Iš čia kylama
į žvaigždes

MOKSLINĖ ATASKAITA

Projekto numeris: 09.3.3–LMT–K–712–15–0265

„COPERNICUS“ KLIMATO KAITOS SISTEMOS C3S SEZONINIŲ PROGNOZIŲ KOKYBĖS VERTINIMAS LIETUVOS TERITORIJAI

Studentas: Dainius Frišmantas

Darbo vadovas: doc. Gintautas Stankūnavičius

Darbo vieta: Vilniaus universitetas,

CHGF fakultetas, Geomokslų institutas

Mokslinis tyrimas finansuotas Europos socialinio fondo lėšomis pagal priemonės Nr. 09.3.3-LMT-K-712 „Mokslininkų, kitų tyrėjų, studentų mokslinės kompetencijos ugdymas per praktinę mokslinę veiklą“ veiklos „Studentų gebėjimų vykdyti MTEP veiklą ugdymas“ poveiklę „Studentų gebėjimų ugdymas dalyvaujant mokslinėse vasaros praktikose“

VILNIUS, 2019

Projektas bendrai finansuotas iš Europos socialinio fondo lėšų (projekto Nr. [09.3.3-LMT-K-712-15-0265]) pagal dotacijos sutartį su Lietuvos mokslo taryba (LMTLT)

1. Įvadas

Sezoninių prognozių, kurių trukmė nuo 1 mėnesio iki mažiau nei 1 metų, duomenys yra mėnesio ir / arba sezono meteorologinių kintamųjų vidurkiai. Institucijos, kurios operatyviniu režimu sudaro tokias prognozes, daug dėmesio sulaukia iš organizacijų bei savo šalių vyriausybių, taip pat, jos vykdo ir kitus mokslinius bei technologinius tyrimus. Šios prognozės labiausiai reikalingos žemės ūkio, vandentvarkos, energetikos, draudimo bei sveikatos apsaugos ūkio sektoriams (Soares ir Dessai, 2015).

Ilgalaikių prognozių patikimumas yra mažesnis nei trumpalaikių, vidutinės ar išplėstinės trukmės prognozių, be to, tokių prognozių kokybė labai priklauso nuo geografinės padėties, sezono, prognozuojamo kintamojo, pradinių sąlygų ir kitų veiksnių (NIWA, 2016). Dėl chaotiškos prigimties bei nuolat besikeičiančių atmosferos procesų konkrečiai vietovei sudarytos prognozės vis dar turi didelį neapibrėžtumą. Pastarasis rodiklis geriausiai įvertinimas per modelio(ų) ansamblinę prognozavimo sistemą: vertinant skirtingų prognozės ansamblio narių sklaidą. Šiais laikais sezoninėms prognozėms sudaryti naudojami klimato modeliai, o papildomai – ir statistiniai bei analogų metodai (Gneiting ir Raftory, 2005). Pasaulyje daugėja tokių prognozių centrų, kurie kuria prognostinius įrankius, dar kitaip vadinamus prognostiniais modeliais. Be to, dabar plačiai taikoma ansamblinė prognozavimo sistema ir dinaminės ribinės sąlygos, kurios keičiasi kartu per prognozės galiojimo laikotarpį. Ilgalaikės arba sezoninės prognozės įvertina tikėtinus ilgalaikius žemės sistemos pokyčius nuo kelių savaičių iki kelių mėnesių (ECMWF, 2019).

Copernicus klimato kaitos programa yra finansuojama pagal Copernicus reglamentą ir vykdoma remiantis Europos vidutinės trukmės orų prognozių centro sutartį. Duomenys ir informacija yra reguliuojama ES parlamento ir tarybos reglamento Nr. 1159/2013 sudarančio Europos žemės monitoringo programą. Copernicus klimato kaitos sistema (toliau – C3S) suteikia daugiafunkcinę sezoninių prognozių paslaugą, kuri įtraukia kelių Europos šalių valdomą sistemą. Šiuo metu sistemoje dalyvauja 5 prognostiniai centrai: ECMWF, UKMO, Meteo–France, DWD ir CMCC. Pagal Brookshaw ir Thepaut (2018) ateityje prie šios programos planuoja prisijungti Australijos meteorologijos biuras (BOM), Karibų regiono klimato centras (ECCC), Japonijos meteorologijos agentūra (JMA) bei Nacionalinio Aplinkos prognozavimo sistema (NCEP). Šiuo metu prognozių duomenys galimi nuo 2017 m. iki šių dienų. C3S – globalaus modeliavimo sistema, kurios vartotojui pasiekiama erdvinė raiška yra 1 x 1° ilgumos / platumos. Ši duomenų bazė sudaryta iš daugybės svarbių klimato elementų: globalios bei regioninės reanalizės, homogeninių bei apdorotų klimato duomenų, ansamblinių modelių sezoninių prognozių bei klimato projektavimo (Copernicus Climate Change Service, 2019).

C3S – 1 iš 6 teminių informacinių paslaugų sukurta Copernicus Žemės stebėjimo programa, kuri pavaldi Europos Sąjungai. C3S remiasi pasauline klimato tyrimo programa WCRP (*World Climate Research Programme* – angl.) bei globalia klimato stebėjimo sistema GCOS (*Global Climate Observing System* – angl.). C3S, anksčiau buvo žinoma kaip Pasaulinės aplinkos ir saugumo stebėjimo programa GMES (*Global Monitoring for Environmental and Security* – angl.), yra Žemės stebėsenos iš kosmoso (meteorologijos, aplinkosaugos, saugumo, gynybos, išteklių ir krizių valdymo srityse) programa, kuriai vadovauja Europos Komisija. Ji buvo įgyvendinta bendradarbiaujant su Europos Sąjungos valstybės narėmis ir Europos kosmoso agentūra. Copernicus programą sudaro sudėtingi duomenų rinkiniai: palydoviniai Žemės stebėjimai iš kosmoso, įvairūs sensoriai įrengti antžeminėse stotyse, lėktuvuose bei laivuose. Copernicus programa teikia paslaugas 6-ioms teminėms stebėjimo sritims: sausumos, vandenynų, meteorologijos, klimato kaitos, krizių valdymo ir saugumo. Naudojant šiuos duomenis galima tobulinti ir inicijuoti veiklas, skirtas, pvz.: aplinkos apsaugai, regioniniam ir vietiniam planavimui, miestų infrastruktūrų administravimui, žemės ūkiui, miškininkystei, civilinei saugai, turizmui ir kitoms veikloms (Copernicus Climate Change Service, 2019).

Sezoninės prognozės sudaromos naudojant ansamblines skaitmenines kelių prognostinių centrų modelių prognozavimo sistemas. Jos nustato drėgnesnes / sausesnes, šiltesnes / šaltesnes sąlygas lyginant su daugiamete norma. Sezoninės prognozės labai priklauso nuo El Ninjo bei vandenyno–atmosferos tarpusavio sąveikos. Mokslininkai analizavo 1981–2010 m. ECMWF modelio prognozių patikimumą globaliu mastu. Vertinimus pateikė 5 balų skalėje: nuo 1 (nepatikimos) iki 5 (labai patikimos). Tyrime buvo analizuota oro temperatūra 2 m aukštyje bei kritulių kiekis virš 21 regiono žiemos ir vasaros sezonais. Oro temperatūra ir kritulių kiekis buvo suskirstyti į terciles. Žiemos sezonu Europoje oro temperatūros prognozės pasirodė vidutiniškai patikimos (3 balai), tuo tarpu, vasaros sezono prognozių patikimumas yra didesnis. Prognozuoti vėsūs laikotarpiai vasaros sezonu virš Šiaurės Europos buvo labai patikimi (5 balai). Žiemos sezono kritulių prognozės Šiaurės Europoje yra netikslios sausringais laikotarpiais (2 balai) bei vidutiniškai patikimos drėgnais laikotarpiais (3 balai) (Weisheimer ir Palmer, 2014). Copernicus prognozavimo sistemos duomenys iki šiol nebuvo naudojami sezoninių oro temperatūros ir kritulių anomalijų prognozėms bei jų nuspėjamumui Lietuvoje bei Baltijos jūros regione.

Projekto tikslas – nustatyti ilgalaikių orų prognozių tinkamumą Lietuvos teritorijai įvairiais metų laikais.

Uždavinys – oro temperatūros ir kritulių anomalijų charakteristikos Lietuvoje ir Baltijos regione ir jų nuspėjamumo galimybės. Pasirinktų statistinių kriterijų pagalba nustatyti patikimiausią modelį / prognostinį centrą, teikiantį tiksliausias oro temperatūros ir kritulių prognozes virš Lietuvos teritorijos.

Projektas bendrai finansuotas iš Europos socialinio fondo lėšų (projekto Nr. [09.3.3-LMT-K-712-15-0265]) pagal dotacijos sutartį su Lietuvos mokslo taryba (LMTLT)

Terminų ir santrumpų žodynėlis

- Heso–Brezovskio (toliau **H–B**) cirkuliacijos tipai ir eilės numeris pagal P. M. James (2006):

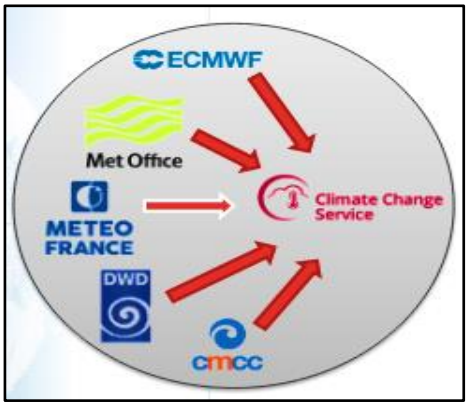
  01. **WA** – Vakarų anticikloninė cirkuliacija;
  02. **WZ** – Vakarų ciklonė cirkuliacija;
  08. **NWZ** – Šiaurės-vakarų ciklonė cirkuliacija;
  11. **TM** – Vidurio Europos ciklonas;
  22. **HNFA** – Fenoskandijos anticiklonas;
  23. **HNFZ** – Fenoskandijos ciklonas;
  24. **SEA** – Pietryčių pernaša anticikloninės cirkuliacijos sistemoje;
  25. **SEZ** – Pietryčių pernaša cikloninės cirkuliacijos sistemoje;
  27. **SZ** – Pietų ciklonė cirkuliacija;
  28. **TB** – Britų salų ciklonas;
  29. **TRW** – Slėnis virš Vakarų Europos;

- **NOAA** – Nacionalinė atmosferos ir vandenyno valdyba (*National Oceanic and Atmospheric administration* – angl.);
- **ESRL –** Žemės sistemos tyrimo laboratorija (*Earth System Research Laboratory* – angl.);
- **OGIMET** – Archyvinių meteorologinių duomenų bazė 1999–2019 m;
- **ERA5 –** Pakartotinės analizės (reanalizės) duomenų bazė (1979 m. – dabar);
- **KNMI** – Karališkasis Nyderlandų Meteorologijos institutas (oln. *Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut* – oln.);
- **CMCC** – Europos-Vidužemio jūros regiono centro (*Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici* – ita.);
- **UKMO** – Jungtinės Karalystės orų tarnyba (*United Kingdom Met Office* – angl.);
- **ECMWF** – Europos vidutinės trukmės orų prognozių centras (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* – angl.);
- **DWD** – Vokietijos orų tarnyba (*Deutscher Wetterdienst* – vok.);
- **SJL** – slėgis jūros lygyje (hPa);
- **T850** – oro temperatūra (°C) 850 hPa lygyje;
- **MS** – meteorologijos stotis;
- **Prognozės ankstumas / ankstyvumas** – laiko terminas prieš kurį buvo sudaryta modelio prognozė. Jei analizuojamas 2019 m. birželio mėn. ir prognozės ankstyvumas buvo 2 mėn., tai modelio prognozė buvo sudaryta 2019 m. balandžio mėn. (*lead time* – angl.).

