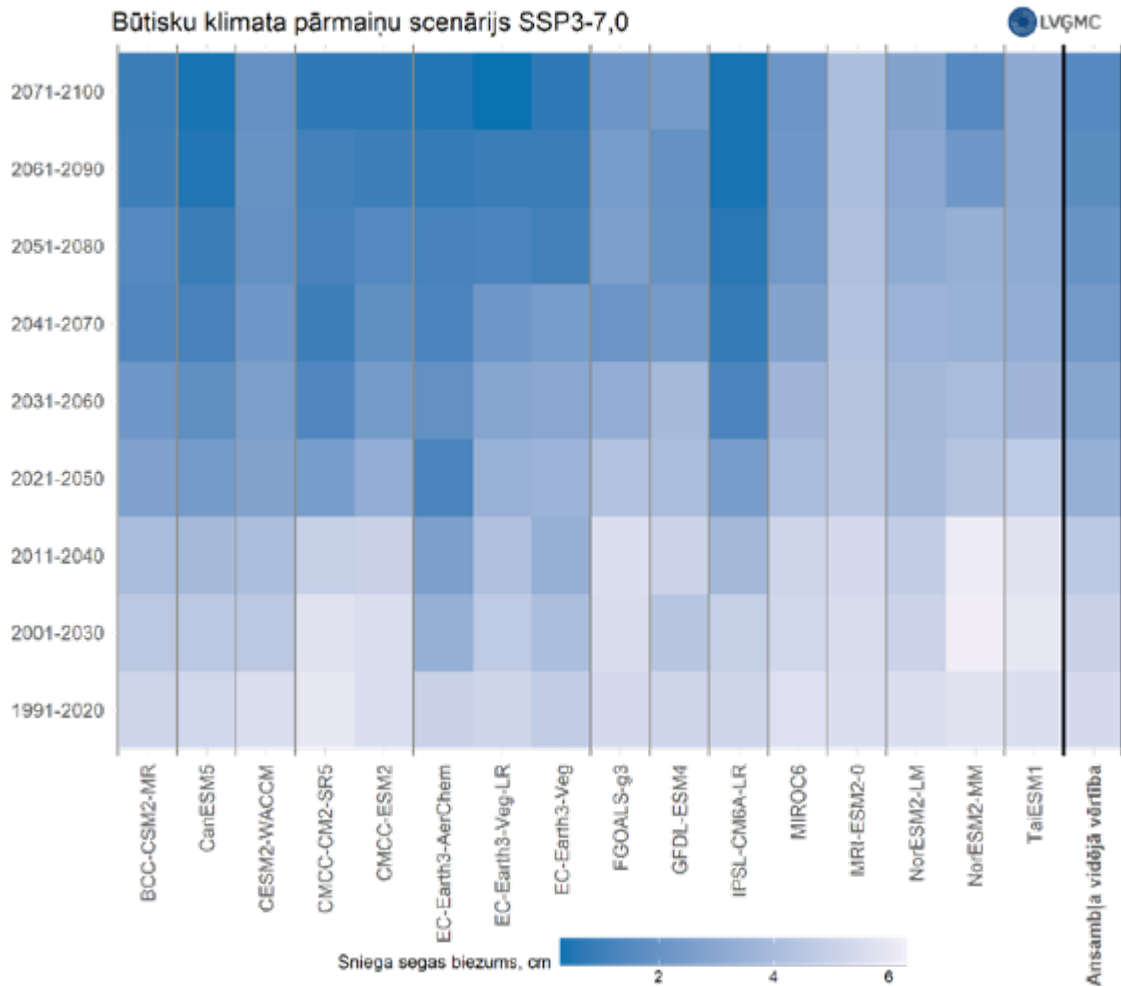


34. attēls Augšējā rindā: Vidējais sniega segas biežums (oktobris–aprīlis) Latvijā klimatiskās referencēs (1961.–1990. gads) un klimatiskās normas periodā (1991.–2020. gads), kas balstīts uz LVĢMC meteoroloģisko novērojumu staciju datiem.

Apakšējā rindā: Latvijas vidējais sniega segas biežums (oktobris–aprīlis), kas 21. gadsimta beigām (2071.–2100. gads) aprēķināts balstoties uz klimata pārmaiņu modeļu scenārijiem SSP1-2,6; SSP2-4,5 un SSP3-7,0

Gluži tāpat kā iepriekš aplūkotajai gaisa temperatūrai (11. attēls) un nokrišņu daudzumam (26. attēls), arī sniega segas biežumam dažādu institūciju izstrādātie klimata pārmaiņu modeļi prognozē savstarpēji atšķirīgas sniega segas biežuma vērtības, bet pilnīgi visi no tiem apliecina, ka **gadsimta beigās sniega segas biežums Latvijā būs mazāks nekā mūsdienās** (35. attēls).

Latvijas 21. gadsimta sniega segas biežums,
balstoties uz dažādu institūciju nākotnes klimata pārmaiņu modeļiem



35. attēls Dažādu institūciju aprēķināto klimata pārmaiņu modeļu slīdošās vidējās trīsdesmit gadu sniega segas biežuma vērtības (oktobris–aprīlis) un modeļu ansambļa vidējā vērtība būtisku klimata pārmaiņu gadījumā (SSP3-7,0)

3.2.2. SNIEGA SEGAS BIEŽUMS ZIEMĀ

Tā kā vēsturiski ziema Latvijā ir bijusi ar pārsvarā negatīvām gaisa temperatūrām, šajā sezonā visbiežāk nokrišņi krituši sniega formā. Līdz šim vidējais sniega segas biežums ziemā **samazinājies par 4 cm, klimatiskās references periodā ziemai esot ar 11 cm, savukārt klimatiskās normas periodā ar 7 cm biezu sniega segu.** Gadsimta beigās tiek prognozēts ziemas sniega segas sarukums pret klimatiskās references periodu vēl par 6 cm (nelielu), 8 cm (vidēju un būtisku klimata pārmaiņu gadījumā), gadsimta **beigās ziemām esot ar vidējo sniega segas biežumu 5 [±2] cm (nelielu) un 3 [±2] cm (vidēju un būtisku) klimata pārmaiņu gadījumā.**

3.2.3. SNIEGA SEGAS BIEŽUMS PAVASARĪ (MARTS, APRĪLIS)

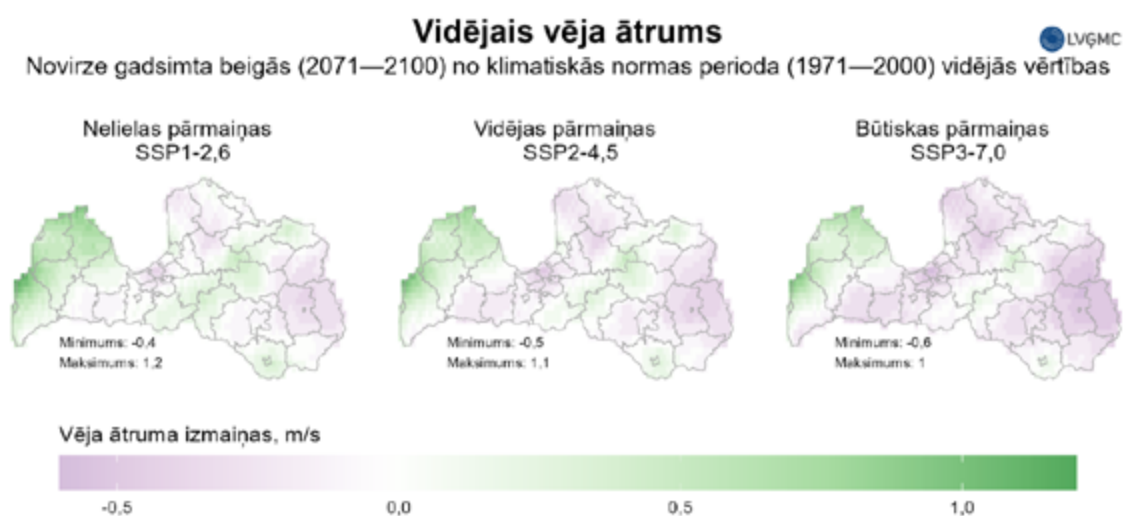
Neskatot ziemu, vienīgais gadalaiks, kurā Latvijā nākotnē tiek prognozēts **vidējais sniega segas biežums, kas lielāks par nulli, ir pavasaris, kurā līdz šim sniega segas biežums mainījies no 6 cm klimatiskās references periodā līdz 4 cm klimatiskās normas periodā.** Gadsimta beigās pavasarī tiek prognozēts

sniega segas biezums no 1 [\pm 1] cm (būtiskas klimata pārmaiņas) līdz 3 [\pm 1] cm (nelielas klimata pārmaiņas).

