

VILNIAUS UNIVERSITETAS
GAMTOS TYRIMŲ CENTRAS
KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS

DONATAS VALIUKAS

SAUSRŲ IR SAUSŲ LAIKOTARPIŲ LIETUVOJE
ANALIZĖ

Daktaro disertacija
Fiziniai mokslai, fizinė geografija (06 P)

Vilnius, 2015

Disertacija rengta 2010–2014 metais Vilniaus universitete.

Mokslinis vadovas – prof. dr. Egidijus Rimkus (Vilniaus universitetas, fiziniai mokslai, fizinė geografija – 06P).

TURINYS

ĮVADAS	5
DARBE NAUDOJAMOS SANTRUMPOS	13
1. LITERATŪROS SAUSROS TEMATIKA APŽVALGA	15
1.1. SAUSROS SAMPRATA IR APIBRĖŽIMAS PASAULYJE	15
1.2. SAUSROS SAMPRATA IR APIBRĖŽIMAS LIETUVOJE	29
1.3. TYRIMŲ SAUSROS TEMATIKA APŽVALGA PASAULYJE	35
1.4. TYRIMŲ SAUSROS TEMATIKA APŽVALGA LIETUVOJE	43
2. SAUSROS IDENTIFIKAVIMO KRITERIJAI IR INDEKSAI	46
2.1. METEOROLOGINIAI SAUSRŲ INDEKSAI	48
2.2. AGROMETEOROLOGINIAI SAUSRŲ INDEKSAI	60
2.3. HIDROLOGINIAI SAUSRŲ INDEKSAI	64
2.4. PALYDOVINIAIS DUOMENIMIS PAREMTI SAUSRŲ INDEKSAI	67
2.5. SAUSRŲ INDEKSŲ SKAIČIAVIMUOSE NAUDOJAMI PARAMETRAI	69
3. DUOMENYS IR DARBO METODIKA	73
3.1. SPI KAITOS LIETUVOJE IR BALTIJOS JŪROS REGIONE ĮVERTINIMO METODIKA	73
3.1.1. SPI KAITOS LIETUVOJE VERTINIMAS	73
3.1.2. SPI KAITOS BALTIJOS JŪROS REGIONE VERTINIMAS 1960-2009 M.	78
3.1.3. SPI KAITOS PROGNOZIŲ XXI A. SUDARYMAS	82
3.2. HTK KAITOS LIETUVOJE VERTINIMAS	84
3.3. DIRVOŽEMIO DRĖGMĖS DUOMENŲ PANAUDOJIMO GALIMYBIŲ, IDENTIFIKUOJANT AGROMETEOROLOGINES SAUSRAS LIETUVOJE, VERTINIMAS	86
3.4. SRI KAITOS VERTINIMAS 1961–2010 M. LIETUVOJE	89
3.5. SKIRTINGAIS INDEKSAIS NUSTATYTŲ SAUSROS RODIKLIŲ PALYGINIMO METODIKA	97
3.6. SOCIOEKONOMINIO SAUSROS POVEIKIO LIETUVOJE VERTINIMAS	98
4. DARBO REZULTATAI	100
4.1. SPI KAITA LIETUVOJE IR BALTIJOS JŪROS REGIONE	100
4.1.1. SPI KAITA LIETUVOJE 1961–2010 M.	100
4.1.2. SPI KAITA VILNIUJE 1891–2010 M.	115
4.1.3. SPI KAITA BALTIJOS JŪROS REGIONE 1960–2009 M.	124
4.1.4. SPI KAITOS SCENARIJAI XXI A. LIETUVAI IR BALTIJOS JŪROS REGIONUI	130
4.2. SAUSRŲ IDENTIFIKAVIMAS LIETUVOJE REMIANTIS HTK 1961–2010 M.	141
4.2.1. AKTYVIOSIOS AUGALŲ VEGETACIJOS LAIKOTARPIO TRUKMĖ LIETUVOJE	141
4.2.2. STICHINĖS SAUSROS LIETUVOJE IR JŲ IDENTIFIKAVIMO PROBLEMOS	145
4.3. AGROMETEOROLOGINIŲ SAUSRŲ IDENTIFIKAVIMO GALIMYBĖS LIETUVOJE	160
4.4. SRI INDEKSO KAITA LIETUVOJE 1961–2010 M.	165
4.5. SKIRTINGŲ INDEKSŲ REIKŠMIŲ PALYGINIMAS	181
4.5.1. SPI IR HTK REIKŠMIŲ PALYGINIMAS	181
4.5.2. SPI IR SRI REIKŠMIŲ PALYGINIMAS	184
4.6. SOCIOEKONOMINIS SAUSRŲ POVEIKIS LIETUVOJE	190

5. APIBENDRINIMAS	198
IŠVADOS	201
LITERATŪRA.....	203
PUBLIKACIJOS DARBO TEMA	226
PRIEDAI.....	228

IVADAS

Pasaulyje nuolat vyksta įvairūs pavojingi meteorologiniai reiškiniai. Vienas iš pačių pavojingiausių ir daugiausia nuostolių sukeliančių meteorologinių reiškinių yra sausra. Sausros yra svarbi ir neišvengiama klimato sistemos dalis. Jos vienoje ar kitoje planetos vietoje susidaro nuolat (Kagon, 2000).

Tarptautinės gamtinių nelaimių duomenų bazės – EM-DAT (*International Disaster Database*) duomenimis, dėl sausrų sukeltų padarinių 1900–2011 m. laikotarpiu visame pasaulyje mirė daugiau nei 11700000 žmonių, o sausrų padaryti nuostoliai siekė daugiau nei 92 trilijonus JAV dolerių (Horion ir kt. 2012).

Sausra – viena iš pačių pavojingiausių gamtinių nelaimių ir Europoje (Schmidt-Thome, 2006). Kiek daugiau nei per šimto metų laikotarpį (1900–2011 m.) Europoje dėl sausrų sukeltų padarinių mirė daugiau nei 1200000 žmonių (Horion ir kt. 2012).

Nepaisant to, jog dėl sausrų sukeltų padarinių žmonių mirtingumas 1991–2010 m., lyginant su 1900–1990 m. laikotarpiu, sumažėjo daugiau nei 99,8 procentais (Goklany, 2011), sausros išlieka viena iš daugiausia nelaimių atnešančių ir nuostolių pridarančių gamtinių nelaimių pasaulyje, o kartu ir Europoje.

Sausros gali susiformuoti bet kuriuo metų laiku, tiek vietovėse, kur lietūs būna gausūs, tiek vietovėse, kurioms būdingi maži kritulių kiekiai (Khadar ir kt., 2009). Dėl sausrų sukeltų padarinių didžiulių nuostolių patiria žemės ūkio, energetikos, miškininkystės ir kiti sektoriai (Wilhite ir kt., 2000).

Pagal fizines geografines sąlygas Lietuva priskiriama perteklinio drėkinimo zonai, t. y. per metus kritulių iškrinta daugiau negu išgaruoja, todėl mūsų šalyje sausros nėra itin dažnas reiškinys. Tačiau, jei nuo praeito amžiaus paskutiniųjų dešimtmečių šaltuoju metų laikotarpiu kritulių kiekis kinta mažai ar net nustatytas jo augimas, tai vegetacijos laikotarpio metu kritulių kiekis nežymiai mažėja ir gali stipriai kisti laike. Keičiantis klimatui, kylant oro temperatūrai, didėjant

transpiracijai ir evapotranspiracijai, tam pačiam kritulių kiekiui išskrintant per trumpesnę laikotarpį (intensyvėjant krituliams), sąlygos trumpalaikėms sausroms susidaryti šiltuoju metų laikotarpiu taps dar palankesnės.

Sausros samprata Lietuvoje dažnai sutapatinama su jos padarytais nuostoliais žemės ūkiui. Pasaulyje yra priimta išskirti 4 sausrų tipus: meteorologinę, agrometeorologinę, hidrologinę ir socioekonominę.

Meteorologinė sausra priklauso tik nuo kritulių kiekio ir jų nuokrypio nuo daugiamečių normų.

Agrometeorologinė sausra susijusi su drėgmės trūkumu dirvožemyje.

Hidrologinė sausra susijusi su antžeminio ar požeminio vandens lygio kritimu.

Socioekonominė sausra fiksuojama tada, kai kritulių trūkumas labai paveikia žmonių gyvenimą bei ūkį. Socioekonominė sausra yra kitų sausrų tipų sukeltų padarinių rezultatas.

Sausros skiriasi nuo kitų meteorologinių reiškinių tuo, jog nėra labai paprasta nustatyti sausrų pradžią ir trukmę, kadangi meteorologinių sąlygų poveikis sumuojasi per ilgesnį laiką. Dar vienas sausrų skirtumas nuo kitų meteorologinių reiškinių yra tas, jog sausrų negalima tiesiogiai išmatuoti, jos dažniausiai identifikuojamos naudojant sausrų indeksus.

Sausroms ir jų analizei mokslinė bendruomenė Lietuvoje iki šiol neskyrė pakankamai dėmesio. Autorius šiuo darbu ne tik siekia išanalizuoti sausrų dinamiką Lietuvoje bei apžvelgti sausrų socioekonominį poveikį Lietuvai, bet ir tikisi prisidėti prie sausrų sampratos plėtojimo Lietuvoje.

Šiame darbe sausra yra identifikuojama tuomet, kai naudojamo sausrų indekso vertė peržengia tam tikrą ribinę vertę, t. y. pasiekiamas nustatytas sausrų kriterijus, kuris išsilaiko tam tikrą apibrėžtą laiką. Taip pat buvo analizuojami ir sausi laikotarpiai. Sausais laikotarpiais įvardijami laikotarpiai, kurių metu naudojamo sausrų indekso vertė peržengia nustatytą sausrų kriterijų, tačiau nepasiekia apibrėžto sausrų trukmės laikotarpio.

Darbo objektas

Sausros ir sausi laikotarpiai Lietuvoje bei Baltijos jūros regione.

Darbo tikslas

Išanalizuoti sausras ir sausus laikotarpius bei jų dinamiką, remiantis įvairiais sausrų identifikavimui skirtais indeksais.

Darbo uždaviniai

1. Apžvelgti meteorologinių, agrometeorologinių, hidrologinių ir socioekonominių sausrų sampratą bei jos raidą pasaulyje ir Lietuvoje.
2. Atlikti dažniausiai naudojamų sausrų indeksų, skirtų identifikuoti skirtingo tipo sausras, lyginamąją analizę.
3. Naudojant skirtingų laiko žingsnių SPI indeksus išanalizuoti meteorologinių sausrų dinamiką 1961–2010 m. Lietuvoje, 1891–2010 m. remiantis Vilniaus MS duomenimis ir 1960–2009 m. Baltijos jūros regione.
4. Sudaryti meteorologinės sausrų prognozes XXI amžiui Lietuvai ir Baltijos jūros regionui, remiantis SPI indeksu.
5. Išanalizuoti sausras 1961–2010 m. Lietuvoje, identifikuotas HTK indeksu bei įvertinti šio indekso naudojimo privalumus ir trūkumus.
6. Įvertinti duomenų apie dirvožemio drėgmę panaudojimo galimybę identifikuojant agrometeorologines sausras Lietuvoje.
7. Naudojant SRI indeksą išanalizuoti hidrologinių sausrų kartojimąsi 1961–2010 m. Lietuvoje, įvertinti jo tinkamumą hidrologinėms sausroms išskirti Lietuvoje.
8. Įvertinti sąsajas tarp sausrų identifikuojančių meteorologinių ir hidrologinių indeksų.
9. Apžvelgti socioekonominės sausrų poveikį įvairioms ūkio šakoms Lietuvoje.

Ginami teiginiai

1. Sausros samprata skirtingose pasaulio šalyse didžiąja dalimi yra nulemta sausrų sukeltamų padarinių pobūdžiu. Lietuvoje sausros dažniausiai sutapatinamos su agrometeorologinėmis sausromis. Šiuo metu Lietuvoje naudojamas HTK nėra tinkamas indeksas agrometeorologinėms sausroms identifikuoti. Būtina tobulinti šio indekso skaičiavimo metodiką arba agrometeorologinėms sausroms identifikuoti naudoti kelis indeksus.

2. Lietuvos ir Baltijos jūros regione bendras SPI indeksu identifikuotų meteorologinių sausrų skaičius mažėja, tačiau trumpalaikių meteorologinių sausrų skaičius vasaros metu auga. Tikėtina, kad panašios tendencijos išliks ir XXI amžiuje.

3. HTK identifikuotos aktyviojo augalų vegetacijos laikotarpio sausros Lietuvoje tapo dažnesnės ir apima vis didesnę teritoriją.

4. SRI identifikuotų įvairios trukmės hidrologinių sausrų skaičius analizuojamų Lietuvos upių baseinuose sumažėjo. Identifikuojant hidrologines sausras SRI indeksu šiltuoju metu laikotarpiu, geriausia naudoti SRI1, SRI2 indeksus.

Darbo naujumas

Pasaulyje sausros – opi problema, kuriai daug dėmesio skiria mokslininkai, valdžios bei įvairių socioekonominių sektorių atstovai. Lietuvoje mokslinių tyrimų, skirtų sausroms, buvo nedaug ir beveik visi jie atlikti per pastaruosius dešimt metų. Bene svarbiausia priežastis yra ta, jog sausros ilgą laiką Lietuvai didelės grėsmės nekėlė ir susidomėjimas jomis išaugo tik praeito šimtmečio paskutinįjį dešimtmetį po Lietuvoje kilusių stichinių sausrų (1992 ir 1994 m.). Be to, Lietuvoje sausros dažniausiai siejamos tik su šiltuoju metų laikotarpiu ir sausrų daromais nuostoliais žemės ūkiui ir, kiek mažiau, miškams.

Iki šiol Lietuvoje plačiau buvo kalbama tik apie agrometeorologines sausras. Meteorologinėms, hidrologinėms ar socioekonominėms sausroms nebuvo

skiriama pakankamai dėmesio. Šiame darbe pirmą kartą Lietuvoje analizuojami visi 4 sausrų tipai, išryškunami skirtumai tarp jų.

Pasaulinė meteorologijos organizacija dar 2009 m. viso pasaulio hidrometeorologijos tarnyboms rekomendavo naudoti SPI (standartizuotą kritulių indeksą), kaip universalų meteorologinės sausras indeksą. Tačiau Lietuvoje analizuojant sausras, šis indeksas kol kas plačiau naudotas nebuvo. Šiame darbe pirmą kartą išsamiai pagal SPI yra analizuojamos meteorologinės sausras Lietuvoje, sudarytos klimatinės prognozės XXI a. Lietuvai ir Baltijos jūros regionui.

Lietuvoje sausroms identifikuoti naudojamas oficialiai teisės aktais patvirtintas Selianinovo hidroterminis koeficientas (HTK), kurį rusų mokslininkas G. T. Selianinovas pasiūlė dar 1928 m. Šiame darbe, išanalizavus sausras pagal HTK, apžvelgti šio indekso taikymo trūkumai, pateiktos rekomendacijos, kaip naudoti ir interpretuoti HTK.

Lietuvoje kol kas mažai dėmesio buvo skirta ir hidrologinėms sausroms, todėl buvo atlikta hidrologinių sausrų analizė SRI (standartizuotu nuotėkio indeksu) kai kurių Lietuvos upių baseinuose.

Darbo aktualumas ir pritaikomumas

Aktualumas:

Iki šiol Lietuvoje sausras terminas nėra aiškiai apibrėžtas ir siejamas tik su sausromis žemės ūkyje, augalų vegetacijos laikotarpiu. Šiuo metu Lietuvoje sausroms identifikuoti oficialiai naudojamas vienintelis Selianinovo hidroterminis koeficientas (HTK). Tačiau jis nėra tinkamas agrometeorologinei saurai identifikuoti, nes nėra susietas su dirvožemio drėgme ir sausrų sukeltais padariniais. Todėl vertinant agrometeorologinę sausrą ir dėl jos sukeltų padarinių išmokamas draudimo išmokas, būtina įtraukti ir panaudoti informaciją apie dirvožemio drėgmę iš atkurto agrometeorologijos stočių tinklo. Vertinant sausras

HTK kyla ir interpretacijos problemų, todėl būtina pateikti rekomendacijas, pagal kurias visi šio indekso naudotojai vienodai interpretuotų gautus rezultatus.

Pasaulinė meteorologijos organizacija meteorologinėms sausroms identifikuoti yra rekomendavusi naudoti SPI. Norint vertinti sausras Lietuvoje šiuo indeksu, būtina jo tinkamumo ir naudojimo galimybių analizė. Naudojant SPI indeksą būtų galima lengviau integruotis ir į bendrą Europos sausrų monitoringo sistemą.

Sausra yra pavojingas meteorologinis reiškinys, galintis sukelti milžiniškų nuostolių. Šio darbo rezultatai parodė, kad nors Lietuvos teritorijos klimato drėgnumas didėja, trumpalaikių vasaros sausrų skaičius išaugo. Panašios tendencijos numatomos ir XXI a. Yra svarbu laiku identifikuoti skirtingų tipų sausras ir imtis tinkamų poveikio švelninimo bei prisitaikymo priemonių.

Tokios pat išvados pateikiamos ir Europos aplinkos agentūros (EAA) 2009 m. išleistoje ataskaitoje. Joje pabrėžiama, kad nors su didžiausiomis vandens trūkumo problemomis susiduriama Pietų Europoje, vandens trūkumo problema tampa vis aktualesnė ir Šiaurės Europos šalyse. Tikėtina, kad dėl klimato kaitos sausras ateityje bus dažnesnės ir intensyvesnės, ypač vandens trūkumo problema aštrės vasaros mėnesiais (EAA, 2009). Šioje ataskaitoje taip pat pabrėžiama, kad svarbu visais lygmenimis – tiek ES, tiek nacionaliniu – vandens politiką integruoti į kitus politikos tikslus. Šiuos tikslus turės įgyvendinti ir Lietuva, o tam būtinos žinios apie sausras.

Pritaikomumas:

Ankstesniuose darbuose taip plačiai sausras Lietuvoje nebuvo analizuojamos. Todėl darbas turi tiek praktinio, tiek teorinio pritaikymo galimybių.

Šis darbas gali būti naudingas edukaciniais tikslais praplečiant žinias apie sausras sampratą ir sausras sukeliamus padarinius. Darbe gauti rezultatai gali būti naudojami klimatologijos, hidrologijos, ekologijos, žemės ūkio, miškininkystės ir kitose srityse.

Darbas gali būti naudingas tobulinant kompensacijų ir draudimo išmokų dėl sausras padarinių sistemą.

Darbe pateikiama meteorologinių ir hidrologinių sausrų analizė bei meteorologinių sausrų prognozė XXI a. Lietuvai ir Baltijos jūros regionui gali būti naudinga rengiant vandens ir sausrų valdymo planus, kuriant prisitaikymo strategijas.

Atlikus sausrų analizę HTK indeksu pateikiamos rekomendacijos visiems šio indekso naudotojams. Taip pat pateikiamas naujas, patikslintas stichinės sausras apibrėžimas pagal HTK, kuris galėtų būti vartojamas vietoje dabartinio.

Atlikus sausrų analizę SPI ir gavus tyrimo rezultatus, šį sausrų vertinimo metodą galima siūlyti Lietuvos hidrometeorologijos tarnybai prie Aplinkos ministerijos, kur jis galėtų būti naudojamas kaip pagrindinis ar papildomas metodas identifikuojant sausras Lietuvoje.

Gauti darbo rezultatai gali būti naudingi ir tolesniems panašaus pobūdžio tyrimams.

Rezultatų aprobavimas

Darbo rezultatų pagrindu paskelbta 10 publikacijų mokslo leidiniuose (iš jų 4 referuojamuose Thomson Reuters Web of Science duomenų bazėje). Disertacijos darbo rezultatai buvo pristatyti keturiose tarptautinėse ir trijose respublikinėse konferencijose.

Detalus su darbo tema susijusių publikacijų bei dalyvautų konferencijų sąrašas pateikiamas po naudotos literatūros sąrašu.

Padėka

Disertacinio darbo autorius dėkoja visiems asmenims ir organizacijoms padėjusiems rengti šį darbą. Autorius dėkoja darbo vadovui prof. E. Rimkui už pagalbą ir naudingus patarimus, taip pat VU Hidrologijos ir klimatologijos katedros doc. dr. J. Kažiui ir doc. dr. E. Stonevičiui bei visam katedros kolektyvui

už vertingas pastabas. Autorius dėkoja Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos prie AM Klimatologijos skyriaus vedėjai dr. A. Galvontei bei skyriaus darbuotojams, M. Misiunienei už teksto redagavimą. Už nuolatinį moralinį palaikymą ir pagalbą autorius ypač dėkingas K. Majauskaitei, tėvams, artimiesiems, draugams.

Darbe naudojamos santrumpos

- AGMS – automatinė agrometeorologijos stotis;
- ADI (*aggregate drought index*) – bendrasis sausras indeksas;
- BFI (*base flow index*) – minimalaus nuotėkio indeksas;
- BJR – Baltijos jūros regionas;
- BMDI (*Bhalme and Mooley drought index*) – Bhalme ir Mooley sausras indeksas;
- CMI (*crop moisture index*) – pasėlių drėgmės indeksas;
- CSDI (*crop-specific drought index*) – specifinis pasėlių sausras indeksas;
- DAI (*drought area index*) – sausras ploto indeksas;
- DSI (*drought severity index*) – sausras intensyvumo indeksas;
- DTx (*index of agricultural drought*) – agrometeorologinės sausras indeksas;
- EDI (*effective drought index*) – efektyvusis sausras indeksas;
- ESD – ekstremaliai sausa diena;
- ESM – ekstremaliai sausas mėnuo;
- ETDI (*evapotranspiration deficit index*) – evapotranspiracijos deficito indeksas;
- FMDI (*floating month drought index*) – slenkančio mėnesio sausras indeksas;
- GRI (*groundwater resource index*) – gruntinio vandens resursų indeksas;
- HTK – Selianinovo hidroterminis koeficientas;
- KBDI (*Keetch-Byram drought index*) – Keetch-Byram sausras indeksas;
- LHMT – Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba prie Aplinkos ministerijos;
- MS – meteorologijos stotis;
- NRI (*national rainfall index*) – nacionalinis kritulių indeksas;
- NDVI (*normalized difference vegetation index*) – normalizuotas vegetacijos indeksas;

NDVIA (*anomaly of normalized difference vegetation index*) – normalizuotas vegetacijos anomalijų indeksas;

PAI (*Palfai drought index*) – Palfai sausros indeksas;

PZI (*Palmer Z index*) – Palmerio Z-indeksas;

PDSI (*Palmer drought severity index*) – Palmerio sausros indeksas;

PHDI (*Palmer hydrological drought index*) – Palmerio hidrologinės sausros indeksas;

PKS – paprastoji klimatologijos stotis;

PN (*percent of normal*) – procentinis nuokrypis nuo normos;

PVOT – paros vidutinė oro temperatūra;

RAI (*rainfall anomaly index*) – kritulių anomalijos indeksas;

RDI (*reconnaissance drought index*) – sausros atpažinimo indeksas;

SDI (*streamflow drought index*) – nuotėkio sausros indeksas;

SMI (*soil moisture index*) – dirvožemio drėgmės indeksas;

SMDI (*soil moisture deficit index*) – dirvožemio drėgmės deficito indeksas;

SMC (*soil moisture content*) – dirvožemio drėgmės prisotinimo indeksas;

SPI (*standardized precipitation index*) – standartizuotas kritulių indeksas;

SPEI (*standardized precipitation evapotranspiration index*) – standartizuotas kritulių evapotranspiracijos indeksas;

SRI (*standardized runoff index*) – standartizuotas nuotėkio indeksas;

SVI (*standardized vegetation index*) – standartizuotas vegetacijos indeksas;

SWI (*soil water index*) – dirvožemio vandens (drėgmės) indeksas;

SWSI (*standardized soil water index*) – standartizuotas dirvožemio vandens (drėgmės) indeksas;

VCI (*vegetation condition index*) – vegetacijos būklės indeksas;

VMS – vandens matavimo stotis;

WMO (*World Meteorological Organization*) – Pasaulinė meteorologijos organizacija.