Projektas bendrai finansuotas iš Europos socialinio fondo lėšų (projekto Nr. [09.3.3-LMT-K-712-15-0265]) pagal dotacijos sutartį su Lietuvos mokslo taryba (LMTLT)

2. Pradiniai duomenys ir metodika

Copernicus prognozavimo sistemos (toliau – C3S) sezoninių prognozių produktai – tai prognostiniai kintamųjų žemėlapiai (rastrai) bei duomenų masyvai. Kiekvieno mėnesio 13 dieną sezoninės prognozės yra atnaujinamos ir (ilgiausios) trunka iki 6 mėnesių. Duomenys gali būti analizuojami naudojant vieną modelį arba modelių ansamblio sistemą. Šiuo metu sistemoje dalyvauja 5 prognostiniai centrai: Europos vidutinės trukmės orų prognozių centras (toliau – ECMWF), Jungtinės Karalystės nacionalinės orų tarnyba (The Met Office / UKMO), Prancūzijos nacionalinės meteorologijos tarnyba (Meteo–France), Vokietijos orų tarnyba (DWD), Europos–Vidužemio jūros regiono centras (CMCC) ir jų klimato modeliai (2.1 pav.). Sezoninių prognozių raiška (vartotojui) yra suvienodinta visiems modeliams ir sudaro 1° x 1° ilgumos / platumos (2.1 lentelė). C3S duomenys yra nemokami bei viešai prieinami. Oro temperatūros ir kritulių kiekio anomalijų prognozuotos reikšmės gautos iš šios Copernicus prognozavimo sistemos. Tyrimui paimtas beveik visas įmanomas 2017 m. sausio – 2019 m. birželio mėnesių prognostinis laikotarpis. Prognozės išvesties duomenys buvo apdorojami taikant *R* programavimo kalbą. **Tyrimo objektas** – sezoninės oro temperatūros ir kritulių prognozės Lietuvos teritorijai.



2.1 pav. C3S modeliai (Copernicus Climate Change Service, 2019)

C3S Charakteristikos	
Horizontali apimtis	Globalus
Horizontali raiška	1° x 1° ilg. / plat.
Duomenų analizės laiko apimtis	2017 – iki dabar
Laiko raiška	Mėnesio vidurkis
Failo formatas	GRIB
Duomenų tipas	Koordinačių tinklelis

2.1 lentelė. C3S Sezoninių prognozių charakteristikos (Copernicus Climate Change Service, 2019)

Slėgio jūros lygyje (toliau – SJL), oro temperatūros 850 hPa (toliau – T850) lygyje bei geopotencialaus aukščio 500 hPa lygyje vidutiniai mėnesio žemėlapiai buvo atsisiųsti iš NOAA ESRL duomenų bazės[1]. Oro temperatūros ir kritulių kiekio anomalijų analizei buvo naudojami SJL (hPa) nuokrypiai nuo daugiametės klimatinės normos (1981–2010 m.). Kitas analizėje naudojamas įrankis WRIT (*Web-based Reanalysis Intercomparison Tool* – angl.)[2] iš kurio paimti

[1] https://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/composites/printpage.pl
[2] https://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/testdap/timeseries.pl

2017–2019 m. reanalizės ERA5 oro temperatūra 2 m aukštyje bei kritulių kiekio išvesties duomenys. ERA5 – ECMWF klimato reanalizės duomenų bazė, kuri apima laikotarpį nuo 1950 m. iki šių dienų. ERA5 duomenų bazė viešai prieinama per C3S duomenų bazę, kurios duomenų raiška 0.25° x 0.25° ilgumos / platumos (Hersbach ir Dick, 2016).

2.2 lentelė. Sezoninių prognozių 5 pagrindinių modelių charakteristikos (Copernicus Climate Change Service, 2019)

Modelis	Prognozės trukmė	Modelio raiška	Prognozės pradinės sąlygos	Prognozės ansamblio dydis
ECMWF	1–6 mėn.	Horizontali– **35 km** Vertikali – 91 lygiai iki 80 km (0.1 hPa)	1 mėnesio diena	51 narys
UKMO		Horizontali– **60 km** (Vidutinė platumose) Vertikali – 85 lygiai iki 85 km	Kiekviena mėnesio diena	2 nariai per dieną
Meteo–France		Horizontali– **55 km** Vertikali – 91 lygiai iki 0.2 hPa	20 ir 25 d. praėjusio mėnesio bei 1 mėnesio diena	Po 25 narius
DWD		Horizontali ~ **100 km** Vertikali – 95 lygiai iki 80 km (0.1 hPa)	1 mėnesio diena	50 narių
CMCC		Horizontali ~**110 km** Vertikali – 46 lygiai iki 0.2 hPa	1 mėnesio diena	50 narių

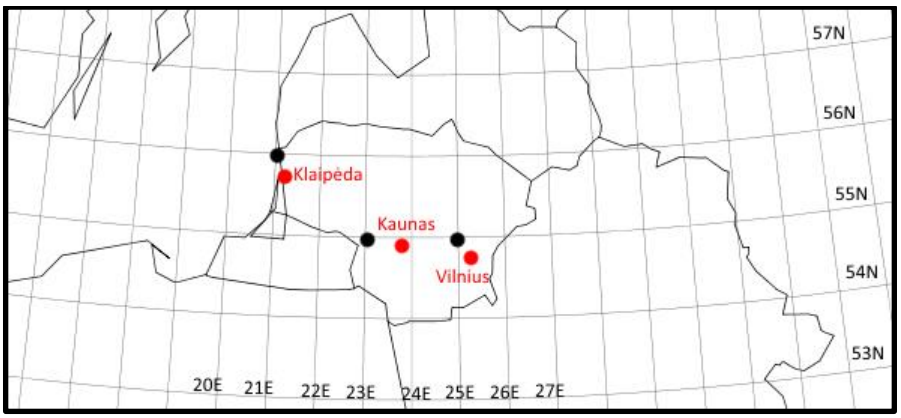
Prognostinių centrų pateikti oro temperatūros ir kritulių kiekio anomalijos buvo palygintos su meteorologinių stebėjimo duomenimis. Stebėjimo duomenys buvo gauti iš orų informacijos tarnybos (OGIMET[3]) klimatinio archyvo. Anomalijos nustatytos skaičiuojant nuokrypius nuo 1981–2010 metų vidurkio iš Vilniaus, Kauno bei Klaipėdos meteorologijos stočių (toliau – MS). Tiriamojo darbo analizei buvo pasirinkta Lietuva bei aplinkinės teritorijos (2.2 pav.). Tyrime naudoti Vilniaus, Kauno bei Klaipėdos MS duomenys bei C3S prognozavimo sistemos teikiami duomenys parinktoms koordinatėms: 56N, 21E; 55N, 23E bei 55N, 25E. Dėl nedidelio atstumo tarp MS ir C3S prognozavimo sistemos koordinačių tinklelio taškų, duomenys buvo pakankamai reprezentatyvūs bei turėjo atspindėti panašias vietos bei orų sąlygas.

[3] http://www.ogimet.com/home.phtml.en

2.3 lentelė. Projekte naudojamas požymių dažnių lentelės pavyzdys

		Stebėjimai (MS)			
Prognozė	Kategorijos	B	N	A	Iš viso
	B	**5**	0	2	7
	N	3	**11**	5	19
	A	1	0	**3**	4
	Iš viso	8	11	11	30

Kritulių kiekio anomalijos buvo analizuojamos naudojant tercilių metodą. Tercilėms naudojami 33-osios ir 67-osios eilės percentiliai, kurie dalija variacinę eilutę į 3 lygias dalis. Pirmiausia, buvo naudojami meteorologinių stebėjimų duomenys, kurių 1981–2010 metų laikotarpis buvo suskirstytas į tris lygias dalis: A (daugiau už normą), N (atitinka daugiametę normą) bei B (mažiau už normą). Kiekvienai kategorijai (A, N, B) buvo nustatomos ribinės vertės. Šios kategorijos buvo pritaikomos 5 prognostinių centrų išvesties produktams. Analizei buvo naudojama požymių dažnių lentelė. Šioje lentelėje duomenys pateikiami matricos formatu, rodančiu kintamųjų dažnių pasiskirstymą (2.3 lentelė).



2.2 pav. Tyrimo metu analizuota teritorija. Raudonais taškais pažymėtos Lietuvos meteorologijos stotys, o juodais C3S prognozavimo sistemoje arčiausiai MS esantys išvesties taškai

Kiekvieno prognostinio centro tikslumas buvo analizuotas atskirai bei kartu lyginama 5 modelių prognozavimo tikslumas esant skirtingam prognozės ankstumui (1–6 mėnesiai). Prognozės ankstumas buvo suskirstytas į 3 kategorijas: trumpos trukmės, kai prognozė sudaryta prieš 1–2 mėn. iki jos galiojimo pradžios, vidutinės trukmės – prieš 3–4 mėn. bei ilgos trukmės – prieš 5–6 mėn. Mėnesiai, kai vyravo labai anomali atmosferos cirkuliacija Europoje, lemianti dideles prognozuojamų parametrų anomalijas Lietuvoje, analizuoti detaliau pasitelkiant geopotencialaus aukščio 500 hPa, SJL bei T850 anomalijos žemėlapius.

Oro temperatūros anomalijos buvo lyginamos su reanalizės ERA5 bei meteorologinių stebėjimo duomenimis. Buvo sudaromi 2017–2019 metų oro temperatūros 2 m aukštyje anomalijų

kaitos grafikai, kuriuose buvo pavaizduoti 5 prognostinių centrų bei reanalizės ERA5 ir MS duomenys. Prognozuotų oro temperatūros anomalijų nuokrypis nuo stebėtų buvo vertinamas pagal vidutinę paklaidą (toliau – ME, nuo angl. *Mean error*). Prognozė laikoma pasitvirtinusia, jei vidutinė paklaida buvo ± 1.0 °C. Jeigu ME iki ± 2 °C, tai prognozė laikoma su vidutinio dydžio paklaida. Didelio dydžio paklaida laikoma, kai ME – < ± 4 °C, o jeigu ME didesnis už > ± 4 °C – tai prognozė laikoma nepasitvirtinusia.

Oro temperatūros anomalijos buvo įvertinamos atskirais sezonais bei skirtingos ankstyvumo trukmės prognozėse. Pagal 2 statistines formules (1.1 ir 1.2) buvo apskaičiuotos sezoninių prognozių tikslumas. Jeigu $Tf \geq A_2$, tai susidarė didelė paklaida tarp prognozuojamos sezoninės oro temperatūros anomalijos ir meteorologinių stebėjimo duomenų. Jeigu $A_1 \leq Tf \leq A_2$, tai vyrauja vidutinio dydžio paklaida. Jeigu $Tf \leq A_1$, tai paklaida nedidelė arba jos nėra bei prognozė pasitvirtino.

$$\boldsymbol{A_1} = Tf \pm б \quad (1.1)$$

$$\boldsymbol{A_2} = Tf \pm 1.5б \ (1.2),$$

kur Tf – vidutinė prognozuojama sezono oro temperatūros anomalija; б – standartinis nuokrypis

Labiausiai anomalūs (oro temperatūros ir / arba kritulių kiekio nuokrypių nuo normos atžvilgiu) mėnesiai buvo analizuojami detaliau apžvelgiant sinoptinius procesus virš Baltijos regiono. Tyrime buvo aktualu nustatyti kokie pagrindiniai veiksniai lėmė sausringus / lietingus arba anomaliai šiltus / šaltus mėnesius. Šiai analizei pasitelkta Heso–Brezovskio (toliau H–B) atmosferos cirkuliacijos tipų katalogas. Cirkuliacijos tipai apibūdina dienų arba savaičių trukmės laikotarpius su panašiomis orų sąlygomis, kurie parengti Vidurio Europai (Vokietijai), tačiau sukurta klasifikacija plačiai taikoma visoje Europoje bei Šiaurės Atlanto sektoriuje. Taip pat, nustatyta, kad ši klasifikacija gali būti naudojama ir Rytų Europoje (Khokhlov, Umanska, 2018). Šiuo metu subjektyvios H–B klasifikacijos kataloge yra 29 cirkuliacijos tipai (ir 1 nenustatytas) bei juos nuolat atnaujina, publikuoja Werner ir Gerstengarbe (2010). Naudojamų atmosferos cirkuliacijos orų tipų aprašymas pateiktas terminų ir santrumpų žodynėlyje.

