

MARTYNAS PANKAUSKAS

**BALTIJOS JŪROS REGIONO KLIMATO
HUMIDIŠKUMO DINAMIKA
1950 – 2004 METAIS**

2006

Vilniaus universitetas
Hidrologijos ir klimatologijos katedra

Įvertinimas

**BALTIJOS JŪROS REGIONO KLIMATO HUMIDIŠKUMO
DINAMIKA 1950 – 2004 METAIS**

Magistro darbas

Hidrometeorologijos specialybės
Magistro studijų programos
II kurso studento
Martyno Pankausko

Darbo vadovas
Prof. dr. Arūnas Bukantis

VILNIUS, 2006

Turinys

Įvadas	6
1. Literatūros apžvalga	9
2. Duomenys ir darbo metodika	17
3. Baltijos jūros regiono bendrieji klimato ypatumai	20
4. Baltijos jūros regiono kritulių kiekio kaita 1950 – 2004 metais	23
4.1 Metinio kritulių kiekio kaitos analizė.....	23
4.2 Metinio kritulių kiekio erdvinė koreliacija.....	28
4.3 Šiltojo ir šaltojo periodo kritulių kiekio kaitos analizė	29
4.4 Šaltojo ir šiltojo periodo kritulių kiekio santykio kaita.....	31
4.5 Konvekcinių kritulių kiekio analizė	33
5. Debesuotumo pasiskirstymo Baltijos jūros regione dėsningumai	39
6. Baltijos jūros regiono sausringumo indikacija remiantis Bowen'o indeksu 42	
6.1 Bowen'o indekso teritoriniai ypatumai	42
6.2 Bowen'o indekso kaita 1950 – 2004 m.	44
7. Baltijos jūros regiono kritulių kiekio kaitos prognozė	46
7.1 Baltijos jūros regiono kritulių kiekio kaitos prognozės pagal GCM.....	48
7.2 Baltijos jūros regiono ekstremalūs kritulių kiekio pokyčiai pagal GCM.....	49
Išvados	52
Literatūros sąrašas	55
Summary	58
Priedai	60

Ivadas

Baltijos jūros regionas (BJR) plyti vidutinėse platumose tarp 50° ir 70° š.pl bei 10° ir 35° r. ilg. Regiono darnaus ir subalansuoto vystimosi garantas yra Baltijos jūra. Baltija – viena mažiausių ir jauniausių jūrų Pasaulyje. Tai viduržeminė jūra, giliai įsirižusi į Europos žemyną, pradėjusi formuotis prieš 13 tūkst. metų. Nors Baltija laikoma vidutinių platumų jūra, tačiau pagal geografinę platumą ją galima skirti prie šiaurinių. Veikiama šiltosios Atlanto srovės, jos klimatinės ypatybės yra švelnesnės nei poliarinių jūrų. Pavyzdžiui, vasario mėnesį oro temperatūra virš Baltijos yra – 3 °C, o toje pačioje platumoje ties pietiniais Grenlandijos krantais net – 10 °C (Žaromskis, 1996). Jūros plotas 415 tūkst. km², jos baseinas turi keturis kartus didesnę plotą nei pati jūra (apie 1,74 milijono km²). BJ regione yra apie 80 ežerų didesnių nei 100 km². Dešimt didžiausių upių (Neva, Vistula, Oderis, Nemunas, Dauguva, Narva, Kemi, Göta, Torne, Kymi) drenuoja apie 59 % viso regiono. Miškai dengia apie 54 %, žemės ūkis 26 %, pelkės 20 %, o užstatyta apie 4 % Baltijos jūros regiono (Helcom., 2006). Aplink jūrą išsidėsčiusios devynios valstybės (Danija, Vokietija, Lenkija, Rusija, Lietuva, Latvija, Estija, Suomija, Švedija), kuriose gyvena apie 85 mln. žmonių (pakrantėje 15 mln. žmonių). Kai kurios valstybės yra itin urbanizuotos, gerai išsivysčiusios. Baltijos regione išvystyta pramonė, žemės ūkis ir turizmas. Pati Baltijos jūra atveria galimybes vystyti regione tokias pramonės šakas kaip: jūrų transportas, žvejyba, naftos gavyba. Silpnas ryšys su Pasauliniu vandenynu, jūros dubens ypatybės (dėl slenksčių pasunkėja vandens prietaka ir sąmaiša) bei didelis pakrančių urbanizuotumas lėmė tai, kad Baltijos jūros vandens išteklių būklė nėra pati geriausia. Didelė antropogeninė apkrova bei klimato kaita veikia viso regiono ekonominį vystimąsi: skurdina žuvų išteklius (Baltijoje priskaičiuojama apie 70 žuvų rūšių), rekreacinį potencialą ir kt.

Siekiant ateityje sušvelninti dėl klimato kaitos vykiančias neigiamas pasekmes, būtina analizuoti Baltijos jūros regiono humidiškumo dinamiką remiantis meteorologinių rodiklių analize. Krituliais vadinamas krintantis iš atmosferos ant žemės paviršiaus skystos arba kietos būsenos vanduo. Kritulių pasiskirstymas ir kaita per metus yra vienas iš pagrindinių veiksnių, formuojančių vietovės klimatą. Pastarieji stipriai įtakoja upių, ežerų hidrologinį režimą, lemia dirvodarinius procesus bei žmogaus ūkinę veiklą. Kritulių kiekis priklauso nuo drėgmės, kuri debesų pavidalu keliauja iš vieno rajonų į kitus. Debesys, kaip kritulių šaltinis, susiję su barinių darinių aktyvumu. Tiek kritulių, tiek debesuotumo pasiskirstymas svarbus vertinant vietovės klimatinės sąlygas.

Darbo objektas

Baltijos jūros regiono kritulių kiekio ir debesuotumo kaita bei pasiskirstymo dėsningumai.

Darbo aktualumas

Maždaug iki XIX a. pabaigos klimato svyravimus daugiausia lėmė gamtiniai procesai (Saulės aktyvumas, ugnikalnių įsiveržimai ir kt.), tačiau sparčiai augant žmonių skaičiui, intensyvėjant ūkinei veiklai, klimato kaita tapo priklausoma ir nuo antropogeninių faktorių. Spartus pramonės vystimasis ir dėl to išmetami dideli šiltnamio dujų (CO₂, CH₄ ir kt.) kiekiai pradėjo įtakoti atmosferos sudėtį, stiprinti šiltnamio efektą ir keisti daugelio klimatinių rodiklių vertes.

Baltijos jūros regionas taip pat veikiamas globalių klimato kaitos procesų. Nors regione vyrauja vakarinė oro masių pernaša, o Atlanto vandenynas bei Baltijos jūra formuoja drėgną klimata, tačiau globalinio klimato šiltėjimo kontekste vis dažniau pasitaiko sausringų laikotarpių (1992, 1994, 2002 m.). Manoma, kad šiltėjant klimatui regioniniai svyravimai bus daug ryškesni. Pavyzdžiui, oro temperatūros teigiamas trendas per 1861–2000 metų laikotarpį Baltijos jūros regione buvo 0,08 °C per dešimtmetį, o globalinis trendas 0,05°C per dešimtmetį (Helcom...,2006). Didesnis, nei globalios, oro temperatūros kilimas regione rodo, kad pastarajame galbūt reiškiasi ryškesni globalinio klimato kaitos padariniai. Tikėtina, kad ne tik oro temperatūros, bet ir kitų rodiklių reikšmių svyravimai gali skirtis nuo globalių reikšmių svyravimų, o kartais būti net priešingo ženklo. Modeliavimo rezultatai rodo, kad vidutiniškai globalios oro temperatūros padidėjimas 1 °C sąlygoja ir globalinių kritulių kiekio padidėjimą 1-2 % (Helcom..., 2006).

Taigi bendrame globalinio klimato kaitos procese ypač svarbu įvertinti regioninius meteorologinių rodiklių pokyčius. Regioninių kritulių kiekio (humidiškumo) bei debesuotumo įvertinimas svarbus siekiant geriau suprasti klimato kaitos priežastis bei išvengti neigiamų pasekmių šalies ūkiui ir ekonomikai.

Darbo naujumas

Šiame darbe Baltijos jūros regiono humidiškumas įvertintas remiantis ne tik kritulių kiekio daugiamete kaita, bet ir naudojant Bowen'o indeksą. Pastarasis leido objektyviau nei krituliai įvertinti vietovės sausringumą. Darbe taip pat įvertinti konvekcinių kritulių pasiskirstymo dėsningumai, metinių kritulių kiekio erdvinė koreliacija bei regiono debesuotumo teritoriniai ypatumai. Darbe pateikta regiono kritulių kiekio prognozė bei

palyginta su dabartinėmis kaitos tendencijomis. Minėtų rodiklių analizė atlikta remiantis ne konkrečių meteorologijos stočių, o geografinio tinklelio duomenimis.

Darbo tikslas

Šio darbo tikslas – įvertinti Baltijos jūros regiono klimato humidiškumo kaitą remiantis įvairiais kritulių kiekio rodikliais, išanalizuoti debesuotumo pasiskirstymo ypatumus.

Darbo uždaviniai

1. Išanalizuoti metinio kritulių kiekio kaitą.
2. Įvertinti metinio kritulių kiekio erdvinę koreliaciją.
3. Įvertinti šaltojo ir šiltojo laikotarpių kritulių kiekio kaitą.
4. Atlikti konvekcinių kritulių kiekio analizę.
5. Įvertinti kritulių kiekio daugiametės kaitos tendencijas.
6. Išanalizuoti debesuotumo pasiskirstymo ypatumus.
7. Kiekybiškai įvertinti regiono sausringumo tendencijas.
8. Apžvelgti regiono kritulių kiekio prognozes.

1. Literatūros apžvalga

Praėjusio amžiaus paskutinius dešimtmečius bei dabartinį laiką galime vadinti itin intensyviu klimato kaitos bei svyravimų tyrinėjimo laikotarpiu. Vienas iš svarbiausių meteorologinių rodiklių, kuriuo remiantis tyrinėjama klimato kaita yra krituliai. Kritulių pasiskirstymas teritorijoje ir kitimas per metus turi didelę reikšmę hidrologiniams reiškiniams, dirvodarai, žmogaus ūkiniai veiklai. Šio elemento svarba klimato kaitos procesui, nuolat skatino tyrinėti kritulių rodiklius, tad šia tema iki šiol jau atlikta nemažai studijų. Šiame darbe Baltijos jūros regiono klimato svyravimų aspektai daugiausia tyrinėjami remiantis kritulių kiekiu, tad daugiausia aptarsime šio rodiklio globalius ir regioninius pasiskirstymo dėsningumus analizuojančius darbus.

Siekiant nustatyti kritulių, kaip vieno svarbiausių klimato sistemos elementų, kaitos priežastis, šiuolaikinėje klimatologijoje pastarieji dažniausiai tyrinėjami atliekant jų bendrą chronologinę bei ekstremalių reikšmių kaitos analizę bei remiantis bendrosios cirkuliacijos modeliais prognozuojamas XXI a. kritulių kiekis. Taigi pirmiausia apžvelgsime globalias kritulių kiekio kaitos tendencijas.

Šiaurės pusrutulyje vidutiniškai per dieną iškrinta 2,17 mm (mm/d) kritulių arba apie 65 mm per mėnesį; nuo 0 iki 30 ° N. pl. – 2,91 mm/d, o 30 – 70 ° N. pl. – 1,41 mm/d (Shabalova, 1999). Manoma, kad globalinis kritulių kiekio kaitos trendas per XX a. buvo teigiamas ir padidėjo apie 2 %. Vidutinėse ir aukštosiose šiaurės pusrutulio platumose kritulių kiekis didėjo nuo 7 iki 12 %. Pastarasis didėjimas tarp 30 ir 85 ° N., pl., skirtinguose regionuose, buvo gana įvairus. Pavyzdžiui, Šiaurės Amerikoje kritulių kiekis padidėjo – 10 %, o vakarų Rusijoje tik – 5 %. Analizė rodo, kad kritulių kiekis mažėja rytų Rusijoje, Kinijoje, bei šiaurės subtropikuose ir ekvatoriaus regionuose (Salinger, 2005).

Remiantis modeliavimo rezultatais globalinis vidutinis kritulių kiekis per XXI a. šiaurės vidutinėse ir aukštosiose platumose turėtų didėti 1 – 9 % (An Editorial Essay, 2002). Kritulių kiekio kaitos modeliavimas parodė, kad padvigubėjus CO₂ koncentracijai skirtinguose Pasaulio regionuose kritulių pokyčiai skiriasi. Pavyzdžiui, Šiaurės Amerikoje birželio, liepos ir rugpjūčio mėnesiais kritulių kiekis turėtų sumažėti apie 50 %, o pietų Azijoje, minėtu laikotarpiu, turėtų sumažėti apie 30 %. Australijoje ir Sachelio zonoje kritulių kiekis turėtų pasikeisti nežymiai. Pietų Europoje kritulių kiekis didės žiemos, bet mažės vasaros laikotarpiais. Centrinėje ir šiaurės Europoje kritulių kiekis labiausiai turėtų mažėti vasaros laikotarpiu (ypač rugpjūtį) apie – 25 % (Cubasch et al., 2000).

Kritulių pasiskirstymo dėsningumai tyrinėjami ne tik globaliu, bet ir regioniniu aspektu. Toliau apžvelgsime Europoje ar atskirose Europos žemyno dalyse kritulių analizei skirtus darbus.

Baltijos jūros regiono kritulių kiekio ciklas labai įvairuoja ir daugelyje subregionų yra gana skirtingas. Regione 1976 – 2000 metais, lyginant 1951 – 1975 metų vidurkiu, kritulių kiekis padidėjo Švedijoje ir rytinėje Baltijos jūros pakrantėje. Lenkijos regione kritulių kiekis mažėjo, Norvegijos sritys nepasižymi kritulių kiekio didėjimu. Sezoninis kritulių kiekio pasiskirstymas taip pat įvairus. Daugiau kaip 15 % kritulių padidėjo pavasario laikotarpiu centrinėje Švedijoje, tačiau Lenkijoje, tuo pačiu metu, kritulių sumažėjo. Vasaros laikotarpiu nedidelis sumažėjimas buvo vakarinėse ir pietinėse BJ regiono dalyse. Atskirose Suomijos ir Švedijos srityse kritulių kiekis padidėjo. Rudenio periodu sumažėjimas buvo tik Vokietijoje ir Lenkijoje. Pagrindinis padidėjimas buvo žiemos periodu ir apėmė visą BJ regioną (Helcom..., 2006).

Metinių kritulių trendo reikšmės šiaurės ir pietų Europoje buvo skirtingos. Šiaurės Europoje kritulių kiekis per XX a. padidėjo 10 % – 40 %, tuo tarpu atskirose pietų Europos srityse kritulių kiekio trendai sumažėjo 20 %. Pastarieji kritulių kaitos skirtumai tarp aukštesnių ir žemesnių platumų atspindi skirtingus atmosferoje vykstančius procesus. Manoma, kad virš šiaurės Europos kritulių turėtų padidėti 1 – 2 % per dešimtmetį; pietinėse srityse mažės 1 % per dešimtmetį; centrinės Europos dalyse (Prancūzija, Vokietija, Vengrija, Baltarusija) kritulių kiekio kaitos pobūdis dar neaiškus. Keisis ir sezoninis kritulių kiekio pasiskirstymas. Europoje turėtų 1 – 4 % drėgnesnės tapti žiemos, Balkanuose bus sausiau tik Turkijoje. Vasaros laikotarpiu šiaurės ir pietų Europoje kritulių kiekis turėtų atitinkamai padidėti 2 % ir sumažėti 5 % per dešimtmetį (Maracchi, 2005).

Tanko ir Konnenio straipsnyje kritulių trendai analizuojami daugiau kaip šimte Europos stočių. Ekstremalios kritulių reikšmės ir jų pasiskirstymas Europos teritorijoje analizuojamas remiantis šiais klimato kaitos rodikliais: vienos ir penkių parų kritulių sumų pasiskirstymas; taip pat dienų su liūtiniais krituliais skaičius, kai iškrinta daugiau kaip 10 ir 20 mm per parą. Skirtingai nuo temperatūros tendų, kritulių tendų erdvinis ryšys žemas. Kritulių teigiami ir neigiami trendai plačiai išsibarstę visoje Europoje. Baltijos regione tik keletoje stočių metiniai krituliai padidėjo, kitose MS buvo nežymiai teigiami arba neigiami ir buvo statistiškai nereikšmingi. Stotys, kuriose užfiksuotas metinis kritulių kiekio padidėjimas, pasižymi labai nevienalyčiais ekstremaliais kritulių kiekiais. Tuo tarpu stotyse, kur metiniai krituliai sumažėjo, pastebimas didesnis erdvinis vienalytiškumas. 1946 – 1999 metų periodas buvo padalintas į du subperiodus. Per tiriamą laikotarpį bendras kritulių kiekis didėjo apie 8

mm per dešimtmetį, per 1946 – 1975 metus didėjo 14 mm per dešimtmetį, o 1976 – 1999 m. kritulių kiekis mažėjo 1 mm (Tank, Konnen, 2003).

Mietuso straipsnyje analizuojama kritulių reikšmės prie Baltijos jūros pietinės pakrantės. Buvo gauta, kad nuo 1857 iki 1970 metų kritulių reikšmės pakito atitinkamai nuo 364 iki 795 mm. Taip pat analizė parodė, kad kritulių kiekis artimiausius 150 metų turėtų nežymiai didėti, bet paskutinius trisdešimt metų (iki 2030 m.) mažėti (Mietus, 1998).

1995 metais bendradarbiaujant Pasaulinei meteorologijos organizacijai ir kitiems jos padaliniais buvo išleista ataskaita apie Europos klimatą. Ataskaitoje taip pat aptariama kritulių pasiskirstymas Europoje. Kritulių padidėjimas užfiksuotas virš šiaurės Europos išskyrus Suomiją. Kritulių mažėjimas matomas pietų Europoje. 1981 – 1990 metais buvo nustatyti kritulių reikšmių anomalijos. Sausi periodai nustatyti pietinėje Europoje ir daugelyje Europos šiaurinių teritorijų įskaitant ir Skandinaviją, kuri yra santykinai drėgna. Reikia pažymėti, kad per šį periodą buvo aukštesnė ir oro temperatūra. Paminėti pokyčiai buvo siejami su atmosferos cirkuliacija, kuri virš Vakarų ir Centrinės Europos buvo vakarinė, pietvakarinė ar pietinė, nei prieš šį periodą.

Viename straipsnyje taip pat apžvelgiamas kritulių pasiskirstymas daugiau kaip 750 MS nuo instrumentinių matavimų pradžios (1891 m.) 30° – 70° N ir 30° W – 60° E teritorijoje. Buvo gauta, kad bendras kritulių kiekis per minėtą laikotarpį padidėjo apie 10 mm, žiemos apie 4 mm, o vasaros sumažėjo 1 mm per 100 metų. Virš didesnės Europos dalies 1961 – 1990 m. kritulių buvo daugiau nei 1931 – 1960 m. apie 10 – 25 mm per metus. Sumažėjimas pastebimas Anglijoje, kai kuriose Centrinės ir Šiaurės Europos dalyse bei Viduržemio jūros regione (Gruza, 1994).

Viename straipsnyje buvo analizuotas ryšys tarp kritulių kiekio kaitos ir Šiaurės Atlanto osciliacijos (NAO). Buvo nustatyta, kad nuo 1960 metų Dž. Britanijoje vasaros kritulių kiekis sumažėjo, o apie 1970 m. kritulių padidėjo žiemos metu vakarinėse srityse. Vakariųjų Anglijos sričių kritulių kiekio svyravimai susiję su NAO. Teigiami ir neigiami NAO indeksai vakarinėse vietovėse lemia nuokrypius nuo klimatinės žiemos kritulių normos atitinkamai 112 ir 77 %. Nuo 6 – ojo dešimtmečio pabaigos, lyginant su 1937 – 1996 m. vidurkiu, visose stotyse yra pastebėtas vasaros kritulių kiekio sumažėjimas 20 %. Stiprus ryšys aptiktas tarp žiemos kritulių kiekio ir žiemos NAO (Fowler, Kilsby, 2001).

Keliuose straipsniuose analizuojama ekstremalių kritulių pasiskirstymas Europoje. Boguck'o straipsnyje buvo tyrinėti 1966 – 1995 m. ekstremalios kritulių reikšmės (paros ir šešių valandų) Lenkijoje. Analizė parodė, kad skiriasi šiaurės ir pietų kritulių sumos tiek paros, tiek šešių valandų, kas autoriams leidžia manyti, kad per Lenkiją eina riba tarp kritulių didėjimo tendencijų Šiaurės Europoje, bei mažėjimo Pietų Europoje. Taip pat buvo nustatyta,

kad net 84 % trumpalaikių kritulių buvo nulemti šaltų frontų bei terminių konvekcijų (Boguck, 1998).

Kitame straipsnyje taip pat analizuojami kritulių dėsningumai Europinėje Rusijos dalyje per 1931 – 1995 metus. Buvo nustatyta, kad dienų skaičius su ekstremaliais krituliais pasiskirstymas minėtoje teritorijoje ne vienodas. Šiaurės vakaruose ir Volgos regione stebima didėjimo tendencija per minėta laikotarpį, o tuo tarpu šiaurėje ir pietvakariuose mažėjimo tendencija per paskutinius trisdešimt metų, tačiau per visą laikotarpį trendas yra teigiamas. Taip pat pažymima, kad dienų su ekstremaliais krituliais padidėjo vasarą (Bulygina, et al., 1998).

Šiaurės šalyse ekstremalūs paros krituliai analizuojami Forlando ir kt. straipsnyje. Per 1880 – 1996 m. kritulių kiekio padidėjimas yra susijęs su ekstremalių kritulių reikšmių padidėjimu. Analizė parodė, kad tyrinėtose šiaurės šalyse (Danija, Švedija, Suomija, Norvegija, Islandija) vienos dienos kritulių reikšmių svyravimai yra panašūs. Maksimalios reikšmės buvo užfiksuotos 1930 – 1939 m. bei praėjusio amžiaus paskutinius du dešimtmečius. Itin maksimalios kritulių reikšmės pasitaikė visoje fenoskandijoje (išskyrus vakarinę dalį) per ankščiau minėtus laikotarpius. Manoma, kad ekstremalių kritulių kiekiai buvo nulemti aktyvios konvekcinės veiklos per šiltąjį periodą. Ekstremalių kritulių padidėjimas taip pat susijęs su aukštomis vasaros oro temperatūromis visame regione. Taip pat kai kuriuose regionuose dienų su ekstremaliais krituliais ir metinių kritulių kiekio tendencijos panašios (Forland, Bauer – Hansen, 1998).

Gausūs paros krituliai dažniausiai sukelia didelius potvynius. Vienas didžiausių potvynių Centrinėje Europoje įvyko 1997 metais liepos mėnesį. Per vieną dieną kai kuriose teritorijose buvo pasiekta liepos mėnesio norma (200 mm). Kritulių analizė per 1890 – 1996 m. parodė, kad šiaurės šalyse gali pasitaikyti dideli trendų skirtumai tarp kaimyninių stočių. Pavyzdžiui išanalizavus kritulius Norvegijoje buvo išskirti net penki regionai su labai panašiais metinių kritulių trendais. Ekstremalūs krituliai dažniausiai yra vietinio pobūdžio, todėl kai kuriose stotyse kritulių sumos gali skirtis. Vietiniai liūtiniai krituliai gali būti lėtai judančios frontinės sistemos, vietinės kvazistacionarios konvekcinės gardelės arba orografinės kilmės priežastis. Šiaurinėje Europos dalyje pastebimas liutinių kritulių padažnėjimas nuo 1930 iki 1980 metų. Šių kritulių padažnėjimas sutampa su karštomis vasaromis (Heino et al. 1999).

Per vegetacijos periodą, sausrų metu, limituojančiu ūkio veiksnium tampa vandens kiekis. Mager straipsnyje analizuojama klimato sausringumas remiantis iškritusių kritulių ir išgaravusių kritulių sumų skirtumu, kuris charakterizuoja sausros intensyvumą. Buvo nustatyta, kad neigiamos reikšmės (-50, - 75 mm) dažniausia pasitaikydavo Pietinėje Baltijos

jūros dalyje birželio ir liepos mėnesiais (apie 40 % visų atvejų), žemesnis dažnis (mažiau 10 %) buvo stebimas išilgai Baltijos pakrantės. Daugiau kaip 10 % atvejų su – 50 mm pasitaiko birželį, liepą centrinėje ir pietinėje Lenkijoje (Mager, 1998).

Klimato kaitos įtaka agro klimatinių išteklių dinamikai europinėje Rusijos dalyje buvo analizuojama remiantis bendrosios cirkuliacijos modeliu. Suprantama, jog, žemės ūkio resursus reprezentuoja šilumos ir drėgmės resursai t.y. oro temperatūra ir krituliai. Jų įtaka vertinta naudojant hidroterminį koeficientą (HTC). Taip pat pastarųjų pokyčių kaita buvo vertinama CO₂ kiekiui padidėjus dvigubai remiantis GFDL ir CCC modeliais. Buvo gauta, kad stipriai padidės šilumos resursai. Pavyzdžiui, pagal GFDL modelį dienų skaičius, kai temperatūra ≥ 10 °C padidės 35 %, o pagal CCC scenarijų 41 %. Šie šilumos resursai pakeis ir HTC reikšmes. Pagal GFDL modelį HTC reikšmės sumažės daugelyje Rusijos teritorijos, kas reiškia, kad sumažės kritulių kiekis vasarą ir padidės oro temperatūra. Pagal CCC modelį sumažės HTC visame regione. Šie pokyčiai pakeis ir agro klimatinių resursų zonas, kas privers atsižvelgti auginant žemės ūkio kultūras (Nasonova 1998).

Nors klimato kaita dažniausiai tyrinėjama per oro temperatūros ir kritulių kiekio rodiklių kaitą, tačiau ne mažiau svarbūs ir kiti klimato elementai, kurie prognozuojant klimato svyravimus taip pat vaidina svarbią reikšmę. Pavyzdžiui debesuotumas keičia radiacijos balansą, lemia šiltnamio efektą, žemės paviršiaus temperatūrą ir yra vandens ciklo dalis (Ustrnul, 1998).