1. LITERATŪROS SAUSROS TEMATIKA APŽVALGA

1.1. Sausros samprata ir apibrėžimas pasaulyje

Pasaulyje kasmet įvyksta šimtai gamtinių nelaimių: potvyniai, uraganai, žemės drebėjimai, pūgos, vulkanų išsiveržimai, karščio bangos ir t. t. Apie 85 % natūralių gamtinių nelaimių yra susijusios su ekstremaliais meteorologiniais reiškiniais (Obasi, 1994). Vienas iš tokių ekstremalių meteorologinių reiškinių yra sausra. Daug mokslininkų laikosi nuomonės, kad sausra – vienas iš sudėtingiausių ir mažiausiai suprastų gamtinių reiškinių, kuris pasaulyje paveikia daugiau žmonių nei bet kuris kitas meteorologinis reiškinys (Wilhite, 2000).

E. A. Bryant (1991) išskyrė ir sugrupavo 31 skirtingą gamtinę nelaimę pagal jų pavojingumą. Jis rėmėsi devyniomis pavojingumo charakteristikomis: stiprumu, trukme, išplitimu teritorijoje, žuvusių žmonių skaičiumi, ekonominiais nuostoliais, poveikiu socialiniam sektoriui, poveikio trukme, netikėtumu ir vienu metu vykstančiomis gamtinėmis nelaimėmis. Sausra visose kategorijose, išskyrus paskutines dvi, buvo įvertina kaip pati pavojingiausia. Ypač aiškiai jos pavojingumas išsiskyrė kalbant apie trukmę, išplitimą ir poveikį socialiniam sektoriui.

Nekyla abejonių, jog sausra – daugiausia žmonių gyvybių pasaulyje nusinešęs gamtinis reiškinys per visą žmonijos gyvavimo istoriją. Daugiau nei pusė (60 %) mirčių, susijusių su ekstremaliais orų reiškiniais, yra dėl sausrų sukulto poveikio (Goklany, 2007, 2011).

Sausros poveikis, skirtingai nuo uraganų ar potvynių, yra netiesioginis, o pasireiškia per aplinkos pokyčius, žemės ūkio nuostolius ir pan. Dėl sausrų atsiranda geriamojo vandens ir maisto trūkumas, dėl to kyla badas ir miršta žmonės. Pastaraisiais dešimtmečiais, vystantis pasaulio ekonomikai bei bendradarbiavimui tarp šalių, mirčių dėl sausrų sukeltų padarinių, tokių kaip badas, labai sumažėjo. Žmonių mirčių skaičius 1991–2008 m., lyginant su

1901–1990 m. laikotarpiu, sumažėjo daugiau nei 99,8 % (Goklany, 2011). Tačiau sausrų poveikis viso pasaulio ekonominiam, socialiniam ir aplinkos sektoriams išlieka didžiulis.

Apie sausras rašoma, ar bent jau minimaliai užsimenama, labai įvairiuose rašytiniuose šaltiniuose. Pirmieji rašytiniai šaltiniai apie sausras randami istoriniuose metraščiuose, kronikose. Apie sausrą rašoma ir grožinėje literatūroje, apie ją informacijos galime rasti net ir Biblijoje. Ji minima viename ankstyviausių žinomų literatūros kūrinių – „Gilgamešo epe“, kuris buvo užrašytas molinėse lentelėse apie 3000 m. pr. Kr. (Kelly ir Wright, 1978).

Visa tai tik parodo sausrų svarbą žmonijai. Dažniausiai tokiuose veikaluose sausras minimos kaip faktas, sukėlęs tam tikrus padarinius. Sausros sukelia karus, dėl jų migruoja tautos ar net žlunga ištisos civilizacijos (Gibbons 1993, Haug ir kt. 2003, Drysdale ir kt. 2005, Peterson ir Haug 2005).

Absoliuti dauguma autorių nurodo, kad sausra – pavojingas meteorologinis reiškinys, tačiau ją apibrėžti yra labai sudėtinga. Sausros apibrėžimas visada buvo tam tikras kliuvinys sausras analizei ir monitoringui (Dracup ir kt., 1980). Pasaulyje sausras apibrėžimo klausimas buvo sprendžiamas ne kartą (Yevjevich, 1967; Dracup ir kt., 1980; Wilhite ir Glantz, 1987; Pereira, 1990; Rodriguez-Iturbe, 2000; Agnew ir Anderson, 1992; Wilhite, 1993) ir dažniausiai buvo prieinama prie išvados, kad universalus sausras apibrėžimo nėra. Įvairioje literatūroje galima rasti daugiau kaip 150 sausras apibrėžimų (Gibbs, 1975; Krishnan, 1979, Dracup ir kt., 1980; Wilhite ir Glantz, 1987). Anot A. Darcup ir kt. (1980), pagrindinė problema yra ta, kad sausras samprata ir skirtinguose klimato regionuose, ir šalyse yra skirtinga. Taip pat verta paminėti, kad per istorinį laikotarpį sausras samprata ir apibrėžimas daugelyje šalių kito. Kai kuriose iš jų vieningo ir visiems priimtino sausras apibrėžimo nėra suformuota iki šiol, ir sausras apibūdinimo paieškos tebevyksta.

Anksčiau dažniausiai sausra buvo suprantama kaip kritulių trūkumas. Žemiau pateikiami sausros apibūdinimo pavyzdžiai iliustruoja, kaip įvairiuose regionuose ar šalyse buvo skirtingai suprantama ir apibūdinama sausra.

Didžiojoje Britanijoje (1936 m.) – 15 iš eilės einančių dienų, kurių kritulių kiekis neviršija vienos šimtosios colio;

Libijoje (1964 m.) – kai metinis kritulių kiekis yra mažesnis nei 7 coliai arba kai 2–3 metus neiškrinta didesnis kritulių kiekis;

Indijoje (1960 m.) – sezoninis kritulių kiekis yra du kartus mažesnis už vidutinį daugiamečių to paties laikotarpio kritulių kiekį;

Balyje (Indonezija) (1964 m.) – bet kuris šešių iš eilės einančių dienų laikotarpis be kritulių (Dracup ir kt., 1980; Sen, 1990; The disaster..., 1998).

Bet kuriuo atveju, pagal aukščiau pateiktus apibrėžimus, krituliai yra pagrindinis indikatorius identifikuojant sausrą (The disaster..., 1998). Tačiau sausra gali būti suprantama ir kaip tam tikrų įprastinių gamtinių procesų nebuvimas. Pavyzdžiui, Egipte, kur sausra yra tais metais, kai nebūna Nilo potvynio (Kumar ir Panu, 1997). Tai jau hidrologinis sausros rodiklis.

Sausra gali būti suprantama ir per vandens trūkumo problematiką. Pavyzdžiui, Australijoje sausra yra apibūdinama kaip ilgai užsitęsęs, anomaliai sausas laikotarpis, kai vartotojai neturi pakankamai vandens. Taip pat pabrėžiama, kad „sausra nėra tiesiog mažas kritulių kiekis, nes jeigu taip būtų, didelė dalis Australijos vidinės teritorijos „skęstų“ nesibaigiančioje sausrėje“ (Bureau of Meteorology, 2012).

Nekyla abejonių, jog skirtingų šalių gyventojams bendraujant tarpusavyje būtų sunku suprasti vienas kitą kalbant apie sausrą. O šie, aukščiau pateikti, sausros apibūdinimo pavyzdžiai tik parodo, kodėl neįmanoma sausros apibrėžimo, vartojamo vienoje šalyje, pritaikyti kitai šaliai. D. A. Wilhite (2000) mano, kad turėti universalų sausros apibrėžimą yra nerealu.

Kritulių stoka ir nuokrypiai nuo normos kiekviename regione ar šalyje yra specifiniai ir paremti sausros supratimu tam tikroje teritorijoje. Šalies geografinė

padėtis ir klimatinės sąlygos yra esminis veiksnys, lemiantis sausros sampratą vienoje ar kitoje šalyje.

Žemės mokslų enciklopedijoje, išspausdintoje 1987 metais JAV, rašoma, kad sausra gali būti apibrėžta daugeliu būdų: 1) laikotarpis su kritulių trūkumu; 2) miškų degumo klasė; 3) laikotarpis, per kurį tam tikras žemės ūkio pasėlių ar ganyklų produkcijos kiekis yra mažesnis nei įprastai; 4) laikotarpis, per kurį fiksuojamas drėgmės kiekio sumažėjimas dirvožemyje arba gruntiniame vandens sluoksnyje iki kritinio lygio (Encyclopedia of earth..., 1987).

Daugybę skirtingose šalyse egzistuojančių sausros apibrėžimų galima padalyti į dvi kategorijas: tuos, kurie sausrą apibrėžia kaip natūralų meteorologinį reiškinį ir tuos, kurie sausrą apibrėžia kaip tam tikrą pavojų žmogaus veiklai, ypač žemės ūkiui (Lake, 2008). Sausros, kaip natūralaus reiškinio, pavyzdys gali būti ir S. H. Schneider (1996) „Klimato ir orų enciklopedijoje“ pateikiamas sausros apibrėžimas – „užsitęsęs laikotarpis (sezonas, metai, keleri metai), per kurį kritulių kiekis yra deficitinis palyginus su daugiametėmis to paties laikotarpio kritulių kiekio reikšmėmis“. Antrosios kategorijos pavyzdžiai galėtų būti šie apibrėžimai: „kritulių nuokrypis nuo įprastos normos, besitęsiantis sezoną ar ilgiau, o vandens kiekis yra nebeapakankamas patenkinti žmonių įprastinį poreikį“ (Bureau of Meteorology, 2012) arba „situacija, kai vandens poreikis bet kuriame sektoriuje viršija vandens prietaką iš visų galimų natūralių šaltinių tame regione“ (Ogallo, 1989). Nors ir yra nemažai sausros apibrėžimų, kurie nusako sausrą kaip situaciją, kai yra sutrikdoma pusiausvyra tarp vandens paklausos ir pasiūlos (Agnew, 2000), didesnioji dalis mokslininkų sutinka, kad, iš esmės, sausra yra meteorologinių priežasčių nulemtas reiškinys (Palmer, 1965; Beran ir Rodier, 1985).

Sausros supratimas ir vertinimas pagal tai, kaip ji paveikia žmones, įvairias ūkio šakas bei pramonės sektorius, yra dar vienas kliuvinys apibūdinant ir suprantant šį terminą. Taip yra dėl to, kad skirtingi ūkio sektoriai naudoja vandenį skirtingais būdais ir tikslais, todėl ir skirtingi indikatoriai naudojami apibrėžiant ir

vertinant sausrą (Wilhite ir Glantz, 1985). Be to, gali kisti šalies ar regiono demografinė situacija, pramonės veiklos pobūdis, vystytis technologijos. Todėl, kas vienais metais dar nebūtų traktuojama kaip sausra, po kelerių metų, esant analogiškai situacijai, jau galėtų būti traktuojama kaip sausra, ir atvirkščiai (Wilhite, 2011). Sausra gali būti reiškinys, paveikiantis ir natūralias gamtines ekosistemas vietovėse, kur žmonių nėra ar vandens poreikis nedidelis (Lake, 2008).

Sausra turi skirtingą reikšmę vandentvarkos specialistams, ūkininkams, hidroenergetikams ar gamtos tyrinėtojams (WMO, 2006). Nėra prasmės pateikinti daugybės sausrų apibrėžimų, kurie neretai prieštarauja vieni kitiems (Agnew, 2000), vien tam, kad būtų parodyta, kokie yra įvairiapusiški sausras tiriančių specialistų interesai. Taigi, toks reiškinys kaip sausra, dėl savo įvairovės neturi vieno tikslo apibrėžimo (Wilhite ir Glantz, 1985; Tate ir Gustard, 2000).

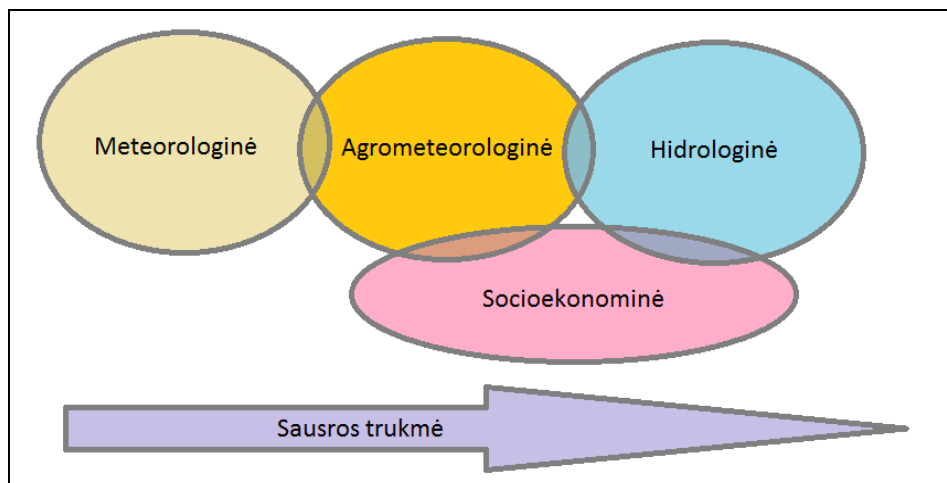
Sausros tipai

Sausros sampratos raidą galima dalyti į du laikotarpius: iki ir po sistemingu hidrometeorologinių elementų instrumentinių matavimų pradžios. Iki instrumentinių matavimų pradžios sausros samprata neretai persipindavo su klimato sąlygomis tam tikroje vietovėje. Po to, kai buvo pradėti vykdyti instrumentiniai matavimai, atsirado ir galimybė apibrėžti sausrą, kaip kritulių nuokrypį nuo normos arba kaip kritulių kiekį per tam tikrą laikotarpį. Tada atsirado ir galimybė naudoti sausros indeksus. Taigi, instrumentinių matavimų pradžią galime laikyti vienu iš esminių perversmų sausros apibrėžime ir sampratoje.

D. A. Wilhite ir M. H. Glantz (1985) nurodė, kad aiškus sausros apibrėžimas yra būtinas bet kokiai šio reiškinio analizei. Anot šių mokslininkų, pagrindinė problema yra ta, kad nėra vieningos ir visiems priimtinos sausrų klasifikacijos schemos, todėl jie pabandė suklasifikuoti sausras į tam tikras grupes. Išanalizavę daugiau kaip 150 sausrų apibrėžimų, randamų ir paskelbtų įvairioje

literatūroje iki 1980 metų, sugrupavo juos į 4 kategorijas: meteorologinius, agrometeorologinius, hidrologinius ir socioekonominius.

Nors kai kurie autoriai išskiria daugiau sausros tipų: atmosferos, klimatologinę, ekologinę, ekonominę, vandens valdymo, visuotinę, dalinę, ekstremalią, daugiametę, sudėtinę, kritinę, regioninę, lokalią, dirvožemio (Wilhite ir Glantz, 1985; Agnew, 2000; Palmer, 1965; Herbst ir kt., 1966; Joseph, 1970a, b; Askew ir kt., 1971; Beard ir Kubik, 1972; Karl 1983; Santos, 1983; Alley, 1984; Chang, 1990), šis aukščiau pateiktas sausrų grupavimas į 4 kategorijas: meteorologinę, agrometeorologinę, hidrologinę ir socioekonominę išplito pasaulyje, šiuo metu yra pripažįstamas ir plačiai naudojamas.



1.1 pav. Sausrų tipų formavimasis, priklausantis nuo trukmės (šaltinis: National drought mitigation centre, www.drought.unl.edu).

Visi šie sausrų tipai yra tarpusavyje susiję. Pirmiausia susiformuoja meteorologinė sausra, vėliau ji gali peraugti į agrometeorologinę sausrą, o agrometeorologinė sausra gali peraugti į hidrologinę sausrą (1.1 pav.). Socioekonominė sausra fiksuojama dėl agrometeorologinės ar hidrologinės sausros poveikio, kai vandens trūkumas labai paveikia žmonių gyvenimą bei ūkio sektorių veiklą.

Meteorologinė sausra. Tai užsitęsios sauso oro sąlygos, kai kritulių iškrinta mažiau nei vidutiniškai per tą patį laikotarpį ir susidaro kritulių trūkumas. Meteorologinė sausra susiformuoja anksčiau nei kiti sausrų tipai (Alliance for Water..., 2010). Taigi, meteorologinė sausra priklauso nuo kritulių deficito ir laikotarpio su kritulių deficitu trukmės.

Jei meteorologinė sausra yra tik kritulių trūkumo indikatorius, tai agrometeorologinė ar hidrologinė sausra yra fizinis meteorologinės sausras pasireiškimas (Kumar ir Panu, 1997).

Agrometeorologinė sausra. Žemės ūkis yra svarbiausias ekonomikos sektorius, kurį labiausiai paveikia sausras (Wu ir Wilhite, 2004). Agrometeorologinė sausra susidaro tada, kai dirvožemio drėgmė sumažėja tiek, kad vandens kiekis, reikalingas augalui vegetacijos metu, tampa nepakankamas. Tai siejama ne tik su krituliais, bet ir su evapotranspiracija. Svarbūs ir kiti parametrai: oro temperatūra, oro drėgnumas, vėjo greitis, dirvožemio tipas, augalo rūšis. Paprastai agrometeorologinė sausra formuojasi jau esant meteorologinei sausrai (Hayes, 2006; National Drought..., 2013).

Dažnai terminai „agrometeorologinė sausra“ ir „žemės ūkio sausra“ literatūroje yra pateikiami ir vartojami kaip sinonimai. Tačiau, šio darbo autoriaus nuomone, terminą „agrometeorologija“ reiktų sieti su meteorologinių sąlygų įtaka visiems augalams (nebūtinai žemės ūkio). O žemės ūkio meteorologija yra agrometeorologijos dalis, susijusi su žemės ūkio kultūromis, auginamomis žmonių. Todėl, kalbant apie sausras tipą, turėtų būti vartojamas terminas „agrometeorologinė sausra“, nes jis apibūdina sausras poveikį ir žemės ūkio kultūroms (augalams), auginamomis žmonių, ir augalams, kurie nėra auginami žmonių. Terminas „žemės ūkio sausra“ gali būti vartojamas tik tada, kai kalbama konkrečiai apie agrometeorologinės sausras poveikį žemės ūkiui (žemės ūkio kultūroms).

Norint tinkamai bei objektyviai apibūdinti agrometeorologinę sausrą reikia suprasti, kad agrometeorologinės sausras apibrėžimas neišvengiamai siejasi su

sausros daromu poveikiu ir žala augalams. Sausros poveikis skirtingoms žemės ūkio kultūroms yra skirtingas. Pavyzdžiui, sausros poveikis javams gali labai skirtis nuo jos poveikio kukurūzams ar bulvėms. Taip yra todėl, kad žemės ūkio kultūros būna pasėtos skirtingu metu, skirtingas ir jų vandens poreikis įvairiose augalo augimo stadijose (WMO, 2006). Tik supratę ir įvertinę tarpusavio ryšius tarp dirvožemio, atmosferos, augalų ir vandens galime tinkamai įvertinti agrometeorologines sausras (Wilhite, 2000).

Jei meteorologinės sausras išvengti neįmanoma, tai agrometeorologinės sausras sukeltus padarinius galime sumažinti naudodami tam tikras prisitaikymo priemones, pavyzdžiui, irigacines sistemas.

Hidrologinė sausra. Hidrologinė sausra susiformuoja tada, kai po ilgesnio deficitinio kritulių laikotarpio, antžeminių ir požeminių vandens šaltinių (upių, ežerų, tvenkinių, gruntinio ir požeminio vandens) vandens lygis nukrinta iki tam tikros apibrėžtos pavojingos ribos. Dažniausiai šis sausras tipas susiformuoja jau esant meteorologinei ir agrometeorologinei sausroms (Hayes, 2006; National Drought..., 2013).

Labai dažnai hidrologinė sausra dar yra skirstoma į *nuotėkio (debito) sausrą* ir *gruntinio (požeminio) vandens sausrą* (Fleig, 2004; van Lanen ir kt., 2007). Nuotėkio sausra susijusi su vandens (skirtingo būvio) atsargų upės baseine trūkumu, kai nukrinta vandens lygis ir sumažėja debitas. Tačiau reikėtų nepamiršti ir ežerų bei vandens talpyklų sausrų, kurios susijusios ne su nuotėkiu, o vandens lygio kritimu. Požeminio vandens sausra susijusi su požeminio vandens lygio kritimu, kuris susiformuoja po ilgesnio kritulių deficito laikotarpio, kai sumažėja kritulių vandens infiltracija į gruntą.

Didžioji dalis hidrologinės sausras tyrimų yra skirta vasaros sausrų analizei, tačiau hidrologinė sausra žiemos laikotarpiu gali turėti didelį poveikį vandens ištekliams tiek žiemą, tiek vėliau, kitą vasarą (Van Loon ir kt. 2010). Kritulių deficitas gali paveikti hidrologinio ciklo dedamąsias, pavyzdžiui, dirvožemio drėgmę, gruntinio vandens atsargas, nuotėkį (Peters ir kt. 2006).

Mokslinėje literatūroje žiemos sausra apibūdinama, kaip sausra, vykstanti tada, kai oro temperatūra yra žemesnė nei 0 °C, o iškritę krituliai bei vanduo upės baseine laikosi sniego ar ledo pavidalu (Hisdal ir kt. 2001; Fleig ir kt. 2006).

A. Van Loon kartu su kolegomis (2010), tyrinėję hidrologines žiemos sausras Norvegijoje ir Slovakijoje, išskiria du tokių sausrų tipus: 1 tipas – sausras labai šalto klimato zonoje, kurios susiformuoja, kai dėl vasaros sausras, žiemos pradžioje vandens lygis būna žemesnis už įprastinį; ir 2 tipas – sausras vidutinio klimato zonose, kurios susiformuoja, kai upės baseine nesudaro pastovi sniego danga, o kritulių yra mažiau nei vidutiniškai. Pirmojo sausras tipo atveju sausras poveikis sumažinamas tirpstančio sniego ir potvynių, o antruoju atveju sausra gali nusitęsti ir iki vasaros. Dėl globalaus klimato šiltėjimo antrasis sausras tipas gali dažniau pasireikšti ir ateityje.

Hidrologinės sausras metu upės nuotėkis yra mažesnis nei įprastai. Kyla klausimas, kiek laiko turi tęstis neigiamas upės nuotėkio anomalija, kad ją būtų galima įvardyti kaip hidrologinę sausrą? Ir ar terminai „hidrologinė sausra“ ir „neigiamas nuotėkio anomalija“ skiriasi? Pasak J. A. Dracup ir kt. (1980), viskas priklauso nuo laikotarpio (ar suvidurkinto nuotėkio laikotarpio), per kurį tęsiasi mažesnis nei įprastai upės nuotėkis. Norint neigiamą upės nuotėkio anomaliją įvardyti kaip hidrologinę sausrą, ji turi trukti bent mėnesį ar ilgiau. Jei mažesnis nei įprastai upės nuotėkis trunka keletą dienų ar savaitę, jis įvardijamas kaip „neigiamas nuotėkio anomalija“.