Projektas bendrai finansuotas iš Europos socialinio fondo lėšų (projekto Nr. [09.3.3-LMT-K-712-15-0265]) pagal dotacijos sutartį su Lietuvos mokslo taryba (LMTLT)

3. Prognozių patikimumas Lietuvos teritorijoje 2017–2019 metų laikotarpiu

Copernicus prognozavimo sistemos produktai iki šiol Lietuvoje nebuvo analizuoti. Į C3S prognozavimo sistemą įtraukti prognostiniai modeliai sezonines prognozes sudarė skirtingais laikotarpiais. Prognozavimo laikotarpiai, pradinės sąlygos ir kiti skaitmeninių modelių parametrai pateikti 3.2 lentelėje. C3S sistemos sezoninių prognozių rezultatus tikslingiausia lyginti su stebėjimo duomenimis iš Lietuvos 3 pagrindinių meteorologijos stočių (toliau – MS) Klaipėdoje, Kaune, Vilniuje. Didžiausias dėmesys buvo skiriamas anomalios atmosferos cirkuliacijos mėnesiams (3.1 lentelė).

3.1 lentelė. Oro temperatūros 2 m aukštyje ir kritulių nuokrypiai nuo normos 2017 m. sausio – 2019 m. birželio mėn. laikotarpiu Vilniaus, Kauno bei Klaipėdos MS. Šviesiai geltona bei mėlyna spalvos atitinkamai atspindi išryškintus mėnesius, kai kritulių kiekio nuokrypiai nuo normos buvo bent 30 mm mažesni / didesni negu daugiametė norma, o šviesiai raudonai ir mėlynai pažymėti mėnesiai, kai oro temperatūros anomalija buvo bent 2 °C didesnė / mažesnė už daugiametę normą (1981–2010 m.)

Data (metai ir mėnuo)	Kritulių kiekio anomalija (mm)			Oro temperatūros anomalija (°C)		
	Vilnius	Kaunas	Klaipėda	Vilnius	Kaunas	Klaipėda
2017.01	-20	-34	-5	-1.1	-0.7	-0.1
2017.02	-4	-11	-5	1.4	1.9	0.9
2017.03	23	15	-5	2.9	2.7	1.9
2017.04	22	38	1	-2.2	-1.9	-1.3
2017.05	-49	-44	-37	0.1	-0.1	0.0
2017.06	32	1	-16	-0.3	-0.4	0.8
2017.07	31	3	9	-1.3	-1.4	-0.7
2017.08	28	-19	-42	0.3	-0.2	0.2
2017.09	11	36	93	1.1	0.5	0.7
2017.10	70	48	111	-0.2	0.1	0.2
2017.11	-6	-4	71	1.8	1.8	1.9
2017.12	2	1	37	2.9	2.4	3.0
2018.01	-2	11	15	1.3	1.6	1.0
2018.02	0	-8	-12	-2.3	-2.5	-3.3
2018.03	-21	-17	-27	-2.3	-2.8	-2.3
2018.04	-2	28	7	3.3	2.8	2.4
2018.05	-40	-36	-17	4.2	4.4	4.1
2018.06	-34	-15	-11	1.6	1.8	2.5
2018.07	44	63	-29	1.5	2.1	1.6
2018.08	-11	13	-30	2.1	1.6	2.5
2018.09	-21	0	-6	2.6	2.2	2.4
2018.10	-6	-11	33	1.3	0.8	1.6
2018.11	-36	-20	-51	0.9	0.8	0.6
2018.12	21	30	0	1.3	0.8	0.6
2019.01	13	13	30	-0.4	-1.2	-2.8
2019.02	-6	0	-5	4.4	4.7	3.4
2019.03	7	1	12	2.9	2.5	2.0
2019.04	-43	-37	-29	2.0	1.7	3.0
2019.05	-28	-24	45	0.5	0.2	0.5
2019.06	-45	-24	-36	5.4	4.8	4.9

3.2 lentelė. Pasaulio prognostinių centrų (5) įsitraukimo ir dalyvavimo C3S sistemoje laiko terminai sudarant ilgalaikes oro temperatūros ir kritulių prognozes

Prognostinis centras	Laikotarpis oro temperatūros prognozei	Laikotarpis kritulių prognozei
Europos–Viduržemio jūros regiono centras (CMCC)	2018-11 – 2019-06	2018-11 – 2019-06
Europos vidutinės trukmės orų prognozių centras (ECMWF)	2017-01 – 2019-06	2017-01 – 2019-06
Jungtinės Karalystės orų tarnyba (The Met Office / UKMO)	2017-09 – 2019-06	2017-01 – 2019-06
Prancūzijos nacionalinė meteorologijos tarnyba (Meteo–France)	2017-01 –2019-06	2017-01 – 2019-06
Vokietijos orų tarnyba (DWD)	2018-01 – 2018-07; 2018-11 – 2019-06	2018-11 – 2019-06

Projekto pradžioje buvo nagrinėjamos 1949–2018 m. (70 metų) laikotarpis. Iki 1987 metų didelė dalis oro temperatūros anomalijų buvo neigiamos bei būdingos visais mėnesiais. Nuo 1989 m. stipriai išaugo teigiamų anomalijų skaičius per 1 metus arba dešimtmetį. Šios anomalijos buvo fiksuojamos visais mėnesiais, išskyrus lapkritį. Todėl buvo nuspręsta, jog tolimesnėje analizėje bus naudojamas 1981–2010 metų laikotarpis, kadangi dėl intensyvėjančios klimato kaitos per pastaruosius du dešimtmečius stipriai išaugo tik teigiamų anomalijų skaičius, o neigiamų sumažėjo. Sudėtingiau vertinti kritulių kiekio anomalijų pasiskirstymą per 70 metų laikotarpį. Visgi, anomalijos tampa ekstremalesnės, o šių metų (2019 m.) balandžio mėn. situacija yra puikus pavyzdys, kai Vilniaus ir Kauno MS buvo užfiksuotas mažesnis nei 1 mm kritulių kiekis.

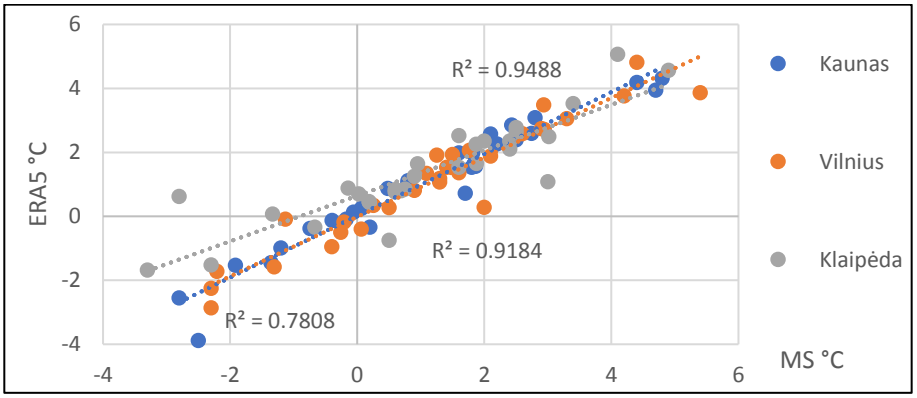
Tolimesniuose poskyriuose bus nagrinėjamos oro temperatūros (3.1) bei kritulių anomalijos (3.2), pateiktos C3S sistemoje bei lyginamos su reanalizės ERA5 ir stebėjimo duomenimis. Toliau buvo vertinamos prognostinių modelių prognozavimo galimybės atskiriems sezonams, mėnesiams bei kiekvienam parametrui nustatomas tinkamiausias modelis Lietuvos teritorijai.

3.1 Oro temperatūros anomalijos

Oro temperatūros sezoninių prognozių kokybė Lietuvos teritorijai, pasirodo, priklausė ne tik nuo prognostinių centrų modelių charakteristikų, bet ir nuo sezono bei atmosferos cirkuliacijos sąlygų. Meteorologijos stotyse išmatuotos oro temperatūros 2 m aukštyje bei reanalizės ERA5 ryšys buvo glaudus, todėl tolimesnėje analizėje naudoti stebėjimo duomenys (3.1.1 pav.).

3.1.1 lentelė. Sezoninių oro temperatūros anomalijų didžiausios / mažiausios paklaidos skirtingais prognozės ankstyvumais bei modeliais

Prognozės ankstumas (trukmė)	Didžiausios paklaidos	Mažiausios paklaidos
Trumpa (1–2 mėn.)	ECMWF, DWD bei CMCC	Meteo–France
Vidutinė (3–4 mėn.)	ECMWF, DWD bei CMCC	Meteo–France, UKMO bei ECMWF
Ilga (5–6 mėn.)	CMCC ir DWD	Meteo–France, UKMO bei ECMWF



3.1.1 pav. Reanalizės ERA5 bei meteorologinių stebėjimų oro temperatūros 2 m aukštyje ryšio grafikas virš Vilniaus, Kauno bei Klaipėdos MS (skirtingos spalvos). R^2 – determinacijos koeficientas. Spalvos vaizduoja skirtingas Lietuvos MS

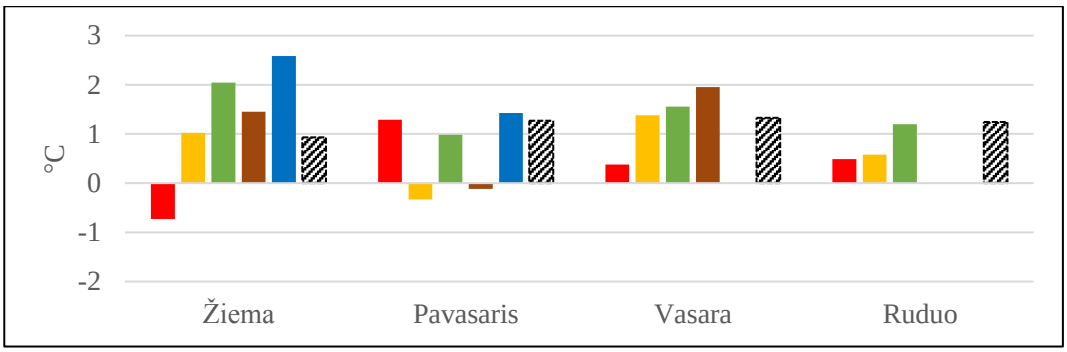
Didžiausios prognozuojamų oro temperatūros anomalijų paklaidos ($Tf \geq A_2$; žr. metodiką) susidarė rudens ir vasaros sezonais Vilniaus MS. Rudens sezonu pagrinde šias paklaidas lėmė ECMWF, o vasarą – DWD prognostinis modelis. Klaipėdoje ir Kaune rudens sezonu nebuvo nustatytų didelių prognozės nuokrypių nuo meteorologinių stebėjimų. Daugiausia vidutinio dydžio paklaidų ($A_1 \leq Tf \leq A_2$) buvo fiksuota žiemos ir pavasario sezonais visose analizuotose MS. Žiemos sezonu vidutinio dydžio paklaidos buvo būdingos ECMWF, UKMO bei CMCC sudarytoms prognozėms, o pavasarį – UKMO bei CMCC. Vasaros sezonu vidutinio dydžio paklaidų buvo mažiau ir jos dažniausiai buvo būdingos ECMWF ir DWD, o rudens – ECMWF modeliui. Prognozės, kurios pasitvirtino arba vyravo nedidelės paklaidos ($Tf \leq A_1$), buvo būdingos žiemos ir pavasario sezonais. Mažiausia dalis pasitvirtinusių prognozių buvo nustatyta rudenį. Žiemos ir pavasario sezonu daugiausia pasitvirtinusių prognozių turėjo Meteo–France bei UKMO prognostiniai centrai, vasaros – Meteo–France, o rudens – UKMO modelis (3.1.2 pav.). Trumpos ir vidutinės trukmės ankstumo prognozėse didžiausios paklaidos ($Tf \geq A_2$) buvo būdingos ECMWF, DWD bei CMCC, o ilgos trukmės – CMCC bei DWD modeliuose (3.1.1 lentelė). Didžiausios vidutinio dydžio paklaidos ($A_1 \leq Tf \leq A_2$) fiksuotos visos trukmės CMCC prognozėse.

Be to, didelė dalis paklaidų nustatyta vidutinės trukmės ECMWF bei vidutinės ir ilgos trukmės UKMO ankstumo prognozėse. Tiksliausias ($Tf \leq A_1$) prognozes sudarė Meteo–France bei UKMO ir ECMWF prognostiniai centrai (3.1.1 lentelė).