3.4. Vēja ātrums

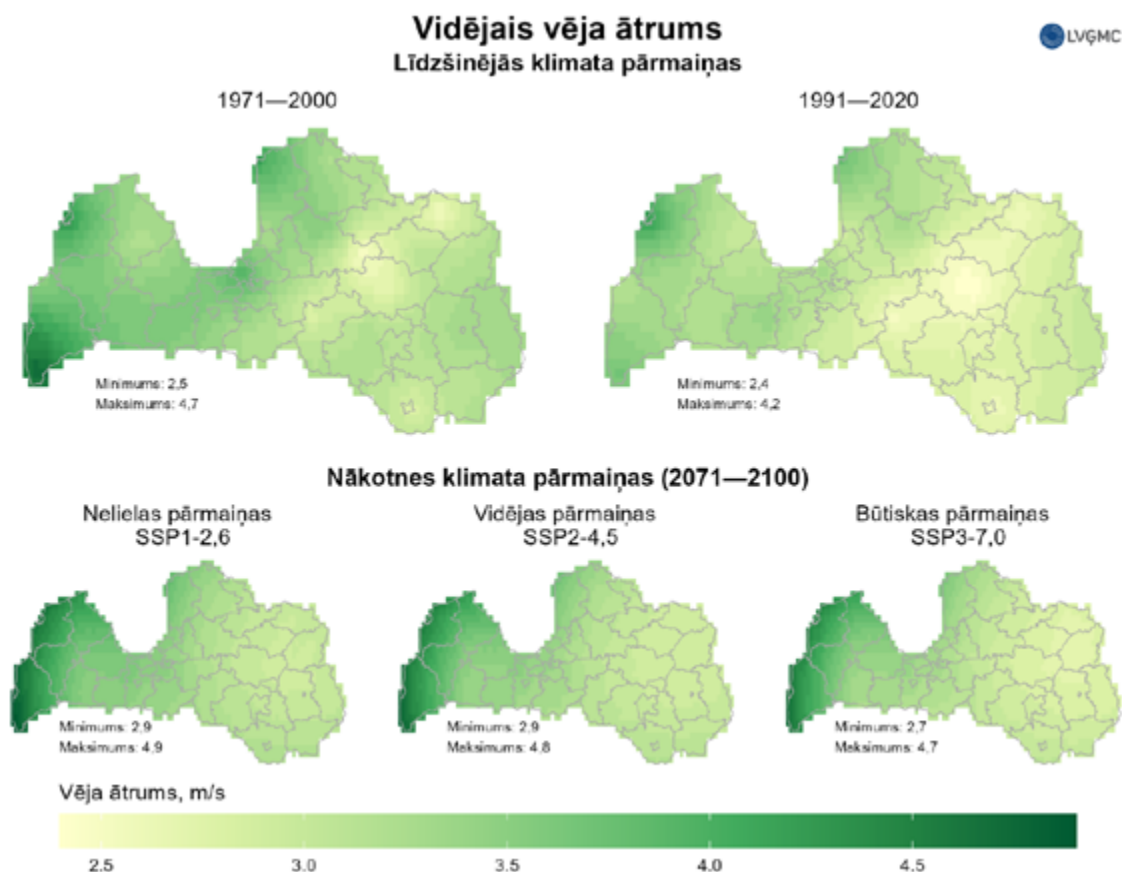
3.4.1. VIDĒJAIS VĒJA ĀTRUMS GADA GRIEZUMĀ

Līdzīgi kā nokrišņu daudzums, arī vēja ātrums ir lokāls meteoroloģiskais parametrs, ko spēj ietekmēt daudz lokālu īpatnību. **Līdz šim gada vidējais vēja ātrums kopš 1971.–2000. gada samazinājies par 0,5 m/s, klimatiskās normas periodā tam esot ar ātrumu 3,0 m/s.** Vēsturiski vējainākā Latvijā ir Baltijas atklātās jūras piekraste, savukārt rāmākais vējš tiek novērots Latgalē. Balstoties uz klimata pārmaiņu modeļu prognozēm, gadsimta beigās vislielākais vidējais vēja ātrums būs Baltijas atklātās jūras piekrastē, kur tiek prognozēts arī lielākais vidējā vēja ātruma pieaugums, radot vēl lielāku savstarpējo vēja ātruma atšķirību starp piejūras un iekšzemes reģioniem (36. attēls).



36. attēls Vidējā vēja ātruma izmaiņas Latvijā starp klimatiskās normas periodu un 21. gadsimta beigām trīs klimata pārmaiņu modeļu scenāriju gadījumā (SSP1-2,6; SSP2-4,5; SSP3-7,0)

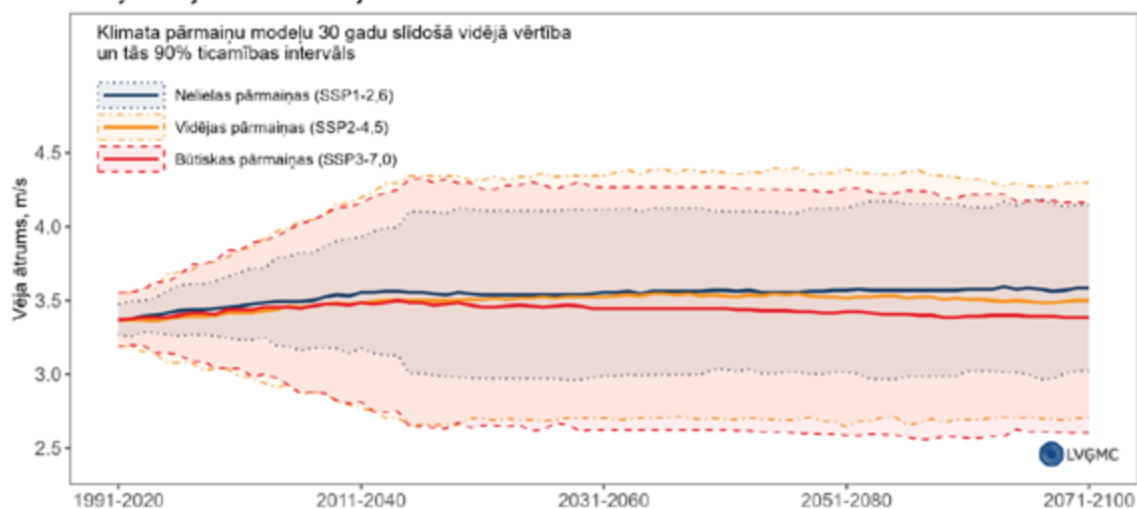
Vidēji Latvijā gadsimta beigās klimata pārmaiņu modeļi prognozē vidējo vēja ātrumu 3,6 [\pm 0,3] m/s nelielu, 3,5 [\pm 0,5] m/s vidēju un 3,4 [\pm 0,5] m/s būtisku klimata pārmaiņu gadījumā, kas nozīmē, ka, salīdzinājumā ar laika posmu no 1971. līdz 2000. gadam, Latvijā vidēji netiks novērotas būtiskas vidējā vēja ātruma izmaiņas (37. attēls).



37. attēls Augšējā rindā: Vidējais vēja ātrums Latvijā no 1971. līdz 2010. gadam un klimatiskās normas periodā (1991.–2020. gads), kas balstīts uz LVĢMC meteoroloģisko novērojumu staciju datiem.
Apakšējā rindā: Vidējais vēja ātrums Latvijā, kas 21. gadsimta beigām (2071.–2100. gads) aprēķināts balstoties uz klimata pārmaiņu modeļu scenārijiem SSP1-2,6; SSP2-4,5 un SSP3-7,0

Lai gan pētījumā izmantotie klimata pārmaiņu modeļi vidēji Latvijā neparāda būtiskas vidējā vēja ātruma izmaiņas šajā gadsimtā, ir institūcijas, kuru modeļu aprēķinu rezultāti ir ar pieaugošu vidējā vēja ātrumu gadsimta laikā, kā arī tādas institūcijas, kuru modeļi gadsimta beigās prognozē rāmāku vēja ātrumu nekā mūsdienās (38. attēls).

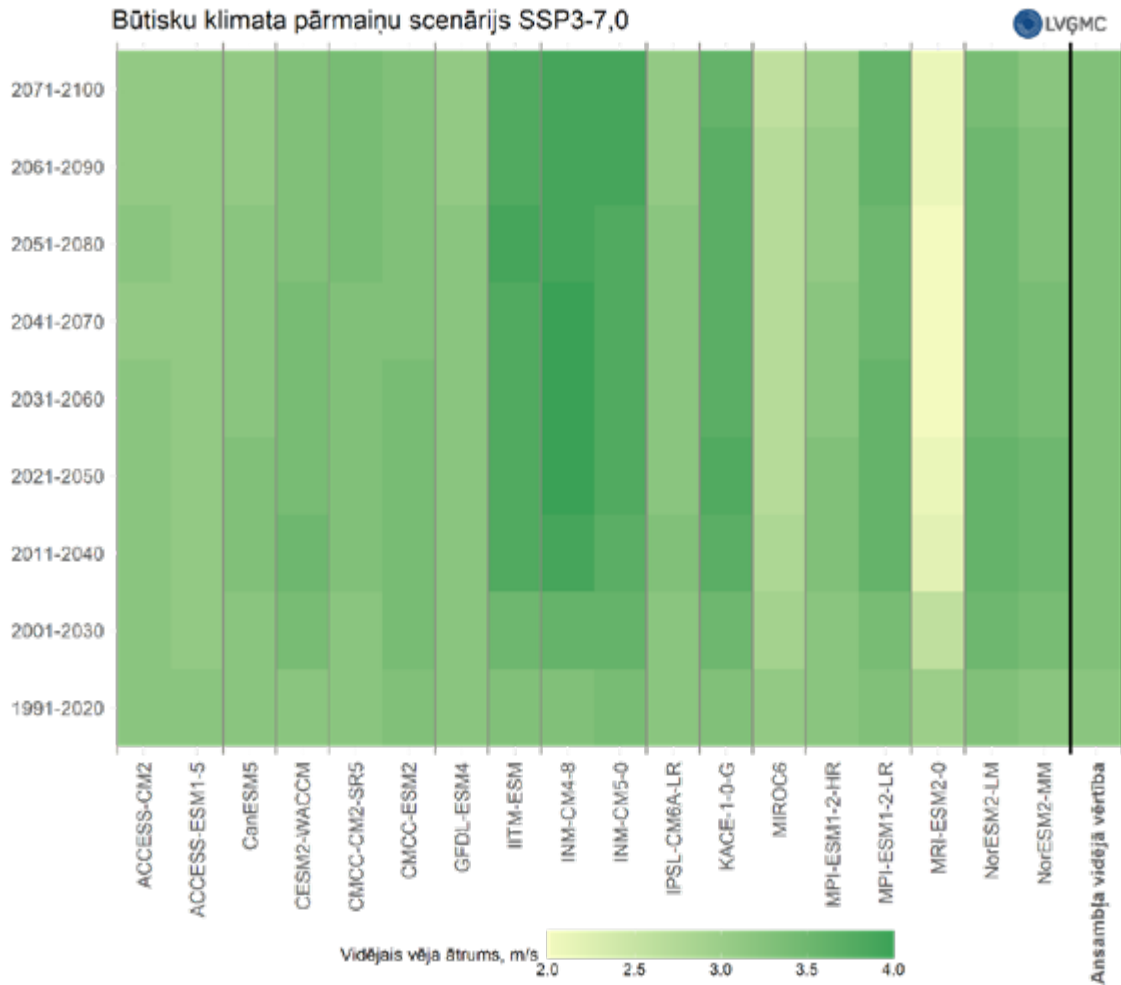
Vidējais vēja ātrums Latvijā



38. attēls Klimata pārmaiņu modeļu prognozētās Latvijas vidējās vēja ātruma 30 gadu slīdošās vidējās vērtības un to 90% ticamības intervāls līdz 21. gadsimta beigām