Keliuose straipsniuose kaip tik ir analizuojami debesuotumo svyravimai, jo erdvinis pasiskirstymas bei įtaka kitiems meteorologiniams rodikliams. Debesuotumo reikšmės buvo analizuotos Lenkijos teritorijoje. Buvo nustatyta, kad vidutinių debesuotumo reikšmių kaita kinta nedaug. Didesnėje Lenkijos dalyje debesuotumas 64 – 66 %. Per 1961 – 1999 metų analizuojamą laikotarpį minimalios debesuotumo reikšmės svyravo apie 62 %, maksimalios virš 66 % ir pasitaikydavo tik atskiruose Lenkijos teritorijos rajonuose (Farat et al., 1998). Debesuotumas taip pat buvo tyrinėjamas Estijoje. Straipsnyje autoriai pažymi, kad kai kuriose aktimetrijos stotyse buvo užfiksuoti žymūs kai kurių meteorologinių elementų pasikeitimai per 1955 – 1995 metus pavasario mėnesiais. Pavyzdžiui kovo mėnesio vidutinė temperatūra pakilo net 4 °C, o kitose MS padidėjo nuo 2,7 iki 5,2 °C. Žemų debesų reikšmės padidėjo 2,5 %, o bendrosios ir atspindėtosios saulės radiacijos kiekiai sumažėjo atitinkamai 27,5 ir 51,3 %. Autoriai mano, kad tokius minėtų klimatinių elementų pokyčius galėjo lemti saulės radiacijos balanso ir bendrosios atmosferos cirkuliacijos kaita. Estijoje nuo 1953 metų šešiolikoje stočių žemo sluoksnio debesų padidėjo nuo 1,2 iki 3,2 %. Buvo nustatyta, kad pagrindinė priežastis lėmusi žemų debesų bei temperatūros didėjimą yra šiltų ir drėgnų oro masių advekcija iš Atlanto vandenyno (Russak, 1998).

Lietuvoje kritulių kiekio pasiskirstymo dėsningumai taip pat analizuoti daugelio autorių darbuose (G. Aloševičienė; S. Buitkuvienė; A. Bukantis; A. Galvonaitė; E. Rimkus; B. Kavaliauskas; G. Stankūnavičius ir kt.). Lietuvoje kritulius pradėta matuoti trečiajame praėjusio amžiaus dešimtmetyje, o Vilniuje net nuo XIX a. pabaigos, tad šiandien klimatologai disponuoja septyniasdešimties metų ir ilgesnėmis kritulių duomenų sekomis, leidžiančiomis analizuoti regionines kritulių tendencijas.

B. Kavaliausko (1995) straipsnyje „Atmosferos kritulių kintamumas“ analizuojami kritulių kiekio nuokrypiai nuo daugiamečio vidurkio (normos), šlapymečių ir sausmečių pasikartojimo dėsningumus. Per 1887 – 1992 m. stebėjimų laikotarpį Vilniaus MS daugiausia kritulių iškrito 1945 m. ir metinė suma sudarė 918 mm arba 138 % normos (664 mm), o mažiausiai – 1888 m., metinė kritulių suma siekė tik 355 mm arba 55 % normos. Kritulių metinių sumų svyravimo amplitudė per šį 106 metų laikotarpį sudarė 563 mm. Neigiamos mėnesio, sezono ir metinio kritulių kiekio anomalijos lemia ilgalaikius sausringus laikotarpius. Sausringi metai dažniausiai būna, kai 7-9 mėnesius išsilaiko neigiama kritulių anomalija. Paskutiniame šimtmetyje (nuo 1897 m.) išsiskiria trys sausmečiai (1907-1921, 1937-1944 ir 1968-1986 m.) ir trys šlapymečiai (1897-1906, 1922-1936 ir 1945-1967 m.). Daugiamečiuose šiltojo metų laikotarpio ir metinių kritulių kiekio svyravimuose išsiskiria 30-31 metų ciklai. Sprendžiant pagal šiuos ciklus 1987 m. prasidėjęs šlapymetis Lietuvoje turėtų užtrukti iki 1997-1998 metų (Kavaliauskas, 1995).

Lietuvoje kritulių chronologinės sekos buvo analizuotos kolektyvinėse monografijose – „Klimato elementų kintamumas Lietuvos teritorijoje“ (1998) ir „Klimato svyravimų poveikis fiziniams geografiniams procesams Lietuvoje“ (2001).

Atitinkamai pirmoje monografijoje išanalizavus kritulių chronologines sekas buvo gautos tokios išvados: 1961-1990 lyginant su 1931-1960 metų laikotarpiu Vakarų Lietuvoje metinis kritulių kiekis padidėjo 20-53 mm, o likusioje teritorijoje sumažėjo 20-57 mm. Taip pat šaltuoju (XI-III mėn.) laikotarpiu per paskutinį trisdešimtmetį (1961-1990 m.) vidutinis kritulių kiekis padidėjo visoje Lietuvoje. Šiltasis (IV-X mėn.) laikotarpis 1961-1990 m. sausesnis nei praėjusiam trisdešimtmetyje (5-65 mm) (Bukantis ir kt. 1998).

Antroje monografijoje atlikta kritulių kiekio duomenų sekų chronologinė analizė parodė, kad 1887-1999 metais šiltojo laikotarpio kritulių kiekio kaitos trendas yra neutralus; šio laikotarpio kritulių eigos kaitoje išskiriami du periodai: pirmas - nuo XIX a. pabaigos iki XX a. vidurio, pastebima kritulių didėjimo tendencija; antras - nuo penkto XX a. dešimtmečio, kur kritulių kiekis tolygiai mažėja; dienų su krituliais padidėjo visoje Lietuvoje (išskyrus pietinę Lietuvos dalį). Analizuojant kritulių kiekio anomalijas išryškėjo tokios tendencijos: ilgiausia lietaus anomalija truko 7 paras (1977 m. liepos 3-9 d.), o kietųjų ir

mišriųjų – 9 paras (1970 m. spalio 28 d. – lapkričio 5 d.); daugiausia lietaus anomalijų pasitaiko liepą – rugpjūtį (26,7% visų atvejų); buvo nustatyta, kad kietųjų ir mišriųjų kritulių kiekio anomalijų skaičius didėja (Bukantis, Rimkus, Stankūnavičius, 2001).

Tiek kritulių perteklius (pvz. potvyniai), tiek ir kritulių trūkumas gali turėti nepageidaujamų pasekmių, tiek žmonių sveikatai, tiek ekonomikai. Dėl kritulių trūkumo gali būti sutrikdytas hidrologinis režimas, bei stipriai įtakotas metų derlius. Esant ilgą laiką itin dideliame kritulių kiekio trūkumui ir aukštai oro temperatūrai teritoriją užklumpa stichinė nelaimė – sausra. Keletoje darbų buvo analizuotos sausros (Alosevičienė, 2001; Buitkuvienė, 1998; Bukantis, 1993).

Straipsnyje „1992 – ujų metų sausra Lietuvoje“ analizuota viena didžiausių sausrų per XX a. Per augalų aktyvios vegetacijos laikotarpį, kuris 1992 m. tęsėsi nuo gegužės pradžios iki rugsėjo pabaigos t. y. apie 150 dienų, vidutinė oro temperatūra buvo 0,7 – 1,4 °C aukštesnė už daugiamečių vidurkį, o kritulių iškrito tik 50 – 70 % vidutinio daugiamečio kiekio. 1992 metais sausringiausios sąlygos susidarė birželio – liepos mėnesiais: daugelyje Vidurio, Pietvakarių ir Rytų Lietuvos rajonų HTK buvo tik 0,1 – 0,4, kitur 0,5 – 0,8. Rytų ir Pietryčių Lietuvoje (pagal HTK) sausringos sąlygos išsilaikė net 7 – 8 dešimtadienius be pertraukos. 1992 metų sausrą lėmė Šiaurės Atlanto rytinėje periferijoje susiformavęs aukštuminis gūbrys bei aukštuminė frontinė zona gūbrio rytuose. Nuo gegužės vidurio Lietuva pateko į Skandinavijos anticiklonų, kurių rytinė arba pietinė periferija formavo orus iki birželio vidurio, įtaką (Bukantis, 1993).

Lietuvos hidrometeorologijos tarnyboje Klimatologijos skyriuje rengiant klimato žinyną „Stichiniai meteorologiniai reiškiniai“, buvo analizuoti 1961-1996 m. laikotarpio 23 stočių 05-09 mėnesių agrometeorologiniai ir klimatologiniai duomenys. Pagrindiniai sausros požymiai yra mažas kritulių kiekis, saulės spindėjimo intensyvumas, aukšta oro temperatūra, mažas santykinis oro drėgnumas, intensyvus garavimas. Išanalizavus meteorologinių rodiklių nuokrypius nuo normos buvo išskirtos 1971, 1992 ir 1994 metų sausros. Šias stichines sausras lėmė Azorų anticiklonas. 1971 m. sausra truko 4, 1992 m. 6, o 1994 m. 3 – dešimtadienius. Išanalizavus 1961-1996 m. laikotarpio duomenis galima teigti, kad stichinės sausros dažniausiai pasitaiko nuo liepos vidurio iki rugpjūčio vidurio, kai dėl sausų orų labai išsenka produktyvios drėgmės atsargos (Buitkuvienė, 1998).

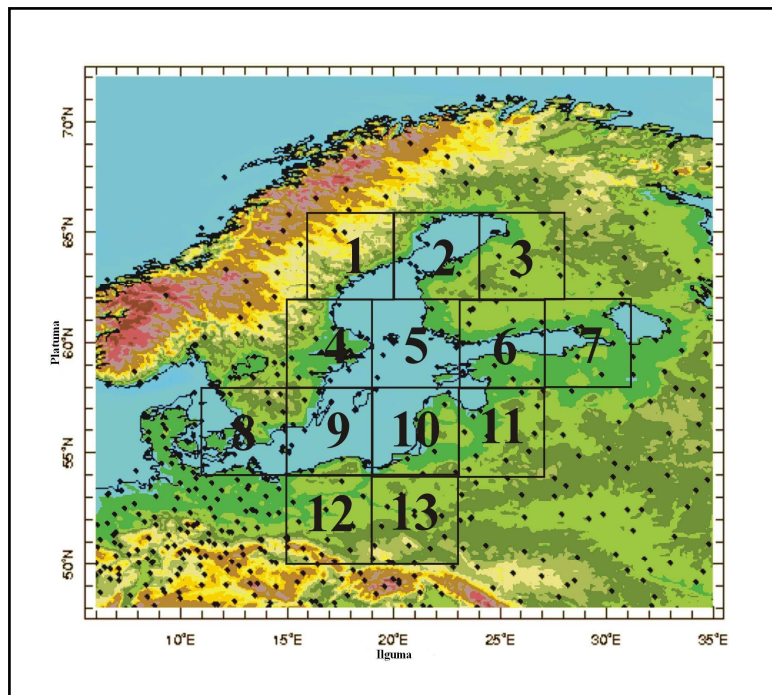
Kaitros buvo analizuotos G. Alosevičienė straipsnyje. Jame autorė apibūdino 35 metų kaitrų (sausrų) pasiskirstymo dėsningumus. Pagrindinis sausrų identifikavimo rodiklis buvo oro temperatūra (sieki 30 °C ir 35 °C daugiau) bei laikėsi penkias ir daugiau dienų ir apimdamos 1/3 teritorijos. Iš vienuolikos didelių kaitrų didžiausios buvo 1994 metų liepa. Buvo nustatyta, kad sausrų retėja, bet jos intensyvėja (Alosevičienė, 2001).

Straipsnyje „Lietuvos agroklimatinių resursų dinamika ir prognozė“ buvo analizuojama Lietuvos agroklimatinių sąlygų dinamika XX a. bei modeliuojami kai kurių agroklimatinių rodiklių pakitimai XXI a. I pusėje. Darbe buvo naudojami vidutinės oro temperatūros ir kritulių kiekio stebėjimų rezultatai Vilniuje nuo 1887 m., Kaune nuo 1923 m. ir Laukuvoje nuo 1928 m. Augalų vegetacijos laikotarpio sąlygų įvertinimui buvo pasirinktas – Selianinovo hidroterminis koeficientas (*HTK*). Šis koeficientas apibūdina augalų vegetacijos periodo termines ir drėkinimo sąlygas. Tirtose stotyse *HTK* skirtumus labiausiai nulėmė kritulių kiekio skirtumai. Šiltuoju metų periodu (IV-X) daugiausia kritulių iškrepta Laukuvoje ir Vilniuje, todėl Kaune (pagal *HTK*) yra drėkinimas optimalus, o Vilniuje ir Laukuvoje perteklinis, drėgniausi periodai stotyse nesutampa. Buvo nustatyta, kad *HTK* reikšmės Lietuvoje kinta 1,5-1,8 ribose, pastebėta *HTK* mažėjimo tendencija XX a. Prognozuojant Vilniaus, Vėžaičių ir Dotnuvos vasaros *HTK* kaitą pagal GFDL modelį buvo gauti tokie rezultatai: vasaros sezono vidutinė oro temperatūra XXI a. I pusėje kils, o kritulių kiekis Lietuvoje iki 2020 m. padidės tik 1-2%, paskui mažės ir 2050 m. bus 5-6 % mažesnis už dabartinį. Labiausiai sumažės liepos ir rugpjūčio mėnesių kritulių kiekis – 12-21 %, gegužės, birželio ir rugsėjo mėnesių drėgmės kiekis pakis nedaug, nes kylant oro temperatūrai didės ir kritulių kiekis (Bukantis, Rimkus, 1996).

Lietuvos vandens resursus, remiantis vandens balanso modeliu (WatBal), tyrinėjo A.Štaras. Pagrindiniai Lietuvos teritorijos vandens balanso lygties nariai yra krituliai, vandens atsargos, garavimas ir nuotėkis. Lietuvos balanso elementų prognozavimas, kurio metu buvo nustatyti ilgalaikiai (iki 2080 metų) Lietuvos upių nuotėkio pokyčiai buvo atliktas atsižvelgiant į oro temperatūros ir kritulių kiekio prognozes. Atlikus tyrimą paaiškėjo, kad Lietuvos teritorijoje metinis nuotėkis vidurio Lietuvos hidrologinėje srityje esančiose upėse iki 2080 tųjų metų išaugs vidutiniškai 14 % nuo dabartinio daugiamečio, o Žemaitijos aukštumų ir pietryčių Lietuvos upėse sumažės atitinkamai 7 % ir 3 %. Žemaitijos aukštumos hidrologinės sritys upių nuotėkis (iki 2080 m.) mažės beveik pagal visus klimato kaitos scenarijus vidutiniškai nuo -4 % iki 26 %. Modeliuojant buvo gauta, kad pavasario nuotėkio maksimumas persislinks link žiemos mėnesių. 2080 – tiems metams prognozuojamas nuotėkio sumažėjimas kovo – rugsėjo mėnesiais visose Lietuvos hidrologinėse srityse: Žemaitijos aukštumose –29 mm, pietryčių Lietuvoje -33 mm, vidurio Lietuvoje 37 mm (Štaras, 2005).

2. Duomenys ir darbo metodika

Šiame darbe buvo tiriama Baltijos jūros regiono humidiškumo dinamika per 1950 – 2004 metų laikotarpį. Baltijos jūros regionas esantis tarp 50° ir 70° š.pl bei 10° ir 35° r. ilg. buvo suskirstytas į trylika sektorių, kur vieno sektoriaus sienelė yra keturi platumos ir ilgumos laipsniai (žr. 2.1 pav.). Tokios skiriamosios gebos geografinis tinklelis leidžia įvertinti ne



vienos meteorologinės stoties (MS) reprezentuojančią teritoriją, o keliolikos ir daugiau MS apimančią regiono teritoriją. Tai eliminuoja vietinių sąlygų poveikį bei sumažina meteorologinių rodiklių sklaidą, kuria ypač pasižymi krituliai. Sektoriai išdėstyti taip, kad apimtų tiek žemyninę, tiek jūrinę dalis, kas leidžia įvertinti bendras klimatinų sąlygų tendencijas

neišskiriant pakrantės ar kontinentinės žemyno dalies.

2.1 pav. Baltijos jūros regionas ir jo suskirstymas į sektorius.

Baltijos jūros regiono humidiškumui įvertinti buvo naudojami šie rodikliai: kritulių kiekis (mm); konvekcinių kritulių kiekis (mm); bendrasis debesuotumas (%); slaptoji garavimo šiluma (W/m^2); turbulencinis šilumos srautas (W/m^2). Tyrimui duomenys buvo paimti iš Nacionalinio aplinkos prognozių centro (NCEP) ir Nacionalinio atmosferos tyrinėjimo centro (NCAR). Šie centrai vykdo projektą, kurio tikslas naudojant istorinius atmosferos būklės duomenis (nuo 1948 m.) ir taikant reanalizę (angl. reanalysis) pagerinti tiek duomenų kokybę, tiek pateikimą vartotojui. NCEP/NCAR reanalizės būdu, taikant klimatinų duomenų suvienodinimo (angl. assimilation) sistemą, buvo siekta padidinti duomenų homogeniškumą. Reanalizė – tai naudojant statistinius skaičiavimo metodus (modelius) istorinių ir dabartinių duomenų apdorojimas pateikiant juos geografiniam tinklelyje pagal ilgumą, platumą, vertikalų lygį ir laiką. Pavyzdžiui žinant atmosferos temperatūrą, vėją, drėgmę slėgį ir t.t. ir naudojant skaičiavimo schemas/modelius galima sužinoti kitus atmosferos parametrus. Tokiu būdu gauti šiame darbe naudoti konvekcinių kritulių,

debesuotumo, slaptosios garavimo šilumos bei turbulencinės šilumos rodikliai. Kritulių kiekis gautas naudojant ne tik modeliavimo rezultatus, bet ir pasirinktam geografiniam tinklulyje interpoliuojant (angl. optimum interpolation algorithm) meteorologinių stočių kritulių duomenis. Virš pasaulinio vandenyno kritulių kiekis gautas ne tik naudojant stebėtus, bet ir iš palydovų gautus duomenis.

Naudojant GrADS programą (angl. Grid analysis and display system), kuri verčia meteorologinius duomenis į tinklelio duomenis kiekvienam sektoriui (1 – 13 sekt.), pagal tinklelio koordinates, buvo gauti pradiniai 1950 – 2000 metų kiekvienos dienos duomenys bei toliau apskaičiuotos kiekvieno mėnesio minėtų rodiklių reikšmės. Vėliau, priklausomai nuo analizuojamo rodiklio, buvo skaičiuojamos metinės, šilto (IV – VIII mėn.), šalto (XI – III mėn.) laikotarpių bei sezoninės (žiemos ir t.t.) rodiklių vertės.

Baltijos jūros regiono humidiškumui tirti pirmiausia buvo analizuojamas viso regiono ir atskirų sektorių (teritorinis) metinis, šiltojo ir šaltojo laikotarpio bei konvekcinių kritulių kiekis. Minėtų rodiklių daugiametės kaitos tendencijos įvertintos remiantis trendų analize. Pokytis per 1950 – 2004 metų laikotarpį išreikštas procentais. Vietovės hidroterminėms sąlygoms įvertinti buvo suskaičiuotas šiltojo (IV – VIII mėn.) ir šaltojo (XI – III mėn.) kritulių kiekio santykis, jo pokytis taip pat įvertintas trendų analize. Siekiant visapusiškai įvertinti tiriamos teritorijos šiltojo laikotarpio kritulių pasiskirstymo dėsninumus buvo analizuoti vasaros laikotarpio (VI – VIII mėn.) konvekcinių kritulių pasiskirstymo ypatumai t. y. suskaičiuotas santykis tarp konvekcinių ir bendro kritulių kiekio. Vėliau buvo apskaičiuoti koreliacijos koeficientai tarp konvekcinių kritulių kiekio ir oro temperatūros vasaros mėnesiais (06 – 08 mėn.). Siekiant įvertinti kritulių kiekio erdvinio pasiskirstymo ypatumus teritorijoje buvo atlikta metinio kritulių kiekio teritorinė koreliacija. Tam buvo sudaryta duomenų matrica ir skaičiuojama kaip koreliuoja įvairių sektorių metinių kritulių kiekiai.

Debesuotumo laukui, Baltijos jūros regione, įvertinti buvo atlikta metinio ir sezoninio debesų kiekio pasiskirstymo ir kaitos analizė. Buvo suskaičiuotos atskirų sektorių ir viso regiono debesuotumas išreikštas procentais. Siekiant įvertinti debesuotumo kaitą regione per 1950 – 2004 metus buvo atlikta šio rodiklio trendų analizė.

Šiame darbe, minėtos teritorijos sausringumo dinamikai įvertinti, buvo naudojamas Bowen'o indeksas, (Bo):

$$Bo = P/LE, \quad (1)$$

Bo – indeksas; P – turbulencinis šilumos srautas (W/m^2); LE – šilumos srautas, susijęs su faziniais vandens persitvarkymais (W/m^2).

Iš pirmos formulės matome, kad Bo remiasi priklausomybe tarp turbulencinio šilumos srauto (P) ir šilumos srauto (LE), susijusio su faziniais vandens virsmis. Kai $Bo > 1$ – vyrauja

turbulencinis šilumos atidavimas atmosferai; kai $Bo < 1$ – daugiausia šilumos sunaudojama garavimui. Taigi kuo vietovėje mažiau drėgmės, tuo didesnė energijos balanso dalis sunaudojama turbulenciniam šilumos srautui. Bo reikšmės dažniausiai svyruoja nuo 0,1 (tropikų miškai) iki 10 ir daugiau (dykumos). Vidutinėse platumose dažniausiai vyrauja 0,4 – 0,8. Šis indeksas buvo skaičiuojamas vasaros mėnesiams (06 – 08 mėn.), o jo privalumas būtų tas, kad yra naudojami rodikliai, kurių priešingai nei pavyzdžiui oro temperatūros ar kritulių kiekio neįtakoja mezomasto ar mikromasto klimato faktoriai ir to pasekoje galima įvertinti drėkinimo laipsnį sąlyginai didelėje teritorijoje (pvz. vidutinės platumos).

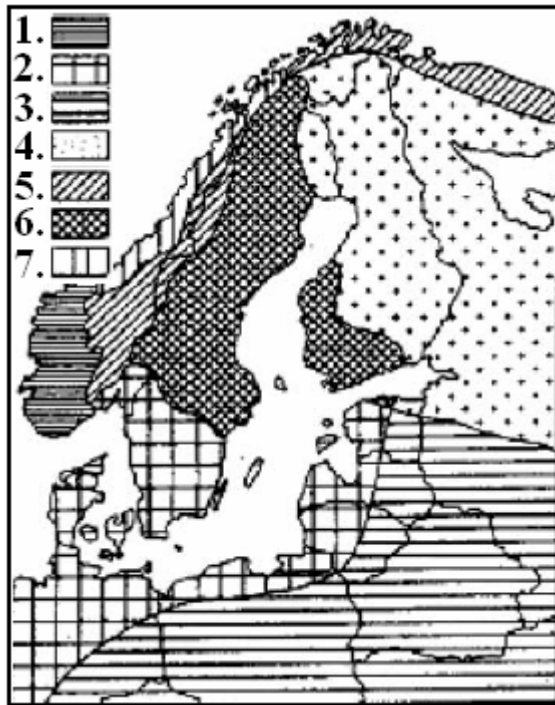
Kritulių kiekio prognozė aptarta remiantis Helkomo ataskaita (Helcom., 2006). Šioje ataskaitoje klimato kaita buvo modeliuojama remiantis CO_2 emisijų koncentracijos didėjimu. Kritulių kiekio modeliavimas buvo atliktas atsižvelgiant į Tarpvyriausybinės klimato kaitos komisijos (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change) nustatytus ateities emisijų scenarijus, kur CO_2 gali didėti nuo 0,3 % (B1) iki 0,6 % (A1FI) per metus. Baltijos jūros regiono kritulių kiekis buvo prognozuojamas remiantis bendrosios cirkuliacijos modeliais (GCM). Buvo prognozuojamas vidutinis kritulių kiekio pasikeitimas (%) ir galimi maksimalūs ir minimalūs kritulių kiekio nuokrypiai nuo vidutinės vertės kiekvienam sezonui 2070 – 2099 metais, lyginant su 1961 – 1990 metų vidurkiu prie skirtingų „šiltnamio dujų“ emisijų. Gauti sezoniniai prognostiniai kritulių kiekio duomenys buvo palyginti su dabartinėmis kritulių kiekio tendencijomis.

Pradiniai duomenys statistiškai buvo apdoroti naudojantis „Microsoft Excel 2000“, „Microcal Origin“ programomis. Duomenys analizuoti nustatant vidutines, minimalias, maksimalias reikšmes atliekant koreliacinę ir trendų analizę. Koreliacijos ir trendų statistinis patikimumas nustatytas pagal Stjudento skirstinio lenteles.

3. Baltijos jūros regiono bendrieji klimato ypatumai

Baltijos jūros regionas plyti vidutinėse platumose tarp 50° ir 70° š.pl bei 10° ir 35° r. ilg. ir yra veikiamas Šiaurės pusrutulio bendrosios atmosferos cirkuliacijos, kuri formuoja vyraujančią vakarinę oro masių pernašą. Nuo pastarosios intensyvumo priklauso šilumos ir drėgmės advekcija iš vakaruose esančio Atlanto vandenyno į BJ regioną. Ypač vakarinė oro masių pernaša veikia BJ regiono vakaruose ir pietvakariuose esančias teritorijas. Silpnėjant šiai pernašai, o taip pat tostant nuo Atlanto į rytus klimatas darosi panašesnis į kontinentinį. Baltijos jūra taip pat stipriai veikia viso regiono klimatą. Tiesioginę jūros įtaką jaučia priekrantės teritorijos (iki 100 km). Čia sumažėja oro temperatūros amplitudė, žiemą padidėja žemutinis debesuotumas, yra didesnis drėgnumas, formuojasi daugiau rūkų ir kt. (Bukantis, 1994). Tolstant į rytus nuo Baltijos j. driekiasi Eurazijos kontinentas, todėl rytuose esančiose teritorijose vis silpniau jaučiamas Atlanto vandenyno ir Baltijos jūros klimatinis poveikis. Pastarosiose formuojasi labiau kontinentinis klimatas: didėja oro temperatūros amplitudė, mažėja drėgmės. Atlanto vandenyną ir Baltijos jūrą skiria Skandinavijos pusiasalis. Šis taip pat daro įtaką regiono klimatui ir pirmiausia yra kaip orografinė kliūtis iš Atlanto keliaujančioms oro masėms. Dėl pusiasalyje esančio kalnyno formuojasi Skandinavijos anticiklonai bei Pietų Skandinavijos orografiniai ciklonai (Bukantis, 1994).