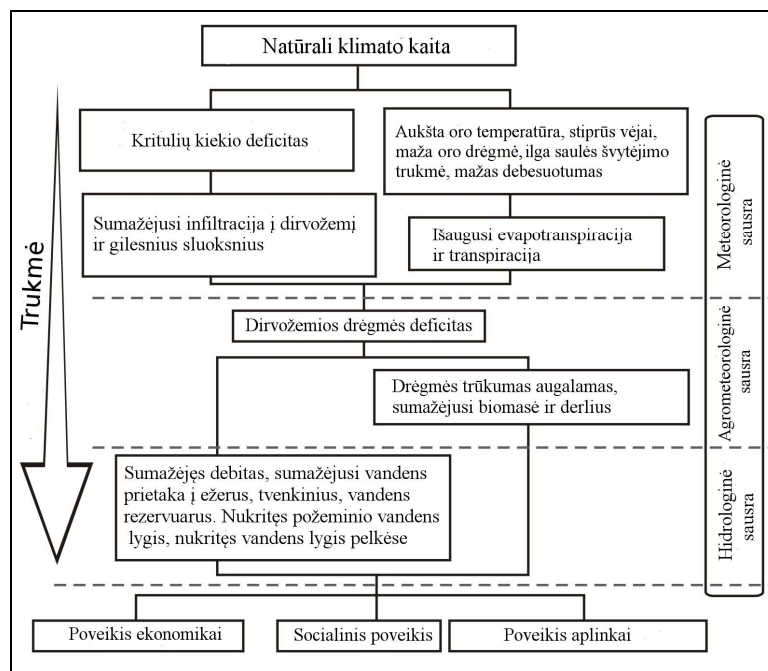
Kai kuriose šalyse hidrologinė sausra yra gana opi problema, ir jai susiformavus visi vandens vartotojai skatinami imtis atitinkamų priemonių, kurios leistų, kiek įmanoma, sumažinti vandens vartojimą. Taip pat, prisitaikant prie tokio tipo sausras, siūloma įrengti rezervuarus, kanalus, ieškoti naujų gruntinio vandens šaltinių. Nors tokie darbai užtrunka ir yra brangūs, jų nauda yra akivaizdi (Alliance for Water..., 2010).

Vis dėlto hidrologinę sausrą vertinti gana sudėtinga, nes dideliems vandens telkiniams ir rezervuarams, didelėms upėms reikia ilgesnio laiko tarpo su kritulių

trūkumu, kad hidrologinė sausra susiformuotų, nei mažiems vandens objektams. Atitinkamai, hidrologinė sausra mažuose vandens telkiniuose, iškritus tam tikram kritulių kiekiui, baigiasi greičiau nei dideliuose telkiniuose.

Socioekonominė sausra. Socioekonominis sausros tipas siejamas su meteorologinės, agrometeorologinės bei hidrologinės sausros poveikiu ir žala visuomenei (Wilhite ir Glantz 1985; American Meteorological..., 1997). Šis sausros tipas yra vieno, dviejų ar visų trijų sausros tipų sukeltų padarinių rezultatas.

Ryšys tarp meteorologinės, agrometeorologinės ir hidrologinės sausros tipų bei galimas sausros poveikis pavaizduotas 1.2 pav.



1.2 pav. Meteorologinių veiksnių įtaka sausros formavimuisi ir ryšys tarp skirtingų sausros tipų (šaltinis: National Drought Mitigation Centre, www.drought.unl.edu).

Kaip matyti 1.2 paveikslo, sausros poveikis gali būti skirstomas į tris kategorijas: ekonominę, socialinę bei poveikį aplinkai. 1.1 lentelėje pateikiamos

pagrindinės problemos, kurias dėl sausros patiria šie trys sektoriai (1.1 lentelė) (Knutson ir kt., 1998; Wilhite ir kt., 2007).

1.1 lentelė. Sausros poveikis ekonominiam, aplinkos ir socialiniam sektoriams (šaltinis: Vora ir kt., 1998) (DMA, 2000).

Ekonominis	Aplinkos	Socialinis
<ul style="list-style-type: none"> • Šalies ekonominio augimo nuostoliai, sulėtėjęs ekonomikos vystymasis • Sumažėjęs derlius, dėl to sumažėja ir maisto produkcija • Išaugusios maisto kainos • Padididėjęs importuojamo maisto kiekis (aukštesnės maisto kainos vartotojams) • Sumažėjusi pieno ir gyvulininkystės produkcija • Išaugęs gyvulių mirtingumas dėl riboto vandens kiekio ir pašaro prieinamumo • Išaugęs gaisrų pavojus, • Sumažėjusi žuvininkystės produkcija • Sumažėjusios ūkininkų pajamos • Išaugęs nedarbas dėl sumažėjusios produkcijos • Nuostoliai pramogų ir turizmo industrijoje • Nuostoliai hidroelektrinėms • Nuostoliai srityse, susijusiose su upių ir kanalų laivininkyste 	<ul style="list-style-type: none"> • Neigiamas poveikis gyvūnų rūšims • Žuvų populiacijos sumažėjimas ir degradacija • Maisto bei geriamo vandens trūkumas gyvūnams • Išaugęs plėšrūniškumas / grobuoniškumas • Tam tikrose teritorijose netenkama dalies faunos ir floros • Žala augalų rūšims, jų biologinės įvairovės praradimas • Išaugęs gaisrų skaičius; gaisrai greičiau plinta, juos sunkiau nuslopinti • Dirvožemio erozija dėl vandens trūkumo ir vėjo • Neigiamas poveikis pelkėms, jų praradimas • Išaugęs gruntinio vandens naudojimas • Suprastėjusi vandens kokybė • Suprastėjusi oro kokybė 	<ul style="list-style-type: none"> • Maisto stoka • Išaugęs žmonių mirtingumas dėl bado, karščio, savižudybių, smurto • Mentalinis (emocinis) ir fizinis stresas • Vandens vartotojų konfliktai • Politiniai konfliktai • Socialiniai neramumai • Visuomenės nepasitenkinimas dėl valdžios sprendimų, susijusių su sausros padarytų nuostolių kompensavimu • Pablogėjusi gyvenimo kokybė, dėl to kintantis įprastas gyvenimo būdas • Išaugęs skurdas • Žmonių migracija

Sausros poveikis gali būti skirstomas į laikiną ir į negrįžtamą. Taip pat sausros poveikis gali būti skirstomas į tiesioginį ir netiesioginį. Tiesioginis poveikis – tai sumažėjusi žemės ūkio produkcija, nugaišę galvijai, išaugęs gaisrų skaičius, kritęs vandens lygis ir pan. Netiesioginis sausros poveikis – tai

tiesioginio sausros poveikio sukeltas padarinys, pavyzdžiui, dėl sumažėjusio derliaus pakyla maisto kainos, suprastėja gyvenimo kokybė ir gyvenamoji aplinka, išauga rizika sveikatai, atsiranda socialinė įtampa ir pan. (Chopra, 2006; Wilhite ir kt., 2007; Massarutto ir kt., 2013).

Neabejotinai, pats didžiausias ir pavojingiausias sausros sukeltas padarinys yra badas. Dėl sausros sukeltų padarinių bado grėsmė didelė ir dabar, o praeityje sausros sukeltos bado padariniai buvo itin pražūtingi (Field, 2000). Pavyzdžiui, vien tik 1983 m. sausra Etiopijoje nusinešė >300 000 žmonių gyvybių, o 1983–1984 m. sausra Etiopijoje, Mozambike ir Sudane nusinešė >600 000 žmonių gyvybių (WMO, 2014). 1901–1990 m. laikotarpiu pasaulyje vidutiniškai per metus milijonui gyventojų teko 58,3 žmonių mirtys dėl sausros sukeltų padarinių, o 1991–2010 m. laikotarpiu pasaulyje vidutiniškai per metus milijonui gyventojų teko tik 0,04 žmonių mirtys dėl sausros sukeltų padarinių (Goklany, 2011).

Ekonominiai sausrų sukelti nuostoliai daugiausia siejami su sumažėjusia žemės ūkio produkcija, ir jie būna labai dideli. Pavyzdžiui, yra apskaičiuota, kad 1987–1989 m. sausros JAV padaryti nuostoliai siekė daugiau nei 39 milijardus JAV dolerių (Riebsame ir kt., 1991). 1994 m. sausra Kinijoje atnešė nuostolių už daugiau nei 21 mlrd. JAV dolerių, o 1992 m. sausra Ispanijoje pridarė nuostolių už daugiau kaip 7 mlrd. JAV dolerių (WMO, 2014). Ekstremalios sausros Australijoje 2002–2003 metais padaryti nuostoliai žemės ūkyje įvertinti daugiau nei 5 mlrd. eurų (Nicholls, 2004; Lake, 2008). Ispanijoje sausra 2005 metais sunaikino 40 % javų derliaus, apskaičiuota, jog šios sausros padaryta žala nedrėkinamiems pasėliams ir ganykloms siekė 2,5 mlrd. eurų (European Commission, 2006).

Būtina pažymėti, jog sausros priklauso ne tik nuo kritulių trūkumo ir kitų meteorologinių elementų, formuojančių sausros erdvinį pasiskirstymą, bet ir nuo aplinkos ypatybių bei socialinio-ekonominio regiono pažeidžiamumo (EurAqua, 2004).

Sausros charakteristikos

Dažniausiai sausra apibūdinama trimis pagrindinėmis charakteristikomis: trukme, intensyvumu ir išplitimo teritorija, kurie kinta ir priklauso nuo vietovės ir laiko (Wilhite ir kt., 2000).

Sausros taip pat apibūdinamos ir pavojingumu, kuris priklauso ne tik nuo sausros trukmės, intensyvumo ir išplitimo teritorijoje, bet ir nuo teritorijos jautrumo sausroms. Vandens poreikis bei jo vartojimas atitinkamame regione priklauso ir nuo gamtinių bei socioekonominių veiksnių. Vandens poreikis priklauso nuo žmonių veiklos ir augalų vegetacijos pobūdžio, regiono ekonominio išsivystymo lygio (Khadr ir kt., 2009).

Trukmė. Sausros nuo kitų pavojingų gamtinių reiškinių skiriasi keliais aspektais. Pirmiausia, sausros poveikio efektas dažnai akumuliuojasi lėtai, per ilgą laiko tarpą ir gali tęstis net keletą metų po to, kai sausra buvo registruota. Sausros pradžią ir pabaigą yra sunku nustatyti (Wu ir Wilhite, 2004). Palyginus su kitomis gamtinėmis nelaimėmis, tokiomis kaip potvyniai, kurie formuojasi labai greitai ir trunka palyginti trumpą laiką, sausros poveikis kaupiasi per ilgesnį laiką ir dažniausiai apima dideles teritorijas. Dėl to sausra dažnai yra apibūdinama kaip „šliaužiantis“ reiškinys. Šį, šiuo metu populiarų, sausrą apibūdinantį terminą pirmasis dar 1948 metais pavartojo I. R. Tannehill (Kagon, 2000).

Laikotarpis su kritulių trūkumu gali varijuoti labai smarkiai. Sausra gali trukti nuo mėnesio iki kelerių metų. Vieno mėnesio kritulių deficitas gali neigiamai paveikti pasėlius, o dideliems vandens telkiniams ar rezervuarams toks deficitinis kritulių laikotarpis įtakos neturės (Potop ir Možny, 2011). Hidrologinei sausrai susiformuoti reikalingas ilgesnis laiko tarpas. Šio tipo sausra, ypač jei kalbama apie požeminio vandens sausrą, gali pasireikšti net po kelerių metų. Pavyzdžiui, Anglijoje 1976 metų hidrologinė sausra buvo nulemta mažo kritulių kiekio prieš tai buvusiais metais, o 1992 metų sausra buvo pasekmė mažo kritulių kiekio 1988 metais. Šiuo atveju požeminio vandens sausra gali būti prognozuojama, o įspėjimai parengiami iš anksto (Agnew, 2000).

Intensyvumas. Intensyvumas dažniausiai apibūdinamas kritulių trūkumu arba sausros sukeltų padarinių stiprumu, susijusiu su kritulių trūkumu. Dažniausiai kritulių kiekis vertinamas pagal jo nuokrypį nuo daugiamečio tos vietovės vidurkio per tam tikrą laikotarpį, naudojant sausros indeksus. Sausros intensyvumas artimai susijęs ir su trukme, ir su padarytais nuostoliais (Khadr ir kt., 2009).

Nors krituliai ir yra pagrindinis meteorologinis veiksnys, nulemiantis sausros susiformavimą, tačiau svarbūs yra ir kiti meteorologiniai elementai. Aukšta oro temperatūra, stiprus vėjas, ilga Saulės spindėjimo trukmė ir maža santykinė oro drėgmė yra taip pat svarbūs veiksniai ir dažnai gali labai sustiprinti sausros intensyvumą (Khadr ir kt., 2009).

Esant aukštesnei oro temperatūrai, dėl išaugusio augalų vandens poreikio padidėja evapotranspiracija ir transpiracija (jas dar labiau sustiprina mažas oro drėgnumas, stiprus vėjas ir ilga Saulės spindėjimo trukmė) (Nash ir Gleick, 1991; Gleick, 2000; Christensen ir kt., 2004; Christensen ir Lettenmaier, 2006; Hoerling ir Eischeid, 2006; Seager ir kt., 2007).

Išplitimas teritorijoje. Sausra gali tęstis ilgą laiką ir išplisti didelėje teritorijoje, pavyzdžiui, Afrikoje sub-Saharos regione 1991–1992 metai buvo patys sausiausi per visą šimtmetį, o sausra apėmė 6,7 milijonus kvadratinį kilometrų, paveikdama 110 milijonų žmonių (WMO, 2009). Sausros dažnai susiformuoja didelėje teritorijoje, apimdamos keletą regionų ar šalių. Tačiau, kai sausros yra išplitusios didelėje teritorijoje, gali būti sunku nustatyti ir įvertinti jų poveikį įvairiems sektoriams (Wu ir Wilhite, 2004). Pavyzdžiui, didelėje teritorijoje gali būti skirtingi dirvožemio tipai, kurių drėgmės imlumas yra skirtingas, augti skirtingos augalų rūšys, kurioms sausros poveikis gali būti nevienodas.

1.2. Sausros samprata ir apibrėžimas Lietuvoje

Lietuva yra perteklinio drėkinimo zonoje (Galvonaitė ir kt., 2007), tad kodėl Lietuvoje vis dažniau tenka kalbėti apie tokį reiškinį kaip sausra?

Yra svarbu atskirti sausras nuo aridiškumo. Aridinės zonos turi nusistovėjusius sauringus laikotarpius, o sausras susiformuoja kaip neigiamas kritulių nuokrypis nuo vyraujančių, daugiamečių normų (Coughlan, 1985). Sausros, skirtingai nuo aridiškumo, yra laikinas reiškinys, kuris nėra pastovus ar reguliarus (Hisdal ir Tallaksen, 2000).

Po Lietuvos nepriklausomybės paskelbimo 1918 m. tarpukario Lietuvos geografsai sausras ir jų analizei Lietuvoje dėmesio neskyrė. Lietuvai esant Tarybų Sąjungos sudėtyje bei po Lietuvos nepriklausomybės atkūrimo, sausras samprata buvo perimta iš vyravusios Tarybų Sąjungoje. Čia sausras buvo skirstomos į atmosferos, dirvožemio ir mišrias. Ši samprata ir sausrų kategorizavimas vyrauja iki pastarųjų metų.

Atmosferos sausra (dėl sauso oro ir aukštos oro temperatūros) lemia labai stiprią augalų transpiraciją ir garavimą iš dirvos bei vandens. Dirvožemio sausra dažniausiai yra atmosferos sausras tęsinys. Tokia sausra, kuri apima ir atmosferą, ir dirvožemį, vadinama mišria. Tačiau gali būti registruojama vien dirvožemio sausra. Pagal šį kategorizavimą pavojingiausiomis sausras buvo laikomos mišrios sausras, nes jos apima ir atmosferą, ir dirvožemį (Klimato žinynas, 2000).

Pagal sausras susiformavimo ir vyravimo laiką jos skirstomos į pavasario, vasaros ir rudens. Pavasario sausras būdinga neaukšta oro temperatūra, sausas oras ir stiprus vėjas. Tokiu laikotarpiu sausra stabdo augalų dygimą, prastai įsišaknijusių pasėlių daigus vėjas gali išpustyti kartu su perdžiūvusiu dirva. Pavojingusia yra vasaros sausra, kuriai būdinga aukšta oro temperatūra, sausi orai ir smarkus garavimas nuo dirvos paviršiaus. Rudens sausra pavojingusia vėlyvosioms žemės ūkio kultūroms ir žiemkenčiams, jai, kaip ir pavasario sausras, būdinga neaukšta oro temperatūra, sausas oras ir vėjas (Čirkov, 1998).

Jei šiuos sausrų tipus palygintume su pasaulyje plačiai naudojamu sausrų kategorizavimu į meteorologinę, agrometeorologinę, hidrologinę ir socioekonominę, tai galima pastebėti, kad iš esmės atmosferos sausra atitiko meteorologinę, o dirvožemio – agrometeorologinę. Hidrologinė sausra nebuvo identifikuojama, nors ją būdavo galima vertinti pagal minimalų nuotėkį. Socioekonominės sausras tipo taip pat nebuvo, tačiau ji būdavo įvertinama, pavyzdžiui, skaičiuojant nuostolius žemės ūkyje. Sausrų susietumas su nuostoliais žemės ūkyje gali būti iliustruotas ir vienu iš sausras apibrėžimų, kurį pateikia A. M. Šulgin: „Sausra – atmosferoje ir dirvoje vykstantis sudėtingas reiškinys, kuris atsiranda dėl kritulių trūkumo, aukštos oro temperatūros ir intensyvaus garavimo, todėl sutrinka vandens balansas ir derlius būna mažesnis, ar net jo nebūna visai“ (Šulgin, 1978; Klimato žinynas, 2000).

Lietuviškojoje tarybinėje enciklopedijoje sausra apibūdinama taip: „Sausra – ilgai trunkanti didelė kritulių stoka. Dažniausiai sutampa su karštesniu ir sausesniu oru. Dirvoje išsenka drėgmė, sumažėja arba žūsta derlius. Dažniausiai pasitaiko stepių zonoje, rečiau miškastepių, 2–3 kartus per 100 metų būna ir miškų zonoje. Sausros žala mažinama agrotechninėmis ir melioracinėmis priemonėmis (pavyzdžiui, giliu rudeniniu arimu, apsauginiu miškų juostų sodinimu, drėkinimu) (Sausra, 1983).

Esminis skirtumas, kuris skyrė sausras sampratą Lietuvoje nuo dažniausiai pasaulyje pateikiamų sausras apibrėžimų, yra tas, kad pas mus sausrą įprasta sieti su šiltuoju metų laikotarpiu, taip eliminuojant sausras galimybę žiemos metu. Šaltuoju metų laikotarpiu taip pat gali formotis meteorologinės bei hidrologinės sausras. Lietuvoje apie sausras žiemą kalbama nebuvo, o vertinamas tik augalų vegetacijos laikotarpis ir žemės ūkio sektorius. Tačiau verta pažymėti, kad aukšta temperatūra nėra būtina sąlyga sausras susidaryti, kadangi net ir sausras žiemos, kai nesusidaro sniego danga, gali lemti sausrų susidarymą bei vandens išteklių trūkumą tų pačių metų ateinančią vasarą (The definition..., 2013).

Iki šiol mažai buvo užsimenama apie hidrologines sausras. Tikriausiai viena iš priežasčių yra ta, jog manyta, kad vandens pokyčiai hidrologiniuose objektuose priklauso hidrologijos mokslo sričiai, o sausra sieta tik su meteorologija. Todėl hidrologinės sausras buvo priskiriamos hidrologijos sričiai, tačiau neįvardijamos kaip hidrologinė sausra. Verta paminėti, kad nors sausras samprata Lietuvoje vis dar siejama su agrometeorologinėmis sausromis, šiuo metu jau daugiau pradedamos analizuoti ir meteorologinės bei hidrologinės sausras.

Visuotinėje Lietuvos enciklopedijoje sausra apibrėžiama taip: „Sausra – aplinkos būseną, kai tam tikro regiono atmosferos ir paviršinėse nuogulose (dirvožemyje) stebimas didesnis nei statistiškai tikėtinas tam regionui vandens trūkumas (drėgmės deficitas). Skiriamos atmosferinės (ilgą laikotarpį kritulių kiekis mažesnis nei vidutinis), dirvožemio (drėgmės yra per mažai, kad būtų vidutinis augalų pasėlių derlius), hidrologinės (vandens atsargos ežeruose, tvenkiniuose ir kituose telkiniuose sumažėja daugiau nei statistinis vidurkis) sausras“ (Sausra, 2012).

Kritulių trūkumas ir nuokrypis nuo normos kiekviename regione ar šalyje yra specifinis ir paremtas sausras supratimu tam tikroje teritorijoje. Šalies geografinė padėtis ir klimatinės sąlygos yra esminis veiksnys, lemiantis sausras sampratą vienoje ar kitoje šalyje, tarp jų ir Lietuvoje.

Šiame darbe sausra yra identifikuojama tuomet, kai naudojamo sausras indekso vertė peržengia tam tikrą ribinę vertę, t. y. pasiekiamas nustatytas sausras kriterijus, kuris išsilaiko tam tikrą apibrėžtą laiką. Taip pat buvo analizuojami ir sausi laikotarpiai. Sausais laikotarpiais įvardijami laikotarpiai, kurių metu naudojamo sausras indekso vertė peržengia nustatytą sausras kriterijų, tačiau nepasiekia apibrėžto sausras trukmės laikotarpio.

Be termino „sausra“ mokslinėje literatūroje galime aptikti tokius terminus kaip *stichinė* ar *ekstremali* sausra. Šie du terminai dažnai vartojami kaip sinonimai. Tačiau terminą *stichinė sausra* labiau tiktų vartoti tuo atveju, kai norima

apibūdinti didelių nuostolių atnešusių ar galinčių atnešti sausrą, t. y. pabrėžiama sausras padarinių svarba.

Ekstremalios sausras atveju ji identifikuojama tam tikrais sausras indeksais. Ekstremali sausra – kai skaičiavimui naudojamo indekso vertė viršija tam tikrą indekso ribinę vertę arba sausras trukmė viršija tam tikrą laikotarpio ribą, kitaip tariant, pasiekiamas nustatytas ekstremalios sausras kriterijus (indekso ribinės vertės yra apibrėžtos indekso skaičiavimo metodikoje). Ekstremalaus įvykio kriterijai – stebėjimais ir skaičiavimais nustatyti arba tarptautinėje praktikoje naudojami fizikiniai, cheminiai ar geografiniai įvykio mastą ir padarinius apibūdinantys dydžiai, kuriuos pasiekęs ar viršijęs įvykis laikomas ekstremaliu (Lietuvos Respublikos..., 1998).

Dažniausiai stichinė sausra (akcentuojami nuostoliai) registruojama tada, kai ji pasiekia pasirinkto sausras indekso ekstremalų kriterijų, t. y. stichinė sausra prilyginama ekstremaliai sausras.

Taigi, nors šiuos du terminus ir galima vartoti kaip sinonimus, stichinės sausras terminas labiau susietas su sausras padarytais nuostoliais bei žala, o ekstremalios sausras terminas labiau susietas su kiekybiniais sausras identifikuojančių indeksų kriterijais.

Verta paminėti, jog šiuo metu Lietuvoje vartojamas įstatymiškai reglamentuotas terminas stichinė (ekstremali) sausra, o toks terminas kaip sausra, kuri nepasiekia ekstremalaus sausras reiškinių kriterijaus nėra aiškiai apibrėžta, t. y. sausras terminas nevartojamas ir sutapatinamas su stichine (ekstremalia) sausra.

Sausras termino tapatinimas su stichine (ekstremalia) sausra buvo vartojamas ir anksčiau, t. y. iki ir po Lietuvos nepriklausomybės atkūrimo. Pagal Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2006 m. kovo 9 d. nutarimą „Dėl ekstremalių įvykių kriterijų patvirtinimo“, stichinė sausra aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpiu būna tada, kai: drėgmės atsargos 0–20 ir 0–100 cm dirvos sluoksnyje yra, atitinkamai, ≤ 10 mm ir ≤ 60 mm, arba / ir hidroterminis koeficientas HTK yra

mažesnis nei 0,5 ir toks išsilaiko ilgiau nei vieną mėnesį (Lietuvos Respublikos..., 2006). Taigi, sausra buvo identifikuojama pagal du kriterijus: HTK indeksą ir produktyviosios drėgmės atsargas dirvoje. Sausrai, nepasiekiančiai ekstremalaus reiškinio kriterijaus, t. y. trunkančiai mažiau nei 30 parų, dėmesys nebuvo skiriamas.

