



VILNIAUS UNIVERSITETAS
CHEMIJOS IR GEOMOKSLŲ FAKULTETAS
GEOMOKSLŲ INSTITUTAS
KARTOGRAFIJOS IR GEOINFORMATIKOS KATEDRA

Dainius Frišmantas

Kartografijos magistro studijų programos baigiamasis darbas

GAUSIŲ KRITULIŲ LIETUVOJE
KARTOGRAFAVIMO METODIKA
MAPPING OF HEAVY RAINS IN LITHUANIA

Darbo vadovas

doc. dr. Gintautas Stankūnavičius

Leidžiama ginti _____ (parašas)

Darbo įteikimo data _____

Registracijos Nr. _____

Vilnius, 2021

TURINYS

Anotacija	3
ĮVADAS	4
TERMINŲ IR SANTRUMPŲ ŽODYNĖLIS	6
1. LITERATŪROS APŽVALGA	8
1.1 Pakartotinės analizės ir jų panaudojimas tyrimuose.....	10
1.2 Kritulių lauko analizės tyrimai Lietuvoje.....	12
1.3 Kritulių lauko analizės tyrimai užsienyje.....	13
1.4 Interpoliacijos metodų taikymas kritulių laukui	15
2. PANAUDOTI DUOMENYS IR DARBO METODIKA	20
2.1 Sausumos meteorologijos stočių kritulių duomenys.....	20
2.2 Copernicus klimato kaitos duomenų bazė.....	23
2.3 Kritulių duomenys pakartotinių analizių duomenų bazėse.....	23
2.4 Heso-Brezovskio atmosferos cirkuliacijos formų klasifikacijos metodika	27
3. DARBO REZULTATAI	32
3.1 GAUSIŲ KRITULIŲ KARTOGRAFINĖ ANALIZĖ	32
3.1.1 Erdvinis pasiskirstymas Pietryčių Baltijos regione.....	32
3.1.2 Pagrindinės gausių kritulių lauko charakteristikos	38
3.2 METEOROLOGINIŲ SĄLYGŲ ANALIZĖ	42
3.2.1 Gausių kritulių sinoptinės sąlygos.....	42
3.2.2 Integruoto vandens garų kiekio ir kritulių lauko sąsajos.....	48
3.2.3 Didelio masto atmosferos cirkuliacijos formų klasifikacija.....	54
IŠVADOS	57
REKOMENDACIJOS	58
LITERATŪROS SĄRAŠAS	59
PRIEDAI	64

Frišmantas D. Gausių kritulių Lietuvoje kartografavimo metodika. Magistro darbas. Vilnius: VU. 2021.

Anotacija. Kritulių kiekis – vienas iš labiausiai besikeičiančių klimato rodiklių, kuris daro įtaką hidrologiniam režimui, žmogui ir jo ūkinei veiklai. Labai smarkios trumpalaikės liūtys arba užsitęsę lietingi laikotarpiai Lietuvoje pasižymi didele kaita laike ir erdvėje. **Darbo tikslas** – kartografuoti gausių kritulių erdvinį pasiskirstymą Lietuvoje susiejant juos su meteorologinėmis sąlygomis. Tikslui pasiekti buvo išskelti 5 uždaviniai: kartografuoti gausių kritulių epizodus; atlikti kritulių laukų analizę, remiantis meteorologinių stebėjimų tinklo bei pakartotinės analizės duomenimis; nustatyti gausių kritulių epizodų statistinius rodiklius; įvertinti meteorologines sąlygas lemiančias gausius kritulius, susiejant jas su integruoto vandens garų kiekiu atmosferoje ir nustatyti atmosferos cirkuliacijos tipus palankius susidaryti gausiems krituliams Lietuvoje remiantis Heso-Brezovskio atmosferos procesų klasifikacija. Šiems uždaviniams spręsti buvo surinkti duomenys iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos, Copernicus klimato kaitos duomenų bazės. **Tyrimo objektas** – 2011-2018 metų šiltojo sezono (gegužė – rugsėjis) gausių kritulių epizodai. Analizuoti epizodai, kai per parą kritulių kiekis didesnis negu 30 mm bent vienoje Lietuvos meteorologijos stotyje. Pagal sukurtą metodiką ir analizės rezultatus galima analizuoti bet kurio kito laikotarpio gausių kritulių epizodus bei lyginti jo kaitą erdvėje ir laike. Tyrimas labai svarbus ekstremalių reiškinių (intensyvaus lietaus) sukeltos žalos nustatymui, draudimo išmokoms, upių poplūdžių prognozavimui, žemės ūkio darbų planavimui, hidrologiniam modeliavimui. Atlikta analizė buvo automatizuota pasitelkiant ArcGIS programinę įrangą.

Tekstas 63 psl., priedai 6 psl., 38 pav., 3 lentelės. Santrauka lietuvių ir anglų kalbomis.

Reikšminiai žodžiai: gausūs krituliai, pakartotinė analizė, GIS, kartografavimas, atmosferos cirkuliacija

IVADAS

Labai smarkios trumpalaikės liūtys arba užsitęsę lietingi laikotarpiai Lietuvoje pasižymi didele kaita laike ir erdvėje. Kritulių kiekis – vienas iš labiausiai besikeičiančių klimato rodiklių, kuris daro įtaką hidrologiniam režimui, žmogui ir jo ūkinei veiklai. **Problema.** Gausūs krituliai yra netiksliai prognozuojami ir diagnozuojami dėl sudėtingos savo erdvinės struktūros, skirtingų genezės sąlygų ir lokalumo. Anksčiau (prieš 15–20 metų) tokie atvejai bei jų charakteristikos buvo tiriamos remiantis tik meteorologinių stočių duomenimis. Tikslaus šių reiškinių erdvių charakteristikų vaizdo nebuvo galima pilnai atskleisti dėl nepakankamai tankaus meteorologinių stočių (kritulmačių) tinklo (Frišmantas ir Stankūnavičius, 2020).

Aktualumas. Tyrimas labai svarbus ekstremalių reiškinių (intensyvaus lietaus) sukeltos žalos nustatymui, draudimo išmokoms, upių poplūdžių prognozavimui, žemės ūkio darbų planavimui, hidrologiniam modeliavimui (Frišmantas ir Stankūnavičius, 2020). Be to, smarkūs lietūs yra dažnai susiję su intensyviomis perkūnijomis, škvalu, kruša, kartais viesulu. Draudimo įmonės paprastai kompensuoja įmonių arba fizinių asmenų suniokotą turtą pagal tik vienos arba kelių aplinkinių meteorologijos stočių duomenimis, kurios paprastai išsamiai negali reprezentuoti tokių lokalių reiškinių. Erdvinis kritulių kiekio pasiskirstymas yra svarbus hidrologiniam modeliavimui (Ly ir kiti, 2013; Meyer ir kiti, 2020). Smarkios liūtys yra dažniausiai pasitaikantis pavojingas reiškinys Lietuvoje (Kilpys, 2015).

Vidutiniškai per metus į Lietuvą atslenka apie 100 ciklonų, iš kurių apie 50 % - iš vakarų, o 20 % iš šiaurės. Ciklonų, kurie atkeliavo iš rytų pasitaiko retai, bet jie lemia intensyvius kritulius. Liūtiniai krituliai dažnai atslenka su pietiniais ciklonais. Ne visos liūtys yra užfiksuojamos meteorologijos stotyse, nes tokie krituliai yra labai lokalūs (Galvonaitė ir kt., 2013). Smarkios liūtys yra susijusios su klimato kaita, nes dėl šylančio klimato atmosfera gali išlaikyti didesnę kiekį drėgmės. Vasaros sezonu kritulių kiekis gali padidėti nuo 15 iki 35 % (Europos aplinkos agentūra, 2019). Ekstremalių kritulių atvejų prognozavimas yra svarbus inžinerijoje projektuojant pastatų konstrukcijas. Smarkios liūtys gali sukelti poplūdžius, užkemša lietaus nuotekų sistemas, apsemia žemės ūkio naudmenas, paveikia nekilnojamą turtą, daro neigiamą poveikį vandens kokybei bei žmonių gyvybei. Smarkios liūtys apsunkena bei sutrikdo elektros linijų darbą, dujų eksploataciją bei durpių gavybą vasaros metu. Smarkūs krituliai gali visai sustabdyti statybos ir lauko darbus (Galvonaitė ir Valiukas, 2009).

Detaliam kritulių lauko erdviniam pasiskirstymui naudojama atmosferos pakartotinė analizė (reanalizė) – determinuotas rekonstrukcijų metodas, kuris leidžia atkurti istorinius bei trimačius atmosferos duomenis pagal tam tikrą pradinių duomenų kiekį juos panaudojant šiuolaikiniuose bendrosios atmosferos ir vandenyno cirkuliacijos modeliuose. Erdvinė atmosferos

kintamųjų raiška padidinama asimiliuojant stebėjimo duomenis į atmosferos modelį ir sutankinant modelio tinklę. Pagal Europos vidutinės trukmės orų prognozių centrą reanalizės privalumas prieš istorinius meteorologinius duomenis yra toks, kad ji pateikia daugiasluksnį, erdvinį, nuoseklų be duomenų trūkių išvesties produktą. Reanalizė teikia reguliarius vienodo erdvės ir laiko žingsniu pasiskirsčiusius duomenis net ir tose vietose, kur stebėjimų nėra arba jų nedaug (Schimanke ir kiti, 2020).

Naujumas. Lietuvoje yra vykdyta daug mokslinių tyrimų, kurie skirti procesų ar objektų kartografavimui, erdvinei analizei arba meteorologinių bei stichinių reiškinių analizei. Šis darbas unikalus tuo, kad jame šie trys minėti aspektai yra sujungti į vieną tyrimą. Daug tyrimų atlikta naudojant mėnesio ar metinį kritulių kiekį bei momentinį kritulių intensyvumą, tačiau tik keli tyrimai sieja paros kritulių kiekį su visu lietų produkuojančiu epizodu. Gausių kritulių analizei skirta nedaug darbų (Tylienė, 1988; Galvonaitė, 1998; Kažys ir kt., 2009; Rimkus ir kiti, 2011). Taip pat, daugėjant klimato ir hidrometeorologinių duomenų bazėms, ypač sukurtoms remiantis pakartotine analize (taikant skaitinius modelius), tai bene pirmasis darbas Lietuvoje skirtas kritulių lauko charakteristikoms tirti pagal aukštos raiškos reanalizės duomenis.

Tyrimo tikslas – kartografuoti gausių kritulių erdvinį pasiskirstymą Lietuvoje susiejant juos su meteorologinėmis sąlygomis. Atlikta analizė buvo automatizuota pasitelkiant ArcGIS programinę įrangą. **Pritaikomumas.** Pagal sukurtą metodiką ir analizės rezultatus galima analizuoti bet kurio kito laikotarpio gausių kritulių epizodus bei lyginti jo kaitą erdvėje ir laike. Darbo rezultatus galima pritaikyti didinant prognozių ir perspėjimų apie pavojingų meteorologinių reiškinių (gausaus lietaus) tikslumą. Sudaryti gausių kritulių lauko žemėlapius leido tiksliau atskleisti, kaip keičiasi kritulių lauko erdvinės charakteristikos ir kritulių kiekis judant ir evoliucionuojant kritulius generuojančioms sistemoms (atmosferos frontai, konvekcinės sistemos). Plačiai naudojama Europoje Heso-Brezovskio atmosferos procesų klasifikacija leido atskleisti pagrindines didelio masto atmosferos cirkuliacijos lauko, palankaus susidaryti gausiems krituliams Lietuvoje, savybes.

Magistro darbo išskelti **uždaviniai**:

1. Kartografuoti gausių kritulių epizodus.
2. Atlikti kritulių analizę, remiantis meteorologinių stebėjimų tinklo bei pakartotinės analizės duomenimis.
3. Nustatyti gausių kritulių epizodų statistinius rodiklius.
4. Įvertinti meteorologines sąlygas lemiančias gausius kritulius, susiejant jas su integruoto vandens garų kiekiu atmosferoje.
5. Nustatyti atmosferos cirkuliacijos tipus palankius susidaryti gausiems krituliams remiantis Heso-Brezovskio metodika.

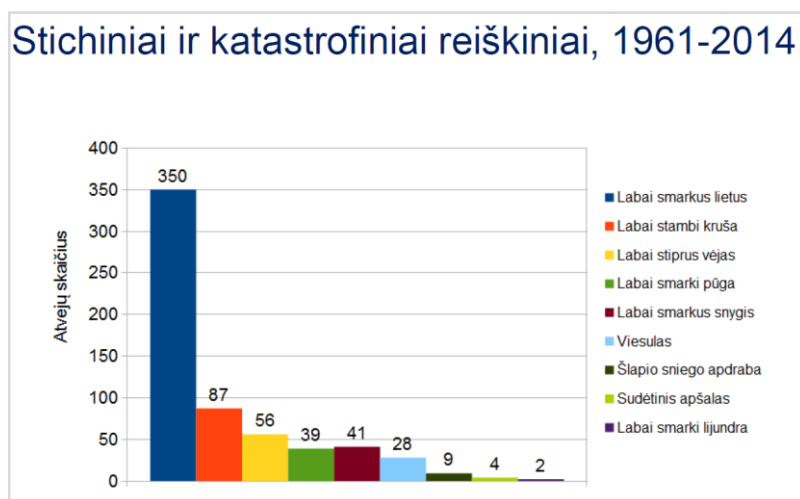
TERMINŲ IR SANTRUMPŲ ŽODYNĖLIS

- **CDS API** (*angl. Climate Data Store Application Program Interface*) – klimato duomenų saugykla, kuri yra pasiekama naudojant Python ar kitą programavimo kalbą ir leidžianti automatiškai parsisiųsti bei išsaugoti duomenis iš duomenų bazės;
- **C3S** – Copernicus klimato kaitos sistema;
- **ECMWF** (*angl. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) – Europos vidutinės trukmės orų prognozių centras;
- **ERA5** (*angl. fifth generation ECMWF atmospheric reanalysis*) – naujausia klimato ECMWF pakartotinė analizė (reanalizė);
- **ERA5-land** (*angl. fifth generation ECMWF atmospheric reanalysis on land*) – žemės paviršiaus duomenų rinkinys, kurio skiriamoji geba yra 10 km, atitinkantis atmosferos duomenis ERA5 reanalizėje nuo 1979 metų;
- **EUMETSAT** (*angl. European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*) – Europos meteorologinių palydovų eksploatacijos organizacija;
- **DWD** (*vok. Deutscher Wetterdienst*) – Vokietijos orų tarnyba;
- **GCOS** (*angl. Global Climate Observing System*) – pasaulinė klimato stebėjimo sistema;
- **GMES** (*angl. Global Monitoring for Environmental and Security*) – pasaulinė aplinkos ir saugumo stebėjimo programa;
- **GRIB** (*angl. GRIdded Binary*) – duomenų formatas dažnai naudojamas meteorologijoje norint kaupti ir saugoti istorinius bei prognozuojamus duomenis. Jį standartizuoja Pasaulinės meteorologinės organizacijos pagrindinių sistemų komisija;
- **HARMONIE** (*angl. Hirlam Alladin Regional/Mesoscale Operational Numerical weather predictions In Europe*) – aukštos erdvinės raiškos mezo-masto orų prognozės modelis;
- **IDW** (*angl. Inverse distance weight*) – atvirkščiai proporcingo atstumo interpoliacijos metodas;
- **IVG** (*angl. Integrated Water Vapour Column Over Water*) – integruotas vandens garų kiekis atmosferos stulpe (kg/m^2);
- **KNMI** (*oln. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut*) – Karališkasis Nyderlandų Meteorologijos institutas;
- **LHMT** – Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba prie Aplinkos ministerijos;
- **MESCAN-SURFEX** – aukštesnės raiškos UERRA reanalizė skirta tik priežemio meteorologinių kintamųjų analizei;

- **NetCDF** (*angl. Network Common Data Form*) – tai metaduomenų formatas susijęs su programinės įrangos biblioteka ir duomenų rinkiniu, palaikančiu didelių duomenų masyvų kūrimą, prieigą bei dalijimąsi moksliniais duomenimis;
- **UERRA** (*angl. Uncertainties in Ensembles of Regional Reanalysis*) – Europos regioninė reanalizė su 5,5 kilometrų horizontalia erdvine raiška;
- **UKMO** (*angl. Met Office*) – Jungtinės Karalystės orų tarnyba;
- **UM** (*angl. Unified Model*) – skaitmeninis orų prognozavimo ir klimato modeliavimo programinės įrangos rinkinys, sukurtas Jungtinės Karalystės orų tarnyboje, kuri dabar naudoja ir toliau tobulina daugybę orų prognozių agentūrų visame pasaulyje;
- **UTC** (*angl. Coordinated Universal Time*) – Pasaulinis koordinuotasis laikas;
- **WCRP** (*angl. World Climate Research Programme*) – pasaulinė klimato tyrimo programa;
- **WMO** (*angl. World Meteorological Organization – WMO*) – Pasaulinė meteorologijos organizacija;

1. LITERATŪROS APŽVALGA

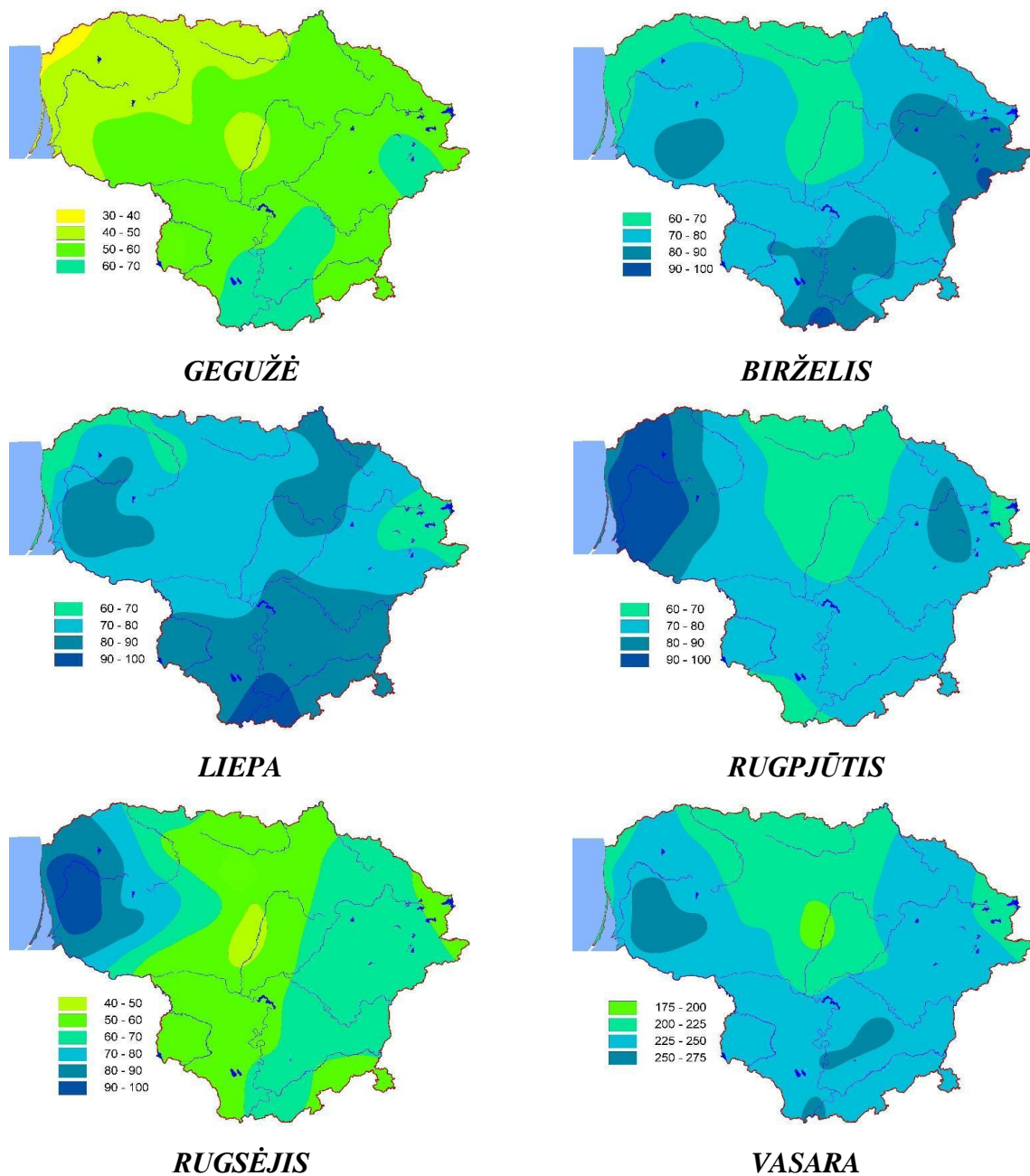
Kritulių kiekis – tai vandens sluoksnio storis, susidaręs ant horizontalaus paviršiaus, laikant, kad vanduo neišgaruoja, nenuteka ir nesusigeria. Smarki ir intensyvi liūtis gali sukelti nuošliaužas, ardyti šlaitus bei gilinti griovas. Kritulių kiekį lemia atmosferos cirkuliacija, geografinė padėtis, vietovės reljefas bei nuotolis nuo jūrų ar vandenynų. Vidutiniškai per metus 1981–2010 m. laikotarpiu Lietuvoje iškrito 695 mm kritulių, tačiau kiekvienais metais šis kiekis svyruoja nuo 560 iki 910 mm. Smarkios liūtys yra dažniausiai pasitaikantis stichinis/ katastrofinis reiškinys Lietuvoje (1.1 pav.) (Kilpys, 2015).



1.1 pav. Stichiniai ir katastrofiniai reiškiniai 1961–2014 metais Lietuvoje. Diagrama paimta iš LHMT prezentacijos (Kilpys, 2015)

Lietuvoje smarkios liūtys bei gausūs krituliai galimi kiekvieną šiltojo sezono mėnesį. Pagal LHMT pateiktus ekstremalių reiškinų rekordus, didžiausias paros kritulių kiekis per visą stebėjimų istoriją buvo 250 mm, kuris buvo užfiksuotas 1980 metais liepos 2 d. Dusetose. 1985 m. gegužės 31 d. Aunuvėnuose per 2 val. iškrito 115,2 mm kritulių (mėnesio norma ~ 50 mm). 1971 m. birželio 11 d. Pasvalyje dėl smarkios liūtis per 1 val. iškrito 93 mm kritulių. 2007 m. liepos 7 d. Trakuose per 12 val. iškrito 86 mm kritulių. 1963 m. rugsėjo 3 d. Skuode iškrito 113,0 mm kritulių (beveik dviguba mėnesio norma).

Lietuvoje mažiausiai kritulių per mėnesį iškrenta balandžio (36 mm) ir vasario (29 mm) mėnesiais, o daugiausia – liepos (79 mm) ir rugpjūčio (77 mm) mėnesiais (1.2 pav.). Šiltuoju metų laiku dėl didelių oro temperatūros kontrastų, konvekcinių procesų bei didesnio vandens garų kiekio iškrenta didesnis kritulių kiekis nei šaltuoju metų sezonu. Kartais per kelias valandas mažame plote iškrinta viso mėnesio, o kartais dvi ar trys kritulių normos (Galvonaitė ir kt., 2013).



1.2 pav. Kritulių kiekio (mm/mėn., mm/sezoną) klimatinė norma (1981-2010 metais) Lietuvoje skirtingais šiltojo sezono mėnesiais bei per kalendorinės vasaros sezoną (LHMT, 2009)

Hidrometeorologinis reiškinys – procesų, vykstančių atmosferoje ir paviršiniuose vandenyse, kokybinis apibūdinimas (lietus, kruša, škvalas, perkūnija, potvynis). Viršydami nustatytus kriterijus reiškiniai tampa pavojingi. Smarkios liūtytys apsunkina bei sutrikdo elektros linijų darbą, dujų eksploataciją bei durpių gavybą vasaros metu. Smarkūs krituliai gali visai sustabdyti statybos darbus, sukelti vandens lygio pokyčius upėse ir užlieti statybvietses, sustabdyti lauko darbus. Smarkūs liūtytys pakelia gruntinio vandens lygį, tai kenkia pastatų rūsiams, pamatams (Galvonaitė ir Valiukas, 2009).

Dėl lietaus mažėja meteorologinio matomumo nuotolis, taip pat apsunkina transporto darbą, nes smarkus lietus krinta ant automobilio stiklo kaip uždanga, sumažėja transporto priemonių

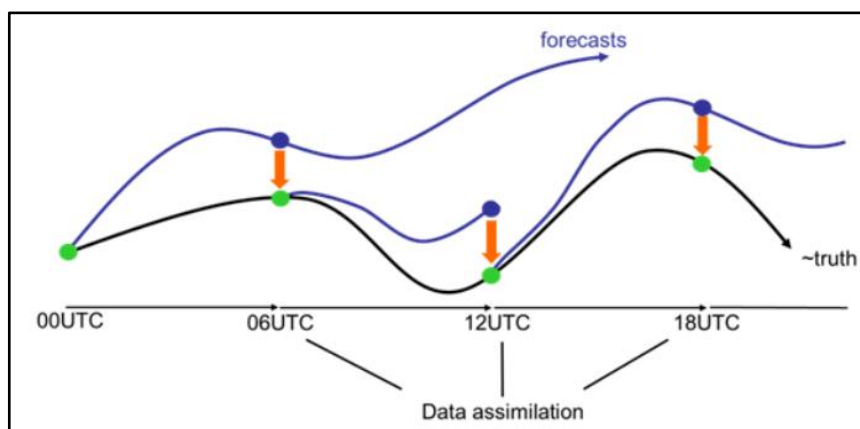
sukibimo koeficientas su kelio dangą. Smarkus liūtinis lietus, iškritęs per trumpą laiką, apsemia miesto gatves, laikinai gali visiškai paralyžuoti transporto eismą mieste ar gerokai apsunkinti judėjimą kelyje. Oro navigacijoje labai svarbi informacija yra apie kritulių pobūdį ir intensyvumą, nes smarkiai liūčiai artėjant link orlaivio gali atrodyti, kad horizontas artėja lėčiau. Iškritus smarkiam lietai dalis žemdirbystės plotų gali būti apsemti ir grėsti pasėlių išmirkimas (Galvonaitė ir Valiukas, 2009).

1.1 Pakartotinės analizės ir jų panaudojimas tyrimuose

Atmosferos pakartotinė analizė (toliau – **reanalizė**) – rekonstrukcijų metodas, kuris leidžia atkurti istorinius meteorologinius duomenis, kurie gauti asimiliuojant įvairius stebėjimo duomenis: gautus iš palydovų, nuotolinių stebėjimų, meteorologijos stočių vandenyno plūdurių pritaikant juos prie skaitmeninio modelio struktūros. (1.3 pav.). Reanalizės sistemos viena nuo kitos skiriasi pradinių (stebėjimo) duomenų rinkinio dydžiu ir stebėjimo šaltinių kiekiu, naudojamo dinaminio modelio struktūra, duomenų paklaidų traktavimu ir kitomis savybėmis. Kalnuotose vietovėse ir pakrančių zonose paprastai yra mažiau patikimos meteorologinės informacijos nei homogeniškose vietovėse. Modeliai negali tiksliai įvertinti greitai besikeičiančio reljefo ir kraštovaizdžio elementų (pavyzdžiui, urbanizuota aplinka, miškai, dirvožemių tipai ir jų drėgnumas). Meteorologinių stebėjimų sistema laikui bėgant drastiškai pasikeitė bei išstobulėjo duomenų asimiliacijos metodai. Nors asimiliacijos sistema ir gali pašalinti duomenų "trūkumus", tačiau pernelyg retas meteorologinių stebėjimų tinklas, pavyzdžiui, XIX a. septintajame dešimtmetyje, daro įtaką galutinių duomenų kokybei. Dėl to paprastai iš reanalizės duomenų nesitikima tokio pat tikslumo kaip XX a. pabaigoje.

GRIB – tai Pasaulinės meteorologijos organizacijos duomenų standartas. Duomenų formatas naudojamas meteorologijoje norint kaupti ir saugoti istorinius bei prognozuojamus duomenis. NetCDF yra viešai prieinamas duomenų rinkinys bei ši duomenų formatą galima apdoroti naudojant ArcGIS PRO. Formatas populiarus hidrometeorologijoje bei GIS. NetCDF failai kaupia duomenis apie kintamųjų/ parametrų vienetus, matavimo platformą, datą ir vietą, pagrindines elementų charakteristikas. Tai taip pat lengvai apdorojami duomenys, nes galima išgauti informaciją apie dominantį regioną. ArcGIS PRO platformoje galima sukurti rastrinį, vektorinį sluoksnį bei atributines lenteles naudojant daugialypį¹ duomenų masyvo įrankį. NetCDF failą sudaro metaduomenys, kintamieji bei atributai. Visi šie komponentai leidžia suprasti ryšį tarp duomenų, parametrų. Kintamieji gali būti koordinatė, laikas ir aukštis.

¹ *multidimensional* – angl.



1.3 pav. Stebėjimo duomenų asimiliacijos pakartotinės analizės modelyje schema. Schema paimta iš Schimanke (2020)

MESCAN-SURFEX asimiliacijos sistema gali įvertinti stebėjimų paklaidas ir atskirti geros kokybės duomenis nuo prastų duomenų. Reanalizė yra labai patogus ir populiarus duomenų rinkinys su kuriuo galima analizuoti įvairaus tipo duomenis. Stebėjimo sistema laikui bėgant drastiškai pasikeitė ir padidėjus horizontaliai skiriamajai gebai, leidžiančiai įtraukti daugiau regioninių detalių, padidėjo duomenų patikimumas ir reanalizės pritaikymas išaugo. Tai leidžia sistemai naudoti net daugiau stebėjimų vietose, kur yra tankūs stebėjimo tinklai.

UERRA – neapibrėžtumas regioninių reanalizių ansambliuose. UERRA projektą sudaro 2 dalys: daugialypis 3 dimensijų duomenų masyvas UERRA-Harmonie (11 x 11 km horizontali raiška) ir 2 dimensijų **MESCAN-SURFEX** analizė, kurios horizontali raiška yra 5,5 x 5,5 km. UERRA duomenų rinkinys apima žemiausio atmosferos sluoksnio bei kelis gretimus paviršiumi sluoksnius su atitinkamais kintamaisiais. UERRA duomenų bazė sudaryta 1961 (sausis) - 2019 (liepa) metų laikotarpiui. Tai sutampa su kitos reanalizės - ERA-Interim galiojimo pabaiga. Paviršiaus analizei sukurti naudojama MESCAN-SURFEX 2D analizės sistema, kurią sudaro UERRA Harmonie reanalizės laukas su papildomais paviršiaus stebėjimais 5,5 x 5,5 km skiriamąja raiška visoje Europoje. Nuo 2001 m. į reanalizę įtraukti ne tik meteorologiniai stebėjimai sausumos stotyse, bet ir jūrinių plūdurių, radiozondų, lėktuvų ir kt. duomenys. Vidutiniškai 1 tinklelio taškas apytiksliai reprezentuoja 30 km² teritorijos. UERRA reanalizėje kritulių kiekio duomenys apibrėžti kaip bendras kritulių kiekis, patenkančių į žemės/ vandens paviršių, kiekis. Tai apima visų rūšių kritulius: konvekciniai krituliai, didelio masto krituliai, skysti ir kieti krituliai, o jų vienetai yra kg/m². Kritulių kiekis šioje duomenų bazėje – prasideda pirmos paros 6 val. Grinvičo laiku (UTC) ir baigiasi antros paros 6 UTC. UERRA yra kelių modelių ansamblis, sudarytas iš kelių narių (UM, HARMONIE ir MESCAN), kurie kartu pateikia realistiškesnį neapibrėžtumo įvertinimą nei vienas modelis (Kaiser-Weiss ir kiti, 2019).

MESCAN-SURFEX pateikia tikslesnius kasdienius akumuliuoto kritulių kiekio per 24 val. laikotarpį duomenis bei 6 valandų oro temperatūros ir santykinio drėgnumo 2 metrų aukštyje vidurkius. Reanalizė naudoja optimalų interpoliacijos metodą (OI). Optimali interpoliacija – Gauso ir Markovo glodinimo – mažiausių kvadratų metodas. Pavyzdžiui, radiozondų išmatuota oro temperatūra turi didesnę svartinę indėlį konkrečios vietovės oro temperatūrai nei, pavyzdžiui, palydovinio zondavimo duomenys. Optimaliu interpoliacijos metodu stengiamasi sumažinti bendrą visų stebėjimų paklaidų dydį, kad būtų sukurtas „idealus“ ir ištisinis meteorologinių kintamųjų išvesties laukas (Schimanke ir kiti, 2020).