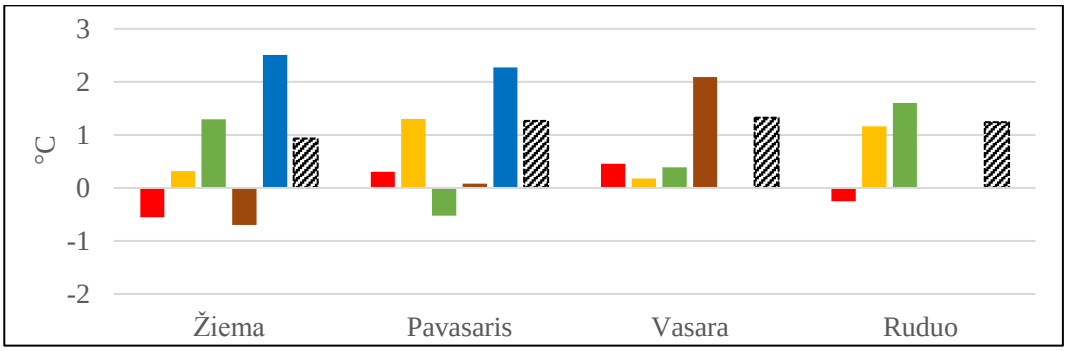
3.1.2 paveikslėlyje pateikti skirtingo prognozių ankstumo vidutinės oro temperatūros anomalijos Vilniuje. Dažniausiai priešingo ženklo negu stebėjimai anomalijas prognozavo ECMWF modelis. CMCC prognozių anomalijos buvo didesnės negu stebėjimai. Tiksliausiai sezoninę oro temperatūrą trumpos trukmės prognozėse nustatė Meteo–France ir UKMO. DWD prognozės vasaros sezonu nustatė dideles oro temperatūros anomalijų išskirtis, o pavasarį – prognozuodavo priešingo ženklo anomalijas negu stebėjimai. Rudens ir žiemos sezonu Vilniuje oro temperatūros anomalijas tiksliausiai prognozavo UKMO, pavasarį – CMCC, o vasarą – Meteo–France modelis.

Prognozuotų oro temperatūros anomalijų skirtumai tarp Vilniaus ir Kauno nebuvo dideli ir nesiekė ± 0.4 °C. Skirtumai tarp Vilniaus ir Klaipėdos viršydavo ± 1.0 °C. Žiemos sezonu CMCC prognozavo skirtingo ženklo oro temperatūros anomaliją Vilniuje ir Klaipėdoje, DWD – vasaros metu, o ECMWF – rudenį. Prognozuotų oro temperatūros anomalijų skirtumai tarp Kauno ir Klaipėdos buvo nedideli ir didžiausi fiksuoti rudens sezonu prognozuojant ECMWF modeliu. Rudens sezonu įvairaus ankstyvumo prognozėse vyravo mažesnės vidutinės anomalijos negu buvo stebėtos.

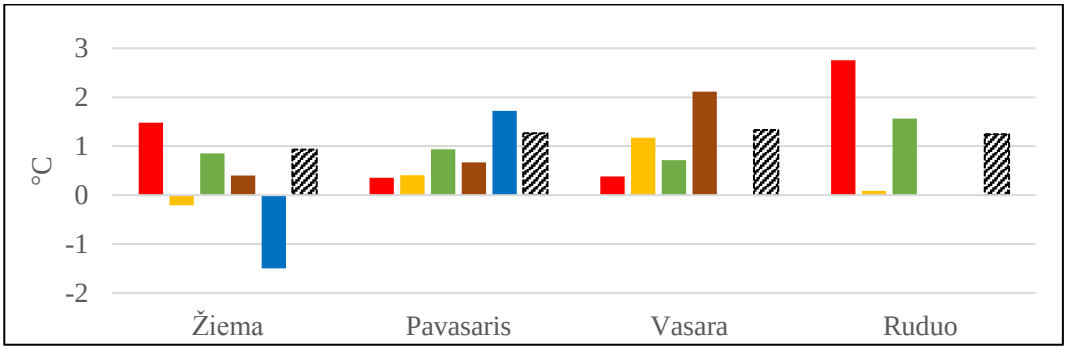
Prasčiausiai prognozuotos oro temperatūros anomalijos užfiksuotos 2017 m. rugsėjo, 2018 m. balandžio ir gruodžio mėnesiais. 2017 m. rugsėjo mėn. stebėta oro temperatūros anomalija tarp Vilniaus ir Klaipėdos buvo tarp 1.1 °C ir 3.6 °C (3.1.3 pav.). UKMO ir ECMWF centrai prognozavo 7.0–9.5 °C žemesnę anomaliją negu stebėjimai. 2017 m. rugsėjo mėn. tiksliausiai prognozavo Meteo–France prognostinis modelis. 2018 m. balandžio mėn. pagal stebėjimo duomenis oro temperatūros anomalija siekė nuo 2.4 °C iki 3.3 °C (3.1 lentelė). Prognozuota anomalija Vilniuje šį mėnesį svyravo nuo -2,5 °C (Meteo–France) iki 5,6 °C (UKMO). Šiuos neatitikimus lėmė 2018 m. kovo mėn. anomalus barinis laukas, kuris Vilniuje ir Kaune buvo mažesnis 4 hPa. 2018 m. balandžio mėn. oro temperatūrą tiksliausiai prognozavo DWD ir ECMWF modeliai. 2018 m. gruodžio mėn. stebėta oro temperatūros anomalija tarp Vilniaus ir Klaipėdos svyravo nuo -2 °C iki 4 °C. 3.1.3 paveikslėliuose vaizduojama prieš 2 mėn. prognozuota 2018 m. gruodžio mėnesio oro temperatūros anomalija. 2 iš 5 modelių prognozavo didelę teigiamą anomaliją Lietuvoje, kuri siekė iki 7 °C (Meteo–France) aukštesnę temperatūrą negu stebėjimų; 2 iš 5 modelių prognozavo didelę neigiamą anomaliją, kuri siekė beveik -5 °C (UKMO). 2018 m. gruodžio mėn. oro temperatūrą tiksliausiai prognozavo CMCC modelis. Prognozių neapibrėžtumą galėjo lemti paklaidos pradinėse sąlygose arba vyravę labai nepastovūs orai Baltijos jūros regione.



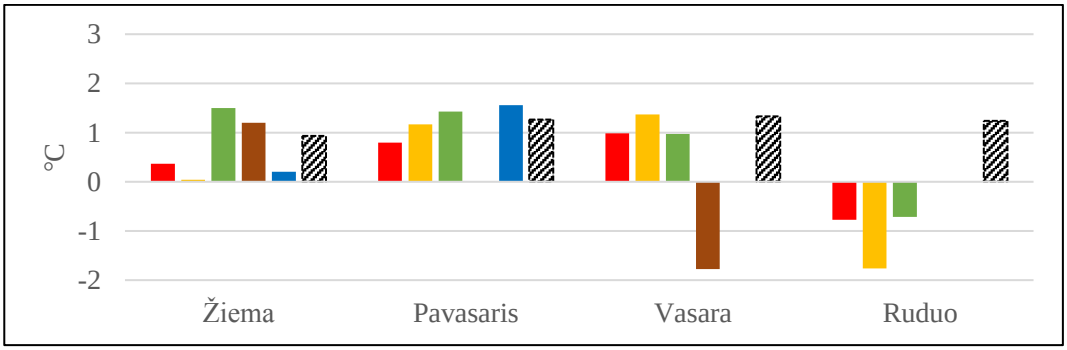
Prognozės ankstumas – 1 mėn.



Prognozės ankstumas – 2 mėn.

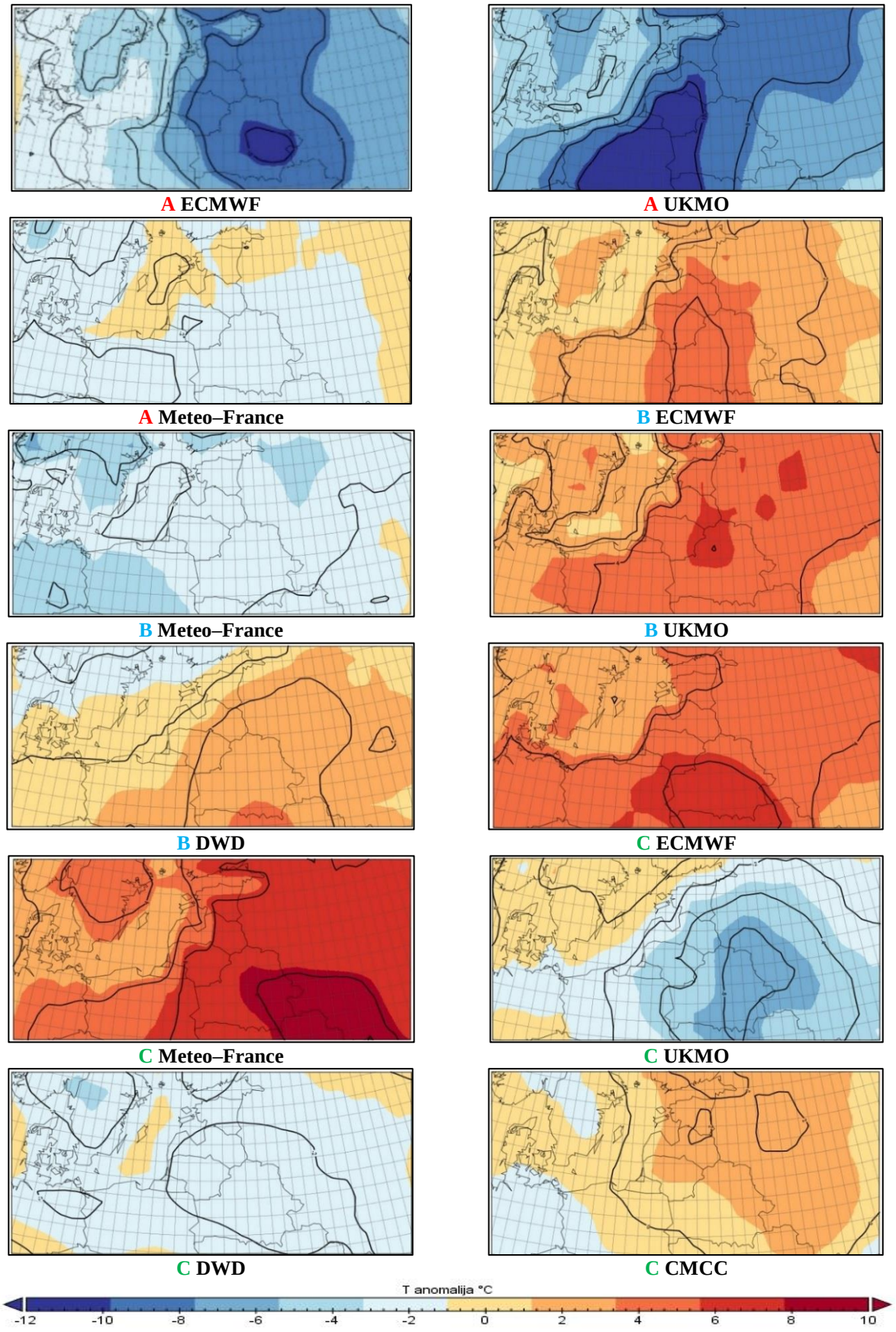


Prognozės ankstumas – 3 mėn.