Svarbu paminėti ir tai, jog sausros reiškinys ne tik buvo prilyginamas stichinei (ekstremaliai) sausrai, bet buvo kalbama tik apie aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio sausras, paveikiančias žemės ūkį, kadangi HTK indeksas skirtas vertinti ir analizuoti sausras tik aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpiu. 2000 m. vasario 25 d. paskelbtuose stichinių reiškinų kriterijuose stichinė (ekstremali) sausra buvo apibūdinama lygiai taip pat, t. y. reiškinys, kuris gali būti registruojamas tik aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpiu. Taigi, net ir anksčiau, kai sausras identifikuoti būdavo naudojami duomenys ir apie produktyviosios drėgmės atsargas dirvožemyje, t. y. galimybės leisdavo identifikuoti ankstyvo pavasario sausras (dar neprasidėjus vegetacijai), buvo išskiriama sausra tik aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpiu.

2000 m. agrometeorologinių matavimų tinklas buvo panaikintas (nuo 2009 m. jis atkurtas) ir neliko dirvos drėgmės matavimų, apibūdinančių ekstremalią sausrą Lietuvoje. Nuo 2009 m. agrometeorologinių matavimų tinklas palaipsniui atkuriamas, tačiau drėgmės matavimo duomenys vis dar nėra naudojami. Vienintelis, įstatymo reglamentuotas, stichinės (ekstremalios) sausros paskelbimo kriterijus liko HTK.

Galiojantys teisės aktai, reglamentuojantys sausrą. HTK yra vienintelis oficialus sausros indeksas, pagal kurį šiuo metu identifikuojama ir skelbiama stichinė (ekstremali) sausra Lietuvoje. Pagal Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2011 m. lapkričio 11 d. įsakymą „Dėl stichinių, katastrofinių meteorologinių ir hidrologinių reiškinų rodiklių patvirtinimo“ sausra aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpiu, kaip stichinis meteorologinis reiškinys, skelbiama

tada, kai paros vidutinė oro temperatūra yra ≥ 10 °C, o hidroterminis koeficientas >30 parų iš eilės yra $<0,5$ (Lietuvos Respublikos..., 2011).

Dirvožemio drėgmės parametrai, išmatuoti agrometeorologinio tinklo stotyse, į oficialius, sausrą ar stichinę (ekstremalią) sausrą apibūdinančius, kriterijus neįtraukiami.

Pagal išplitimo teritoriją stichinės (ekstremalios) sausros skirstomos į vietines (lokalias) ir šalies masto. Kai stichinė (ekstremali) sausra nustatoma vienoje ar keliuose meteorologijos stotyse, ji yra vietinės reikšmės, o jei apima $\geq 1/3$ Lietuvos teritorijos, jau gali sukelti šalies masto nelaimę. Pagal išplitimo teritoriją galima išskirti ir dar vieną itin ekstremalų atvejį visai šaliai, kai stichinė sausra apima $\geq 2/3$ šalies teritorijos (Klimato žinynas..., 2000).

Stichinė (ekstremali) sausra yra registruojama Lietuvos hidrometeorologijos tarnyboje prie Aplinkos ministerijos (LHMT). Kai LHMT pagal HTK indeksą registruoja stichinę (ekstremalią) sausrą, ji apie tai informuoja Žemės ūkio ministeriją. Kai Žemės ūkio ministras paskelbia stichinės (ekstremalios) sausros buvimą, stichinė (ekstremali) sausra tampa oficialia Lietuvoje. Tada žemdirbiai turi galimybę gauti išmokas dėl sausros poveikio padarytos žalos.

1993–2007 m. ūkininkams nuostoliai dėl stichinės (ekstremalios) sausros padarinių būdavo atlyginami iš valstybės biudžeto fondų, t. y. nuostolius atlygindavo valstybė. Po 2006 m. stichinės (ekstremalios) sausros buvo pradėta kurti sistema, kuri skatintų draudimo įmones teikti draudimo paslaugas, o ūkininkus draustis, todėl šiuo metu stichinės (ekstremalios) sausros atveju, jei ūkininkas žemės ūkio kultūras buvo apsidraudęs, nuostolius atlygina draudimo kompanija.

Teisės aktuose galima rasti tam tikros informacijos ir apie hidrologinę sausrą. 2011 m. lapkričio 11 d. įsakyme „Dėl stichinių, katastrofinių meteorologinių ir hidrologinių reiškinių rodiklių patvirtinimo“ yra nustatyti kriterijai kai kurioms upėms (Lietuvos Respublikos..., 2011). Vienas iš stichinių

hidrologinių kriterijų yra upės nusekimas, kai vandens debitas upėje sumažėja iki reikšmės, mažesnės už nustatytą gamtosauginį debitą. Hidrologinė sausra iš esmės ir yra vandens lygio kritimas iki kritinės ribos upėse, ežeruose ar vandens rezervuaruose. Tik tokiu atveju šis reiškinys nėra įvardijamas kaip hidrologinė sausra, o konstatuojamas stichinis hidrologinis reiškinys.

Informacijos apie hidrologinę sausrą galime rasti ir Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2005 m. liepos 29 d. įsakyme „Dėl gamtosauginio vandens debito apskaičiavimo tvarkos aprašo patvirtinimo“. Čia pateikiamas ir sausras apibrėžimas: „sausra – laikotarpis, kai į tvenkinį ar užtvenktą ežerą vandens prietakos 30 dienų iš eilės vidutinis debitas yra mažesnis negu apskaičiuotas 95 % tikimybės debitas“ (Lietuvos Respublikos..., 2005).

1.3. Tyrimų sausras tematika apžvalga pasaulyje

Sausros – labai sudėtingas reiškinys, todėl ir moksliniai tyrimai, susiję su sausras, yra labai įvairūs. Sugrupuoti sausras tyrimus yra gana sunku, kaip kad sunku apibūdinti ir pačią sausrą. H. R. Byun ir D. A. Wilhite (1999) sausras tyrimus klasifikuoja į keturias kategorijas:

1. Pirmajai kategorijai priklauso sausras lemiančių priežasčių analizė, kuria siekiama geriau suprasti atmosferos cirkuliaciją, siejamą su sausras formavimusi.

2. Antroji kategorija apima įvairių tipų sausras dažnumo ir intensyvumo analizę, siekiant įvertinti įvairių tipų sausras susiformavimo tikimybę.

3. Trečiajai kategorijai priskiriami darbai, kuriuose sausras apibūdinamos pagal jų daromas nuostolius. Šie nuostoliai gali būti sugrupuoti į ekonominius, socialinius ir aplinkos, jie gali būti tiesioginiai arba netiesioginiai.

4. Ketvirtajai kategorijai priskiriami tyrimai, kurie koncentruojasi į prisitaikymą prie sausras daromo poveikio ir apima švelninimo bei prisitaikymo strategijų priemonių kūrimą.

Šią, dar 1999 m. pasiūlytą, sausrų tyrimų klasifikaciją būtų galima praplėsti ir papildyti.

Penktajai kategorijai galima priskirti tyrimus, skirtus įvertinti ir apžvelgti sausrų indeksus, ir tyrimus, kuriuose siekiama palyginti sausrų indeksus tarpusavyje. Šiai tyrimų grupei galima priskirti ir sausras sampratos tyrimus.

Šeštajai kategorijai priskirtini tyrimai, analizuojantys sausras, buvusias istorinėje praeityje (dažniausiai remiantis dendrochronologine analize), ir tyrimai, skirti sausrų prognozei ateityje.

Septintajai kategorijai priskiriami tyrimai, skirti sausrų kartografavimo galimybėms įvertinti. Pavyzdžiui, sausrų kartografavimo tyrimams pasirinkdami skirtingus interpoliacijos metodus, gausime ir skirtingą sausras „vaizdą“ žemėlapyje.

Aštuntajai kategorijai priskirtini tyrimai, analizuojantys sausrą pasitelkiant palydovinę informaciją.

Kai kurie moksliniai sausras tyrimai apima keletą kategorijų iš pateikto kategorizavimo.

Atmosferos cirkuliacijos sausrų metu tyrimai itin suintensyvėjo XX a. paskutiniaisiais dešimtmečiais, kai atsirado galimybė naudoti globalius meteorologinių matavimų duomenis (Byun ir kt., 1992; Trenberth ir Branstator, 1992; Byun, 1996; Chu ir kt., 1993). Sausrų susiformavimui yra svarbūs ir didelio masto sinoptiniai procesai bei tolimieji klimatodaros veiksniai. Europoje ir Š. Amerikoje svarbesnis veiksnys yra Šiaurės Atlanto osciliacija (NAO), Pietų pusrutulyje ar Šiaurės Amerikos vakarinėse dalyse – El Nina Pietų osciliacija (ENSO). Teigiamos NAO fazės metu sausi orai būdingi pietinei Europos daliai, o šiaurinėje Europos dalyje kritulių kiekis išauga. Vyraujant neigiamai NAO fazei, šiaurinėje Europoje būna sausiau, o pietinėje – drėgniau nei įprasta (Hurrell ir van Loon, 1997; Trigo ir kt., 2002; Hurrell ir kt., 2003). NAO įtaką Europos sausras nagrinėjo daug autorių (Hurrell, 1995; Qian ir kt., 2000; Goodess ir Jones, 2002; Lopez-Moreno ir Vicente-Serrano, 2008). Turkijoje analizuojant NAO įtaką,

daroma išvada, kad Šiaurės Atlanto osciliacija gali būti vienas iš svarbiausių veiksnių, nulemiančių kritulių pasiskirstymą, sausras bei lietingus laikotarpius (Turkes ir Erlat, 2003, 2005; Tatli, 2006; Trigo ir kt., 2002).

JAV vakarinėje dalyje sausras siejamos su ENSO (Scubert ir kt., 2004a). Nustatyta, kad stipriausios sausras vakarinėje Šiaurės Amerikos dalyje susiformavo vyraujant šaltajai ENSO fazei (La Nina) (Mo ir kt., 1991, Trenberth ir Branstator 1992; Atlas ir kt., 1993; Trenberth ir Guillemot, 1996; Sud ir kt., 2003, Herweijer ir kt., 2006; Cook ir kt., 2007). ENSO įtaka sausrų formavimuisi buvo nagrinėta ir Meksikoje (Hayes ir kt., 1999). Nors ENSO įtaka Europoje nėra tokia ryški ir aiškiai išreikšta, J. Vidal (2009) daro išvadą, kad Prancūzijos revoliuciją iš dalies sukėlė neįprastai stiprus La Nina 1789–1793 metais, lėmęs prastą javų derlių Vakarų ir Pietvakarių Europoje, nes vyraujant La Nina fazei kritulių kiekis sumažėja. JAV taip pat buvo ieškota ryšių tarp sausrų ir kitų tolimųjų klimatodaros veiksnių, tokių kaip POI (Ramiojo vandenyno osciliacijos indekso) ir PDOI (Dekadinio Ramiojo vandenyno osciliacijos indekso) (Tadesse ir kt., 2004).

Mūsų regionas daugiausia tirtas remiantis HTK indeksu. HTK buvo pasiūlytas, pripažintas ir plačiai naudojamas buvusioje Tarybų Sąjungoje, tad ir daugiausia mokslinių tyrimų naudojant šį indeksą atlikta tuometinėje Tarybų Sąjungoje, o pastaraisiais dešimtmečiais ir šalyse, kurios priklausė šiai sąjungai. Kadangi šis koeficientas skirtas drėgnumo sąlygoms aktyvaus augalų vegetacijos laikotarpiu vertinti, tai jis dažniausiai naudojamas agroklimateinių sąlygų analizei (Strashnaya ir kt., 2011), apibūdinant šalies drėkinimo sąlygas (Gregorič ir Niemeyer, 2010) ar atliekant agroklimateinį rajonavimą (Dovydenko, 2009). Nemaža dalis darbų skirta įvertinti sausrų sąlygų poveikį įvairioms žemės ūkio kultūroms ir jų derlingumui (Sharipova ir Sabitov, 2011), grūdinių kultūrų derlingumui (Perevedencev ir kt., 2012a; Levitskaja ir kt., 2010), saulėgražų derlingumui (Ustanov ir kt., 2012). HTK naudotas ir klimato kaitos tendencijoms nusakyti (Perevelencev ir kt., 2012b), drėkinimo pokyčių tendencijoms

(Gustokashina ir Maksiutova, 2006) ar klimatiniams pokyčiams įvertinti (Voropay ir kt., 2011).

Vienas dažniausiai naudojamų sausrų indeksų tiriant sausras kitose pasaulio šalyse yra Standartizuotas kritulių indeksas (SPI). Šis sausras indeksas buvo pasiūlytas ir įdiegtas JAV dar 1994 m. Šiuo metu šis indeksas yra vienas populiariausių ir jį sausrų analizei naudoja daugelio šalių mokslininkai.

Sausros šiuo indeksu analizuotos ir įvairiuose žemynuose – Afrikoje (Ntale ir Gan, 2003), Europoje (Lloyd-Hughes ir Saunders, 2002; Vicente-Serrano, 2006), Šiaurės Amerikoje (Logan ir kt., 2010), ir šalyse: Bulgarijoje (Aleksandrov ir Radeva, 2010), Graikijoje (Karavitis ir kt., 2011), Italijoje (Bordi ir kt., 2001; Bonaccorso ir kt., 2003), Ispanijoje (Lana ir kt., 2001), Lenkijoje (Farat, Kepinska-Kasprzak, 1998; Labeledzki, Bak, 2005; Labeledzki, 2007), Portugalijoje (Costa, 2011, Santos ir kt., 2011), Serbijoje (Spasov ir kt., 2000), Slovėnijoje (Ceglar ir kt., 2008), Vengrijoje (Szalai ir kt., 2000), Bangladeše (Rafiuddin ir kt., 2011), Irane (Deneshvar ir kt., 2012), Jordanijoje (Al-Qinna ir kt., 2011), Turkijoje (Sirdas ir Sen, 2001), JAV (Guttman, 1998, 1999; Hayes ir kt., 1999; Lloyd-Hughes ir Saunders, 2002), Meksikoje (Giddings ir kt., 2005). N. B. Guttmann (1999) pasiūlė tiems, kurie naudoja iki šiol Palmerio sausras indeksą (PSDI), kaip pagrindinį naudoti SPI arba jį kartu su PSDI, kaip lygiavertį. SPI naudojamas apibūdinant ne tik sausras, bet ir drėkinimo sąlygas daugelyje regionų ir šalių: JAV (Wu ir kt., 2007), Kanadoje (Quiring ir Papakryiakou, 2003), Italijoje (Piccarreta ir kt., 2004; Vergni ir Todisco, 2010), Irane (Moradi ir kt., 2011; Nafarzadegana ir kt., 2012), Korėjoje (Min ir kt., 2003; Kim ir kt., 2009), Kinijoje (Du ir kt., 2013).

SPI indeksu buvo analizuotos ir sausras upių baseinuose: Rūro upės baseine Vokietijoje (Khadr ir kt. 2009), Kamlihero baseine Turkijoje (Keskin ir Sorman, 2010). Dauguma autorių yra vieningos nuomonės, kad SPI indeksas yra vienas tinkamiausių ir patogiausių indeksų, naudojamų sausroms ir sausiams laikotarpiams identifikuoti, analizuoti ir vertinti.

SPI buvo taikomas ir potvynių monitoringui. M. Guerreiro kartu su kolegomis (2008) pagal SPI apskaičiavo Tejos upės potvynių rizikos rodiklį Portugalijoje, o R. A. Seiler su kolegomis (2002) SPI vertino potvynių riziką Argentinos upėse. Šie mokslininkai mano, kad SPI yra puiki priemonė analizuoti ne tik sausus laikotarpius, bet ir hidrologines sąlygas bei upių potvynius. SPI indeksas buvo taikytas potvynių analizei Kanadoje (Anctil ir kt., 2002), Korėjoje (Min ir kt., 2003) ir Pietų Afrikoje (Rouault ir Richard, 2003).

Dažnai sausrų indeksai buvo lyginami tarpusavyje siekiant įvertinti, kurie iš jų gali geriausiai identifikuoti sausras tiriamajame regione. Tikriausiai, dažniausiai tarpusavyje lyginti SPI ir PSDI sausrų indeksai. B. Lloyd-Hughes ir M. A. Saunders (2002) palygino SPI ir PSDI sausrų indeksus visoje Europoje 1901–1999 metais ir nustatė, kad Europoje SPI indeksas geriau fiksuoja sausras nei PSDI ir yra geras įrankis klimatologinei sausrų analizei. JAV šiuos indeksus tarpusavyje lygino – N. B. Guttman (1998, 1999), M. J. Hayes ir kt. (1999), J. Rhee ir G. J. Carbone (2007); Jordanijoje – M. I. Al-Qinna ir kt. (2011), Slovėnijoje – A. Cegljar ir kt. (2008), Kinijoje – J. Zhai ir kt. (2010). Dauguma mokslininkų, remdamiesi gautais rezultatais, siūlo SPI naudoti kaip pagrindinį sausras indeksą arba laikyti jį lygiu PSDI. Irane analizuojant sausras buvo lyginami SPI ir RDI sausrų indeksai. Analizei atlikti buvo naudojami duomenys iš meteorologijos stočių, esančių labai drėgno ir labai sauso klimato zonose. Gauti rezultatai parodė, kad tarp šių indeksų yra stipri koreliacija (Bazrafshan ir kt., 2010). Sausrų analizė SPI ir RDI indeksais buvo atlikta ir Maltoje (Borg, 2009).

H. Wu ir kt. (2001), naudodami SPI, CZI (Kinijos Z indeksas) ir Z-verčių indeksus analizavo sausras Kinijoje. Buvo nustatyta, kad visais indeksais gautos reikšmės yra gana panašios. E. Joetzjer kartu su kolegomis (2012), palygino PSDI, SPI ir SPEI sausras indeksus. Mokslininkai įvertino metines hidrologines sausras Amazonės ir Misisipės upių baseinuose bei sąsajas tarp šių sausrų ir antropogeninės klimato kaitos.

Atlikus ankstesnių sausrų analizę ir sudarius jų prognozę XXI a. JAV Oklahomos valstijai pagal tris indeksus: SPI, PSDI ir SRI, paaiškėjo, jog visi trys indeksai užfiksavo buvusias istorines sausras, o XXI a. sausrų skaičius turėtų augti (Liu ir kt., 2012).

Dabartinės sausros analizuojamos remiantis instrumentinių matavimų duomenimis, tačiau, išskyrus Europą, dalį Š. Amerikos ir dar keletą kitų regionų, daugumoje pasaulio vietovių instrumentinių meteorologinių matavimų duomenų sekos nesiekia 50–60 metų (Touchan ir kt., 2005). Tam, kad geriau galėtume suprasti sausras dabartyje, reikėtų žinoti ir kokios jos buvo praityje, prieš 100, 200, 500 ar 1000 metų. Praeities sausroms tirti naudojami įvairūs informacijos šaltiniai ir praeities klimato indikatoriai. Dendrochronologiniai medžių rievų tyrimai yra vienas iš geriausių šaltinių, suteikiančių informacijos apie praeities kritulius, oro temperatūrą. Turint informacijos apie šiuos meteorologinius parametrus, galime spręsti ir apie buvusias sausras (Chbouki, 1992; Touchan ir kt., 1999; Meko ir kt., 2001).

Medžio rievų tyrimai gali suteikti reikalingos informacijos apie kritulių kiekio kaitą per paskutinį tūkstantmetį (Touchan ir kt., 2005). Pavyzdžiui, atlikus dendrochronologinę medžių rievų analizę, buvo nustatyta, kad Pietų Suomijoje stiprios sausros buvo dažnos 933–946, 1173–1191, 1388–1402, 1664–1680 metais (Kuusisto, 2004).

Panaudojant dendrochronologinius tyrimus buvo sėkmingai rekonstruotos ir sausrų indeksų reikšmės, pavyzdžiui, Palmerio sausros indekso (PDSI) reikšmės (Blasing ir Duvick, 1984; Stockton ir Meko, 1975, 1983; Cook ir Jacoby, 1977; Stahle ir Cleaveland, 1985, 1988; Cook ir kt., 1988, 1992, 1996; Meko, 1992), Palmerio Hidrologinio indekso (PHDI) reikšmės (Cleaveland ir Stahle, 1996), Standartizuoto kritulių indekso (SPI) reikšmės (Touchan ir kt., 2005).

Tikėtina, jog dėl kintančio klimato sausros, kaip ir kiti ekstremalūs gamtiniai reiškiniai, ateityje bus dažnesnės (IPCC 2007; van Lanen ir kt., 2007; Bordi ir Sutera, 2012). Anot Europos Aplinkos Komisijos, dėl klimato pokyčių

išaugo vandens stygius, sustiprės sausrų padariniai bei dėl to kylanti gamtinė, ekonominė ir socialinė problema (European Commission, 2010).

Daugelis mokslininkų daro išvadą, kad dėl klimato pokyčių per paskutinius dešimtmečius sausrų tiek daugelyje Europos regionų, tiek ir visame pasaulyje tampa ekstremalesnės (Arnell, 1994; van Lanen ir Peters, 2000; Spasov ir kt., 2000; Demuth ir Stahl, 2001; Lloyd-Hughes ir Saunders, 2002; Rossi ir kt., 2003; Al-Qinna ir kt., 2011). Ši tendencija itin sustiprėjo paskutinę XX amžiaus dekadą (1990–2000 m.), kuri buvo pati šilčiausia per XX amžių. Taigi, vykstant klimato kaitai sausrų studijavimui ir analizei skiriamas ypatingas dėmesys (Byun ir Wilhite, 1999).

Globalinė klimato kaita gali daryti didelį poveikį sausrų formavimuisi ir intensyvumui. Nors krituliai ir yra svarbiausias meteorologinis elementas, nulemiantis sausrų formavimąsi, pastaruoju metu yra pabrėžiama ir oro temperatūros įtaka bei svarba (Nicholls, 2004; Cai ir Cowan, 2008; Gerten ir kt., 2008; Lorenzo-Lacruz ir kt., 2010). Daugiausia tai susiję su tuo, jog pakilus oro temperatūrai padidėja evapotranspiracija ir transpiracija (Dai, 2011). Oro temperatūros kaita veikia vandens išteklių kokybę. M. T. Walter kartu su kolegomis, įvertinę oro temperatūros augimo poveikį mažai antropogeniškai paveiktuose baseinuose JAV, nustatė, kad nuo 1950 m. dėl padidėjusios evapotranspiracijos vandens kiekis upių baseinuose sumažėjo (Walter, 2004). Panašūs rezultatai gauti atlikus tyrimus Kanadoje (Yulianti ir Burn, 1998) bei Pietų Prancūzijoje (Lespinas, 2009, Vicente-Serrano ir kt., 2011).

Manoma, kad tokių pavojingų gamtinių reiškinių, kaip potvyniai ir sausrų, dažnėjimas bei ekstremalumo didėjimas XXI amžiuje gali būti vienas iš svarbiausių klimato kaitos padarinių (Katz ir Brown, 1992; Karl ir kt., 1993; Frei ir kt., 1998; Jones, 1999; IPCC, 2007; Sheffield, Wood, 2007; van Lanen ir kt., 2007; Bordi ir Sutera, 2012). Dėl klimato šiltėjimo išaugo oro temperatūra, kritulių kintamumas laike ir erdvėje. Prognozuojama, kad išaugo kritulių intensyvumas: tas pats kritulių kiekis, kuris iškrisdavo per vieną ar kelis mėnesius, iškris keletos

liūčių metu. Kritulių suma, iškritusi per mėnesį ar sezoną, gali išlikti gana didelė, tačiau po smarkios liūties gali susidaryti sausi laikotarpiai. Numatomas kritulių intensyvėjimas gali lemti dažnesnes sausras ir poplūdžius ateityje (IPCC, 2007). Dėl sausrų mažės ir vandens ištekliai bei jų panaudojimo galimybės (Lencher ir kt., 2006; Feyen ir Dankers, 2009).

Pastaraisiais metais netgi yra atsiradęs terminas „globalaus atšilimo tipo sausra“ (angl., „*the global warming-type drought*“). Šis terminas skirtas apibūdinti sausras, susijusias ne tik su kritulių trūkumu, bet ir aukšta oro temperatūra sausros metu (Breshears ir kt., 2005; Adams, 2009). Kaip pavyzdys pateikiama karščio banga, paveikusi Centrinę ir Vakarų Europą 2003 metų vasarą, kuri parodė, kaip oro temperatūros kilimas gali padidinti sausrų ekstremalumą (Ciais ir kt., 2005; Vicente-Serrano ir kt., 2011).