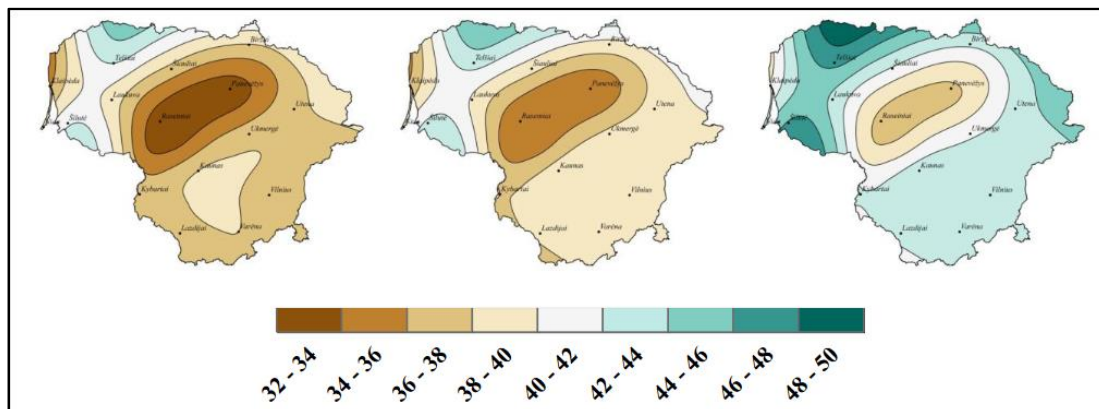
ERA5 yra penktosios kartos ECMWF atmosferos reanalizė. Reanalizė yra nepriklausoma nuo prognozių generavimo terminų, todėl yra daugiau laiko rinkti stebėjimus ir derinti stebėjimų duomenis laike ir erdvėje, taip pat jos yra žymiai lankstesnės įvairiems patobulinimams ir atnaujinimams. ERA5 laikinė duomenų raiška – 1 valanda globaliu mastu (Hennermann, 2020)

ERA5-land yra reanalizės duomenų rinkinys, teikiantis nuoseklų žemiausio atmosferos sluoksnio ar integruotų iki žemės paviršiaus kintamųjų duomenis už kelis dešimtmečius padidinta (lyginant su ERA5) erdvine raiška. ERA5-land buvo sukurtas pakartojant ECMWF ERA5 klimato reanalizę, papildant ją priežemio duomenimis. Stebėjimai nėra tiesiogiai naudojami „gaminant ERA5-land“ duomenų masyvą, tačiau jie turi netiesioginę įtaką duomenis suderinant su skaitmeniniu modeliu. ERA5-land reanalizė turėtų būti labai naudinga prognozuojant potvynius ir sausrą. Erdvinė ir laiko duomenų rinkinio raiška, laikotarpis, taip pat fiksuotas tinklėlis yra tinkamas įrankis sprendimų priėmėjams, įmonėms bei asmenims suteikia prieigą ir tikslesnę informaciją apie Žemę ir jos pokyčius. ERA5-land duomenys laikinė raiška – 1 valanda. Kritulių kiekis, pateiktas ERA5 ir ERA5-land duomenų bazėje, apibrėžtas, kaip susikaupęs skystas ar užšalęs vanduo, įskaitant lietų ir sniegą, kuris patenka ant paklotinio paviršiaus. Tai yra didelio masto kritulių (susidarančių dėl ciklono slėnio ir šalto fronto) ir konvekcinių kritulių (susidarančių dėl kylančio šiltesnio oro konvekcijos) suminis intensyvumas. Krituliams nepriskiriamas rūkas, rasa ar krituliai, kurie išgaruoja atmosferoje. Lyginant modelio kintamuosius su meteorologiniais stebėjimais, reikia įvertinti kritulių lokalumą, kurio kartais nefiksuoja sausumos meteorologinės stotys (Yang, 2020).

1.2 Kritulių lauko analizės tyrimai Lietuvoje

Bukantis ir kiti mokslininkai 2015 metais nustatė, kad gausių kritulių epizodų dažnis bei lietingų dienų skaičius, kai per parą iškrenta daugiau nei 10 mm kritulių didės. Taip pat, didės metiniai paros kritulių kiekio maksimumai. Remiantis blogiausiu RCP 8.5 klimato kaitos scenarijumi centrinėje Lietuvos dalyje kritulių kiekio maksimumas gali padidėti iki 17,4 % (1.4 pav.). 2013 m. Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos atliktoje klimato kaitos ataskaitoje

nurodoma, kad Vilniuje išaugs lietingų laikotarpių, kai per 3 dienas iškrenta daugiau 50 mm, tikimybė 27 % ir tokių epizodų pasitaikys beveik kasmet. Nustatyta, kad vidutinis maksimalus paros kritulių kiekis per para XXI a. didės bei amžiaus pabaigoje vidutinis maksimalus paros kritulių kiekis sieks 98 mm ir bus apie 15 % didesnis nei 1981-2010 m. laikotarpiu.



1.4 pav. Metinis paros kritulių kiekio maksimumas Lietuvoje 1986-2005 metais (kairėje) ir prognozuojamas 2081–2100 m. laikotarpiu pagal RCP2.6 (viduryje) ir RCP8.5 (dešinėje) scenarijus (mm) (Gamtos paveldo fondas, 2015)

Grinevič ir Bukantis 2011 metais analizavo gausių kritulių Lietuvos upių baseinuose tikimybę. Dažniausiai gausių kritulių epizodai Lietuvoje buvo susiję su aukštuminio (700 hPa) ciklono pietvakarine ir pietrytine dalimi ir priežemio ciklono centrine dalimi. Nustatyta, kad 63,16 % epizodų gausius kritulius lėmė šaltasis atmosferos frontas, 12,28 % šiltasis ir 24,56 % buvo susiję su okliuzijos frontais. Dažniausiai šaltųjų frontų sukeliama gausūs krituliai pasitaiko liepos mėnesį. Taip pat, gausius kritulius analizavo (Kažys ir kiti, 2009) Lietuvoje 1961–2008 metais. Vakarų Lietuvoje gausūs krituliai dažniausiai pasitaiko antroje vasaros pusėje bei rudenį, o likusioje šalyje dažniausiai vasaros mėnesiais. Dažniausiai smarkios liūtys (> 30 mm per parą) nustatomos slenkant banguotiems šaltiems frontams arba intensyvių vidumasinių procesų metu.

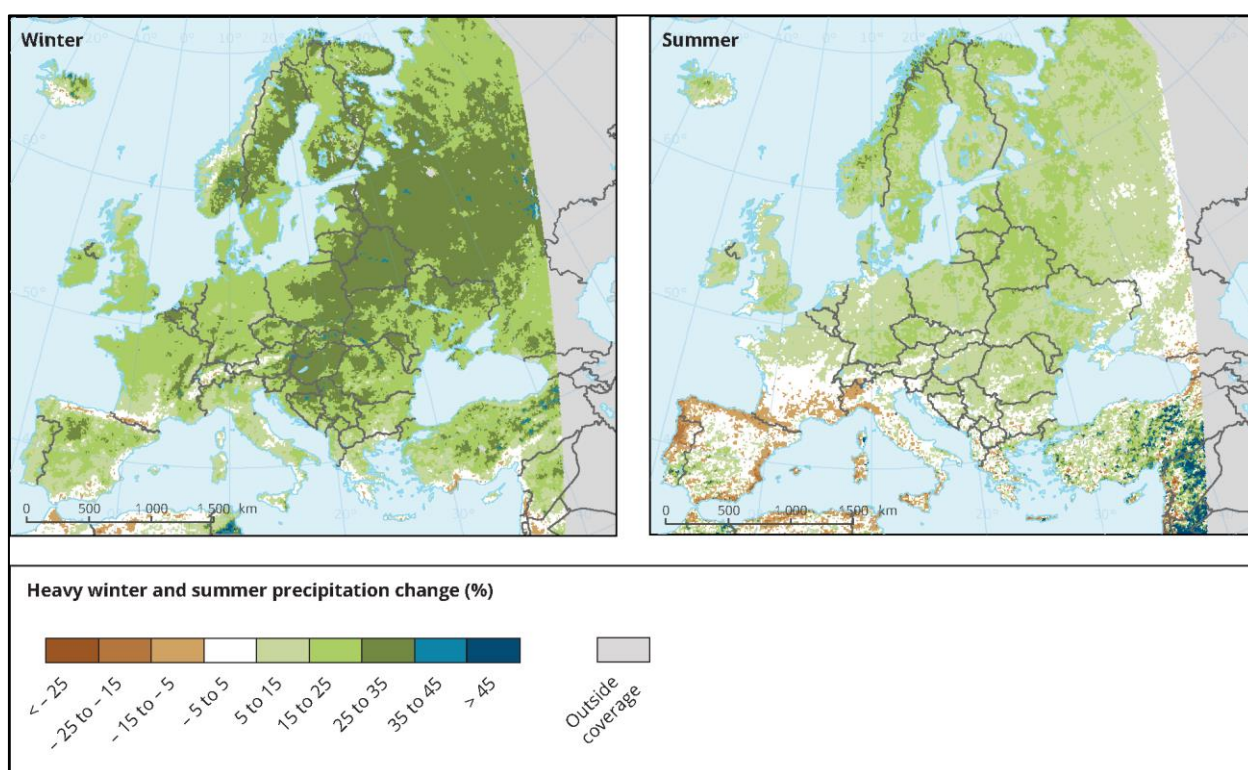
1.3 Kritulių lauko analizės tyrimai užsienyje

Golz ir kiti (2016) analizavo stipraus lietaus poveikį pastatams. Dėl klimato kaitos smarkus lietus bus dažnesnis ir stipresnis Vokietijoje. Ateityje naudojant modeliuotą projekcinį lietaus intensyvumą atitinkamai bus planuojama vertinti, stogų sandarinimo, kanalizacijos įrenginių, fasadų atsparumą stiprioms liūtims.

Funk (2013) nustatė, kad dažniausiai smarkios liūtys yra susijusios su stacionariu, nestabiliu bei šaltu frontu. Stacionarus frontas ištįsęs išilgai rytų – vakarų kryptimi. Nestabilus frontas panašus į stacionarų, tačiau jame vyksta intensyvi konvekcija bei dažnai formuojasi nedidelio masto priežeminis ciklonas į vakarus nuo fronto. Bocheva ir Pophristov (2019) analizavo dienas,

kai kritulių kiekis bent vienoje iš Bulgarijos stočių viršijo 60 mm 1991–2017 metų laikotarpiu. Dienų skaičius su liūtimis per metus Bulgarijoje palaipsniui didėja. Apie 78 % visų tokių dienų būna vasarą ir rudenį. Tyrime buvo analizuojami priežeminio slėgio lauko bei geopotencialaus aukščio 500 hPa lygyje kaita. Nustatyta, kad daugiau negu 80 % tirtų atvejų lėmė didelius nuostolius ne tik gamtai, bet ir žmonėms. Smarkios liūtys buvo susijusios su ciklonais atslinkusiais nuo Viduržemio jūros regiono bei ciklonais iš vakarų (jū slėniais).

Remiantis 2013 m. Europos aplinkos agentūros atliktu tyrimu - gausių kritulių epizodai vidutiniškai tapo dažnesni ir intensyvesni Europoje. Nauja Europos aplinkos agentūros tyrimų studija (2019 m.) nustatė, kad dienų skaičius su gausiais krituliais Europoje vidutiniškai padidėjo 45 % (1.5 pav.).



1.5 pav. Prognozuojamas gausių kritulių kiekio pokytis (proc.) 2071–2100 metų laikotarpio vasaros ir žiemos sezonais pagal RCP 8.5 scenarijų (Europos aplinkos agentūra, 2013)

Volkova 2005 metais analizavo ilgalaikį kritulių kiekio kintamumą. Pavojingų laikomas laikotarpis (reiškiny) susijęs su krituliais, kai per 10 parų suminis kritulių kiekis siekė ir viršijo 20 mm. Tokie laikotarpiai nuo balandžio iki spalio Baltarusijoje yra stebimi apytiksliai 7 kartus per 2 metus. Pavojingi lietingi laikotarpiai, pasirodo, yra silpnai susiję su mėnesio kritulių suma. Kalbant apie ekstremalius lietingus laikotarpius, kol kas mokslinėje literatūroje nėra vieningų kriterijų pagal kuriuos būtų galima klasifikuoti lietų kaip ekstremalų už laikotarpį, todėl laikoma (šiam tyrimu), kad 20 mm ar daugiau kritulių per parą būtų laikomi ekstremaliais. Tokio

intensyvumo krituliai stebimi beveik kasmet. O didesnis už 15 mm / parą stebimi visose Baltarusijos meteorologinėse stotyse kasmet. Metai, kai ekstremalių kritulių kiekis yra didžiausias sutampa su metais, kai fiksuotas maksimalus dienų su ekstremaliais krituliais skaičius per metus, t. y. cikliškumas formuojasi daugiausia dėl padidėjusio kritulių kiekio per metus, o ne dėl vienos ar dviejų labai ekstremalių liūčių.

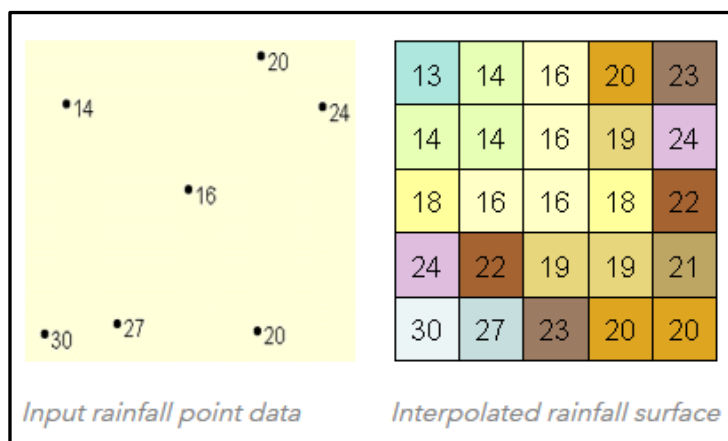
Volosciuk ir kiti (2016) metais tyrinėjo vidutinių platumų audras, kurios sukelia gausius kritulius vasaros sezonu Vidurio Europoje bei sukelia potvynius. Ciklonai formuojasi Viduržemio jūroje, kuri pastaraisiais dešimtmečiais yra stipriai įšilusi ir dėl šios priežasties formuojasi intensyvesni ciklonai. Lenkijos mokslininkai Bednorz ir kiti (2019) analizavo vasaros poplūdžius Lenkijos Sudetų kalnuose. Tyrėjai analizavo 17 didžiausių poplūdžių Sudetų kalnuose ir nustatė, kad didžiausius kritulius atnešė ciklonai, atslinkę nuo Viduržemio jūros baseino bei Atlanto vandenyno. Dažniausiai buvo nustatyta drėgno oro porcija atslenkanti iš pietų.

1.4 Interpoliacijos metodų taikymas kritulių laukui

Interpoliacija – tarpinių reikšmių apytikslis nustatymas, remiantis jau žinomomis reikšmėmis. Interpoliacija yra plačiai taikoma, nes erdvėje pasiskirstę objektai, kurie yra arti vienas kito turi panašias savybes. Pavyzdžiui, jeigu lyja vienoje miesto dalyje, tai didelė tikimybė, kad kitoje taip pat lis, tačiau kitame mieste ar valstybėje kritulių tikimybė yra žymiai mažesnė. Meteorologinių reiškinių matavimo duomenys netolygiai pasiskirstę pasaulyje ir yra vietų, kur nebuvo vykdomi atitinkami matavimai (1.6 pav.). Surinkta informacija nėra tolygiai pasiskirsčiusi teritorijos ribose ir nėra galimybių įvertinti ekstremalių reiškinių geografinę padėtį bei intensyvumą. Ši problema sprendžiama naudojant įvairius interpoliavimo metodus. Kuo duomenų tinklulis yra tankesnis, tuo interpoliavimo rezultatai yra patikimesni (Tveito, 2007).

Nėra bendro interpoliacijos metodo, tinkančio visoms problemoms: jis priklauso nuo meteorologinio kintamojo ir laiko skalės, kurioje kintamasis yra pavaizduotas. Pagal Tveito (2007) metodiką klimato žemėlapiai turėtų būti grindžiami interpoliacija atlikta su absoliučiomis kintamojo vertėmis. Mėnesio arba sezoniniai žemėlapiai turėtų būti pagrįsti anomalija ar normalizuota verte. Kasdieniai sinoptiniai žemėlapiai turi būti interpoliuojami naudojant absoliučias vertes. Tveito (2007) pateikia rekomendaciją, kaip atlikti interpoliaciją:

- 1) pasirinkti tinkamą interpoliacijos metodą,
- 2) taikyti interpoliacijos metodus ir jų charakteristikas,
- 3) išmėginti kelis metodus,
- 4) validuoti interpoliacijos rezultatus,
- 5) vykdyti tolimesnius tyrimus.



1.6 pav. Kairėje pusėje pateikti pavyzdiniai įvesties duomenys iš meteorologijos stebėjimo stočių, o dešinėje po interpoliacijos apskaičiuotas rastrinis sluoksnius. Schema paimta iš © ESRI

Erdvinė interpoliacija yra procesas, kuris nustato reikšmes tose vietose, kuriuose nebuvo gauta duomenų arba nevyko tyrimai. Erdvinė interpoliacijoje yra naudojamos dvi prielaidos. Pirmoji yra erdvinė autokoreliacija, kuri yra paaiškinta Toblerio I geografijos dėsnio (1970 metais), kad viskas yra susiję, tačiau artimiausi dalykai yra labiau susiję nei tolimesni. Antroji prielaida teigia, kad analizuojamo parametro reikšmės yra tolygiai pasiskirsčiusios erdvėje (Tveito, 2007). Deterministiniai metodai sukuria tolygų duomenų pasiskirstymą naudojant tik taško pagrindines charakteristikas. Tikimybiniai metodai remiasi duomenų atsitiktinumu. Šie metodai leidžia įtraukti išvesties produktų dispersiją bei nustatyti statistinį duomenų patikimumą. Interpoliacijos patikimumas gali būti įvertintas naudojant duomenų suskirstymą, kryžminę patikrą bei kriginę variaciją. Kryžminė patikros metu yra atliekami daugkartiniai skaičiavimai, kai kiekvieno skaičiavimo metu išmetamas vienas įvesties taškas ir teritorija apskaičiuojama pagal gretimus taškus (Sluiter, 2009).

Tveito (2007) teigia, kad pasirinkti atvirkščiai proporcingo atstumo arba kriginę metodą priklauso nuo meteorologinių stebėjimų tinklo. 36 meteorologinių stočių tinklas yra per mažas norint pritaikyti kriginę metodą. Dar vienas metodas, tačiau dabar dar nepopuliarus – dirbtiniai neuroniniai tinklai (ANN) nėra naudojami, nes tai yra santykinai nauja interpoliacijos metodika, reikalauja daug kompiuterinių išteklių.

Pagal Yi-Hwa ir Hung (2016) erdvinė interpoliacija yra plačiai taikoma daugelyje mokslo sričių sukurti paviršiaus duomenims, kai tam naudojami nuo kelių iki keliasdešimties įvesties taškų: temperatūros, kritulių kiekio, drėgnumo, vėjo greičio charakteristikų. Šiuo metu yra sukurta daug komercinių geografinių informacinių sistemų (toliau – GIS) arba statistinių programų, kurios leidžia naudojant skirtingus interpoliacijos metodus: atvirkščiai proporcingo atstumo (IDW), kriginę, spline bei kitus. Iki šių dienų nėra tinkamiausio interpoliacijos metodo, tačiau yra parašyta daug mokslinių straipsnių apie bendrus kiekvieno interpoliacijos metodo privalumus ir

trūkumus. Didžioji dalis tyrimų remiasi kiekybiniais vertinimais norint įvertinti metodo patikimumą. Šis metodas yra objektyvus ir patogus naudoti, tačiau, kai duomenyse yra tendų - šis metodas neįvertina/neužfiksuoja. YI-Hwa ir Hung (2016) atliktame tyrime buvo naudojamos 2D ir 3D vizualizacijos trendams identifikuoti, kurie buvo nenustatyti kiekybiniame vertinime. Kiekvienas interpoliacijos metodo algoritmas reikalauja skirtingų kintamųjų, tačiau net ir su vienodomis charakteristikomis ir įvesties duomenimis metodai pateikia skirtingus išvesties produktus. Dauguma kiekybinių vertinimo metodų pateikia skaičiuojamą indeksą, kuris yra lengvai suprantamas ir patogus naudoti. Įvertinti metodo tikslumui buvo pasitelkta 4 paklaidų įverčio matai: vidutinė absoliuti paklaida, šaknis iš vidutinės kvadratinės paklaidos, sisteminė bei nesisteminė. Kiekybinio vertinimo patikimumas priklauso nuo dviejų faktorių. Pirma, nuo meteorologinių stebėjimų tinklo tankio ir pasiskirstymo bei, antra, nuo kiekvieno įvesties taško reikšmės (Keskin ir kiti, 2015). Toliau aprašomi deterministiniai interpoliacijos metodai bei jų pritaikymas kritulių kiekio interpoliacijai.

Polinominės funkcijos metodas (toliau – *Spline*) atitinka tendencijų funkcijas stebint x eilės polinomus. Metodo patikimumas vertinamas naudojant kryžminę patikrą. *Spline* laikomas tinkamu metodu, kai yra nagrinėjami mėnesio/ metų klimato elementų pasiskirstymas, tačiau mažiau tikslios (dienos arba valandų) tyrimuose. Karališkasis Nyderlandų meteorologijos institutas (KNMI) naudoja *Spline* metodą pavaizduoti kiekvienam klimato reiškiniui (Sluiter, 2009).

Spline yra determinuotas metodas, kuris reprezentuoja 2 dimensijų kreivę ant 3 dimensijų paviršiaus. Tai būtų galima apibrėžti kaip lankstų paviršių, kuris kerta įvesties taškus naudojant matematinės funkcijas. *Spline* privalumas, jog jis yra lengvai suprantamas bei vizualiai tinkamai išreikštas paviršius remiantis tik keliais įvesties taškais, tačiau minimalios ir maksimalios reikšmės skiriasi nuo įvesties taškų, taip pat, metodas yra jautrus įvesties taškų klaidoms. Kuo daugiau reikšmių, tuo kiekviena ląstelė yra labiau veikiamą nuotolio nuo įvesties produkto bei apskaičiuojamas tolygesnis paviršius (Tveito, 2007).

Atvirkščiai proporcingo atstumo metodas (toliau – *IDW*) yra patobulintas artimiausio kaimyno metodas, kuris įtraukia ne tik artimiausius įvesties taškus. Kiekvienos gardelės dydis nustatomas pagal tiesinę artimiausių taškų kombinaciją. Kiekvienos įvesties taško svorinis koeficientas priklauso nuo atstumo, kurio funkcija nėra tiesinė. Metodas yra greitas, lengvai įtraukiamas į modelius ir skaičiavimus. Metodo patikimumą galima įvertinti naudojant kryžminę patikrą. Nėra taikomos jokios ekstrapoliacijos, todėl duomenys pasiskirsto įvesties duomenų intervale. Metodas yra labai populiarus meteorologijoje. Ispanijoje *IDW* metodas skirtas apskaičiuoti mėnesio oro temperatūrą, kritulius bei spinduliuotės charakteristikomis (Sluiter, 2009).

Atvirkščiai proporcingo atstumo metode padidinant svorio reikšmę rezultatas tampa panašus į artimiausio kaimyno interpoliaciją, nes interpoliuojamos reikšmės labai priklauso nuo išmatuotos reikšmės. *IDW* privalumas, jog jis yra paprastas, suprantamas bei efektyvus, o trūkumas, jog šis metodas jautrus klaidoms tarp įvesties taškų (Tveito, 2007).

IDW metodo esmė – atvirkštinė atstumo funkcija. Svorio parametras leidžia kontroliuoti žinomų taškų reikšmę interpoliuotose vietovėse, atsižvelgiant į jų atstumą nuo išvesties taško. Apibrėžus didesnę svorio vertę, galima labiau išryškinti artimiausių taškų poveikį skaičiavimams. Nurodžius mažesnę vertę vis didesnę įtaką konkrečiai reikšmei turi labiau nutolę esantys įvesties taškai. *IDW* formulė yra nesusijusi su jokių fizikiniu procesu, todėl nėra galimybės tinkamai įvertinti atitinkamą svorio reikšmę analizei. Interpoliacijos išvesties rezultatus galima kontroliuoti naudojant pasirinktą skaičių įvesties reikšmių. Galima nustatyti įvesties taškų skaičių arba nustatyti spindulį pagal kurį bus atliekama gretimų taškų interpoliacija. *IDW* ir *spline* yra deterministiniai interpoliacijos metodai, nes jų išvesties duomenys pateikiami pagal įvesties taškus ar specifines formules, kurios lemia paviršiaus tolydumą.

Apaydin ir kiti mokslininkai (2004) analizavo tinkamiausią interpoliacijos metodą atlikti meteorologinių reiškinų erdviniam pasiskirstymui. Buvo analizuojamas kritulių kiekis Turkijoje. Remiantis skaičiavimais, atliktais naudojant 1971 - 1999 m. duomenis, *spline* pateikė tiksliausius kritulių pasiskirstymo rezultatus. Iš metodų, kurie nenaudoja aukščio kaip papildomos informacijos, vizualiai *spline* pasirodė patikimiausias. *Spline* metode nustatytos minimalios MAE ir RMSE reikšmės nagrinėjant kritulių kiekio duomenis. *Spline* metodas buvo tinkamiausias, kai buvo daug įvesties taškų bei paviršius buvo greitai besikeičiantis (kritulių kiekis).

Erdvinių duomenų interpoliacijos kokybė priklauso nuo interpoliacijos metodo, duomenų raiškos. Pagrindinė problema prieš pasirenkant interpoliacijos metodą yra susijusi su duomenų prieinamumu. Kartais kritulių duomenys yra nuolat registruojami, tačiau kritulmačiai yra pasiskirstę netolygiai, o tai ypač būdinga kalnuotose srityse, kur kritulių kiekį yra sunku prognozuoti dėl didelių reljefo netolygumų, atstumo iki jūros. Didelę įtaką kritulių pasiskirstymui turi vyraujantys vėjai bei sinoptinė situacija. Tačiau atsižvelgiant į tai, kad skaičiavimo galimybės dabar geriau išvystytos ir plačiau prieinamos, galima lyginti rezultatus, kai keičiamas tik kritulmačių skaičius. Tai gali pateikti įžvalgų apie interpoliacijos metodo privalumus ir trūkumus. Tokios analizės vertingos inžinieriams, hidrologams bei priimant sprendimus (Ly ir kiti, 2013).

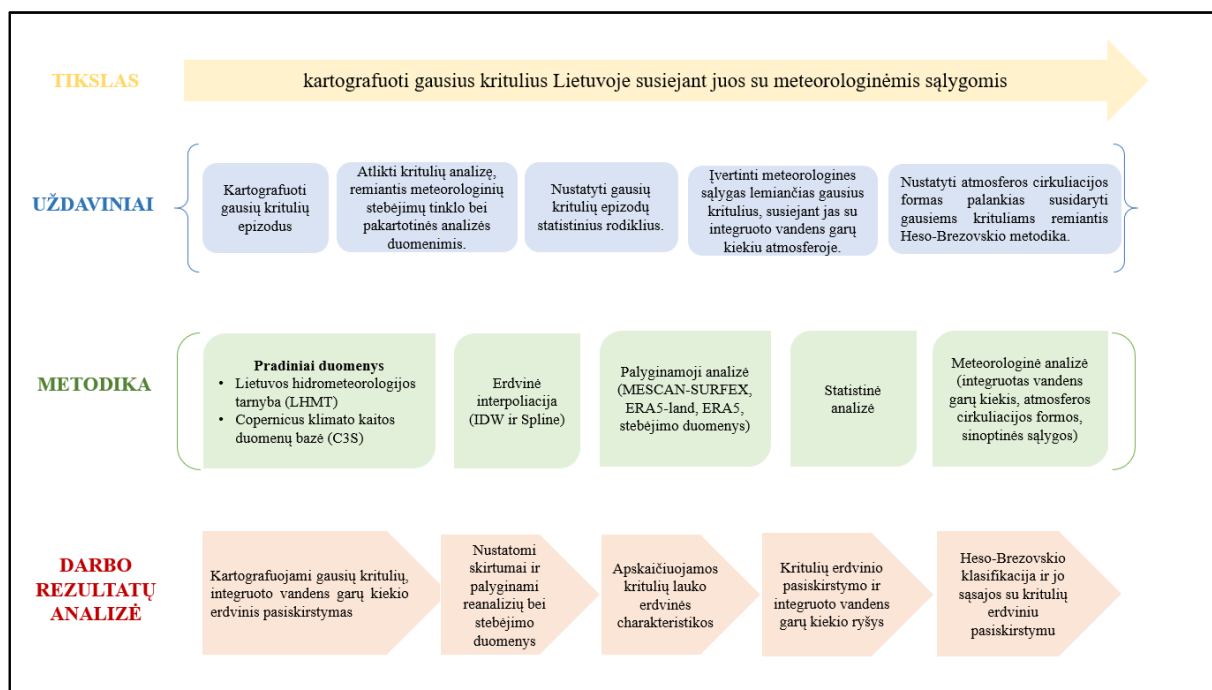
Ly ir kiti (2013) nustatė, kad *krigingo* metodas pateikia neigiamas kritulių kiekio reikšmes ir kol kas nėra vieningo sprendimo kaip šį trūkumą ištaisyti. Metiniam ir mėnesiniam kritulių kiekio pasiskirstymui, stochastinis metodas yra tinkamesnis naudojant papildomai reljefo duomenis. Analizuojant paros kritulių kiekį, *IDW* ir *krigingo* pateikti rezultatai mažai skiriasi.

Pagal Walter (2013) atlikta interpoliacijos palyginamąją analizę, nustatyta, kad *spline* ir *IDW* metodai yra tinkamiausi analizuotoje vietovėje nagrinėjant kritulių kiekį. Taikant abu metodus, didesnėje nei 55 % visos teritorijos dalyje susidarė paklaidas iki 5 %. *IDW* metodo vidutinė paklaida buvo didesnė lyginant su *spline*. Didžiausios paklaidos nustatytos naudojant *krigingo* metodą. Moeletsi ir kiti (2016) *IDW* metodą naudojo Pietų Afrikos respublikoje įvertinant kritulių kiekio pasiskirstymą. Tyrime naudoti 6 meteorologijos stočių duomenys, kad būtų įvertintas kritulių pasiskirstymas per parą ir dešimtadienį. Kiekybinis vertinimas buvo atliekamas naudojant determinacijos koeficientą, vidutinę absoliučiąją paklaidą ir vidutinę paklaidą. Nustatyta, kad rezultatas patikimas, kai *IDW* svorio metodo reikšmė kinta nuo 2 iki 2.5. Didesnės paklaidos susidarė, kai buvo vertinamas didesnis nei 10 mm kritulių kiekis. Xia ir kiti (1999), Bennett ir kiti (2007) ir Teegavarapu ir kiti (2009) nustatė, kad *IDW* tinkamai vertina kritulius. Anot šių tyrinėtojų, metodas tinkamas, jeigu stočių tankis yra didelis. Jeigu kritulmačių yra daugiau negu 500 ir teritorija nėra didelė, tai yra idealios sąlygos taikyti *IDW* metodui.

Chen ir kiti (2012) naudojo *IDW* metodą, kuris buvo skirtas įvertinti kritulių kiekio pasiskirstymą Taivane. Mokslininkai vertino *IDW* galingumo reikšmes bei buferio dydžio pasirinkimą. Tyrime naudoti 46 meteorologijos stočių duomenys ir apėmė 1981–2010 metų laikotarpį. 12 stočių buvo naudojamos atlikti kryžminei patikrai. *IDW* pateikia tikslesnius duomenis sausuoju metų periodu ir prasčiausius, kai vyrauja kritulių kiekio perteklius. Mokslininkai pateikė rekomendacijas vykdant erdvinę interpoliaciją su *IDW*: 1) keisti ir pritaikyti *IDW* svorio koeficientą; 2) keisti ir pritaikyti buferio dydį; 3) metodas tinkamesnis, kai analizuojami negausūs krituliai. Pritaikius visus kriterijus *IDW* laikomas kaip vienu tinkamiausių metodų interpoliuoti kritulių kiekio lauką.

2. PANAUDOTI DUOMENYS IR DARBO METODIKA

Baigiamojo magistro darbo metodiką sudaro trys poskyriai: 2.1 sausumos meteorologijos stočių kritulių duomenys, 2.2 Copernicus klimato kaitos duomenų bazė, 2.3 kritulių duomenys pakartotinių analizių duomenų bazėse ir 2.4 Heso-Brezovskio (toliau H–B) atmosferos cirkuliacijos tipų klasifikacijos metodika. Magistriniame darbe buvo iškelti 5 pagrindiniai uždaviniai. Detali tyrimo metodinė schema pateikta (2.1 pav.).