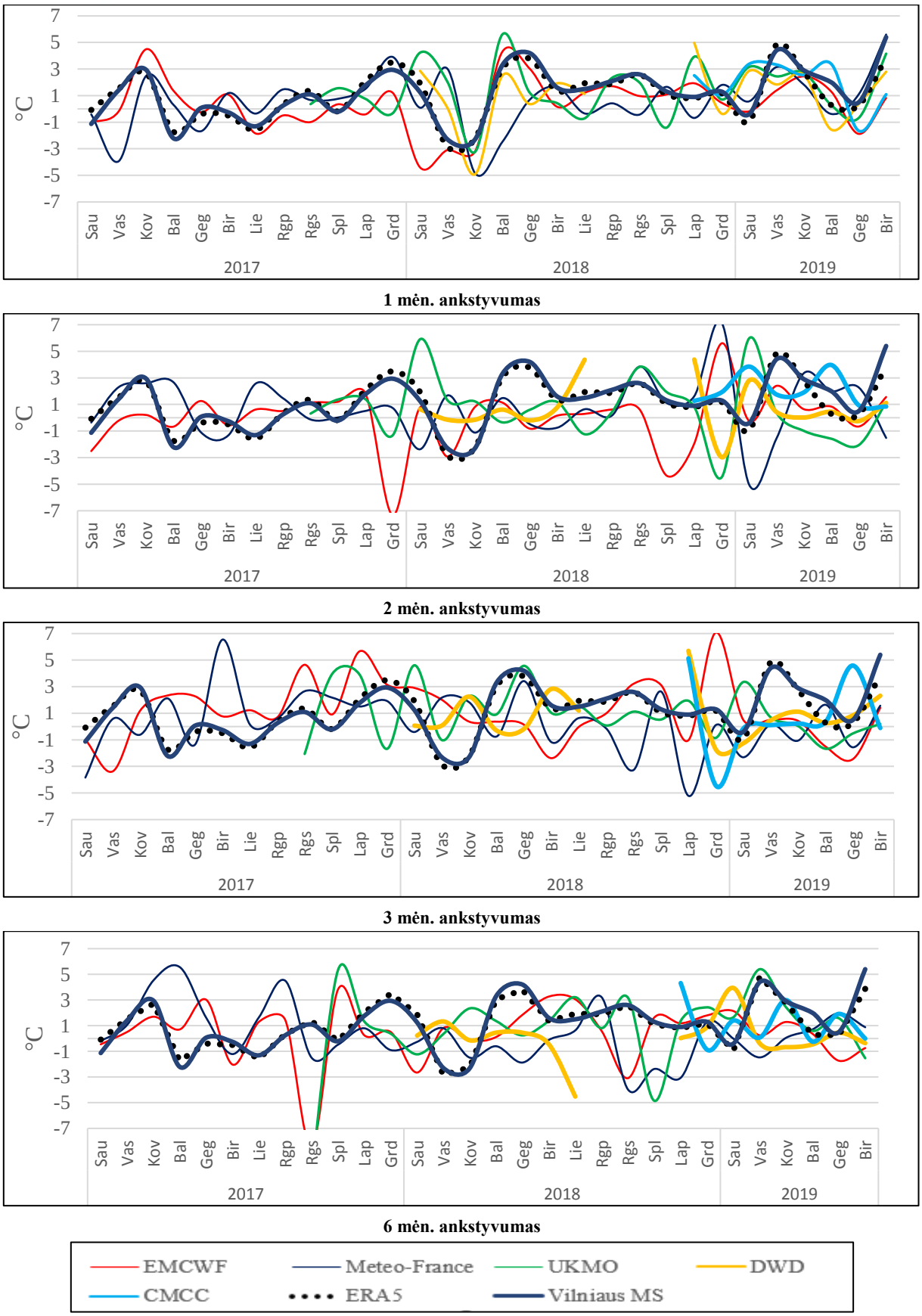


Prognozės ankstumas – 6 mėn.

3.1.2 pav. Prognozuota (ECMWF, Meteo–France, UKMO, DWD, CCMC) ir stebėta vidutinė oro temperatūros anomalija Vilniaus MS skirtingais sezonais esant skirtingam prognozės ankstumui – 1, 2, 3 ir 6 mėn.



3.1.3 pav. Prognozuotų oro temperatūros anomalijų erdvinis pasiskirstymas Baltijos regione 2017 m. rugsėjo (**A**, ankstumas – 6 mėn.), 2018 m. balandžio (**B**, ankstumas – 1 mėn.) ir 2018 m. gruodžio (**C**, ankstumas – 2 mėn.) mėnesiais skirtingais prognostiniais modeliais (ECMWF, UKMO, Meteo-France, DWD bei CMCC)



3.1.4 pav. 5 prognostinių centrų (ECMWF, Meteo–France, UKMO, DWD ir CMCC), ERA5 reanalizės ir stebėtos (Vilniaus MS) oro temperatūros anomalijos kaita 2017.01–2019.06 laikotarpiu taikant skirtingo ankstyvumo prognozes (1, 2, 3 bei 6 mėn.)

Oro temperatūros anomalijų nuokrypis nuo daugiametės (1981–2010 m.) normos buvo įvertinamas pagal vidutinę paklaidą. Vasario, gruodžio, gegužės bei birželio mėn. sudarytos prognozės Lietuvai nepasitvirtino, nes vidutinė paklaida buvo ± > 4 °C (3.1.2 lentelė). Šios prognozės, sudarytos 2–6 mėn. ankstumu ir esant vidutinei paklaidai ± > 4 °C, sudarė 18,6 % visų prognozių. 1 mėn. ankstumo prognozių nuokrypiai buvo mažesni, išskyrus 2019 m. birželio mėnesį, kai ECMWF ir CMCC prognozių nuokrypiai buvo žymesni (3.1.4 pav.). Daugiausiai nepasitvirtinusių prognozių, trumpos bei vidutinės trukmės ankstumo, užfiksuota Meteo–France modeliu. Ilgos trukmės ankstumo prognozėse labiausiai nepasitvirtino ECMWF prognozės, o geriausiai pasitvirtinusias prognozes sudarė DWD modelis. Daugiausia pasitvirtinusių prognozių užfiksuota lapkritį (3.1.2 lentelė). Pasitvirtinusios prognozės (vidutinė paklaida ± 1°C) sudarė 27,8 % visų prognozių. Vidutinės ir ilgos trukmės ankstumo prognozes tiksliausiai sudarė DWD bei CMCC centrai, o trumpos trukmės – CMCC, ECMWF ir Meteo–France centrai.

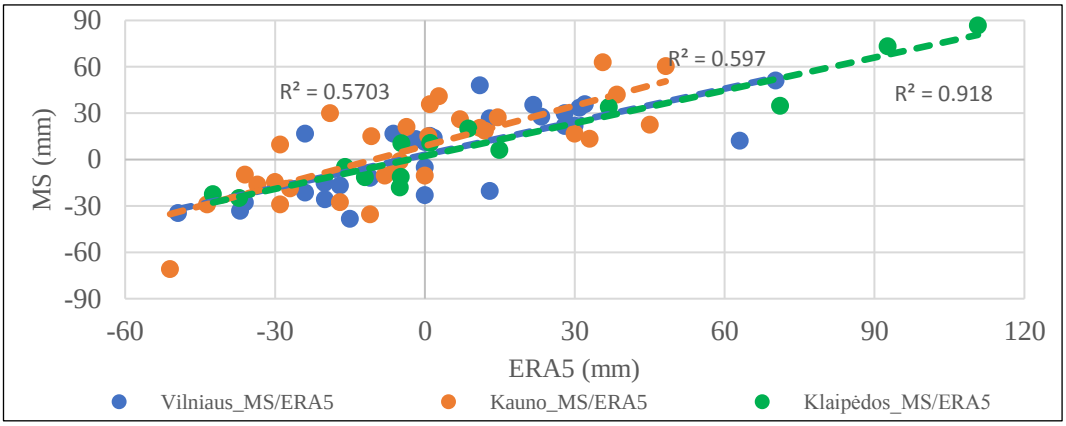
3.1.2 lentelė. Pagal vidutinę paklaidą pasitvirtinusių / nepasitvirtinusių oro temperatūros anomalijų prognozių mėnesiai

Prognozės	2017 m. mėnesiai	2018 m. mėnesiai	2019 m. mėnesiai
Pasitvirtinusios	rugpjūtis, rugsėjis ir lapkritis	birželis, liepa, spalis, lapkritis ir gruodis	sausis, kovas, balandis ir gegužė
Nepasitvirtinusios	gruodis	vasaris ir gegužė	vasaris ir birželis

Prognozės su vidutinio dydžio paklaida (ME < ± 2 °C) sudarė – 23,3 % visų prognozių. Vidutinės ir ilgos trukmės prognozėse dažniausios vidutinio dydžio paklaidos nustatytos Meteo–France, UKMO bei DWD, o trumpos trukmės prognozėse – UKMO bei ECMWF centruose. Vidutinės bei ilgos trukmės prognozėse daugiausia vidutinio dydžio paklaidų nustatyta Meteo–France, UKMO, DWD, o trumpos trukmės ankstumo prognozėse – UKMO, ECMWF modeliuose. Dažniausiai oro temperatūra prognozuota su didele paklaida ir sudarė 30,3 % visų prognozių. Ši kategorija buvo būdinga 2018 ir 2019 m. sausio – birželio mėnesiais bei 2018 m. lapkritį. 2017–2019 m. laikotarpiu didelės paklaidos nustatytos vidutinės ir ilgos trukmės Meteo-France ir ECMWF prognozėse. Trumpos trukmės prognozėse didelius nuokrypius nuo normos prognozavo UKMO modelis.

3.2 Kritulių anomalijos

Kritulių anomalijų kategorijų pasiskirstymas skyrėsi ne tik tarp skirtingų prognostinių modelių, bet ir tarp meteorologijos stočių bei sezonų. Daugiausia C3S sistema Lietuvoje prognozavo normalias, daugiametę normą atitinkančias sąlygas, tačiau tai ne visada sutapo su ERA5 reanalizės arba stebėjimo duomenimis. Ryšys tarp ERA5 ir meteorologinių stebėjimų yra glaudus bei tiesinis, todėl tolimesnėje analizėje buvo naudoti oficialių meteorologinių matavimų duomenys (3.2.1 pav.). 2017 m. sausio – 2019 m. birželio mėn. laikotarpiu visas kritulių kategorijų (A, N, B) anomalijas tiksliausiai prognozavo Meteo–France klimato modelis. Prognozės tikslumas – didesnis nei 63 %, kai prognozė buvo sudaryta prieš 2 mėn. (ankstumas – 2 mėn.) iki jos galiojimo pradžios (3.2.1 lentelė). Didesnis nei 45 % kritulių prognozės tikslumas gautas iš modelių ansamblio vidurkio bei UKMO esant trumpos trukmės ankstumo prognozėms. 2018 m. gruodžio – 2019 m. birželio mėn. iš 6 C3S naudojamų modelių kritulius Lietuvoje tiksliausiai prognozavo ECMWF ir Meteo–France modeliai. Modelio tikslumas siekė – 71 %, kai ankstumas buvo 2 (Meteo–France) ir 3 mėnesiai (ECMWF).



3.2.1 pav. Ryšys tarp kritulių kiekio nuokrypio (mm) ERA5 reanalizėje ir skirtingose Lietuvos MS. R^2 – determinacijos koeficientas. Skirtingos spalvos vaizduoja analizuotas MS

3.2.1 lentelė. Modelių prognozių tikslumas (%) skirtingo prognozių ankstumo sąlygomis (1–3 mėn.)

Modelis	Prognozių ankstumas (mėnesiais)		
	1	2	3
Modelių ansamblio vidurkis	37–50	37–47	33–43
ECMWF	27–40	17–43	30–40
Meteo–France	47–50	30–63	27–50
UKMO	33–43	33–47	33–40

2017–2019 m. laikotarpiu didžiausias tikslumas nustatytas 2 vietovėse: 56N, 21E (Klaipėdoje) bei 55N, 23E (Kaune). Kritulių prognozių tikslumas Kaune šiuo laikotarpiu svyravo tarp 36–63 %, o Klaipėdoje – 26–50 % priklausomai nuo prognostinio modelio. Vilniuje šio rodiklio kaita buvo dar didesnė – 17–63 %. Pavienių modelių veiklos analizė parodė, kad tiksliausiai kritulius Lietuvai prognozavo Meteo–France modelis. 2018 m. gruodžio – 2019 m. birželio mėn. laikotarpiu iš trijų MS tiksliausios prognozės teko Klaipėdai. Tiksliausias prognozes Vilniuje sudarė – UKMO, Kaune – Meteo–France, o Klaipėdoje – ECMWF.