Regiono orams įtakos turintys slėgio centrai yra Islandijos minimumas, Azorų maksimumas ir Sibiro maksimumas. Islandijos žemo slėgio sritis labiausiai veikia Šiaurės ir Šiaurės vakarų Europos orus. Azorų anticiklonas labiau veikia vidurio ir pietų Europą, o rytiniai ir šiaurinei dalei įtaką daro tik veikdamas kartu su Islandijos depresija per Šiaurės Atlanto osciliaciją (NAO). Teigiamos NAO reikšmės rodo vakarinių srautų sustiprėjimą vidutinėse platumose. Tokiai cirkuliacijai būdinga gili Islandijos depresija ir gerai išvystytas Azorų gūbrys piečiau jos. Neigiamo indekso atveju anomalijų ženklai priešingi. Žiemos periodu NAO ypač gerai koreliuoja su temperatūra, o vasaros periodu ryšys yra silpnesnis. Virš Rusijos vasarą susidaranti žemo, o žiemą aukšto slėgio sritys įtaką daro visam BJ regiono klimatui. Nuo ciklonų ir anticiklonų dažnumo ir su jais atkeliaujančios drėgmės bei šiltų ir šaltų oro masių priklauso regiono meteorologinių rodiklių vertės. Žiemą vyrauja pietvakarių pernaša, ypač ji intensyvi sausio vasario mėnesiais, kai gerai išvystęs anticiklonas virš Rusijos ir Azorų formuoja stiprų gradientą. Ši pernaša silpnėja nuo kovo mėnesio, kai Azorų anticiklonas atsitraukia į vidurio Europą. Tuomet vėjo kryptis keičiasi į vakarų šiauriniuose rajonuose ir šiaurės - vakarų pietiniuose regionuose. Vasarą vyrauja šiaurės - vakarų, vakarų pernaša

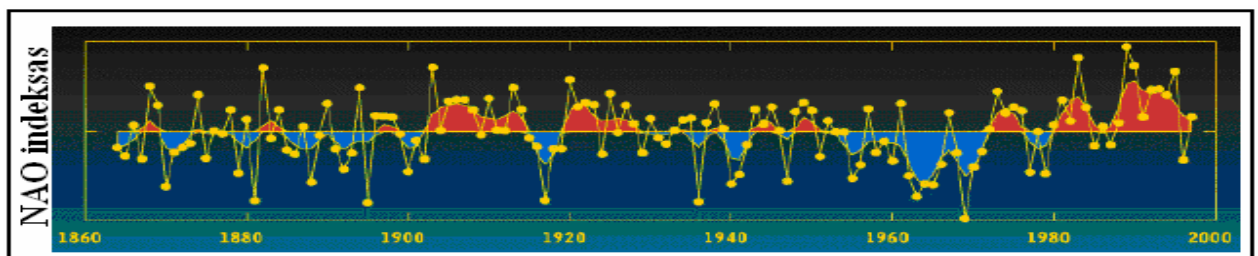


Vandenu ir žemynų pasiskirstymas bei atmosferoje vykstantys cirkuliaciniai procesai formuoja savitą šio regiono klimatą. Nustatyta, kad temperatūros svyravimams apie 70 % įtakos turi cirkuliaciniai procesai (Helcom., 2006). Baltijos jūros regiono klimato klasifikacija pagal V. Köppen'ą pateikta 3.1 paveikslėlyje. Regiono vidurinėje ir šiaurinėje dalyje vyrauja drėgnos, ilgos žiemos su vidutine šalčiausio mėnesio

temperatūra ne aukštesne nei $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, o šilčiausio ne žemesnė nei $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pietinėse, pietvakarinėse bei priekrantės teritorijose vyrauja švelnios žiemos su šalčiausio mėnesio vidutine oro temperatūra aukštesnė už 3°C .

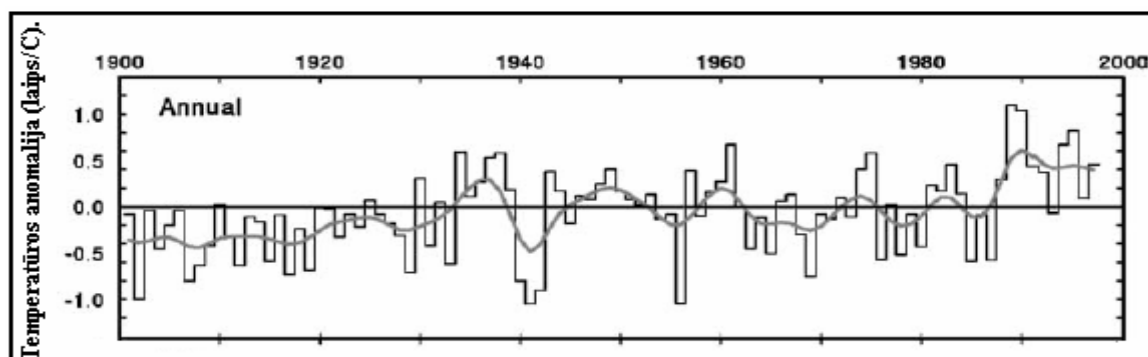
3.1 pav. BJR klimato klasifikacija pagal Köppen'ą (Maracchi et al., 2005). (1. – vėsus jūrinis; 2. – vėsus litoralinis; 3. – sausas kontinentinis; 4 – borealinis kontinentinis; 5 – poliarinis; 6. – vid. subpoliarinis; 7. – jūrinis subpoliarinis).

BJ regione priklausomai nuo to ar teritorija labiau veikiama jūrinio ar kontinentinio klimato, metinės temperatūros skirtumai gali būti daugiau nei $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Šalčiausi regionai yra Šiaurės Suomijos bei Skandinavijos kalnų, kur vidutinė metinė temperatūra apie $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pietinėse BJ regiono srityse (Šiaurės Vokietija ir Lenkija, Danija) vidutinė metinė oro temperatūra daugiau už $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, tačiau vasaros būna vėsesnės bent $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, nei kontinentinėje regiono dalyje. Minėtą temperatūros pasiskirstymą gali įtakoti NAO svyravimai (žr. 3.2 pav.). Pavyzdžiui, teigiama NAO žiemos vidutinę temperatūrą Skandinavijoje gali pakelti $2 - 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, Šiaurės Europoje $0,5 - 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, Rytų Europoje $1 - 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lietuvoje oro temperatūra 1990 – 1995 m. žiemomis teigiamos fazės metu buvo $2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ aukštesnė už normą. Kritulių BJ regione, išskyrus pietinę dalį, iškrinta daugiau. Neigiamos fazės metu vyksta atvirkštiniai procesai.



3.2 pav. NAO indekso kaita 1860 – 2000 metais (pagal Helcom., 2006).

Baltijos jūros regiono neaplenkia ir globalinio atšilimo pasekmės. Pavyzdžiui, metinės oro temperatūros tendencijos regione didėjo per 1861 – 2000 metus $0,08\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dešimtmečiui}$ (Helcom..., 2006). Europoje oro temperatūra per XX a. pakilo apie $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, o didesnis atšilimas pasireiškė nuo XX a. vidurio (žr. 3.3 pav.), (Maracchi, et al., 2005). Baltijos jūros regione XX a. pabaigoje: vakarinėje regiono dalyje (Švedija) apie 1980 m., pietinėje (Danijoje) ir rytinėje (Estijoje) apie 1990 m. Apskritai regione nuo 1861 m. iki 1930 metų buvo šiltesnis periodas paskiau iki 1960 m. sekė šaltesnis ir vėliau temperatūra vis kilo. Pirmasis pašiltėjimas buvo ryškesnis šiaurinėse regiono dalyse nei pietinėse ir ypač žiemos sezonu. Tuo tarpu paskutinis vis dar besitęsiantis pašiltėjimas ryškesnis pietinėse ir rytinėse dalyse (nuo pietinių – pietvakarinių sričių iki Estijos).



3.3 pav. Metinės oro temperatūros nuokrypiai Europoje 1900 – 2004 m., lyginant su 1961 – 1990 m. vidurkiu (pagal Maracchi, et al., 2005).

Žymiai įvairesnis regione kritulių žemėlapis. Pastarąjį rodiklį daug sunkiau įvertinti, kadangi didelę įtaką jo pasiskirstymui turi mezoklimatiniai faktoriai. Vidutiniškai regione iškrenta apie 750 mm per metus. Daugiausia kritulių tenka Skandinavijos kalnuotoms sritims. Metuose daugiausia kritulių tenka šiltajam periodui ypač rugpjūtį ir liepą apie 80 mm daugiau už vidurkį, vasario – balandžio mėnesiais mažiausiai apie 45 mm mažiau vidurkio.

BJR vidutinis metinis debesuotumas svyruoja nuo 6,4 iki 7 balų ir yra mažesnis vakarinėse regiono srityse (Švedija, Danija). Regione didžiausias debesuotumas būdingas žiemos sezonui apie – 8 balai, o mažiausias vasaros laikotarpiu – 5 – 6 balai (Terzieva, Rožkova, Smirnovi, 1992). Panašus debesuotumo ciklas yra vakariniuose ir šiauriniuose regionuose. Vasaros periodu virš sausumos vyrauja dažni konveciniai debesys. Debesuotumo sekų svyravimuose gautas teigiamas trendas Šiaurės Europoje, tačiau žiemos debesuotumas mažėja nuo 1930 metų.

4. Baltijos jūros regiono kritulių kiekio kaita 1950 – 2004 metais

Krituliai vienas iš svarbiausių meteorologinių elementų, formuojančių upių ir ežerų hidrologinį režimą, potvynių dydį, drėgmės atsargas dirvožemyje bei dirvodarinius procesus, lemia sausrų dydį bei pasikartojimą ir stipriai susijęs su žmogaus ekonomine gerove. Be savo svarbos aukščiau išvardintiems procesams, šis rodiklis pasižymi ir tuo, kad yra vienas iš labiausiai svyruojančių klimato elementų ir priklausomai nuo makromasto ir mezomasto atmosferos cirkuliacijos ypatumų palyginus su daugiamečiu vidurkiu gali būti didesnis arba mažesnis 1.5-2 kartus. Taip pat labai stipriai svyruoja mėnesių kritulių sumos: per kelias savaites gali iškristi vos keli milimetrai arba priešingai – 2-3 kartus daugiau už daugiametį vidurkį (Bukantis, 1994). Dėl savo svarbos, ypač žemės ūkiui, šio rodiklio kaita yra plačiai analizuojama mokslininkų (žr. Literatūros apžvalga). Kritulių kiekio analizė leidžia įvertinti praeities ir dabarties agroklimate vietovės sąlygas ir jų kaitą bei prognozuoti ateities klimata.

4.1 Metinio kritulių kiekio kaitos analizė

Nors Baltijos jūros regionas (BJR) yra stipriai veikiamas vakarinės oro masių pernašos, o Atlanto vandenynas ir Baltijos jūra formuoja panašų, būdingą tik prie didelių vandens akvatorių esančioms teritorijoms, klimata, tačiau skirtingos teritorijos, aplink Baltijos jūrą, turi savitą meteorologinių elementų kompleksą (pvz. krituliai). Kritulių lauko pasiskirstymas erdvėje priklauso ne tik nuo mezo ar makrocirkuliacinių procesų, bet ir nuo vietinių sąlygų kaip antai reljefo, nuotolio nuo jūros, stambių vandens telkinių, šlaitų padėties vyraujančių oro masių atžvilgiu (Bukantis, 1994). Šis fizinių geografinių sąlygų kompleksas lemia kritulių kiekio pasiskirstymą visame BJR.

Per metus vidutiniškai visame BJR iškrenta 679 mm kritulių. Šis kiekis BJR svyruoja nuo 429 iki 937 mm kritulių (žr. 4.1 lentelę). Vidutiniškai daugiausia kritulių gauna pietinė – pietrytinė (11 – 13 sektoriai (sekt.)) ir šiaurės rytinė bei vakarinė dalys (3, 7 sekt.). Minėtose teritorijose maksimalus kritulių kiekis vidutinį daugiametį BJR vidurkį, atskirais metais, gali viršyti daugiau kaip 50 %. Šios sritys yra kiek labiau nutolusios į žemyną, todėl didesnį kritulių kiekį (virš 760 mm) galėjo lemti, skirtingos nei kitose regiono dalyse, vietinės sąlygos. Žinia, kad virš didelių vandens telkinių dėl mažesnės oro masių trinties kritulių kiekis gali būti mažesnis iki 10 %, nei aplinkinėse teritorijose (Bukantis, 1994). Iš 4.1 lentelės matome, kad metinių sumų svyravimų amplitudė kito nuo 263 iki 772 mm. Didžiausi metinių kritulių svyravimai užfiksuoti tose pačiuose srityse: pietinė – pietrytinė ir šiaurės rytinė bei vakarinė dalys. Šiose dalyse amplitudė beveik siekia vidutines metines reikšmes, todėl šios

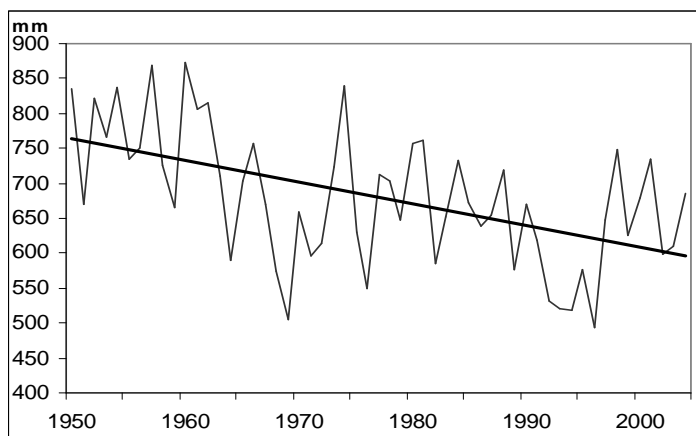
BJR dalys, atskirais metais, pasižymi itin nepalankiomis sąlygomis žemės ūkiui. Reikia pažymėti, kad tokie dideli svyravimai yra būdingi krituliams ir pasitaiko gana dažnai. Dideli skirtumai pasitaiko ir tarp gretimų metų, kai kritulių sumų tarpmetiniai skirtumai gali siekti 200 mm ir daugiau formuodami skirtingas klimatinės sąlygas.

4.1 lentelė. Kritulių kiekio statistiniai rodikliai.

Sektoriai	$K_{vid.}$ mm	$K_{Maks.}$ mm	$K_{Min.}$ mm	Amplitudė, mm
1	636	907	418	490
2	646	940	405	536
3	801	1185	510	675
4	707	1003	504	499
5	429	557	294	263
6	562	812	372	440
7	886	1205	619	585
8	533	701	373	328
9	486	681	348	333
10	655	863	466	397
11	788	1021	519	503
12	766	1020	367	652
13	937	1263	491	772

$K_{vid.}$ mm – vidutinis kritulių kiekis. $K_{Maks.}$ mm; $K_{Min.}$ mm – maksimalus ir minimalus kritulių kiekis.

Bendras, viso Baltijos jūros regiono, vidutinis kritulių kiekis per tiriamą laikotarpį sumažėjo 8 %, tiesinis trendas siekia 99 % statistinio patikimumo lygį (žr.4.1 pav.).

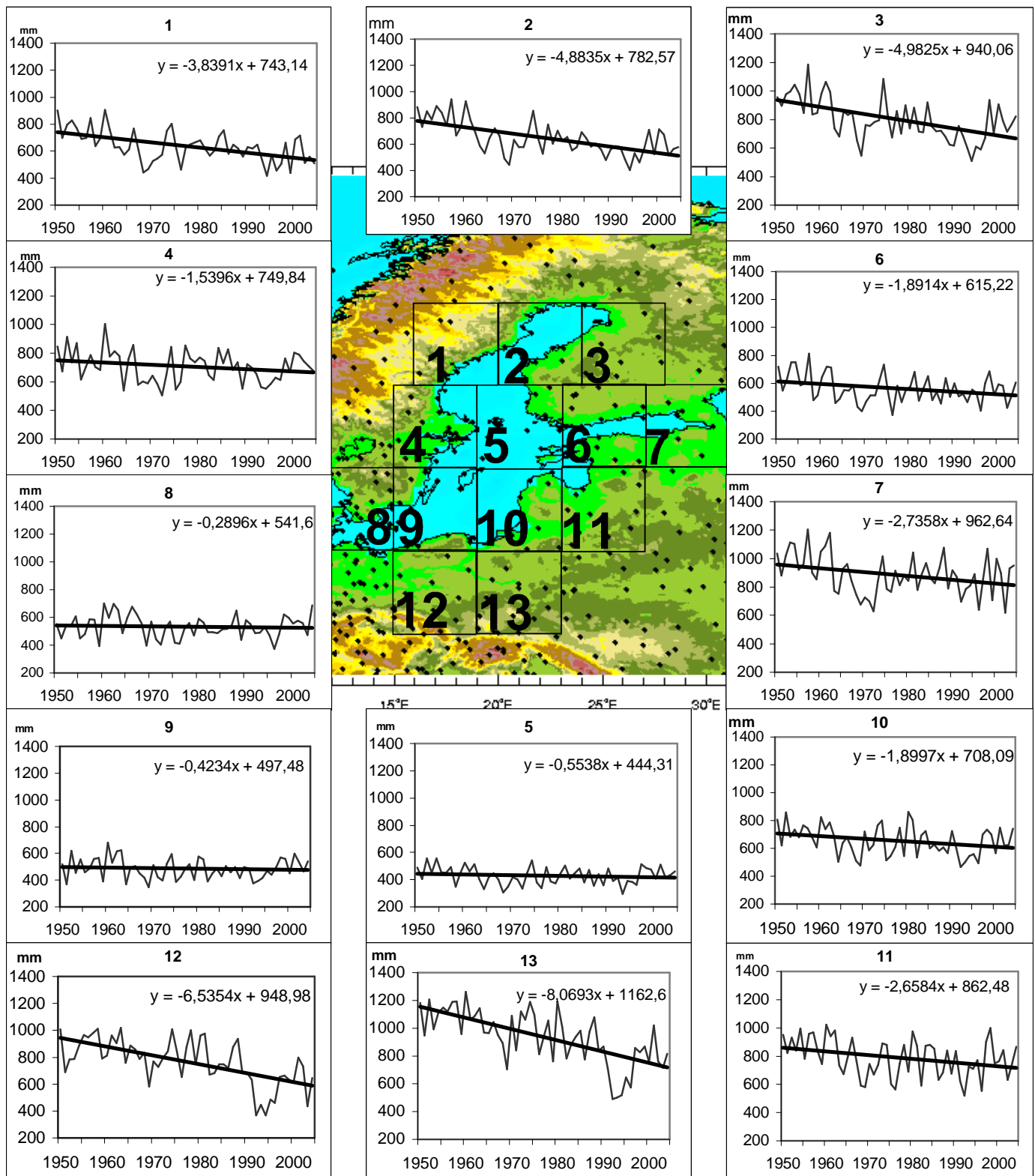


4.1 pav. Baltijos jūros regiono kritulių kiekio kaita (mm) bei tiesinis trendas 1950 – 2004 metus.

Visame regione galima išskirti du sausesnius laikotarpius: 1967 – 1972 metų (pirmasis) ir 1992 – 1997 metų (antrasis), kuomet Europoje buvo vienos sausiausių vasarų per visą stebėjimų laikotarpį. Sausesnių laikotarpių metu kritulių kiekis neviršydavo daugiamečių kritulių normos (679 mm). Per pirmąjį, sąlyginai sausesnį periodą, vidutiniškai iškrisdavo 600 mm, o per antrąjį – 550 mm kritulių. Du drėgnieji laikotarpiai pasitaikė 1950 – 1966 metais ir

1973 – 1991 metais (žr. 4.1 pav.). Čia reikia pažymėti, kad tiriamo periodo pradžia gali būti pabaiga šlapymečio, kuri pagal Lietuvos kritulių duomenis išskyrė B. Kavaliauskas ir kuris tęsėsi nuo 1945 iki 1967 metų (Kavaliauskas, 1995).

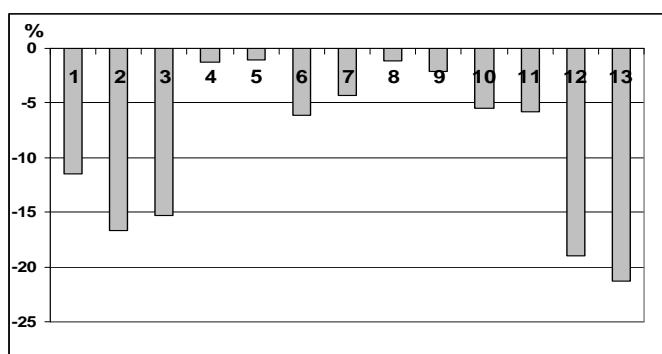
Siekiant objektyviau įvertinti kritulių kaitos tendencijas buvo analizuojami atskiri BJR sektoriai (1 – 13 sekt.). Nors pastaruosiuose atsispindi bendros viso BJR kritulių kaitos tendencijos, tačiau atskiruose sektoriuose ši kaita išreikšta skirtingai. Pavyzdžiui, minėtas pirmasis santykinai drėgnas periodai, kuomet vidutinės metinių kritulių sumos viršijo vidutines, buvo nuo 1950 iki septinto dešimtmečio pradžios ir atskiruose sektoriuose tęsėsi iki 1961-62-66 m. arba antrasis sausesnis periodas truko nuo 1992 iki 1996 – 98 metų. Sausesni periodai trukdavo trumpiau nei drėgnesni. Vienose regiono srityse šie laikotarpiai buvo labiau išreikšti, o kituose silpniau (6 ir 7 – tame antrasis periodas, 8, 9, 11 – tame antrasis, 12 ir 13 – tame pirmas periodai), tačiau vidutinės kritulių sumos buvo mažesnės arba didesnės už 1950 – 2004 m. laikotarpio klimatinį vidurkį (normą). Reikia atkreipti dėmesį, kad kai kuriose srityse tarp žemesnių ar aukštesnių reikšmių įsiterpdavo joms priešingos reikšmės t.y. po kelių metų trukusio sausesnio laikotarpio vieni ar keleri metai pasitaikydavo su gerokai aukštesne reikšme ir nutraukdavo sausesnį periodą, tačiau jau sekančiais (po kelių) metais vėl pasitaikydavo žemos kritulių sumų reikšmės. Toks aukšto dažnio kritulių sumų tarpmetinis svyravimas netrukdo išvelgti pagrindines BJR sričių kritulių kiekio svyravimo tendencijas. Analizuojant, atskirus sektorius, buvo pastebėta, kad laikotarpio pradžioje didžiausi metinių kritulių kiekiai iškrisdavo Šiaurinėje ir Pietinėje BJR dalyse ir dažniausiai svyrudavo atitinkamai apie 700 – 800 mm ir 800 – 900 mm. Tuo tarpu likusiose BJR dalyse dažniausiai 200 – 300 mm mažiau. Situacija pasikeitė analizuojamo laikotarpio pabaigoje, kuomet nuolat mažėjant kritulių kiekiui, kritulių sumos regione pasidarė panašesnės t.y. visame BJR iškrenta panašūs vidutiniai kritulių kiekiai ir ne taip ryškiai skiriasi vidutinės kritulių reikšmės tarp BJR sričių. (žr. 4.2 pav.). Šį kritulių kiekio supanašėjimą galėjo lemti skirtingi atmosferos cirkuliaciniai procesai vyravę analizuojamo laikotarpio pradžioje ir pabaigoje ir to pasėkoje formavę atitinkamai skirtingas ar vienodesnes klimatinės sąlygas regione.



4.2 pav. Metinio kritulių kiekio (mm) kaita per 1950 – 2004 metų laikotarpį Baltijos jūros regione.

Metinių kritulių kiekio kaitos tendų analizė parodė, kad per 1950 – 2004 metų periodą kritulių kiekis visuose Baltijos regiono sektoriuose sumažėjo, tačiau kritulių kiekiai atskirose tiriamo regiono dalyse mažėjo skirtingai (žr. 4.3 pav.). Didžiausias tendų kritimas pasitaikė tose srityse, kur metiniai kritulių kiekiai analizuojamo laikotarpio pradžioje buvo didžiausi (žr. 4.2 pav.) Kaip matome iš 4.3 pav. labiausiai kritulių kiekis sumažėjo šiaurinėje ir pietinėje Baltijos jūros dalyje. Iš 4.2 pav. matome, kad šiose srityse (1 – 3, 12, 13 sk.) buvo ryškus kritulių kiekio sumažėjimas dešimto dešimtmečio pradžioje, kuomet itin sausringos vasaros pasitaikė tiek Lietuvoje, tiek kaimyninėse valstybėse, kas taip pat įtakoją ir tendro reikšmę. Beje piečiau Baltijos esančių sričių, ypač centrinės Europos ir sričių einančių link Viduržemio jūros regiono, kritulių kiekio mažėjimo tendencijos pažymimos daugelio autorių darbuose (Tank, Konnen, 2003; Heino, et al., 1999; Boguck, 1998).