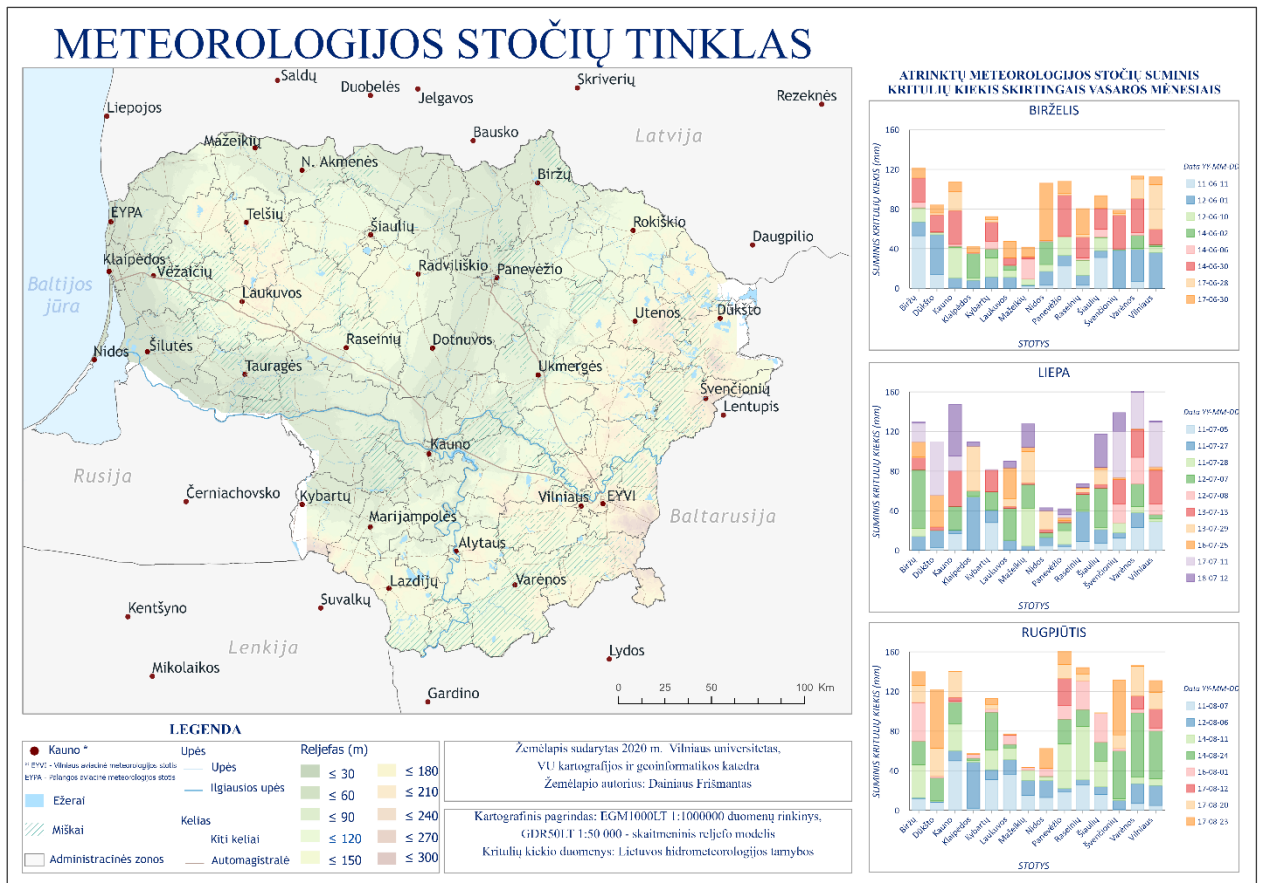


2.1 pav. Tyrimo metodinė schema

2.1 Sausumos meteorologijos stočių kritulių duomenys

Tyrimo objektas – 2011-2018 metų šiltojo sezono (gegužė–rugsėjis) gausių kritulių erdvinis pasiskirstymas. Analizuoti epizodai, kai per parą kritulių kiekis didesnis negu > 30 mm bent vienoje Lietuvos meteorologijos stotyje. **Epizodas** – tai 24 valandų laikotarpis, kuris prasideda pirmos paros 6 val. Grinvičo laiku (UTC) ir baigiasi antros paros 6 UTC, per kurią iškrenta didesnis nei > 30 mm kritulių kiekis. Tyrimo pagrindinė teritorija – Lietuva. Pirminiai kritulių kiekio duomenys gauti iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos. Tyrime buvo naudojami 29 meteorologijos stočių duomenys iš Lietuvos ir 15 iš kaimyninių valstybių: Baltarusijos (3 stotys), Latvijos (8), Lenkijos (3), Rusijos (1), kurių duomenys yra viešai prienami internetinėse duomenų bazėse (2.2 pav.). Kaimyninių valstybių stotys buvo įtrauktos į analizę, nes jos padidino stebėjimo duomenų rezultatų patikimumą. Iš viso tyrime buvo analizuojamas 31 epizodas Lietuvos teritorijoje (2.1 lentelė).

Pradinė gausių kritulių lauko epizodų kilmė (4–5 paros iki analizuojamo epizodo pradžios) bei judėjimo trajektorija iki Lietuvos buvo analizuojama pagal *KNMI*, *UKMO* bei *DWD* sinoptinių schemų archyvą. Duomenų šaltinyje pateikiamos sinoptinės schemas, kurių archyvas egzistuoja nuo 2003 metų. Kiekviena sinoptinė schema buvo pateikta kas 6 valandas. Aprašyti kiekvieno epizodo atmosferos cirkuliacijos procesų eiga laike ir erdvėje. Detalesni šios užduoties darbo rezultatai pateikti 3.2.1 poskyryje gausių kritulių sinoptinės sąlygos.



2.2 pav. Meteorologijos stočių, kurių duomenys buvo naudojami analizėje, tinklas. Dešinėje pusėje histogramos vaizduoja analizuotų epizodų suminių kritulių kiekį meteorologijos stotyse skirtingais vasaros sezono mėnesiais

METEOSAT palydovo vaizdai pateikiami kombinuotu regimųjų ir infraraudonųjų bangų kanalu virš Europos vidurdienio valandomis. Palydoviniai vaizdai paimti iš Europos meteorologinių palydovų eksploatacijos organizacija (*EUMETSAT*). Jie parodo barinių darinių (ciklonų, frontų, nepastovumo linijų) debesų sistemų pasiskirstymą ir intensyvumą.

Integruotas vandens garų kiekis atmosferos stulpe (toliau – **IVG**) ir jo kartografavimas padėjo nustatyti gausių kritulių lauko sąsajas su drėgnos(ų) oro masės(-ių) judėjimo trajektorija.. IVG duomenys buvo gauti iš Copernicus klimato kaitos duomenų bazės (UERRA reanalizės). Šio meteorologinio parametro erdvinė raiška 11 x 11 km, o duomenys vartotojui teikiami 6 valandų intervalu. Magistro darbe buvo sudaromi IVG sluoksnio erdvinio pasiskirstymo žemėlapiai.

Žemėlapiuose pateikta IVG kaita per 2 paras prieš prasidedant epizodui ir epizodo metu (viso 3 paras). Buvo pasirinktas atraminis 12 UTC laikas, nes tai yra susiję su intensyviausia konvekcija. Detalesni tyrimo rezultatai pateikti 3.2.2 poskyryje.

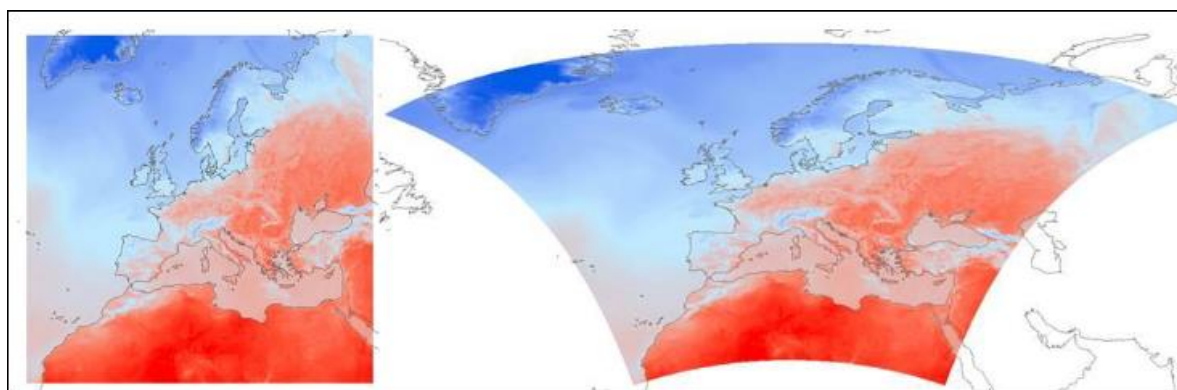
2.1 lentelė. Analizuotų kritulių kiekio epizodų Lietuvoje duomenys: eiliškumas, data, maksimalus kritulių kiekis per parą, kritulius fiksavusios meteorologijos stoties pavadinimas, atmosferos cirkuliacijos tipų (pagal Heso-Brezovskio klasifikaciją) santrumpa. Heso-Brezovskio atmosferos cirkuliacijos tipų klasifikacija pateikta 2.2 lentelėje

Nr.	Data	Didžiausias kritulių kiekis [mm / 24 val.]	Meteorologijos stotis	Atmosferos cirkuliacijos forma (H-B)
1	2011-06-11	53.0	Biržų	HNZ
2	2011-07-05	55.0	Lazdijų	HFZ
3	2011-07-27	54.0	Klaipėdos	TRM
4	2011-07-28	56.0	Utenos	TRM
5	2011-08-07	51.8	Marijampolės	SWZ
6	2012-06-01	40.0	Dūkšto	HNZ
7	2012-06-10	31.0	Kauno	WS
8	2012-07-07	82.2	N. Akmenės	TB
9	2012-07-08	31.5	Varėnos	TB
10	2012-08-06	46.3	Klaipėdos	SWZ
11	2013-07-13	36.0	Kauno	NWA
12	2013-07-29	72.5	Vėžaičių	WW
13	2013-09-02	39.0	Telšių	NWA
14	2013-09-17	37.3	Tauragės	WZ
15	2013-09-18	41.0	Kauno	WZ
16	2014-06-02	30.5	Klaipėdos	U
17	2014-06-06	83.0	Telšių	SWA
18	2014-06-30	41.0	Panevėžio	WS
19	2014-08-11	54.0	Raseinių	SWZ
20	2014-08-24	65.0	Varėnos	TRM
21	2016-05-13	45.0	Laukuvos	TM
22	2016-07-25	43.9	Rokiškio	WW
23	2016-08-01	39.0	Biržų	WZ
24	2017-06-28	66.0	Lazdijų	TRW
25	2017-06-30	58.0	Nidos	TM
26	2017-07-11	53.6	Dūkšto	WZ
27	2017-08-12	45.0	Ukmergės	TM
28	2017-08-20	31.1	Alytaus	NWA
29	2017-08-23	59.0	Dūkšto	NWA
30	2017-09-12	47.0	Utenos	WZ
31	2018-07-12	52.0	Kauno	NWZ

2.2 Copernicus klimato kaitos duomenų bazė

Copernicus klimato kaitos programa yra finansuojama pagal Copernicus programą. Duomenys ir informacija yra reguliuojama ES parlamento ir tarybos reglamento Nr. 1159/2013 sudarančio Europos žemės monitoringo programą. Copernicus klimato kaitos sistema (toliau – **C3S**) sudaryta iš daugybės svarbių klimato elementų: globalios bei regioninės reanalizės, homogeninių bei apdorotų klimato duomenų, sezoninių prognozių sudaromų skirtingomis ansamblinio prognozavimo sistemomis bei klimato projektavimo. C3S – 1 iš 6 teminių informacinių paslaugų sukurta Copernicus Žemės stebėjimo programa. C3S remiasi pasauline klimato tyrimo programa WCRP bei globalia klimato stebėjimo sistema GCOS. C3S, anksčiau buvo žinoma kaip Pasaulinės aplinkos ir saugumo stebėjimo programa GMES yra Žemės stebėsenos iš kosmoso (meteorologijos, aplinkosaugos, saugumo, gynybos, išteklių ir krizių valdymo srityse) programa, kuri pavaldi Europos Komisijai. Ji buvo įgyvendinta bendradarbiaujant su Europos Sąjungos valstybės narėmis ir Europos kosmoso agentūra.

Copernicus programą sudaro sudėtiniai duomenų rinkiniai: palydoviniai Žemės stebėjimai iš kosmoso, įvairūs jutikliai 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: aplinkos apsaugai, regioniniam ir vietiniam planavimui, miestų infrastruktūrų administravimui, žemės ūkiui, miškininkystei, civilinei saugai, turizmui. Visi duomenys pasiekiami per Europos vidutinės trukmės orų prognozių centro internetinį puslapį.



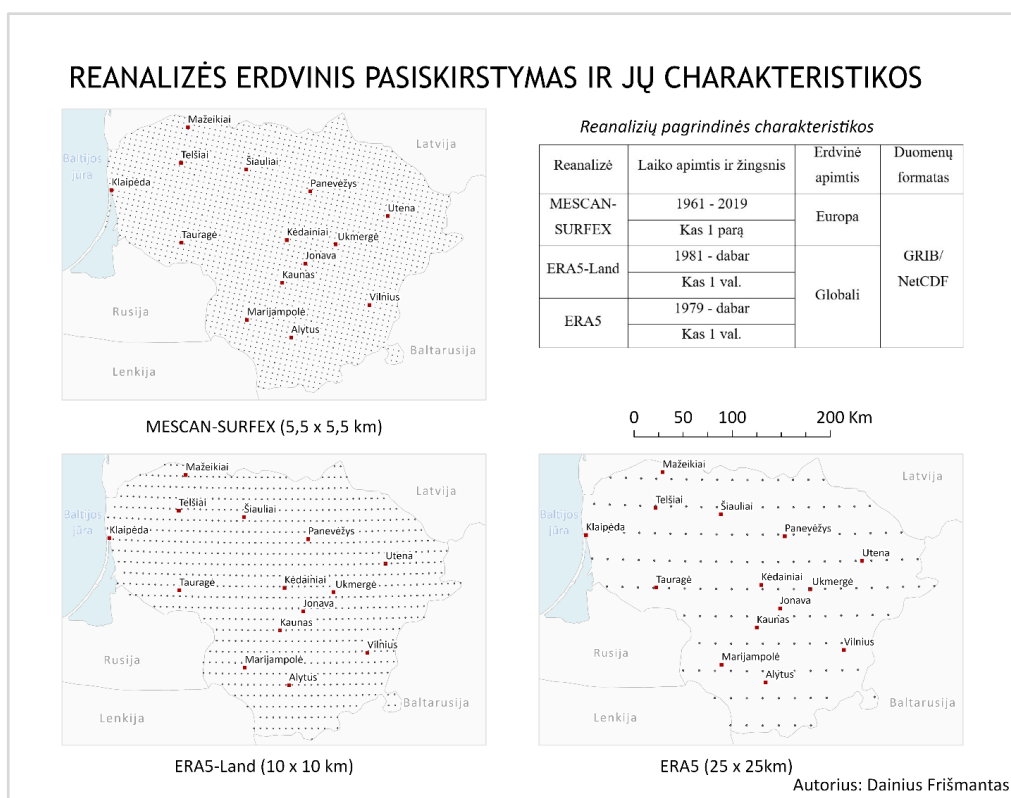
2.3 pav. Pradinių duomenų iš Copernicus klimato kaitos duomenų bazės pateikimas Lamberto kūginėje projekcijoje (kairėje) ir WGS 1984 projekcijoje (dešinėje)

2.3 Kritulių duomenys pakartotinių analizių duomenų bazėse

Iš Copernicus klimato kaitos duomenų bazės (toliau – C3S) buvo gauta trijų pakartotinių analizių (reanalizių) duomenys: MESCAN-SURFEX, ERA5-land, ERA5. Kiekvienos iš šių

reanalizių duomenų erdvinė raiška buvo skirtinga: nuo 5,5 x 5,5 km, 10 x 10 km, 25 x 25 km (2.4 pav.). MESCAN-SURFEX kritulių kiekio duomenys apibrėžti kaip bendras kritulių kiekis, patenkantis ant žemės/ vandens paviršiaus. Šie duomenys buvo gauti naudojant C3S klimato kaitos duomenų saugyklą, kuri yra pasiekama per internetinę aplikaciją arba *CDS API*. Keletas pavyzdžių pateikti 2.5 ir 2.7 paveiksluose.

MESCAN-SURFEX duomenys pateikiami Lamberto konforminėje kūginėje projekcijoje² (2.3 pav.). Panašus į „Albers“ vienodo ploto kūginę projekciją, tačiau pateikia tikslesnį objektų formos vaizdą ir ne taip tiksliai išsaugo plotą. Projekcijos parametrai yra dvi standartinės paralelės. Elipsoidinis paviršius projektuojamas ant kūgio, kertančio elipsoidą dviem standartinėmis paralelėmis. Visos tinklelio linijos susikerta 90° kampu.



2.4 pav. Skirtingų reanalizių (MESCAN-SURFEX, ERA5-land, ERA5) erdviųjų duomenų tinklelio pavyzdžiai (Lietuvos teritorija) bei pagrindinės jų charakteristikos: laiko apimtis ir žingsnis, erdvinė apimtis, duomenų formatas

Magistro darbe buvo palyginti skirtingų reanalizių bei meteorologinių stebėjimų stotyse duomenys. Nustatyti absoliutūs skirtumai tarp aukščiausių raišką, turinčios reanalizės ir stebėjimo duomenų. Šiai užduočiai įgyvendinti buvo naudojama **ArcGIS PRO raster calculator** arba *minus* funkcija. Magistro darbe buvo naudojami ArcGIS spline ir atvirkščiai proporcingo atstumo

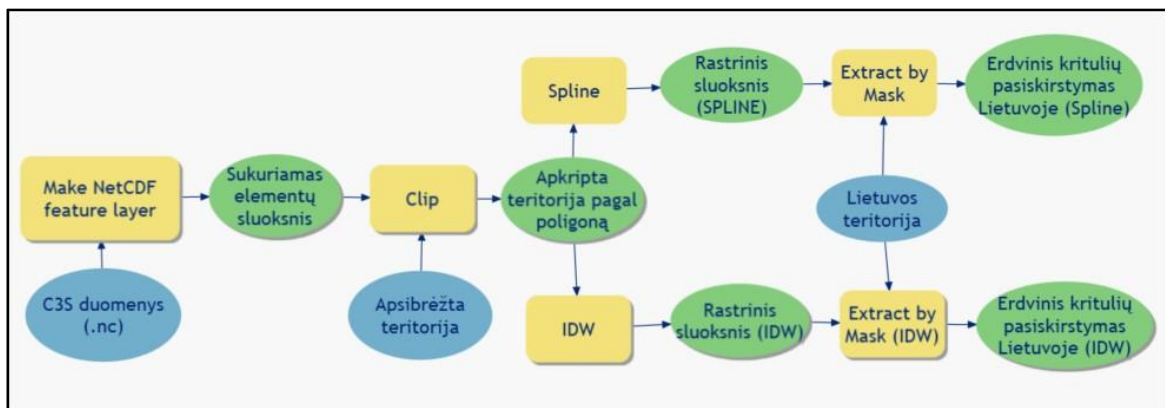
² Sukūrė XVIII amžiaus šveicarų matematikas, fizikas ir astronomas Johannas Heinrichas Lambertas. Tai viena plačiausiai taikomų vidutinių platumų projekcijų.

interpoliacijos metodai (2.6 pav.). Šie deterministiniai interpoliacijos metodai yra plačiausiai naudojami meteorologijoje. Buvo naudojamos standartinės abiejų interpoliacijos metodų charakteristikos interpoliuojant kritulių kiekį (2.9 pav.). Palyginti IDW ir Spline metodų interpoliuotos reikšmės. Rezultatai buvo gauti naudojant aritmetinį skirtumą tarp Spline ir atvirksčiai proporcingo atstumo. Tolimesnėje analizėje buvo pasirinktas vienas interpoliacijos metodas (3.1.2 poskyris). Detalesnė informacija apie interpoliacijos metodus pateikta literatūros apžvalgos 1.4 poskyryje.

```
import cdsapi
c = cdsapi.Client()
c.retrieve(
    'reanalysis-era5-land',
    {
        'area' : [57, 20.75, 53.25, 27.25],
        'format': 'netcdf',
        'variable': 'total_precipitation',
        'year': '2011',
        'month': '06',
        'day': [
            '12',
        ],
        'time': [
            '00:00',
        ],
    },
    '2011_06_12_00_land.nc')

```

2.5 pav. Python programinio kodo, leidžiančio parsisiųsti duomenis iš Copernicus klimato kaitos duomenų bazės, pavyzdys



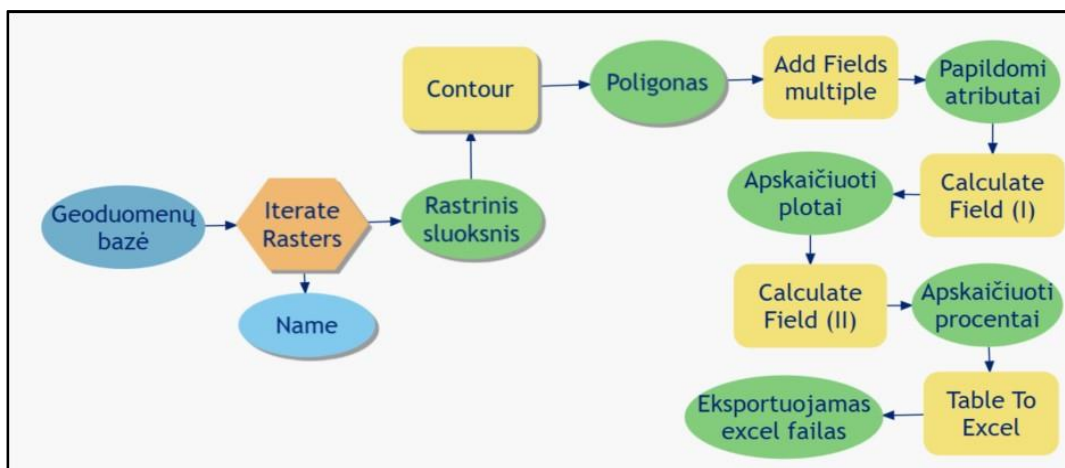
2.6 pav. ArcGIS PRO sukurto modelio, kuris apdoroja NetCDF formato duomenis, atlieka interpoliaciją, iškirpimą pagal pasirinktą poligoną, schema (Frišmantas, 2020)

Magistro darbe buvo apskaičiuojamas kiekvieno gausių kritulių epizodo kritulių užimamas plotas (km²), kai kritulių intensyvumas buvo didesnis už 20 ir už 30 mm/ parą (2.8 pav.). Pirmiausia, rastro sluoksniai naudojant „contour“ funkciją buvo paverčiami į poligonus. Pridedami keli papildomi atributai, kuriuose buvo apskaičiuojamas plotas kvadratiniais kilometrais

ir procentais nuo visos Lietuvos teritorijos dydžio (~ 65300 km²). Nustatyta, kuriose savivaldybėse dažniausiai buvo gausių kritulių epizodai.

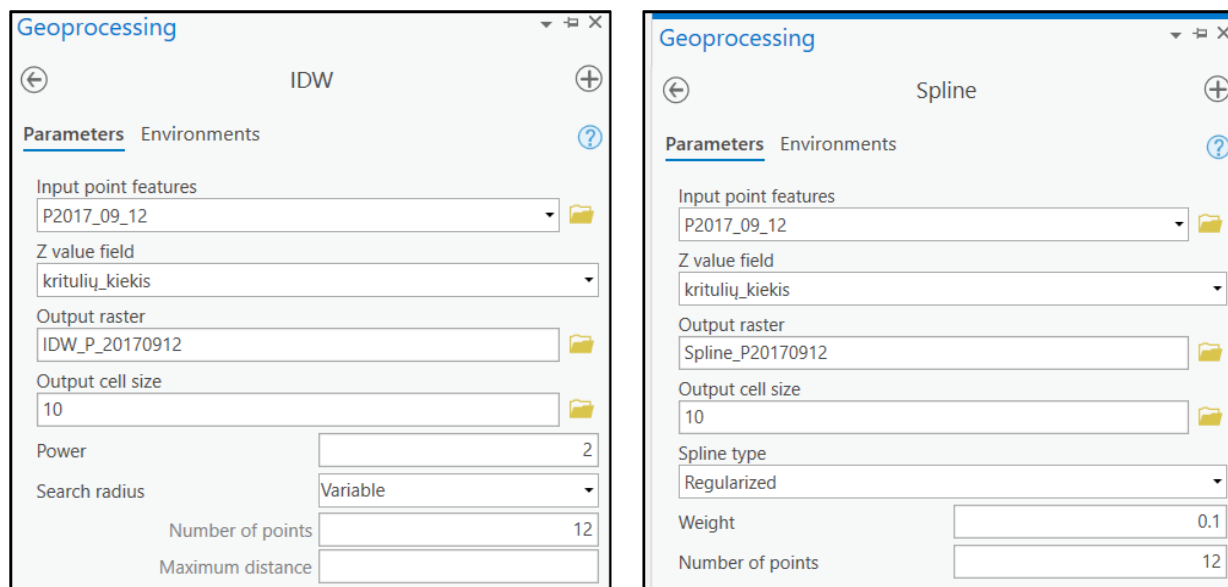
The screenshot displays the Copernicus climate data selection interface. It includes sections for Variable, Year, Month, Day, Time, and Format. The Variable section has two columns of radio button options. The Year section has a grid of checkboxes for each year from 1961 to 2019. The Month section has checkboxes for each month. The Day section has checkboxes for each day of the month. The Time section has checkboxes for specific times of the day. The Format section has radio buttons for GRIB and NetCDF (experimental).

2.7 pav. Internetinė Copernicus klimato kaitos duomenų bazės meteorologinių duomenų manipuliacijos vartotojo sąsaja³



2.8 pav. ArcGIS PRO sukurtas modelio, kuris paverčia rastrus į poligonus bei apskaičiuojamas >20 ir >30 mm plotus (km²) bei eksportuoja į Excel failą, schema (Frišmantas, 2020)

³ <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-uerra-europe-single-levels?tab=form>



2.9 pav. Atvirkščiai proporcingo atstumo (IDW) ir Spline interpoliacijos metodų charakteristikų pasirinkimo ArcGIS vartotojo sąsajoje pavyzdys

2.4 Heso-Brezovskio atmosferos cirkuliacijos formų klasifikacijos metodika

Magistro tiriamajame darbe buvo naudojama **Heso–Brezovskio** (*Hess-Brezowsky*) cirkuliacijos tipų klasifikacija apibūdinti didelio masto cirkuliacijos sąlygas. P. Heso ir H. Brezovskio cirkuliacijos tipai apibūdina dienų arba savaitinių trukmės laikotarpius su panašiomis orų sąlygomis. Heso ir Brezovskio (toliau **H–B**) cirkuliacijos tipai buvo parengti Vidurio Europai (Vokietijai), tačiau sukurta klasifikacija plačiai taikoma visoje Europoje bei Šiaurės Atlanto sektoriuje. Nustatyta, kad klasifikacija gali būti naudojama ir Rytų Europoje bei Lietuvoje. Lietuvoje nebuvo atlikta daug tyrimų taikant H–B atmosferos cirkuliacijos klasifikaciją. Nustatytos dažniausiai pasitaikę H–B cirkuliacijos tipai Lietuvoje vyraujant gausių kritulių epizodams. Detalesni šios užduoties darbo rezultatai pateikti 3.2.3 poskyryje, kuriame kalbama apie didelio masto atmosferos cirkuliacijos tipų klasifikavimą.

Tai viena seniausių ir dabar plačiai paplitusių klasifikacijų. Klasifikacija populiarė, nes įvertina ne tik didelio masto atmosferos cirkuliacijos ypatybes, bet ir orientuojasi į vietines savybes. Sukurtas katalogas, kuriame yra 30 atmosferos cirkuliacijos tipų. Pirmiausia, apibrėžiamas geografinis slėgio jūros lygyje pasiskirstymas ir padėtis virš Europos žemyno. Antra, sinoptinė situacija (cikloninė/ anticikloninė) cirkuliacija virš Europos pagal vyraujančius barinius darinius. Nuo 1999 m. iki šiol katalogą administruoja Vokietijos oro tarnyba (Sykorova ir Huth , 2020). Sukauptą katalogą nuo 2001 metų galima rasti internetinėje svetainėje⁴. Šios klasifikacijos

⁴ <https://www.orniwetter.info/wetterlagenkalender/>

tipai yra prognozuojami 5 dienas į priekį, todėl detaliam išanalizavus gausių kritulių epizodus galima nustatyti dėsningumus, ar susiformuos pavojingo meteorologinio reiškimo tikimybė.

Detalesniam H–B atmosferos cirkuliacijos tipų klasifikavimui buvo pasirinktas 2001–2020 metų laikotarpis, o tiksliau dienos, kai per parą iškrenta daugiau nei 15 mm/ 24 val. Atmosferos cirkuliacijos tipų klasifikavimui buvo pasinaudota 7 pagrindinių Lietuvos meteorologijos stočių duomenis: Klaipėda, Šiauliai, Laukuva Biržai, Vilnius, Utena, Kaunas. Nustatyti dažniausi H–B tipai vyravę drėgnuoju laikotarpiu ir šie analizės duomenys buvo palyginti su 31 epizodu, kurie detaliam buvo analizuoti šiame magistro darbe.

Heso-Brezovskio atmosferos cirkuliacijos (subjektyvią) klasifikaciją Europos regionui sudaro trys pagrindinės cirkuliacijos formos: a) *zoninė*, b) *mišri* ir c) *meridianinė*. Jos atspindi didelio masto srauto (vidurinėje troposferoje) dominuojančią kryptį virš Vidurio Europos. Šios pagrindinės formos dar skaidomos į tipus. Jų viso yra 30 (2.2 lentelė). Zoninę formą sudaro 4 cirkuliacijos tipai, mišrią – 7, o meridianinę – likusieji (19). Kiekvienas tipas charakterizuojama ne tik pernašos kryptimi, bet ir sukuringumo (cikloniškumas, anticikloniškumas) vidurinėje ir apatinėje troposferoje, vidutinės pagrindinių frontų padėties ir barinių darinių judėjimo rodikliais. Kiekvienam tipui žymėti yra atitinkamos 2 ar 3 raidžių santrumpos. Pirmoji (pirmosios dvi) raidė(s) atitinka vyraujančios pernašos kryptį, o antroji (trečioji) – cikloninę arba anticikloninę barinį lauką virš Vidurio Europos. Pavyzdžiui, santrumpoje WA **W** reiškia vakarinė - iš vakarų į rytus, o **A** – anticikloninę lauką, santrumpoje NWZ – **NW** reiškia šiaurės vakarinė, o **Z** cikloninę lauką arba pirmoji (pirmosios) raidė(s) rodo kvazistacionarų barinį darinį (žemo/ aukšto slėgio sritį, slėnį, gūbrį), bet nebūtinai virš Vidurio Europos, o likusi raidė(s) žymi apimamą regioną. Pavyzdžiui, santrumpoje TRW **TR** reiškia slėnį, o **W** – Vakarų Europą. Vienas pagrindinių tyrimo uždavinių - nustatyti kokie H-B atmosferos cirkuliacijos tipai dažniausiai kartojasi gausių kritulių epizodais.

Visi **zoniniai** tipai (4) charakterizuoja greitai judančias mažos amplitudės barines (frontines) bangas iš vakarų į rytus daugiausia virš Šiaurės ir Vidurio Europos. Didžiausi bariniai gradientai laikosi virš Vidurio Europos. WA ir WZ yra atitinkamai **Vakarinis anticikloninis** ir **cikloninis** tipai, tik pirmu atveju virš Šiaurės ir Vidurio Vokietijos vyrauja anticikloninis, o antruoju cikloninis izobarų kreivumas. WA tipo cirkuliacijoje didžiausių gradientų zona yra nutolusi labiau į šiaurę lyginant su WZ. WS – tai **Vakarinis pietų** tipas ir jam būdingas didžiausių barinių gradientų zonos pasislinkimas link Pietų Europos. WW – **Vakarinis vingiuotasis** tipas skiriasi nuo kitų W cirkuliacijos tipų tuo, kad didelių barinių gradientų zona ties Vidurio Europa sudaro lanką, todėl bariniai dariniai ties jūda lėčiau ir nukrypsta nuo zoninės krypties. Lietuvos teritorijoje WA ir WZ tipai labiau susiję su ciklonine cirkuliacija, o WW – su anticiklonine.