Atšķirības starp ansablī izmantotajiem modeļiem būtisku klimata pārmaiņu gadījumā (SSP3-7,0) katrā nākotnes trīsdesmit gadu periodā, kā arī ansambļa vidējo vērtību, kas izmantota rezultātu secinājumos, iespējams aplūkot 39. attēlā.

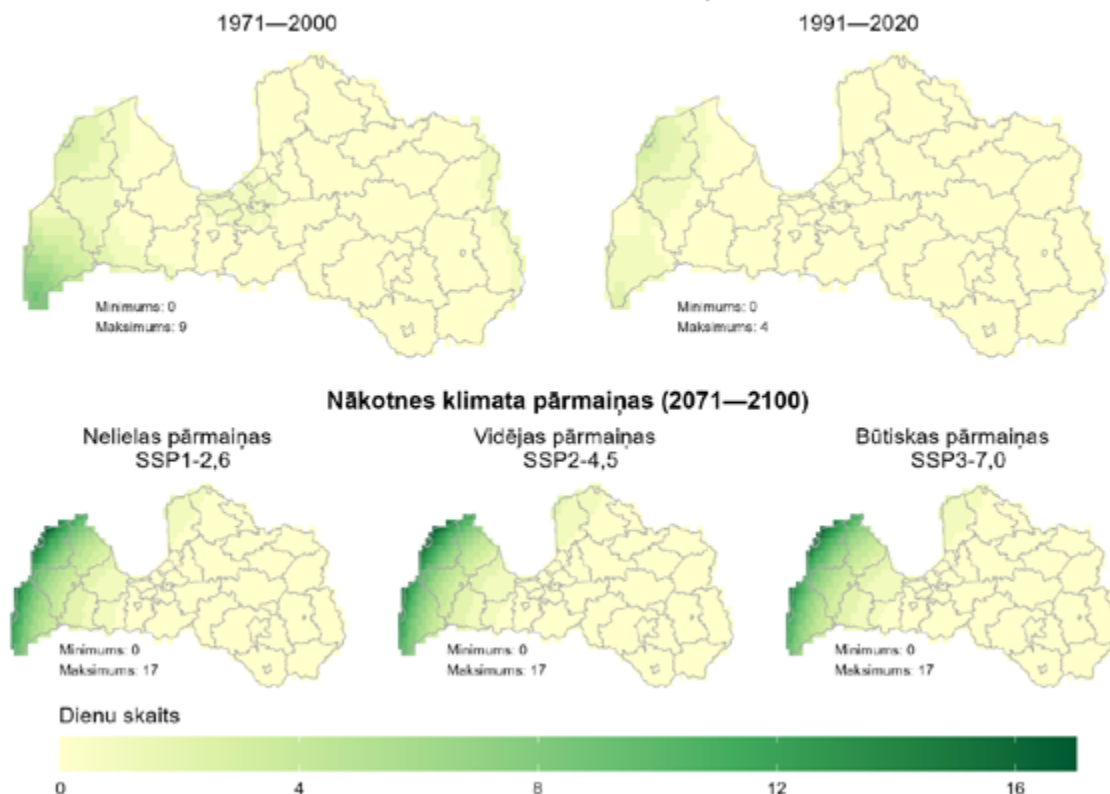
Latvijas 21. gadsimta vidējais vēja ātrums,
balstoties uz dažādu institūciju nākotnes klimata pārmaiņu modeļiem



39. attēls Dažādu institūciju aprēķināto klimata pārmaiņu modeļu slīdošās vidējās trīsdesmit gadu vidējā vēja ātruma un modeļu ansambļa vidējā vērtība būtisku klimata pārmaiņu gadījumā (SSP3-7,0)

Lai gan vidēji vējš 21. gadsimta laikā būtiski nemainīsies, gadsimta beigās (pret 1971.–2000. gada periodu) būs lielāks gan **bezvēja dienu skaits**, gan arī **vētrains dienu skaits** gadā. Bezvēju dienu skaits no 81 diennakts minētajā periodā un 100 diennaktīm klimatiskās normas periodā gadsimta beigās pieaugs līdz 101 [±26] diennaktij nelielu, 111 [±39] diennaktīm vidēju un 119 [±37] diennaktīm būtisku klimata pārmaiņu gadījumā, savukārt vētrains dienu skaits no 1 diennakts laika posmā no 1971. līdz 2000. gadam un nevienas diennakts klimatiskās normas periodā, gadsimta beigās pieaugs līdz 3 [±4] diennaktīm nelielu un 2 [±3] diennaktīm vidēju un būtisku klimata pārmaiņu gadījumā. Vētrains dienu skaita pieaugums gadsimta beigās tiek prognozēts Baltijas atklātās jūras piekrastē, kur, piemēram, Ventspilī tiek prognozētas vidēji 15 vētrains dienas gadā (40. attēls).

Vētrains dienu skaits Līdzšinējās klimata pārmaiņas



40. attēls Augšējā rindā: Vētrains dienu skaits Latvijā no 1971. līdz 2010. gadam un normas periodā (1991.–2020. gads), kas balstīts uz LVĢMC meteoroloģisko novērojumu staciju datiem.

Apakšējā rindā: Vētrains dienu skaits Latvijā, kas 21. gadsimta beigām (2071.–2100. gads) aprēķināts balstoties uz klimata pārmaiņu modeļu scenārijiem SSP1-2,6; SSP2-4,5 un SSP3-7,0

3.4.2. VIDĒJAIS VĒJA ĀTRUMS ZIEMĀ

Gan meteoroloģisko novērojumu datu rindās, gan arī nākotnes klimata pārmaiņu modeļu prognozēs kā vējainākais gadalaiks izceļas ziema. 1971. līdz 2000. gada periodā ziemā vidējais vēja ātrums bija 3,9 m/s, līdzšinējās klimatiskās normas periodā tā ātrums ir 3,5 m/s, savukārt gadsimta beigās tiek prognozēts, ka ziemā vidējais vēja ātrums būs 4,1 [$\pm 0,3$] m/s nelielu un 4,0 [$\pm 0,5$] m/s vidēju un būtisku klimata pārmaiņu gadījumā.

Tā kā ziema ir vējainākais gadalaiks, tieši šajā sezonā tiek prognozēts lielākais vētrains dienu skaits Kurzemes piekrastē (Ventspilī), tam gadsimta beigās neatkarīgi no klimata pārmaiņu modeļu scenārija esot 8 diennaktīm, bet vidēji valstī 2 [± 2] diennaktīm nelielu un 1 [± 1 un ± 2] diennaktij vidēju un būtisku klimata pārmaiņu gadījumā.

3.4.3. VIDĒJAIS VĒJA ĀTRUMS PAVASARĪ

Pavasaris līdz šim ir kļuvis par 0,4 m/s rāmāks, tas ir, 1971. līdz 2000. gadu periodā pavasarī vidējais vēja ātrums Latvijā bija 3,5 m/s, savukārt klimatiskās normas periodā – 3,1 m/s. **Laika posmā no 2071. līdz 2100. gadam pavasarī klimata pārmaiņu modeļi prognozē vidēji gandrīz tādu pašu vēja ātrumu kā**

1971.–2000. gadu periodā, tas ir, nelielu klimata pārmaiņu gadījumā Latvijā 21. gadsimta beigās vidējais vēja ātrums būs 3,6 [$\pm 0,4$] m/s, vidēju klimata pārmaiņu gadījumā – 3,5 [$\pm 0,5$] m/s, savukārt būtisku klimata pārmaiņu gadījumā – 3,3 [$\pm 0,4$] m/s.

3.4.4. VIDĒJAIS VĒJA ĀTRUMS VASARĀ

Vasaras Latvijā vienmēr bijušas ar viszemākajām vēja ātruma vērtībām, kopš 1971.–2000. gada (3,0 m/s) tām samazinoties par vidēji 0,4 m/s – klimatiskās normas perioda vidējais vēja ātrums vasarā Latvijā ir 2,6 m/s. Gadsimta beigās joprojām vasaras tiek prognozētas ar zemākajām vidējā vēja ātruma vērtībām, nelielu klimata pārmaiņu gadījumā vidējam vēja ātrumam laika posmā no 2071. līdz 2100. gadam esot 3,0 [$\pm 0,4$] m/s, vidēju klimata pārmaiņu gadījumā – 2,9 [$\pm 0,5$] m/s, bet būtisku klimata pārmaiņu gadījumā – 2,7 [$\pm 0,5$] m/s.