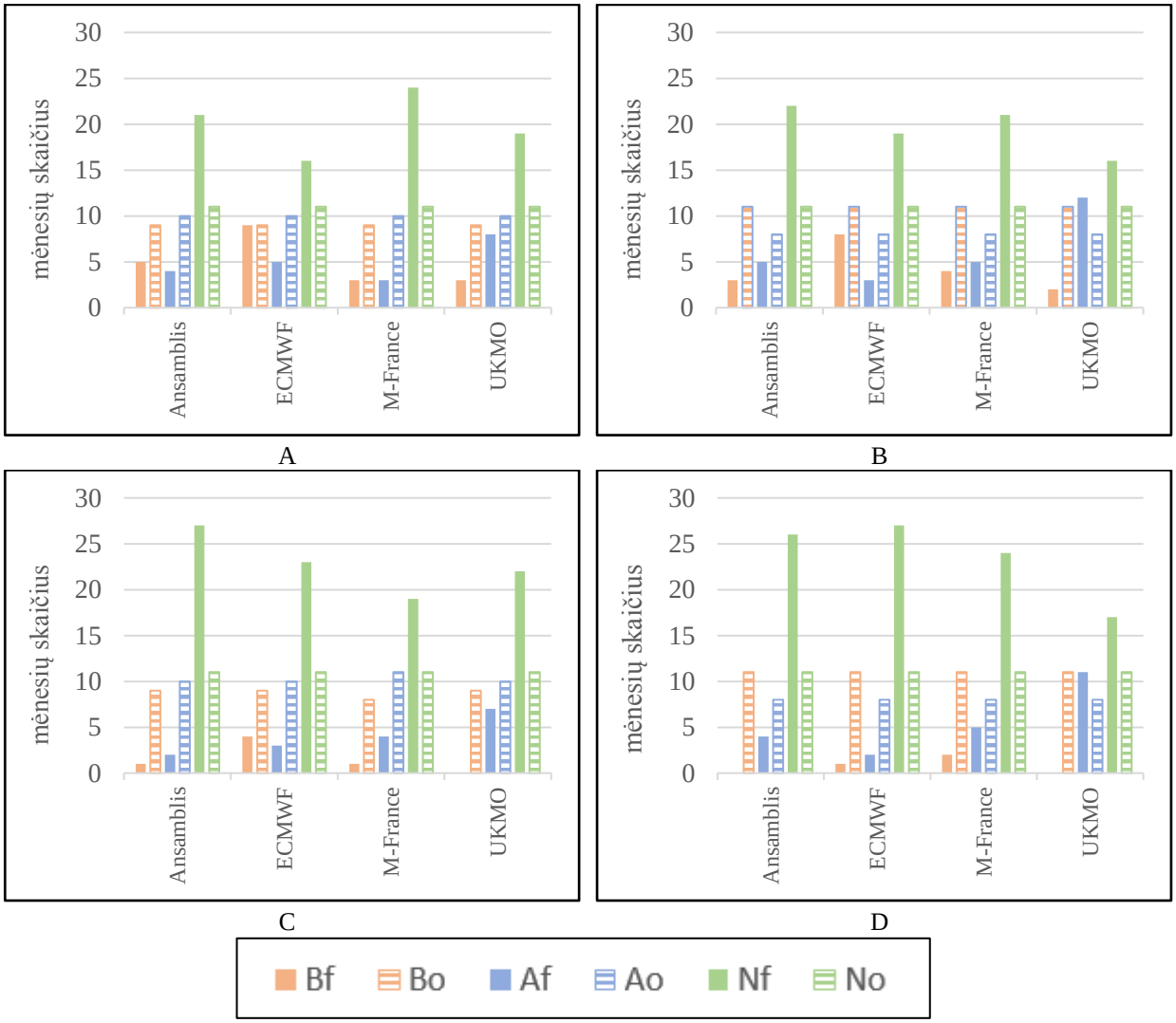
Kiekvieno modelio prognozių kategorijų pataikymo dažnis buvo skirtingas (3.2.1 lentelė, 3.2.2 pav.). Didžiausio pasitvirtinimo prognozės sudarė nedidelę dalį, kuri siekė iki 14 %. Didžiausio pasitvirtinimo prognozė laikoma, kai visos prognozuotos kritulių kategorijos (A, B, N) atitiko meteorologinių stebėjimų duomenis 100 %. 13–14 % dalį prognozavo modelių ansamblio vidurkis, Meteo–France, DWD ir CMCC modeliai. Mažiausiai pasitvirtinusių prognozių fiksuota ECMWF (10 %) bei UKMO (7 %) prognozėse. Didžiausia dalis prognozių yra nepasitvirtinusios – 43 %. Iš šios dalies dažniausiai nepasitvirtino DWD ir CMCC modelių prognozės, o modelių ansamblio vidurkio – 30 %. Mažiausiai nepasitvirtinusių prognozių turėjo ECMWF (23 %), Meteo–France (20 %) ir UKMO (23 %).

Pačios tiksliausios prognozės buvo būdingos žiemos ir rudens sezonais. Žiemos sezono anomalijas geriausiai įvertindavo modelių ansamblio vidurkis, DWD ir CMCC, o rudens– Meteo–France. Mažiausiai tikslios prognozės buvo būdingos pavasario sezonui. 3 mėn. prieš prognozės pradžią modelių nepataikymas siekė tarp 20–43 %.

Kiekvienas modelis pasižymi individualiomis prognostinėmis galimybėmis bei tikslumu, ypač kai naudojamas skirtingas prognozių ankstumas. DWD ir CMCC prognostiniai modeliai pasirodė esą, netiksliausi. DWD prognozių patikimumas svyravo tarp 14–43 %, o CMCC – tik 14–29 %. Tiksliausios prognozės buvo sudaromos Meteo–France modelio (3.2.1 lentelė). Vidutiniu tikslumu pasižymėjo modelių ansamblio vidurkis. Didžiausias tikslumas nustatytas trumpos trukmės (1–2 mėn.) ankstumo prognozėse.

Sezoninis kritulių prognozių tikslumas priklauso ne tik nuo prognozuojamo sezono, bet ir nuo pradinių sąlygų: tam tikrais mėnesiais vieni modeliai prognozavo sausringas, o kiti – lietingas sąlygas, tačiau pasitaikė mėnesių, kai prognostinių modelių rezultatai gerai dera tarpusavyje. 2018 m. rugsėjo ir 2019 m. vasario mėnesiais visi modeliai tiksliai prognozavo kritulių kategorijas (A, B, N), kai atitinkamai prognozių ankstumas buvo 3 ir 2 mėnesiai. Šiai kategorijai taip pat buvo priskiriamos prognozės su maža paklaida (3.2.2 lentelė). Taip pat, buvo mėnesių, kai visi 6 modeliai prognozavo klaidingai: 2018 m. gegužę ir 2019 m. balandį. Abejais atvejais buvo nustatyta B kritulių kategorija (kiekis mažesnis už daugiametę normą), tačiau visi prognostiniai modeliai nustatė N (daugiametę normą) atitinkančias sąlygas. Be to, prognozės tikslumas nekito

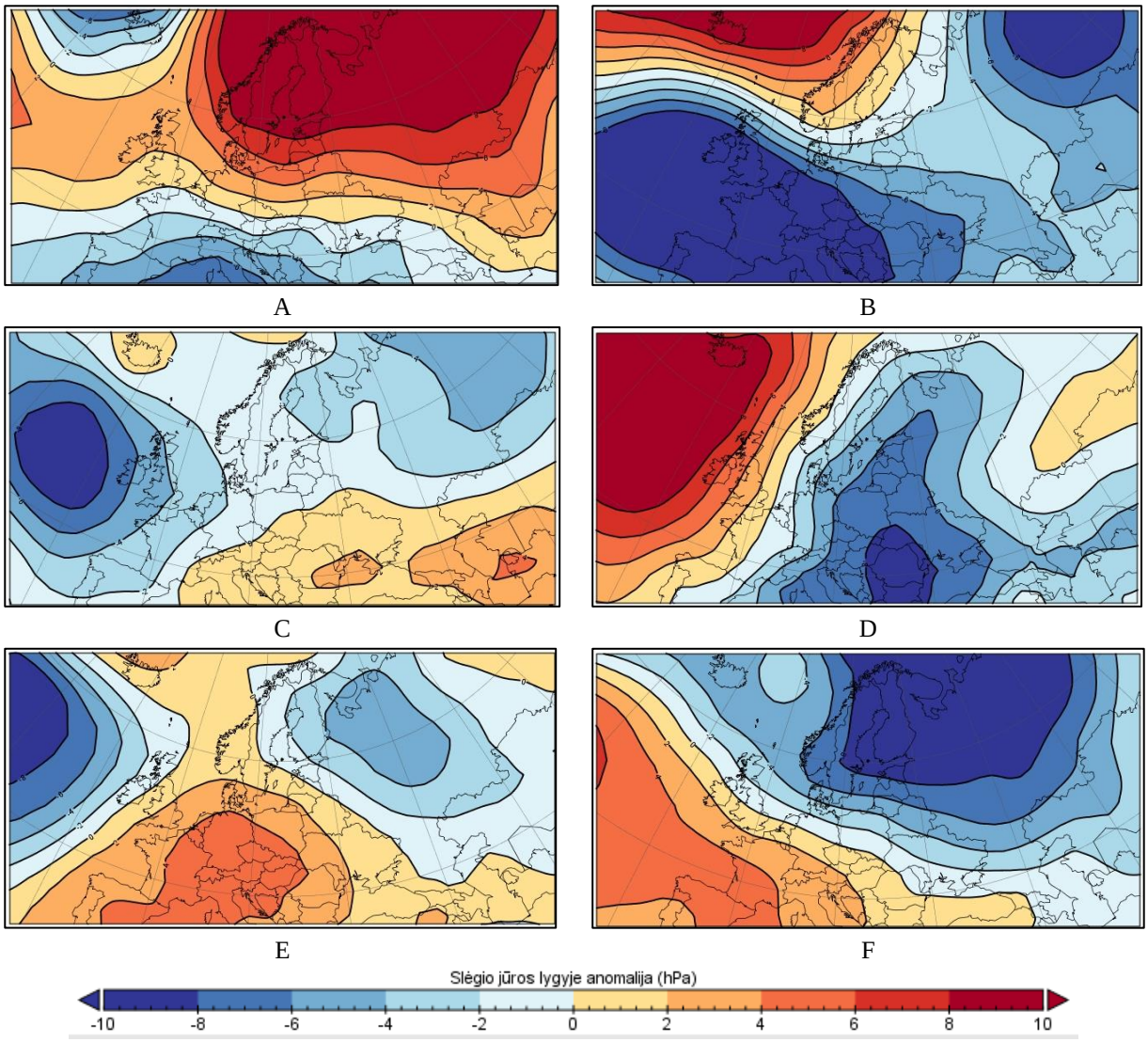
nei kaitaliojant prognozės ankstumą. Šių prognozių kokybę lėmė anomalios cirkuliacijos sąlygos, vyravusios tais mėnesiais (3.2.3 pav.).



3.2.2 pav. Kritulių kategorijų prognozių (A, N, B) skaičius (mėnesiais) skirtingose Lietuvos MS (Vilniuje A ir C bei Klaipėdoje B ir D) – prognozės (f) bei stebėjimo duomenys (o) 2017–2019 m. laikotarpiu esant skirtingam prognozių ankstumui (1 mėn. (A ir B) ir 3 mėn. (B ir D) bei skirtingiems prognostiniams modeliams (Modelių ansamblis, ECMWF, Meteo–France, UKMO)

3.2.2 lentelė. Pasitvirtinusios / nepasitvirtinusios kritulių prognozės kategorijos (mėnesiais)

Prognozės	2017 m. mėnesiai	2018 m. mėnesiai	2019 m. mėnesiai
Pasitvirtinusios	vasaris, birželis ir rugpjūtis	vasaris, birželis, rugpjūtis ir rugsėjis	vasaris
Nepasitvirtinusios	sausis ir spalis	kovas, gegužė ir liepa	sausis, balandis ir birželis



3.2.3 pav. Vidutinis mėnesio slėgio jūros lygyje nuokrypis nuo klimatinės normos (1981–2010 m.): **A** (2018 m. vasaris), **B** (2018 m. kovas), **C** (2018 m. balandis), **D** (2019 m. sausis), **E** (2019 m. vasaris), **F** (2019 m. kovas). Izolinijos išvestos kas 2 hPa