Visą BJR pagal kritulių kiekio kaitos tendą galima suskirstyti į tris dalis: 1. Baltijos jūros regiono vakarinės ir jūrinės dalys – 4, 5, 8, 9 sektoriai. Rytinė (jūrinė ir kontinentinė dalys) – 6, 7, 10, 11 sektoriai. 3. Šiaurinė ir pietinė dalys – 1 – 3; 12 – 13 sektoriai (žr. 4.3 pav.). Pirmojoje kritulių kiekis sumažėjo nežymiai (iki 2 %) ir neturėjo stipriai pakeisti agro-klimatines sąlygas. Antrojoje sumažėjimas buvo iki 6 %, tai vidutiniškai per tiriamą laikotarpį sudarė 40 mm. Ryškius (net virš 20 %) šiaurinių ir pietinių sričių kritulių kiekio neigiamus pokyčius galėjo lemti atmosferoje vykstantys cirkuliaciniai procesai. Pavyzdžiui, tuo laiku kai prasidėjo sąlyginai sausesnis periodas BJR (1965 – 1975 m.), pagal Heso ir Brezovskio išskirtas cirkuliacines formas virš Europos, tiek sezoniniame (vasaros, žiemos), tiek metiniame cirkuliacijos kreivių svyravimuose meridianinė cirkuliacijos forma buvo vyraujanti ir sudarė apie 45 % visų atvejų. Mišriai ir zoniniai cirkuliacijos formoms teko maždaug po 25 – 30 % visų atvejų (Hesas, Brezovskis, 1993). Zoninės cirkuliacijos forma virš Europos rodo jūrinių masių vyravimą, kas sąlygoje drėgnus ir vėsesnius orus. Vyraujant meridianiniai cirkuliacijai dažniau formuojasi blokuojantys gūbriai dėl kurių vasaros (žiemos) metu susidaro palankios sąlygos radiaciniam žemės paviršiaus ir oro išilimui (atšalimui), vyrauja sausesni orai.



4.3 pav. BJR (1 – 13 sektoriai) metinio kritulių kiekio Pasikeitimas (%) per 1950 – 2004 m.

4.2 Metinio kritulių kiekio erdvinė koreliacija

Drėgmės prisotintos Atlanto vandenyno oro masės dažniausiai formuoja kritulių lauką virš viso BJ regiono, o ciklonai ir anticiklonai apima didelius teritorijos plotus, tad drėkinimo sąlygos regione turėtų būti panašios. Tačiau aukščiau nagrinėtas kritulių kiekio pasiskirstymas teritorijoje išryškino tam tikrus skirtumus visame BJ regione. Tie skirtumai atsiranda tiek dėl ciklonų ir anticiklonų bei jų barinių darinių išsidėstymo analizuojamos vietovės atžvilgiu, tiek dėl vietinių sąlygų komplekso. Siekiant įvertinti kritulių kiekio erdvinio pasiskirstymo ryšį teritorijoje buvo atlikta metinio kritulių kiekio teritorinė koreliacija.

Suskaičiavus koreliacijos koeficientus (žr. 4.2 lentelė) išryškėjo, kad kritulių kiekio pasiskirstymo teritorinis ryšys gana didelis. Ryšio reikšmės kinta nuo 0,32 iki 0,93 ir priklauso nuo atstumo. Logiška, kad didžiausiu ryšiu pasižymi viena šalia kito esančios teritorijos (mūsų atveju sektoriai). Čia vieno šalia kito arba mažiau nei per vieną sektorių nutolusių teritorijų ryšys dažniausiai yra daugiau už 0,7. Statistiškai patikimos reikšmės yra tarp pietvakarinės ir šiaurinės bei vidurio Baltijos jūros. Tai rodo, kad BJ regionas veikiamas panašių cirkuliacinių procesų, vyrauja pietvakarių krypties pernaša. Galima manyti, kad kritulių lauka formuoja ciklonai su frontinėmis sistemomis, kurios priklausomai nuo vietinių sąlygų, krituliais maitina didžiąją dalį BJ regiono. Remiantis prieš tai atlikta kritulių kiekio analize ir atsižvelgiant į erdvinę kritulių kiekio koreliaciją regione galima manyti, kad humidiškumo tendencijos regione yra panašios (kritulių kiekis mažėja), o mažėjimo tendencija priklauso nuo cirkuliacijos ir fizinių geografinių sąlygų.

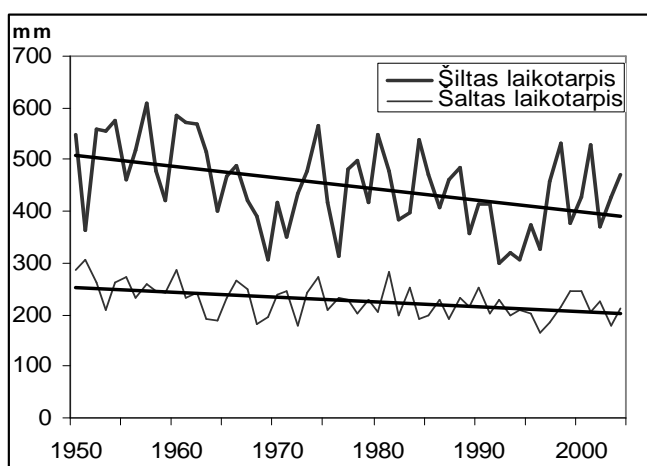
4.2 lentelė. Metinių kritulių kiekio erdvinės koreliacijos koeficientai Baltijos jūros regione. Statistiškai priimtinas koreliacinis ryšys siekia arba viršija 98 % statistinį patikimumo lygį (0,32).

Sektoriai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1		0,89	0,77	0,69	0,54	0,68	0,68	0,32	0,42	0,58	0,66	0,54	0,64
2	0,89		0,93	0,68	0,65	0,74	0,72	0,32	0,48	0,63	0,67	0,59	0,69
3	0,77	0,93		0,62	0,61	0,78	0,74	0,36	0,47	0,59	0,62	0,58	0,63
4	0,69	0,68	0,62		0,71	0,54	0,64	0,6	0,73	0,64	0,6	0,44	0,46
5	0,54	0,65	0,61	0,71		0,76	0,64	0,46	0,7	0,77	0,68	0,32	0,44
6	0,68	0,74	0,78	0,54	0,76		0,85	0,45	0,49	0,65	0,75	0,4	0,46
7	0,68	0,72	0,74	0,64	0,64	0,85		0,54	0,52	0,59	0,76	0,43	0,46
8	0,32	0,32	0,36	0,6	0,46	0,45	0,54		0,75	0,56	0,57	0,40	0,39
9	0,42	0,48	0,47	0,73	0,7	0,49	0,52	0,75		0,83	0,67	0,49	0,56
10	0,58	0,63	0,59	0,64	0,77	0,65	0,59	0,56	0,83		0,86	0,59	0,71
11	0,66	0,67	0,62	0,6	0,68	0,75	0,76	0,57	0,51	0,67		0,51	0,64
12	0,54	0,59	0,58	0,44	0,32	0,4	0,43	0,4	0,49	0,59	0,51		0,89
13	0,64	0,69	0,63	0,46	0,44	0,46	0,46	0,39	0,56	0,71	0,64	0,89	

4.3 Šiltojo ir šaltojo periodo kritulių kiekio kaitos analizė

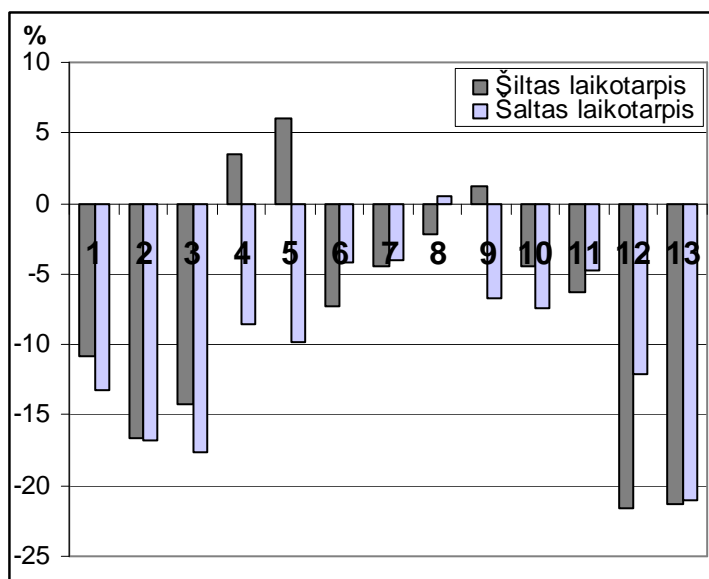
Analizuojant vidutinių platumų kritulių kiekio metinę kaitą svarbus rodiklis yra šiltojo (balandžio – spalio) ir šaltojo (lapkričio – kovo) periodų kritulių kiekiai, nes šiltojo ir šaltojo periodų kritulių kiekio kaitos svyravimai atspindi sezonų klimatinių sąlygų kaitą. Šiame skyriuje ir bus aptarti šiltojo ir šaltojo sezonų kritulių kaitos dėsningumai BJR.

Vidutinėse platumose didžioji metinio kritulių kiekio dalis iškrenta šiltuoju metų laiku. Pavyzdžiui Lietuvoje sudaro 64 – 72 % metinio kritulių kiekio iškrenta šiltuoju sezonu (Bukantis, 1994). Šiltuoju laikotarpiu vyrauja ištisiniai, ne tokie intensyvūs krituliai, kur per parą gali iškristi iki 3 mm kritulių (Misiūnienė, 1998). Šiltuoju laikotarpiu formuojasi tiek vidutinio intensyvumo ištisiniai krituliai (per parą gali iškristi 2 – 3 kartus daugiau, nei šaltuoju periodu), tiek dėl intensyvios konvekcijos liūtiniai (daugiau kaip 0,05 mm/min.)(Misiūnienė, 1998) apimantys nedideles teritorijas, bet dažniausiai intensyvūs krituliai. Iš 4.4 pav. matome, kad BJR, kaip aukščiau buvo minėta, sezoninis kritulių kiekio pasiskirstymas būdingas vidutinėms platumoms t.y. apie 65 % kritulių iškrenta šiltuoju periodu. Visame regione tiek šiltojo, tiek šaltojo laikotarpių kritulių kiekis sumažėjo po 10 %, o trendas atitinkamai siekia 95 % ir 99 % garantijos lygmenį. Šilto laikotarpio svyravimai atkartoja metinių kritulių kiekio svyravimus, o kritulių sumos, skirtingai nuo šalto, pasižymi didesne tarpmetine kritulių kiekio kaita. Taip pat šilto kritulių kiekio svyravimų kreivėje aiškiai atsispindi XX a. pabaigoje buvusios karštos ir sausos vasaros. Galima teigti, kad šilto periodo kritulių kiekio kaita, metinių kritulių sumoje, vaidina didesnę vaidmenį formuojant klimatinės sąlygas BJR.



4.4 pav. Baltijos jūros regiono šiltojo ir šaltojo laikotarpių kritulių kiekio kaita bei tiesinis trendas 1950 – 2004 m..

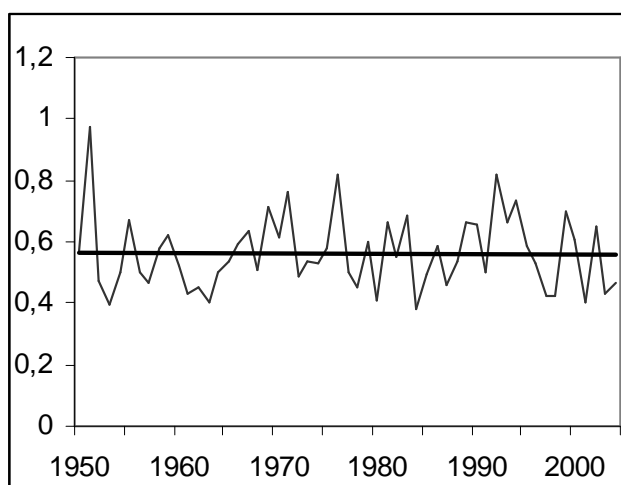
Analizuojant šiltojo ir šaltojo periodo kritulių kiekio kaitos teritorinius ypatumus galima pastebėti, kad pagal kritulių kiekio pokyčio dydį šiaurinės ir pietinės (1 – 3, 12, 13 sekt.) sritys skiriasi nuo vakarinių bei rytinių (pietrytinių) sričių. Šiaurinėse ir pietinėse srityse tiek šaltuoju, tiek šiltuoju laikotarpiu kritulių kiekis sumažėjo dešimt ir daugiau procentų (žr. 4.5 pav.). Pastarasis šiltojo ir šaltojo periodo kritulių kiekio sumažėjimas (kai kur atitinkamai iki 130 ir 55 mm) turėjo pakeisti pietinių ir šiaurinių Baltijos jūros teritorijų klimatinės sąlygas. Vakarinėje ir rytinėje (4 – 11 sekt.) Baltijos jūros dalyse šie pokyčiai taip pat daugiausia neigiami, tačiau sumažėjimas tris ir daugiau kartų mažesnis. Taip pat galima pastebėti, kad srityse, kur dalį ploto užima jūra (4, 5, 9 sk.) šilto laikotarpio kritulių netgi padidėjo nuo 1 iki 6 %. Galima teigti, kad šilto bei šalto laikotarpio kritulių kiekio kaitoje didžiausiais pokyčiais išsiskiria labiau į žemyninę dalį nutolusios BJR sritys. Skirtingi sezoniniai kritulių pokyčiai pirmiausia gali būti susiję su atmosferos cirkuliacijos kaita. Ciklonai ir anticiklonai bei jų darinių dažnumas yra pagrindinis veiksnys lemiantis kritulių kiekį, todėl neigiami kritulių kiekio trendai gali būti nulemti sezoninės barinių darinių kaitos t.y. ciklonų aktyvumo mažėjimu ir anticiklonų aktyvumo didėjimu.



4.5 pav. Šiltojo ir šaltojo laikotarpio kritulių kiekio pokytis (%) per 1950-2004 metų laikotarpį.

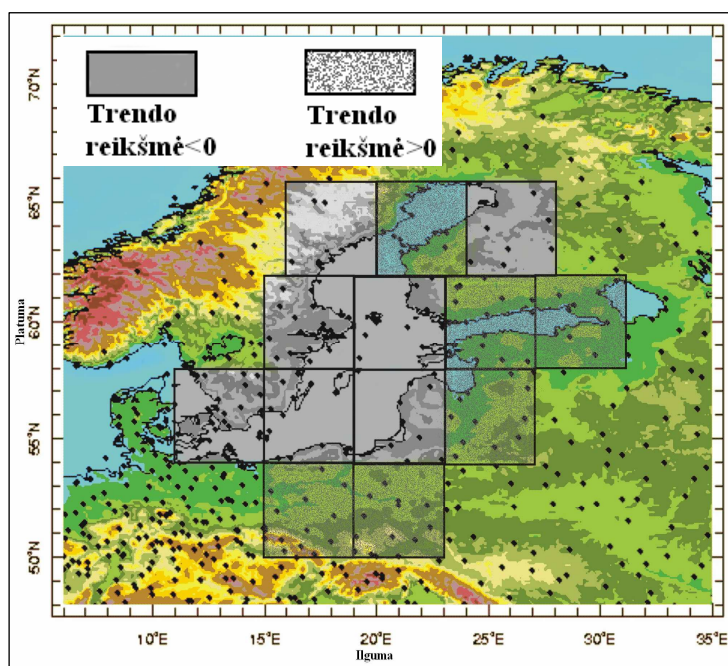
4.4 Šaltojo ir šiltojo periodo kritulių kiekio santykio kaita

Nors buvo minėta, kad vidutinėse platumose pagrindinis kritulių kiekis iškrinta šiltuoju metų laiku ir vidutiniškai tik apie 35 % bendro kiekio šaltuoju, tačiau vertinant vietovės hidrotermines sąlygas svarbu įvertinti šiltojo (IV – VIII mėn.) ir šaltojo (XI – III mėn.) kritulių kiekio santykio kaitą. Iš 4.6 paveikslėlio matome, kad bendras BJR šaltojo ir šiltojo kritulių kiekio santykio kaitos trendas yra neutralus t.y. regione per visą tiriamą laikotarpį sezonų (šaltojo, šiltojo) humidiškumo sąlygos nepakito. Santykio svyravimo kreivė neviršijo vieneto, kas rodo, kad regione per tiriamą laikotarpį visuomet daugiau kritulių iškrisdavo šiltuoju periodu, nei šaltuoju. Kreivėje atsispindi aštuntame ir dešimtame dešimtmetyje buvę sausringi laikotarpiai (aptarti 1 sk.), kuomet šaltuoju laikotarpiu iškrisdavo tik apie 20 % mažiau kritulių nei šiltuoju.



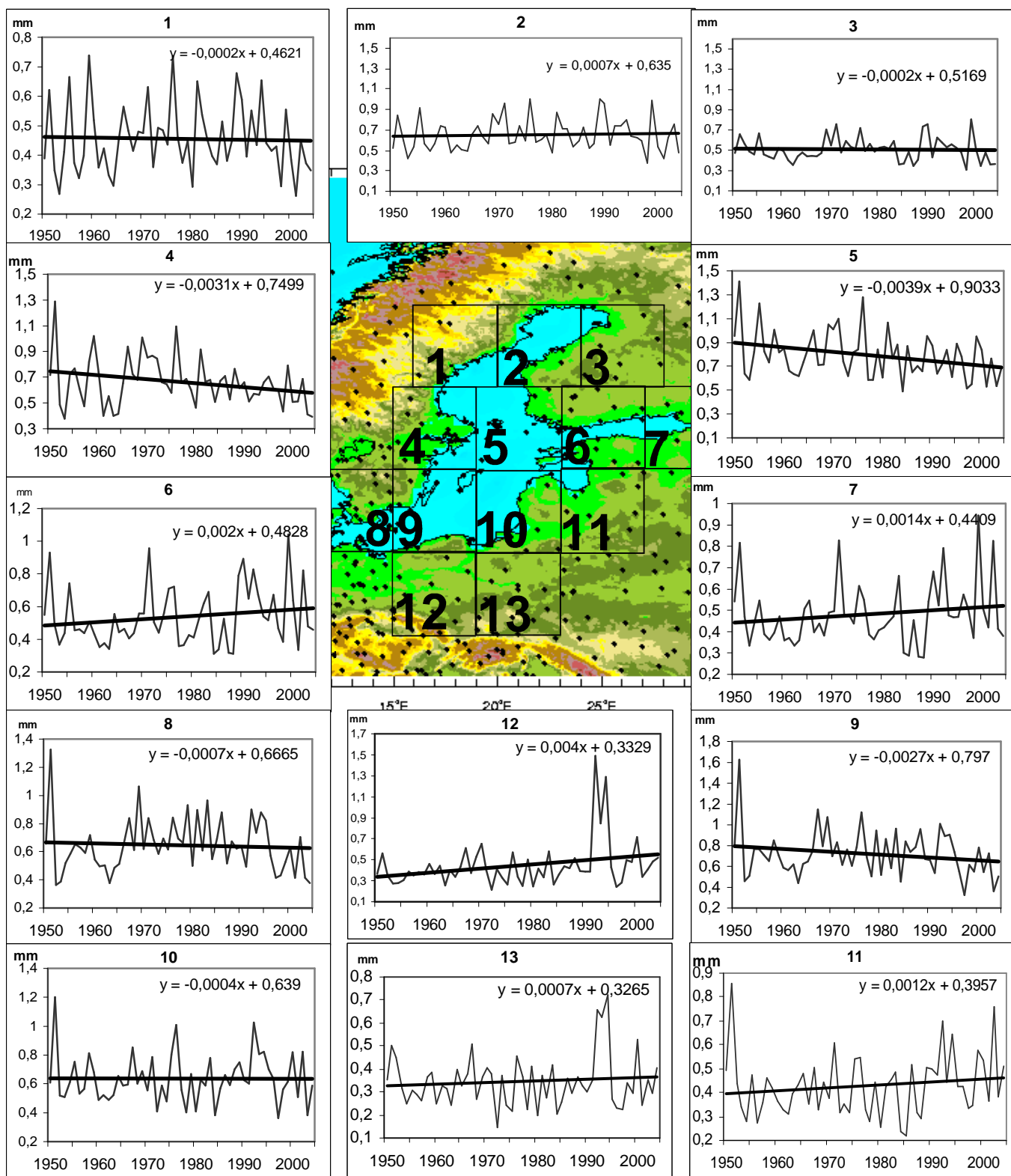
4.6 pav. Viso BJR šaltojo ir šiltojo laikotarpio kritulių kiekio santykio kaita per 1950 – 2004 m.

Atlikus BJR atskirų sektorių santykio kaitos pasiskirstymo analizę buvo pastebėta, kad visą BJ regioną galima suskirstyti į dvi sritis: pirmoji - rytinė ir pietinė, kur trendas teigiamas; antroji - vakarinė, kur neigiamas (žr. 4.7 pav.). Remiantis trendų reikšmėmis galima būtų teigti, kad pirmojoje srityje pastebima bendra šaltojo, o antroje šiltojo periodų kritulių kiekio didėjimo tendencijos. Pirmoje srityje per tiriamą laikotarpį šaltojo laikotarpio kritulių kiekis padidėjo 0,01 – 0,13 vieneto dalių, o antroje srityje šilto laikotarpio padidėjo 0,004 – 0,10 vieneto dalių. Šio santykio pasikeitimai ir vienoje, ir kitoje regiono dalyse leidžia manyti, kad regione, atskiruose sektoriuose, vyksta šiltojo ir šaltojo kritulių kiekio santykio pokyčiai, kurie palapsniui gali formuoti skirtingas vasaros ir žiemos hidrotermines sąlygas.



4.7 pav. Šaltojo ir šiltojo laikotarpio kritulių santykio kaitos pasiskirstymas per 1950-2004 metus regione.

Labiausiai šis santykis pasikeitė pietinėje (12 sekt.) ir vakarinėje (4 sekt.) žemyninėse, bei pietinėje (9 sekt.) vidurio (5 sekt.) Baltijos jūros dalyse. Pietinėje žemyninėje dalyje (12 sekt.) bendroje metinėje kritulių sumoje sumažėjo šiltojo periodo kritulių kiekis 0,10 vieneto dalimi, kas rodo sausringumo didėjimą. Žymūs pokyčiai rodo, kad šiltuoju periodu išsivyrėja sausesnio klimato tendencijos, antra vertus dideli santykio pokyčiai (iki 20 %) atsirado dėl padažnėjusių sausrų paskutiniais metais. Ypač sausringi laikotarpiai kreivėse atsispindi pietinėse ir pietrytinėse srityse (12 – 13 sekt.), kur mažiau jaučiama Baltijos jūros įtaka ir labiau išryškėja anomalios klimatinių rodiklių reikšmės. Pastarosiose kreivėse iki praeito amžiaus paskutinio dešimtmečio žymius santykio pokyčius išskirti sunku, tuo tarpu paskutiniai penkiolika stebėjimo metų pasižymi ekstremaliais kritulių kiekio (ir kitų rodiklių) pokyčiais, kas iškreipia viso trendo reikšmę (žr. 4.8). Pavyzdžiui, 12 sektoriuje, 1992 ir 1994 metais šalto periodo krituliams metinėje sumoje teko iki 70 %. Likusiose, pagal labiausiai pasikeitusį santykį, dalyse, trendai buvo teigiami, didėjo šilto laikotarpio kritulių kiekis 0,10 – 0,13 vieneto dalių. Likusioje Baltijos jūros dalyje santykio kaita buvo nežymi iki 0,02 dalių tai į vieną, tai į kitą pusę.



4.8 pav. Šaltojo (XI – III mėn.) ir šiltojo (IV – VIII mėn.) periodų kritulių kiekio santykio kaita per 1950 – 2004 metus Baltijos jūros regione.

Žinoma reikia pažymėti, kad metinių kritulių sumoje tiek šilto, tiek šalto periodo krituliai ir jų sumažėjimas gali skirtingai, priklausomai nuo kitų meteorologinių elementų reikšmių komplekso, veikti hidrotermines vietovės sąlygas. Prie pat jūros esančiuose rajonuose šalto kritulių kiekio sumažėjimas nėra toks svarbus, kaip toliau i žemyno gilumą nutolusiose srityse. Kaip žinia Baltijos regionas žiemos metu yra stipriai veikiamas Baltijos jūros, todėl sniego dangos susidarymas ir jos storis nevienodai reikšmingas BJR teritorijoms. Taigi, net ir nežymus (0,02 vieneto dalių) šalto kritulių kiekio sumažėjimas kai kuriose BJ regiono vietovėse gali paveikti klimatinės sąlygas. Ypač tai gali pasireikšti sustiprėjus ir padažnėjus kitų meteorologinių elementų nuokrypiams nuo vidurkio, kaip pavyzdžiui besniegę žiemą arktinio oro advekcija su itin žemomis oro temperatūromis (- 20 °C). Toks pastarųjų elementų kompleksas gali iššaldyti žiemkenčius ir kitas augalines kultūras bei padaryti didelius materialinius nuostolius. Didžiausią įtaką šaltojo periodo kritulių kiekio mažėjimas turi labiau nuo Baltijos jūros nutolusioms teritorijoms (rytinė pietrytinė sritys (7, 11 – 13 sekt.), tačiau šiose BJ regiono srityse šaltojo periodo kritulių kiekis ne mažėjo, o netgi padidėjo. Galima teigti, kad šalto periodo kritulių kiekiai sumažėjo vakarinėje, labiau jūrinio klimato srityse, o šilto periodo sumažėjo pietinėse – pietrytinėse srityse. Kritulių kiekio mažėjimas balandžio – spalio mėnesiais gali reikšti didesnę klimatinių sąlygų kaitą šiltuoju periodu pietinėse – pietrytinėse srityse. Minėtose srityse ekstremalūs klimato pokyčiai labiau reiškiasi šiltuoju periodu ir pirmiausia per vieną svarbiausių meteorologinių elementų – kritulių kiekį, kuris formuoja vietovės hidroterminės sąlygas ir lemia sausringumo didėjimą.