Tā kā vasara ir gadalaiks ar rāmāko vēja ātrumu, šajā sezonā gan līdz šim (1971.–2000. gadu periodā 28 diennaktis, klimatiskās normas periodā – 34 diennaktis, gan arī nākotnē (21. gadsimta beigās) tiek prognozēts **vislielākais bezvēja dienu skaits** (35 [± 9] diennaktis nelielās klimata pārmaiņās, 38 [± 10] diennaktis vidējās klimata pārmaiņās, 41 [± 9] diennakts būtiskās klimata pārmaiņas).

3.4.5. VIDĒJAIS VĒJA ĀTRUMS RUDENĪ

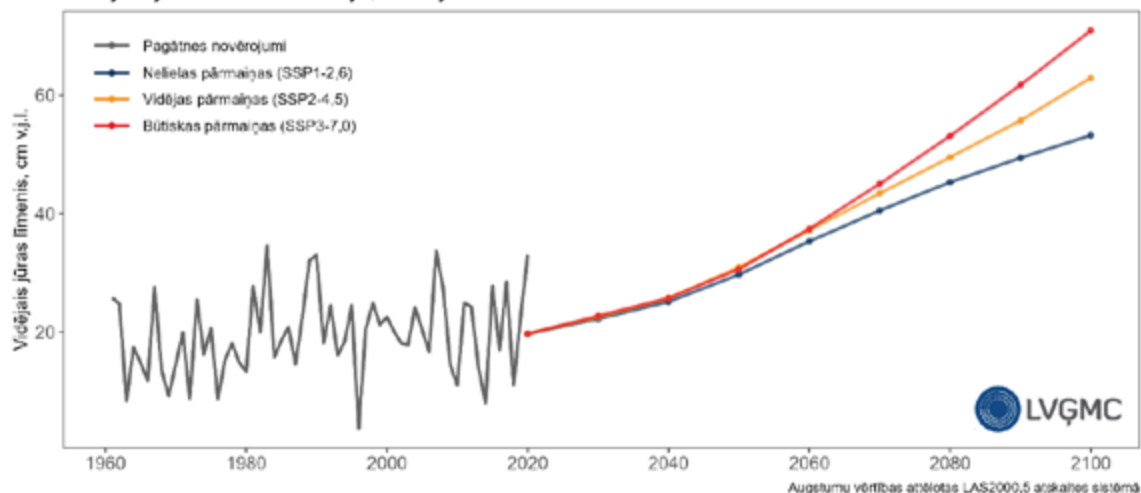
Līdz šim rudenī vidējais vēja ātrums no 1971.–2000. gadu perioda līdz klimatiskās normas periodam samazinājies par 0,7 m/s, klimatiskās normas periodā rudenī tam vidēji esot 3,1 m/s. Gadsimta beigās tiek prognozēts, ka rudenī, salīdzinot ar laika posmu no 1971. līdz 2000. gadam, vidējais vēja ātrums būs par 0,6 [$\pm 0,4$] m/s augstāks nelielu, 0,5 [$\pm 0,5$] m/s vidēju un 0,4 [$\pm 0,6$] m/s būtisku klimata pārmaiņu gadījumā.

3.5. Jūras līmenis

Līdzšinējais vidējais jūras līmenis Latvijā pieaudzis par 1,5 cm - no **19 cm klimatiskās references periodā līdz 20,5 cm klimatiskās normas periodā**. Sezonāli visaugstākais jūras līmenis vērojams ziemas mēnešos, kad klimatiskās normas periodā tas sasniedz 27,9 cm, savukārt viszemākais – vien 10,6 cm – pavasara mēnešos.

Klimata pārmaiņu modeļi nākotnē norāda uz ievērojamu pasaules ūdens līmeņa pieaugumu, ņemot vērā, ka pasaules okeāna ūdens temperatūras pasiltināšanās ietekmē notiks ūdens termālā izplešanās, okeānā nonāks ievērojams daudzums jauna ūdens no kūstošajiem ledājiem Zemes polārajos reģionos. Latvijas teritorijā ūdens līmeņa pieaugumu nelielā apjomā mazina glacioizostāzijas procesi – Zemes garozas pacelšanās, kompensējot pēdējā apledošanas radīto slodzi. Šī kompensācija būs neliela, apmēram 4-8 cm līdz 2100. gadam (Kopp et al., 2023). Tādējādi arī Latvijas teritorijā prognozēts ievērojams jūras līmeņa kāpums (41. attēls).
















Vidējais jūras līmenis Latvijā, cm v.j.l.

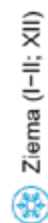


41. attēls Latvijas vidējā jūras līmeņa izmaiņas kopš 1961. gada (novērojumu dati) līdz 2100. gadam (klimata pārmaiņu modeļu scenāriju SSP1-2,6; SSP2-4,5 un SSP3-7,0 dati)

Līdz 2100. gadam jūras līmenis Latvijā pieaugs līdz 53,2 [$\pm 17,5$] cm nelielu, 62,9 [$\pm 18,0$] cm vidēju un 70,9 [$\pm 19,4$] cm būtisku klimata pārmaiņu gadījumā. Klimata pārmaiņu modeļi strauju ūdens līmeņa kāpumu prognozē pēc 2050. gada, tomēr, kā norāda pēdējie pētījumi, precīzi prognozēt, kad jūras līmeņa kāpums paātrināsies, ir sarežģīti, ņemot vērā plašo faktoru kopumu, kas to ietekmē. Neskatoties uz augsto nenoteiktību, **pilnīgi visi pētījumā izmantotie klimata pārmaiņu modeļi prognozē ievērojamu jūras līmeņa kāpumu**, atšķiroties tikai pieauguma apmēram.

Līdzšinējās un nākotnes klimatisko indeksu izmaiņas Latvijā

Klimatiskais parametrs	Periods	Reference; 1961–1990	Norma; 1991–2020	Norma pret referenci	Nākotne; 2071–2100 [zmodeļu standartnovirze]			Nākotne pret referenci		
					SSP1-2,6	SSP2-4,5	SSP3-7,0	SSP1-2,6	SSP2-4,5	SSP3-7,0
Maksimālā gada vidējā temperatūra	Gada maksimālā vērtība	 +6,5 °C	+7,6 °C	↑ +1,1 °C	+9,1 [±1,4] °C	+10,1 [±1,5] °C	+11,0 [±1,5] °C	↑ +2,6 °C	↑ +3,6 °C	↑ +4,5 °C
		 +25,2 °C	+25,8 °C	↑ +0,6 °C	+26,2 [±2,0] °C	+27,0 [±2,4] °C	+28,0 [±2,6] °C	↑ +1,0 °C	↑ +1,8 °C	↑ +2,8 °C
		 +29,2 °C	+30,6 °C	↑ +1,4 °C	+32,4 [±3,0] °C	+33,7 [±3,3] °C	+35,6 [±3,2] °C	↑ +3,2 °C	↑ +4,5 °C	↑ +6,4 °C
		 +23,2 °C	+23,4 °C	↑ +0,2 °C	+25,2 [±1,7] °C	+26,5 [±1,6] °C	+28,1 [±2,1] °C	↑ +2,0 °C	↑ +3,3 °C	↑ +4,9 °C
		 +29,2 °C	+30,6 °C	↑ +1,4 °C	+32,4 [±3,0] °C	+33,7 [±3,3] °C	+35,6 [±3,3] °C	↑ +3,2 °C	↑ +4,5 °C	↑ +6,4 °C
		 -1,7 °C	-0,1 °C	↑ +1,6 °C	+1,4 [±1,0] °C	+2,3 [±0,9] °C	+3,6 [±0,9] °C	↑ +3,1 °C	↑ +4,0 °C	↑ +5,3 °C
	Gada minimālā vērtība	 +9,2 °C	+10,5 °C	↑ +1,3 °C	+12,1 [±0,8] °C	+12,8 [±0,7] °C	+13,8 [±0,8] °C	↑ +2,9 °C	↑ +3,6 °C	↑ +4,6 °C
		 +20,5 °C	+21,6 °C	↑ +1,1 °C	+23,5 [±1,0] °C	+24,6 [±1,1] °C	+25,9 [±1,4] °C	↑ +3,0 °C	↑ +4,1 °C	↑ +5,4 °C
		 +9,8 °C	+10,4 °C	↑ +0,6 °C	+12,4 [±0,8] °C	+13,4 [±1,0] °C	+14,5 [±1,1] °C	↑ +2,6 °C	↑ +3,6 °C	↑ +4,7 °C
		 +9,5 °C	+10,6 °C	↑ +1,1 °C	+12,3 [±0,9] °C	+13,3 [±0,8] °C	+14,5 [±0,9] °C	↑ +2,8 °C	↑ +3,8 °C	↑ +5,0 °C
		 -14,2 °C	-12,9 °C	↑ +1,3 °C	-9,9 [±1,6] °C	-8,1 [±1,8] °C	-5,9 [±0,8] °C	↑ +4,3 °C	↑ +6,1 °C	↑ +8,3 °C
		 -4,3 °C	-2,5 °C	↑ +1,8 °C	-1,1 [±1,3] °C	+0,1 [±1,4] °C	+1,4 [±1,1] °C	↑ +3,2 °C	↑ +4,4 °C	↑ +5,7 °C
Gada minimālā vērtība	 +12,5 °C	+13,2 °C	↑ +0,7 °C	+15,2 [±1,6] °C	+16,2 [±1,8] °C	+16,9 [±1,8] °C	↑ +2,7 °C	↑ +3,7 °C	↑ +4,4 °C	
	 -3,3 °C	-3,0 °C	↑ +0,3 °C	-0,2 [±1,2] °C	+0,8 [±1,4] °C	+2,2 [±1,2] °C	↑ +3,1 °C	↑ +4,1 °C	↑ +5,5 °C	
	 -14,5 °C	-13,0 °C	↑ +1,5 °C	-10,0 [±1,6] °C	-8,4 [±1,7] °C	-6,1 [±0,9] °C	↑ +4,5 °C	↑ +6,1 °C	↑ +8,4 °C	