2.2 lentelė. Heso–Brezovskio (H-B) didelio masto atmosferos cirkuliacijos formų (spalvoti pavadinimai) ir atitinkamų cirkuliacijos tipų sąrašas bei nomenklatūra^[5]

Nr.	Santrumpa	Cirkuliacijos forma [liet.]	Cirkuliacijos forma / Zirkulationsform [originalas] ^[1]
ZONINĖ [zonalen]			
1.	WA	Vakarinis anticikloninis	Westlage, anticyklonal
2.	WZ	Vakarinis cikloninis	Westlage, zyklonal
3.	WS	Vakarinis pietų	Südliche Westlage
4.	WW	Vakarinis vingiuotasis	Winkelförmige Westlage
MIŠRI [gemischten]			
5.	SWA	Pietvakarių anticikloninis	Südwestlage, anticyklonal
6.	SWZ	Pietvakarių cikloninis	Südwestlage, zyklonal
7.	NWA	Šiaurės vakarų anticikloninis	Nordwestlage, anticyklonal
8.	NWZ	Šiaurės vakarų cikloninis	Nordwestlage, zyklonal
9.	HM	Vidurio Europos anticiklonas	Hoch Mitteleuropa
10.	BM	Vidurio Europos balnagūbris	Hochdruckbrücke (Rücken) Mitteleuropa
11.	TM	Vidurio Europos ciklonas	Tief Mitteleuropa
MERIDIANINĖ [meridionalen]			
12.	NA	Šiaurinis anticikloninis	Nordlage, anticyklonal
13.	NZ	Šiaurinis cikloninis	Nordlage, zyklonal
14.	HNA	Poliarinių jūrų ir Islandijos anticikloninis	Hoch Nordmeer-Island, anticyklonal
15.	HNZ	Poliarinių jūrų ir Islandijos cikloninis	Hoch Nordmeer-Island, zyklonal
16.	HB	Britų salų anticiklonas	Hoch Britische Inseln
17.	TRM	Vidurio Europos slėnis	Trog Mitteleuropa
18.	NEA	Šiaurės rytų anticikloninis	Nordostlage, anticyklonal
19.	NEW	Šiaurės rytų cikloninis	Nordostlage, zyklonal
20.	HFA	Fenoskandijos anticiklono	Hoch Fennoskandien, anticyklonal
21.	HFZ	Fenoskandijos ciklono	Hoch Fennoskandien, zyklonal
22.	HNFA	Poliarinių jūrų ir Fenoskandijos anticikloninis	Hoch Nordmeer-Fennoskandien, anticyklonal
23.	HNFZ	Poliarinių jūrų ir Fenoskandijos cikloninis	Hoch Nordmeer-Fennoskandien, zyklonal
24.	SEA	Pietryčių anticikloninis	Südostlage, anticyklonal
25.	SEZ	Pietryčių cikloninis	Südostlage, zyklonal
26.	SA	Pietinis anticikloninis	Südlage, anticyklonal
27.	SZ	Pietinis cikloninis	Südlage, zyklonal
28.	TB	Britų salų ciklonas	Tief Britische Inseln
29.	TRW	Vakarų Europos slėnis	Trog Westeuropa
30.	U	Pereinamasis / nenustatytas	Übergang

Mišrios cirkuliacijos forma apima du pietvakarių (SWA ir SWZ) ir du šiaurės vakarų pernašos krypties tipus (NWA ir NWZ), du aukšto slėgio (HM ir BM) ir vieną žemo slėgio sistemos virš Vidurio Europos (TM) tipus. SWA ir SWZ yra atitinkamai **Pietvakarių**

⁵ Hess P., Brezowsky H. (1977): Katalog der Grosswetterlagen Europas 1881–1976, 3. verbesserte und ergänzte Aufl. Berichte des Deutschen Wetterdienstes 113. Offenbach am Main.

anticikloninis ir **cikloninis** tipas, tik pirmu atveju virš Šiaurės ir Vakarų Vokietijos vyrauja anticikloninis, o antruoju cikloninis izobarų kreivumas. *Lietuvoje* vyraujant šiems tipams stebima pernaša iš pietvakarių ir didesnė cikloninės cirkuliacijos tikimybė esant SWZ tipui.

NWA ir NWZ yra atitinkamai **Šiaurės vakarų anticikloninis** ir **cikloninis** tipas, tik pirmu atveju virš Šiaurės ir Rytų Vokietijos vyrauja anticikloninis, o antruoju cikloninis izobarų kreivumas. Abu tipai susiję su aukštuminiu gūbriu virš Šiaurės Rytų Atlanto ir/ arba Šiaurės vakarų Europos ir slėniu virš Rytų Europos ir Baltijos regiono. *Lietuvoje* cikloninė cirkuliacija su aktyviais atmosferos frontais dažniau būna esant NWZ tipui.

HM **Vidurio Europos anticiklonas** – tai aukštuminis gūbrys virš Vidurio Europos, kuris gali būti susijęs su priežemio aukšto slėgio sistema virš šiaurinės Vidurio Europos ir pietinės Baltijos regiono. Virš *Lietuvos* vyrauja silpna šiaurės vakarų ir šiaurės krypčių pernaša, kuri palanki vėsesnių ir sausesnių oro masių advekcijai. BM **Vidurio Europos balnagūbris** – tai aukšto slėgio sąsmauka (Vidurio Europoje) tarp dviejų stipresnių aukšto slėgio sistemų vakaruose (Azorų aukštuminio gūbrio) ir rytuose (anticiklonas virš Rytų Europos). Esant šiam tipui *Lietuvoje* vyrauja anticikloninis laukas ir šiltos oro masės šiltuoju metų laiku. TM – **Vidurio Europos ciklonas** – tai mažai judri žemo slėgio sistema Vidurio Europoje, kurią vidurinėje troposferoje atitinka nedidelės amplitudės banga su slėniu virš Vakarų ir gūbriu virš Vidurio ar Rytų Europos. Šis cirkuliacijos tipas palankus šilto ir drėgno oro advekcijai į *Lietuvą* šiltuoju metų laiku.

Meridianinė cirkuliacijos forma apima visus meridianinės pernašos virš Vidurio Europos tipus: du šiaurės krypties (NA ir NZ), du – šiaurės rytų (NEA ir NEZ), du – pietryčių (SEA ir SEZ) ir du pietų (SA ir SZ) krypties tipus. Dar šiai cirkuliacijos tipai priklauso du poliarinių jūrų ir Islandijos anticiklono (HNA ir HNZ) ir du Fenoskandijos anticiklono (HFA ir HFZ) bei du šiems keturiems giminingos tipams – poliarinių jūrų ir Fenoskandijos anticiklono (HNFA ir HFNZ), du tipai susiję su kvazistacionariais sūkuriais virš Britų salų (HB ir TB) ir du didelės amplitudės slėniais (TRM ir TRW) bei vienas pereinamasis arba nenustatytas (U) tipas.

Abejoms **Šiaurinėms** tipams (NA, NZ – anticikloninis ir cikloninis) būdingas didelės amplitudės (blokuojantis) gūbrys virš Šiaurės rytų Atlanto ir Šiaurės vakarų Europos, o virš Baltijos regiono slėnis. Pagrindinis skirtumas tarp šių giminingų tipų – atitinkamai anticikloninis (NA) ir cikloninis (NZ) laukas virš Vokietijos. *Lietuvoje* vyrauja šiaurinė pernaša (NA) ar net silpna pietvakarių (NZ), tačiau abu tipai palankūs šalto oro advekcijai ir frontinei veiklai, tačiau ji aktyvesnė esant NZ tipui. NEA ir NEZ – tai atitinkamai **Šiaurės rytų anticikloninis** ir **cikloninis** tipai, kurie susidaro, kai virš Šiaurės ir Šiaurės vakarų Europos įsitvirtina nejudri, tačiau plati aukšto slėgio sistema lemianti pastovų šiaurės rytų vėjo lauką virš Vidurio Europos. Tai leidžia virš Vidurio Europoje ir pietinėje Baltijoje įsivyrėti sausiems (NEA) ir vidutiniškai šiltiems orams. Didesnė atmosferos frontų tikimybė *Lietuvoje* esant NEZ tipui.

Pietryčių anticikloninis ir cikloninis (SEA ir SEZ) tipai susidaro Rytų Europoje ir pietinėje Baltijoje įsitvirtinus stipriam anticiklonui, o pagrindinis skirtumas tarp SEA ir SEZ – tai aktyvi frontinė veikla Vidurio Europos vakaruose ar pietvakariuose (SEZ). Virš *Lietuvos* vyrauja silpna pernaša ir aukštesnio slėgio laukas, kurie palankūs oro masėms šilti šiltuoju pusmečiu. **Pietinis anticikloninis** (SA) ir **cikloninis** (SZ) tipas yra vieni „šilčiausių“ cirkuliacijos tipų Vidurio Europai, nes pats pavadinimas rodo vyraujant didelio masto pernašą iš pietų. *Lietuvoje* stipresnė pietų pietryčių krypties pernaša esant SZ ir silpnesnė – esant SA tipui.

Tiek **Poliarinių jūrų ir Islandijos anticiklono** anticikloninis (HNA), tiek cikloninis (HNZ) tipas atitinka labai anomalią atmosferos cirkuliaciją Europoje: jų metu pilnai sustabdomas atmosferos frontų judėjimas nuo Atlanto link Rytų Europos. Virš pietinės Baltijos vyrauja silpna šiaurės vakarų (HNA) pernaša ar aukštuminė aukšto slėgio sistema (HNZ). Pirmasis tipas dažnesnis pavasarį, o antrasis – pavasarį ir žiemą. *Lietuvoje* aktyvi atmosferos frontų veikla nebūdinga. **Fenoskandijos anticiklono** tipams (HFA ir HFZ) būdingas stiprus ir mažai judrus priežeminiis anticiklonas virš Skandinavijos ir Šiaurės rytų Europos. Tai reiškia silpną ar rytų krypties vėjo lauką virš *Lietuvos*. Dar dvi giminingi tipai (HNFA ir HNFZ) priklauso **Poliarinių jūrų ir Fenoskandijos anticiklonui**, kuris savo padėtimi panašus į HFA ir HFZ anticikloną, bet savo gūbriaus siekia ir Islandijos regioną. Abu tipai susiję su aukštesnio slėgio lauku ir silpna pernaša virš *Lietuvos*, tačiau didesnė atmosferos frontų veiklos tikimybė esant HNFA.

Britų salų anticiklono (HB) tipas susijęs su stacionariu aukštuminiu gūbriu ir/ arba priežemio anticiklonu virš Britų salų ir Šiaurės jūros. Priešingai, virš Baltijos regiono ir Rytų Europos tuo metu vyrauja aukštuminis slėnis. Pavasarį ir vasarą šiam tipui būdinga vėsesnės už normą oro masės *Lietuvoje*. Atmosferos frontai esant HB tipui neaktyvūs Lietuvoje. Kitokia situacija susidarius **Britų salų ciklono** (TB) tipo cirkuliacijai. Nors virš *Lietuvos* oro pernaša esant TB tipui neintensyvi, tačiau pati didelio masto srautų situacija palanki tropinio oro masių advekcijai į Lietuvą šiltuoju metų laiku. Kadangi esant TB tipui *Lietuvoje* vyrauja aukštesnio slėgio laukas, tai ji nepalanki gausių kritulių susidarymui.

Vidurio (TRM) ir **Vakarų** (TRW) **Europos slėnio** tipai reprezentuoja mažai judrų didelės amplitudės barinį slėnį atitinkamai virš Vidurio ir Vakarų Europos. Tiek esant TRM, tiek TRW tipui virš *Lietuvos* vyrauja oro pernaša iš pietvakarių, tik TRM atveju Lietuvoje daugiausia cikloninis laukas, o TRW – anticikloninis. Abu tipai palankūs šiltų ir drėgnų oro masių pernašai į Lietuvą nuo pietvakarinės Europos ir Viduržemio jūros. Dažniausiai tai lemia šių cirkuliacijos tipų pastovumas: kuo ilgiau išsilaiko vienas tipas ar giminingas su kitais tipais (SA, SZ, SWA, SWZ), tuo didesnė tropinės kilmės oro advekcijos tikimybė. **Pereinamasis** arba nenustatytas (U) cirkuliacijos tipas rodo gana chaotišką atmosferos judesių pasiskirstymą virš Europos.

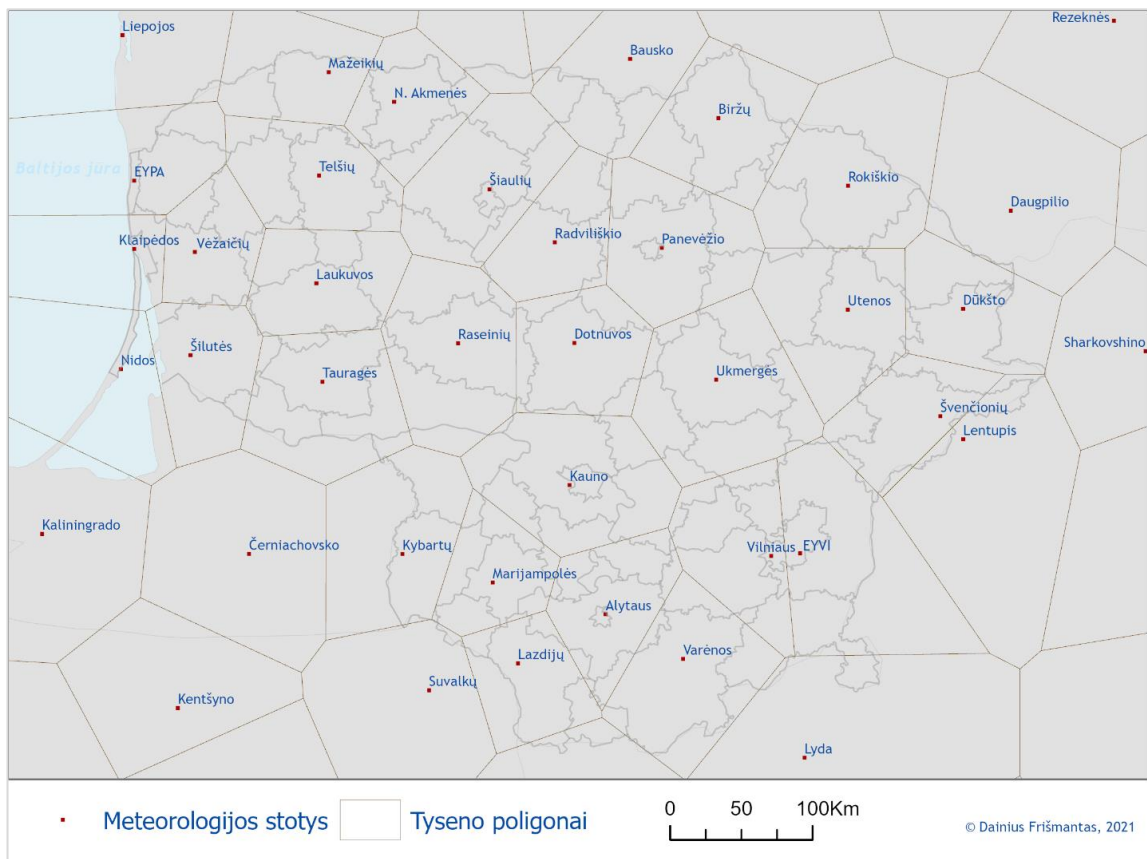
3.DARBO REZULTATAI

3.1 GAUSIŲ KRITULIŲ KARTOGRAFINĖ ANALIZĖ

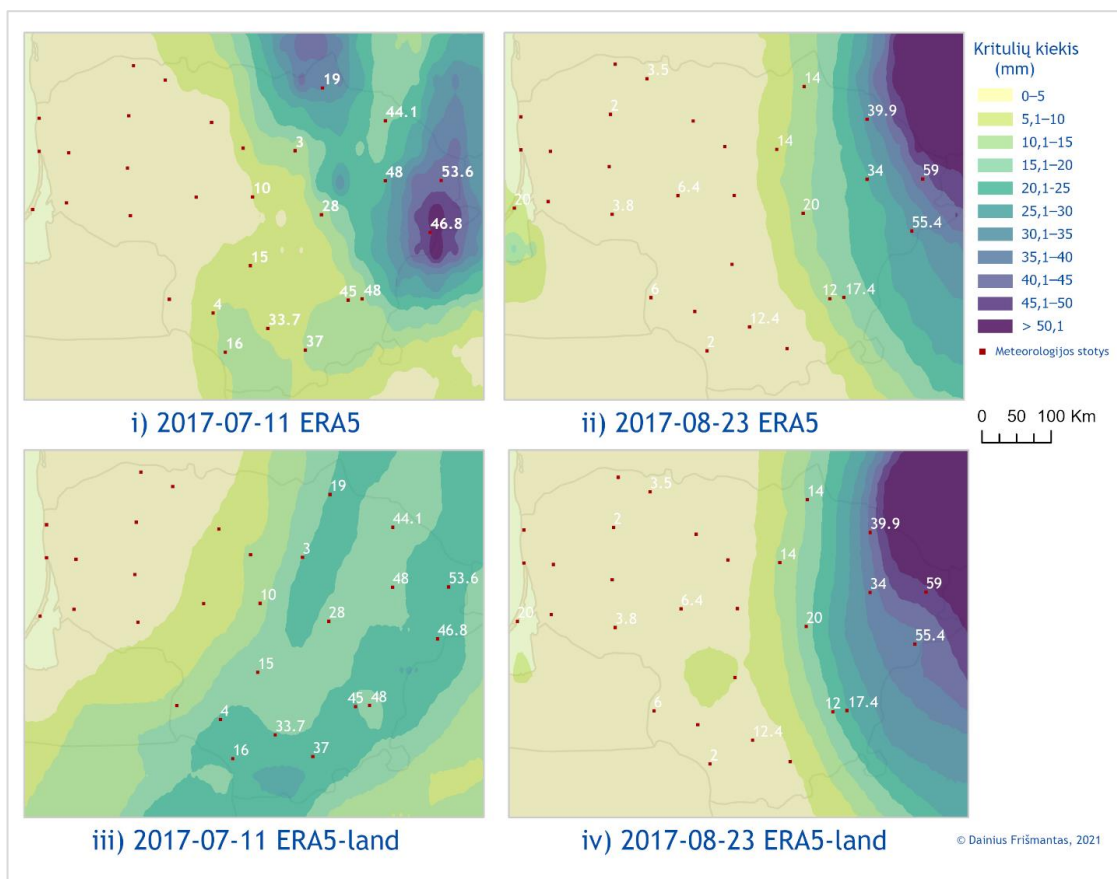
Gausių kritulių kartografinėi analizei atlikti reikalinga nustatyti epizodų erdvinis pasiskirstymus (3.1.1 poskyris) bei pagrindines charakteristikos (3.1.2 poskyris). 3.1.1 poskyryje pateikta i) skirtingų reanalizių bei stebėjimo stočių duomenų skirtumai, ii) erdvinis kritulių pasiskirstymas Lietuvoje, iii) interpoliacijos metodų (Spline ir atvirkščiai proporcingo atstumo metodo (toliau – IDW)) skirtumai analizuojant gausių kritulių epizodus.

3.1.1 Erdvinis pasiskirstymas Pietryčių Baltijos regione

Meteorologinių stočių tinklas yra per retas aptikti bei nustatyti lokalius gausių kritulių šaltinius. Tai įrodo plačiai taikomas Tyseno poligonų metodas (11 pav.). Kai kuriose vietovėse meteorologijos stotis reprezentuoja net kelių savivaldybių teritorijas (Ukmergės, Varėnos, Raseinių, Laukuvos stebėjimo stotys). Tyseno metodas – tai poligonas, apgaubiantis vieną plokštumoje išdėstytą taškų rinkinį, jog į šį poligoną patektų teritorija, kuri yra arčiausiai šio taško (Govorov, 2008). Tyseno (kitur dar vadinamo Voronojaus) plačiai taikomas metodas vertinant kritulių kiekio pasiskirstymą (Mozgeris ir Dumbrasukas, 2008).



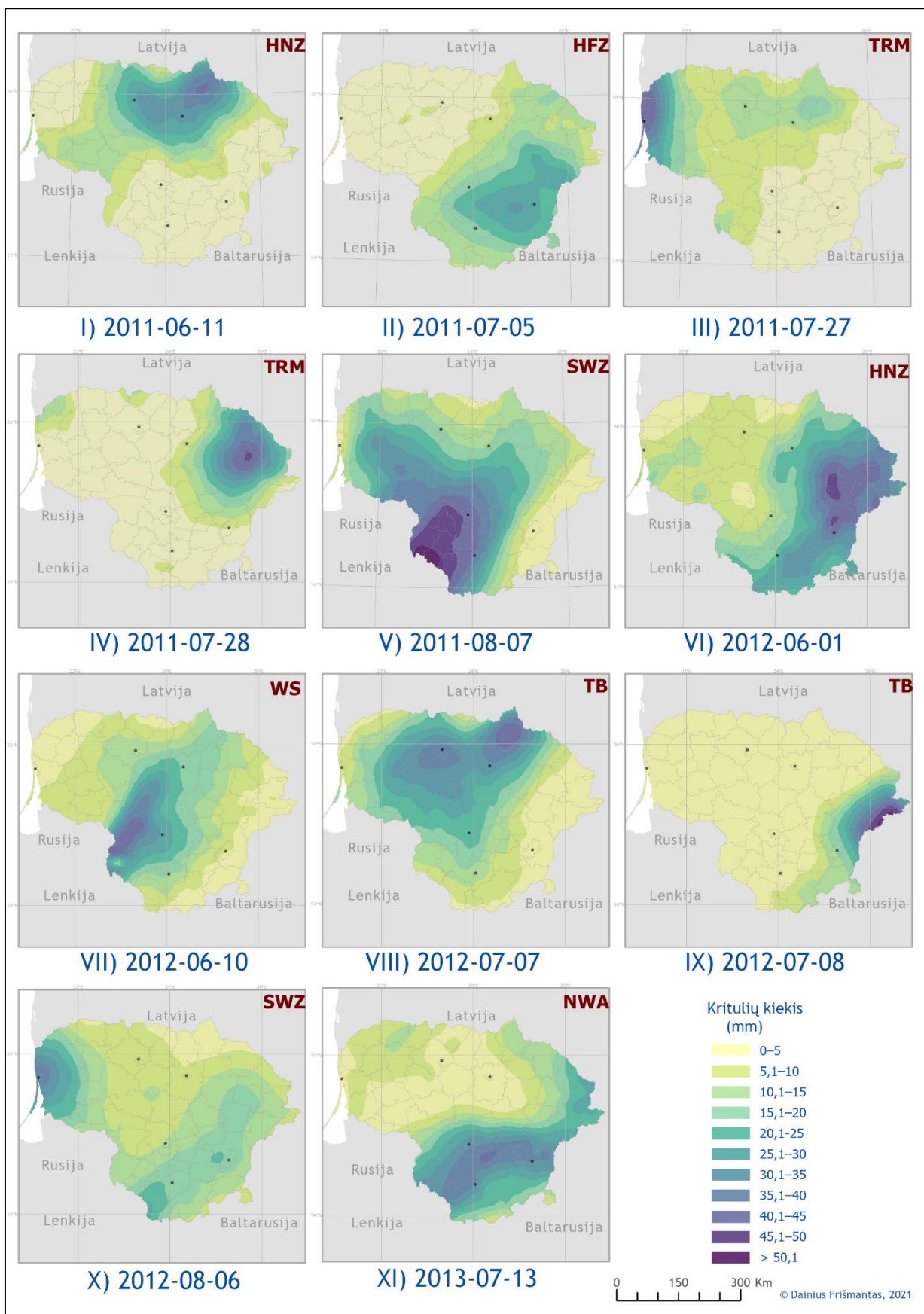
3.1 pav. Tyseno poligonų pritaikymas analizuotose meteorologijos stotyse



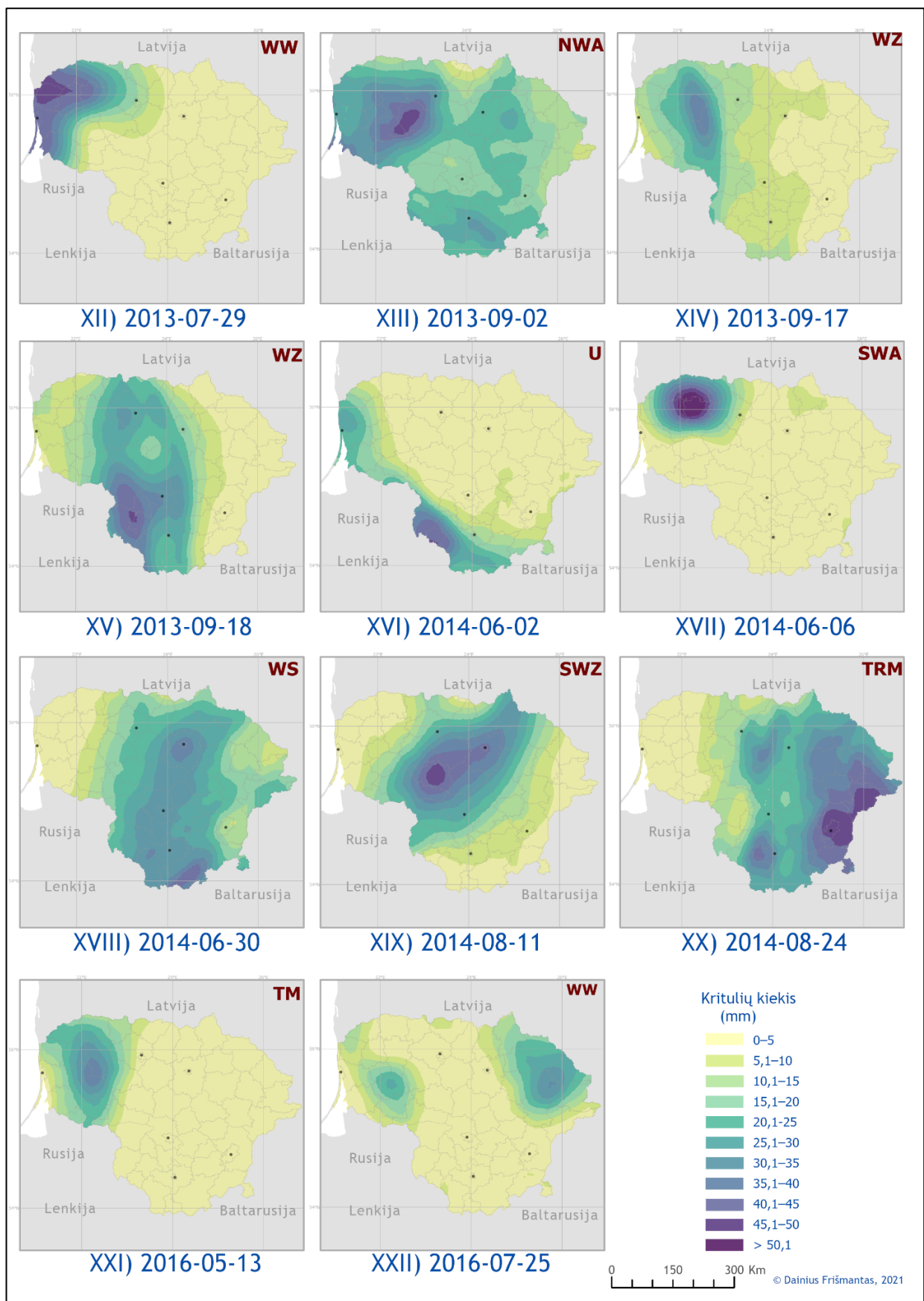
3.2 pav. Kritulių kiekio pasiskirstymas Pietryčių Baltijos regione, kai i) ir ii) atitinka ERA5 ir iii) ir iv) atitinka ERA5-land reanalizę. Balti skaičiai prie meteorologijos stoties atitinka to epizodo paros kritulių kiekį per parą (mm)

Palygintos visos reanalizės tarpusavyje (MESCAN-SURFEX, ERA5, ERA5-land). ERA5 ir ERA5-land interpoliacijos metodai ne visada aptinka ekstremalias reikšmes bei neatitinka erdvinio kritulių kiekio realios situacijos. Tyrimo metu išaiškėjo, kad pastarųjų reanalizių raiška yra per maža tiksliai apibrėžti gausių kritulių arealą. ERA5 duomenų tinklelis yra tolygesnis nei meteorologijos stočių stebėjimo duomenys, tačiau skirtas tirti ne ekstremaliems reiškiniams. ERA5-land reanalizė yra patobulinta ERA5 reanalizė į kurią yra įtrauka daugiau stebėjimo duomenų. Ši reanalizė pateikia tikslesnes erdvinio kritulių pasiskirstymo teritorijas, tačiau iki galo neaptinka ekstremalių reikšmių. Tolimesnėje analizėje buvo naudoti tik MESCAN-SURFEX duomenys (3.3 pav.).

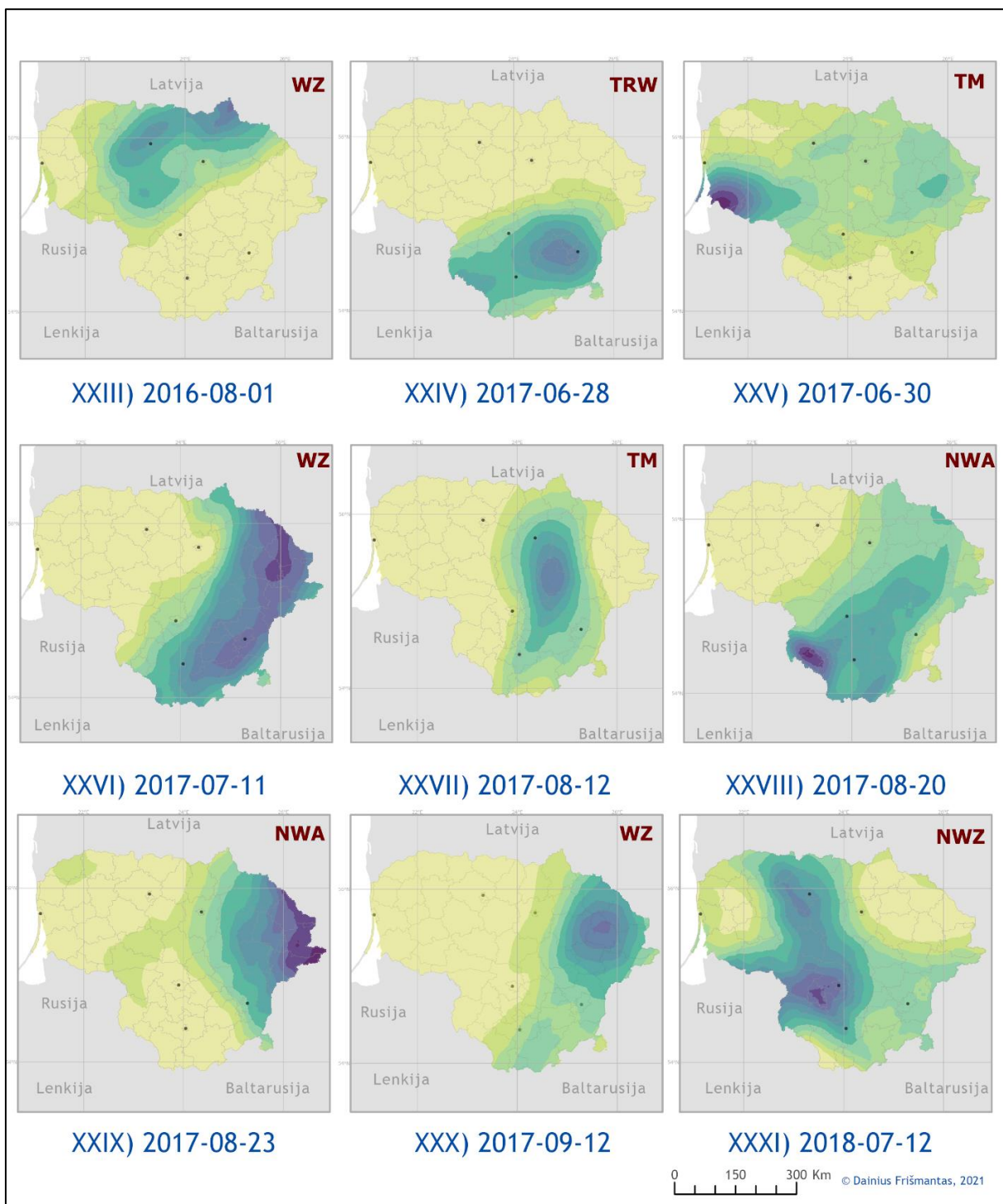
Kiekvienas epizodas yra unikalus ir pasižymi skirtingo kritulių kiekio pasiskirstymu laike ir erdvėje. 3.3-3.5 paveiksluose pateiktas kritulių kiekio erdvinis pasiskirstymas Lietuvoje per visus 31 epizodus 2011–2018 metais. 2015 metais nebuvo nė vieno epizodo, kuris atitiko metodikoje apsibrėžtą didesnę nei 30 mm kritulių kiekį per parą. Daugiausiai epizodų (7) buvo užfiksuota 2017 metais.