Dalis darbų skirta ir ateities prognozėms sudaryti, naudojant SPI indeksą bei pasirinktą klimato kaitos scenarijų (Al-Qinna ir kt., 2011; Prieto-Gonzalez, 2011).

Pastaraisiais dešimtmečiais nemažai dėmesio skiriama sausrų tyrimams atliekant jų modeliavimą. Siekdamas tobulinti ir plėtoti skaitmeninių prognozių modelius, skirtus sausroms prognozuoti, A. Singleton (2012) pasitelkė ir SPI indeksą. H. Wu su kolegomis (2004), taip pat panaudodami ir SPI indeksą, tobulino agrometeorologinių sausrų rizikos vertinimo modelį Nebraskoje (JAV). Modelis realiuoju laiku vertina agrometeorologinės sausras riziką kukurūzų ir sojų laukuose, tiek prieš šių kultūrų sėją, tiek ir jų augimo metu. Modeliuojant buvo ieškoma tinkamiausio indekso agrometeorologinių sausrų monitoringui ir prognozavimui Kanadoje (Quiring ir Papakryiakou, 2003). Portugalijoje analizuojant sausras buvo taikomas *long-liner* modeliavimas ir Markovo grandinė (Paulo ir kt., 2005; Moreira ir kt., 2006). Markovo grandinės metodas sausroms prognozuoti buvo naudotas ir Kinijoje (Liu ir kt., 2009).

Sausrų kartografavimas — dar vienas aktualus sausrų tyrimų klausimas. Įvairūs autoriai analizavo, koks interpoliacijos metodas geriausiai tinka

atvaizduoti sausras žemėlapyje. Analizuojant sausras, išskirtas SPI indeksu Karnatakos valstijoje (Indijos pietinėje dalyje), buvo remtasi 175 meteorologijos stočių duomenimis bei įvairiais interpoliavimo metodais. Nustatyta, kad tinkamiausias interpoliavimo metodas – *Inverse Distance Weighting* (Sharma ir kt., 2009). Tačiau kiti autoriai, atlikę analizę savo šalyse, nurodo ir skirtingus interpoliavimo būdus kaip geriausius: Jordanijoje — *IDW* (Al-Qinna ir kt., 2011), Graikijoje – *Ordinary kriging* (Chortaria ir kt., 2010).

Remiantis palydovine informacija dažniausiai analizuojamos agrometeorologinės sausras, nes tokiu būdu galima įvertinti augalijos būklę. Taip agrometeorologinės sausras analizuotos Bangladeše (Murad ir Saiful Islam, 2011), Graikijoje (Domenikiotis ir kt., 2002, Tsiros ir kt., 2004), Kinijoje (Gao ir kt., 2008), Irane (Bajgiran ir kt., 2008), Portugalijoje (Gouveia ir kt., 2009), Artimuosiuose Rytuose (Zaitchik ir kt., 2007), Pietvakarių Azijoje (Thenkabel ir kt., 2004).

1.4. Tyrimų sausras tematika apžvalga Lietuvoje

Lietuvoje išsamių darbų apie sausras nėra daug. M. S. Buitkuvienė pagal produktyviosios drėgmės atsargas išanalizavusi dirvožemio sausras 1961–1996 m. laikotarpiu, nustatė, kad pati stipriausia sausra buvo 1992 m. Autorė, kaip pagrindinę sausrų priežastį, nurodė kritulių trūkumą, tačiau pamini ir oro temperatūros bei Saulės švytėjimo trukmės svarbą (Buitkuvienė, 1999).

A. Dirsė tyrė žemės ūkio augalų drėkingumo sąlygas vegetacijos laikotarpiu, naudodamasis savo pasiūlytu kompleksiniu drėkingumo koeficientu (K) (Diršė, 2001). A. Dirsė ir L. Taparauskienė (2010), naudodami HTK ir K, nustatė, kad sausų laikotarpių skaičius Lietuvoje linkęs didėti.

N. Jakimavičiūtė ir G. Stankūnavičius (2008), pasitelkdami SPI bei PN indeksus, analizavo šiltojo laikotarpio sausras Lietuvoje bei šių indeksų informatyvumą. Jie nustatė, kad SPI indeksas oficialiai registruotas sausras

identifikavo geriau nei PN. Jie taip pat ieškojo ryšio tarp sausrų ir atmosferos cirkuliacijos.

E. Stonevičius kartu su bendraautorais (2006) analizavo sausras upių baseinuose remdamiesi EDI indeksu. Autoriai nustatė, kad upės, kurias maitina gruntinis vanduo ar natūraliai yra reguliuojamos ežerų, turi silpną ryšį su EDI sausros indeksu, reprezentuojančiu jų baseinus. E. Rimkus kartu su bendraautorais (2013) nagrinėjo meteorologines ir hidrologines sausras Nemuno baseine.

HTK naudotas ne tik tiesiogiai analizuojant sausras. A. Bukantis ir E. Rimkus (1996) panaudojo HTK indeksą Lietuvos agroklimatiniams ištekliams vertinti ir prognozuoti. Šis indeksas naudotas ieškant ryšio tarp meteorologinių sąlygų ir augalų kenkėjų (Stackevičienė, 2003), vertinant evapotranspiracijos įtaką eglių sodinukams (Grybauskienė, 2009), siekiant įvertinti meteorologinių reiškinių ir trąšų poveikį morkų produktyvumui (Starkutė ir kt., 2010) ar drėgnumo įtaką miežių derlingumui (Lazauskas ir kt., 2005).

Aleksandro Stulginskio universitete autorių kolektyvas, vadovaujamas L. Taparauskienės, parengė ataskaitą „Žemės ūkio sausros įvertinimo kriterijų pagrindimas ir metodikos Lietuvos klimatinėmis sąlygomis parengimas“ (Žemės ūkio..., 2013). Šios ataskaitos tikslas — mokliškai pagrįsti žemės ūkio sausros vertinimo kriterijus ir parengti Lietuvos klimatinėmis sąlygomis taikytiną metodiką. Šiame darbe analizuoti užsienio šalių gerosios praktikos pavyzdžiai, sausrų vertinimo indeksai ir jiems apskaičiuoti taikomi kriterijai, atlikta HTK ir SPI palyginamoji analizė, remiantis keleto meteorologijos stočių duomenimis. Didesnis dėmesys šioje ataskaitoje skirtas dirvožemio drėgmės vertinimui. Remiantis LHMT agrometeorologinių stočių matavimų duomenimis bei eksperimentiniais tyrimais 2012–2013 m. laikotarpiu, analizuotos dirvožemio hidrofizinės savybės, bendrosios dirvožemio drėgmės sąlygos ir dinamika, nustatyta vytimo drėgmė ir sudarytos dirvožemio jutiklių *Watermark* kalibravimo kreivės. Lyginta dirvožemio drėgmės, nustatytos skirtingais tyrimo metodais,

skaitinė interpretacija ir tarpusavio ryšys, nustatytas vegetacijos laikotarpio drėgmingumo vertinimo pagal HTK ir faktinių dirvožemio drėgmės reikšmių ryšys, aptarti dirvožemio drėgmės nustatymo būdai ir prietaisų drėgmei matuoti parinkimas (Žemės ūkio..., 2013).

Nors minimalaus upių nuotėkio tyrimai ir nebuvo siejami su hidrologine sausra, tačiau buvo nagrinėjami keleto Lietuvos mokslininkų. Vienas pagrindinių mokslininkų, tyrusių minimalų Lietuvos upių nuotėkį, buvo A. Barisas (1966, 1971, 1973, 1979, 1981). Panašaus pobūdžio tyrimus taip pat vykdė V. Januškis (1975, 1981), G. Žeimys (1978), M. Lasinskas (1968), K. Kilkus (1978), B. Gailiušis (2001) ir kt.

2. SAUSROS IDENTIFIKAVIMO KRITERIJAI IR INDEKSAI

Sausra – pavojingas meteorologinis reiškinys, kuris nuo kitų pavojingų meteorologinių reiškinių skiriasi tuo, kad jį sunku išreikšti įprastais matavimo vienetais (pvz., °C, mm, m/s). Todėl sausras identifikuoti ir apibūdinti naudojami indeksai, kurie pagal matavimų duomenis, leidžia skaitine išraiška apibūdinti sausumo sąlygas tam tikroje vietoje ir tam tikru metu (Hisdal ir Tallaksen, 2000). Sausrų indeksai yra netiesioginiai įrankiai, padedantys analizuoti ir vertinti sausras laike ir erdvėje (Chiew ir kt., 1998; Rossi ir kt., 2003; Moreira ir kt., 2006). Nors sausros indekso išraiška tėra tik skaičius, tačiau sprendimų priėmimui jis kur kas naudingesnis už bet kokius pradinius meteorologinius duomenis (Hayes, 2006).

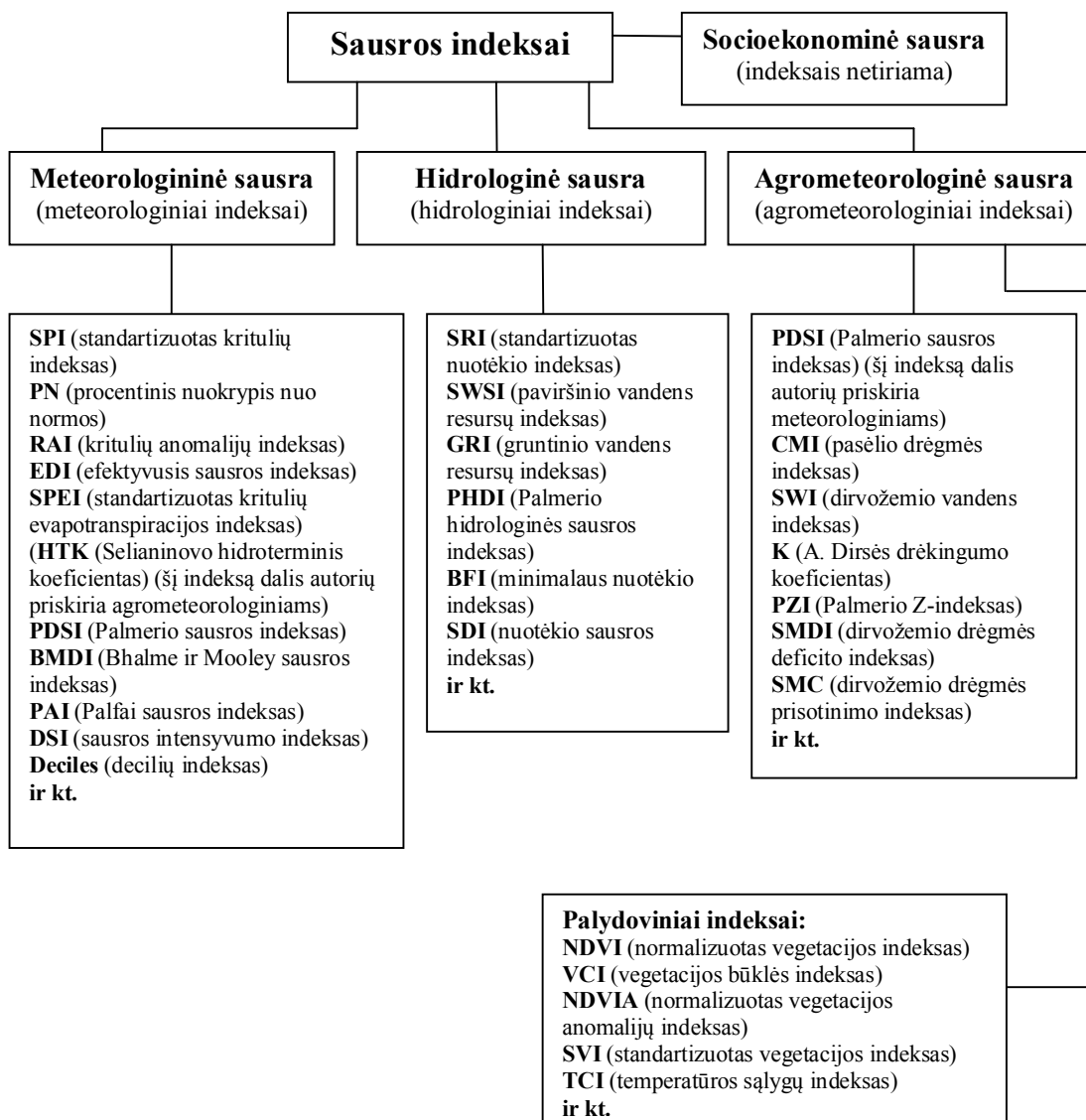
Sausros indeksai naudojami norint nustatyti sausros charakteristikas: trukmę (pradžią ir pabaigą), jos intensyvumą bei išplitimą teritorijoje. Jie taip pat leidžia palyginti sausrų mastą laike ir erdvėje, vizualizuoti sausras žemėlapyje (Niemeyer, 2008; Hisdal ir Tallaksen, 2000).

Galimybė kurti ir naudoti sausrų indeksus atsirado tada, kai buvo pradėti sistemingi hidrometeorologiniai matavimai. Todėl daugelis sausras vertinančių indeksų buvo sukurti XX amžiaus antroje pusėje. Tai buvo meteorologiniai, agrometeorologiniai, hidrologiniai indeksai. Pradėjus naudoti palydovinius duomenis buvo sukurti palydoviniais matavimais paremti sausrų indeksai. Didžioji jų dalis skirta agrometeorologinių sausrų identifikavimui.

Įvairioje mokslinėje literatūroje nurodoma, kad iš viso yra sukurti apie 160 sausras vertinančių indeksų, tačiau, pagal kai kuriuos autorius, indeksų yra dvigubai ar trigubai tiek (Gregorič ir Niemeyer, 2010). Kai kurie iš jų buvo sukurti ir naudoti tik viename regione ar vienoje šalyje ir plačiau pasaulyje nepaplito.

Sausrų indeksus galima kategorizuoti pagal keletą skirtingų aspektų. Pagal vieną kategorizavimą sausrų indeksus būtų galima suskirstyti į tuos, kurie paremti

tiesioginiais matavimais meteorologijos, agrometeorologijos ar hidrologijos stotyse ir tuos, kurie naudoja distanciniais metodais gautus duomenis.



2.1. pav. Sausros indeksų kategorizavimas.

Dažniausiai sausrų indeksai grupuojami pagal tai, kokiam sausrų tipui identifikuoti jie yra skirti, t. y. meteorologiniam, agrometeorologiniam ar hidrologiniam (2.1 pav.). Kaip atskira kategorija išskiriami sausrų indeksai

apskaičiuoti iš palydovinių duomenų, nors daugumas jų skirta agrometeorologinei sausrų vertinti. Kai kurie specialistai į atskirą kategoriją išskiria ir bendrusius–jungtinius sausrų indeksus. Šių indeksų skaičiavimui naudojama informacija apie kritulius, dirvožemio drėgmę ir hidrologinius parametrus (Keyantash ir Dracup, 2004; Wanders ir kt., 2010).

Paprastai sausrų indeksai išreiškiami trumpiniais – trijų ar keturių raidžių akronimais, kurių paskutinis simbolis yra raidė „I“ žyminti, jog tai indeksas (Niemeyer, 2008).

Sausros gali būti vertinamos pagal tiesiogiai išmatuotus duomenis, pavyzdžiui, kritulių kiekį, dirvožemio drėgmę, vandens lygį vandens telkiniuose ar debitą upėse. Tačiau dažniausiai sausroms identifikuoti ir vertinti naudojami sausrų indeksai, kurie išreiškiami formule ir įtraukia keletą meteorologinių, hidrologinių ar dirvožemio rodiklių.

2.1. Meteorologiniai sausrų indeksai

Meteorologiniai sausrų indeksai priskiriami pirmajai sausrų indeksų kartai, atsiradusiai kuomet buvo pradėti meteorologinių elementų matavimai. Šie sausrų indeksai pirmiausia siejami su krituliais (skystais, kietais ir mišriais), tačiau ir kiti meteorologiniai rodikliai, tokie kaip oro temperatūra, oro drėgnumas, vėjas ir kt., neretai yra įtraukiami į sausrų indekso skaičiavimo algoritmą. Pagrindinė problema kylanti naudojant kritulių duomenis, yra didelis kritulių kintamumas laike ir erdvėje (Steinemann ir kt., 2005).

Tikriausiai, pats paprasčiausias ir vienas seniausių sausrų bei nepakankamo drėkinimo vertinimo būdų yra iš eilės einančių dienų be kritulių (arba su labai nežymiais krituliais) skaičius. Šiuo atveju, viskas priklauso nuo šalies geografinės padėties ir vyraujančių klimatinių sąlygų. Diena be kritulių laikoma tokia, kai kritulių nebuvo ar fiksuojami tik kritulių pėdsakai. Dalis mokslininkų mano, kad dieną be kritulių galima laikyti ir tuo atveju, jei per parą neiškrinta daugiau kaip 2

mm kritulių, nes toks kritulių kiekis ekosistemoms beveik jokio poveikio neturi (Byun ir Wilhite, 1999). Apibrėždami dienų be kritulių skaičių, reikalingų sausrui prasidėti mūsų platumuose, vieni autoriai mano, kad turi būti netrumpesnis kaip 15 iš eilės einančių dienų periodas (Huschke, 1970), kiti teigia, kad toks periodas turėtų būti ilgesnis nei 25 dienos (Steila, 1986).

Neretai meteorologinių sausrų indeksų grupei priskiriami ir tie sausrų indeksai, į kurių skaičiavimą kartu su meteorologiniais parametrais yra įtraukiami ir duomenys apie dirvožemio drėgmę (Hisdal ir kt., 2004). Visgi, juos būtų tikslingiau priskirti indeksams, kurie skirti apibūdinti agrometeorologinę sausrą (Wanders ir kt., 2010).

Dažniausiai naudojami meteorologinės sausrų tipo indeksai yra šie: SPI (standartizuotas kritulių indeksas), PN (procentinis nuokrypis nuo normos), RAI (kritulių anomalijų indeksas), EDI (efektyvusis sausrų indeksas), SPEI (standartizuotas kritulių evapotranspiracijos indeksas), HTK (Selianinovo hidroterminis koeficientas).

SPI (standartizuotas kritulių indeksas)

SPI skaičiavimo metodika. SPI indeksas buvo sukurtas 1993 metais JAV, Kolorado valstijos universiteto mokslininkų T. B. McKee, N. J. Doesken ir J. Kleist, siekiant įvertinti kritulių deficitą įvairios trukmės laikotarpiais. SPI bet kokiai vietai apskaičiuojamas iš mėnesio kritulių sumų duomenų sekos pirmiausia pritaikant gama skirstinį ir vėliau jį transformuojant į normalų skirstinį taip, kad visos SPI reikšmių sekos vidurkis būtų lygus 0 (McKee ir kt., 1993; Edwards ir McKee, 1997).

SPI indekso skaičiavimas paremtas tuo, jog mėnesio kritulių sumų pasiskirstymas prilyginamas gama skirstiniui:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} X^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (2.1)$$

$\beta > 0$ – laiko intervalo parametras, $\alpha > 0$ – skirstinio formos parametras, $x > 0$ – kritulių kiekis, $\Gamma(\alpha)$ – skirstinio gama funkcija, kuri apskaičiuojama:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad (2.2)$$

α ir β – apskaičiuojami:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{\frac{4A}{3}} \right) \quad (2.3)$$

$$\beta = \frac{\bar{X}}{\alpha} \quad , \quad (2.4)$$

čia

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (2.5)$$

n – analizuojamų metų skaičius.

Apskaičiuoti parametrai naudojami skaičiuojant sukaupuosius dažnius, per tam tikrą laiko tarpą (pavyzdžiui, mėnesį, metus):

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (2.6)$$

Gama skirstinys yra neapibrėžtas, kai $x=0$, o sukaupuųjų dažnių pasiskirstymo funkcija skaičiuojama taip:

$$H(x) = q + (1-q) G(x) \quad (2.7)$$

Sukauptųjų dažnių skirstinys $H(x)$ transformuojamas į standartinį normalųjį skirstinį Z , kurio vidurkis lygus 0, o standartinis nuokrypis 1;

$$Z = SPI = -\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right), \text{ kai } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (2.8)$$

$$Z = SPI = +\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right), \text{ kai } 0,5 < H(x) < 1,0 \quad (2.9)$$

$$t = \sqrt{\ln \frac{1}{(H(x))^2}}, \text{ kai } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (2.10)$$

$$t = \sqrt{\ln \frac{1}{(1 - H(x))^2}}, \text{ kai } 0,5 < H(x) < 1,0, \quad (2.11)$$

čia $c_0=2,515517$; $c_1=0,802853$; $c_2=0,010328$; $d_1=1,432788$; $d_2=0,189269$; $d_3=0,001308$.

SPI reikšmės būna teigiamos arba neigiamos, t. y. tam tikro laikotarpio kritulių kiekis būna didesnis arba mažesnis už to paties laikotarpio vidutinį kritulių kiekį. Teigiamos SPI reikšmės apibūdina didesnę už vidutinį kritulių kiekį, o neigiamos atvirkščiai – mažesnę už vidutinį kritulių kiekį, t. y. SPI indeksas apibūdina drėgnas ar sausas sąlygas (2.1 lentelė). Atliekant skaičiavimus ir SPI reikšmes transformuojant į normalų skirstinį, statistine prasme tai reiškia, kad beveik 95 % visų SPI reikšmių patenka į intervalą tarp 2 ir -2, o likusioms, ekstremaliai sausas arba ir ekstremaliai drėgnas sąlygas nusakančioms reikšmėms, tenka 5 % visų atvejų. Teoriškai, jei kritulių kiekis pasiskirstęs pagal gamą skirstinį SPI reikšmių pasiskirstymo tikimybė turėtų atitikti pateikiamą 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. SPI reikšmių interpretacija (WMO, 2012).

<i>Reikšmė</i>	<i>Interpretacija</i>	<i>Tikimybė (%)</i>
$\geq 2,0$	Ekstremaliai drėgna	2,3
1,99– 1,5	Labai drėgna	4,4
1,49 – 1,0	Vidutiniškai drėgna	9,2
0,99 – 0,0	Nedidelis drėgnumas	34,1
0,0 – –0,99	Nedidelis sausumas	34,1
–1 – –1,49	Vidutiniškai sausa	9,2
–1,5 – –1,99	Labai sausa	4,4
$\leq -2,0$	Ekstremaliai sausa	2,3

Kiekviena sausra turi pradžią ir pabaigą. T. B. McKee siūlo sausros pradžią laikyti tada, kai SPI indekso reikšmė nukrinta žemiau $-1,0$, o sausros pabaigą tada, kai šio indekso reikšmė tampa teigiama. Sumuojant visas SPI reikšmes, kurios patenka į apibrėžtą sausros trukmės intervalą, gauname sausros intensyvumo išraišką. Šis sausros apibūdinimo, trukmės bei intensyvumo vertinimo apibrėžimas yra taikomas visiems apskaičiuotiems SPI laiko žingsniams (Hayes, 2007).

SPI laiko žingsniai, kuriems gali būti skaičiuojamas indeksas varijuoja nuo 1 iki 72 mėnesių, tačiau plačiausią praktinį pritaikymą turį SPI laiko žingsniai nuo 1 iki 24 mėnesių (Guttman, 1994, 1999).

Skaičiavimai, gali būti atliekami skirtingais laiko žingsniais (pvz., 1, 3, 12, 24, 60 mėnesių), kurie įvardijami kaip SPI1, SPI3, SPI12, SPI24, SPI60. Vieno mėnesio laiko žingsnis reiškia, kad SPI skaičiavimui naudojami ir apibūdinami vieno mėnesio kritulių kiekio duomenys, t. y. to mėnesio, kuriam ir skaičiuojamas SPI. SPI3 skaičiavimui reikalingi trijų mėnesių kritulių kiekio duomenys, t. y. to mėnesio, kuriam skaičiuojama SPI reikšmė ir prieš tai buvusių dviejų mėnesių (pavyzdžiui, rugpjūčio SPI3 apima rugpjūčio, liepos ir birželio kritulių sumas), o tai reiškia, kad SPI3 parodo trijų mėnesių laikotarpio drėkinimo sąlygas lyginant su daugiamete reikšme. Skaičiuojant SPI12, apimamos to mėnesio, kuriam jis skaičiuojamas, ir prieš tai buvusių 11 mėnesių kritulių sumos (iš viso 12 mėnesių), o indekso reikšmė apibūdina vienerių metų sąlygas lyginant su daugiamete norma ir t. t.