Ziema (I-II; XII)



Pavasaris (III-V)













Vasarā (VI-VIII)



Rudens (IX-XI)



Gads (I-XII)

Klimatiskais parametrs	Periods	Reference; 1961–1990	Norma; 1991–2020	Norma pret referenci	Nākotne; 2071–2100 [zmodeļu standartnovirze]			Nākotne pret referenci		
					SSP1-2,6	SSP2-4,5	SSP3-7,0	SSP1-2,6	SSP2-4,5	SSP3-7,0
Gada maksimālā vērtība		+4,6 °C	+5,4 °C	↑ +0,8 °C	+6,6 [±1,2] °C	+7,4 [±1,4] °C	+8,5 [±1,3] °C	↑ +2,0 °C	↑ +2,8 °C	↑ +3,9 °C
		+18,2 °C	+18,9 °C	↑ +0,7 °C	+19,3 [±1,6] °C	+20,0 [±1,7] °C	+20,9 [±1,6] °C	↑ +1,1 °C	↑ +1,8 °C	↑ +2,7 °C
		+22,5 °C	+23,8 °C	↑ +1,3 °C	+25,5 [±2,5] °C	+26,6 [±2,7] °C	+28,1 [±2,8] °C	↑ +3,0 °C	↑ +4,1 °C	↑ +5,6 °C
		+17,2 °C	+17,5 °C	↑ +0,3 °C	+19,5 [±1,3] °C	+20,7 [±1,5] °C	+21,8 [±1,7] °C	↑ +2,3 °C	↑ +3,5 °C	↑ +4,6 °C
		+22,6 °C	+23,8 °C	↑ +1,2 °C	+25,5 [±2,5] °C	+26,7 [±2,7] °C	+28,1 [±2,8] °C	↑ +2,9 °C	↑ +4,1 °C	↑ +5,5 °C
		-4,4 °C	-2,4 °C	↑ +2,0 °C	-1,2 [±1,0] °C	-0,1 [±0,9] °C	+1,2 [±1,0] °C	↑ +3,2 °C	↑ +4,3 °C	↑ +5,6 °C
		+4,8 °C	+5,9 °C	↑ +1,1 °C	+7,2 [±0,7] °C	+8,0 [±0,9] °C	+9,0 [±0,8] °C	↑ +2,4 °C	↑ +3,2 °C	↑ +4,2 °C
		+15,6 °C	+16,7 °C	↑ +1,1 °C	+18,5 [±1,0] °C	+19,4 [±1,2] °C	+20,7 [±1,4] °C	↑ +2,9 °C	↑ +3,8 °C	↑ +5,1 °C
		+6,5 °C	+7,1 °C	↑ +0,6 °C	+9,0 [±0,8] °C	+10,0 [±1,1] °C	+11,0 [±1,1] °C	↑ +2,5 °C	↑ +3,5 °C	↑ +4,5 °C
		+5,6 °C	+6,8 °C	↑ +1,2 °C	+8,4 [±0,8] °C	+9,3 [±1,0] °C	+10,5 [±1,0] °C	↑ +2,8 °C	↑ +3,7 °C	↑ +4,9 °C
		-18,4 °C	-16,9 °C	↑ +1,5 °C	-12,6 [±1,6] °C	-10,7 [±1,8] °C	-8,4 [±1,4] °C	↑ +5,8 °C	↑ +7,7 °C	↑ +10,0 °C
		-8,7 °C	-6,0 °C	↑ +2,7 °C	-4,7 [±1,5] °C	-3,2 [±1,4] °C	-1,8 [±1,4] °C	↑ +4,0 °C	↑ +5,5 °C	↑ +6,9 °C
Gada minimālā vērtība		+9,3 °C	+10,0 °C	↑ +0,7 °C	+12,0 [±0,9] °C	+12,8 [±1,0] °C	+13,8 [±1,1] °C	↑ +2,7 °C	↑ +3,5 °C	↑ +4,5 °C
		-6,1 °C	-5,2 °C	↑ +0,9 °C	-2,1 [±1,1] °C	-1,0 [±1,4] °C	+0,3 [±1,4] °C	↑ +4,0 °C	↑ +5,1 °C	↑ +6,4 °C
		-18,7 °C	-16,9 °C	↑ +1,8 °C	-13,0 [±1,6] °C	-11,1 [±1,7] °C	-8,8 [±1,5] °C	↑ +5,7 °C	↑ +7,6 °C	↑ +9,9 °C

 Ziemā (I–II; XII)

 Pavasaris (III–V)

 Vasara (VI–VIII)

 Rudens (IX–XI)

 Gads (I–XII)



Klimatiskais parametrs	Periods	Reference; 1961–1990	Norma; 1991–2020	Norma pret referenci	Nākotne; 2071–2100 [zmodeļu standartnovirze]			Nākotne pret referenci		
					SSP1-2,6	SSP2-4,5	SSP3-7,0	SSP1-2,6	SSP2-4,5	SSP3-7,0
Gada maksimālā vērtība		+3,1 °C	+3,9 °C	↑ +0,8 °C	+5,5 [±1,5] °C	+6,5 [±1,6] °C	+7,4 [±1,9] °C	↑ +2,4 °C	↑ +3,4 °C	↑ +4,3 °C
		+12,7 °C	+12,8 °C	↑ +0,1 °C	+14,1 [±0,8] °C	+14,8 [±1,1] °C	+15,6 [±1,2] °C	↑ +1,4 °C	↑ +2,1 °C	↑ +2,9 °C
		+17,5 °C	+18,3 °C	↑ +0,8 °C	+20,1 [±1,7] °C	+21,3 [±1,7] °C	+22,7 [±2,1] °C	↑ +2,6 °C	↑ +3,8 °C	↑ +5,2 °C
		+13,7 °C	+13,9 °C	↑ +0,2 °C	+15,2 [±1,0] °C	+16,3 [±1,1] °C	+17,2 [±1,2] °C	↑ +1,5 °C	↑ +2,6 °C	↑ +3,5 °C
		+17,5 °C	+18,3 °C	↑ +0,8 °C	+20,1 [±1,7] °C	+21,3 [±1,7] °C	+22,7 [±2,1] °C	↑ +2,6 °C	↑ +3,8 °C	↑ +5,2 °C
		-7,3 °C	-5,1 °C	↑ +2,2 °C	-3,2 [±1,3] °C	-2,1 [±1,1] °C	-0,5 [±1,5] °C	↑ +4,1 °C	↑ +5,2 °C	↑ +6,8 °C
		+0,6 °C	+1,2 °C	↑ +0,6 °C	+3,2 [±0,8] °C	+4,0 [±0,8] °C	+5,0 [±0,9] °C	↑ +2,6 °C	↑ +3,4 °C	↑ +4,4 °C
		+11,0 °C	+11,5 °C	↑ +0,5 °C	+13,6 [±1,0] °C	+14,6 [±1,0] °C	+15,8 [±1,3] °C	↑ +2,6 °C	↑ +3,6 °C	↑ +4,8 °C
		+3,6 °C	+3,8 °C	↑ +0,2 °C	+6,0 [±0,9] °C	+7,0 [±1,1] °C	+8,1 [±1,2] °C	↑ +2,4 °C	↑ +3,4 °C	↑ +4,5 °C
		+2,0 °C	+2,9 °C	↑ +0,9 °C	+4,9 [±0,9] °C	+5,9 [±0,9] °C	+7,1 [±1,1] °C	↑ +2,9 °C	↑ +3,9 °C	↑ +5,1 °C
Minimālā gaisa temperatūra		-23,7 °C	-21,8 °C	↑ +1,9 °C	-15,9 [±2,1] °C	-13,9 [±1,9] °C	-11,3 [±1,1] °C	↑ +7,8 °C	↑ +9,8 °C	↑ +12,4 °C
		-15,1 °C	-12,0 °C	↑ +3,1 °C	-8,8 [±1,7] °C	-7,2 [±1,8] °C	-5,2 [±1,2] °C	↑ +6,3 °C	↑ +7,9 °C	↑ +9,9 °C
		+3,0 °C	+3,5 °C	↑ +0,5 °C	+7,0 [±1,2] °C	+7,9 [±1,1] °C	+9,0 [±1,3] °C	↑ +4,0 °C	↑ +4,9 °C	↑ +6,0 °C
		-9,6 °C	-8,4 °C	↑ +1,2 °C	-4,9 [±1,4] °C	-3,7 [±1,5] °C	-2,1 [±1,5] °C	↑ +4,7 °C	↑ +5,9 °C	↑ +7,5 °C
		-24,1 °C	-22,0 °C	↑ +2,1 °C	-16,1 [±2,3] °C	-14,2 [±2,0] °C	-11,6 [±1,2] °C	↑ +8,0 °C	↑ +9,9 °C	↑ +12,5 °C
		+3,1 °C	+3,9 °C	↑ +0,8 °C	+5,5 [±1,5] °C	+6,5 [±1,6] °C	+7,4 [±1,9] °C	↑ +2,4 °C	↑ +3,4 °C	↑ +4,3 °C
		+12,7 °C	+12,8 °C	↑ +0,1 °C	+14,1 [±0,8] °C	+14,8 [±1,1] °C	+15,6 [±1,2] °C	↑ +1,4 °C	↑ +2,1 °C	↑ +2,9 °C
		+17,5 °C	+18,3 °C	↑ +0,8 °C	+20,1 [±1,7] °C	+21,3 [±1,7] °C	+22,7 [±2,1] °C	↑ +2,6 °C	↑ +3,8 °C	↑ +5,2 °C
		+13,7 °C	+13,9 °C	↑ +0,2 °C	+15,2 [±1,0] °C	+16,3 [±1,1] °C	+17,2 [±1,2] °C	↑ +1,5 °C	↑ +2,6 °C	↑ +3,5 °C
		+17,5 °C	+18,3 °C	↑ +0,8 °C	+20,1 [±1,7] °C	+21,3 [±1,7] °C	+22,7 [±2,1] °C	↑ +2,6 °C	↑ +3,8 °C	↑ +5,2 °C
Gada minimālā vērtība		-7,3 °C	-5,1 °C	↑ +2,2 °C	-3,2 [±1,3] °C	-2,1 [±1,1] °C	-0,5 [±1,5] °C	↑ +4,1 °C	↑ +5,2 °C	↑ +6,8 °C
		+0,6 °C	+1,2 °C	↑ +0,6 °C	+3,2 [±0,8] °C	+4,0 [±0,8] °C	+5,0 [±0,9] °C	↑ +2,6 °C	↑ +3,4 °C	↑ +4,4 °C
		+11,0 °C	+11,5 °C	↑ +0,5 °C	+13,6 [±1,0] °C	+14,6 [±1,0] °C	+15,8 [±1,3] °C	↑ +2,6 °C	↑ +3,6 °C	↑ +4,8 °C
		+3,6 °C	+3,8 °C	↑ +0,2 °C	+6,0 [±0,9] °C	+7,0 [±1,1] °C	+8,1 [±1,2] °C	↑ +2,4 °C	↑ +3,4 °C	↑ +4,5 °C
		+2,0 °C	+2,9 °C	↑ +0,9 °C	+4,9 [±0,9] °C	+5,9 [±0,9] °C	+7,1 [±1,1] °C	↑ +2,9 °C	↑ +3,9 °C	↑ +5,1 °C
		-23,7 °C	-21,8 °C	↑ +1,9 °C	-15,9 [±2,1] °C	-13,9 [±1,9] °C	-11,3 [±1,1] °C	↑ +7,8 °C	↑ +9,8 °C	↑ +12,4 °C
		-15,1 °C	-12,0 °C	↑ +3,1 °C	-8,8 [±1,7] °C	-7,2 [±1,8] °C	-5,2 [±1,2] °C	↑ +6,3 °C	↑ +7,9 °C	↑ +9,9 °C
		+3,0 °C	+3,5 °C	↑ +0,5 °C	+7,0 [±1,2] °C	+7,9 [±1,1] °C	+9,0 [±1,3] °C	↑ +4,0 °C	↑ +4,9 °C	↑ +6,0 °C
		-9,6 °C	-8,4 °C	↑ +1,2 °C	-4,9 [±1,4] °C	-3,7 [±1,5] °C	-2,1 [±1,5] °C	↑ +4,7 °C	↑ +5,9 °C	↑ +7,5 °C
		-24,1 °C	-22,0 °C	↑ +2,1 °C	-16,1 [±2,3] °C	-14,2 [±2,0] °C	-11,6 [±1,2] °C	↑ +8,0 °C	↑ +9,9 °C	↑ +12,5 °C