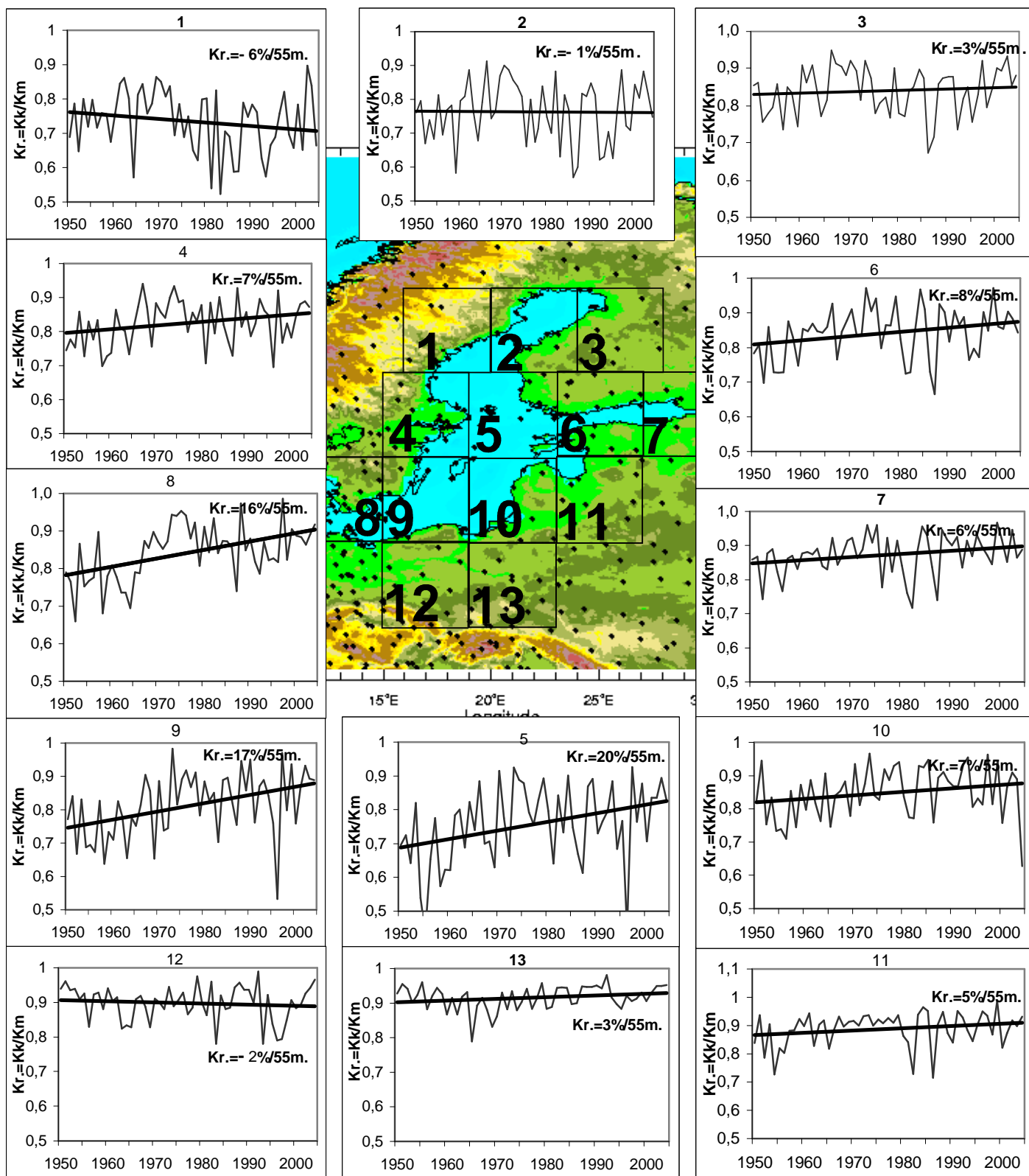
Apibendrinant galima teigti, kad santykio kreivėse išskirti reikšmingus ciklus yra sunku, o aukšto dažnio svyravimai leidžia manyti, kad klimatas yra dinamiškas ir atskirais metais nulemtas skirtingų ar skirtingo intensyvumo atmosferinių procesų. Reikia pažymėti, kad statistiškai reikšmingos trendų reikšmės yra gautos tik 4 ir 5 sektoriuose. Reikšmingi ir sausringesnį klimatą formuojantys faktoriai sustiprėjo paskutiniaisiais metais, kuomet pasitaikė itin sausringos vasaros padariusios daug nuostolių žemės ūkiui.

4.5 Konvekcinių kritulių kiekio analizė

Konvekcinius kritulius galima apibrėžti, kaip trumpalaikius, didelio intensyvumo, dažniausiai vietinio pobūdžio ir krintančius iš Cb debesų. Šie lietūs iškrinta iš siaurų debesų juostų, dažnai lydimi perkūnijos (Rimkus, 1998). Tokie krituliai labai pavojingi žemės ūkiui, o intensyvių, kartais kelių valandų liūčių sukelti potvyniai kelia didelę grėsmę hidrotechniniams įrenginiams ir gali padaryti didelių ekonominių nuostolių. Pavyzdžiui, itin pavojingas žemės ūkiui reiškinys yra kruša, kurią dažniausiai lemia intensyvi atmosferos konvekcija. Nors šis reiškinys yra lokalaus pobūdžio, tačiau dažniausiai 2 – 5 mm skersmens krintantys ledo gabaliukai padaro didelių nuostolių žemės ūkio pasėliams, o taip pat kelia didelę grėsmę skrydžių saugumui. Žinoma, pavojingiausias reiškinys nulemtas liūčių yra potvynis. Vienas didžiausių potvynių per XX a. buvo 1997 m liepos mėnesį Lenkijoje, Čekijoje, rytų Vokietijoje, kurį sukėlė intensyvūs krituliai. Šioje centrinėje Europos dalyje per vieną dieną kai kuriose teritorijose buvo pasiekta liepos mėnesio norma (200mm) (Lorens, 1998). Manoma, kad ekstremalių trumpalaikių, didelio intensyvumo šiltojo laikotarpio kritulių reikšmių dažnesnis pasikartojimas paskutiniaisiais metais yra vienas iš klimato kaitos padarinių. Intensyvių kritulių anomalijų kartojimasis paskatino mokslininkus tyrinėti trumpalaikių kritulių pasiskirstymo dėsningumus (žr. sk. Literatūros apžvalga), o jų pasiskirstymo analizė gali būti svarbi klimato kaitos kontekste ir atskleisti atmosferos cirkuliacijoje vykstančių procesų pokyčius. Liūtinius kritulius dažniausiai lemia stipri terminė konvekcija. Terminiai konvekcijai palankios sinoptinės sąlygos yra anticiklonų periferijos su mažu gradiento bariniais laukais nepastoviai stratifikuotoje oro masėje (Rimkuvienė, 2002). Intensyvūs konvecciniai procesai tai pat dažniausiai susiję su frontinėmis sistemomis, arti okliuzijos taško, giliose ciklonų slėniuose, kur konverguoja šilti oro srautai (Bukantis, 1994). Konvekcija gali būti sąlygota lėtai judančių frontinių sistemų, vietinių kvazistacionarių konveccinių gardelių ar vietinių orografinių sąlygų (Heino, et al., 1999). Liūtys gali formuotis, kai ciklono priekyje juda šaltas banguotas frontas, o jo bangose formuojasi mezocirkuliaciniai sūkurių sustiprinantys konveccinius procesus (Bukantis, Rimkus, Stankūnavičius, 2001). Buvo nustatyta, kad net 84 % trumpalaikių kritulių buvo nulemti šaltų frontų bei terminių konveccijų (Boguck, 1998). Siekiant visapusiškai įvertinti tiriamos teritorijos šiltojo laikotarpio kritulių pasiskirstymo dėsningumus buvo analizuoti vasaros laikotarpio (VI – VIII mėn.) konveccinių kritulių pasiskirstymo ypatumai. Šiame skyriuje bus aptarti konveccinių kritulių analizės rezultatai: jų santykio su bendru kritulių kiekiu chronologiniai ir teritoriniai ypatumai BJ regione per 1950 – 2004 metų laikotarpį.

Bendras Baltijos jūros regiono konveccinių ir metinių kritulių santykis padidėjo 2 %, tačiau trendas nėra statistiškai patikimas. Regione vasaros mėnesiais (06, 07, 08) vidutiniškai

48 % kritulių tenka konvekciniams. Kreivių chronologinė analizė parodė, kad kritulių kiekio santykio pasiskirstymas BJ regione turi bendrų teritorinių ypatumų (žr. 4 Priedą). Per tiriamą laikotarpį (1950 – 2004 m.), vasaros mėnesių (06, 07, 08), konvekcinių kritulių dalis bendrame iškritusių kritulių kiekyje išaugo didesnėje regiono dalyje. Tik šiaurės vakarinėje srityje užfiksuotas silpnai neigiamas (1 ir 6 % per 55 metus) pokytis. Kita vertus likusią BJ regiono dalį, pagal minėtą santykį, galima skaidyti į dvi dalis: sritys, kur gauti sąlyginai silpni (3-8 %/ 55m.) trendo pokyčiai ir sritys, kur gautos gana didelės konvekcinių kritulių kiekio padidėjimo reikšmės (16 – 20 %/55 m.). Ne tokiais žymiais konvekcinių kritulių pokyčiais pasižymėjo rytinės ir pietinės labiau žemyninės Baltijos jūros sritys, tuo tarpu Skandinavijos pusiasalį apimančiose srityse konvekcinių kritulių kiekis didėjo iki trijų kartų sparčiau. Skirtingi konvekcinių kritulių, atskirose BJ regiono srityse, pokyčiai rodo skirtingus atmosferinius procesus, veikiančius tam tikras Baltijos jūros regiono sritis ir kartu persipynę su vietinėmis geografinėmis sąlygomis klimato atšilimo fone suformuoja skirtingus meteorologinių rodiklių pokyčius. Konvekcinių kritulių pasiskirstymo dėsningumai BJ regione parodė, kad skirtingos BJ regiono teritorijos klimato kaitos kontekste formuojasi skirtingas klimatinių rodiklių kompleksas, kurį lemia tiek atmosferos cirkuliacija, tiek vietinės sąlygos. Galima manyti, kad mažėjant kritulių kiekiui ir didėjant sausringumui labiausiai nukentės rytinės ir pietinės sritys, tuo tarpu vakarinės sritys labiau veikiamos ciklonų nešančių drėgną Atlanto vandenyno orą kritulių kiekio trūkumą pajus mažiau. Be to skirtingi konvekcinių kritulių pokyčiai vakarinėje ir rytinėje Baltijos jūros dalyje gali būti ženklas, kad vakarinėje dalyje yra palankesnės sąlygos formuoti terminiai konvekcijai, kurią gali lemti frontinės sistemos ar anticiklono periferijoje (pvz. Azorų) esantys nejudrūs bariniai dariniai. Vakarinėje Baltijos jūros dalyje didėjantis konvekcinių kritulių kiekis (16 -20% per 55 m.) taip pat rodo, kad šiose srityse gali keistis vasaros drėkinimo sąlygos, kuomet kritulių kiekį formuoja konvecciniai liūtiniai krituliai. O kaip žinia liūtinio pobūdžio krituliai dažniausiai yra nepalankus reiškiny s žemės ūkiui. Galima manyti, kad išlikus panašioms trendų tendencijoms (žr.4 priedą) dėl besikeičiančių drėkinimo sąlygų pobūdžio BJ regiono rytinėse ir pietinėse srityse gali labiau reikštis sausmečiai, o Skandinavijos pusiasalio srityse su liūtiniais krituliais susijusios problemos (potvyniai, žemės ūkio kultūrų sunaikinimas ir kt.).



4.9 pav. Konvekcinio (K_k) ir bendro kritulių (K_m) kiekio santykio kaitos pasiskirstymas Baltijos jūros regione.

Viena iš sąlygų formuotis intensyviai terminiai konvekcijai yra aukšta oro temperatūra. Baltijos jūros regione oro temperatūros trendas per 1861 – 2000 metų laikotarpį yra 0,05 °C per 10 metų (Helcom., 2006). Nuolat kylančios oro temperatūros reikšmės aktyvina konvekcinius procesus. Pastebėta, kad konvekcinių kritulių kiekio padidėjimas sutampa su karštomis vasaromis. Analizuojant konvekcinių kritulių pasiskirstymo ypatumus regione buvo atlikta koreliacinė analizė tarp vasaros mėnesių (06-08 mėn.) oro temperatūros ir konvekcinių su bendrais krituliais kiekio santykio (4.3 lentelė).

4.3 lentelė. Koreliacija tarp metinių ir konvekcinių kritulių kiekio santykio ir oro temperatūros vasaros mėnesiais (06 – 08 mėn.) Baltijos jūros regione. Koreliacijos koeficientas siekia 95% *; 98% **; 99% *** statistinio patikimumo lygį.

Kvadratai	1***	2***	3*	4***	5***	6**	7***	8***	9***	10	11*	12	13***
Kor.koef.	0,57	0,35	0,31	0,4	0,36	0,32	0,34	0,53	0,46	0,19	0,27	0,09	0,4

Iš šios lentelės matome, kad glaudžiausias teigiamas ryšys yra vakarinėje BJ dalyje (ten gauti ir didžiausi teigiami konvekcinių kritulių trendai, tačiau statistiškai patikimi koeficientai gauti rytinėse į žemyną nutolusiose Baltijos jūros srityse. Esantis koreliacinis ryšys rodo, kad teigiamas oro temperatūros trendas skatins krituliodaros procesus visame BJ regione ir kaip anksčiau buvo minėta, pirmiausia, ši kaita pasireišk per kritulių kiekio iškritimo pobūdį, tai yra vasaros metu gali labiau vyrauti liūtiniai krituliai, o vietovės humidiškumo laipsnis, vyraujant sausringiems orams, labiau priklausyti nuo vietinių, geografinių sąlygų komplekso, kaip antai miškų, kalvų, vandens telkinių, miestų išsidėstymo.

Analizuojant chronologinių kreivių kaitą teritoriniai svyravimo panašumai matomi tik šiaurinėje dalyje septinto pabaigoje ir aštunto dešimtmečių pradžioje, kur vyravo konvekciniai krituliai. Atlikus trendų statistinį patikimumą reikšmingi trendai nustatyti tik 5 (garantija (90%)), 4 – 95%, 1, 8, 9 ir 13 regiono sektoriuose – garantija 98 %.

5. Debesuotumo pasiskirstymo Baltijos jūros regione dėsningumai

Klimato kaita dažniausiai tyrinėjama remiantis oro temperatūros ir kritulių kiekiu rodikliais, tačiau ne mažiau svarbūs ir kiti klimato elementai, kurie klimato kaitos procese taip pat vaidina svarbią rolę. Išsivysčius palydovinei meteorologijai atsirado galimybė objektyviau įvertinti ir debesuotumo lauką, todėl šiame skyriuje bus aptarti BJ regiono debesuotumo lauko erdvėje ir laike pasiskirstymas.

Debesys – tai vandens lašelių ir ledo kristalų sankaupa, esanti įvairiame aukštyje virš žemės paviršiaus. Debesuotumas vaidina svarbų vaidmenį saulės radiacijos ir šilumos balanse (Bukantis, 1994), lemia šiltnamio efektą, įtakoja žemės paviršiaus temperatūrą. Debesų pavidalu keliaujanti drėgmė iš vienu rajonų į kitus ir yra kritulių šaltinis formuojantis vandens apykaitos ciklą. Debesuotumas taip pat susijęs su cikloninių ir anticikloninių barinių darinių aktyvumu. Taigi debesuotumo pasiskirstymo tyrimai taip pat leidžia vertinti teritorijos klimatinių sąlygų tendencijas.

Debesuotumo laukui, Baltijos jūros regione, įvertinti buvo atlikta metinio ir sezoninio debesų kiekio pasiskirstymo erdvėje analizė. Viso regiono vidutinės debesų kiekio pasiskirstymo reikšmės pateiktos 5.1 lentelėje. Iš šios lentelės matome, kad vidutinis metinis debesuotumas regione yra 50 %, o mažiausias sezoninis buvo pavasarį – 46 %.

5.1 lentelė. Vidutinės metinio ir sezoninio debesų kiekio reikšmės (%) Baltijos j. regione per 1950 – 2004 laikotarpį.

Sektoriai	Metinis (%) 1-12 mėn.	Ruduo (%) 09-11 mėn.	Žiema (%) 12-02 mėn.	Pavasaris (%) 03-05 mėn.	Vasara (%) 06-08 mėn.
1	46	48	45	43	48
2	47	49	48	44	47
3	50	51	51	46	50
4	51	54	53	48	49
5	51	55	54	47	47
6	47	51	48	43	48
7	51	53	52	47	51
8	49	52	49	46	50
9	52	55	55	48	48
10	52	55	54	48	49
11	50	52	50	47	51
12	50	49	49	48	52
13	51	51	51	50	53
Bendras	50	52	51	46	49

Kiek mažesniu debesuotumu pasižymi šiaurinės Baltijos jūros sritys. Metinis debesuotumas čia mažesnis už vidutinį iki 4 % procentų. Didžiausias debesuotumo kiekis buvo pietinėse srityse – 52 %. Atskirais sezonais šis skirtumas tarp šiaurinių ir pietinių ričių dar didesnis ir siekia net iki 7 % žiemos laikotarpiu. Tiek metiniame, tiek sezoniniame debesų

pasiskirstyme matome, kad debesuotumo kiekio didėjimas eina iš šiaurės į pietus. Mažiausios reikšmės yra šiaurinėse srityse, Baltijos regiono viduryje svyruoja apie daugiamečių vidurkį (50 %) ir didžiausios reikšmės pietinėse srityse. Toks pasiskirstymas vėl gi leidžia manyti, kad pietinėse ir šiaurinėse srityse klimatinio požiūrių skirtingai reiškiasi ciklonų ir anticiklonų aktyvumas. Kita vertus debesuotumo kiekio skirtumas keliais procentais neturėtų atspindėti ypatingo vietovės išskirtinumo, nes šis rodiklis veikia kitų rodiklių komplekse, todėl ir vietovės klimatinės sąlygas formuoja bendras tai teritorijai būdingas klimatinis rodiklių kompleksas. Pavyzdžiui, Baltijos jūros regione meteorologinių elementų kintamumą ir ryšius lemia du pagrindiniai faktoriai: 1. Advekinis lemiantis minimalią, maksimalią temperatūras bei vandens garų slėgį; 2. Vidumasinis, susijęs su atmosferos slėgiu, debesuotumu, saulės spindėjimo trukme (Bukantis, 2002).

Siekiant įvertinti debesuotumo kaitą regione buvo atlikta šio rodiklio tendų analizė per 1950 – 2004 metus. Iš 5.2 lentelės matome, kad procentinis debesuotumo kiekis regione sumažėjo. Didžiausi pasikeitimai gauti žiemos ir pavasario mėnesiais po – 10 %, o mažiausias sumažėjimas gautas vasarą – 7%.

5.2 lentelė. Metinio ir sezoninio debesuotumo sumažėjimas procentiniais punktais (%) Baltijos jūros regione per 1950 – 2004 metus. Statistinio patikimumo lygis Siekia arba viršija 90 % garantijos lygį (95 % *; 98 % **; 99 % ***).

Sektoriai	Metinis (%) 1-12 mėn.	Ruduo (%) 09-11 mėn.	Žiema (%) 12-02 mėn.	Pavasaris (%) 03-05 mėn.	Vasara (%) 06-08 mėn.
1	11	11	11	11	11
2	13	11	15	15	10
3	11	11	14	14	9
4	9	8	11	11	6
5	8	8	9	11	7***
6	9	10	10	10	7***
7	8	10	10	8***	5
8	5	5	6**	5	4
9	7	6	7	10	5
10	4	8	9	11	5
11	8	10	11	9	5*
12	9	8	11	9	7**
13	10	9	11	10	7**
Bendras	9	9	10	10	7

Analizuojant atskiras regiono sritis labiausia, skiriasi vakarinė sritis (8, 9 sekt.), kur debesuotumo pasikeitimai, lyginant su kitomis sritimis, buvo mažesni 1 – 7 %. Didžiausi pokyčio skirtumai susidaro tarp vakarinių ir pietinių – šiaurinių sričių ir gali siekti 7 % (žr. 5.2 lentelė). Reikia paminėti, kad mažiausi pasikeitimai buvo vakarų ir centrinėje Baltijos j. srityje. Čia, skirtingai nuo kitų sričių, tiek kritulių kiekio, tiek debesuotumo kaitoje pokyčiai ne tokie ryškūs. Taip pat galima išskirti vasaros laikotarpį, kur debesų kiekis didesnėje regiono

dalyje mažėjo panašiai 4 – 7 %, kas leidžia manyti apie vienodo klimatinių sąlygų kaitos pokyčius šiuo laikotarpiu visame regione. Išsiskiria tik šiaurinė sritis (1 – 3 sekt.), kur debesuotumo pokyčiai buvo didžiausi ne tik vasaros, bet ir kitais sezonais. Taip pat reikia pažymėti, kad statistiškai reikšmingi debesuotumo pasikeitimo pokyčiai daugiausia gauti visais laikotarpiais.

Analizuojant vasaros laikotarpio debesuotumo pasiskirstymo kreives (žr. Priedai) matome, kad visose srityse išsiskiria debesuotumo sumažėjimo periodai paskutiniame XX a. dešimtmetyje. Daugelyje sričių jie sutampa arba labai nežymiai persislinkę. Apskritai debesuotumo reikšmės visose srityse paskutiniais metais ir ypač praėjusio amžiaus pabaigoje yra žemesnės už viso laikotarpio vidurkį, kas rodo apie debesuotumo pasikeitimus Baltijos jūros regione paskutiniais metais. Šie pasikeitimai atspindi ir kitų meteorologinių rodiklių kaitą, kaip saulės radiacijos balansą, kritulių kiekį ir kitus.

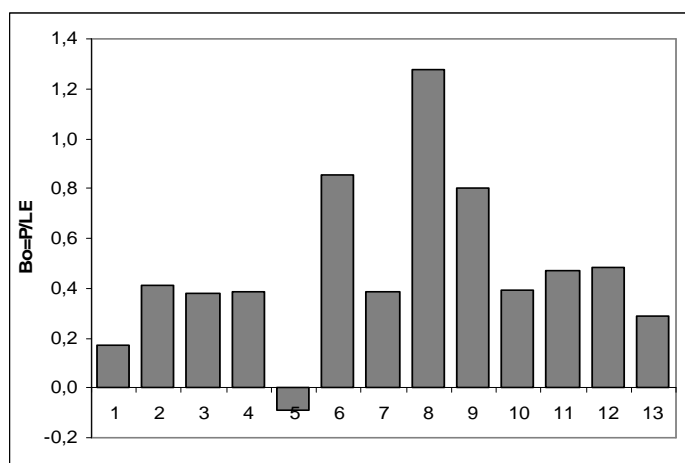
6. Baltijos jūros regiono sausringumo kaita per 1950 – 2004 metus

Siekiant visapusiškai apibūdinti vietovės drėkinimo sąlygas būtina įvertinti ir išanalizuoti ne tik kritulių kiekio charakteristikas, bet ir jų vaidmenį bendrajame teritorijos vandens ir energijos balanse. Žinia, kad ne visas iškritusių kritulių kiekis yra įsisavinamas paklotinio paviršiaus, dalis jo vykstant fizikiniams procesams grįžta į atmosferą ir išnešami į kitas teritorijas. Iškritęs kritulių kiekis veikiamas saulės spinduliuotės grįžta į atmosferą garų pavidalu. Taip pat dalis saulės spinduliuotės naudojama turbulencinei šilumos apykaitai. Žinant, kokia dalis saulės energijos yra sunaudojama vandens garinimui, o kokia turbulencinei šilumos apykaitai galima spręsti apie vietovės sausringumo laipsnį.

Baltijos jūros regiono sausringumo kaitai įvertinti ir išanalizuoti buvo naudojama Bowen'o indeksas (Bo) – tai santykis tarp turbulencinio šilumos srauto (P) ir šilumos srauto (LE), susijusio su faziniais vandens persitvarkymais (žr. sk. Darbo metodika). Kuo Bo didesnis tuo labiau vyrauja rodiklis P ir atvirkščiai. Kitaip tariant, kuo vietovėje mažiau drėgmės, tuo didesnė energijos balanso dalis sunaudojama turbulenciniam šilumos srautui.

6.1 Bowen'o indekso teritoriniai ypatumai

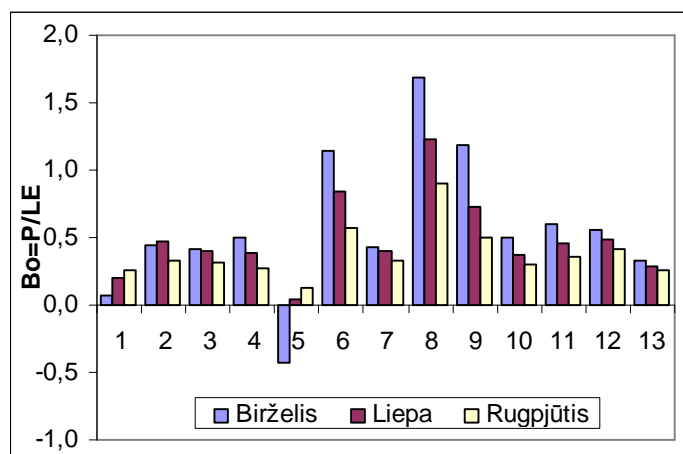
Bowen'o indeksas (Bo), apibūdinantis drėgmės atsargas, apskaičiuotas 1950 – 2004 metų laikotarpiui visame Baltijos jūros regione. Vidutinių Bo reikšmių pasiskirstymas regione pateiktos 6.1 paveikslėlyje.



6.1 pav. Vidutinės 06 – 08 mėn. Bo indekso reikšmės Baltijos jūros regione per 1950 – 2004 m.(1- 13 skt).