Anot B. Lloyd-Hughes ir A. Saunders (2002), naudojant skirtingus laiko žingsnius galima identifikuoti visus tris (meteorologinę, agrometeorologinę ir hidrologinę) sausros tipus. Pavyzdžiui, 1 mėnesio SPI atspindi trumpo laikotarpio sąlygas ir dažniausiai naudojamas meteorologinėms sausroms identifikuoti, taip pat jis taikomas ir analizuojant trumpalaikius dirvožemio drėgmės pokyčiais vegetacijos periodo metu (WMO, 2012). Dirvožemio drėgmės sąlygos, skirtos agrometeorologinės sausros vertinimui, į kritulių deficitą reaguoja per palyginti trumpą laiko tarpą, todėl laiko žingsnis, skirtas apibūdinti agrometeorologinę sausrą, yra 1–6 mėnesiai. Gruntinio vandens, upių nuotėkio, ežerų ir vandens rezervuarų reakcija į kritulių trūkumą yra lėtesnė, todėl hidrologinėi sausrai identifikuoti dažniausiai yra taikomas 6–12 mėnesių SPI (Lloyd-Hughes ir Saunders, 2002; WMO, 2012). Tokioms klimato sąlygoms, kurios būdingos Lietuvai, sausras identifikuotas SPI laiko žingsniais didesniais už SPI12 (pvz.: SPI24, SPI48, SPI60) galima būtų vadinti nebe sausromis, o sausais laikotarpiais.

Taigi, skirtingi indekso laiko žingsniai, skirti skirtingiems sausrų tipams identifikuoti: trumpesnio laiko žingsnio meteorologinėms ir agrometeorologinėms sausroms, o ilgesnio laiko žingsnio – hidrologinėms sausroms apibūdinti (Heim, 2002; Costa, 2011).

SPI privalumai ir trūkumai. Vienas iš svarbiausių šio indekso privalumų yra jo paprastumas, nes užtenka vien mėnesinių kritulių kiekio duomenų. Tačiau rekomenduojama, jog kritulių duomenų seka turėtų būti mažiausiai 30 metų laikotarpio, o tai neretai gali tapti ir nemenku indekso trūkumu (Wilhite ir kt., 2000; Ceglar ir kt., 2008). Teoriškai SPI gali būti skaičiuojamas ir iš mažesnio nei 30 metų laikotarpio, tačiau mažėjant metų skaičiui pagal mažą imtį apskaičiuoti rodikliai gali būti netikslūs, todėl galimos kur kas didesnės sausros vertinimo rezultatų paklaidos.

Gana didelis indekso privalumas yra tai, kad jis gali būti skaičiuojamas skirtingiems laiko žingsniams. Taip pat, SPI leidžia gana tiksliai nustatyti sausrų pradžią ir pabaigą (Guttman, 1998; Wilhite ir kt., 2000; Ji, 2003).

Prie indekso trūkumų minima ir tai, kad pagal šį indeksą identifikuotos ekstremalios sausros per ilgesnį laikotarpį visose vietovėse pasireiškia vienodu dažnumu, t. y. SPI negali identifikuoti regionų, kuriems būdingas didesnis sausumas ar drėgnumas nei aplinkiniams regionams (Hayes, 2007). Net tame regione, kuris pasižymi labai dideliu kritulių kiekiu, vis vien bus 2–3 % atvejų, kai kiekviename analizuojame SPI laiko žingsnyje bus identifikuojami ekstremaliai sausi mėnesiai.

Kritulių duomenų sekos ilgio įtaka. Vienas iš šio indekso kūrėjų T. B. McKee nurodo, kad kritulių duomenų seka, naudojama SPI skaičiavimui, neturėtų būti trumpesnė kaip 30 metų (McKee ir kt., 1993). Kritulių duomenų sekos ilgis gali paveikti ir gama skirstinio formą, todėl naudojamos skirtingo ilgio kritulių duomenų sekos gali lemti ir skirtingus rezultatus SPI indekso skaičiavime (Wu ir kt., 2005). N. B. Guttman, išanalizavęs imties ilgio poveikį kritulių pasiskirstymui gama skirstinyje, nustatė, kad 40–60 metų kritulių duomenų seka yra reikalinga, norint, kad parametras stabilizuotųsi centrinėje skirstinio dalyje, o 70–80 metų duomenų sekos reikalingos, kad parametras stabilizuotųsi skirstinio kraštuose, o tai yra svarbu siekiant, kad apskaičiuotos SPI indekso reikšmės būtų kuo tikslesnės (Guttman, 1994; Wu ir kt., 2005).

N. B. Guttman rekomendavo naudoti ne trapesnes, kaip 50 metų kritulių duomenų sekas, 1 metų trukmės ar trumpesnėms sausroms identifikuoti, ir ilgesnes nei 50 metų kritulių duomenų sekas daugiametėms sausroms identifikuoti (Guttman, 1999). Tačiau kitų mokslininkų atlikti tyrimai parodė, kad užtenka trumpesnio, t. y. 30–39 metų periodo (Hayes, 2006; Kumar ir kt., 2009).

Deja, reikalavimas, kad kritulių duomenų sekos analizuojamoje stotyje būtų ne trumpesnės kaip 30 metų (trumpiausias reikalaujamas laikotarpis), kai kuriose šalyse yra neįgyvendinamas. Kadangi SPI yra tikimybe pagrįstas indeksas, galima daryti prielaidą, kad ilgesnė duomenų seka yra statistiškai patikimesnė. Taigi, analizuojamoje stotyje SPI skaičiavimui reiktų pasirinkti ir naudoti kiek

įmanoma ilgesnę kritulių duomenų seką, nes kuo ilgesnė seka naudojama, tuo rezultatai patikimesni, ypač kai SPI laiko žingsniai yra dideli (Wu ir kt., 2005).

Tačiau naudojant labai ilgas duomenų sekas reiktų nepamiršti ir to, kad klimato sąlygos nuolat, nors ir nežymiai, kinta, kitaip tariant skirtingiems laikotarpiams būdingos ir skirtingos klimatinės sąlygos (Landsberg, 1975; Burroughs, 2001). Analizuojant kritulius JAV yra nustatyta, kad kritulių kiekis XX a. pabaigoje nukrypsta nuo daugiamečių vidurkių (Mauget, 2003), o atskirais 10–20 metų periodais kritulių kiekio fluktuacijos, lyginant su daugiamečiais vidurkiais gali siekti daugiau nei 25 % (Karl ir Riebsame, 1984). Tokiu atveju, jei SPI skaičiavimui naudojama ilga (pvz., 100 metų) kritulių duomenų seka, o analizuojamo periodo pradžia dėl natūralių klimato svyravimų buvo sausesnė nei analizuojamo periodo vidurys ar pabaiga, visi sausros atvejai SPI indeksu gali būti registruojami analizuojamo periodo pradžioje.

HTK (Selianinovo hidroterminis koeficientas)

Lietuvai yra aktualiausios sausros įvykstančios šiltuoju metų laikotarpiu, nes jos veikia žemės ūkio produktyvumą. HTK indeksas yra taikomas tik tuo metų periodu, kai vidutinė oro temperatūra yra aukštesnė už 10 °C, t. y. vertina sausras aktyviuoju augalų vegetacijos laikotarpiu. Nors HTK ir priskiriamas meteorologinės sausros indeksų grupei, jo pagalba Lietuvoje šiuo metu nustatomos sausros aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpiu (Lietuvos Respublikos..., 2011), kurios Lietuvoje, nors ir oficialiai neįvardijama, yra siejamos su agrometeorologine sausra. Tačiau HTK indeksas neįvertina drėgmės atsargų dirvoje, kurios yra būtinos vertinant agrometeorologinę sausrą, nors, kita vertus, jis negali būti naudojamas vertinant meteorologinę sausrą šaltuoju metu laikotarpiu.

Tai vienas iš ankstesnių iki šiol tebenaudojamų sausros indeksų. Šis indeksas dar 1928 metais buvo pasiūlytas rusų mokslininko G. Selianinovo, kuris vertindamas sausras vertino potencialų drėgmės trūkumą. Indekso skaičiavimui

naudojo augalų vegetacijos laikotarpio kasdieninius kritulių ir oro temperatūros duomenis (Selianinov, 1928).

G. Selianinovas parų vidutinės oro temperatūros sumą sumažino 10 kartų bei prilygino garingumui ir laikotarpio drėgnumą-sausumą pasiūlė vertinti pagal šią formulę:

$$HTK = \frac{P}{0,1 \sum t_{10}}; \quad (2.12)$$

čia P – skaičiuojamojo laikotarpio kritulių suma mm, t_{10} – skaičiuojamojo laikotarpio (kai paros vidutinė oro temperatūra didesnė nei 10 °C) vidutinės paros temperatūros suma.

Lietuvoje HTK skaičiuojamas iš 30 parų laikotarpio. HTK skaičiuojamas kiekvienai parai, pradedant nuo 30-osios vegetacijos periodo pradžios dienos (kai jau susidaro 30 parų laikotarpis, kurio paskutinė diena ir išreiškiamą skaitine indekso reikšme). Kadangi kiekviena HTK reikšmė gaunama iš 29-ių prieš tai buvusių parų ir tos paros, kuriai skaičiuota indekso reikšmė, kritulių ir vidutinės oro temperatūros sumų (2.12 formulė), tai kiekvieną parą, tas 30-ies parų laikotarpis yra perstumiamas per vieną parą į priekį iki pat paskutinės vegetacijos periodo dienos. HTK reikšmių interpretacija pateikiama 2.2 lentelėje.

Tokia reikšmių interpretacija naudojama vienam mėnesiui, vienai sausrai, kuri trunka daugiau nei mėnesį, ar vienam vegetacijos laikotarpiui apibūdinti.

Trumpiausias laikotarpis, kuriam galima skaičiuoti HTK – mėnuo (t. y. 30 kalendorinių dienų). Tačiau galima vertinti ir visos vasaros HTK reikšmę. Pagal G. T. Selianinovą ir S. Sapožnikovą, HTK, apskaičiuotas birželiui–rugpjūčiui, gali nusakyti vasaros drėgnumo sąlygas (Čirkov, 1988). HTK apskaičiuotas vegetacijos laikotarpiui (kai oro temperatūra >10 °C), atitinka geobotanines juostas (Rudenko, 1958).

2.2 lentelė. HTK reikšmių interpretacija (LHMT, 2013).

Reikšmė	Interpretacija
>1,6	Perteklinis drėgnumas
1,0–1,5	Optimalus drėgnumas
0,8–0,9	Nepakankamas drėgnumas
0,6–0,7	Sausringa
0,4–0,5	Sausa
<0,4	Labai sausa

HTK indekso privalumas yra tas, kad kartu su krituliais naudojami ir temperatūros duomenys, kurie atspindi garingumo sąlygas, taip pat prie privalumų paminėtinas paprastas indekso skaičiavimas bei interpretavimas.

Tačiau šis indeksas turi ir nemažai trūkumų: Lietuvoje jis naudojamas sausrai aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpiu identifikuoti ir yra siejamas su agrometeorologine sausra. Šiam sausros tipui identifikuoti labai svarbus kriterijus yra drėgmės atsargos dirvožemyje, o HTK neįvertina nei dirvožemio granulimetrinės sudėties, nei susikaupusių produktyviųjų drėgmės atsargų dirvožemyje. Taip pat indeksas neįvertina potencialaus ir faktinio garingumo skirtumo, nėra įvertinamas ir augalo vandens poreikis.

Šis indeksas susietas su vegetacijos periodu, dėl šios priežasties nėra galimybių identifikuoti sausras ankstyvą pavasarį, kai dar neprasidėjusi aktyvi augalų vegetacija.

PN (Procentinio nuokrypio nuo normos indeksas)

Tai vienas paprasčiausių sausros indeksų. Šis indeksas apskaičiuojamas kaip analizuojamo periodo kritulių kiekio santykis su vidutiniu daugiamečiu kritulių kiekiu per tą patį periodą (2.13 formulė).

Daugiametis kritulių kiekis per analizuojamą periodą prilyginamas 100 %, o gautas rezultatas parodo, kokią procentinę dalį sudaro analizuojamo periodo kritulių kiekis.

$$PN = \frac{x_i}{\bar{x}} \times 100 \quad (2.13)$$

čia x_i – kritulių kiekis per analizuojamą periodą, \bar{x} – vidutinis daugiamečių analizuojamo periodo kritulių kiekis.

PN yra naudingas ir efektyvus, kai yra naudojamas viename regione, vertinant vieno sezono ar mėnesio sausumą. Taip pat šį indeksą lengva interpretuoti bei naudoti ir neprofesionaliems vartotojams (Hayes ir kt., 2007).

RAI (kritulių anomalijų indeksas)

Šį indeksą pasiūlė Van Ray 1965 m. Indeksas skaičiuojamas savaitės, mėnesio arba metų laiko žingsniui, siekiant įvertinti teigiamas ir neigiamas kritulių anomalijas (Keyantash ir Darcup, 2002). Laiko žingsnio pasirinkimas priklauso nuo kritulių pasiskirstymo per metus. Vietovėse, kur būna ilgi sausi periodai pasirenkamas ilgesnis laiko žingsnis nei ten, kur sausi periodai trumpi (Wanders ir kt., 2010).

Indekso skaičiavimui naudojami savaitės, mėnesio ar metų kritulių kiekio sumos (2.14 formulė):

$$RAI = -3 \frac{P - \bar{P}}{\bar{E} - \bar{P}} \quad (2.14)$$

čia P – kritulių kiekis analizuojamu periodu, \bar{P} – vidutinis daugiamečių (klimato norma) kritulių kiekis, \bar{E} – 10 mažiausių kritulių kiekio reikšmių vidurkis per matavimų laikotarpį.

Indekso interpretavimas remiasi 10 ekstremaliausių atvejų, pagal ilgalaikius duomenis (Oladipo, 1985; Wanders ir kt., 2010; Keyantash ir Darcup, 2002). E. Oladipo (1985) palyginęs RAI indeksą su PDSI konstatavo, kad esminių skirtumų gautuose rezultatuose nėra.

EDI (efektyvusis sausros indeksas)

Šio indekso skaičiavimams naudojamas paros kritulių kiekis. Daugelio šalių patirtis parodė, kad šis indeksas gerai diagnozuoja sausros pradžią ir pabaigą (Aplinkos apsaugos..., 2010). EDI yra standartizuotas indeksas, kuris gali įvertinti ir sausros intensyvumą.

EDI skaičiavimas paremtas efektyviųjų kritulių (EP) kiekio skaičiavimu, atsižvelgiant į nuotėkį ir evapotranspiraciją (Wanders ir kt., 2010). H. Byun ir D. Wilhite (1999) siūlo EP skaičiuoti taip:

$$EP_i = \sum_i^{n=1} \left[\frac{\sum_{m=1}^{m=1} P_m}{n} \right] \quad (2.15)$$

čia i – laikotarpio trukmė paromis, P_m – kritulių kiekis m dienų prieš pasirinktą datą (Aplinkos apsaugos..., 2010).

Žinant EP, sekantis žingsnis yra EDI skaičiavimas:

$$EDI = \frac{(EP_i - \mu)}{\sigma} \quad (2.16)$$

čia μ – vidutinis daugiamečių efektyviųjų kritulių kiekis, σ – standartinis efektyviųjų kritulių nuokrypis nuo daugiamečių vidurkių.

EDI reikšmės kinta nuo -2 iki 2 . Sausos sąlygos diagnozuojamos tada, kai EDI reikšmės < -1 , kuomet indekso reikšmė žemesnė, tuo sausros intensyvumas stipresnis.

SPEI (standartizuotas kritulių evapotranspiracijos indeksas)

Vienas naujesnių sausros indeksų yra SPEI (standartizuotas kritulių–evapotranspiracijos indeksas). Šį indeksą sukūrė ir pasiūlė

S. M. Vicente-Serrano ir kt. (2010) kaip alternatyvą SPI indeksui. Šio indekso skaičiavime vertinamas skirtumas tarp kritulių ir PET (potencialios evapotranspiracijos), o pats indeksas pagrįstas vandens balanso skaičiavimu. Evapotranspiracija skaičiuojama C. W. Thornthwite pasiūlytu metodu. Pagrindinis indekso privalumas yra tas, kad vertinamas, ne tik kritulių kiekis, bet ir oro temperatūra. Dar vienas šio indekso privalumas yra galimybė naudoti vienos savaitės laiko žingsnį. Tokiu būdu ne tik tiksliau nustatomas sausros pradžios ir pabaigos laikas, bet ir sausros gali būti identifikuojamos tais atvejais, kai didelė mėnesio kritulių suma yra nulemta vienos stiprios liūtis.

Egzistuoja ir daugiau indeksų meteorologinei sausrai identifikuoti, iš dažniau naudojamų dar galima būtų paminėti: BMDI (Bhalme ir Mooley sausros indeksas), PAI (Palfai sausros indeksas), DSI (sausros intensyvumo indeksas), deciles (decilių indeksas).

2.2. Agrometeorologiniai sausrų indeksai

Šioje sausrų indeksų grupėje kartu su meteorologiniais parametrais dažniausiai naudojami ir duomenys apie dirvožemio drėgmę. Informacija apie dirvožemio drėgmę gali būti gauta arba iš tiesioginių matavimų arba netiesiogiai (atliekant tam tikrus skaičiavimus ar modeliavimą).

Agrometeorologinei sausrai susiformuoti, be kritulių trūkumo svarbūs ir kiti parametrai, tokie kaip evapotranspiracija bei dirvos drėgnumas. Tačiau, jei žemės ūkio laukuose įrengtos drėkinimo sistemos, agrometeorologinė sausra gali būti priklausoma ir nuo vandens rezervuare esančių vandens atsargų, kurios naudojamos dirbamų laukų drėkinimui. Jei žemės ūkio laukai yra drėkinami, nors ir nelyja, žemės ūkio kultūros vis tiek gaus joms reikalingą drėgmės kiekį tol, kol rezervuaruose bus pakankamas vandens atsargų kiekis, kuriuo drėkinami žemės ūkio laukai. Tačiau, jeigu žemdirbystės laukai nėra drėkinami, vos pajutę drėgmės stygių pasėliai nebegalės augti, kadangi vieninteliai drėgmės šaltiniai, kuriuos

gauna augalai, yra krituliai bei dirvožemio drėgmės atsargos, kurios taip pat priklauso nuo iškritusio kritulių kiekio (Moneo ir Iglesias, 2004).

Dažniausiai naudojami agrometeorologinės sausras indeksai yra: PDSI (Palmerio sausras indeksas) (nors šį indeksą dalis autorių priskiria meteorologinės sausras indikatoriams), CMI (pasėlio drėgmės indeksas), SWI (dirvožemio vandens indeksas). Šiai grupei galima priskirti ir A. Dirsės pasiūlytą drėgmingumo koeficientą (K). Kai kurie autoriai agrometeorologinių indeksų grupei priskiria ir anksčiau aptartą HTK (Selianinovo hidroterminis koeficientas).

PDSI (Palmerio sausras indeksas)

PDSI buvo pasiūlytas W. C. Palmerio dar 1965 m. Šis sausras indeksas pagrįstas vandens balanso lygties koncepcija „pajamos–išlaidos“.

PDSI skaičiavimui naudojamas dviejų sluoksnių dirvožemio modelis, kuris remiasi dvejomis prielaidomis. Pirmą prielaidą, kad pirmo dirvožemio sluoksniu drėgmės talpumas 25 mm, tuo tarpu antrame sluoksnyje dirvožemio drėgmės talpumas priklauso nuo vietovės ir dirvožemio charakteristikų. Antra prielaida – iš pradžių sunaudojamas visas vanduo pirmame sluoksnyje, o tik tada gali prasidėti drėgmės praradimas antrame sluoksnyje (Alley, 1984; Weber ir Nkemdirim, 1998).

PDSI skaičiavimui reikalingi kritulių, oro temperatūros, evapotranspiracijos, dirvožemio tipo ir drėgnumo duomenys:

$$PDSI_i = 0.897 PDSI_{i-1} + \frac{1}{3} Z_i \quad (2.17)$$

čia $Z = Kd$,

K – koeficientas,

$$d = P - (\alpha PE + \beta PR + \gamma PRO - \delta PL) \quad (2.18)$$

čia P – krituliai, PE – potenciali evapotranspiracija, PR – potencialus dirvožemio drėgmės prisotinimas, PRO – potencialus nuotėkis, PL – potencialus drėgmės praradimas dėl evapotranspiracijos laikotarpiu be kritulių (visi parametrai matuojami milimetrais (mm)).

PDSI indeksu galima nustatyti vienas svarbiausių sausros charakteristikų: sausros intensyvumą ir pradžios bei pabaigos laiką. Indekso reikšmių sunorminimas ir standartizavimas leidžia atlikti kiekybinį sausrų palyginimą skirtingose vietovėse ir skirtingais metų laikotarpiais (Alley, 1984).

PDSI plačiai naudojamas JAV, tačiau jo taikymas tikslingas tik didelėse ir tolygaus reljefo teritorijose. Nors PDSI yra vienas žinomiausių sausros indeksų, platesnio praktinio pritaikymo kitose šalyse neturi (Kogan, 1995). Tai gali būti aiškinama šio indekso nepakankamu tikslumu regionuose, kuriems būdingi dideli kritulių ar nuotėkio ekstremumai bei jų pasiskirstymo netolygumas (Smith ir kt., 1993).

CMI (Pasėlių drėgmės indeksas)

CMI buvo sukurtas W. C. Palmerio 1968 m., kaip PDSI indekso papildinys ir buvo skirtas trumpalaikių dirvožemio sausrų ir dirvožemio drėgmės pokyčių monitoringui.

Šio indekso skaičiavimui reikalingi kritulių kiekio, dirvožemio drėgmės bei infiltracijos duomenys. Laiko žingsnis, kuriam skaičiuojamas CMI – viena savaitė.

Pagrindinis indekso privalumas, tai galimybė identifikuoti trumpalaikes sausras (Keyantash ir Darcup, 2002). Tačiau, jo pritaikymas ilgai trunkančių sausrų nustatymui yra komplikotas (Hayes, 2007). Taip pat šis indeksas naudojamas tik vegetacijos sezono metu, todėl negali būti naudojamas žiemą ar sąlygom prieš augalų vegetacijos pradžią įvertinti (van Loon ir kt., 2010).

SWI (dirvožemio vandens indeksas)

SWI identifikuoja vandens kiekį dirvožemyje: indekso reikšmė kinta nuo -1 iki 1 (vandens kiekis lygus vandentalpai), 0 (vandens kiekis augalo vytimo taške). SWI apskaičiuojamas pagal formulę:

$$SWI = \frac{w - w_t}{w_v - w_t} \quad (2.19)$$

čia: w – vandens kiekis dirvoje, w_t – vytimo taškas, w_v – dirvos drėgmės imlumas.

Dirvožemio vandens indekso reikšmė virš 0 parodo vandens kiekį didesnį nei vidutiniškai, o žemiau 0 – sausesnes nei vidutiniškai dirvožemio sąlygas. Sausra fiksuojama kai $SWI < -1$ (Žemės ūkio..., 2013).