3.3 pav. Erdvinis kritulių kiekio laukas Lietuvoje I – XI epizodų metu. Raudonos spalvos santrumpas atitinka atmosferos cirkuliacijos tipą pagal Heso-Brezovskio klasifikaciją kritulių iškritimo parą

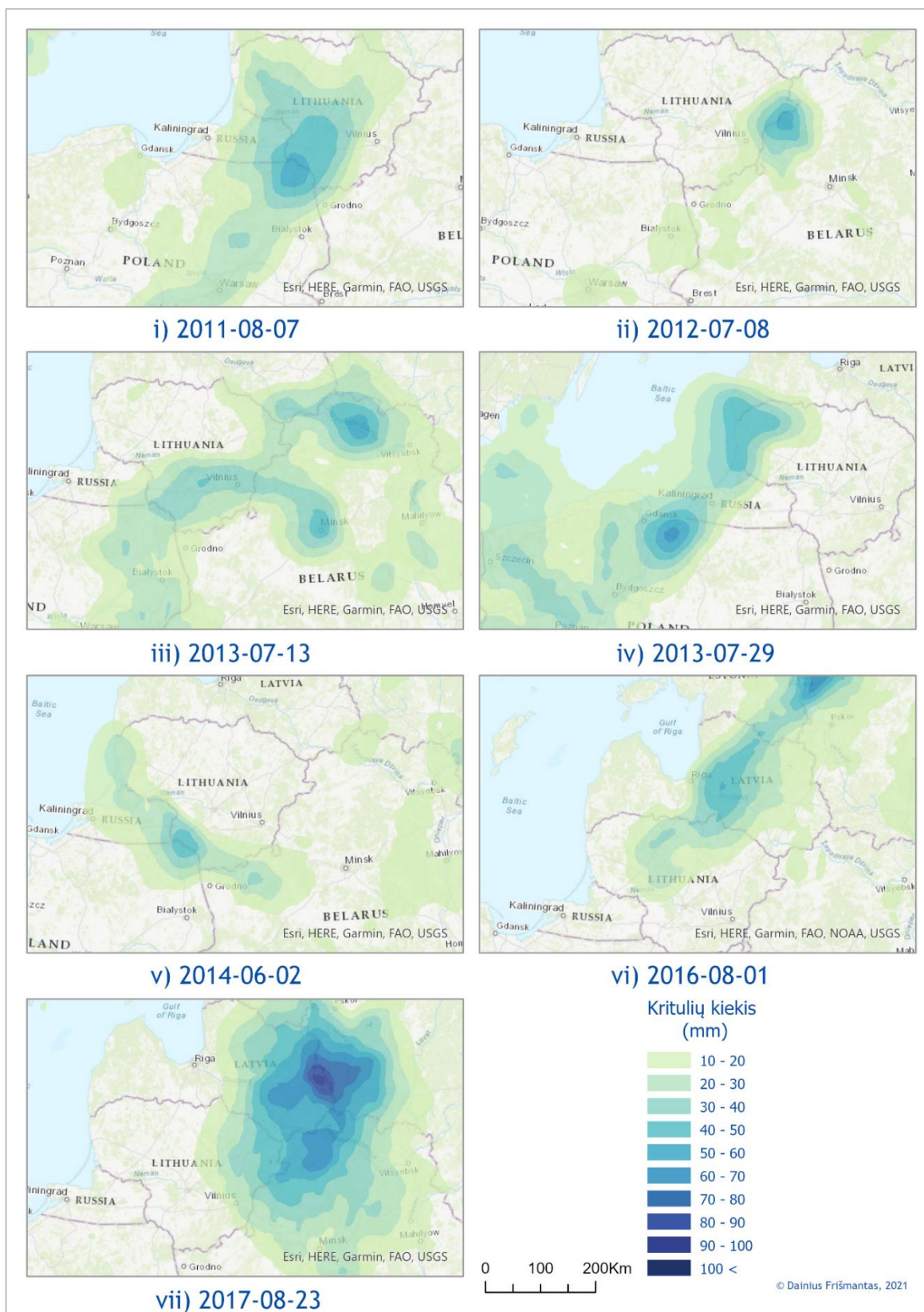


3.4 pav. Erdvinis kritulių kiekio laukas Lietuvoje XII – XXII epizodų metu. Raudonos spalvos santrumpos atitinka atmosferos cirkuliacijos tipą pagal Heso-Brezovskio klasifikaciją kritulių iškritimo parą



3.5 pav. Erdvinis kritulių kiekio laukas Lietuvoje XXIII – XXXI epizodų metu. Raudonos spalvos santrumpos atitinka atmosferos cirkuliacijos tipą pagal Heso-Brezovskio klasifikaciją kritulių iškritimo parą

Epizodai, kurių metu kritulių kiekis buvo didesnis už 50 mm/ 24 val., dažniausiai buvo susiję su aukštuminiu slėniu arba ciklonu (po 5 epizodus). Aukštuminis slėnis arba ciklonas buvo palankūs kamuolinių lietaus debesų susidarymui bei priežemio ciklonuose besiformuojančios frontinės bangos. 7 epizodų metu lemiamą vaidmenį gausių kritulių (50 mm) iškritimui darė šaltas atmosferos frontas, mažiau šiltas (5) ir okliuzijos frontai (3 epizodai).



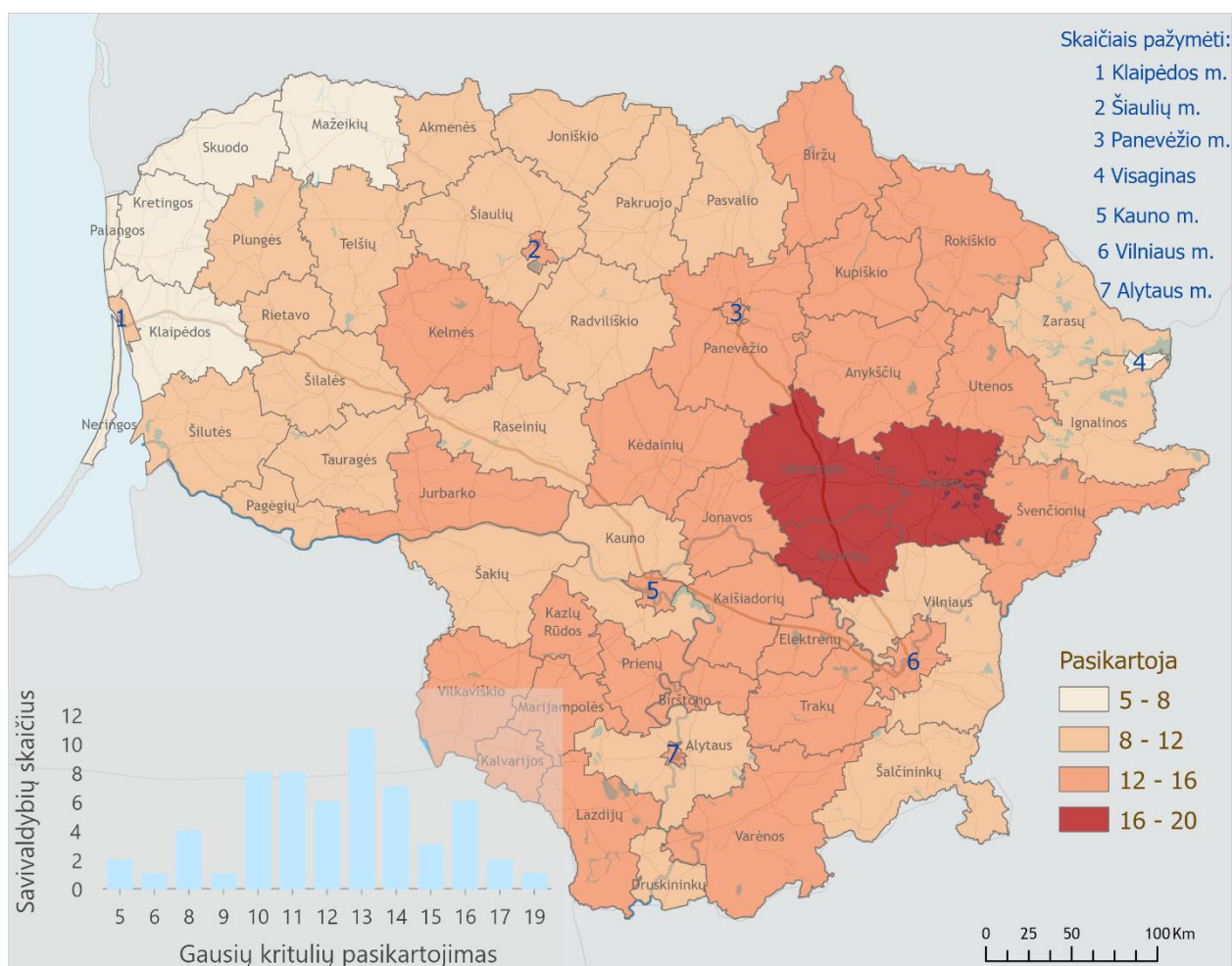
3.6 pav. Kritulių erdvinis pasiskirstymas Lietuvoje ir kaimyninėse valstybėse, kai kritulių kiekio maksimumas buvo ne Lietuvos teritorijoje: i) – vii) epizodais

Gausių kritulių epizodai neapsiriboja valstybių sienomis. Apie 30 % epizodų kritulių kiekio epicentras buvo nustatytas ne Lietuvos teritorijoje (3.6 pav.). Dažniausiai šie procesai atslinko iš

kaimyninių Lenkijos arba Baltarusijos valstybių. 2017 m. rugpjūčio 23 d. išsiskiria iš visų, nes kritulių kiekis per parą viršijo 100 mm. Šio epizodo epicentras buvo Latvijos-Rusijos valstybinė siena. Toks kritulių kiekis atitinka apytiksliai 1,5 mėnesio normą.

3.1.2 Pagrindinės gausių kritulių lauko charakteristikos

Lietuvoje stichinės ir katastrofinės kritulių reikšmės yra, kai kritulių kiekis didesnis už 50 ir 80 mm. Tarp analizuotų gausių kritulių epizodų buvo nustatyta ekstremalių reikšmių, kai kritulių kiekis viršijo viršijo 50 ir 80 mm per parą. Stipriausio lietaus epizodai buvo 2012 m. liepos 7 d. ir 2014 m. birželio 6 d., kai atitinkamai išmatuotas kritulių kiekis buvo 82.2 mm (N. Akmenė) ir 83.0 mm (Telšiai) (2.1 lentelė). 15 epizodų iš 31 maksimalus kritulių kiekis buvo didesnis už 50 mm per parą. 2011–2018 metų laikotarpiu gausiausių kritulių epizodai dažniausiai registruoti Kauno (4 epizodai), Klaipėdos (3), Dūkšto (3) meteorologijos stotyse. Dažniausiai gausių kritulių epizodai šiltuoju metų sezonu buvo nustatyti liepos mėnesį (10 epizodų), birželį ir rugpjūtį (po 8), o mažiausiai gegužės mėnesį (1).

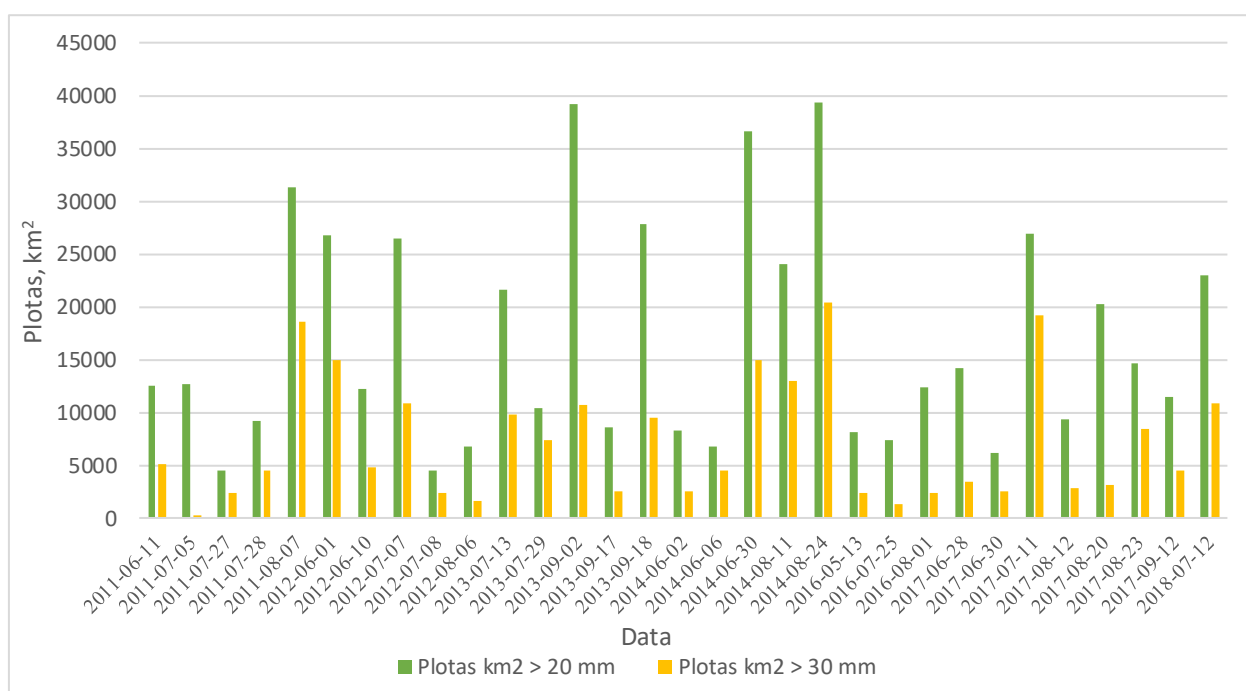


3.7 pav. Gausių kritulių epizodų pasikartojimas Lietuvos Respublikos savivaldybių teritorijose

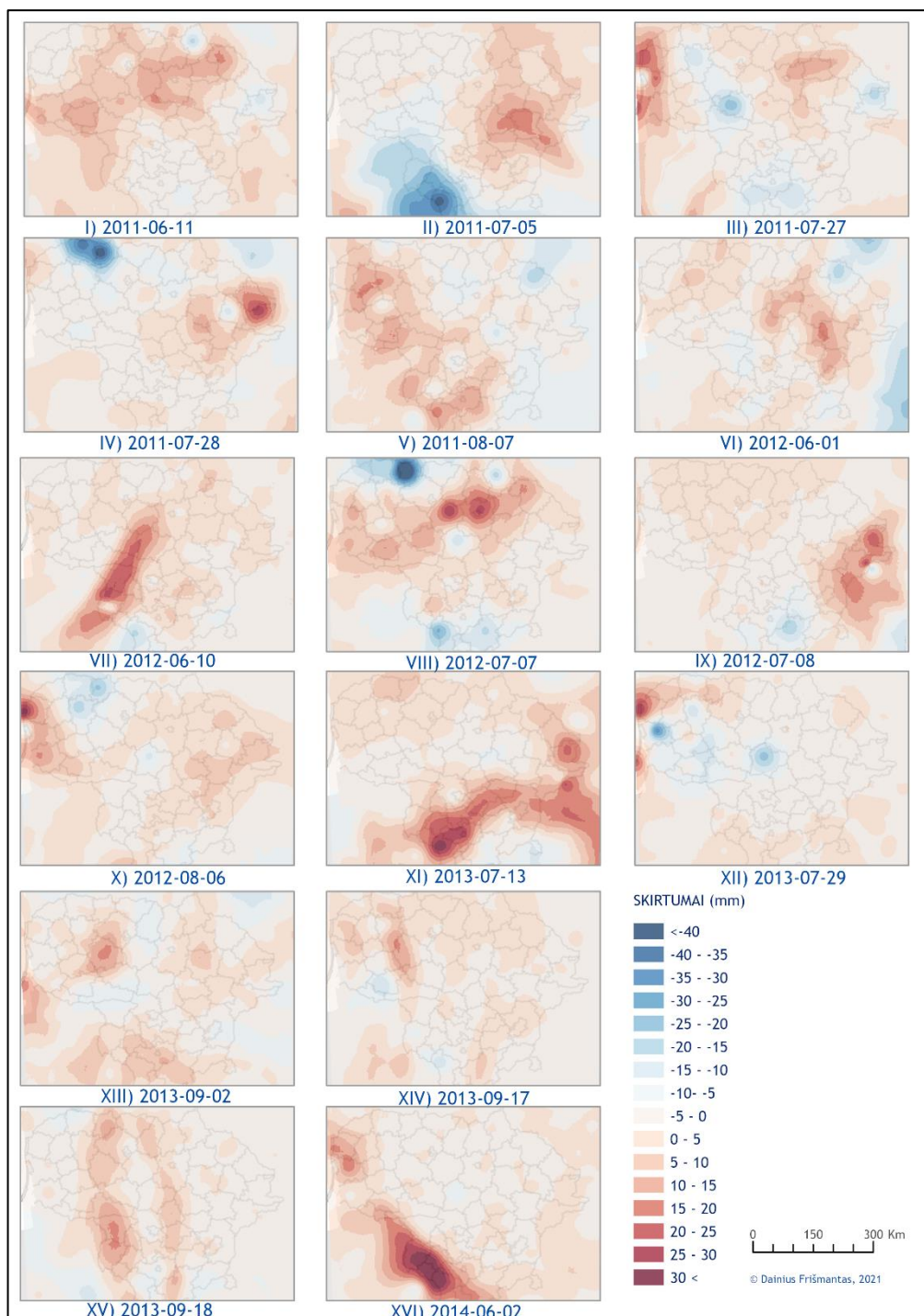
Gausių kritulių epizodai buvo susieti su Lietuvos savivaldybių ribomis (pagal meteorologinių stočių padėtį). Dažniausiai gausių kritulių epizodai nustatyti Ukmergės (19 epizodų), Širvintų ir Molėtų savivaldybėse (3.7 pav.). 13 epizodų metu krituliai iškrito net 12 skirtingų savivaldybių. Kiekvieno epizodo metu gausių kritulių užimamas plotas buvo labai skirtingas ir priklauso nuo daugelio faktorių. Plotas apskaičiuotas pagal MESCAN-SURFEX reanalizės duomenis. 2011 m. rugpjūčio 7 d., 2014 m. rugpjūčio 24 d., 2017 m. liepos 11 d. buvo nustatyta, kad kritulių užimamas plotas, kai kritulių intensyvumas viršijo 30 mm/ parą, sudarė 30 % Lietuvos teritorijos ploto. 11 epizodų kritulių kiekio plotas, kai kritulių kiekis didesnis nei 30 mm, nesudarė nei 5 % Lietuvos teritorijos ploto. Šie gausių kritulių epizodai buvo labai lokalūs.

10 analizuotų epizodų didžiausias kritulių kiekio plotas viršijantis 20 mm/ parą, sudarė 33 % Lietuvos teritorijos ploto (3.8 pav.). Ypač išsiskyrė 2013 m. rugsėjo 2 d., 2014 m. birželio 30 d. ir 2014 m. rugpjūčio 24 d. epizodai, kai kritulių kiekio plotas buvo didesnis už pusę Lietuvos teritorijos.

Didžiausi skirtumai tarp reanalizės ir interpoliuotų meteorologijos stočių (stebėjimų) duomenų buvo nustatyta Lietuvos Respublikos teritorijos pakraščiuose ypač pietiniuose ir vakariniuose rajonuose, nes ten yra retesnis meteorologijos stočių tinklas, o kaimyninių valstybių stočių netoli Lietuvos sienos nėra daug. MESCAN-SURFEX reanalizės kritulių intensyvumas didesnis už stebėtus kritulius nustatytas kritulių lauko maksimumo zonoje, taip pat, reanalizės gausūs krituliai atitinkamai užima didesnę plotą.



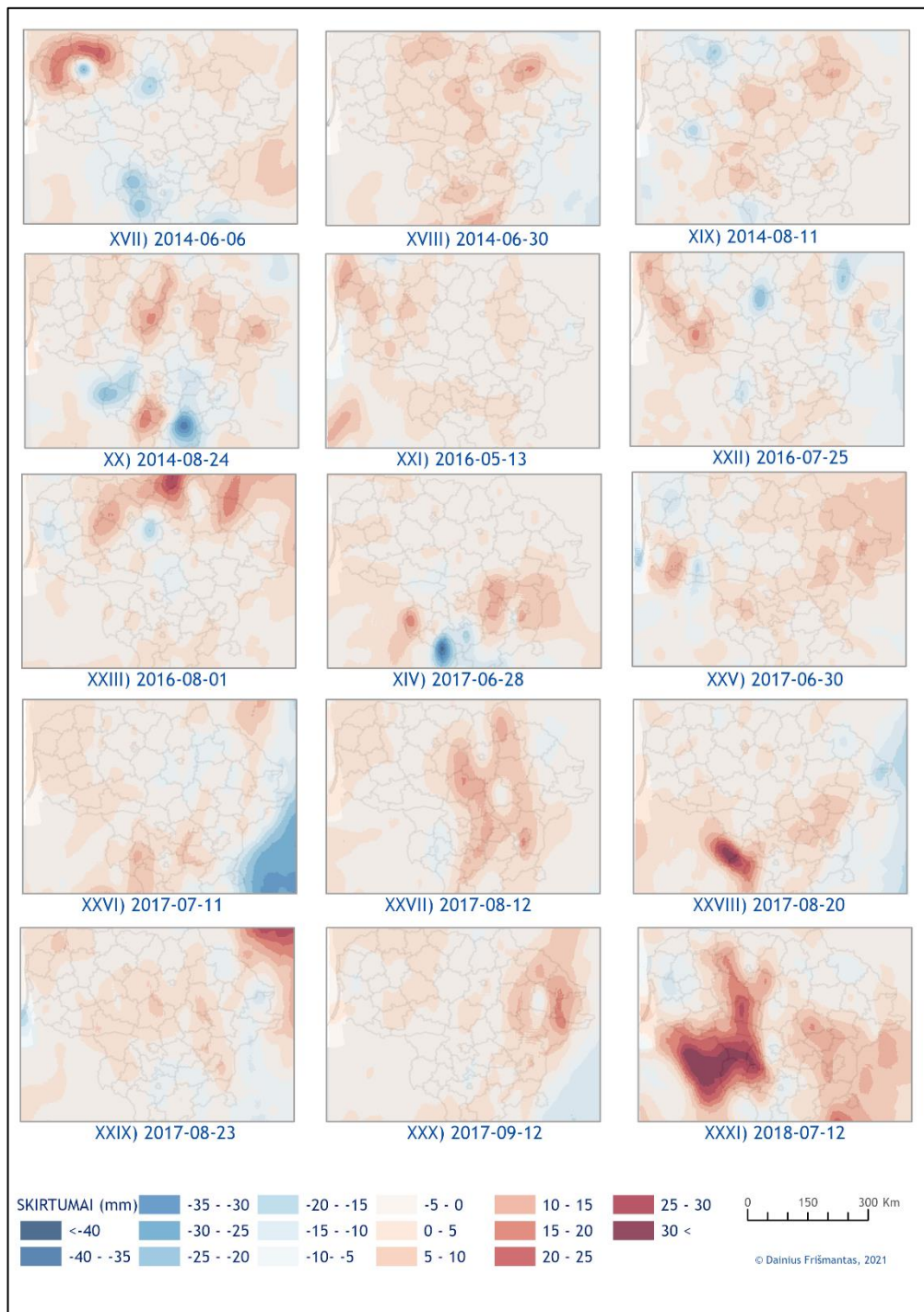
3.8 pav. Kritulių lauko, kai kritulių intensyvumas siekia 20 ir 30 mm/ parą, plotas (km²) skirtingais gausių kritulių epizodais 2011 - 2018 metais šiltuoju metų laikotarpiu



3.9 pav. Kritulių kiekio (intensyvumo) skirtumai (mm/parą) tarp MESCAN-SURFEX reanalizės ir interpoliuotų meteorologijos stebėjimo stočių duomenų tirtų I – XVI epizodų metu

Meteorologijos stočių kritulių duomenų interpoliacija lemia retas ir nenuoseklus meteorologijos stočių tinklas. Dėl reto stočių tinklo ir vienos meteorologijos stoties paklaidos susidaro didžiuliai skirtumai tarp duomenų pateiktų reanalizėje ir meteorologijos stotyse. Mažiausi skirtumai buvo nustatyti vietose, kur kritulių nėra arba jie siekia iki 10-15 mm/parą (3.9 ir 3.10 pav.). Didžiausiai skirtumai, kurie siekė nuo daugiau nei 30 mm/parą nustatyti 2013 m. liepos 13

d., 2014 m. birželio 2 d., 2017 m. rugpjūčio 20 d., 2018 m. liepos 12 d. ir iki -40 mm: 2011 m. liepos 28 d., 2012 m. liepos 7 d.



3.10 pav. Kritulių kiekio (intensyvumo) skirtumai (mm/parą) tarp MESCAN-SURFEX reanalizės ir interpoliuotų meteorologijos stebėjimo stočių duomenų tirtų XVII – XXXI epizodų metu

3.2 METEOROLOGINIŲ SĄLYGŲ ANALIZĖ

Kiekvienas gausių kritulių epizodas išsamiai aprašytas 3.2.1 poskyryje (1 priedas). Poskyryje analizuojama atmosferos cirkuliacijos sąlygos lėmusios gausius kritulius Lietuvoje. 3.2.2 poskyryje detaliau apžvelgta integruoto vandens garų kiekio atmosferos stulpe sąsaja su kritulių erdviu pasiskirstymu. 3.2.3 poskyryje analizuojami Heso-Brezovskio atmosferos cirkuliacijos tipų dėsningumai gausių kritulių epizodais (2 priedas).

3.2.1 Gausių kritulių sinoptinės sąlygos

2011-06-11 Blokuojančio šilto anticiklono, kuris įsitvirtino virš Šiaurės-rytų Europos 06.08 ir iširo 06.12-06.13 d. pietvakarių periferija Lietuvoje. Į pietvakarius nuo Lietuvos laikosi nejudrus šaltas banguotas atmosferos frontas. 06.12 šis frontas pradeda judėti į šiaurės-rytus, o 06.13 galutinai iš Lietuvos teritorijos išstumia šiltą ir drėgną oro masę. 06.11 intensyvius kritulius lėmė prieš šaltą frontą susiformavusi konvergencijos (nepastovumo) linija sudaryta iš galingų galingų kamuolinių lietaus debesų ir nusidriekusi nuo Kurzemės šiaurės vakaruose iki Ašmenos aukštumos rytuose. Arčiausiai šalto atmosferos fronto konvergencijos linija buvo šiaurinėje ir šiaurės vakarinėje Lietuvos dalyje (3.11 pav.).

2011-07-05 Atskirtos aukštuminės žemo slėgio srities formavimasis virš Vidurio Europos, kuri nuo 07.03 lokalizavosi virš Šiaurės rytų Lenkijos ir Pietvakarių Lietuvos, o 07.05 pasislinko į Karpatų regioną (Ukraina). Pietinė Lietuvos dalis atsidūrė šio silpstančio aukštuminio ciklono šiaurinėje periferijoje. 07.05 dieną priežeminio ciklono centras stiprėdamas juda nuo Pietų Rusijos link Baltarusijos, o jo šiltasis banguotas frontas juda per Lietuvos teritoriją iš šiaurės rytų į pietvakarius. 07.05-07.06 d. intensyvius kritulius lėmė atmosferos fronto bangos viršūnė susidariusi šiltame fronte ir judėjusi per pietinę Lietuvą 07.05 vakaro valandomis (3.11 pav.).

2011-07-27 Didelio masto aukštuminio slėnio, kuris išėstas nuo Skandinavijos iki Italijos, rytinė periferija. Į Lietuvos teritoriją vyksta didelio masto oro pernaša iš pietų (Balkanai). 07.27 šaltame fronte, kuris driekiasi iš pietų į šiaurę (Dunojaus žemupys – Suomų įlanka) susidaro banga perauganti į nedidelį cikloninį sūkurį (mezocikloną), kurio centras per parą praeina nuo rytinės Lenkijos per Vidurio Lietuvą iki Kurzemės, kur jis užsipildo. Daugiausia kritulių iškrito šio mezociklono užnugaryje vakarinėje dalyje (Žemaitijoje), tačiau ne visoje zonoje, o iš pavienių kamuolinių lietaus debesų įsiterpusių fronto debesų sistemoje.

2011-07-28 Tai 2011-07-27 proceso tęsinys, kai šaltame mezociklono fronte susidaro frontinė banga ir jos viršūnėje kitas laikinas mezociklonas, judantis iš pietryčių į šiaurės vakarus. Daugiausia kritulių iškrito šiaurinėje Lietuvoje iš frontinių ir kamuolinių lietaus debesų.

2011-08-07 Aukštuminio šilto gūbrio šiaurės vakarinė (šiltoji) periferija. Kritulių zona formuojasi gilaus ciklono šilto sektoriaus nepastovumo (škvalo) linijoje vėlyvo popiečio valandomis prieš šaltąjį frontą, kuris lėtėdamas juda per Lietuvą iš vakarų į rytus. Nepastovumo linija sudaryta iš galingų kamuolinių lietaus debesų. Gausūs krituliai – iškritę nepastovumo linijoje bei šaltame atmosferos fronte (3.11 pav.).

2012-06-01 Gilėjantis aukštuminis slėnis Skandinavijoje ir Baltijos regione, o vidurio Šiaurės Atlante – oro srauto blokavimas. Sparti ciklogenezė nejudriame šaltame fronte, kuris nusidriekęs nuo Britanijos iki Karpatų. Ciklono centras susidaro virš Š. Vokietijos 06.01 naktį, o tos pačios dienos vėlyvą popietę ciklonas okliuduoja virš Šiaurės rytų Lietuvos ir Latvijos. Gausūs krituliai Lietuvoje susiję su sparčia frontinės bangos raida ir okliuzijos taško susidarymu.

2012-06-10 Plataus aukštuminio slėnio virš Vakarų Europos rytinė periferija. Mažai judriame fronte, kuris driekiasi nuo Alpių iki Vidurio Rusijos 06.10 antroje dienos pusėje formuojasi atmosferos fronto banga, kurios viršūnėje dienos pabaigoje greitai formuojasi negilus ciklonas. Ciklonas per naktį keliauja link Rygos įlankos. Gausūs krituliai tiesiogiai susiję su bangos viršūnės debesuotumu ypač šiltojo fronto. Intensyviausi krituliai antroje nakties pusėje 06.11, jie susidarė ir iškrito šiltoje oro masėje, kuri Lietuvoje užtruko mažiau nei 12 val.

2012-07-07 Beveik stacionarus anticiklonas virš Šiaurės Rusijos ir mažai judrus aukštuminis slėnis virš Vakarų Europos. Nuo 07.04 iki 07.07 į Lietuvos vakarinę dalį vyksta stipri šilumos advekcija. Ši labai šilta ir drėgna oro masė iš Lietuvos galutinai pasitraukia 07.09. Prieš šaltąjį frontą virš šiaurinės Žemaitijos susidaro nepastovumo linija su galingais kamuoliniais lietaus debesimis, kurie lemia stiprias liūtis.

2012-07-08 Tai 2012-07-07 proceso tęsinys, kai šaltas atmosferos frontas ir prieš jį esanti nepastovumo linija per Lietuvą pasitraukia į rytus (Baltarusija) (3.11 pav.).

2012-08-06 Plataus aukštuminio slėnio rytinė periferija. 08.06 dienos metu Lietuva patenka į ciklono šiltąjį sektorių su labai šilta ir drėgna oro mase. Gausūs krituliai formuojasi nepastovumo linijoje prieš šaltąjį frontą vėlyvo popiečio valandomis, pajūryje - nepastovumo linija bei banga šaltame fronte. Krituliai susidarė šiltoje ir drėgnoje oro masėje, o iškrito tiek šiltoje, tiek vėsioje.

2013-07-13 Aukštuminis ciklonas susidarė virš Lenkijos 07.11-07.12, o 07.13 atsidūrė virš vakarinės Baltarusijos. Priežemyje virš Lietuvos laikosi neaktyvus, bet brandžios stadijos ciklonas (trijų frontų tipų sistema). Gausūs krituliai formuojasi okliuzijos taške, kuris atitinka nedidelio ciklono centrą. Krituliai susidarė šiltoje ir drėgnoje oro masėje, o iškrito vėsioje.

2013-07-29 Aukštuminio gūbrio šiaurinė, šiaurės vakarinė periferija. Priežemyje link Lietuvos pakrantės lėtai juda šaltas banguotas frontas su žemo slėgio sritimi. Šalto fronto priešakyje labai šilta ir nepastovi oro masė. Gausūs krituliai formuojasi nepastovumo linijoje ir

šaltame fronte, kuris popiečio valandomis judėjo išilgai pajūrio linijos. Krituliai susidarė ir iškrito šiltoje ir drėgnoje oro masėje.