Iš šio paveikslėlio matome, kad B_o reikšmės didesnėje Baltijos regiono dalyje svyruoja 0,4 – 0,8 ribose. Tokios rodiklio reikšmės būdingos vidutinėms platumoms (miškams ir pievoms) intervalą ($B_o = 0,5 – 0,8$), todėl teritorijose su tokiomis reikšmėmis drėgmės režimas yra santykinai optimalus. Kituose regiono sektoriuose vidutinės B_o reikšmės buvo šiek tiek mažesnės arba didesnės už vidutinėse platumose priimtą intervalą. Čia labiau išsiskiria aštuntas sektorius, kur $B_o = 1,3$ ir šeštas bei devintas sektoriai, kur B_o apie 0,8. Šiuose sektoriuose, skirtingai nei kituose, daugiau saulės radiacijos buvo sunaudojama turbulenciniam šilumos srautui, nei garinimui. Minėti sektoriai, pagal klimatinės ir sinoptinės sąlygas, nuo kitų regiono sričių, turėtų skirtis labiausiai t.y. čia turėtų būti sausiau nei kitose teritorijose. Žinoma, skirtingos B_o vertės, tarp gretimų sektorių, gali būti ir skirtingų vietinių sąlygų pasekmė. Penktas sektorius išsiskiria iš kitų dėl to, kad didesnę šio sektoriaus ploto dalį apima vanduo.

Vidutinės vasaros mėnesių B_o reikšmės pateiktos 6.2 paveikslėlyje. Iš šio paveikslėlio matome, kad beveik visuose regiono sektoriuose didžiausios B_o reikšmės gautos birželio, o mažiausios rugpjūčio mėnesiais. Galima spręsti, kad birželio mėnesis būna sąlyginai sausiausias, o rugpjūtis drėgniausias beveik visame BJR. Ypač dideli B_o skirtumai (iki 0,5 – 0,8) tarp birželio ir rugpjūčio mėnesių buvo gauti 6, 8 ir 9 sektoriuose. Gana aukštos birželio B_o reikšmės labai nulėmė ir aukščiau aptartas vidutinės B_o reikšmes. Taigi drėgmės kiekis BJR ir ypač 6, 8 ir 9 sektoriuose birželio ir rugpjūčio mėnesiais būna gana skirtingas. Sprendžiant iš B_o rodiklio pasiskirstymo, kur didesnėje BJR dalyje (išskyrus 1 ir 2 sektorius) birželis yra sausiausias, o rugpjūtis drėgniausias, galima teigti, kad šiuos skirtumus tarp mėnesių lemia skirtingos sinoptinės sąlygos visame BJR. Birželio mėnesį visame BJR vyrauja sausesni orai, o juos formuoja panašios ir būdingos beveik visam regionui sinoptinės sąlygos. Liepa ir rugpjūtis, pagal B_o indeksą, yra šiek tiek humidiškesni mėnesiai, taigi ir sinoptinės sąlygos turėtų būti kitokios.



6.2 pav. Vidutinių 06 – 08 mėnesių B_o reikšmių BJR pasiskirstymas per 1950 – 2004 m.

Bo indekso svyravimo amplitudės BJR pateiktos 6.1 lentelėje. Matome, kad svyravimo amplitudės gali viršyti net vidutines Bo reikšmes. Dideli svyravimai rodo didelius humidiškumo svyravimus teritorijoje atskirais metais, o kartu ir sinoptinių sąlygų kaitą. Galima teigti, kad drėgmės kiekis bei optimalus drėkinimas BJR, atskirais metais, gali būti sutrikdytas gana stipriai. Sinoptinės sąlygos, formuojančios didelius svyravimus, vasaros periodu (06 – 08 mėn.) pasireiškia visame BJR regione.

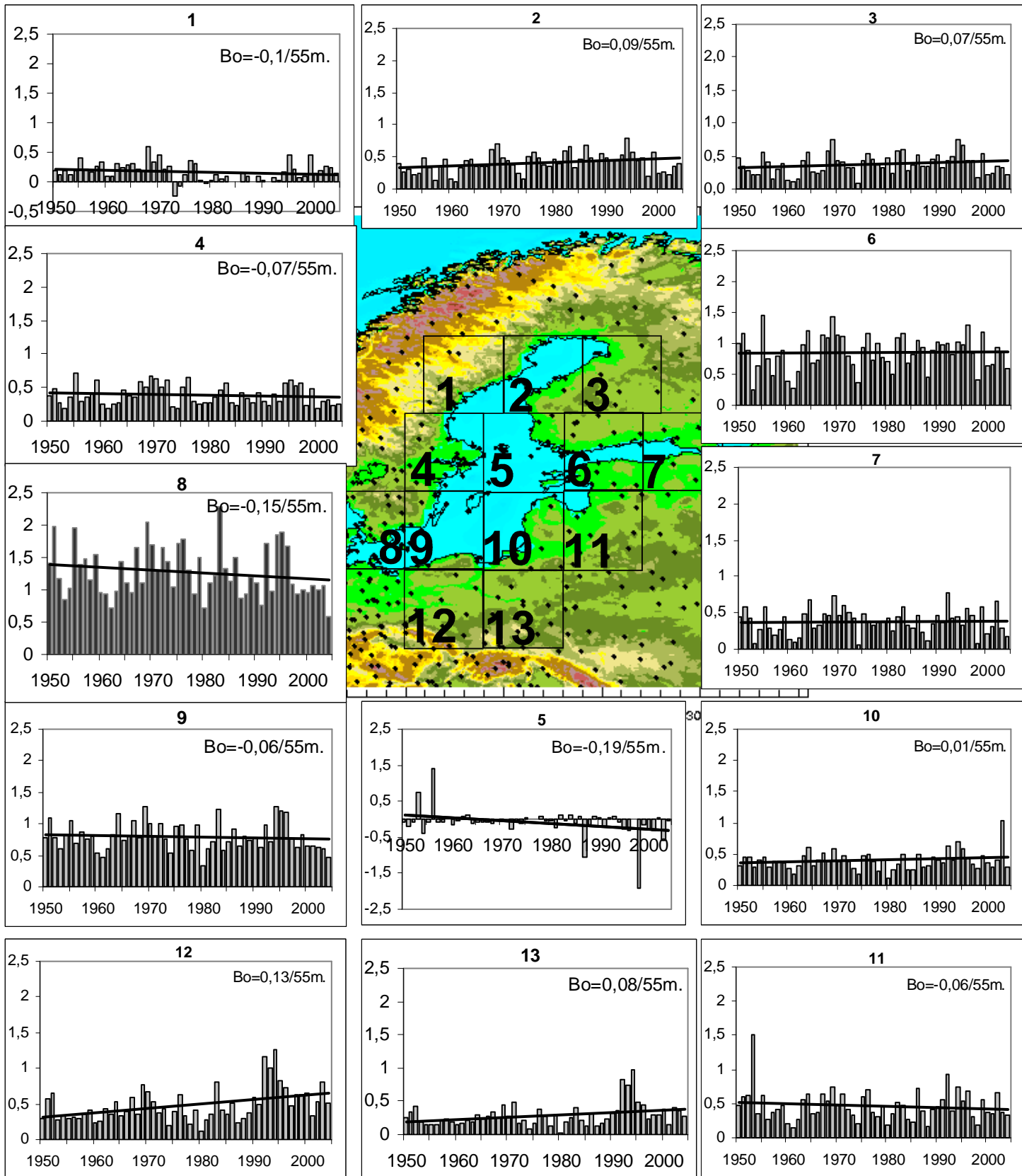
6.1 lentelė. Bo indekso svyravimų amplitudės BJR per 1950 – 2004 metų laikotarpį 1-13 sektoriuose.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0,8	0,7	0,7	0,5	1,8	1,2	0,7	1,7	0,9	0,9	1,4	1,1	0,9

6.2 Bowen'o indekso kaita 1950 – 2004 m.

Bowen'o indekso teritorinių svyravimų tendencijos pateiktos 6.3 paveikslėlyje. Pagal Bo tendų pasiskirstymą sausringiausios BJR sritys yra pietinė Baltijos jūros dalis (12 ir 13 sekt.) ir šiaurinė dalis (2, 3 sekt). Bo indekso reikšmės per 1950 – 2004 metų laikotarpį minėtuose sektoriuose pakilo nuo 0,07 iki 0,13 (žr. 6.3 pav.). Visame BJR pietinė Baltijos jūros dalis yra sausringiausia. Tą rodo, tiek anksčiau aptartas kritulių kiekio mažėjimas, tiek šis Bo indekso reikšmių didėjimas. Vakarinė BJR dalyje humidiškumas padidėjo, o rytinėje Bo pasiskirstęs skirtingai: ties Suomijos įlanka trendas neutralus, pietryčiuose 10-ame sektoriuje padidėjo 0,01, o 11-ame sektoriuje sumažėjo 0,06.

Analizuojant Bo pasiskirstymo kreives per 1950 – 2004 metus galima matyti tiek itin žemų ($\leq 0,1$), tiek itin aukštų ($\geq 1,5$) indekso reikšmių. Žemiausios ir aukščiausios indekso reikšmės visame regione pasitaikydavo sinchroniškai. Iš kreivių galima matyti, kad žemiausių ir aukščiausių reikšmių intervalai dažniausiai trukdavo 1 – 3 metus. Likusios Bo indekso reikšmės svyrudavo apie vidurkį. Sektoriuose, kur trendas kilo daugiausia (2, 3, 12, 13 sekt.) matomas Bo verčių padidėjimas apie 1990 – 1995 metus. Per šį laikotarpį nepasitaikė žemesnių už vidurkį reikšmių. Reikia atkreipti dėmesį, kad maksimalios Bo vertės daugelyje BJR sektorių pateko į vidutinėms platumoms būdingą intervalą (0,4 – 0,8), tuo tarpu minimalios dažniausiai svyrudavo apie 0,1 – 0,2, kas būdinga drėgniesiems tropikams. Tokie Bo indekso svyravimai rodo, kad drėgmės režimas vis dar patenka į vidutinėms platumoms būdingą klimatinį intervalą ir nepalankus sausringas klimatas BJR nėra labai išreikštas. Jeigu dar atsižvelgsime, kad vis pasitaiko itin žemų indekso reikšmių, tai BJR vis dar galima vadinti perteklinio drėkinimo sritimi. Statistiškai reikšmingi Bo svyravimai gauti 1, 2, 5, 12, 13 sektoriuose ir siekia atitinkamai 98 %, 95 %, 90 %, 95 %, 90 % garantijos lygį.



6.3 pav. Bowen'o indekso kaita per 1950 – 2004 metu laikotarpį Baltijos jūros regione.

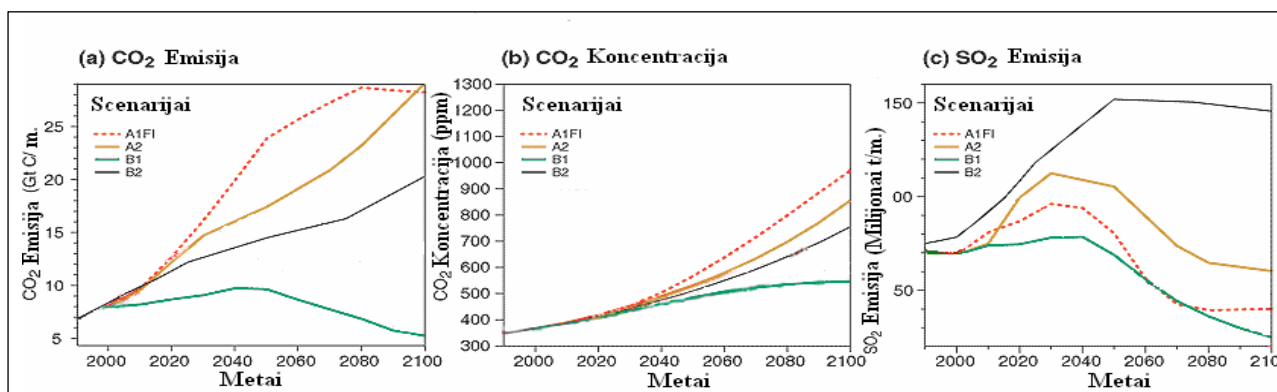
7. Baltijos jūros regiono kritulių kiekio kaitos prognozė

Siekiant sušvelninti neigiamus ekologinius ir ekonominius padarinius, atsirandančius dėl globalinės klimato kaitos, prasidėjusios maždaug XIX – amė amžiuje, mokslininkai iki šiol bando suprasti šią kaitą lemiančius procesus. Pastaruoju metu klimato kaita tyrinėjama ne tik analizuojant ir statistiškai apdorojant stebėjimo duomenis (tai leidžia daryti pakankamai ilgus stebėjimų sekas) bei atsižvelgiant į socialinius – ekonominius faktorius, naudojant matematinius metodus, modeliuojamos įvairių rodiklių (kritulių, temperatūros ir kt.) vertės. Ypač sunku tiksliai įvertinti natūralių ir antropogeninių faktorių įtaką klimato svyravimams. Skirtingi šių faktorių tarpusavio ryšiai gali formuoti skirtingus klimato pokyčius atskirose Žemės teritorijose. Pavyzdžiui, manoma, kad globalinio klimato kaitos kontekste daug ryškesni svyravimai vyks regionuose, todėl čia gali labiau (nei globaliai) pasikeisti šilumos ir drėgmės režimas. Dėl to žmonijai gali tekti prisitaikyti prie pakitusių klimatinių sąlygų, pakeisti žemės ūkio kultūrų auginimo tradicijas. Regioninių klimato svyravimų įvertinimas svarbus siekiant labiau suprasti tiek globalias, tiek regionines klimato kaitos priežastis bei išvengti neigiamų tos kaitos pasekmių.

Ankstesniuose skyriuose buvo analizuota kritulių kiekio regioniniai ypatumai per 1950 – 2004 metų laikotarpį, o šiame skyriuje bus aptarti kritulių kiekio kaitos scenarijai per XXI amžių. Baltijos jūros regiono kritulių kiekio prognostiniai scenarijai aptarti remiantis Helsinkio komisijos (Helcom..., 2006) ir Baltekso (Baltex..., 2005) ataskaitomis apie klimato kaitą Baltijos jūros regione.

Klimato kaitą lemia natūralių (saulės radiacijos, vulkanų išsiveržimų ir kt.) ir antropogeninių faktorių („šiltnamio dujų“, aerolio kiekio didėjimas ir kt.) visuma. Dėl šiltnamio dujų koncentracijos didėjimo kyla troposferos oro temperatūra, o dėl to keičiasi ir kiti klimato sistemos elementai. Šiandieniniai klimato kaitos modeliai (General Circulation Models, GCM) remiasi atmosferos ir vandenyno tarpusavio ryšių įvertinimu naudojant matematinę lygtis. Pastarosiomis yra aprašomi tiek atmosferoje, tiek vandenyne vykstantys fizikiniai procesai, kurie priklauso ne tik nuo natūralių, bet ir antropogeninių faktorių. Antropogeniniai faktoriai įvertinami remiantis skirtingais žmonių elgsenos scenarijais (jų skaičiaus augimo, ekonomikos vystimosi) ir dėl to atsirandančiais skirtingais įvairių cheminių elementų emisijų kiekiais ar kita tarša, kuri veikia atmosferą ir vandenyną. Dažniausiai klimato kaita modeliuojama remiantis CO₂ emisijų koncentracijos didėjimu. Šiame skyriuje kritulių kiekio kaitos prognozė taip pat apžvelgta remiantis CO₂ ir kitų šiltnamio dujų emisijų koncentracijos pasikeitimu per XXI amžių. Kritulių kiekio modeliavimas buvo atliktas atsižvelgiant į Tarpvyriausybės klimato kaitos komisijos (IPCC, Intergovernmental Panel on

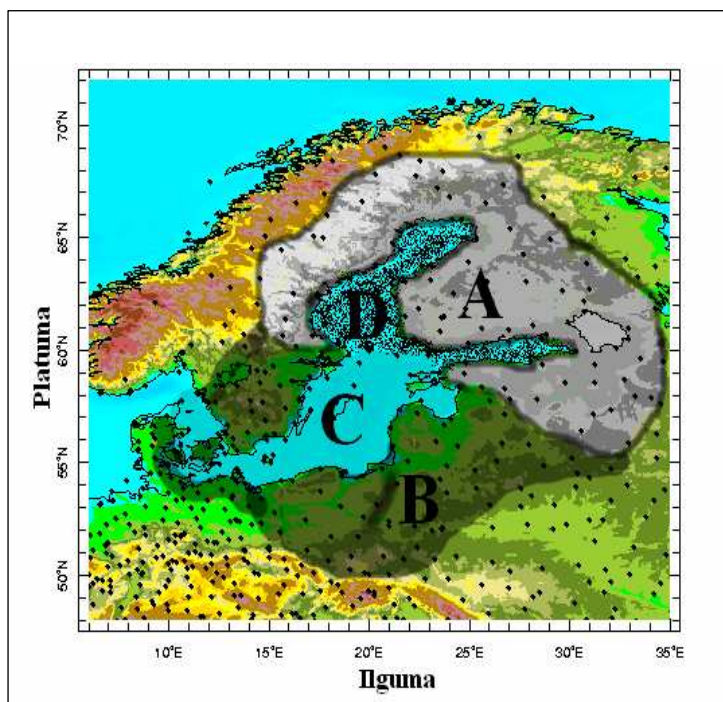
Climate Change) nustatytus ateities emisijų kiekių scenarijus (SRES, Special Report on Emissions Scenarios). Prognozavimui buvo naudotas CO₂ ir SO₂ emisijų kiekių scenarijai (B1, B2, A2 ir A1FI), (žr. 7.1 pav.).



7.1 pav. CO₂ ir SO₂ kiekio prognozė XXI jame amžiuje pagal B1, B2, A2 ir A1FI scenarijus (Helcom..., 2006).

Kaip matome iš pirmo paveikslėlio A1FI ir A2 emisijų scenarijai atspindi pasaulį, kur visuomenė vystydama ir siekdama savo gerovės ribotai atsižvelgia į aplinkosaugines problemas. B1 ir B2 scenarijai galimi esant subalansuotai plėtrai, kur visuomenė tenkindama savo poreikius siekia racionaliai naudoti gamtos išteklius bei įvairiais būdais mažinti neigiamą poveikį aplinkai.

Helkomo ataskaitoje Baltijos jūros regiono kritulių kiekis buvo prognozuojamas remiantis Bendrosios cirkuliacijos modeliais (GCM) vertinančiais tiek atmosferos, tiek vandenyno pokyčius esant įvairiems SRES. Buvo naudotas Dž. Britanijos mokslininkų sukurtas GCM (HadAM3H, Hadley Centre global atmospheric model). GCM geografinio tinklelio dydis yra apie 300 km.



Pagal GCM, atsižvelgiant į minėtus CO₂ ir SO₂ emisijų scenarijus, buvo siekiama gauti 2070 – 2099 metų kritulių kiekio pasikeitimą (%), lyginant su 1961 – 1990 metų kritulių kiekio vidurkiu. Kritulių kiekio kaita buvo modeliuojama keturiuose Baltijos jūros regiono sektoriuose (žr. 7.2 pav.). Kritulių kiekis buvo atskirai įvertintas sausumoje (A, B sektoriai) ir jūroje (C, D).

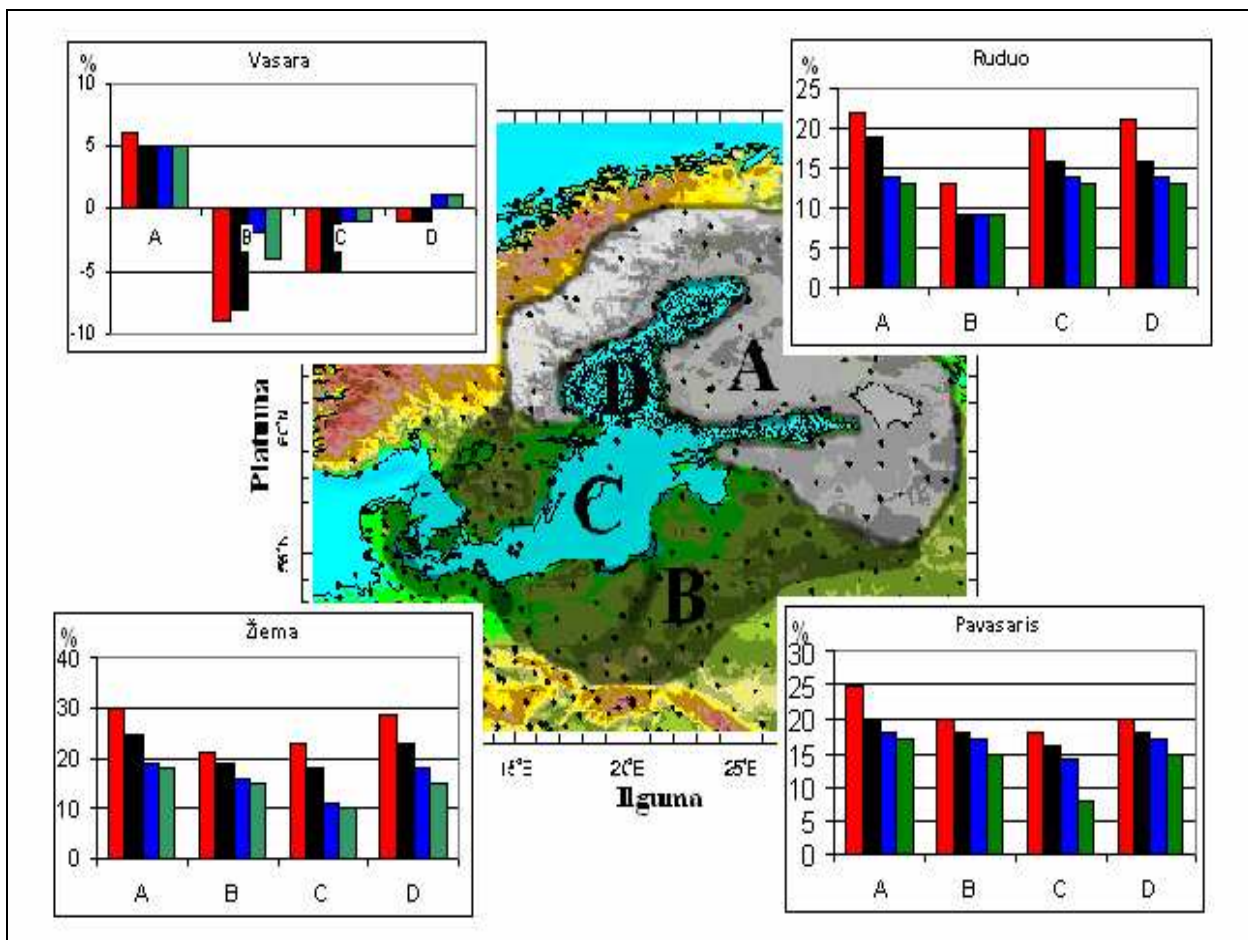
7.2 pav. Baltijos jūros regiono sektoriai (A, B, C ir D).

7.1 Baltijos jūros regiono kritulių kiekio kaitos prognozės pagal GCM

Atliktas sezoninės kritulių kiekio kaitos modeliavimas (7.3 pav.) parodė, kad kritulių kiekis per XXI amžių turėtų padidėti žiemos, bei rudens ir pavasario sezonais visame BJR. Šiais metų laikotarpiais pokyčio procentas priklauso tik nuo ateityje būsimo scenarijaus. Pagal B1 scenarijų, kur CO₂ koncentracija turėtų didėti apie 0,3 % per metus, kritulių kiekis keisis mažiausiai (iki 10 %) žiemos ir pavasario laikotarpiais jūrinėje dalyje (C), o rudens laikotarpiu mažiausiai padidės B sektoriuje iki 9 %. Labiausiai kritulių kiekis visame BJR turėtų pasikeisti žiemos periodu. Pagal B1 scenarijų žiemos laikotarpiu mažiausia kaita numatoma jūriniame sektoriuje C apie - 10 %, o didžiausia kaita bus žemyninėje dalyje A ir B sektoriuose atitinkamai - 18 % ir - 15 %. Pagal pesimistiškiausią scenarijų (A1FI), kur CO₂ koncentracija turėtų didėti apie 0,6 % per metus, žiemos periodu daugiausia kritulių turėtų iškristi sektoriuje A, net iki 30 % daugiau lyginant su 1961 – 1990 vidurkiu. Apskritai sektoriuje A, lyginant su kitais, pagal visus scenarijus kritulių kiekis turėtų didėti daugiausia. Galima teikti, kad Baltijos jūros regiono žemyninėje, šiauriau esančioje dalyje klimato pasikeitimas, pagal visus scenarijus, bus didesnis nei kitose dalyse. Žemyninėje piečiau esančioje dalyje (B) kritulių kiekio kaitos pasiskirstymas pagal scenarijus ir sezonus nėra toks dėsningas. Pavyzdžiui rudens sezonu kritulių kiekis didesnis apie 5 % bus jūrinėse dalyse, o žiemos periodu kritulių kaita priklausys nuo būsimo scenarijaus. Pavasario sezonu, kaip ir A sektoriuje, kaita bus didesnė nei jūrinėse dalyse.

Kiek kitokia situacija gauta vasaros laikotarpiu. Čia žemyninėje šiauriau esančioje BJR dalyje kritulių kiekis taip pat didės, tačiau pokyčiai turėtų būti mažesni apie 10 % ir daugiau, lyginant su kitais metų laikais, visame regione. Kritulių kiekis turėtų sumažėti B ir C sektoriuose. Labiausiai turėtų sumažėti piečiau esančioje žemyninėje (B) dalyje iki 8 % esant A1FI scenarijui. Prie B1 ir B2 scenarijų sumažėjimas turėtų neviršyti 5 %. C sektoriuje sumažėjimas neviršys 5 % pagal visus scenarijus. Taigi galima teikti, kad piečiau esančiose srityse vasaros kritulių kiekis turėtų sumažėti, o šis priklausys nuo „šiltnamio dujų“ koncentracijos atmosferoje.

Iš 7.3 paveikslėlio matome, kad prie B1 ir B2 scenarijų kritulių kiekio kaita yra labai panaši visame BJR ir dažniausia skiriasi keliais procentais. Prie A2 scenarijaus kritulių kiekio kaita atskirose regiono dalyse yra panaši į B1 ir B2 scenarijų kritulių kaitą. Pavyzdžiui rudens sezone kritulių kiekio kaita B sektoriuje tokia pati kaip prie B1 ir B2. Nedideli kritulių kiekio pasikeitimai esant skirtingiems scenarijams rodo, kad atskiri regiono sektoriai ne vienodai reaguoja į CO₂ koncentracijos padidėjimą.