A. Dirsės drėgmingumo koeficientas (K)

A. Dirsė, išanalizavęs ir apibendrinęs skirtingų Lietuvos vietovių drėgnumo sąlygas bei augalų vegetacijos laikotarpio aprūpinimo drėgme laipsnį, drėgmingumo sąlygas pasiūlė vertinti kompleksiniu rodikliu – drėgmingumo koeficientu (K). Pagrindinis šio koeficiento pranašumas yra tas, kad jis įvertina visus vandens balanso elementus: kritulius, suminį garavimą, sukauptąsias dirvožemio vandens atsargas pavasarį, kurias augalai gali panaudoti sausais laikotarpiais (Dirsė, 2001; Dirsė ir Taparauskienė, 2010). Drėgmingumo koeficientas apskaičiuojamas taip:

$$K = \frac{H + \Delta W}{E} \quad (2.20)$$

čia H – skaičiuojamojo laikotarpio krituliai mm, ΔW – produktyviosios augalinio dirvožemio sluoksnio drėgmės atsargos mm (priklausomai nuo dirvožemio

tipo: priemolio dirvožemiuose – 80 mm, priemolio – 100 mm, molio – 120–130 mm), E – suminis išgaravimas skaičiuojamuoju laikotarpiu (mm) apskaičiuojamas:

$$E = 0,5 \cdot \sum d + 105 \quad (2.21)$$

čia $\sum d$ – paros vidutinės oro drėgmės deficito suma per skaičiuojamąjį laikotarpį hPa.

Pagal drėgmingumo koeficientą (K) vegetacijos laikotarpiai skirstomi, kai K :

- < 0,7 – vegetacijos laikotarpis sausas,
- 0,7–1,0 – vegetacijos laikotarpis vidutiniškai drėgnas,
- >1 – vegetacijos laikotarpis drėgnas.

Taip pat prie dažnai sutinkamų ir naudojamų indeksų agrometeorologinei sausrai identifikuoti būtų galima paminėti: Palmerio Z-indeksą, SMDI (dirvožemio drėgmės deficito indeksą) ir SMC (dirvožemio drėgmės prisotinimo indeksą).

2.3. Hidrologiniai sausrų indeksai

Hidrologinės sausras indikatoriai yra susiję su gruntinio vandens lygiu, vandens lygiu vandens telkiniuose ar upių nuotėkiu. Hidrologinės sausras vertinimui reikalinga informacija gali būti gauta arba iš tiesioginių matavimų, arba atlikus reikalingus skaičiavimus ar modeliavimą. Dažniausiai hidrologinė sausra prasideda praėjus tam tikram laikotarpiui nuo meteorologinės sausras pradžios. Labai svarbios yra paties vandens telkinio baseino charakteristikos. Nuo baseino hidrogeologijos priklauso ar paviršinis, ar gruntinis vanduo anksčiau sureaguos į kritulių deficitą. Jei upę daugiausiai maitina gruntinis vanduo, nuotėkio bei gruntinio vandens sausras gali prasidėti tuo pačiu metu. Tačiau dažniausiai į

sausėnes sąlygas visuomet greičiau reaguoja paviršinis nuotėkis (van Lanen ir Tallaksen, 2004). Nors hidrologiniai sausrų indeksai daugiausiai grindžiami paviršinio vandens nuotėkiu, iš esmės šie indeksai apibendrina beveik visus hidrometeorologinius procesus, vykstančius upės baseine.

Dažniausiai naudojami hidrologiniai sausros indeksai yra šie: SRI (standartizuotas nuotėkio indeksas), SWSI (paviršinių vandens resursų indeksas), GRI (gruntinio vandens resursų indeksas).

SRI (standartizuotas nuotėkio indeksas)

Šį indeksą hidrologinei sausrai vertinti 2008 m. pasiūlė S. Shukla ir A. W. Wood (Shukla ir Wood, 2008). Skaičiuojant SRI, naudojamas tas pats algoritmas kaip ir SPI atveju, tik atliekant skaičiavimus naudojami mėnesiniai vandens debito, o ne kritulių kiekio duomenys. Kadangi SPI skaičiavimo metodika detalai aptarta šio darbo 2.1 skyrelyje, šiame skyrelyje SRI skaičiavimo metodika plačiau aptarinėjama nebus.

Taigi, SRI indeksas apibūdina debito nuokrypį nuo įprastinių daugiamečių normų per tam tikrą pasirinktą laikotarpį (pavyzdžiui, 1, 3, 4, 12 mėnesius).

SRI reikšmių interpretacija yra tokia pati kaip ir SPI (2.1 lentelė).

SWSI (Paviršinio vandens resursų indeksas)

SWSI indeksą 1982 m. pasiūlė B. A. Shafer ir E. L. Dezman, siekdami įvertinti sniego dangos įtaką vandens balansui ir nuotėkio vėlavimą dėl sniego palaipsnio tirpimo. SWSI tinkamas hidrologinių sausrų skaičiavimui, kadangi į jo skaičiavimo algoritmą įtraukti ir meteorologiniai, ir hidrologiniai parametrai (Shafer ir Dezman, 1982). SWSI skaičiuojamas:

$$SWSI = \frac{aP_{snieg.} + bP_{kritul} + cP_{nuotek} + dP_{rezervuar} - 50}{12} \quad (2.22)$$

čia: a, b, c, d svoriniai vandens atsargas sniege, kritulius, nuotėkį, talpyklos vandens lygį apibūdinantys koeficientai ($a+b+c+d=1$), P – tikimybės (100 %) neviršijimas kiekvienai iš šių keturių vandens balanso komponentių atskirai paėmus.

Kiekvienos komponentės, maksimalus galimas dydis P (tikimybė) yra 100 %. Komponentės tikimybių neviršijimas – analizuojamų metų, atskirų komponentių reikšmė (%), lyginant su maksimaliai galimu dydžiu (t. y. 100 %).

Kiekvienos komponentės, maksimalus galimas dydis P (tikimybė) yra apskaičiuota remiantis daugiamečiais duomenimis. Svorinio koeficiento dydis kiekvienam upės baseinui nustatomas atskirai, vertinant kiekvienos komponentės įtaką upės baseinui (Garen, 1992).

Laiko žingsnis, kuriam skaičiuojamas šis indeksas, yra vienas mėnuo. Naudojama tokia pati reikšmių interpretacija kaip ir PDSI indekso (Shafer ir Dezman, 1982).

GRI (Gruntinio vandens resursų indeksas)

GRI yra paremtas keturiais vandens balanso sistemos elementais: krituliais, evapotraspiracija, dirvožemio drėgme ir gruntinio vandens atsargomis. Dirvožemio drėgmės ir gruntinio vandens atsargų įvertinimui naudojamas vandens balanso modelis, į kurį įtraukiami anksčiau minėti elementai. GRI skaičiavimui, iš vandens balanso modelio, reikalinga tik informacija apie gruntinį vandenį (Wanders ir kt., 2010). GRI apskaičiuojamas:

$$GRI_{i,j} = \frac{D_{i,j} - \mu D, j}{\sigma D, j} \quad (2.23)$$

čia: $GRI_{i,j}$ yra GRI reikšmė skaičiuojamai dienai i, metams j, D – gruntinio vandens resursai tą pačią dieną. μD ir σD , atitinkamai, vidurkis ir standartinis gruntinio vandens resursų nuokrypis, skaičiuojamai dienai i.

Standartiniam ir vidutiniam nuokrypiui rekomenduojama naudoti ne trumpesnę, kaip 30 metų duomenų seką (Mendicino ir kt., 2008).

GRI naudojama ta pati reikšmių interpretacija, kaip ir SPI indeksui.

Taip pat dažnai hidrologinei sausrai identifikuoti yra naudojami PHDI (Palmerio hidrologinės sausras indeksas), BFI (minimalaus nuotėkio indeksas), SDI (nuotėkio sausras indeksas) ir kiti indeksai.

2.4. Palydoviniais duomenimis paremti sausrų indeksai

Palydovinė informacija suteikia naujas galimybes diagnozuojant drėgmės deficitą bei sausras ir gali būti gera priemonė vertinant vegetacijos būklę. Šio tipo sausrų indeksai gali suteikti reikalingos informacijos apie augalijos būklę didelėje teritorijoje, o tai yra didelis šio metodo privalumas (Belal ir kt., 2014).

Naudojant palydovinius duomenis, vegetacijos būklės vertinimo metodika remiasi tuo, kad Saulės spindulių atspindėjimas nuo žemės paviršiaus, padengto augalija, yra skirtingas nei nuo žemės paviršiaus, kuris augalija nepadengtas (Wagner ir kt., 1996). Taip yra dėl to, kad augaluose esantis chlorofilas absorbuoja daugumą Saulės šviesos matomojo spektro dalyje (bangos, kurių ilgis 0,4–0,7 μm), tuo tarpu bangos artimojo infraraudonojo spektro dalyje (bangos, kurių ilgis 0,7–1,1 μm) yra atspindimos (Dunkel, 2009; Belal ir kt., 2014).

Taigi, sveiki augalai absorbuoja daugiau matomojo spektro bangų bei daugiau atspindi artimojo infraraudonojo spektro spinduliuotės bangų.

Kai vegetacijos metu augalai pajunta drėgmės trūkumą ar vegetacijos periodo pabaigoje (chlorofilas vėstant orams ima irti, taip pat lapai sensta ir juose greitėja chlorofilo irimas) chlorofilo absorbcija susilpnėja. Tuomet santykis tarp spinduliuotės, atspindėtos matomajame spektre, ir spinduliuotės, atspindėtos artimojo infraraudonojo spektro dalyje, pakinta (Dunkel, 2009).

Šis santykis kinta ne tik dėl to, kad atsiradus drėgmės trūkumui augalų vegetacija sutrinka. Taip gali būti ir tuo atveju, jei augalijos danga reta ar žemė nepadengta augalija (Belal ir kt., 2014).

Vienas geriausiai žinomų ir plačiausiai naudojamų palydovinių duomenimis paremtų indeksų yra NDVI (normalizuotas vegetacijos indeksas), kurį pirmą kartą sausros monitoringui pritaikė J. Tucker ir J. Choudhury (1987).

NDVI apibūdina vegetacijos „sveikumą“ ir tankumą, todėl gali būti geras žaliosios biomasės indikatorius (Thenkabail ir kt., 2004; Wang ir kt., 2004). Naudojami du bangų spektrai: matomasis ir artimojo infraraudonojo spektro.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2.24)$$

čia: NIR – atspindėtoji spinduliuotė, artimojo infraraudonojo bangų spektro dalyje, RED – atspindėtoji spinduliuotė, matomojo bangų spektro dalyje.

NDVI reikšmės varijuoja nuo –1 iki +1. Ten, kur yra vandens telkiniai, registruojamos neigiamos indekso reikšmės, o ten, kur vyrauja nepadengta augalija žemė, indekso reikšmės artimos 0. Čia daug spinduliuotės atspindima ir matomojo, ir artimojo infraraudonojo bangų spektrų dalyse. Indekso reikšmė +1 rodo idealią vegetacijos būklę (Lillesand ir Kiefer, 1994; Belal ir kt., 2014).

Kaip tam tikra NDVI indekso išraiška naudojamas ir kitas gana plačiai paplitęs indeksas – VCI (vegetacijos būklės indeksas). VCI nusako, kiek analizuojamo mėnesio (savaitės) NDVI reikšmė yra artima daugiametėms minimalioms ir maksimalioms to pačio periodo reikšmėms. Pirmasis VCI indeksą pasiūlė ir panaudojo F. N. Kogan (1995, 1997).

$$VCI = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \times 100 \quad (2.25)$$

čia $NDVI_{min}$ ir $NDVI_{max}$ – analizuojamo mėnesio (savaitės) daugiamečių minimalios ir maksimalios reikšmės, $NDVI$ – analizuojamo mėnesio (savaitės) indekso reikšmė.

VCI reikšmės tarp 50–100 % rodo normalias vegetacijos sąlygas. Kuo reikšmė artimesnė 100 %, tuo vegetacijos sąlygos geresnės. Sausra prasideda, kai VCI reikšmė nukrinta <50 %, o kai VCI reikšmė nukrinta <35 %, gali būti identifikuojama ekstremali sausra (Kogan, 1995).

Pasak A. Belal ir kt. (2014), VCI yra geresnis drėgmės deficito indikatorius nei $NDVI$, nes leidžia atskirti trumpalaikius vegetacijos pokyčius nulemtus meteorologinių veiksnių, nuo pastovių klimato sąlygų, kurioms esant vyksta vegetacija.

Yra ir daugiau indeksų, leidžiančių identifikuoti sausras, naudojant palydovinius duomenis: normalizuotas vegetacijos anomalijų indeksas ($NDVIA$), standartizuotas vegetacijos indeksas (SVI), temperatūros sąlygų indeksas (TCI) ir kt.

2.5. Sausrų indeksų skaičiavimuose naudojami parametrai

Sausros indeksai yra nepakeičiami norint identifikuoti bei vertinti sausras, tačiau negalima tiksliai nurodyti vieno ar kito indekso, kuris būtų pranašesnis už kitus – viskas priklauso nuo konkrečios situacijos, poreikio, periodo, kuriam jis skaičiuojamas ir kt. (Hayes, 2006). Nėra vieno vienintelio metodo tinkančio visų tipų sausroms identifikuoti. Skirtingose šalyse naudojami skirtingi indeksai sausroms identifikuoti, o tai gali tapti kliuviniu susikalbant tarpusavyje bei vertinant sausras dideliu mastu. Todėl yra siekiama rasti universalių sausrų indeksų, kurie būtų naudojami visose šalyse.

2009 m. Nebraskoje (JAV) Linkolno universitete vykusiam sausrų ekspertų susitikime 54 ekspertai iš 22 šalių sutarė, kad SPI (standartizuotas kritulių indeksas) gali būti laikomas universaliu indeksu meteorologinei saurai

identifikuoti. Šis susitarimas vadinamas „Linkolno deklaracija“. Tais pačiais 2009 m. Pasaulinė meteorologijos organizacija (WMO), remdamasi Linkolno deklaracija, rekomendavo viso pasaulio hidrometeorologijos tarnyboms, kaip universalų meteorologinės sausras indeksą, naudoti SPI (WMO, 2009). 2011 m. birželio mėn. šešioliktajame pasauliniame meteorologijos kongrese buvo priimta rezoliucija, kuri patvirtino šias rekomendacijas.

Buvo manoma, kad netrukus pavyks pasiūlyti universalius indeksus ir agrometeorologinei bei hidrologinę sausras identifikuoti. Tačiau, 2010 metais vykusio Murcijos (Ispanija) susitikimo metu, ekspertams nepavyko rasti ir pasiūlyti visiems priimtino ir tinkančio universalaus agrometeorologinės sausras indekso. Tas pats nutiko ir su universalaus hidrologinės sausras indekso paieškomis. WMO ekspertai susitikę 2011 metais Ženevoje (Šveicarija) priėjo bendros nuomonės, kad dėl sausras reiškinio sudėtingumo kol kas nėra vienintelio visiems priimtino ir tinkamo indekso hidrologinę saurai identifikuoti. Tačiau buvo rekomenduoti 6 galimi hidrologinės sausras indeksai. Taigi, universalių agrometeorologinės ir hidrologinės sausras indeksų paieška tebevyksta iki šiol.

Nors kai kurie indeksai priskiriami vienai ar kitai kategorijai, jie gali būti naudojami identifikuojant ir kitus sausrų tipus (pavyzdžiui, SPI pritaikius reikiamą laiko žingsnį, galima identifikuoti visus tris sausrų tipus (Lloyd-Hughes ir Sounders, 2002). Pats indeksų skirstymas daugiau paremtas tuo, kokie parametrai naudojami skaičiavimuose.

Daugumas indeksų naudoja mėnesinius meteorologinių parametru duomenis ir tik nedidelė jų dalis naudoja savaitinius duomenis, o dar mažesnė – kasdienius (2.3 lentelė).

Tačiau kasdieniai kritulių duomenys gali būti labai svarbūs, pavyzdžiui, jei didelis kritulių kiekis iškris liepos 1 d. ir rugpjūčio 30 d., o tarpe jų visos dienos bus be kritulių, susidarys 60 dienų laikotarpis be kritulių, tačiau sausra registruojama nebus, jei skaičiavimuose naudosis mėnesio kritulių kiekį (Wilhite, 1998). Viena iš galimybių yra naudoti 30 dienų periodą (t. y. vieno

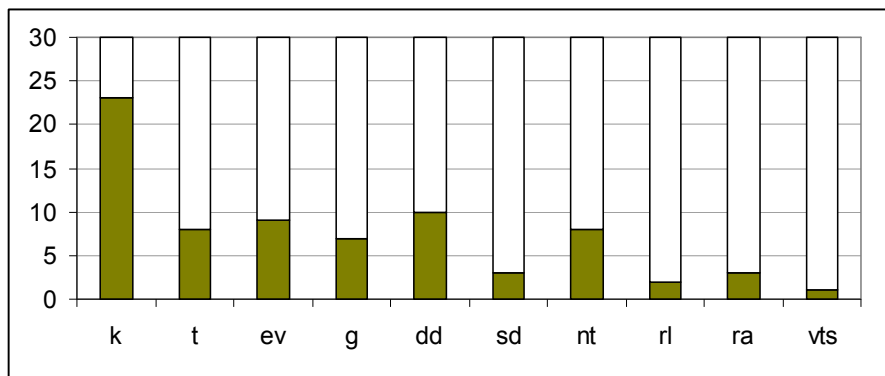
mėnesio) ir kiekvieną dieną analizuojamą periodą paslinkti per vieną dieną į priekį arba naudoti savaitinius duomenis (Wanders ir kt., 2010).

2.3 lentelė. Dažniausiai naudojami sausros indeksai ir jų skaičiavimams naudojami parametrai.

Indeksas	Parametrai										Laiko žingsnis
	P	T	EV	G	DD	SD	NT	RL	RA	VAS	
ADI	+	-	+	+	+	-	+	-	-	+	M
BFI	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	M, Y
BMDI	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	M, Y
CMI	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	W
CSDI	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	S
DAI	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	M
Deciles	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	M
DSI	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	D
DT _x	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	D
EDI	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D
ETDI	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	W
FMDI	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	M
GRI	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	M, Y
HTK	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	>10D
KBDI	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	D
NRI	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	M
PDSI	+	+	+	-	+	-	+	-	-	-	W, 2W, M
PHDI	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	M
PN	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	M
PZI	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	D
RAI	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	M, Y
RDI	+	+	-	-	-	+	+	-	+	-	M
SDI	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	M, Y
SMI	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	W, M, S
SMDI	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	W
SPI	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	M, x*M
SWI	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	S
SWSI	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-	M

P – krituliai, T – temperatūra, EV – evapotranspiracija, G – garavimas, DD – dirvos drėgnumas, SD – sniego danga, NT – nuotėkis, RL – rezervuaro lygmuo, RA – vandens atsargos rezervuare, VAS – vandens atsargos sniege, D – diena (para), W – savaitė, M – mėnuo, S – sezonas, Y – metai.

Išanalizavus dažniausiai naudojamus sausrų indeksus nustatyta, kad pagrindinis elementas, naudojamas sausrų indeksų skaičiavimuose, yra krituliai. Krituliai naudojami skaičiuojant 23 iš 30 sausrų indeksų. Agrometeorologiniams sausros indeksams reikalinga ir informacija apie dirvožemio drėgmę, o hidrologiniams indeksams – hidrologiniai komponentai — nuotėkis, rezervuaro vandens lygis ir pan. (2.2 pav).



2.2 pav. Dažniausiai sausras identifikuojančiuose indeksuose naudojamų parametrų pasikartojimas. Y ašyje – indeksų, kuriuose naudojami šie parametrai, skaičius. X ašyje – sausros indeksų skaičiavimui naudojami parametrai (k – krituliai, t – temperatūra, ev – evapotranspiracija, g – garavimas, dd – dirvos drėgmė, sd – sniego danga, nt – nuotėkis, rl – rezervuaro vandens lygis, ra – rezervuaro atsargos, vts – vandens tūris sniege).

Kritulių kiekio duomenys reikalingi didesniajai daliai sausros indeksų. Tačiau dalis indeksų informaciją apie kritulius ir oro temperatūrą naudoja netiesiogiai, o per kitas komponentes. Pavyzdžiui, evapotranspiracijos skaičiavimuose reikalinga informacija ir apie kritulius, ir apie oro temperatūrą, o sausros indekso skaičiavime naudojama jau tik evapotranspiracija.

Nustatyta, kad mažiausiai komponentių naudojama meteorologinės sausros indeksų skaičiavimuose, o daugiausiai – hidrologinės.

3. DUOMENYS IR DARBO METODIKA

Sausra būna keturių tipų: meteorologinė, agrometeorologinė, hidrologinė ir socioekonominė. Šiame darbe meteorologinei sausrai įvertinti naudoti SPI ir HTK indeksai, o hidrologinėi – SRI indeksas. Tai pat analizuotas naudotų indeksų tarpusavio ryšys, vertintos duomenų apie išmatuotą dirvožemio drėgmę panaudojimo galimybės agrometeorologinėms sausroms išskirti.

Taip pat apžvelgtas socioekonominis sausros poveikis ūkiui ir aplinkai.

3.1. SPI kaitos Lietuvoje ir Baltijos jūros regione įvertinimo metodika

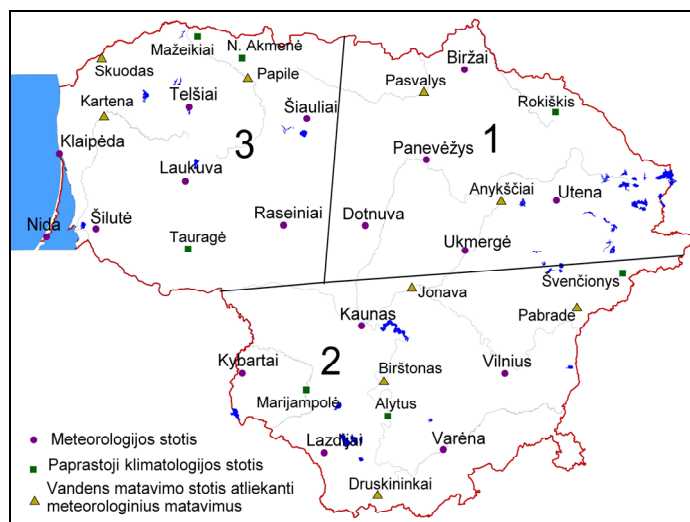
3.1.1. SPI kaitos Lietuvoje vertinimas

Vertinant ir analizuojant meteorologinių sausrų ir sausrų laikotarpių tendencijas Lietuvoje buvo pasitelktas WMO rekomenduotas standartizuotas kritulių indeksas (SPI).

Skaičiuojant SPI reikšmes buvo panaudoti 17 Lietuvos meteorologijos stočių ir 15 paprastųjų klimatologijos stočių bei vandens matavimo stočių, matuojančių kritulius, 1961–2010 m. laikotarpio mėnesiniai kritulių kiekio duomenys (3.1 pav.). Toliau tekste visos stotys vadinamos meteorologijos stotimis (MS). Visi duomenys surinkti iš LHMT archyvo.

Dotnuvos meteorologijos stotis dabartinėje vietoje pradėjo veikti 1963 m., kai į Dotnuvą buvo perkelta Kėdainių meteorologijos stotis. Todėl 1961 m. ir 1962 m. buvo naudojami Kėdainių meteorologijos stoties mėnesiniai kritulių kiekio duomenys. Vilniaus (Trakų Vokės) meteorologijos stotis dabartinėje vietoje pradėjo veikti 1971 m. balandžio mėnesį, todėl nuo 1961 m. iki 1964 m. gegužės mėnesio remtasi Vilniaus miesto MS duomenimis, o nuo 1964 m. birželio (kai Vilniaus MS buvo perkelta į oro uostą) iki 1971 m. balandžio mėnesio – Vilniaus oro uosto meteorologijos stoties duomenimis.

Kai kuriose stotyse pasitaikė trumpalaikių kritulių kiekio duomenų trūkių, kai kritulių matavimai nebuvo atliekami ar matavimo duomenys buvo brokuoti. Tokie duomenų trūkiai buvo užpildyti atlikus interpoliaciją pagal artimiausių meteorologijos stočių duomenis.



3.1 pav. Meteorologijos stotys, kurių duomenys apie kritulius naudojami analizei bei trys Lietuvos regionai su skirtinga drėkinimo sąlygų dinamika.