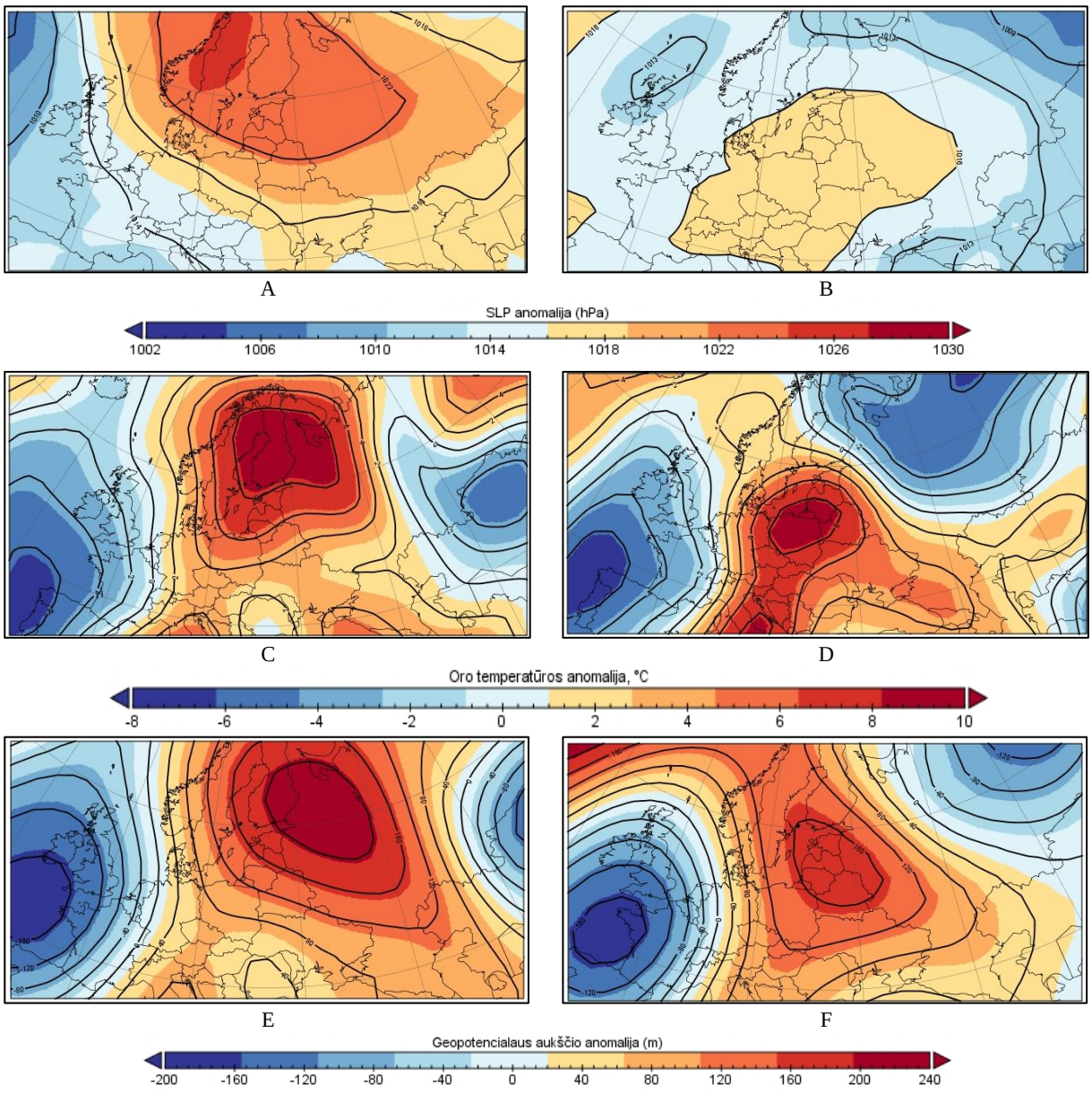
Trumpos trukmės ankstumo prognozės nepasitvirtino 2017 m. sausio ir spalio, 2018 m. kovo ir liepos mėnesiais. Nepasitvirtinusios prognozės buvo sudarytos prieš 3 mėn., kai prognozių kokybė sumažėjo 2018 m. lapkričio – 2019 m. sausio mėn. bei 2019 m. balandžio – birželio mėnesiais (3.2.2 lentelė). Nepasitvirtinusiai prognozei priklausė atvejai, kai skyrėsi kategorijos tarp modelių arba prognozuota kategorija buvo priešingo ženklo negu stebėjimų duomenys. Vienas iš sunkiausiai prognozuojamų mėnesių – 2019 m. birželis. 4 iš 6 modelių prognozavo A bei N kritulių kategorijas ir tik ECMWF bei Meteo–France prognozės pasitvirtino, kai sutapo kritulių kategorijos (B) su stebėjimo duomenimis. 3 iš 6 (DWD, modelių ansamblis ir UKMO) modelių teisingai nustatė 2019 m. sausio mėn. kritulių anomalijos kategorijas. Didesnį nei trečdalį 2017–2019 m. laikotarpio stebėtos sąlygos pateko į „normos“ kategoriją.

4. Prognozių patikimumas anomalios cirkuliacijos mėnesiais

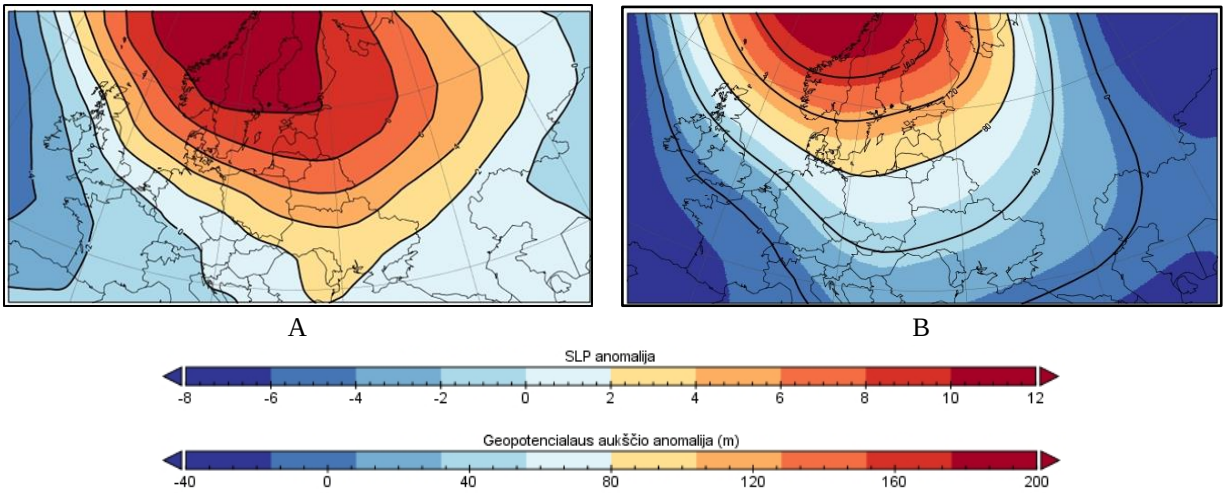
2017–2019 metų laikotarpiu buvo atrinkti 3 anomalios cirkuliacijos Europoje ir Lietuvoje mėnesiai: 2019 m. birželio ir balandžio bei 2017 m. spalio mėnesiai. 2019 m. birželio mėnesį dėl ilgai trunkančių anticikloninių orų susidarė labai didelė teigiama oro temperatūros anomalija – nuo 4,8 °C Kaune iki 5,4 °C Vilniuje. Birželio 5–8 d. bei 11–14 d. Vilniuje ir Kaune vidutinė paros oro temperatūra buvo didesnė nei 22 °C, o Klaipėdoje ši temperatūra išsilaikė 5–7 bei 11–13 dienomis. Pagal Heso–Brezovskio (toliau – H–B) atmosferos cirkuliacijos klasifikaciją (žr. terminų ir santrumpų žodynėlį) tuo metu vyravo TB (Britų salų ciklonas) ir TRW (Vakarų Europos slėnis). TB cirkuliacijos struktūroje virš Lietuvos driekėsi Rytų Europos anticiklono pietvakarinė periferija, o TRW – Lietuva pateko į tarpinę zoną tarp rytuose buvusio Rytų Europos anticiklono ir vakaruose vyravusio ciklono. Vidutinis birželio mėnesio slėgio jūros lygyje laukas rodo, kad Lietuva pateko į anticiklono centrinę dalį (4.1 pav. A), todėl vyravo mažesnis debesuotumas bei intensyvi spinduliuotė Lietuvoje lėmė teigiamą oro temperatūros anomaliją. Birželio mėn. 5–8 dienomis oro temperatūros 850 hPa lygyje nuokrypis nuo normos siekė 5–6 °C, o 500 hPa lygyje vyravo aukštuminio anticiklono centrinė dalis – geopotencialaus aukščio nuokrypis sudarė 10–15 dekametrų (4.1 pav. C ir E). Didžiausia anomalija fiksuota birželio 11–14 dienomis – iki 8 °C, o 500 hPa lygyje aukštuminis gūbrys virš Lietuvos lėmė geopotencialaus aukščio anomaliją iki 15 dekametrų (4.1 pav. D ir F). Didesnė nei 4 °C anomalija buvo susidariusi 2018 m. gegužės ir 2019 m. vasario mėnesiais. Gegužės mėnesio anomalijos susiformavo, kai Lietuva pateko į blokuojančio anticiklono pietinę periferiją (HNFZ) bei į centrinę gūbrio sistemą (SEZ), o vasarį Lietuva pateko į Vidurio Europos anticiklono centrinę dalį. 2018 m gegužės ir 2019 m. vasario mėnesiais oro temperatūros 850 hPa lygyje nuokrypis nuo normos siekė 3–6 °C.

2019 m. balandžio mėnuo buvo vienas sausiausių; Vilniaus ir Kauno MS per visą mėnesį iškrito mažiau nei 1 mm kritulių, o Klaipėdoje neviršijo 4 mm. Pagal daugiamečius duomenis balandžio mėnesį iškrenta nuo 32 mm (Klaipėda) iki 43 mm (Vilnius) kritulių. Todėl kritulių kiekio nuokrypis nuo normos siekė nuo –29 mm (Klaipėda) iki –43 mm (Vilnius). 2019 m. balandžio mėn. dominuojantys H–B atmosferos cirkuliacijos tipai buvo HNFA (Fenoskandijos anticiklonas) bei HNFZ (Fenoskandijos ciklonas). HNFA makrocirkuliacijos struktūra lėmė, kad Lietuva pateko į aukštuminio gūbrio ašį, o HNFZ – į anticiklono pietinę periferiją. Nepalankios sąlygos krituliams iškristi buvo nustatytos pietryčių anticikloninės (SEA) bei pietryčių cikloninės (SEZ) cirkuliacijos formoje, kai Lietuva pateko į centrinę gūbrio dalį. Krituliams iškristi nepalankios sąlygos susidarė dėl Rytų Europos anticiklono vakarinėje dalyje (SZ) bei Vidurio Europos ciklono šiaurės rytų periferijoje (TM). Pagal H–B atmosferos cirkuliacijos orų tipus dominavo anticikloninė cirkuliacija, kuriai būdingi giedri, be lietaus orai, todėl balandžio mėnesį

buvo susidariusi anomali situacija. 2019 m. balandžio mėnesį Lietuva atsidūrė blokuojančio anticiklono, kurio centrinė dalis buvo nusidriekusi virš Skandinavijos regiono, pietinėje periferijoje (4.1 pav. B). Virš Lietuvos slėgio jūros lygyje anomalija siekė 6–8 hPa (4.2 pav. A). Krituliams nepalankios sąlygos susiformuoti buvo ir dėl 500 hPa lygyje susidariusio aukštuminio anticiklono virš Norvegijos (4.2 pav. B). Panaši situacija buvo susidariusi 2017 ir 2018 m. gegužę, kai kritulių kiekio nuokrypis nuo normos atitinkamai siekė nuo -37 mm; -17 mm (Klaipėdoje) iki -49 mm; -40 mm (Vilniuje). 2017 m. gegužę Lietuvos teritorija pateko į aukštesnio slėgio mažų gradientų lauką, o 2018 m. į anticiklono centrinę dalį virš Skandinavijos regiono.