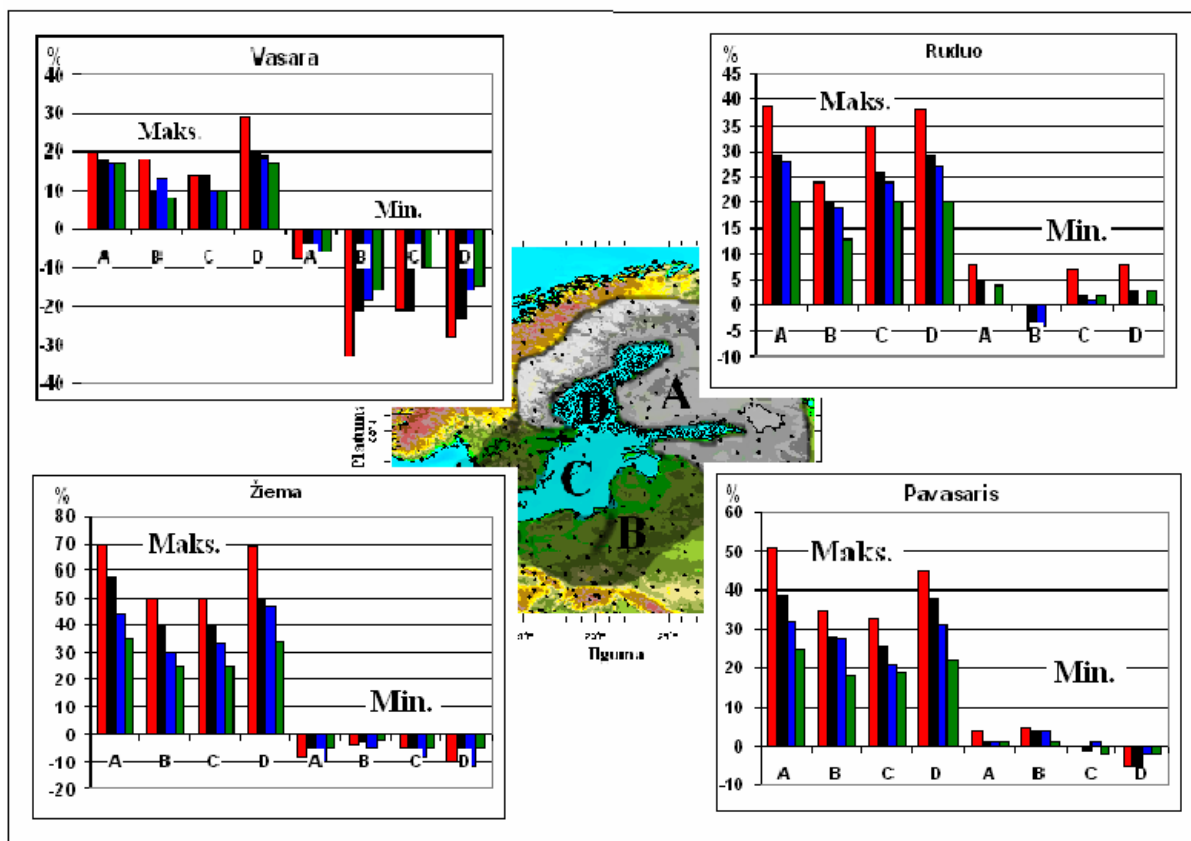
7.3 pav. Baltijos jūros regiono sezoninis vidutinis kritulių kiekio pasikeitimas (%) 2070 – 2099 metais, lyginant su 1961 – 1990 metų vidurkiu prie skirtingų „šiltnamio dujų“ emisijų (A1FI raudonas, A1 juodas, B2 mėlynas, B1 žalias, stulpeliai).

7.2 Baltijos jūros regiono ekstremalūs kritulių kiekio pokyčiai pagal GCM

Naudojant GCM buvo įvertinti ne tik vidutiniai, bet ir galimi maksimalūs ir minimalūs kritulių pokyčiai (7.4 pav.). Analizuojant kritulių kiekio ekstremumus matome, kad kritulių kiekio nuokrypiai nuo vidurkio vasaros ir žiemos periodais gali būti tiek teigiami, tiek neigiami. Didžiausi neigiami kritulių kiekio pokyčiai galintys pasitaikyti BJR yra vasaros laikotarpiu. Čia išsiskiria B sektoriuje, kur pagal A1FI scenarijų kritulių kiekis gali sumažėti virš 30 %. Mažiausios neigiamos reikšmės galimos A sektoriuje. Žiemos periodu neigiamos reikšmės galimos, tačiau žymiai mažesnės (iki 12 %), o maksimalus kritulių kiekis prie tam tikrų scenarijų gali viršyti 60 %. Galima teigti, kad vasaros periodu neigiami kritulių pokyčiai gali būti itin ekstremalūs, tuo tarpu žiemos periodas gali pasižymėti itin ekstremaliais maksimaliais kritulių pokyčiais.

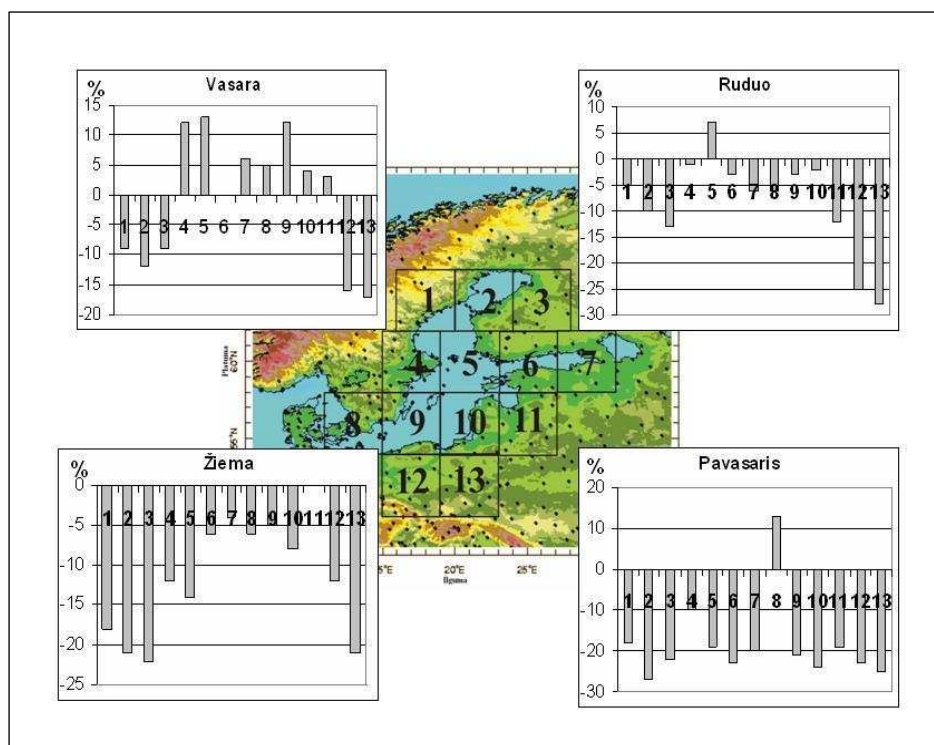
Kiek kitoks pasiskirstymas gautas rudens ir pavasario laikotarpiais. Čia rudens sezonu neigiami kritulių kiekio pokyčiai galimi tik piečiau esančiame subregione (B) ir tik esant A1

ir B2 scenarijams, o pavasario laikotarpiu jūrinėje dalyje (D) ir pagal atskirus scenarijus žemyninėje C dalyje. Toks pasiskirstymas rodo, kad rudens ir pavasario sezonais neigiamas kritulių pokytis gali pasitaikyti tik atskiruose regionuose ir esant tam tikriems scenarijams. Apkritai tikėtina, kad šiais sezonais kritulių kiekio pokyčiai turėtų būti teigiami. Ypač išsiskiria A sektorius, kur drėgmės turėtų netrūkti.



7. 4. Pav. Baltijos jūros regiono galimos maksimalios ir minimalios kritulių pokyčių vertės (%) 2070– 2099 metais, lyginant su 1961 – 1990 metų vidurkiu prie skirtingų „šiltnamio dujų“ emisijų (A1FI raudonas, A1 juodas, B2 mėlynas, B1 žalias, stulpeliai).

Aukščiau aptartą sumodeliuotą kritulių kiekio kaitą XXI a. galima palyginti su kritulių kiekio kaita (%) 1950 – 2004 metų laikotarpiu. Iš 7.5 paveikslo matome, kad dabartinis pokytis labiau panašus į ekstremalių sumodeliuotų pokyčių kaitos vertes (%). Jei pagal modelio rezultatus kritulių kiekis vidutiniškai turėtų padidėti rudens, pavasario ir žiemos sezonais, tai per 1950 – 2004 m. tais pačiais sezonais kritulių mažėjo beveik visame regione (išskyrus keletą sektorių). Žiemos sezonu 1950 – 2004 m. laikotarpiu neigiamas pokytis artimas ekstremaliam neigiamam pokyčiui (4 pav.). Rudens ir pavasario sezonais situacija kiek sudėtingesnė, nes net pagal sumodeliuotus minimalius rezultatus kritulių pokyčiai turėtų būti teigiami, o dabartinė kaita rodo neigiamus pokyčius. Pavyzdžiui, vasaros sezonu 1 ir 3 sektoriuose (pagal modelio rezultatus atitinka A sektorių) kritulių kiekis mažėjo 8 %, o pagal modelio rezultatus XXI a. pabaigoje vidutiniškai turėtų būti padidėjęs apie 5 % (3 pav.). Tačiau ekstremalūs nuokrypiai nuo vidurkio gali būti tiek neigiami, tiek teigiami. Tai rodo, kad kritulių kiekio kaitos tendencija 1 ir 3 (A) sektoriui gali ir nepasikeisti (vyrauti neigiama). Skirtingos dabartinės kaitos ir sumodeliuotos vidutinės kritulių kaitos XXI a. tendencijos pavyzdžiai rodo, kad būsimus pokyčius nuspėti dar sunku. Ypač tai matome pavasario ir rudens sezonais. Gana platus modelio duodamas teigiamas ar neigiamas nuokrypis (%) nuo vidutinių reikšmių patvirtina apie prognozavimo BJR problematiškumą.



7.5 pav. Sezoninis kritulių kiekio pokytis (%) per 1950 – 2004 m. laikotarpį Baltijos jūros regione.

Išvados

1. Per metus vidutiniškai visame BJR iškrenta 679 mm kritulių. Daugiausia kritulių gauna pietinė – pietrytinė (11 – 13 sekt.), nuo 766 iki 937 mm., ir šiaurės – rytinė bei vakarinė dalys (3, 7 sekt.), nuo 801 iki 886 mm. Šiose srityse gauti ir didžiausi metinio kritulių kiekio svyravimai, kur svyravimų amplitudė siekia vidutines metines reikšmes.

2. Viso Baltijos jūros regiono bendras vidutinis kritulių kiekis per tiriamą laikotarpį sumažėjo 8%, o tiesinis trendas siekia 99 % statistinio patikimumo lygį Regione galima išskirti du sausringus laikotarpius: 1. 1967 – 1972 m. ir 2. 1992 – 1997 m.; ir du humidiškus laikotarpius: 1. 1950 – 1966 m. ir 2. 1973 – 1991 m. Sausesnių laikotarpių metu kritulių kiekis neviršydavo daugiametės kritulių normos (679 mm).

3. Analizuojant atskirų sektorių kritulių kiekio svyravimus pastebėta, kad sausesni periodai trukdavo trumpiau nei drėgnesni. Metinio kritulių kiekio kaitos tendų analizė parodė, kad per 1950 – 2004 metų periodą kritulių kiekis visuose Baltijos jūros regiono sektoriuose sumažėjo. Regioną pagal kritulių kaitos tendą galima skaidyti į tris dalis: 1. Baltijos jūros regiono vakarinės ir jūrinės dalys (4, 5, 8, 9 sekt.); 2. Rytinė – jūrinė ir kontinentinė dalys (6, 7, 10, 11 sekt.); 3. Šiaurinė ir pietinė dalys (1 – 3; 12, 13 sekt. Pirmojoje kritulių kiekis sumažėjo iki 2 %, antrojoje iki 6 %, o trečioje net iki 20 %.

4. BJ regione tiek šiltojo, tiek šaltojo laikotarpio kritulių kiekis sumažėjo po 10 %, trendas atitinkamai siekia 95 % ir 99 % garantijos lygmenį. Šiaurinėse ir pietinėse (1 – 3, 12, 13 sekt.) srityse kritulių kiekis sumažėjo virš 10 – 20 %, o daugelyje vakarinių bei rytinių (pietrytinių) (4 – 11 sekt.) sričių neigiamas kritulių pokytis buvo iki 10 %. Srityse, kur dalį ploto užima jūra (4, 5, 9 sekt.), šiltojo laikotarpio kritulių kiekis padidėjo nuo 1 iki 6 %.

5. BJR šaltojo ir šiltojo kritulių kiekio santykio kaitos trendas yra neutralus, t.y. regione per visą tiriamą laikotarpį sezonų (šaltojo, šiltojo) humidiškumo sąlygos nepakito. Pagal atskirų sektorių kaitos pasiskirstymą regioną galima suskirstyti į dvi sritis: pirmoji – rytinė ir pietinė, kur trendas teigiamas; antroji – vakarinė, kur neigiamas. Pirmojoje srityje pastebima bendra šaltojo, o antroje – šiltojo periodo kritulių kiekio didėjimo tendencijos. Labiausiai šis santykis pasikeitė pietinėje (12 sekt.) ir vakarinėje (4 sekt.) žemyninėse, bei pietinėje (9 sekt.) vidurio (5 sekt.) Baltijos jūros dalyse.

6. Atlikus metinio kritulių kiekio teritorinę koreliaciją išryškėjo, kad kritulių kiekio pasiskirstymo teritorinis ryšys glaudus. Gretimų arba mažiau nei per vieną sektorių nutolusių teritorijų ryšys dažniausiai yra daugiau už 0,7. Statistiškai patikimos reikšmės yra tarp pietvakarinės ir šiaurinės bei vidurio Baltijos jūros regiono dalių. Tai rodo, kad vyrauja pietvakarių krypties pernaša.

7. Regione vasaros mėnesiais (06, 07, 08 mėn.) vidutiniškai 48 % kritulių tenka konvekciniams. Per tiriamą laikotarpį, konvekcinių kritulių dalis bendrame iškritusių kritulių kiekyje išaugo. Tik šiaurės vakarinėje srityje užfiksuotas silpnai neigiamas (1 ir 6 % per 55 metus) pokytis. Ne tokiais žymiais konvekcinių kritulių pokyčiais pasižymi rytinės ir pietinės labiau žemyninės Baltijos jūros regiono sritys.

8. Konvekcinių kritulių kiekio padidėjimas sutampa su karštomis vasaromis. Atlikus koreliacinę analizę tarp konvekcinių kritulių ir oro temperatūros paaiškėjo, kad glaudžiausias teigiamas koreliacinis ryšys yra vakarinėje BJ dalyje. Esantis koreliacinis ryšys rodo, kad kylantis oro temperatūros trendas skatins krituliodaros procesus visame regione.

9. Vidutinis metinis debesuotumas regione yra 50 %, o mažiausias sezoninis buvo pavasarį – 46 %. Mažesniu debesuotumu pasižymi šiaurinės Baltijos jūros sritys (už vidutinį mažesnis apie 4 %). Didžiausias debesuotumo kiekis buvo pietinėse srityse – 52 %. Debesuotumo kiekio didėjimas eina iš šiaurės į pietus. Didžiausios trendų reikšmės nustatytos žiemos ir pavasario mėnesiais po – 10 %, o mažiausias sumažėjimas gautas vasarą – 7%.

10. Baltijos jūros regiono sausringumo kaitai įvertinti buvo suskaičiuotas Bowen'o indeksas. Jo reikšmės didesnėje Baltijos regiono dalyje svyruoja 0,4 – 0,8 ribose ir patenka į vidutinėms platumoms būdingą intervalą ($B_o = 0,5 - 0,8$). Visuose regiono sektoriuose didžiausios B_o reikšmės gautos birželio (buvo sausiausia), o mažiausios – rugpjūčio mėnesiais (buvo drėgniausia). Pagal B_o trendų pasiskirstymą sausringiausios BJR sritys yra pietinė Baltijos jūros dalis (12 ir 13 sektoriai) ir šiaurinė dalis (2, 3 sekt). B_o indekso reikšmės per 1950 – 2004 metų laikotarpį minėtuose sektoriuose pakilo 0,07 – 0,13.

11. Sezoninės kritulių kiekio kaitos modeliavimas parodė, kad kritulių kiekis per XXI amžių turėtų padidėti žiemos bei rudens ir pavasario sezonais. Labiausiai kritulių kiekis turėtų pasikeisti žiemos periodu. Pagal B1 scenarijų žiemos laikotarpiu mažiausia kaita numatoma jūriniame sektoriuje C – apie 10 %, o didžiausia kaita bus žemyninėje dalyje A ir B

sektoriuose atitinkamai 18 % ir 15 % Vasaros laikotarpiu žemyninėje šiauriau esančioje BJR dalyje kritulių kiekis taip pat didės, tačiau tik apie 10 %.

12. Didžiausi neigiami kritulių kiekio pokyčiai yra vasaros laikotarpiu B sektoriuje. Pagal A1FI scenarijų kritulių kiekis gali sumažėti virš -30 %. Mažiausios neigiamos reikšmės galimos A sektoriuje. Dabartinis kritulių kiekio pokytis panašus į ekstremalių sumodeliuotų pokyčių kaitos vertes. Pagal modelio rezultatus kritulių kiekis vidutiniškai turėtų padidėti rudens, pavasario ir žiemos sezonais, tačiau per 1950 – 2004 m. minėtais sezonais kritulių mažėjo beveik visame regione.

Literatūros sąrašas

- Alosevičienė G.** (2001). Didelės kaitros Lietuvoje. Vilnius, Geografijos metraštis, t. 34: 22-30.
- An Editorial Essay.** (2002). What we know and don't know about climate change: Reflections on the IPCC TAR. Climatic change. 53: 393 – 411.
- Baltex** phase I (1993 – 2002) state of the art report. International Baltex secretariat publication (2005), No. 31. Edited by Jacob D., Omstedt A.
- Buitkuvienė S.** (1998). Sausros Lietuvoje. Lietuvos meteorologijos ir hidrologijos 2. problemos XXI a. išvakarėse. Moksl. konf. praneš.: 75-79.
- Bukantis A.** (1993). 1992 – jų metų sausra Lietuvoje. Vilnius, Geografija 29: 51 – 53.
- Bukantis A.** (1994). Lietuvos klimatas, Vilnius.
- Bukantis A.** (1995). Ekstremalūs klimato reiškiniai Baltijos regione ir jų įtaka ūkiui. Vilnius, Geografija 31: 39 – 42.
- Bukantis A., Rimkus E.** (1996) Lietuvos agroklimatinių resursų dinamika ir prognozės. Vilnius, Geografija t. 32: 22-27.
- Bukantis A., Rimkutė L.** (1997) Kritulių klimatinių rodiklių svyravimų regioniniai ypatumai Lietuvoje 1925 – 1995 m. Vilnius, Geografijos metraštis, t. XXX: 143-153.
- Bukantis A. ir kt.**(1998). Klimato elementų kintamumas Lietuvos teritorijoje, Vilnius.
- Bukantis A. ir kt.,** (2001). Klimato svyravimų poveikis fiziniams geografiniams procesams Lietuvoje. Vilnius.
- Bukantis A.** (2002). Application of factor analysis for quantification of climate – forming processes in the eastern part of Baltic Sea region. Climate Research, vol. 20: 135 – 140.
- Bulygina O.N., et al.** (1998). Climate variation and changes in the climate extreme events in Russia. Proceedings of 2nd European conference on applied climatology, october 1998. Austria.
- Boguck M.** (1998). Extreme Rainfalls in poland in the last 30 years. Proceedings of 2nd European conference on applied climatology, october 1998. Austria.
- Cubasch U., Voss R., Mikołajewicz U.** (2000). Precipitation: a parameter changing climate and modified by climate change. Climatic change. 46: 257 – 276.
- Farat R., et al.** (1998). Assessment of Poland overall cloudiness. Proceedings of 2nd European conference on applied climatology, october 1998. Austria.
- Forland J., Bauer – Hansen I.** (1998). Long-term variations in extreme 1-day rainfall in the Nordic countries. Proceedings of 2nd European conference on applied climatology, october 1998. Austria.

- Fradrich K.**, Gerstengabre F.W., Werner P.C. (2001). Climate shifts during the last century. *Climatic change*. 50: 405 – 417. .
- Fower H. J., Kilsby C. G.** (2001). Precipitation and the North Atlantic oscillation: a study of climatic variability in Northern England. (www.interscience.wiley.com).
- Gidrometeorologija** i gidrochimija morei CCCR. T.3. Boltiskoe more. Vyp. 1. Gidrometeorologičeskie ūslovija. Sankt – Peterburg: gidrometeoizdat, 1992.
- Gruza G. V.** (1994). Observed and expected climate change in the European region. *Climate variations in Europe. Proceedings of the European Workshop on Climate variations*, 56-68.
- Heino R., et al.** (1999). Progress in the study of climatic extremes in Northern and Central Europe. *Climatic change*. 42: 151-181.
- James Saliger M.**, (2005). Climate variability and change: Past, Present and Future – an overview. *Climatic change*. 70: 9 – 29.
- Katalog** der Grosswetterlagen Europas nach Paull Hess und Helmut Brezowski 1881 – 1992 (1993). Offenbach an Main, Deutchen Wetterdienst.
- Kavaliauskas B.** Atmosferos kritulių kintamumas. Geografijos instituto darbai. *Klimatologija.*, 55-62.
- Lorens H.** (1998). The meteorological causes, magnitude and effects of disastrous rainfalls in Poland in July 1997. *Proceedings of 2nd European conference on applied climatology, October 1998. Austria.*
- Mager P., et al.** (1998). Critical periods of selected crop plants and occurrence of droughts in Poland. *Proceedings of 2nd European conference on applied climatology, October 1998. Austria.*
- Maracchi G., Sirotenko O., Bindi M.** (2005). Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the temperate regions: Europe. *Climatic change* . 70: 117 – 135.
- Mares I., Mares C., Mihailescu M.**, (2002). NAO impact on the summer moisture variability across Europe (www.elsevier.com/locate/pce).
- Mietus M.** (1998). Variation of temperature and precipitation on the Polish Baltic sea coast since the beginning of regular instrumental observations and expected changes. *Proceedings of 2nd European conference on applied climatology, October 1998. Austria.*
- Misiūnienė M.** (1998). Liūtis formuojančių sinoptinių sąlygų ir kritulių intensyvumo analizė. Lietuvos meteorologijos ir hidrologijos problemos XXI a. išvakarėse. (Mokslinės konferencijos pranešimai), 80 – 86.

- Nasonova O.** (1998). Assessing the climate change impact on agroclimatic resources of the former soviet union using GCM scenarios. Proceedings of 2nd European conference on applied climatology, october 1998. Austria.
- Pawlak J. F. on behalf of the Helsinki Commission** (2006). HELCOM Thematic Assessment Report on Climate Change in the Baltic Sea Area Based on the BALTEX Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin (BACC). Helsinki Commission. Version 18.
- Povilaitis A.** (2002). Paros kritulių erdvinė koreliacija. Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba. Nr. 3 (21): 23-30.
- Rimkus E.** (1998). Meteorologijos pagrindai. Vilnius.
- Rimkuvienė J.** (2002). Maksimalių šiltojo laikotarpio lietaus poplūdžio formavimosi Lietuvos upėse meteorologinės sąlygos. Daktaro disertacijos santrauka. Vilniaus universitetas.
- Russak V.** (1998). The influence of increased cloudiness on air temperature in Estonia. Proceedings of 2nd European conference on applied climatology, october 1998. Austria.
- Shabalova M. V., Konnen G. P., Borzenkova I. I.** (1999). Precipitation change: Model simulations and paleoreconstructions. Climatic change. 42: 693 – 712.
- Schonwiese C., et al.** (1998). Some diagnostic and prognostic aspects based on observational statistics of European climate variations. Proceedings of 2nd European conference on applied climatology, october 1998. Austria.
- Štaras A.** (2005) Ilgalaikės Lietuvos upių nuotėkio kaitos prognozavimas. Meteorologija ir hidrologija Lietuvoje: raida ir perspektyvos. Respublikinė mokslinė konferencijos vykusios 2005 kovo 23 d. pranešimai: 37 – 38.
- Tank A. M.G., Konnen G. P.** (2003). Trend in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946 – 99. Journal of climatic.16: 3665 – 3680.
- Temperature and precipitation** (1995). WMO, First European climate assesment, 19 -22.
- Ustrnul Z.** (1998). Variability of cloudiness and sunshine duration in the Western Carpathians. Proceedings of 2nd European conference on applied climatology, october 1998. Austria.
- Žaromskis R.** (1996). Okeanai, jūros, estuarijos. Vilnius.
- Internet:** http://nomad3.ncep.noaa.gov/cgi-bin/pdisp_mfgau_r1.sh?ctlfile=flx.gau.ctl&povlp=n oovlp&ptype=ts&dir=.Prisijungimo laikas 2006 vasario 5 d.
- Internet:** <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/wesley/reanalysis.html>. Prisijungimo laikas 2006 m. vasario 5 d.

SUMMARY

The dynamics of the Baltic Sea region climate humidity in the year 1950-2004

M. Pankauskas

The Baltic Sea region (BSR) is in medium latitude among the 50° and 70° n. lat. and 10° and 35° e. long. Although the west atmospheric mass movement is dominating in this region and the Atlantic Ocean and the Baltic Sea models the damp climate, still the draughty periods (such as in the year 1992, 1994, 2002) occur in the context of global warming. Supposedly, while the climate is getting warmer, the regional fluctuation will get more intensive. Therefore in the process of global climate shift, it is essential to evaluate regional fluctuations of meteorological rates. The evaluation of humidity and nebulosity is essential in order to understand the causes of climate shifts and to avoid the negative consequences for the state economics.