2013-09-02 Aukštuminis slėnis iš šiaurės vakarų, kuriame 09.02 dieną susidaro aukštuminis ciklonas su centru virš Latvijos judantis į pietryčius. Priežemyje - brandaus ciklono užnugaryje veikiančys antriniai frontai šaltoje oro masėje. Ciklono užnugario sektoriuje 09.02 dieną į vakarinę Lietuvos dalį iš šiaurės vakarų atslenka okliuzijos frontas arti ciklono centro (3.11 pav.).

2013-09-17 Gilėjantis aukštuminis slėnis virš Vakarų Europos ir stacionarus gūbrys virš Uralo. Vakarinė Lietuvos dalis gilėjančio rytinėje slėnio periferijoje, likusi – mažų gradientų lauke. Priežemyje į Lietuvą iš vakarų atslenka (lėtai judantis) šiltasis frontas ir 09.17 popietę vakarinė Lietuvos dalis patenka į šiltąjį sektorių, kuris yra netipiškas dėl nepaslankumo. 09.18 naktį šaltas frontas tampa beveik stacionarus ties Žemaitija, tačiau jame formuojasi bangos su išilgai fronto judančiomis žemo slėgio sritimis.

2013-09-18 Tai 09-17 dienos atvejo tęsinys. Šaltas banguotas lėtai judantis frontas išlieka virš vakarinės Lietuvos dalies tik pietuose jis pasislenka lik Dzūkijos.

2014-06-02 Mažų gradientų aukštuminis slėnis virš Vidurio Europos. Lietuva slėnio rytinėje dalyje, kurioje vyksta oro pernaša (500-700 hPa) nuo Juodosios jūros. Už šilto atmosferos fronto, kuris nusidriekęs į šiaurę nuo kvazistacionaraus ciklono centro virš Odesos įlankos, vyksta santykinai šilto nepastovaus oro advekcija, kuri stipriausia Lietuvos teritorijoje 06.02 vakare, o stipriausi aukštyneigiai srautai virš Šiaurės rytų Lenkijos ir Vakarų Lietuvos – atitinkamai 06.02 vėlai vakare ir 06.03 anksti ryte, nes pats frontas lėtai slenka į vakarus. Intensyviausi krituliai susiję su okliuzijos tašku bei bangos viršūne (3.11 pav.).

2014-06-06 Gilėjantis aukštuminis slėnis (Šiaurės jūra – Balkanai), 06.06 dieną Vakarų Lietuva atsiduria šio slėnio rytinėje periferijoje, o virš europinės Rusijos dalies laikosi mažai judrus šiltas gūbrys. Priežemyje per Vakarų Lietuvą slenka seno ciklono (centras virš Kategato) mažai judrus okliuzijos frontas. Intensyviausi krituliai iškrenta ne iš pagrindinio fronto, bet iš galingų kamuolinių lietaus debesų virtinės prieš frontą. 06.07 dienos ryte fronto judėjimo greitis padidėja ir jis nustumiamas į rytus nuo Lietuvos teritorijos.

2014-06-30 Aukštuminis slėnis virš Vidurio Europos lėtai judantis į rytus. Lietuva slėnio rytinėje periferijoje. Priežemyje brandaus ciklono (centras Vidurio Švedijoje) šaltame fronte formuojasi banga, kuris virš Vidurio Lietuvos 06.30 tampa beveik nejudrus ir padalindamas Lietuvą į du sektorius: 1. šilta drėgna oro masė rytinėje dalyje (po pietų vystosi nepastovumo linija) ir vidutinių platumų – likusioje. Krituliai – beveik visą 06.30 parą, bet patys intensyviausi vakare ir 07.01 naktį, t. y. tuo metu, kai fronto aktyvumas pats stipriausias. Šis fronto aktyvumo padidėjimas susijęs su frontinės bangos judėjimu (atslinkimu) iš pietų. Krituliai iškrito tiek iš kamuolinių lietaus debesų, tiek iš frontinių debesų.

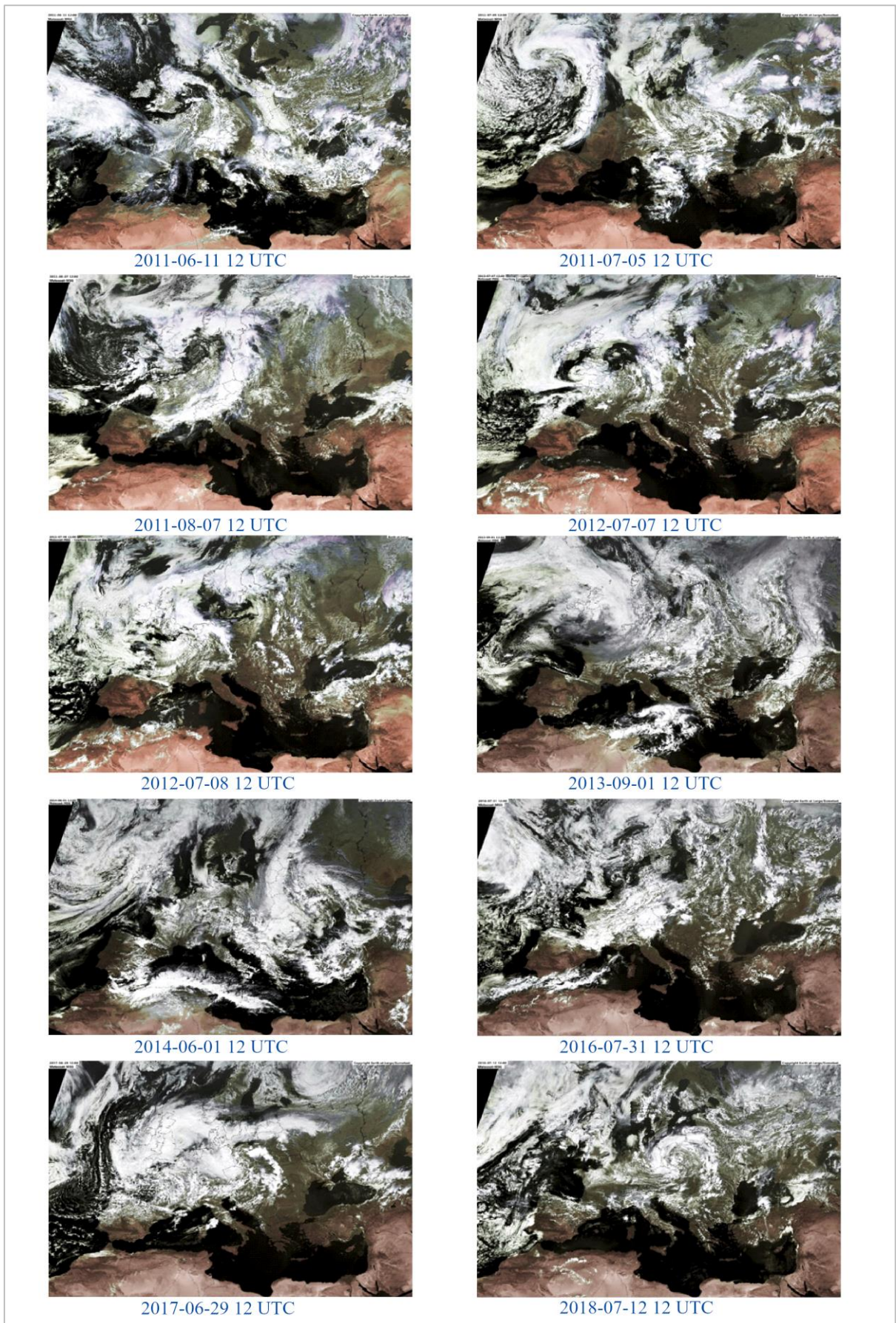
2014-08-11 Klasikinis pavyzdys. Platus aukštuminis slėnis virš Vakarų Europos, o gūbrys – virš Rytų Europos. Slėnis lėtai juda ir plečiasi į rytus. Lietuva atsiduria gūbrio vakarinėje periferijoje. Priežemyje virš Šiaurės vakarų Europos senas nejudrus besipildantis ciklonas, o jo pietine periferija juda greitai gilėjantis jaunas ciklonas (juda į šiaurės rytus). Frontas šiltajame sektoriuje į Lietuvą 08.11 perneša labai šiltą ir nepastovią oro masę. 08.11 vakare šaltas atmosferos frontas pasiekia pajūrį, o prieš frontą (Vidurio Lietuvoje) vystosi labai aktyvi nepastovumo linija sudaryta iš kamuolinių lietaus debesų. Vėlai vakare frontiniai ir nepastovumo linijos debesys susijungia į vieną sistemą. 08.12 ryte nepastovumo linijos debesuotumas išliko pietrytinėje Lietuvos dalyje, vėliau šaltas frontas nuslinko už Lietuvos ribų.

2014-08-24 Platus lėtai judantis aukštuminis slėnis virš Vidurio Europos. Lietuva atsiduria slėnio pietryčių periferijoje. Stiprios šilumos advekcija iš pietryčių keliauja per Baltarusiją į šiaurę. Priežemyje 08.24 ryte per Žemaitiją nusidriekęs šaltas banguotas frontas (šiaurės rytų - pietvakarių kryptimi). Kitame, į pietus esančiame (Pietų Karpatai) mažai judriame banguotame šaltame fronte, formuojasi greitai besivystanti banga su žemo slėgio sritimi ties bangos viršūne. Ši banga 08.24 pasiekia šiauriau esantį šaltąjį frontą ir jų debesų sistemos susilieja. Intensyviausi krituliai iškrito greitai besivystančioje bangos viršūnėje ir šiltame atmosferos fronte.

2016-05-13 Aukštuminio slėnio (virš Vidurio Europos) rytinė periferija slenkanti šiaurės-rytus. Priežemyje senas, okliuduotas ciklonas nuo Alpių regiono slenka link Pietų Lenkijos. Judėdamas į šiaurės rytus jis sutrikdo beveik mažai judrų šaltą frontą (ištįsusį platumine kryptimi nuo Šiaurės Vokietijos link Centrinės Rusijos) ir ties Pietryčių Baltija susidaro atmosferos fronto banga 05-12 vakare. Ši frontinė banga lieka mažai judri, tačiau bangos amplitudė labai padidėja 05-13 po pietų, o ties bangos viršūne (pajūryje) formuojasi nepastovumo linija. Intensyvūs liūtinio pobūdžio krituliai iškrito nepastovumo linijoje, kuri susidarė šiltoje nepastovioje oro masėje.

2016-07-25 Aukštuminis mažų gradientų gūbrys virš Rytų Europos ir Baltijos regiono (vakarinė dalis). Priežemyje – mažų gradientų aukštesnio slėgio laukas, kuriame popiečio valandomis susidaro nepastovumo linija (Rytų ir Vidurio Lietuva): 07-25 po pietų virš Vidurio Lietuvos, o jau 07-26 pirmoje dienos pusėje suskyla į dvi dalis – Ašmenos aukštumoje ir Latgaloje. Intensyvūs krituliai susidarė šiltoje ir nepastovioje oro masėje, iškrito iš storų kamuolinių lietaus debesų nepastovumo linijoje.

2016-08-01 Platus aukštuminis slėnis, Lietuva patenka į pietryčių periferiją, didelių gradientų zonoje. Šaltame fronte (einančiame nuo Suomų įlankos iki Pietų Vokietijos) susidarė banga ir joje žemo slėgio centras (08-01 naktį), o priešpiet bangos viršūnė – ties Vidurio Lietuva ir juda į šiaurės rytus. Po pietų – ji Latvijoje. Intensyviausi krituliai iškrito bangos viršūnėje ir šilto fronto atkarpoje iš frontinių debesų sistemų (3.11 pav.).



3.11 pav. Kombinuotas (VIS + IR) METEOSAT palydovinis vaizdas © earthatlarge.com

2017-06-28 Aukštuminis gilus slėnis virš Vakarų Europos ir paslankus gūbrys nuo Juodosios jūros į Baltijos regioną. Pietinėje Lietuvos dalyje stipri šilumos advekcija kartu lėtai iš pietų judančiu aktyviu šiltu frontu. Už šilto fronto seka nepastovumo linija, nes už fronto labai nepastovi oro masė. Nepastovumo linija sudaryta iš storų ir kompaktiškų kamuolinių lietaus debesų masyvo virš Pietryčių Lietuvos naktį iš 28 į 29 d.

2017-06-30 Tai 06-28 dienos didelio masto proceso tęsinys. Brandaus ciklono atkeliavusio nuo Pirėnų šaltame fronte. 06-29 ryte susidaro banga su atskiru žemo slėgio sūkurium ties pietvakarių Lenkija. Šis naujas ciklonas sparčiai vystosi ir 09-29 vėlai vakare pasiekia pietinę Baltiją. Okliuzijos frontas su centru virš Kaliningrado priartėja prie vakarinės Lietuvos 09-30 ryte, o po pietų besipildydamas centras atsiduria Lietuvos pajūryje; okliuzijos frontas pietinėje Žemaitijos dalyje ir laikosi iki kitos dienos ryto. Gausų kritulių kiekį Vakarų Lietuvoje lėmė trys sistemos: i) nepastovumo linija ir šaltas frontas 06-30 anksti ryte, ii) ciklono centras ir iii) okliuzijos frontas dieną, vakare ir kitą naktį (3.11 pav.).

2017-07-11 Tai didelio masto aukštuminė banga su slėniu virš Vakarų ir gūbriu – virš Rytų Europos lėtai slenkanti į rytus. Lietuva slėnio pietrytinėje periferijoje. Priežemyje 07-11 virš Vidurio Europos šaltame fronte susidarė banga peraugusi į cikloną virš Pietryčių Baltijos ir judantį link Suomijos. Tą pačią dieną Lietuva atsidūrė šio ciklono šiltame sektoriuje su šilta nepastovia oro mase ir nepastovumo linija popietinėmis valandomis. Labai gausius kritulius lėmė nepastovumo linija ir šaltas frontas.

2017-08-12 Tai didelio masto aukštuminė banga su slėniu virš Vidurio ir gūbriu – virš Rytų Europos. Lietuva atsidūrė vakarinėje gūbrio periferijoje didelių gradientų zonoje – pernaša iš pietų pietvakarių. Priežemyje šaltame atmosferos fronte išstūstame nuo Balearų salų link Karelijos susidaro banga (08-10) ties Ligūrijos įlanka. Šiltasis sektorius su labai nepastovia ir šilta oro mase ir nepastovumo linija atsiduria virš Lietuvos 08-12 vidudienį (ciklono centras ties Gotlando sala), o 08-13 ryte šaltas frontas išstumia šiltą oro masę į šiaurės rytus. Šaltas atmosferos frontas labai sustiprėja 08-12 pavakare ties Rytų Lietuva.

2017-08-20 Aukštuminis slėnis virš Vidurio Europos poroje su gūbriu virš Rytų Europos. Lietuva yra slėnio rytinėje periferijoje – didelių gradientų zonoje. Priežemyje per Lietuvą 08-19 po pietų lėtai juda šaltas banguotas frontas, kuris 08-20 naktį sustoja rytiniame pakraštyje; dieną, pagilėjęs slėniui iš pietų frontas tampa šiltas ir lėtai juda į vakarus, kol vakare galutinai pasitraukia į rytus už Lietuvos ribų.

2017-08-23 Gilus aukštuminis slėnis virš Baltijos regiono nukreiptas link vakarinės Juodosios jūros dalies. 08-23 dieną virš rytinės Lietuvos susidaro lokalus aukštuminis žemo slėgio centras, kuris 08-24 naktį perauga į gilų cikloną virš rytinės Baltarusijos. Priežemyje 08-22 virš Azovo jūros susidaro lokalus ciklonas, kuris keliauja kartu su šalto fronto banga į šiaurės vakarus

ir sustiprėja 08.23 vakare, o 08.24 naktį okliuduojasi – okliuzijos frontas ir antrinis šaltas frontas virš Šiaurės-rytų Lietuvos. Gausūs ir intensyvūs krituliai iškrito ciklono centrinėje dalyje, okliuzijos fronte ir antriniame šaltame fronte užnugaryje.

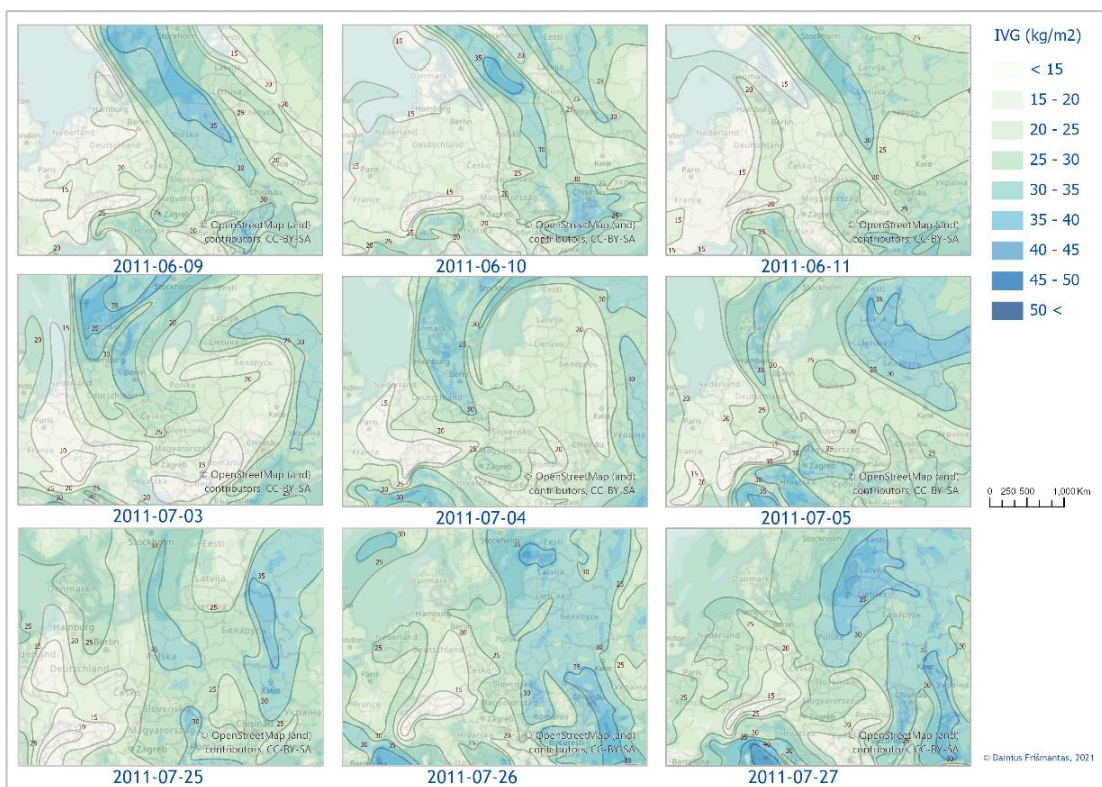
2017-09-12 Tai aukštuminis slėnis virš Vidurio Europos poroje su gūbriu virš Rytų Europos. Ši slėnio – gūbrio sistema beveik stacionari. Lietuva rytinėje slėni periferijoje – didelių gradientų zonoje. Priežemyje 09-12 Rytų Lietuvoje laikosi kvazistacionarus šaltas banguotas frontas, kuris per dieną pajuda apie 50 km į vakarus ir rytus; ilgiausiai frontas su frontine banga laikosi virš Šiaurės rytų Lietuvos. Gausūs krituliai (su perkūnijomis) iškrito iš frontinės bangos debesų.

2018-07-12 Aukštuminis ciklonas virš Lenkijos teritorijos, Lietuva šio ciklono šiaurės rytinėje periferijoje. Priežemyje seno ciklono (centras Lenkijoje) lėtai judantis ir irstantis okliuzijos frontas virš Pietvakarių Lietuvos. 07-12 fronto priešakyje virš Lietuvos labai nepastovi oro masė. Stipriausi aukštyneigiai judesiai dieną ir naktį iš 07-12 į 07-13 virš Vidurio ir Pietų Lietuvos. Gausūs krituliai iškrito iš okliuzijos fronto ir nepastovumo linijos (3.11 pav.).

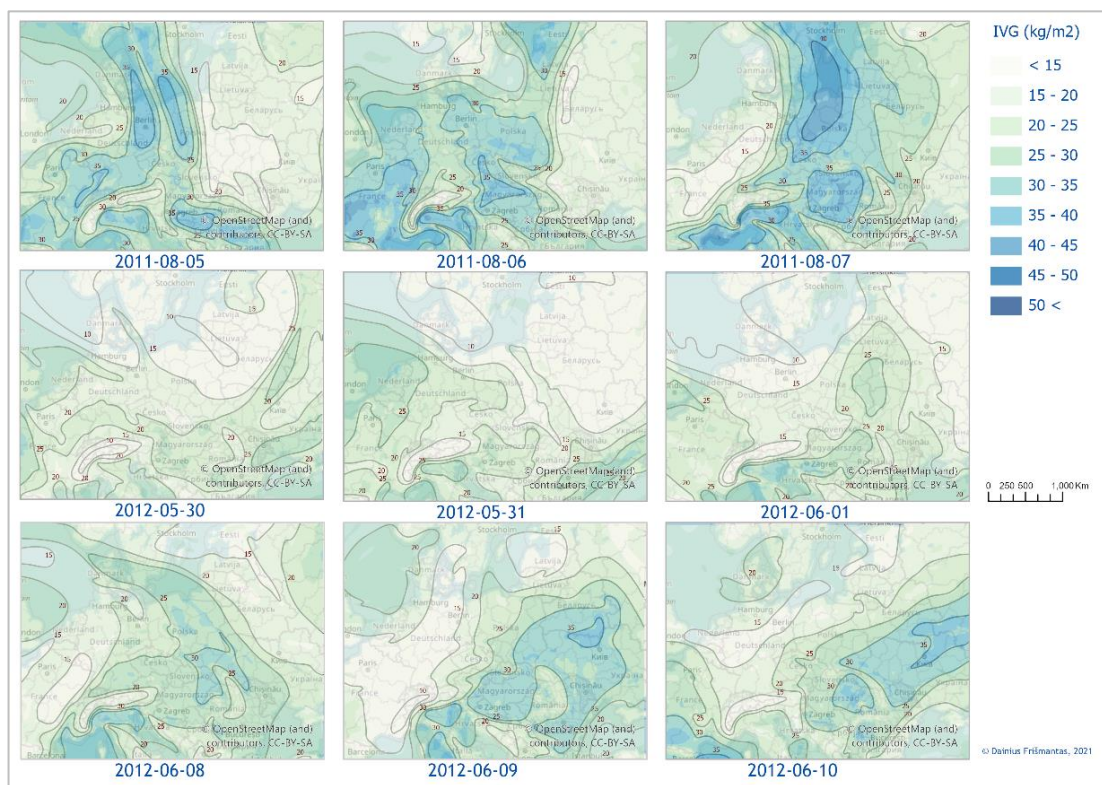
Sinoptinė analizuotų epizodų analizė parodė, kad gausūs krituliai susidarė: i) šaltuose (13 epizodų), ii) okliuzijos (8), iii) šiltuose (8), iv) greta vienas kito slenkančiuose šiltuose ir šaltuose frontuose (2). Dažniausiai gausių kritulių epizodai buvo susiję su šaltais atmosferos frontais. Kartu su frontais formuojasi ir susidaro nepastovumo linijos, frontinės bangos bei kamuoliniai lietaus debesys. Nustatyta, kad gausių kritulių epizodus be frontų dažniausiai lemia nepastovumo linijos su kamuoliniais lietaus debesimis (17 epizodų iš 31). Atlikus detalią atmosferos cirkuliacijos analizę išsiaiškinta, kad iš barinių darinių: aukštuminio slėniai (13 epizodų), ciklonai (6) bei aukštuminiai gūbriai ir ciklonai (po 4) lemia palankias sąlygas gausių kritulių formavimuisi Lietuvoje.

3.2.2 Integruoto vandens garų kiekio ir kritulių lauko sąsajos

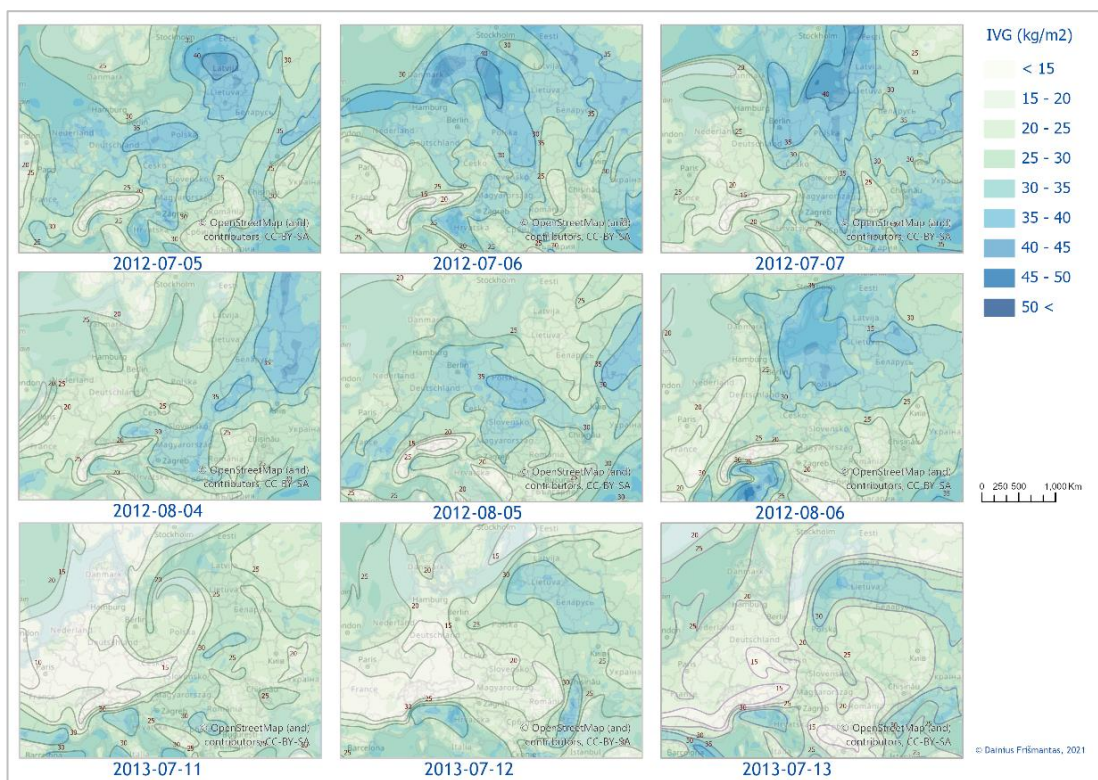
Šiltuoju metų sezonu drėgna oro masė galime vadinti teritoriją, kurioje **integruoto vandens garų kiekio atmosferos stulpe** (toliau – IVG) reikšmė kinta nuo 21,4 kg/m² (arba mm) gegužės ir iki 30,0 mm liepos mėnesiais (3.1 lentelė). Gausių kritulių epizodais Lietuvoje IVG reikšmės siekė iki 45 kg/m². IVG pasiskirstymo erdviniai žemėlapiai padeda nustatyti ne tik atmosferos frontų, bet ir nepastovumo linijų ar aktyvių antrinių frontų padėtį bei galimą gausių kritulių epicentrą. Drėgnos oro masės į Lietuvą dažniausiai atslinko iš pietų (11 epizodų), pietvakarių ir pietryčių (po 6 epizodus). Drėgnos oro masių nebuvo nustatyta iš šiaurės, šiaurės-rytų bei šiaurės-vakarų kryptų. Birželį dažniausiai oro masės atslenka iš pietų, pietvakarių bei pietryčių, o rugpjūtį – pietų ir pietvakarių. Kitais analizuotais mėnesiais negalima nustatyti tikslų judėjimo trajektorijų dėsningumo dėl mažo epizodų skaičiaus. Didžiausios IVG reikšmės buvo nustatytos liepos ir rugpjūčio mėnesiais (3.12 pav. – 3.20 pav. ir 3 priedas).



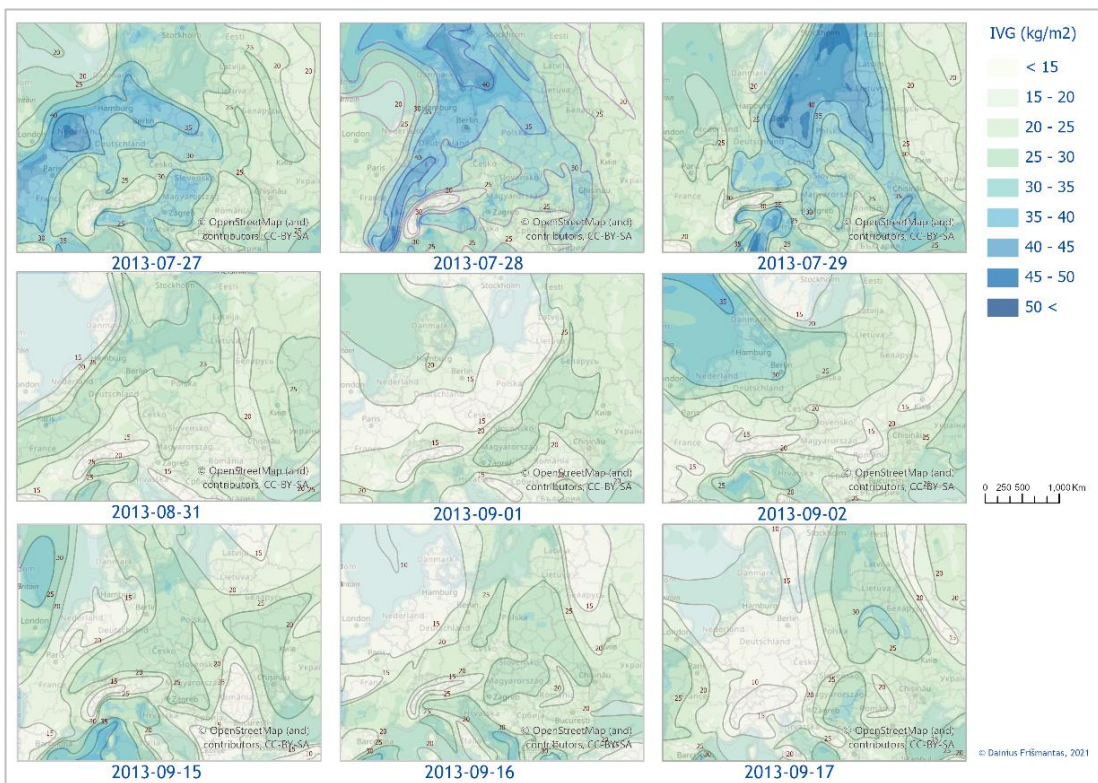
3.12 pav. IVG (kg/m^2) erdvinis pasiskirstymas bei dinamika per 3 paras: viršutinė eilė - 2011 m. birželio 9 - 11 dienomis, vidurinė - liepos 3 - 5 d. ir apatinė - liepos 25 - 27 d.



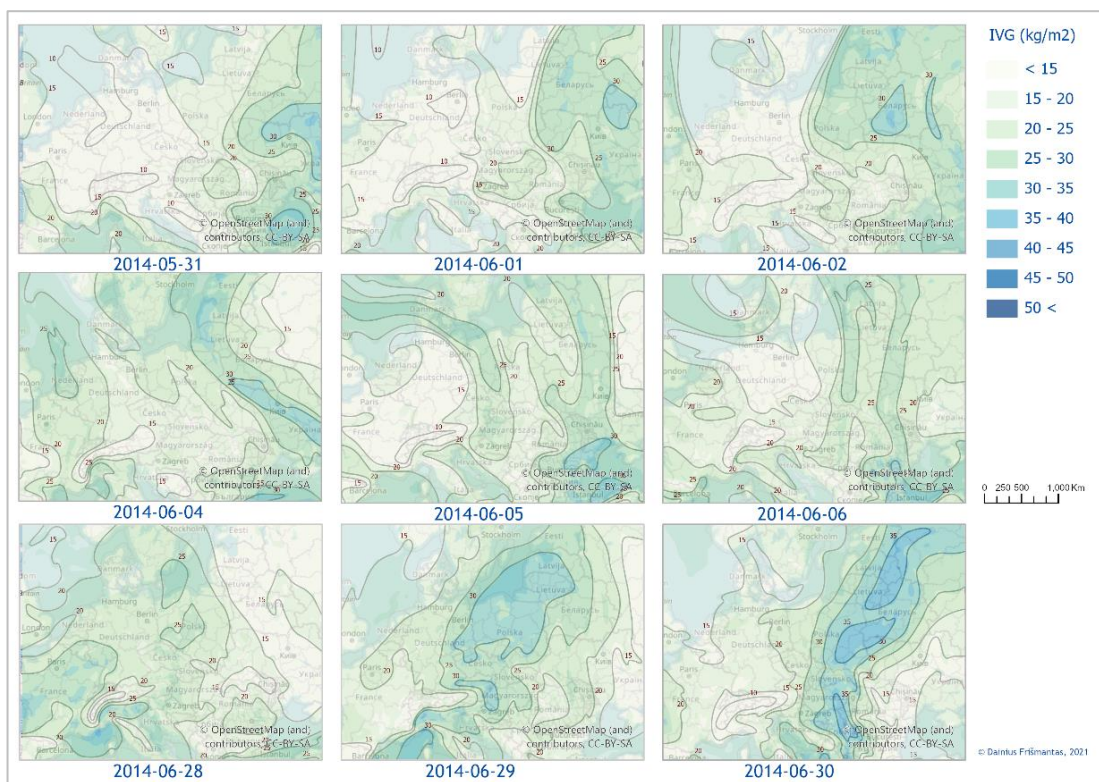
3.13 pav. IVG (kg/m^2) erdvinis pasiskirstymas bei dinamika per 3 paras: viršutinė eilė - 2011 m. rugpjūčio 5 - 7 dienomis, vidurinė - 2012 m. gegužės 30 d. - birželio 1 d. d. ir apatinė - 2012 m. birželio 8 - 10 d.