Ziema (I–II; XII)



Pavasaris (III–V)



Vasarā (VI–VIII)



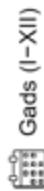
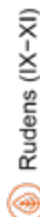
Rudens (IX–XI)



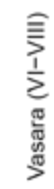
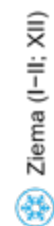
Gads (I–XII)



Klimatiskais parametrs	Periods	Reference: 1961–1990	Norma: 1991–2020	Norma pret referenci	Nākotne: 2071–2100 [±modeļu standartnovirze]			Nākotne pret referenci		
					SSP1-2,6	SSP2-4,5	SSP3-7,0	SSP1-2,6	SSP2-4,5	SSP3-7,0
Vasaras dienu skaits		2 dienas	2 dienas	↕ 0 dienas	3 [±2] dienas	4 [±2] dienas	5 [±3] dienas	↑ +1 diena	↑ +2 dienas	↑ +3 dienas
		13 dienas	19 dienas	↑ +6 dienas	30 [±9] dienas	39 [±10] dienas	50 [±12] dienas	↑ +17 dienas	↑ +26 dienas	↑ +37 dienas
		1 diena	0 dienas	↓ -1 diena	2 [±1] dienas	3 [±2] dienas	5 [±2] dienas	↑ +1 diena	↑ +2 dienas	↑ +4 dienas
Tropisko nakšu skaits		16 dienas	21 diena	↑ +5 dienas	35 [±11] dienas	46 [±12] dienas	60 [±15] dienas	↑ +19 dienas	↑ +30 dienas	↑ +44 dienas
		0 dienas	0 dienas	↕ 0 dienas	2 [±3] dienas	4 [±4] dienas	10 [±8] dienas	↑ +2 dienas	↑ +4 dienas	↑ +10 dienas
		0 dienas	0 dienas	↕ 0 dienas	2 [±3] dienas	4 [±4] dienas	10 [±8] dienas	↑ +2 dienas	↑ +4 dienas	↑ +10 dienas
Karstuma viļņu ilgums		0 dienas	1 diena	↑ +1 diena	1 [±1] diena	2 [±2] dienas	3 [±2] dienas	↑ +1 diena	↑ +2 dienas	↑ +3 dienas
		4 dienas	8 dienas	↑ +4 dienas	16 [±8] dienas	22 [±9] dienas	33 [±12] dienas	↑ +12 dienas	↑ +18 dienas	↑ +29 dienas
		0 dienas	0 dienas	↕ 0 dienas	1 [±1] diena	1 [±1] diena	2 [±1] dienas	↑ +1 diena	↑ +1 diena	↑ +2 dienas
Veģetācijas perioda ilgums		4 dienas	9 dienas	↑ +5 dienas	18 [±9] dienas	25 [±10] dienas	38 [±15] dienas	↑ +14 dienas	↑ +21 diena	↑ +34 dienas
		196 dienas	199 dienas	↑ +3 dienas	226 [±14] dienas	241 [±18] diena	262 [±18] dienas	↑ +30 dienas	↑ +45 dienas	↑ +66 dienas
		76 dienas	67 dienas	↓ -9 dienas	60 [±12] dienas	54 [±11] dienas	44 [±14] dienas	↓ -16 dienas	↓ -22 dienas	↓ -32 dienas
Sala dienu skaits		38 dienas	35 dienas	↓ -3 dienas	25 [±6] dienas	20 [±6] dienas	15 [±6] dienas	↓ -13 dienas	↓ -18 dienas	↓ -23 dienas
		21 diena	21 diena	↕ 0 dienas	12 [±4] dienas	9 [±3] dienas	6 [±3] dienas	↓ -9 dienas	↓ -12 dienas	↓ -15 dienas
		135 dienas	123 dienas	↓ -12 dienas	97 [±19] dienas	83 [±18] dienas	65 [±21] dienas	↓ -38 dienas	↓ -52 dienas	↓ -70 dienas



Klimatiskais parametrs	Periods	Reference; 1961–1990	Norma; 1991–2020	Norma pret referenci	Nākotne; 2071–2100 [±modeļu standartnovirze]			Nākotne pret referenci		
					SSP1-2,6	SSP2-4,5	SSP3-7,0	SSP1-2,6	SSP2-4,5	SSP3-7,0
Dienu skaits bez atkušņa		49 dienas	38 dienas	↓ -11 diena	29 [±7] dienas	24 [±5] dienas	17 [±5] dienas	↓ -20 dienas	↓ -25 dienas	↓ -32 dienas
		8 dienas	5 dienas	↓ -3 dienas	3 [±2] dienas	2 [±1] dienas	1 [±1] diena	↓ -5 dienas	↓ -6 dienas	↓ -7 dienas
		5 dienas	5 dienas	↔ 0 dienas	2 [±1] dienas	2 [±1] dienas	1 [±1] diena	↓ -3 dienas	↓ -3 dienas	↓ -4 dienas
		62 dienas	48 dienas	↓ -14 dienas	34 [±8] dienas	28 [±6] dienas	19 [±6] dienas	↓ -28 dienas	↓ -34 dienas	↓ -43 dienas
Aukstuma vilņu ilgums		5 dienas	2 dienas	↓ -3 dienas	1 [±1] diena	0 [±1] dienas	0 [±0] dienas	↓ -4 dienas	↓ -5 dienas	↓ -5 dienas
		1 diena	0 dienas	↓ -1 diena	0 [±0] dienas	0 [±0] dienas	0 [±0] dienas	↓ -1 diena	↓ -1 diena	↓ -1 diena
		6 dienas	2 dienas	↓ -4 dienas	1 [±1] diena	0 [±1] dienas	0 [±0] dienas	↓ -5 dienas	↓ -6 dienas	↓ -6 dienas
		+5,6 °C	+4,9 °C	↓ -0,7 °C	+4,5 [±0,5] °C	+4,3 [±0,6] °C	+4,0 [±0,7] °C	↓ -1,1 °C	↓ -1,3 °C	↓ -1,6 °C
Diennakts gaisa temperatūras amplitūda		+8,6 °C	+9,3 °C	↑ +0,7 °C	+8,8 [±0,4] °C	+8,7 [±0,5] °C	+8,8 [±0,7] °C	↑ +0,2 °C	↑ +0,1 °C	↑ +0,2 °C
		+9,5 °C	+10,2 °C	↑ +0,7 °C	+9,9 [±0,4] °C	+10,0 [±0,4] °C	+10,1 [±0,5] °C	↑ +0,4 °C	↑ +0,5 °C	↑ +0,6 °C
		+6,2 °C	+6,5 °C	↑ +0,3 °C	+6,3 [±0,3] °C	+6,3 [±0,3] °C	+6,4 [±0,4] °C	↑ +0,1 °C	↑ +0,1 °C	↑ +0,2 °C
		+7,5 °C	+7,7 °C	↑ +0,2 °C	+7,4 [±0,3] °C	+7,3 [±0,3] °C	+7,3 [±0,4] °C	↓ -0,1 °C	↓ -0,2 °C	↓ -0,2 °C
Nokrišņu summa		121,8 mm	144,2 mm	↑ +18,4%	171,7 [±21,6] mm	166,8 [±23,9] mm	197,7 [±29,7] mm	↑ +41,0%	↑ +53,4%	↑ +62,3%
		118,5 mm	123,4 mm	↑ +4,1%	165,3 [±17,1] mm	174,1 [±17,4] mm	178,4 [±13,6] mm	↑ +39,5%	↑ +46,9%	↑ +50,5%
		215,1 mm	222,3 mm	↑ +3,3%	219,5 [±36,6] mm	214,6 [±44,3] mm	206,5 [±49,0] mm	↑ +2,0%	↓ -0,2%	↓ -4,0%
		200,6 mm	194,6 mm	↓ -3,0%	219,1 [±23,7] mm	230,9 [±21,6] mm	231,2 [±27,7] mm	↑ +9,2%	↑ +15,1%	↑ +15,3%
		656,0 mm	684,6 mm	↑ +4,4%	775,7 [±60,0] mm	806,5 [±72,8] mm	814,2 [±79,7] mm	↑ +18,2%	↑ +22,9%	↑ +24,1%