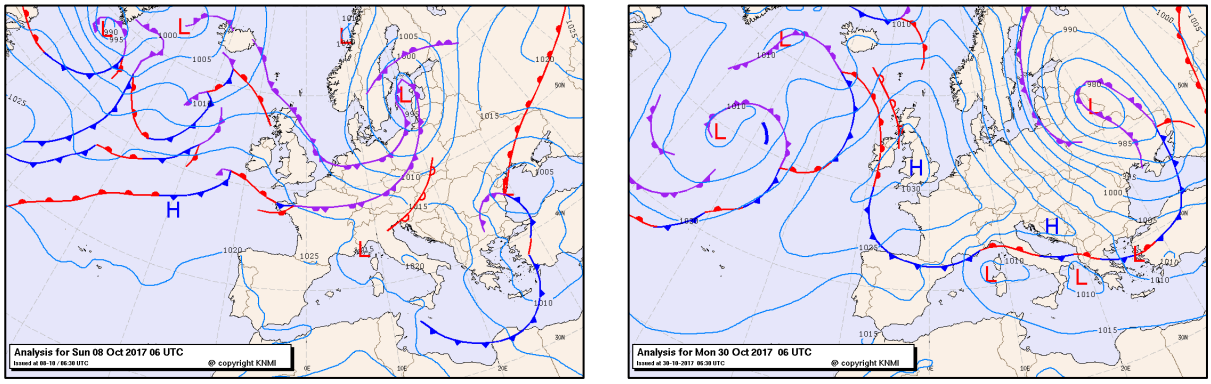
4.1 pav. Vidutinė mėnesio (**A** ir **B**) slėgio jūros lygyje anomalija (hPa): 2019 m. birželio (**A**) ir 2019 m. balandžio (**B**) mėnesiais; vidutinė paros (**C** ir **D**) oro temperatūros anomalija 2 m aukštyje (°C) ir (**E** ir **F**) geopotencialaus aukščio anomalija 500 hPa lygyje (m). C ir E – birželio 5–8 d., D ir F – birželio 11–14 d.



A B

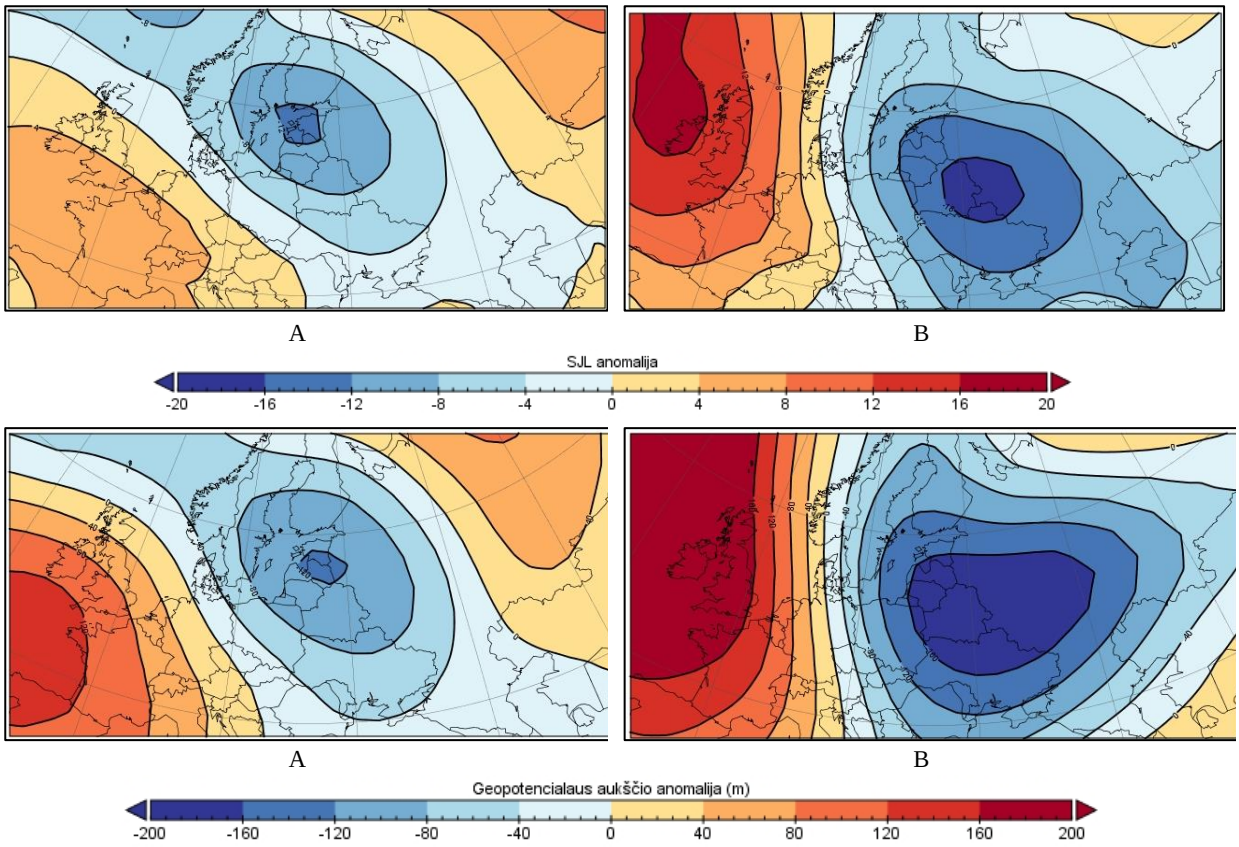
4.2 pav. Vidutinio slėgio jūros lygyje anomalija (hPa) (**A**) ir geopotencialaus aukščio anomalija 500 hPa lygyje (m) (**B**) 2019 m. balandžio mėn.

2017 m. spalis Lietuvoje buvo anomaliai drėgnas – teigiama kritulių kiekio anomalija sudarė nuo 48 mm Kaune iki 111 mm Klaipėdoje. Kiekvienoje MS iškrito dvigubai didesnis kritulių kiekis nei pagal standartinę klimatinę 1981–2010 metų normą. Pačios lietingiausios dienos buvo spalio 3–15 bei 25–31 d.. Pagal H–B palankios atmosferos sąlygos krituliams susiformuoti buvo šiaurės vakarų cikloninė (NWZ) bei vakarų anticikloninė (WA) ir cikloninė cirkuliacijos (WZ). Visais šiais atvejais Lietuva atsidūrė ciklono(ų) pietinėje periferijoje, kurioje vyko aktyvi frontinė veikla. Klaipėdos MS užfiksuotos 3 paros (spalio 3, 8, 30 dienomis), kai kritulių kiekis viršijo 20 mm/parą. Be to, Klaipėdos ir Kauno MS užfiksuotos 3, o Vilniuje – 4 paros, kai kritulių kiekis viršijo 10 mm. Analizuojant spalio 3 ir 8 dienų sinoptinę situaciją nustatyta, kad lietingus orus lėmė aktyvi vakarų pernaša bei aktyvūs atmosferos frontai (4.3 pav. A), o spalio 30 dieną – gilus ciklonas, susiformavęs į pietryčius nuo Lietuvos (4.3 pav. B, 4.4 pav. A ir B).



A B

4.3 pav. 2017 m. spalio 8 (**A**) ir 30 (**B**) dienų (06 UTC) sinoptinė schema (šaltinis – KNMI), kuriose pavaizduotas slėgis jūros lygyje bei atmosferos frontai Š. Atlanto sektoriuje



4.4 pav. Vidutinė mėnesio slėgio jūros lygyje (hPa) (spalio 3–15 d. **A** ir spalio 25–31 d. **B**) ir geopotencialaus aukščio 500 hPa lygyje (spalio 3–15 d. **C** ir spalio 25–31 d. **D**) anomalija (m) 2017 m. spalio mėn.

2017 metų spalio mėnesio 3–15 bei 25–31 dienomis vyravo neigiama, daugiau nei 10 hPa SJL anomalija Baltijos jūros regione. 500 hPa lygyje vyravo aukštuminių ciklonų centrai, o geopotencialus aukštis buvo mažesnis už normą daugiau nei 10 dekametrų virš Lietuvos teritorijos.

Projektas bendrai finansuotas iš Europos socialinio fondo lėšų (projekto Nr. [09.3.3-LMT-K-712-15-0265]) pagal dotacijos sutartį su Lietuvos mokslo taryba (LMTLT)

Išvados

1. Per analizuojamą 3 metų laikotarpį patikimiausios mėnesio trukmės oro temperatūros prognozės Lietuvos teritorijai nustatytos lapkričio mėnesiui, o mažiausiai patikimos – vasario. Su didžiausiu ankstumu (prieš 3–6 mėn.) tiksliausias oro temperatūros anomalijų prognozes Lietuvai sudarė DWD bei CMCC prognostiniai centrai, o mažiausiu ankstumu (prieš 1–2 mėn.) – CMCC, ECMWF ir Meteo–France.
2. Labiausiai patikimos mėnesio kritulių prognozės sudarytos pagal Meteo–France modelį, o mažiausiai patikimos – pagal DWD ir CMCC. Mažiausio ankstumo (1–2 mėn.) kritulių prognozės buvo tiksliausios.
3. Labiausiai patikimos oro temperatūros sezoninės prognozės Lietuvos teritorijai sudarytos žiemos ir pavasario, o mažiausiai patikimos – rudens sezonams. Daugiausia tokių patikimų prognozių sudarė Meteo–France (žiemos–vasaros mėn.) bei UKMO (žiemos, pavasario bei rudens mėn.) modeliai.
4. Tiksliausiai krituliai Lietuvos teritorijai prognozuoti žiemos ir rudens sezonais. Žiemos sezono kritulių kiekį geriausiai numatė visų naudojamų klimato modelių ansamblio vidurkis, DWD ir CMCC prognostiniai modeliai, o rudens – Meteo–France modelis. Labiausiai netikslios kritulių prognozės tenka pavasario sezonui.
5. 2017 m. spalio, 2019 m. balandžio ir birželio mėnesiais susidarius labai didelėms kritulių/ oro temperatūros anomalijoms Lietuvoje C3S sistemos prognozių patikimumas pasirodė esąs, nedidelis. Oro temperatūros vidutinė paklaida 2019 m. birželio mėn. sudarė 4.3 – 6.9 °C skirtingo ankstumo prognozėse. 2017 m. spalio ir 2019 m. balandžio mėnesį nei vieno modelio prognozuoti krituliai neatitiko stebėtos kritulių kategorijos – dažniausiai prognozavo „normą“.

Literatūros sąrašas

Brookshaw A., Thepaut J. 2018. The Copernicus Climate Change Service (C3S) presentation. http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcasp/documents/workshop/ (paskutinį kartą žiūrėta 2019.08.31).

Copernicus Climate Change Service. 2019. Seasonal monthly statistics on single levels https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/ (paskutinį kartą žiūrėta 2019.08.31).

European Centre for Medium–Range Weather Forecasts (ECMWF). 2019. https://confluence.ecmwf.int/display/COPSRV/C3S+Seasonal+Forecast (paskutinį kartą žiūrėta 2019.08.31).

Gneiting T., Raftery E. 2005. Weather Forecasting with Ensemble Methods. *Science: 310, 248*. DOI: 10.1126/science.1115255.

Hersbach H., Dick D. 2016. ERA5 reanalysis is in production. ECMWF newsletter. https://www.ecmwf.int/en/newsletter/147/news/era5–reanalysis–production (paskutinį kartą žiūrėta 2019.08.31).

James P. M. 2006. An objective classification method for Hess and Brezowsky Grosswetterlagen over Europe. *Theoretical Applied Climatology. 88, 17–42.* DOI: 10.1007/s00704–006–0239–3.

Khokhlov V., Umanska O. 2018. European Atmospheric Circulation Classifications. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*. 16(3): 1–8. ISSN: 2454–7352.

National Institute of Water and Atmospheric Research (NIWA). Improving–seasonal–climate–forecasts. https://www.niwa.co.nz/news/improving-seasonal-climate-forecasts (paskutinį kartą žiūrėta 2019.08.31).

NOAA ERSL. Monthly composites. https://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi–bin/data/composites/printpage.pl (paskutinį kartą žiūrėta 2019.08.21).

NOAA ERSL. Writ tool. https://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi–bin/data/testdap/timeseries.pl (paskutinį kartą žiūrėta 2019.08.21).

OGIMET. Country summaries. http://www.ogimet.com/home.phtml.en (paskutinį kartą žiūrėta 2019.08.21).

Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI). Archyvinės sinoptinės schemos. http:// www.knmi.nl/nederland–nu/klimatologie/ (paskutinį kartą žiūrėta 2019 08 31).

Soares M. B., Dessai S. 2015. Exploring the use of seasonal climate forecasts in Europe through expert elicitation. *Climate Risk Management Volume 10, 2015, Pages 8–16*. https://doi.org/10.1016/j.crm.2015.07.001.

Weisheimer A, Palmer TN. 2014. On the reliability of seasonal climate forecasts. *J. R. Soc. Interface 11: 20131162*. http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2013.1162.

Werner P. C., Gerstengarbe F. W. 2010. Katalog der grosswetterlagen Europoas (1881–2009). *Postdam institute climate impact research*. ISSN 1436–0179 [in Germany].