The goal of the work. On the basis of the different rates of precipitation amount, evaluate the humidity fluctuations of the BSR. Analyze the peculiarities of nebulosity repartition.

The methods of the work. The BSR humidity was evaluated on the basis of annual precipitation amount fluctuations and using Bowen's method (that allowed evaluate the region aridity more objectively). The consistent of convectional precipitation repartition, annual precipitation amount dimensional correlation and regional nebulosity territorial peculiarities were evaluated. The prognosis of regional precipitation amount is given in this work and it is compared with the tendencies of current fluctuations. The analysis of above mentioned rates was accomplished on the basis of the geographical grid data.

The main results of the work. The average amount of precipitation in BSR is 679 mm. Most of the precipitation gets the south – southeast (11-13 sec.), northeast and west sectors (3, 7 sec.). In these segments the largest fluctuations of annual precipitation amount were noticed (where the fluctuations amplitude reached the annual rates). The general average precipitation amount in BSR decreased 8% during the period that was researched.

In different BSR sectors the trends of annual precipitation amount were negative. According to the precipitation fluctuation trend, the region can be divided into three sectors: 1. BSR west and marine sectors; 2. East – marine and continental sectors; 3. North and south sectors. In the first sector the amount of precipitation declined by 2%, in the second – by 6 %, in the third – by 20 %.

During the warm and cold periods the amount of precipitation in BSR decreased by 10%. The trend of BSR warm and cold periods is neutral, that means that during the all period, which was researched (cold and warm), the conditions of humidity were stable.

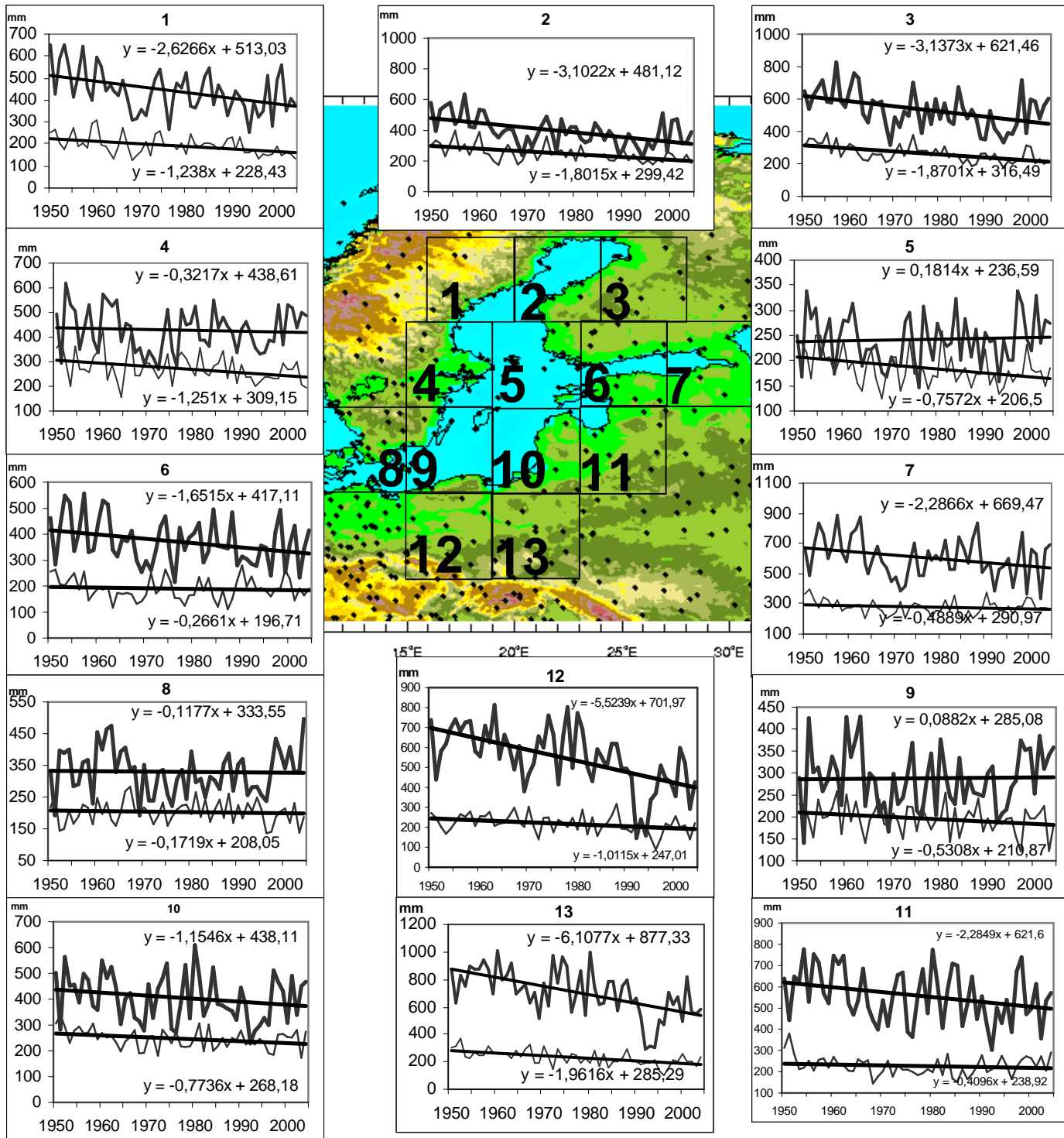
After calculating the territorial correlation of annual precipitation amount, the tight precipitation amount repartition territorial connection was found (that was equal to 0,7). Statistically significant meanings are between the southwest and north and middle Baltic Sea. That means that the southwest carry is dominating. In the region during the summer time (06, 07, 08) averagely 48 % of precipitation is convectional.

During the period, which was researched, the part of convectional precipitation in increased general precipitation amount. The average nebulosity in the region is 50 %, and the minimal seasonal was in spring time – 46 %. The nebulosity is less in the north BSR. The maximal nebulosity was in south sectors. The increase of nebulosity is going from north to south.

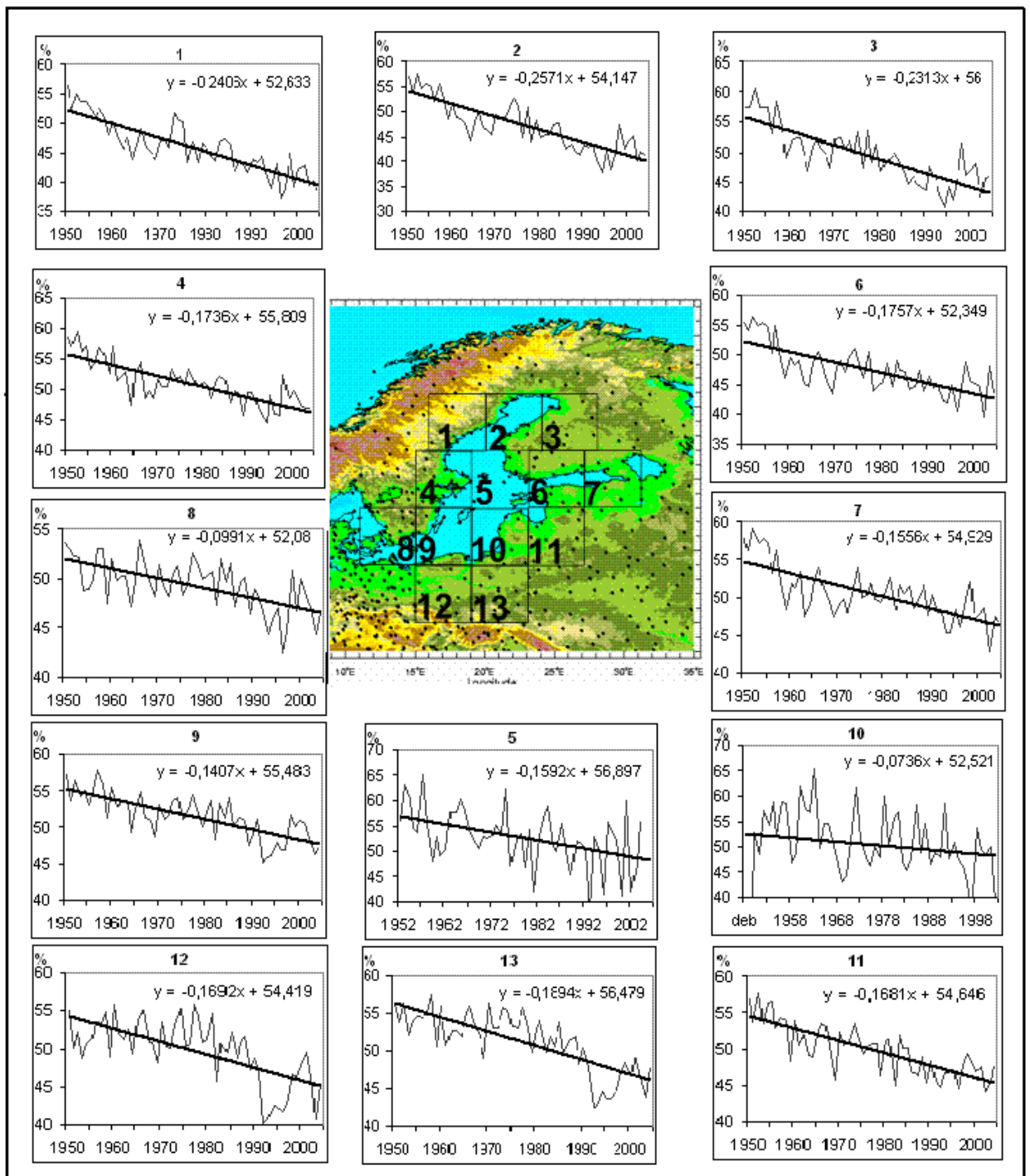
In the larger part of Baltic region Bo rates are between 0,4-0,8 and are typical for medium latitudes. In all region sectors maximal Bo rates are in the June, and minimal – in August. According to Bo trends, the driest BSR sectors are south and north Baltic Sea sectors.

The modulation of seasonal precipitation amount fluctuation indicated that the precipitation amount during the XXI century should be higher in winter, autumn and spring seasons. The largest precipitation shift should be noticed in winter. The largest negative precipitation amount shifts are in summer.

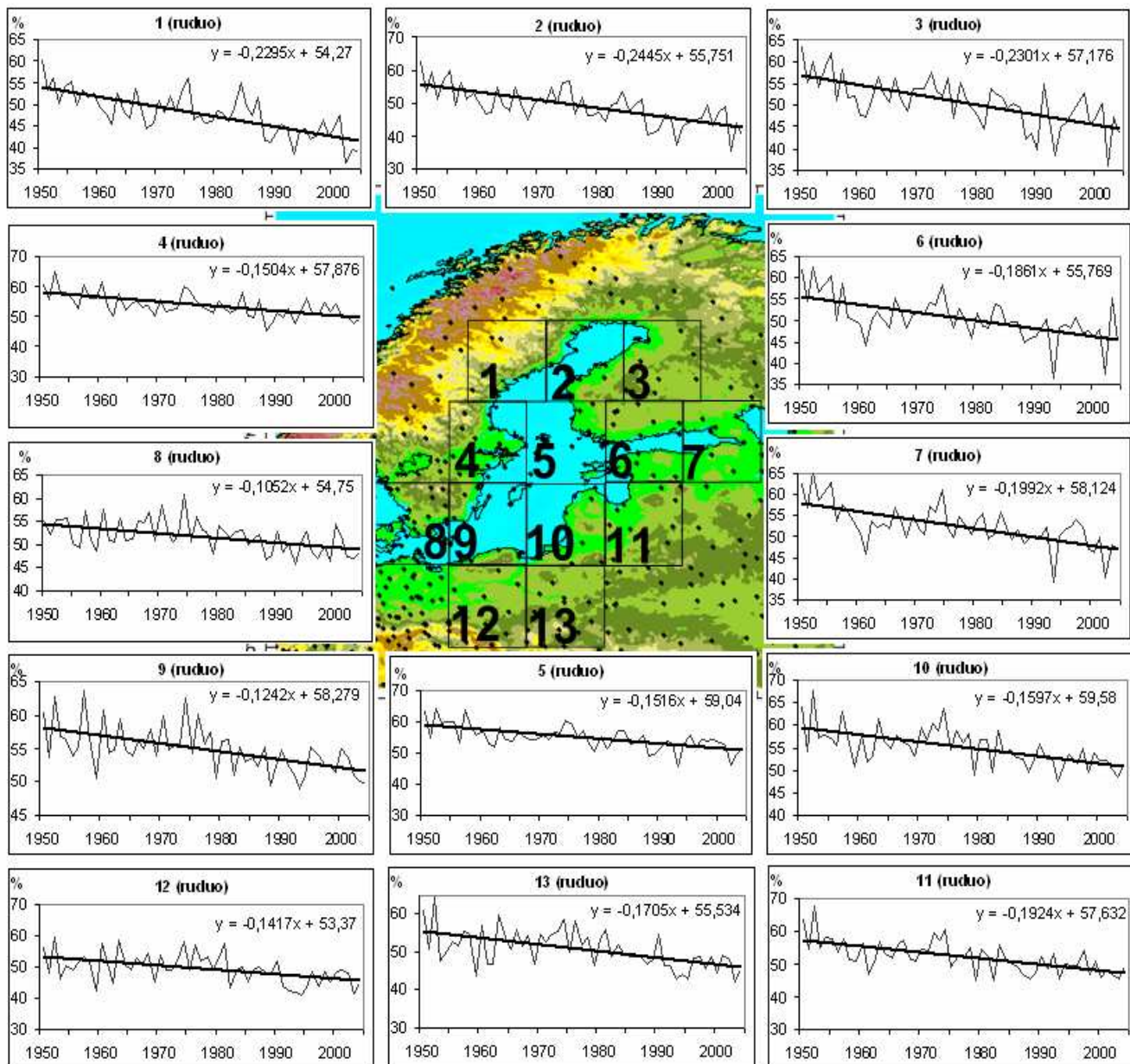
Priedai



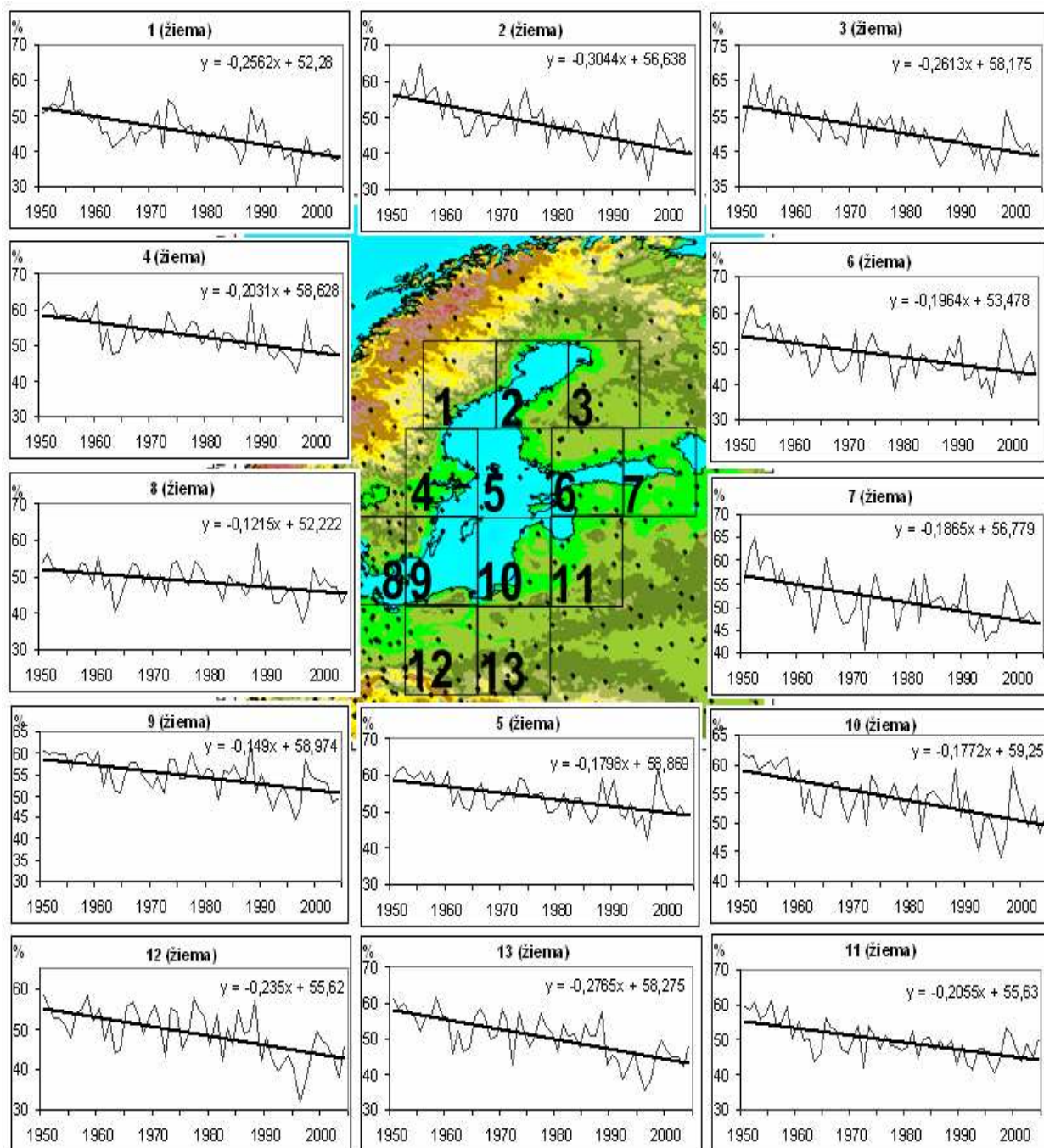
1 pav. Šiltojo (IV – VIII mėn.) (viršutinė kreivė), ir šaltojo (XI – III mėn.) (apatinė kreivė), periodų kritulių kiekio kaita per 1950 – 2004 metus Baltijos jūros regione.



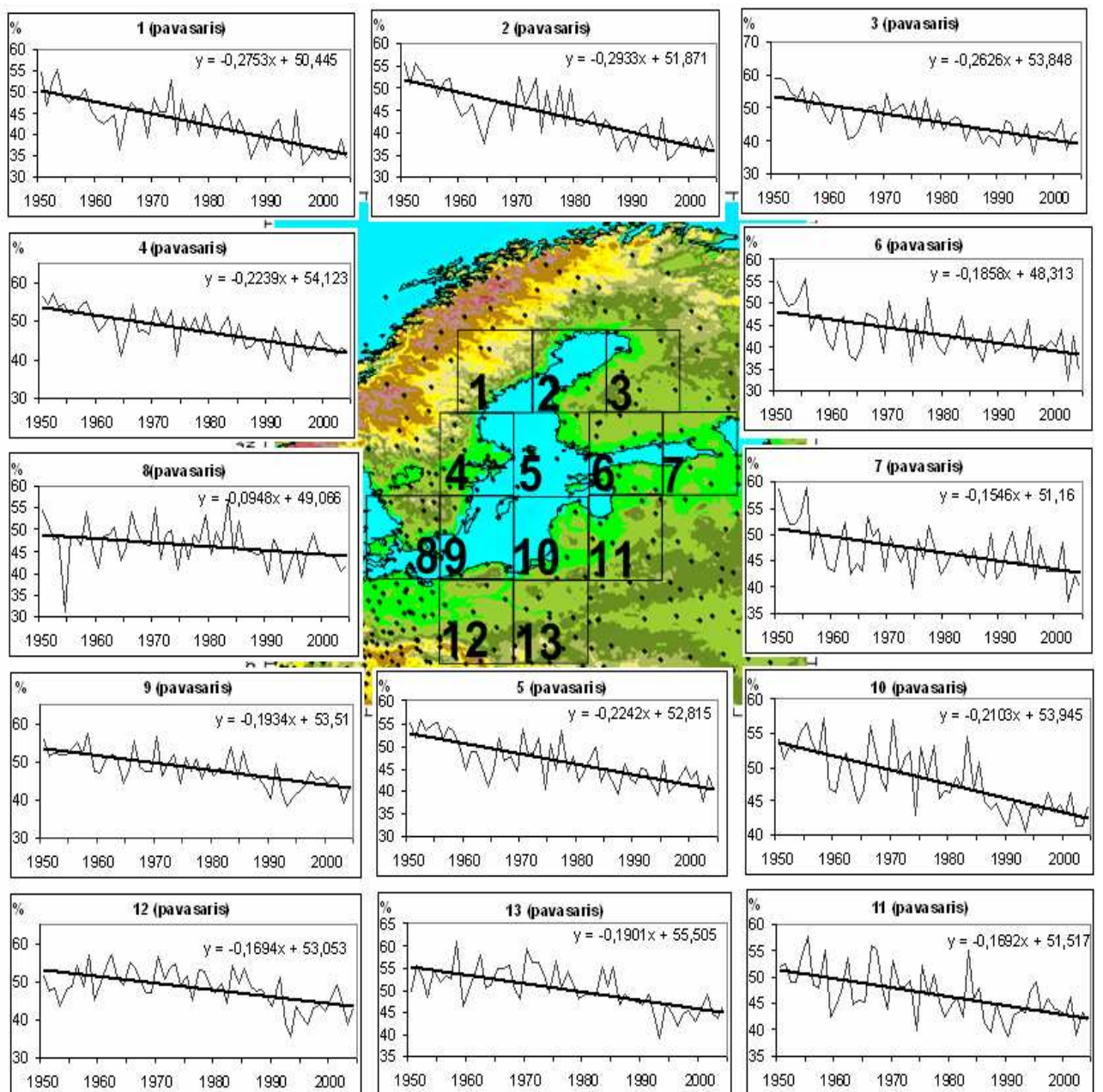
2 pav. Baltijos jūros reģiona metiņo (1 – 12 mēn.) debesuotuma kaita 1950 – 2004 gadiem.



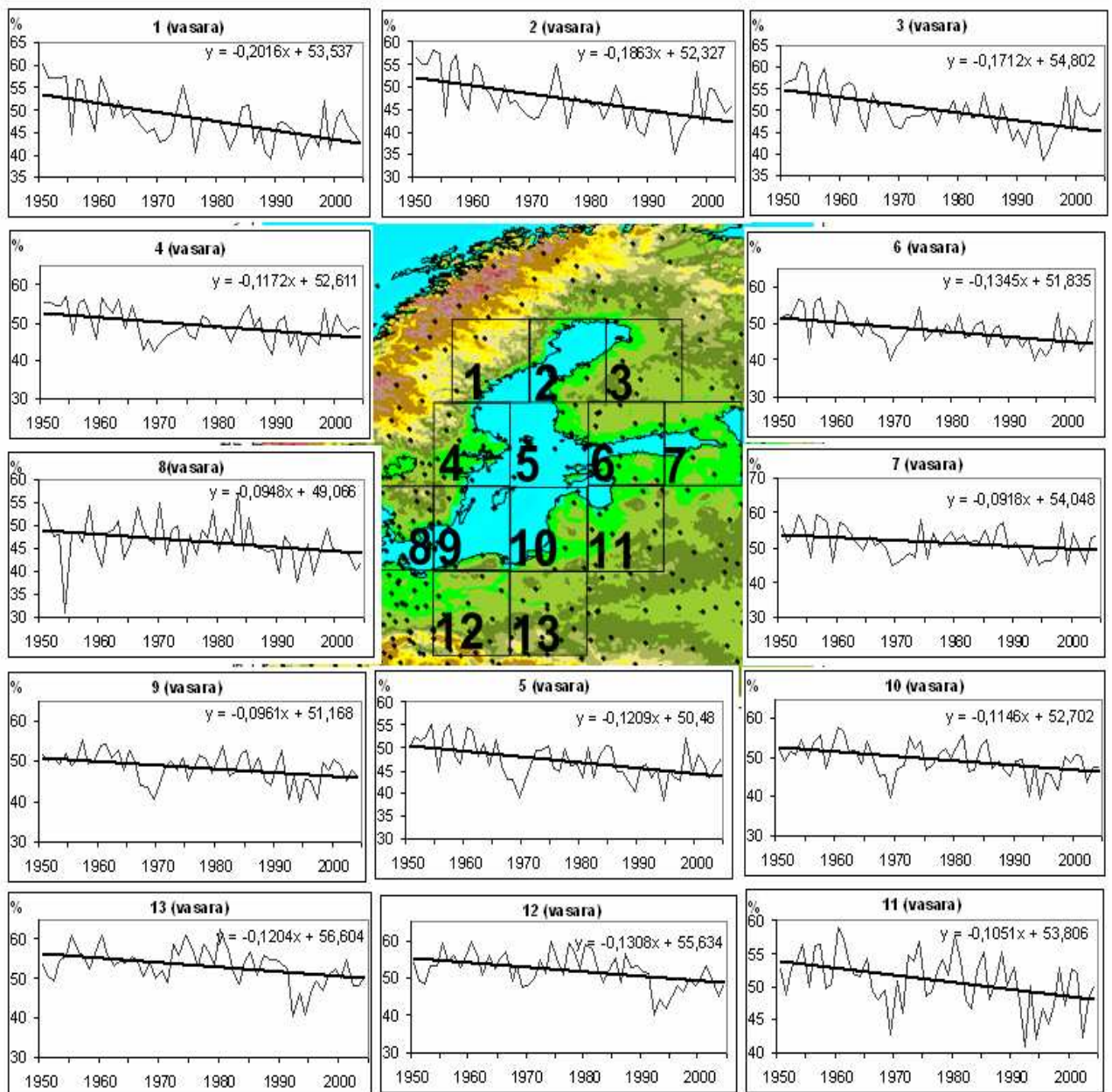
3 pav. Baltijos jūros regiono rudenio mėnesių (09 – 11 mėn.) debesuotumo kaita 1950 – 2004 m.



4 pav. Baltijos jūros regiono žiemos mėnesių (12 – 02 mėn.) debesutumo kaita 1950 – 2004 m.



5 pav. Baltijos jūros regiono pavasario mėnesių (03 – 05 mėn.) debesuotumo kaita 1950 – 2004 m.



6 pav. Baltijos jūros regiono vasaros mėnesių (06 – 08 mėn.) debesutumo kaita 1950 – 2004 m.