Klimatiskais parametrs	Periods	Reference: 1961–1990	Norma: 1991–2020	Norma pret referenci	Nākotne: 2071–2100 [±modeļu standartnovirze]			Nākotne pret referenci		
					SSP1-2,6	SSP2-4,5	SSP3-7,0	SSP1-2,6	SSP2-4,5	SSP3-7,0
Dienu skaits ar stipriem nokrišņiem		1 diena	2 dienas	↑ +1 diena	2 [±1] dienas	3 [±1] dienas	4 [±1] dienas	↑ +1 diena	↑ +2 dienas	↑ +3 dienas
		2 dienas	3 dienas	↑ +1 diena	3 [±1] dienas	4 [±1] dienas	4 [±1] dienas	↑ +1 diena	↑ +2 dienas	↑ +2 dienas
		6 dienas	7 dienas	↑ +1 diena	7 [±1] dienas	7 [±1] dienas	7 [±1] dienas	↑ +1 diena	↑ +1 diena	↑ +1 diena
		5 dienas	5 dienas	↔ 0 dienas	6 [±1] dienas	6 [±1] dienas	7 [±1] dienas	↑ +1 diena	↑ +1 diena	↑ +2 dienas
		14 dienas	17 dienas	↑ +3 dienas	18 [±1] dienas	20 [±2] dienas	22 [±2] dienas	↑ +4 dienas	↑ +6 dienas	↑ +8 dienas
		3,5	3,9	↑ +0,4	3,9 [±0,1]	4,1 [±0,2]	4,2 [±0,2]	↑ +0,4	↑ +0,6	↑ +0,7
		4,5	4,6	↑ +0,1	4,9 [±0,2]	5,1 [±0,2]	5,1 [±0,2]	↑ +0,4	↑ +0,6	↑ +0,6
		6,9	7,0	↑ +0,1	7,3 [±0,3]	7,3 [±0,3]	7,3 [±0,4]	↑ +0,4	↑ +0,4	↑ +0,4
		5,3	5,6	↑ +0,3	5,6 [±0,1]	5,9 [±0,1]	6,1 [±0,1]	↑ +0,3	↑ +0,6	↑ +0,8
		5,0	5,3	↑ +0,3	5,4 [±0,1]	5,6 [±0,1]	5,7 [±0,2]	↑ +0,4	↑ +0,6	↑ +0,7
Vidējais sniega segas biežums		11 cm	7 cm	↓ -4 cm	5 [±2] cm	3 [±2] cm	3 [±2] cm	↓ -6 cm	↓ -8 cm	↓ -8 cm
		6 cm	4 cm	↓ -2 cm	3 [±1] cm	2 [±1] cm	1 [±1] cm	↓ -3 cm	↓ -4 cm	↓ -5 cm
		0 cm	0 cm	↔ 0 cm	0 [±0] cm	0 [±0] cm	0 [±0] cm	↔ 0 cm	↔ 0 cm	↔ 0 cm
		7 cm	4 cm	↓ -3 cm	3 [±1] cm	2 [±1] cm	1 [±1] cm	↓ -4 cm	↓ -5 cm	↓ -6 cm



Ziema (I–II; XII)



Pavasaris (III–V)



Vasarā (VI–VIII)



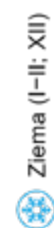
Rudens (IX–XI)



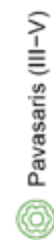
Gads (I–XII)



Klimatiskais parametrs	Periods	Reference: 1961–1990	Norma: 1991–2020	Norma pret referenci	Nākotne: 2071–2100 [±modeļu standartnovirze]		Nākotne pret referenci			
					SSP1-2,6	SSP2-4,5	SSP3-7,0	SSP1-2,6	SSP2-4,5	SSP3-7,0
Vidējais vēja ātrums		3,9 m/s	3,5 m/s	↓ -0,4 m/s	4,1 [±0,3] m/s	4,0 [±0,5] m/s	4,0 [±0,5] m/s	↑ +0,2 m/s	↑ +0,1 m/s	↑ +0,1 m/s
		3,5 m/s	3,1 m/s	↓ -0,4 m/s	3,6 [±0,4] m/s	3,5 [±0,5] m/s	3,3 [±0,4] m/s	↑ +0,1 m/s	↑ +0,0 m/s	↓ -0,2 m/s
		3,0 m/s	2,6 m/s	↓ -0,4 m/s	3,0 [±0,4] m/s	2,9 [±0,5] m/s	2,7 [±0,5] m/s	↑ +0,0 m/s	↓ -0,1 m/s	↓ -0,3 m/s
		3,8 m/s	3,1 m/s	↓ -0,7 m/s	3,7 [±0,4] m/s	3,6 [±0,5] m/s	3,5 [±0,6] m/s	↓ -0,1 m/s	↓ -0,2 m/s	↓ -0,3 m/s
		3,5 m/s	3,0 m/s	↓ -0,5 m/s	3,6 [±0,3] m/s	3,5 [±0,5] m/s	3,4 [±0,5] m/s	↑ +0,1 m/s	↑ +0,0 m/s	↓ -0,1 m/s
Bezvēja dienu skaits		17 dienas	18 dienas	↑ +1 diena	18 [±7] dienas	20 [±11] dienas	21 [±11] diena	↑ +1 diena	↑ +3 dienas	↑ +4 dienas
		19 dienas	23 dienas	↑ +4 dienas	25 [±7] dienas	28 [±10] dienas	30 [±10] dienas	↑ +6 dienas	↑ +9 dienas	↑ +11 diena
		28 dienas	34 dienas	↑ +6 dienas	35 [±9] dienas	38 [±10] dienas	41 [±9] diena	↑ +7 dienas	↑ +10 dienas	↑ +13 dienas
		17 dienas	25 dienas	↑ +8 dienas	23 [±6] dienas	25 [±10] dienas	27 [±9] dienas	↑ +6 dienas	↑ +8 dienas	↑ +10 dienas
		81 diena	100 dienas	↑ +19 dienas	101 [±26] diena	111 [±39] diena	119 [±37] dienas	↑ +20 dienas	↑ +30 dienas	↑ +38 dienas
Vētrāno dienu skaits		0 dienas	0 dienas	↔ 0 dienas	2 [±2] dienas	1 [±1] diena	1 [±2] diena	↑ +2 dienas	↑ +1 diena	↑ +1 diena
		0 dienas	0 dienas	↔ 0 dienas	0 [±1] dienas	0 [±1] dienas	0 [±1] dienas	↔ 0 dienas	↔ 0 dienas	↔ 0 dienas
		1 diena	0 dienas	↓ -1 diena	1 [±1] diena	1 [±1] diena	1 [±1] diena	↔ 0 dienas	↔ 0 dienas	↔ 0 dienas
Vidējais jūras līmenis		1 diena	0 dienas	↓ -1 diena	3 [±4] dienas	2 [±3] dienas	2 [±3] dienas	↑ +2 dienas	↑ +1 diena	↑ +1 diena
		19,0 cm	20,5 cm	↑ +1,5 cm	53,2 [±17,5] cm	62,9 [±18,0] cm	70,9 [±19,4] cm	↑ +34,2 cm	↑ +43,9 cm	↑ +51,9 cm



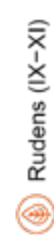
Ziema (I–II; XII)



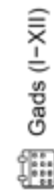
Pavasaris (III–V)



Vasarā (VI–VIII)



Rudens (IX–XI)



Gads (I–XII)



SECINĀJUMI

IPCC 6. ziņojumā tiek izklāstīts, ka laika posmā no 2011. līdz 2020. gadam pasaules vidējā gaisa temperatūra ir par 1,1 °C augstāka nekā tā bija laika posmā no 1850. līdz 1900. gadam, kuru dēvējam par pirmsindustriālo periodu. Tiek minēts, ka kopš 1970. gada zemes virsmas temperatūra pieaugusi straujāk nekā jebkurā citā 50 gadu periodā pēdējo vismaz 2000 gadu laikā (IPCC, 2023), kā arī aplūkotas citas klimatu raksturojošo parametru mainības. Pēdējo gadu laikā arvien vairāk nostiprinās pārliecība, ka cilvēku darbības ietekmē novērotas izmaiņas ekstremālos laika apstākļos, piemēram, karstuma viļņos, intensīvos nokrišņos, sausuma periodos, tropiskajos ciklonos (IPCC, 2023).