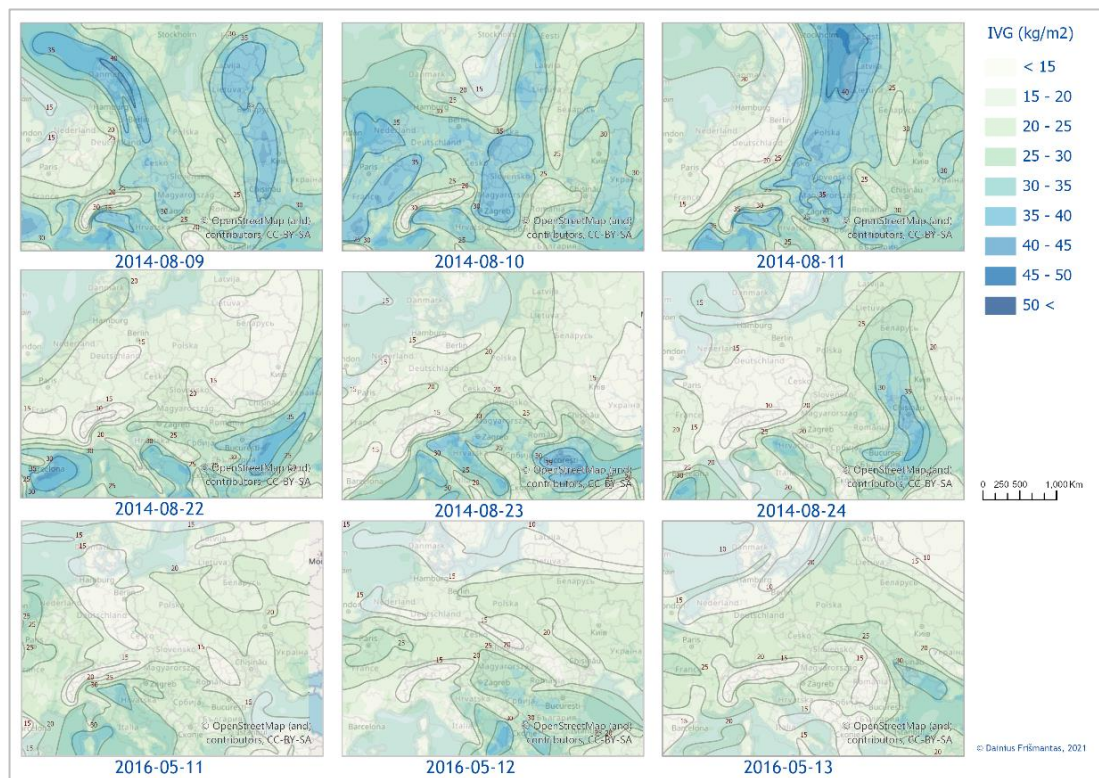
3.14 pav. IVG (kg/m^2) erdvinis pasiskirstymas bei dinamika per 3 paras: viršutinė eilė - 2012 m. liepos 5 - 7 dienomis, vidurinė - rugpjūčio 4 - 6 d. ir apatinė - 2013 m. liepos 11 - 13 d.



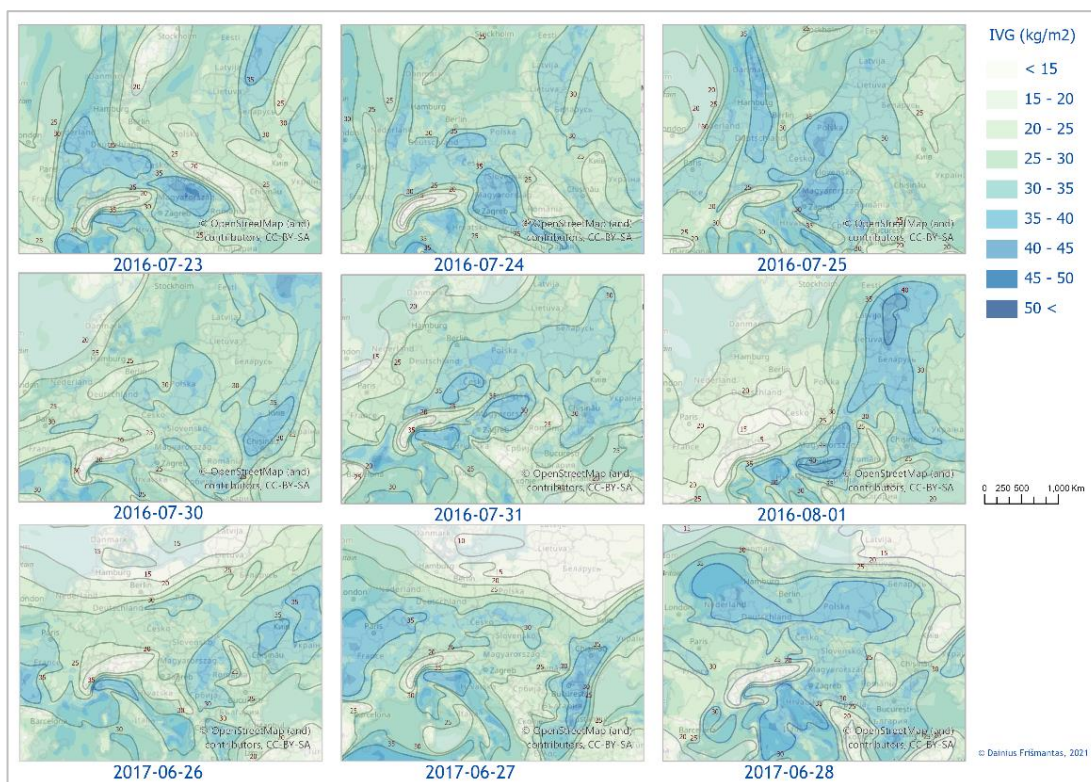
3.15 pav. IVG (kg/m^2) erdvinis pasiskirstymas bei dinamika per 3 paras: viršutinė eilė - 2013 m. liepos 27 - 29 dienomis, vidurinė - rugpjūčio 31 d. - rugsėjo 2 d. ir apatinė - rugsėjo 15 - 17 d.



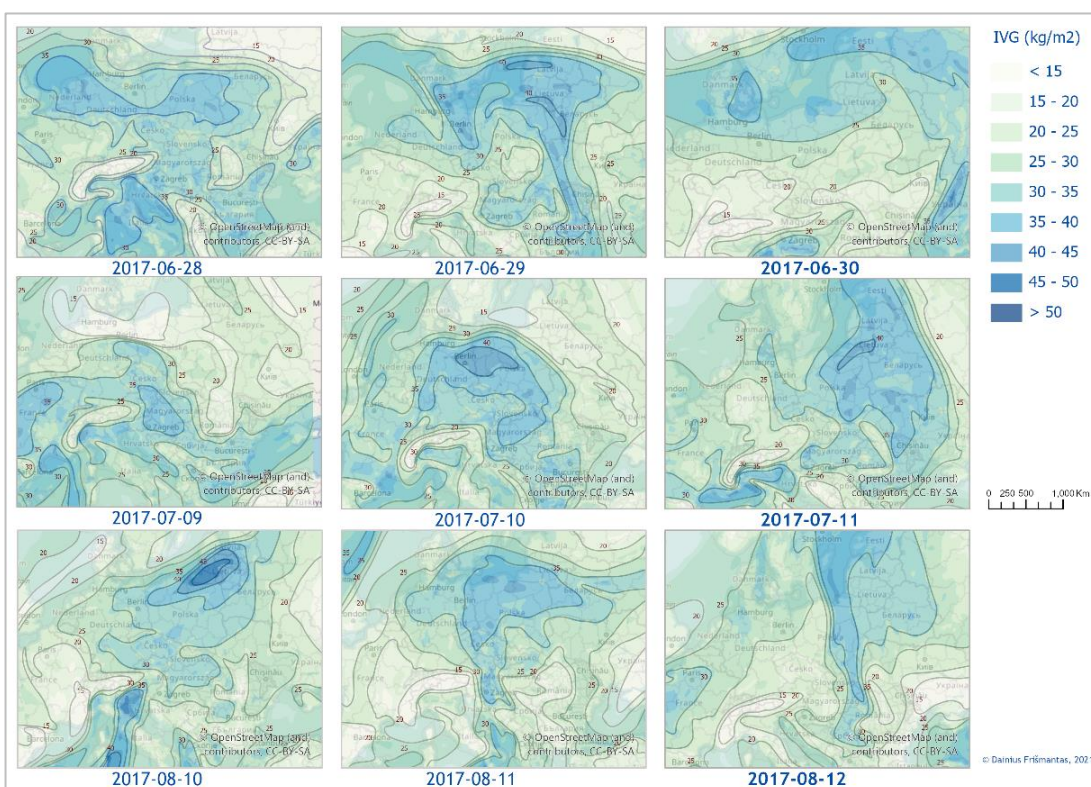
3.16 pav. IVG (kg/m^2) erdvinis pasiskirstymas bei dinamika per 3 paras: viršutinė eilė - 2014 m. gegužės 31 d. – birželio 2 d. dienomis, vidurinė - birželio 4 - 6 d. ir apatinė - birželio 28 - 30 d.



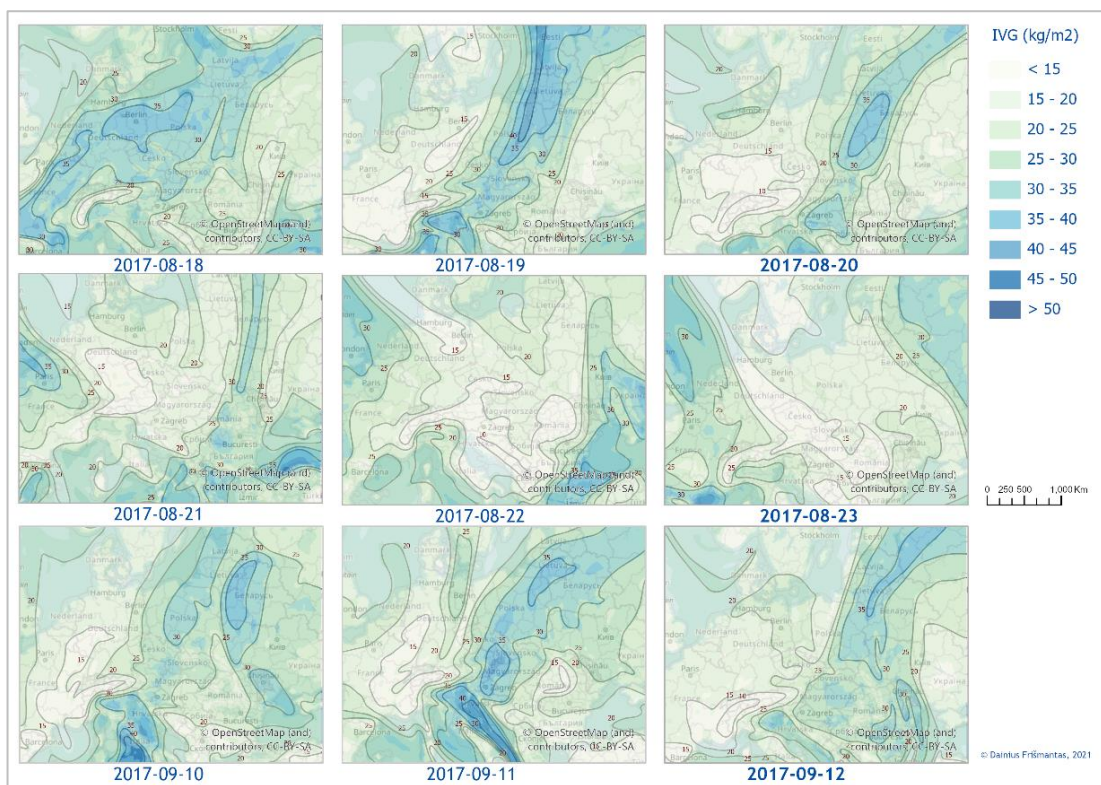
3.17 pav. IVG (kg/m^2) erdvinis pasiskirstymas bei dinamika per 3 paras: viršutinė eilė - 2014 m. rugpjūčio 9 - 11 dienomis, vidurinė - rugpjūčio 22 - 24 d. ir apatinė – 2016 m. gegužės 11 - 13 d.



3.18 pav. IVG (kg/m²) erdvinis pasiskirstymas bei dinamika per 3 paras: viršutinė eilė - 2016 m. liepos 23 – 25 d., vidurinė - liepos 30 d. - rugpjūčio 1 d. ir apatinė – 2017 m. birželio 26 - 28 d.



3.19 pav. IVG (kg/m²) erdvinis pasiskirstymas bei dinamika per 3 paras: viršutinė eilė - 2017 m. birželio 28 - 30 dienomis, vidurinė - liepos 9 - 11 d. ir apatinė - rugpjūčio 10 - 12 d.



3.20 pav. IVG (kg/m^2) erdvinis pasiskirstymas bei dinamika per 3 paras: viršutinė eilė - 2017 m. rugpjūčio 18 - 20 dienomis, vidurinė - rugpjūčio 21 - 23 d. ir apatinė - rugsėjo 10 - 12 d.

Integruotas vandens garų slėgis greitai kinta laike ir erdvėje. Ne visais epizodais yra nustatomi gausių kritulių drėgnos oro masės erdvinis pasiskirstymas, kai reiškiniai būna lokalūs ir greitai kintantys. Kita priežastis lėmusi maksimalaus kritulių kiekio ir IVG maksimumo zonos neatitikimą – erdvinės raiškos skirtumai: reanalizėje IVG yra $11 \times 11 \text{ km}$, o kritulių kiekio kitoje MESCAN-SURFEX reanalizėje $5,5 \times 5,5 \text{ km}$.

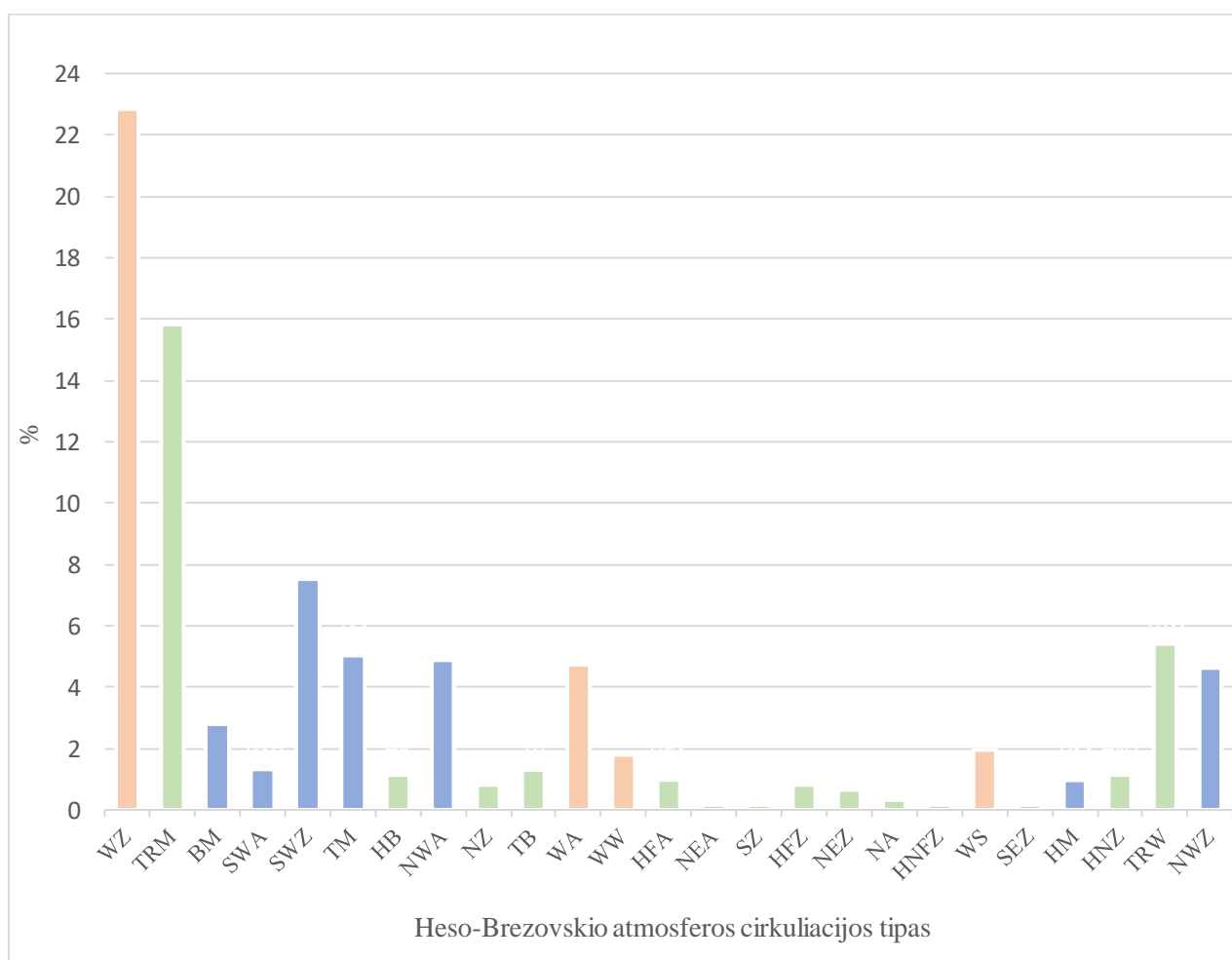
3.1 lentelė. Ekstremalaus integruoto vandens garų kiekio atmosferos stulpe (kg/m^2) ribinių reikšmių virš Lietuvos teritorijos sezoninis pasiskirstymas gegužės – rugsėjo mėnesiais

Mėnesis	Gegužė	Birželis	Liepa	Rugpjūtis	Rugsėjis
IVG, kg/m^2	21.4	26.3	30.0	28.3	23.9

Didžiausias IVG ($\geq 40 \text{ kg}/\text{m}^2$) Lietuvos teritorijoje nustatytas, kai virš Lietuvos vyravo pietiniai drėgno oro srautai. Dažnai lydėjo šalto atmosferos frontas kartu su kamuoliniais lietaus debesimis. Mažiausios IVG ($20\text{-}25 \text{ kg}/\text{m}^2$) buvo nustatytos, kai Lietuvoje vyravo okliuzijos frontai.

3.2.3 Didelio masto atmosferos cirkuliacijos formų klasifikacija

Heso-Brezovskio atmosferos cirkuliacijos formų dėsningumams įvertinti reikia naudoti ilgesnį laikotarpį, todėl buvo pasirinktas 20 metų laikotarpis (2001–2020 metai), kuris buvo atskirai nagrinėjamas nuo gausių kritulių epizodų. Analizuotos dienos, kai kritulių kiekis per parą bent vienoje iš 8 meteorologijos stočių viršijo 15 mm per parą. Buvo nustatoma, ar 8 skirtingose geografinėse vietovėse įrengtos meteorologijos stotys (Šiauliai, Biržai, Vilnius, Kaunas, Klaipėda, Utena, Laukuva) gali reprezentuoti Heso-Brezovskio atmosferos cirkuliacijos tipų (toliau **H–B**) dėsningumus, kai yra nagrinėjami gausių kritulių epizodai. Pasirinktos stotys, kurių duomenys viešai prieinami internetinėse duomenų bazėse. Per 20 metų analizuotą laikotarpį nustatyta, kad 25 H-B tipai susiję su gausių kritulių epizodais (3.21 pav.). Dažniausiai tai susiję su WZ (Vakarinio cikloninio), TRM (Vidurio Europos slėnio), SWZ (Pietvakarių cikloninio), TRW (Vakarų Europos slėnio) atmosferos cirkuliacijos tipais.



3.21 pav. 2001-2020 metų drėgnų laikotarpių (viršijantis 15 mm/ 24 val.) atmosferos cirkuliacijos tipų pasiskirstymas Lietuvoje (%). Spalvos žymi atmosferos cirkuliacijos pernašos kryptį: oranžinė (zoninė), žalia (meridianinė), mėlyna (mišri)

Per 20 metų analizuotų drėgnų orų laikotarpį nebuvo nustatyta HNA (Poliarinių jūrų ir Islandijos anticikloninė), HNFA (Poliarinių jūrų ir Fenoskandijos anticikloninė), SEA (Pietryčių anticikloninis), SA (Pietinis anticikloninis), U (Pereinamasis / Nenustatytas). NEA (Šiaurės rytų anticikloninis), SZ (Pietinis cikloninis), HNFZ (Poliarinių jūrų ir Fenoskandijos cikloninis), SEZ (Pietryčių cikloninis) atmosferos cirkuliacijos tipai buvo labai reti ir nebūtinai gali reprezentuoti gausių kritulių epizodus.

NEA (Šiaurės rytų anticikloninis), SZ (Pietinis cikloninis), HNFZ (Poliarinių jūrų ir Fenoskandijos cikloninis), SEZ (Pietryčių cikloninis) formos buvo nustatytos tik atitinkamai Kauno, Klaipėdos, Utenos ir Šiaulių meteorologijos stotyse. Daugiausiai H-B atmosferos cirkuliacijos tipų (19 iš 25) nustatyta Utenos ir Biržų meteorologijos stotyse. Mažiausiai atmosferos cirkuliacijos tipų nustatyta Klaipėdos meteorologijos stotyje (3.22 pav.).

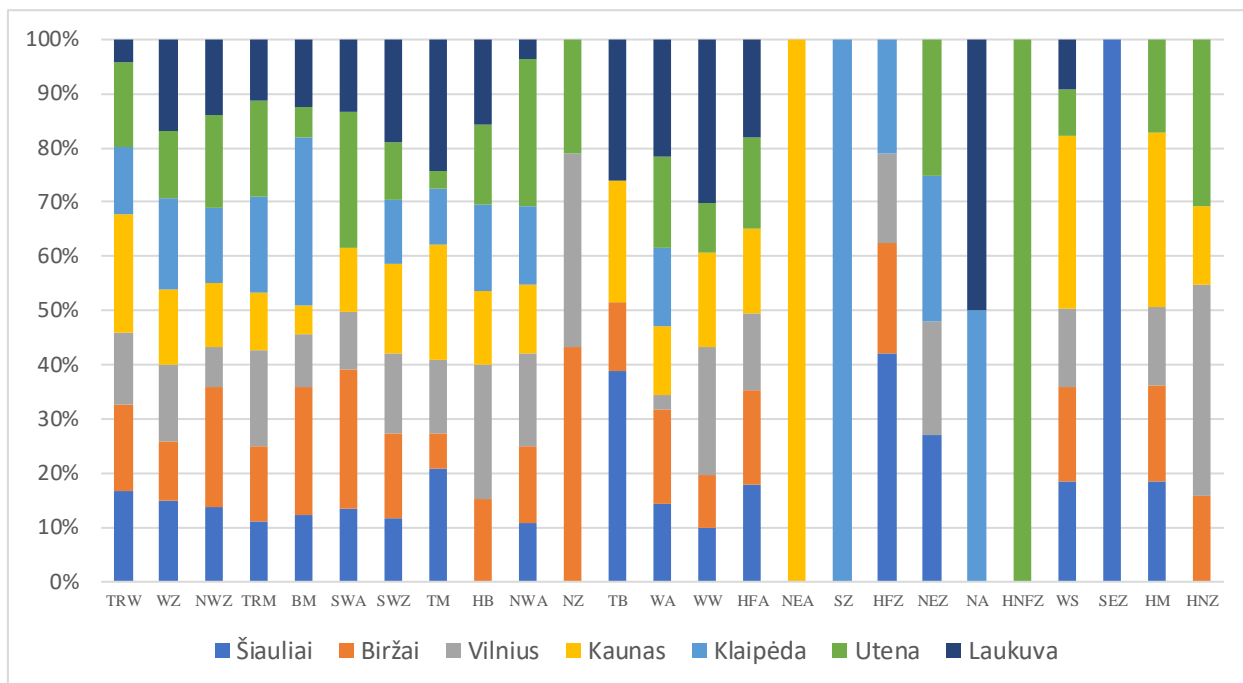
HM (Vidurio Europos anticiklonas), WS (Vakarinis pietų), HNZ (Poliarinių jūrų ir Islandijos cikloninis), NZ (Šiaurinis cikloninis) atmosferos cirkuliacijos tipai būdingi Vidurio ir Rytų Lietuvai. Pajūriui arba Vakarų Lietuvai būdingesni SZ (Pietinis cikloninis), HFZ (Fenoskandijos ciklono), NEZ (Fenoskandijos ciklono), NA (Šiaurinis anticikloninis) atmosferos cirkuliacijos tipai. Tolimesnėje analizėje buvo palyginti 20 metų laikotarpių drėgnų orų atrinkti H-B atmosferos cirkuliacijos tipai su detaliau analizuotais epizodais 2011–2018 metais.

Gausių kritulių analizei buvo imta 4 dienų išankstinių sąlygų laikotarpis, *epizodo para* ir 1 diena po nustatytos liūtis (iš viso 6 paros). Gausių kritulių epizodais vyravo 23 (iš 30) H–B atmosferos cirkuliacijos tipai. Analizuojant visų parų duomenis (186 paros) buvo nustatyta, kad dažniausiai vyravo SWZ (23 paros), WZ (22), TRM (18), TRW(16), NWA (15), TM (12). Tai atitinka 20 metų laikotarpio nagrinėtas tendencijas tik skirtumas, jog analizuotų epizodų dienomis vyravo mišrūs atmosferos cirkuliacijos tipai.

Konkrečią *epizodo parą* (iš nagrinėtų 31) nustatyta 14 atmosferos cirkuliacijos tipų. Konkrečią *epizodo parą* dažniausiai nustatyti WZ (5 iš 31 paros), NWA (5), TRM (3), SWZ (3), TM (3). Šie atmosferos cirkuliacijos tipai vyravo nagrinėjant ir ilgesnį laikotarpį. Visų epizodų laikotarpiu metu daugiausiai vyravo meridianinė cirkuliacija (74 paros), o rečiausiai zoninė (48), tačiau konkretaus epizodo metu vyraujanti pernaša buvo mišri (12 parų iš 31) ir zoninė (11 parų).

Mezociklonai, vyravę Lietuvoje 2011 m. liepos 27-28 dieną buvo susiję su Vidurio Europos slėniu (TRM) atmosferos cirkuliacijos tipu. Cikloninės sistemos bei aukštuminiai slėniai buvo susiję su zoninės bei mišrios pernašos kryptimis (WS, WZ, WW, SWA, NWA).

Gausių kritulių metu okliuzijos frontai buvo būdingi mišrios bei meridianinės pernašos kryptims (NWA, U, SWA, TM, NWZ atmosferos cirkuliacijos tipais). Šilti ir Šalti frontai būdingi visoms pernašoms ir susiję su HFZ, WS, SWZ, TRM, TN, WW, WZ, TRW, HFZ, SWZ, TRM, WW, WZ, TM, NWA, TB atmosferos cirkuliacijos tipams.



3.22 pav. 2001-2020 metų drėgnų laikotarpių (viršijantis 15 mm/ 24 val.) atmosferos cirkuliacijos tipų pasiskirstymas Lietuvoje (%) pagal skirtingas meteorologijos stotis

Tarp erdvinio kritulių kiekio pasiskirstymo ir H-B atmosferos cirkuliacijos tipų buvo nustatyta dėsningumų. HNZ (2011 m. birželio 11 d. ir 2012 m. birželio 1 d.) tipui buvo būdingi lokalūs gausesnių kritulių epizodai. SWZ atmosferos cirkuliacija lėmė, jog krituliai buvo pasiskirstę pietvakarių ir vakarų Lietuvoje (2011 m. rugpjūčio 7 d. ir 2014 m. rugpjūčio 11 d.). WS (2012 m. birželio 10 d. ir 2014 m. birželio 30 d.) bei kritulių užimamas plotas buvo didelis. WZ ir NWA atmosferos cirkuliacijos tipai lėmė kritulius įvairiose Lietuvos teritorijose bei užimdavo didžiulius plotus (3.3-3.5 pav.). SWA atmosferos cirkuliacijos tipas lėmė ekstremalias kritulių kiekio reikšmes šiaurės-vakarų Lietuvoje.

IŠVADOS

1. Gausių kritulių laukai Lietuvoje yra labai skirtingo masto ir priklauso nuo konkretaus epizodo; jų plotas kinta nuo lokalaus ($265,3 \text{ km}^2$) iki regioninio ($20330,2 \text{ km}^2$) masto. Dažniausiai gausių kritulių laukas apėmė Ukmergės, Širvintų ir Molėtų savivaldybių teritorijas.

2. Spline ir atvirkščiai proporcingo atstumo reanalizės kritulių duomenų interpoliacijos metodų rezultatai buvo panašūs, tačiau Spline metodu interpoliuoti krituliai įgaudavo nerealias (neigiamas) reikšmes bei nufiltruodavo kritulių intensyvumo pikus. Didžiausi skirtumai tarp reanalizės ir interpoliuotų meteorologijos stočių (stebėjimų) duomenų buvo nustatyta Lietuvos Respublikos teritorijos pakraščiuose pietiniuose ir vakariniuose rajonuose, dėl ten esančio retesnio stebėjimų tinklo ir netoli nuo Lietuvos sienų gretimų valstybių meteorologijos stočių tinklo.

3. Sinoptinė analizė parodė, kad gausūs krituliai Lietuvoje susiję su: i) šaltais (13 epizodų), ii) okliuzijos (8), iii) šiltais (8) ir iv) greta vienas kito slenkančiais šiltais ir šaltais atmosferos frontais (2). Dažniausiai gausių kritulių epizodai buvo susiję su šaltų banguotų atmosferos frontų zonomis bei juose susidarantiomis frontinėmis bangomis. Paprastai popiečio valandomis ir, rečiau, vakare bei naktį šiltoje oro masėje prieš šaltąjį frontą kritulius formuodavosi nepastovumo ir škvalo linijos, sudarytos iš galingų kamuolinių debesų virtinių.

4. Gausių kritulių epizodais Lietuvoje integruoto vandens garų kiekio reikšmės siekė iki 45 kg/m^2 . Didžiausios IVG reikšmės buvo nustatytos liepos ir rugpjūčio mėnesių gausių kritulių epizodų metu. Dominuojanti šiltų ir drėgnų oro masių pernaša dažniausiai buvo iš pietų (11 epizodų), pietvakarių ir pietryčių (po 6 epizodus).

5. Gausių kritulių epizodų metu nustatyta 14 iš 30 galimų Heso-Brezovskio atmosferos cirkuliacijos tipų. Dažniausiai gausūs krituliai Lietuvoje susidarė esant WZ (5 iš 31 paros), NWA (5), TRM (3), SWZ (3), ir TM (3) tipams.

REKOMENDACIJOS

Ištestavus net trijų šiuolaikinių pakartotinių (klimato) analizių kritulių duomenis Lietuvos teritorijoje nustatyta, kad ERA5 ir ERA5-land nėra pačios tinkamiausios duomenų bazės ekstremalių kritulių tyrimams dėl santykinai mažos erdvinės duomenų raiškos. Meteorologijos stočių tinklas taip pat, manoma, yra per daug retas siekiant nustatyti ekstremalias bei vietines intensyvias liūtis. Paviršiaus kintamųjų MESCAN-SUFREX pakartotinė analizė geriau įvertina gausių kritulių laukus, nes jos raiška didesnė ir naudojant šiuos duomenis buvo galima tiksliau įvertinti gausių kritulių apimamą lauko plotą. Reanalizės duomenys tiksliau apibrėžia gausių kritulių lauką, įvertina kritulių intensyvumo gradientus. ERA5 ir ERA5-land reanalizės gali būti panaudojamos įvertinant kritulių kiekio maksimumo laiką konkrečiame regione. Pagal detalesnį laiko žingsnį galima būtų įvertinti labai smarkaus lietaus kiekį ir trukmę valandų tikslumu.