Pārmaiņas klimatu raksturojošos indeksos līdz šim tiek novērotas arī Latvijā, gaisa temperatūrai līdzšinējās klimatiskās normas periodā (1991.–2020. gads) esot par 1,2 °C augstākai nekā klimatiskajā references periodā (1961.–1990. gads). Balstoties uz klimata pārmaiņu modeļu rezultātiem, tiek prognozēts, ka 21. gadsimta laikā gaisa temperatūra Latvijā turpinās pieaugt, gadsimta beigās tai pret klimatiskās references periodu esot par 2,8 °C augstākai nelielu (+8,4 [±0,81] °C), 3,7 °C vidēju (+9,3 [±0,97] °C) un 4,9 °C būtisku (+10,5 [±1,02] °C) klimata pārmaiņu gadījumā (7. attēls).

Līdzšinējo klimata pārmaiņu izpausmes Latvijas teritorijā ir iezīmējušas kopējā atmosfēras nokrišņu daudzuma palielināšanos, un šāda tendence tiek prognozēta arī līdz 2100. gadam. Vienīgā sezona, kurā tiek prognozēts nokrišņu daudzuma samazinājums (būtisku klimata pārmaiņu scenārijā par 4% pret klimatiskās references periodu) vai mazs pieaugums (mērenu un nelielu klimata pārmaiņu gadījumā), ir līdz šim mitrākais gadalaiks – vasara. Savukārt lielākais nokrišņu daudzuma pieaugums tiek prognozēts ziemā, kad pret klimatiskās references periodu būtisku klimata pārmaiņu gadījumā nokrišņu daudzums pieaugs pat par 62% (28. attēls).

Pieaugot vidējai gaisa temperatūrai un mainoties nokrišņu daudzumam, izmaiņas novērotas arī sniega segas biezumā, kurš klimatiskās references periodā bija 7 cm, kas ir par 3 cm vairāk nekā līdzšinējās klimatiskās normas periodā. Sniega segas samazināšanās tendence tiek prognozēta arī nākotnē, gadsimta beigās sniegam vidēji Latvijā esot vien 3 [±1] cm nelielu, 2 [±1] cm vidēju un 1 [±1] cm būtisku klimata pārmaiņu gadījumā (34. attēls).

Pēdējās desmitgadēs vidējais vēja ātrums Latvijā ir samazinājies, savukārt nākotnes klimata pārmaiņu modeļu aprēķinu rezultātos prognozēts, ka 21. gadsimta beigās vidējais vēja ātrums Latvijā būs līdzīgs tam, kāds tas novērots laika posmā no 1971.–2000. gadam (3,5 m/s). Teritoriāli vērojams, ka atšķirības starp piekrastes (īpaši Baltijas atklātās jūras piekrasti) un iekšzemes reģioniem šī gadsimta laikā kļūs arvien lielākas, Liepājā gadsimta beigās gada vidējam vējam sasniedzot pat 4,6 m/s, bet vētrainu dienu skaitam Ventspilī gadā esot 15 diennaktīm (40. attēls).

Līdz šim Latvijā novērots 1,5 cm jūras līmeņa pieaugums (no 19,0 cm klimatiskās references periodā līdz 20,5 cm klimatiskās normas periodā), kas ir salīdzinoši nelielas izmaiņas, ņemot vērā klimata pārmaiņu modeļu prognozes nākotnei.

Līdz 2100. gadam jūras līmenis Latvijā pieaugs līdz 53,2 [$\pm 17,5$] cm nelielu, 62,9 [$\pm 18,0$] cm vidēju un 70,9 [$\pm 19,4$] cm būtisku klimata pārmaiņu gadījumā.

Ņemot vērā pētījumā aplūkoto klimatisko indeksu vērtību līdzšinējo un klimata pārmaiņu modeļos balstīto nākotnes mainību, būtiski ir apzināties, ka šī brīža ekstremālās vērtības nākotnē kļūs par normu, savukārt ekstrēmie laikapstākļi spēs radīt vēl lielākus postījumus. Lai mazinātu ar klimata pārmaiņām saistītos riskus un to iespējamās sekas, ir būtiski savlaicīgi izstrādāt un ieviest uz pētījumu rezultātiem balstītus klimata pārmaiņu pielāgošanās pasākumus visās tautsaimniecības jomās.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

All Nobel Prizes 2021. (n.d.). NobelPrize.Org. Skatīts 15.04.2024:

<https://www.nobelprize.org/all-nobel-prizes-2021/>

Ansari, R. a. (2023). Evaluation of bias correction methods for a multivariate drought index: case study of the Upper Jhelum Basin. *Geoscientific Model Development*, 16(7), 2055-2076. doi:10.5194/gmd-16-2055-2023

Bivand, R. S., Pebesma, E., & Gómez-Rubio, V. (2013). *Applied Spatial Data Analysis with R*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7618-4>

Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., et al. (2023). IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. (First). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

<https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

Cannon, A. J., Sobie, S. R., & Murdock, T. Q. (2015). Bias Correction of GCM Precipitation by Quantile Mapping: How Well Do Methods Preserve Changes in Quantiles and Extremes? *Journal of Climate*, 28(17), 6938–6959.

<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00754.1>

CMIP Overview—Coupled Model Intercomparison Project. (2023, April 11).

<https://wcrp-cmip.org/cmip-overview/>

Easterling, W. E., & Kates, R. W. (1995). Indexes of leading climate indicators for impact assessment. *Climatic Change*, 31(2), 623–648.

<https://doi.org/10.1007/BF01095164>

ECA&D. (2024). Indices dictionary.

<https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>

Eccel, E., Cordano, E., Toller, G., Mach, F.E. (2016). Climate Classification According to Several Indices. Package “ClimClass” reference manual. Skatīts. 19.03.2024. Pieejams:

<https://cran.r-project.org/web/packages/ClimClass/ClimClass.pdf>

Gilbert, R. O. (1987). *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring* | Wiley. <https://www.wiley.com/en-us/Statistical+Methods+for+Environmental+Pollution+Monitoring-p-9780471288787>

Gorczyński, L. (1920). Sur le calcul du degré du continentalisme et son application dans la climatologie. *Geografiska Annaler*, 2, 324–331.

Hengl, T. (2009). *A Practical Guide to the Geostatistical Mapping* (Vol. 13).

History—IPCC. (n.d.). Skatīts 15. aprīlī, 2024: from

<https://www.ipcc.ch/about/history/>

IPCC. (2007). *Climate change 2007: The physical science basis: contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

- 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 (p. 1535). Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- IPCC. (2023). Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (1st ed.). Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Klein Tank, A. M. G., Peterson, T. C., Quadir, et al. (2006). Changes in daily temperature and precipitation extremes in central and south Asia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D16).
<https://doi.org/10.1029/2005JD006316>
- Kopp, R. E., Garner, G. G., Hermans, et al. (2023). The Framework for Assessing Changes To Sea-level (FACTS) v1.0: A platform for characterizing parametric and structural uncertainty in future global, relative, and extreme sea-level change. *Geoscientific Model Development*, 16(24), 7461–7489.
<https://doi.org/10.5194/gmd-16-7461-2023>
- Meinshausen, M., Nicholls, Z. R. J., Lewis, et al. (2020). The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500. *Geoscientific Model Development*, 13(8), 3571–3605.
<https://doi.org/10.5194/gmd-13-3571-2020>
- Michalet, R. (1991). Nouvelle Synthèse Bioclimatique des Milieux Méditerranéens. Application au Maroc Septentrional”. *Revue d’écologie Alpine*, 1, 66–80.
- Pebesma, E. J. (2004). Multivariable geostatistics in S: the gstat package. *Computers & Geosciences*, 30, 683–691.
- Ruosteenoja, K., Kämäräinen, M., Aņiskeviča, S., Mäkelä, A., & Pirinen, P. (2016). Development of climate change scenarios for Latvia for the period until the year 2100. Finnish Meteorological Institute. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/8218532a-3227-4422-af9e-7c82d937ecea/content>
- Schwertfeger, B. T., Lohmann, G., & Lipskoch, H. (2023). Introduction of the BiasAdjustCXX command-line tool for the application of fast and efficient bias corrections in climatic research. *SoftwareX*, 22.
<https://doi.org/10.1016/j.softx.2023.101379>
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall’s Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379–1389.
<https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>
- Teutschbein, C., & Seibert, J. (2012). Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. *Journal of Hydrology*, 456–457, 12–29.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.052>
- Theil, H. (1950). A Rank-Invariant Method of Linear and Polynomial Regression Analysis. In B. Raj & J. Koerts (Eds.), *Henri Theil’s Contributions to Economics*

and Econometrics (Vol. 23, pp. 345–381). Springer Netherlands.

https://doi.org/10.1007/978-94-011-2546-8_20

Tong, Y., Gao, X., Han, Z., Xu, Y., Xu, Y., & Giorgi, F. (2021). Bias correction of temperature and precipitation over China for RCM simulations using the QM and QDM methods. *Climate Dynamics*, 57(5–6), 1425–1443.

<https://doi.org/10.1007/s00382-020-05447-4>

Wilks, D. S. (2006). *Statistical methods in the atmospheric sciences* (100. sēj.).

Elsevier Science. https://books.google.lv/books?id=_vSwyt8_OGEC

WMO. (2017). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of observation*. In *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation: Vol. I&II*.

[https://doi.org/Guide to meteorological instrument and observing practices](https://doi.org/Guide%20to%20meteorological%20instrument%20and%20observing%20practices)

World Meteorological Organization. (2020). *Guidelines on Homogenization* (2020 edition). WMO.

World Meteorological Organization. (2022). *Climate change*. World Meteorological Organization. <https://wmo.int/topics/climate-change>



LVĢMC

RĪGA, 2024