Analizuotose sinoptinėse schemose ir spausdintuose sinoptiniuose žemėlapiuose nepastovumo arba škvalo linijos ne visada buvo pažymėtos. Jų vaidmuo buvo nustatytas analizuojant NASA „Global Imagery Browse Services“ (GIBS) teikiamus debesų vaizdus bei vizualizuotus debesų bei drėgmės laukų produktus, kuri yra NASA Žemės stebėjimo sistemos (EOSDIS) sudedamoji dalis. Norint nustatyti kiekvieno barinio darinio judėjimą, vystymąsi bei galimus atmosferos reiškinius reikia pasitelkti įvairių šaltinių duomenis: Karališkuoju Nyderlandų meteorologijos instituto, Vokietijos ir Jungtinės Karalystės orų tarnybos sinoptinėmis schemomis, NASA palydoviniais vaizdais, Copernicus klimato kaitos duomenų bazės reanalizėmis, MERRA reanalize, Heso- Brezovskio atmosferos cirkuliacijos klasifikacija.

Integruoto vandens garų kiekio vienetiniame atmosferos stulpe parametras yra tinkamas rodiklis analizuojant drėgnų oro masių kaitą laike ir erdvėje. Tačiau ir šio gana universalus parametro atveju reikėtų naudoti kiek galimą aukštesnės raiškos reanalizę.

Nustatyti palankiausi Heso-Brezovskio atmosferos cirkuliacijos tipai gausių kritulių susidarymui Lietuvoje. Nors ši klasifikacija sudaryta Vidurio Europai, ją papildžius atitinkamomis sąlygomis – ji sėkmingai galėtų būti taikoma ir Lietuvos klimato tyrimuose. Reikėtų atlikti detalesnius tyrimus su 50–70 metų ilgio duomenų sekomis.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

- Apaydin H., Sonmez F. K., Yildirim Y. E. 2004. Spatial interpolation techniques for climate data in the GAP region in Turkey. Vol. 28: 31–40. *Climate research*.
- Bednorz E., Wrzesinski D., Tomczyk A. M., Jasik D. 2019. Classification of Synoptic Conditions of Summer Floods in Polish Sudeten Mountains. *Water* 2019, 11, 1450. doi:10.3390/w11071450.
- Bennett N. D, Newham L. T. H., Croke B., Jakeman A. J. 2007. Patching and disaccumulation of rainfall data for hydrological modelling. *Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation MODSIM2007* 1526–1532.
- Bocheva L., Pophristov V. 2019. Seasonal analysis of large-scale heavy precipitation events in Bulgaria. *Conference Paper in AIP Conference Proceedings 2075*. Doi.org/10.1063/1.5099023.
- Bukantis A., Rimkus E., Gulbinas Z., Kažys J., Pupienis D., Stankūnavičius G., Stonevičius E., Valiuškevičius G., Linkevičienė R., Liukaitytė J., Šidlauskaitė L., Valskys V. 2015. Studijos, nustatančios atskirų sektorių jautrumą klimato kaitos poveikiui, rizikos vertinimą ir galimybes prisitaikyti prie klimato kaitos, veiksmingiausias prisitaikymo prie klimato kaitos priemonės ir vertinimo kriterijus, parengimas. Galutinė ataskaita. *Gamtos paveldo fondas*.
- Chen F. W., Liu C. W., Environ P. W. 2012. Estimation of the spatial rainfall distribution using inverse distance weighting (IDW) in the middle of Taiwan. 10: 209–222. DOI: 10.1007/s10333-012-0319-1.
- Copernicus Climate Change Service. <https://cds.climate.copernicus.eu#!/home> (paskutinį kartą žiūrėta 2021.02.15).
- Europos Aplinkos Agentūra. 2019. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/european-precipitation-2/assessment> (paskutinį kartą žiūrėta 2021.02.12).
- Frišmantas D., Stankūnavičius G. 2020. Gausių kritulių Lietuvoje erdvinė charakteristika. *Klimato kaita Lietuvoje Globalūs ir Nacionaliniai Iššūkiai, Stebėsena ir Politikos Gairės*. <https://doi.org/10.15388/Klimatokaita.2020.4>.
- Funk A. B. 2013. Analysis of TRMM precipitation radar algorithms and rain over the tropics and southeast Texas. *Master of Science*. <https://core.ac.uk/download/pdf/79647846.pdf> (paskutinį kartą žiūrėta 2021.02.25).
- Galvonaitė A. 1998. Lietingųjų laikotarpių šiltuoju metų laiku susidarymas ir geografinis pasiskirstymas Lietuvoje. Lietuvos meteorologijos ir hidrologijos problemos XXI a. išvakarėse. Mokslinės konferencijos pranešimai. Vilnius. 86–89.
- Galvonaitė A., Valiukas D. 2009. Pavojingų hidrometeorologinių reiškinių įtaka ūkio šakoms. *Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba*. ISBN 978-9955-9758-3-0.

- Golz S., Nauman T., Neubert M. 2016. Heavy rainfall: An underestimated environmental risk for buildings. E3S Web of Conferences 7, 08001. *FLOODrisk 2016 – 3rd European Conference on Flood Risk Management*. DOI: 10.1051/08001.
- Grinevič K., Bukantis A. 2011. Gausių kritulių Lietuvos upių baseinų rajonuose tikimybė ir juos lemiančių atmosferos cirkuliacijos procesų tipizacija. *GEOGRAFIJA*. T. 47. Nr. 2. P. 88–97.
- Hennermann K. 2020. ERA5: data documentation. ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. *Copernicus Climate Change Service (C3S)*. <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation> (paskutinį kartą žiūrėta 2021.01.30).
- Kaiser-Weiss A. K., Borsche M., Niermann D., Kaspar F. 2019. *Environment Research Community* 1 071004. doi.org/10.1088/2515-7620/ab2ec3.
- Kažys J., Rimkus E., Bukantis A. 2009. Gausūs krituliai Lietuvoje 1961–2008 metais. *Geografija*. 45(1): 44–53.
- Keskin M., Dogru A.O., Balcik F.B., Goksel C., Ulugtekin N., Sozen S. 2015. Comparing spatial interpolation methods for mapping meteorological data in Turkey. In: Bilge A., Toy A., Günay M. *Energy Systems and Management. Springer Proceedings in Energy*. Springer, Cham.
- Kilpys J. 2015. Lietuvos klimato pokyčiai ir su jais susijusios grėsmės XXI amžiuje. https://www.lsta.lt/files/events/2015-10-19_LRS_Zalieji/1_Klimato_kaita_Lietuvoje_2015.pdf (paskutinį kartą žiūrėta 2021.01.28).
- Ly S., Charles C., Degre A. 2013. Different methods for spatial interpolation of rainfall data for operational hydrology and hydrological modelling at watershed scale. A review. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2013 17(2), 392-406.
- Moeletsi M. E., Shabalala Z. P., Nysschen G. D., Walker S. 2016. Evaluation of an inverse distance weighting method for patching daily and decadal rainfall over the Free State Province, South Africa. *African journal online (AJOL)*. DOI: 10.4314/wsa.v42i3.12.
- Mozgeris G., Dumbrasukas A. 2008. Geoinformacinių sistemų pagrindai mokomoji knyga. *UDK 528:004.9(075.8) Mo-277*. ISBN 978-9955-896-42-5.
- Rimkus E., Kažys J., Bukantis A., Krotovas A. 2011. Temporal variation of extreme precipitation events in Lithuania. *Oceanologia*. 53(1TI): 259–277.
- Schimanke S, Isaksson L., Edvinsson L., Uden P., Ridal M., Le Moigne P., Bazile E., Verrelle A., Glinton M. 2020. UERRA data user guide. *Copernicus Climate Change Service*.
- Sluiter R. 2009. Interpolation methods for climate data literature review. *KNMI, R&D Information and Observation Technology De Bilt*, 19 November 2008 Version 1.0.

- Sykorova P., Huth R. 2020. The applicability of the Hess–Brezowsky synoptic classification to the description of climate elements in Europe. *Theoretical and Applied Climatology* 142 (3-4):1295-1309.
- Teegavarapu R. S. V., Tufail M., Ormsbee L. 2009. Optimal functional forms for estimation of missing precipitation data. *Journal Hydrology* 374 106–115. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2009.06.014.
- Tylienė J. 1988. Obilnyie dozhdi i usloviya ikh vypadeniya. *Pogodoobrazuyushchiye protsessy i opasnye yavleniya pogody nad Litvoi i Kaliningradskoi oblasti*. Leningrad. 102–107 [rusiškai].
- Tveito O.E. 2007. The Developments in Spatialization of Meteorological and Climatological Elements. *Spatial interpolation for climate data: the use of GIS in climatology and meteorology* pp. 73-86. London: ISTE Ltd.
- Volkova E. I. 2005. Ilgalaikis kritulių kiekio kintamumas. *Užmirkusių žemių melioracija* 2005 №1 (53). [baltarusiškai].
- Volosciuk C., Maraun D., Semenov V. A., Tilinina N. 2016. Rising Mediterranean Sea surface temperatures amplify extreme summer precipitation in Central Europe. *Scientific Reports*. DOI: 10.1038/srep3245.
- Walter M. 2013. Mapping precipitation: analysis of GIS interpolation techniques. Poster. *Department of Civil and Environmental Engineering*, Tufts University.
- Xia Y, Fabian P, Winterhalter M and Stohl A. 1999. Forest climatology: estimation of missing values for Bavaria, Germany. *Agriculture Forecast Meteorology*. 96 131–144. DOI: 10.1016/s0168-1923(99)00056-8.
- Yang X. 2020. ERA5-Land: data documentation. ERA5-Land reanalysis. *Copernicus Climate Change Service*. <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5-Land%3A+data+documentation> (paskutinį kartą žiūrėta 2021.01.29).
- Yi-Hwa (Eva) Wu and Ming-Chih Hung. 2016. Comparison of spatial interpolation techniques using visualization and quantitative assessment. *Applications of Spatial Statistics*. DOI: 10.5772/65996.

GAUSIŲ KRITULIŲ LIETUVOJE KARTOGRAFAVIMO METODIKA

SANTRAUKA

Dainius Frišmantas

Tyrimo tikslas – kartografuoti gausių kritulių erdvinį pasiskirstymą Lietuvoje susiejant juos su meteorologinėmis sąlygomis. **Tyrimo objektas** – 2011-2018 metų šiltojo sezono (gegužė–rugsėjis) gausių kritulių erdvinis pasiskirstymas. Analizuoti kritulių epizodai, kai per parą iškritęs kritulių kiekis buvo didesnis nei 30 mm bent vienoje Lietuvos meteorologijos stotyje. **Epizodas** – tai 24 valandų laikotarpis, kuris prasideda vienos paros 6 val. Grinvičo laiku (UTC) ir baigiasi kitos paros 6 UTC. Tyrimo pagrindinė teritorija – Lietuva. Iš viso analizuoti 31 gausių kritulių epizodai.

Pirminiai kritulių kiekio duomenys gauti iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos. Iš Copernicus klimato kaitos duomenų bazės buvo gauta trijų reanalizių duomenys: MESCANSURFEX, ERA5-land, ERA5. Magistro darbe taip pat panaudota Heso–Brezovskio atmosferos cirkuliacijos klasifikacija siekiant nustatyti didelio masto cirkuliacijos sąlygas vyravusias gausių kritulių epizodų susidarymo metu. Pradinė gausių kritulių lauko epizodų kilmė bei judėjimo trajektorija iki Lietuvos buvo analizuojama pagal Karališkojo Nyderlandų meteorologijos instituto ir kitų sinoptinių schemų archyvą bei naudojant integruoto vandens garų kiekio atmosferos stulpe reanalizės duomenis.

Tyrimo metu nustatyta, kad iš naudotų pakartotinių analizių (reanalizių) duomenų bazių tikslingiausia gausių kritulių tyrimams taikyti MESCANSURFEX reanalizę. Dažniausiai gausių kritulių apimami plotai nustatyti Ukmergės, Širvintų ir Molėtų savivaldybių ribose. Apibendrinus sinoptinę ir palydovinių vaizdų analizę nustatyta, kad gausūs krituliai dažniausiai susidarė: i) šaltuose (13 epizodų), ii) okliuzijos (8), iii) šiltuose (8) ir iv) greta vienas kito slenkančiuose šiltuose ir šaltuose frontuose (2).

Labai drėgnos oro masės lėmusios gausių kritulių iškritimą į Lietuvą dažniausiai atslinko iš pietų (11 epizodų) bei pietvakarių ir pietryčių (po 6 epizodus). Gausių kritulių epizodų metu nustatyta, kad vyravo 14 iš 30 galimų Heso-Brezovskio atmosferos cirkuliacijos tipų. Dažniausiai nustatyti WZ (5 iš 31 paros), NWA (5), TRM (3), SWZ (3) ir TM (3) tipai.

Raktiniai žodžiai: gausūs krituliai, pakartotinė analizė, GIS, kartografavimas, atmosferos cirkuliacija

MAPPING OF HEAVY RAINS IN LITHUANIA

SUMMARY

Dainius Frišmantas

The aim of this study was the mapping of heavy precipitation in Lithuania and linking it to characteristic meteorological conditions. The **research object** - spatial patterns of heavy rainfall field during warm part of the year (May-September) of 2011-2018 years. Heavy rainfall episodes – are daily precipitation cases with precipitation rate exceeding 30 mm per day at at least in one Lithuanian meteorological station. It was defined that daily (24-hour period) precipitation episode begins at 6 AM UTC in one day and ends in the second day at the same time - 6 UTC. The main area for analysis – Lithuanian territory. A total number of 31 episodes of heavy rainfall were examined.

Primary precipitation rate data were obtained from the Lithuanian Hydrometeorological Service. In addition, daily precipitation data of three different reanalyses, MESCAN-SURFEX, ERA5-land and ERA5 were obtained from the Copernicus Climate Change Service. Further, the Hess – Brezowsky atmospheric circulation classification was used to identify the main large-scale circulation patterns during analysed episodes. The surface analysis of the synoptic conditions during the episodes was done using KNMI Weather map archive, DWD surface analysis archive and UK Met Office Surface pressure charts archive. The maximal total column water vapour, kg m⁻², patterns were analysed to determine the moist air advection conditions.

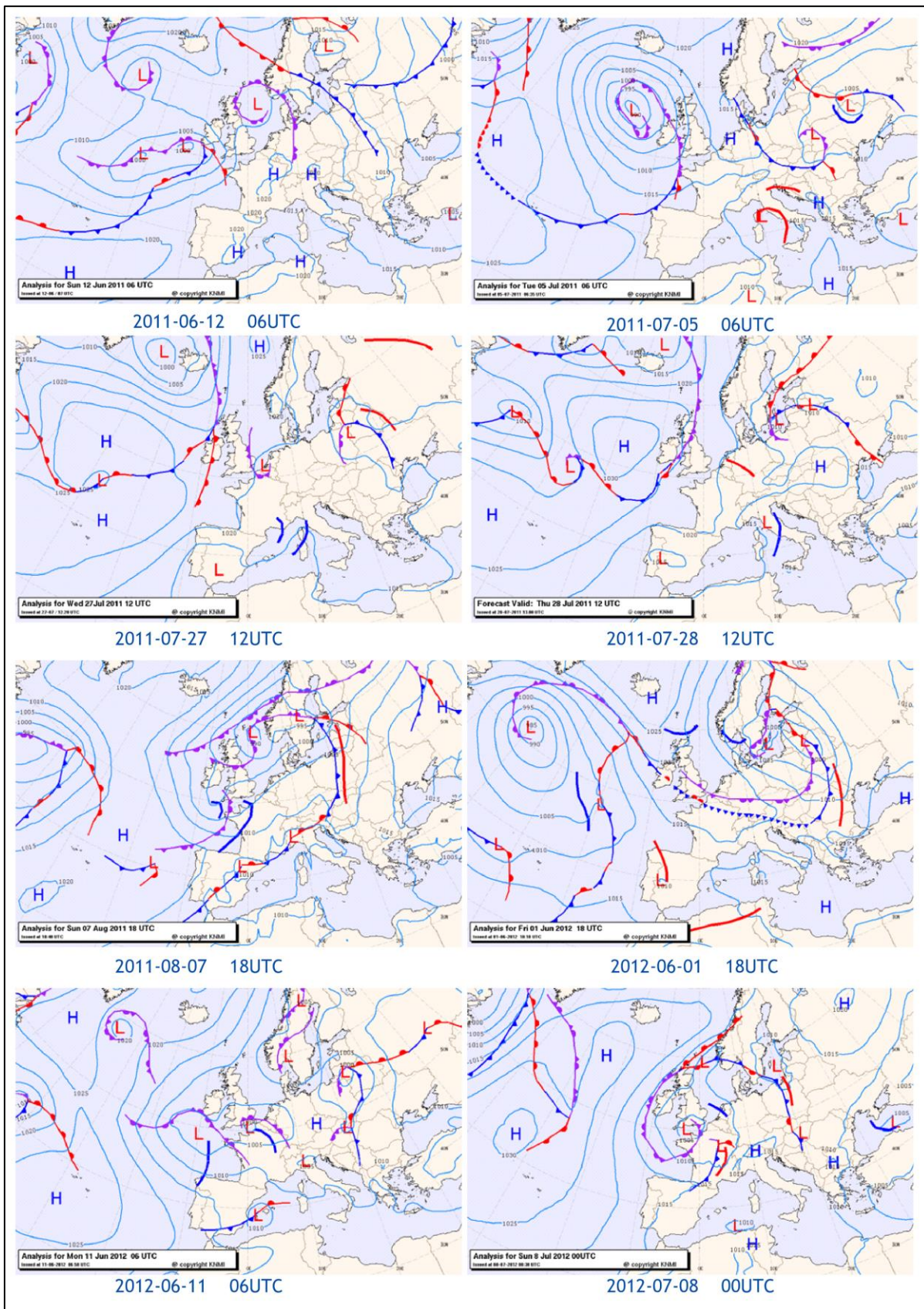
The most suitable reanalysis for heavy rainfall analysis appeared to be MESCAN-SURFEX. Most frequent patterns of heavy precipitation located over Ukmergė, Širvintos and Molėtai municipality areas. The synoptic analysis of all episodes shows that heavy precipitation most often in Lithuania is associated with: i) cold front (13 episodes), ii) occlusion front (8), iii) warm front (8), and iv) warm and cold fronts together with the narrow area of the warm sector (2).

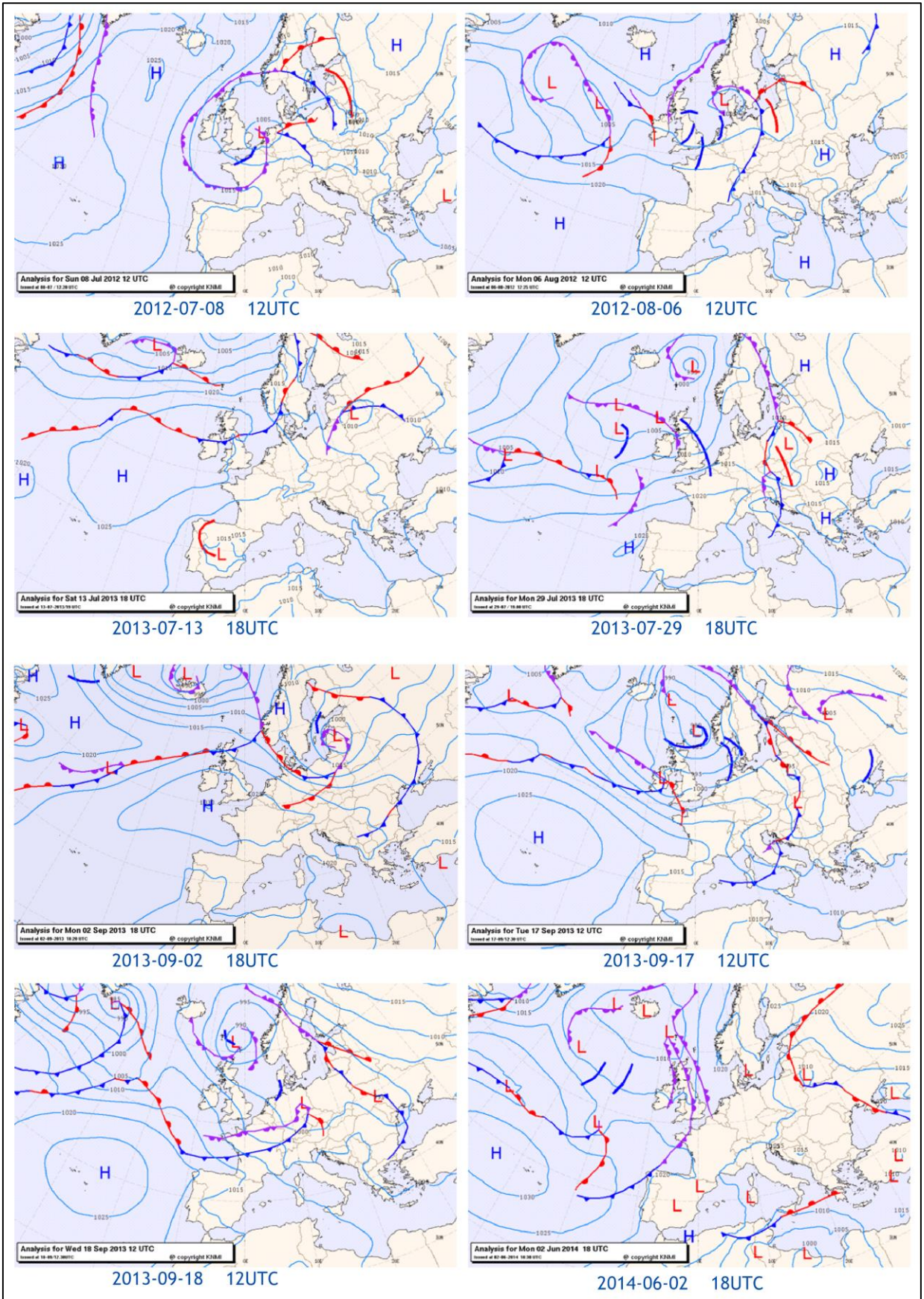
The moist air responsible for heavy precipitation in Lithuania mostly has been transported from the south (11 episodes), southwest and southeast (6 episodes each). 14 out of 30 Grosswetterlagen (GWL) circulation types accompanying heavy precipitations episodes were defined. Most frequent of them appears to be WZ, NWA, TRM, SWZ and TM.

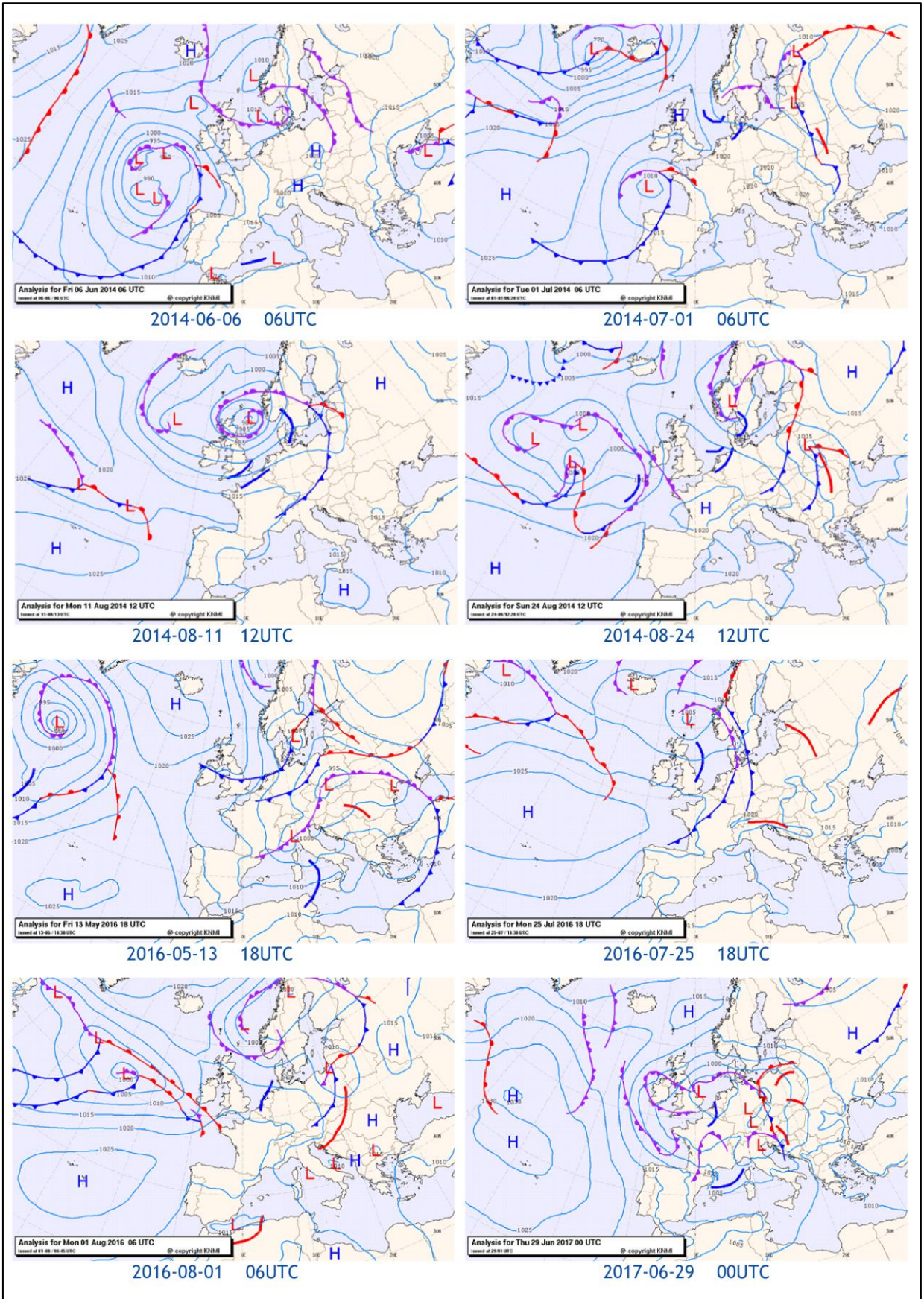
Keywords: heavy precipitation, reanalysis, GIS, mapping, atmospheric circulation

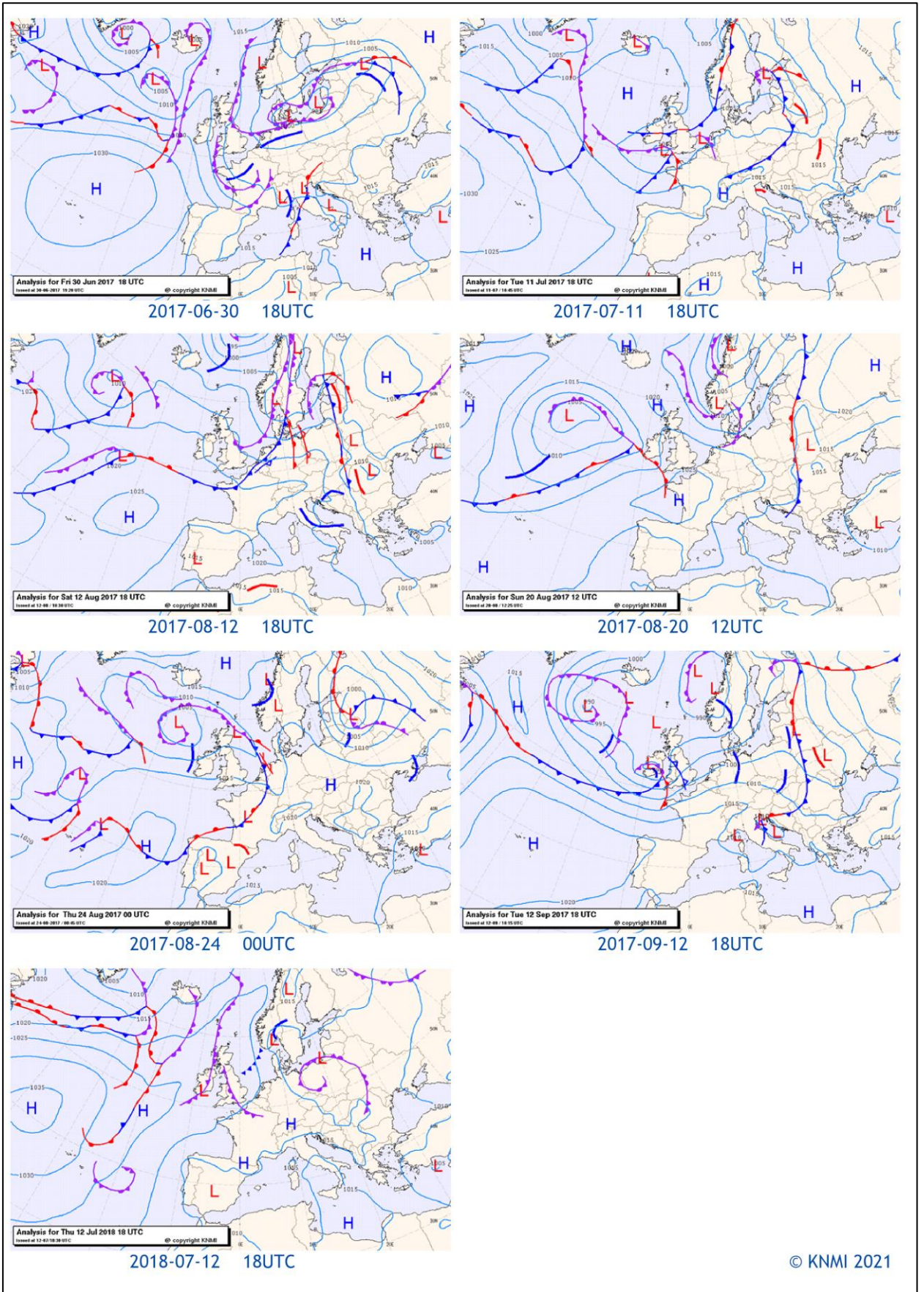
PRIEDAI

1 priedas. KNMI sinoptinės schemos kiekvieno gausių kritulių epizodo metu (konkretus terminas), kai virš Lietuvos buvo didžiausias frontų aktyvumas









2 priedas. Heso-Brezovskio atmosferos cirkuliacijos tipų pasiskirstymas prieš, po bei konkretaus epizodo metu

Epizodo data	4 dienos prieš	3 dienos prieš	2 dienos prieš	1 dienos prieš	Epizodo data	1 diena po
2011-06-11	SZ	SZ	HNZ	HNZ	HNZ	HNZ
2011-07-05	HFZ	HFZ	HFZ	HFZ	HFZ	TB
2011-07-27	TRM	TRM	TRM	TRM	TRM	TRM
2011-07-28	TRM	TRM	TRM	TRM	TRM	TRM
2011-08-07	HFA	SWZ	SWZ	SWZ	SWZ	TRM
2012-06-01	HNA	HNA	HNA	HNZ	HNZ	HNZ
2012-06-10	SWZ	SWZ	SWZ	SWZ	WS	WS
2012-07-07	TRW	TRW	TB	TB	TB	TB
2012-07-08	TRW	TRW	TB	TB	TB	TRW
2012-08-06	SWZ	SWZ	SWZ	SWZ	SWZ	NWA
2013-07-13	HB	HB	HB	HB	NWA	NWA
2013-07-29	SWA	SWA	SWA	SWA	WW	WW
2013-09-02	BM	BM	NWA	NWA	NWA	HM
2013-09-17	TM	WZ	WZ	WZ	WZ	WZ
2013-09-18	WZ	WZ	WZ	WZ	WZ	WZ
2014-06-02	NEZ	NEZ	NEZ	NEZ	U	WW
2014-06-06	U	WW	WW	WW	SWA	SWA
2014-06-30	HNZ	WS	WS	WS	WS	WS
2014-08-11	WW	SWZ	SWZ	SWZ	SWZ	SWZ
2014-08-24	TRM	TRM	TRM	TRM	TRM	WZ
2016-05-13	SEA	SEA	SEA	TM	TM	TM
2016-07-25	TRW	TRW	TRW	TRW	WW	WW
2016-08-01	WW	WW	WZ	WZ	WZ	WZ
2017-06-28	WA	WA	TRW	TRW	TRW	TM
2017-06-30	TRW	TRW	TM	TM	TM	TM
2017-07-11	WA	WA	WA	WZ	WZ	WZ
2017-08-12	TRW	TRW	TM	TM	TM	SWA
2017-08-20	SWZ	SWZ	SWZ	SWZ	NWA	NWA
2017-08-23	SWZ	NWA	NWA	NWA	NWA	SWA
2017-09-12	WZ	WW	WW	WW	WZ	WZ
2018-07-12	NWA	NWA	NWZ	NWZ	NWZ	NWA

3 priedas. Integruoto vandens garų kiekio atmosferos stulpe (kg/m^2) erdvinis pasiskirstymas bei dinamika per 3 paras. Viršutinė eilė – 2018 m. liepos 10-12 d., apačioje atskirų dienų situacijos: 2011 m. liepos 28 d., 2012 m. liepos 8 d., 2013 m. rugsėjo 18 dienomis