Analizuojant meteorologines sausras Lietuvoje 1961–2010 m. laikotarpiu skaičiavimai atlikti 1, 3 ir 24 mėnesių SPI laiko žingsniai, kurie toliau tekste minimi kaip SPI1, SPI3 ir SPI24. Atskirai buvo analizuojamos visų metų ir tik vasaros laikotarpio sausrų susidarymo tendencijos.

Šiame darbe SPI indeksas apskaičiuotas specialia programine įranga, platinama JAV Nacionalinio sausrų švelninimo centro (*National Drought Mitigation Center*) tinklapyje. Skaičiuojant SPI reikšmes, gama skirstinio parametrai nustatomi kiekvienam laiko žingsniui, o po to jis transformuojamas į normalųjį skirstinį. Pavyzdžiui, skaičiuojant SPI3 nustatomas trijų mėnesių kritulių gama skirstinys kiekvienam mėnesiui (sausui, vasariui, kovui ir t. t.), po to nustatyti gama skirstiniai transformuojami į normaliuosius skirstinius kiekvienam mėnesiui (sausui, vasariui, kovui ir t. t.) ir taip gaunamos SPI3 reikšmės.

SPI1 apibūdina vieno mėnesio drėkinimo sąlygas. Lietuvoje šis laiko žingsnis naudingas vertinant konkrečių mėnesių sausras. SPI3 apibūdina trijų mėnesių sausumo sąlygas ir yra naudingas siekiant apibūdinti atskirų sezonų drėkinimo sąlygas. SPI24 Lietuvos sąlygomis naudojamas apibūdinant ilgo, t. y. dvejų metų laikotarpio drėkinimo sąlygų kaitos tendencijas.

Siekiant Lietuvos teritoriją padalyti į keletą regionų ir įvertinti drėkinimo sąlygų dinamiką juose, buvo panaudota klasterinė analizė. Klasterizacijai buvo naudojamas jungimo metodas ir Euklido atstumo matas. Klasteriai buvo sujungti panaudojant pilnosios jungties metodą.

Atlikus klasterinę analizę pagal SPI1 duomenų seką, buvo išskirti trys regionai su skirtinga drėkinimo sąlygų dinamika. I regionas – šiaurės rytinis, II regionas – pietrytinis, III regionas – vakarinis (3.1 pav.). Meteorologijos stotys buvo susietos su išskirtu regionu (3.1 lentelė).

Regiono stočių SPI indeksų reikšmės buvo vidurkinamos, taip gaunant vieną bendrą reikšmę visam klasteriui. Tokie SPI reikšmių skaičiavimai klasteriams buvo atlikti kiekvienam viso analizuojamo laikotarpio mėnesiui, visais analizuojamais SPI indeksais (SPI1, SPI3, SPI24).

3.1 lentelė. Lietuvos regionai su skirtinga drėkinimo sąlygų dinamika, išskirti naudojant klasterinę analizę.

Regionas	Meteorologijos stotys
1 regionas (šiaurės rytinis)	Anykščiai, Biržai, Dotnuva, Panevėžys, Pasvalys, Rokiškis, Ukmergė, Utena
2 regionas (pietrytinis)	Alytus, Birštonas, Druskininkai, Jonava, Kaunas, Kybartai, Lazdijai, Marijampolė, Pabradė, Švenčionys, Varėna, Vilnius
3 regionas (vakarinis)	Kartena, Klaipėda, Laukuva, Mažeikiai, Nida, Papilė, Raseiniai, Šiauliai, Šilutė, Skuodas, Tauragė, Telšiai

Sausros buvo išskirtos remiantis T. B. McKee ir kt. (1993) pateiktu sausros apibrėžimu, pagal kurį sausra prasideda tada, kai SPI indekso reikšmė nukrinta žemiau $-1,0$, o baigiasi tada, kai šio indekso reikšmė tampa teigiama. Sumuojant

visas SPI reikšmes, kurios patenka į apibrėžtą sausros trukmės intervalą, gauname sausros intensyvumo išraišką. Šis sausros apibūdinimo, trukmės ir intensyvumo vertinimo apibrėžimas yra taikomas visiems SPI indeksams (SPI1, SPI3, SPI24) (Hayes, 2007).

Analizuodami SPI dinamiką galime išskirti tiek drėgnus, tiek sausus laikotarpius. Šiame darbe perteklinio drėkinimo mėnesiai ir laikotarpiai nėra tiriami. Analizuojamos sausros ir ekstremaliai sausi ($SPI \leq -2,0$) mėnesiai.

Kiekvienai meteorologijos stočiai bei kiekvienam klasterizacijos būdu išskirtam regionui pagal SPI1, SPI3 ir SPI24 buvo apskaičiuota:

- a) sausrų skaičius bei jų trukmė per analizuojamą 1961–2010 m. laikotarpį;
- b) vidutinė vienos sausros trukmė;
- c) vidutinis vienos sausros intensyvumas;
- d) bendras sausros mėnesių skaičius (gautas susumavus visų sausrų trukmę);
- e) bendras sausros mėnesių intensyvumas (gautas susumavus visų sausrų intensyvumą);
- f) maksimalus sausros intensyvumas (sausra, kurios apskaičiuotas intensyvumas buvo pats didžiausias);
- g) ekstremaliai sausų mėnesių skaičius.

Šiltuoju metų laikotarpiu kritulių kiekiui būdingas didelis erdvinis kintamumas, t. y. net labai nedidelėje teritorijoje vienos liūtis metu gali susidaryti dideli kritulių kiekio skirtumai. Vienoje meteorologijos stotyje gali būti registruojamas keliasdešimties milimetrų kritulių kiekis, o šalia esanti meteorologijos stotis kritulių iš viso neregistruoja. Todėl sausros buvo analizuojamos ne tik atskirose meteorologijos stotyse, bet ir atskiruose klasteriuose (regionuose), nes tokiu būdu išryškėja regioniniai drėkinimo sąlygų skirtumai.

Vertinant statistinį SPI1, SPI3 ir SPI24 indeksų kaitos reikšmingumą, buvo naudojamas Mann-Kendall testas. Tai — neparametrinis testas trendų statistiniam

reikšmingumui nustatyti laiko sekose. Statistiškai reikšmingais trendais buvo laikomi tie, kurių atsitiktinio susiformavimo tikimybė p buvo mažesnė nei 0,05.

SPI kaitos vertinimas 1891–2010 m., remiantis Vilniaus MS duomenimis.

Ilgalaikių drėkinimo sąlygų dinamikos pokyčių analizei buvo pasirinkta Vilniaus meteorologijos stotis. Ši stotis turi ilgiausią kritulių matavimų duomenų seką Lietuvoje. Vertinant drėkinimo sąlygas, remiantis Vilniaus MS duomenimis, buvo panaudotos 1891–2010 m. laikotarpio mėnesio kritulių sumos. Deja, kritulių duomenų sekoje yra keletas trūkių, kada meteorologiniai matavimai Vilniaus MS nebuvo atliekami. Šiuo atveju duomenų trūkiai buvo užpildyti, panaudojus ryšio grafiko metodą, pagal kaimyninių stočių duomenis.

SPI indekso skaičiavimai buvo atlikti nuo 1 iki 60 mėnesių laiko žingsniais: SPI1, SPI3, SPI6, SPI9, SPI12, SPI24, SPI48, SPI60.

SPI sekų pagal rekonstruotus ir nerekonstruotus kritulių duomenis palyginimas.

Vertinant sausras pagal SPI indeksą, pageidautinos viso analizuojamo laikotarpio visų mėnesių kritulių kiekio sumos. Tačiau analizuojant ilgo laikotarpio kritulių duomenų sekas susiduriama su trūkiais, kai kritulių matavimai vienoje ar kitoje meteorologijos stotyje nebuvo atliekami. Klimatologijos praktikoje tokie duomenų trūkiai, jei tik įmanoma, yra užpildomi naudojant kitų stočių duomenis, t. y. duomenų seka, jei yra pakankamas stočių skaičius, yra rekonstruojama atliekant interpoliaciją. Jei stočių tankis nepakankamas, duomenų seka rekonstruojama naudojant santykio metodą arba ryšio grafiko metodą (t. y. remiamasi arčiausiai esančios meteorologijos stoties duomenimis).

Kita vertus, SPI skaičiavimo metodika leidžia atlikti skaičiavimus ir sekoms su duomenų trūkiais. Šiuo atveju tuščios vietos atliekant SPI skaičiavimą

yra tiesiog praleidžiamos. Dėl to atsiranda trūkių ir gautoje SPI reikšmių sekoje, jie ilgėja didėjant laikotarpiui (laiko žingsniui) kuriam skaičiuojamas SPI.

Keletas ar keliolika milimetrų kritulių gali iš esmės pakeisti skaičiavimo rezultatus. Vasaros laikotarpiu, kai didelė kritulių dalis iškrinta liūtinių, teritoriškai labai netolygiai pasiskirsčiusių, kritulių pavidalu, išauga neteisingos rekonstrukcijos (pagal artimiausios stoties duomenis) bei SPI nustatymo tikimybė. Iškyla klausimas, kuriuos duomenis geriau naudoti: ar rekonstruotas duomenų sekas, ar duomenų sekas su trūkiais? Siekiant atsakyti į šį klausimą, buvo atlikti du SPI, skaičiavimo SPI1, SPI3, SPI6, SPI9, SPI12, SPI24, SPI48, SPI60 indeksais 1891–2010 m. Vilniuje, variantai: su rekonstruota kritulių duomenų seka ir seka su duomenų trūkiais.

3.1.2. SPI kaitos Baltijos jūros regione vertinimas 1960–2009 m.

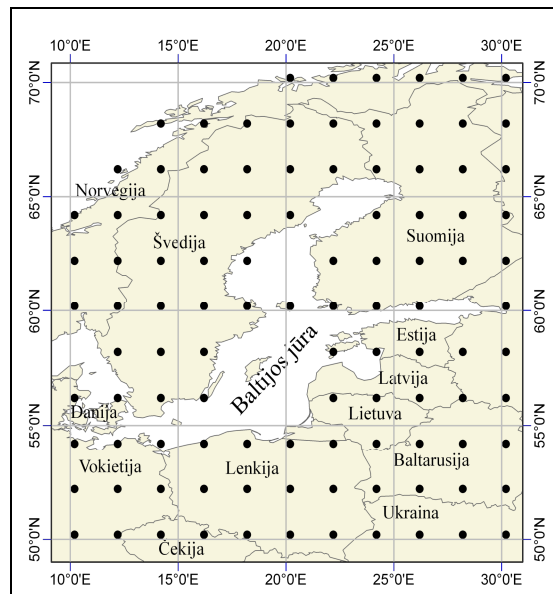
Kadangi dažnai sausrų veikiamą teritoriją būna didesnė nei Lietuvos teritorija, buvo įvertinta ir viso Baltijos jūros regiono (BJR), kuriam ir priklauso Lietuva, meteorologinių sausrų kaitos dinamika. Siekta nustatyti, ar Lietuvos teritorijoje išryškėjusios SPI kaitos tendencijos yra panašios į fiksuojamas visame BJR.

Vertinant Baltijos jūros regiono drėkinimo sąlygas panaudoti mėnesiniai 1960–2009 metų kritulių kiekio duomenys iš KNMI (*Koninklijk Nyderlands Meteorologisch Instituut*) duomenų bazės.

Analizuojant sausrų ir sausų laikotarpių dinamiką Baltijos jūros regione (BJR), buvo tirta teritorija, besidriekianti nuo $50,25^\circ$ iki $70,25^\circ$ š. p. ir nuo $10,25^\circ$ iki $30,25^\circ$ r. i. Analizuojamoji teritorija apima valstybes, besiribojančias su Baltijos jūra ar esančias netoli jos (3.2 pav.).

KNMI duomenų bazėje pateikiami aukštos skiriamosios gebos (tinklelio gardelės dydis prie žemės paviršiaus $0,5^\circ \times 0,5^\circ$) kritulių kiekio duomenys.

Šiuos duomenis pateikia Rytų Anglijos universiteto klimato tyrimų centras (*Climate Research Unit at the East Anglia University – CRU*) (Mitchell ir Jones, 2005).



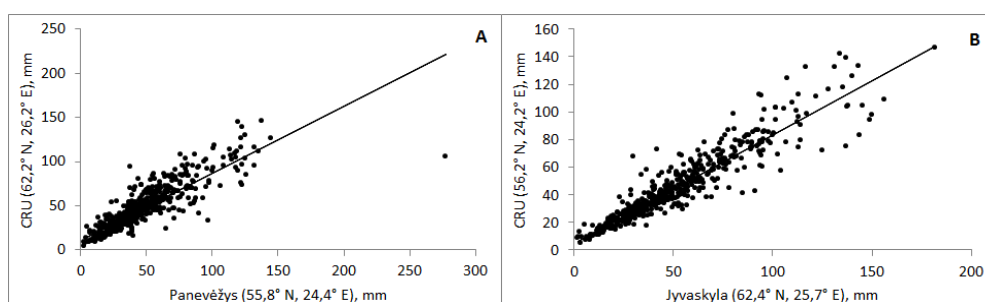
3.2 pav. Analizuojamas Baltijos jūros regionas ir tinklelio gardelių centriniai taškai.

CRU TS3.1 mėnesio kritulių kiekio duomenų bazė sudaryta remiantis matavimais meteorologijos stotyse. Kritulių kiekio duomenys tinklelio gardelių centriniuose taškuose gauti interpoliuojant meteorologijos stočių duomenis. Remiantis šia duomenų baze buvo vertinamos BJR drėkinimo sąlygos per 50 metų (1960–2009 m.).

Analizuojamame regione buvo panaudoti kritulių kiekio duomenys iš 105 taškų (pasirinkta 1° skiriamoji geba). Kadangi duomenų bazė sudaryta pagal meteorologijos stočių duomenis, tai informacijos apie kritulių kiekį virš Baltijos jūros akvatorijos nėra (3.2 pav.).

Iš pradžių buvo įvertintas kritulių kiekio duomenų, gaunamų iš CRU duomenų bazės, patikimumas. Tam tikslui kritulių kiekis, išmatuotas meteorologijos stotyje, ir kritulių kiekis, gautas iš artimiausio tai stočiai CRU

duomenų bazės tinklelio taško, buvo palyginti tarpusavyje. Duomenų analizei pasirinktos dvi meteorologijos stotys: Panevėžys (Lietuva) ir Jyvaskyla (Suomija). Nustatyta, kad abiejose meteorologijos stotyse išmatuotas vidutinis mėnesinis kritulių kiekis šiek tiek skiriasi nuo kritulių kiekio CRU duomenų bazėje (3.3 pav.).



3.3 pav. Ryšys tarp mėnesio kritulių kiekio, išmatuoto Panevėžio (A) ir Jyvaskyla (B) meteorologijos stotyse, ir mėnesio kritulių kiekio iš artimiausio tai stočiai tinklelio taško CRU duomenų bazėje 1960–2009 m.

Vidutinis skirtumas siekia 9,37 mm (Panevėžio MS) ir 9,05 mm (Jyvaskylos MS). Mėnesio kritulių kiekio skirtumas, nesiekiantis 10 mm, sudaro 66 % visų atvejų. Tai rodo, kad duomenys, gauti iš CRU duomenų bazės, gana gerai reprezentuoja kritulių kiekį analizuojamoje teritorijoje.

Verta atkreipti dėmesį į tai, kad kritulių kiekis pasižymi dideliu erdvinio kintamumu net ir nedidelėje teritorijoje. Mėnesinis kritulių kiekis, išmatuotas meteorologijos stotyje, gali žymiai skirtis nuo bendro kritulių kiekio vidurkio stoties apylinkėse, kurią ir atspindi gardelės reikšmė CRU duomenų bazėje. Didesni skirtumai išryškėja, kai iškrinta didelis kritulių kiekis. Pavyzdžiui, 1998 m. liepą Panevėžio MS registravo 278 mm kritulių, tuo metu, kai kuriose kitose, aplinkinėse Lietuvos meteorologijos stotyse kritulių kiekis buvo net 5 kartus mažesnis. Taigi, šis Panevėžio MS išmatuotas kritulių kiekis (278 mm) labai skiriasi nuo kritulių kiekio (102 mm), kuris pateikiamas arčiausiai Panevėžiui esančiai gardelei, paimtai iš CRU duomenų bazės. Visgi kritulių kiekio reikšmė per tam tikrą laikotarpį, pateikiama CRU duomenų bazėje, gana gerai

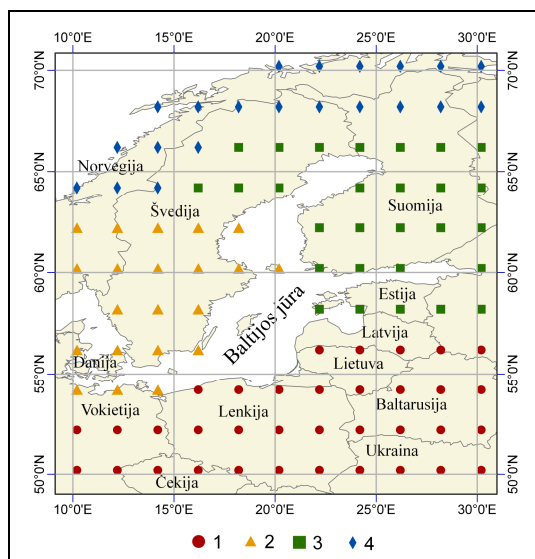
apibūdina kritulių kiekio vidurkį, t. y. apskaičiuotą ne konkrečiam taškui, o visai gardelei.

Sausros ir sausi laikotarpiai 1960–2009 m. BJR vertinti naudojant SPI3, SPI12 ir SPI60 indeksus. SPI3 indeksas apibūdina trumpo ir vidutinio laikotarpio sąlygas. Šis laiko žingsnis neretai naudojamas agrometeorologinei sausrui vertinti. Juo galima apibūdinti pavasario ir vasaros drėkinimo sąlygas, kas labai veikia augalų vegetaciją, miškų gaisringumą ir pan. SPI12 apibūdina 12 mėnesių sąlygas ir dažnai naudojamas hidrologiniai sausrui identifikuoti. SPI60 apibūdina 5 metų trukmės sausus ar drėgnus laikotarpius.

Siekiant įvertinti sausrų trukmės ir intensyvumo dinamiką skirtingose analizuojamo regiono dalyse buvo panaudota klasterinė analizė. Klasterizacijai buvo naudojamas k-vidurkių metodas ir Euklido atstumo matas. Atlikus klasterinę analizę pagal SPI1 buvo išskirti keturi regionai (3.4 pav.). Pirmajam regionui priskirta pietinė BJR teritorijos dalis. Antrasis regionas apima pietines Švedijos ir Norvegijos dalis bei Vokietijos priekrantinę dalį. Trečiasis regionas apima Estiją, didžiąją dalį Suomijos ir centrinę Švediją. Ketvirtajam regionui priklauso šiaurinė BJR dalis (3.4 pav.).

Sausrų intensyvumas buvo apskaičiuotas sumuojant visas SPI3 reikšmes sausros metu. Atlikus koreliacinę analizę, kiekviename regione buvo surastas gardelės taškas, kuriame SPI dinamika geriausiai apibūdina vidutinę, viso regiono SPI dinamiką.

Metinės ir vasaros SPI reikšmės buvo analizuojamos atskirai. Remiantis visų metų SPI reikšmėmis galima apibūdinti bendrus drėgmės sąlygų pokyčius. Vien tik vasaros SPI reikšmės apibūdina sausumo ar drėgnumo sąlygas vasaros laikotarpiu, kai sausra dažniausiai būna pavojingiausia.



3.4. pav. BJR dalys, išskirtos pagal SPI dinamiką 1960–2009 m. laikotarpiu.

Vertinant SPI pokyčių statistinį reikšmingumą taip pat buvo naudojamas Mann-Kendall testas, o statistiškai reikšmingais laikyti tie pokyčiai, kai $p < 0,05$.

3.1.3. SPI kaitos prognozių XXI a. sudarymas

Drėkinimo sąlygų kaitos prognozėms sudaryti buvo pasitelktas SPI indeksas. Prognozės XXI a. buvo sudarytos remiantis regioninio CCLM (*COSMO Climate Limited – area Model*) modelio kritulių kiekio prognozės išvesties duomenimis, kurie gauti dviejų šiltnamio dujų emisijos scenarijų A1B ir B1 pagrindu.

Pagal A1B scenarijų numatomas labai greitas ekonomikos augimas, gyventojų skaičiaus didėjimas iki XXI a. vidurio, o vėliau mažėjimas, greitas modernių technologijų diegimas, subalansuotas kuro naudojimas. Tai gana pesimistinis scenarijus.

Pagal B1 scenarijų tikėtina staigi globalizacija, gyventojų skaičiaus kaita panaši kaip A1B scenarijuje, visuomenė taps mažiau vartotojiška, prognozuojamas ypač greitas ekonominės sistemos virtimas informacine bei

intensyvus naujų švarių technologijų diegimas. Tai optimistinis scenarijus (Rimkus ir kt., 2007).

CCLM yra regioninis nehidrostatinis klimato modelis, sukurtas prognozuoti orams (Steppeler ir kt., 2003). Nuo 2005 m. CCLM Vokietijoje jau naudojamas ir klimato pokyčių analizei (Rimkus ir kt., 2009).

Nehidrostatiniai modeliai gali būti sėkmingai naudojami modeliuojant mezomasto atmosferos procesus. Pritaikius juos klimato prognozei, tokio pobūdžio modeliais galima dinamiškai didinti globalių modelių išvesties duomenų tinklelio skiriamąją gebą. Tokiu būdu kuriamų regioninių klimato modelių tinklelio gardelės kraštinės ilgis sumažėja iki keliasdešimt ar net kelių kilometrų, kai pastarasis dydis globaliuose modeliuose siekia kelis šimtus kilometrų. Regioniniuose modeliuose bendrosios cirkuliacijos ypatybės yra derinamos su vietos topografija, žemėnauda, vandens telkinių pasiskirstymu ir kt., todėl išauga išvesties duomenų detalumas bei tikslumas (Rimkus ir kt., 2009).

Šiuo metu CCLM modelis klimato kaitos tyrimuose naudojamas jau ne tik Vokietijoje. Regioninis CCLM modelis yra sujungtas su globaliu jungtiniu atmosferos ir vandenyno bendrosios cirkuliacijos ECHAM5/MPI-OM modeliu, kuris, savo ruožtu, yra naudojamas globalaus klimato prognozei. ECHAM5/MPI-OM modeliavimo rezultatai yra kraštinės įvesties sąlygos CCLM modelyje. Modeliavimo metu atliekamas dinaminis skiriamosios gebos mažinimas.

Analizei buvo naudojami CCLM modelio kontrolinio (1971–2000 m.) ir prognostinio (2000–2100 m.) laikotarpių kritulių kiekio duomenys, paimti iš Pasaulinio klimato duomenų centro Hamburge, CERA (*Climate and Environmental Retrieval and Archive*) duomenų bazės. Regioninis CCLM modelis dengia beveik visą Europą, o jo skiriamoji geba itin aukšta. Jo tinklelio gardelės dydis yra 20×20 km. Kiekvienai analizuojamai meteorologijos stočiai arba BJR tinklelio gardelės centriniam taškui buvo priskirtas kritulių kiekis iš artimiausio tai stočiai CERA duomenų bazės tinklelio taško.

Lyginant kontroliniu laikotarpiu išmatuotą kritulių kiekį meteorologijos stotyse su to paties laikotarpio modeliavimo CCLM modeliu išvesties rezultatais, buvo apskaičiuotas santykis tarp išmatuotų ir modeliuotų mėnesio kritulių kiekio reikšmių. Šis santykis vėliau buvo panaudotas koreguojant prognostines reikšmes.

Sudarant SPI dinamikos prognozę XXI amžiui BJR regionui buvo naudojami 3 ir 12 mėnesių laiko žingsniai (SPI3, SPI12). Sudarant analogišką prognozę Lietuvai buvo naudojami 1, 3, 24 mėnesių laiko žingsniai (SPI1, SPI3, SPI24). Pagal abu klimato kaitos scenarijus buvo analizuojamos metinės (apibūdinančios visų metų mėnesių) ir atskirai vasaros (apibūdinančios tik vasaros laikotarpio) drėkinimo sąlygų kaitos tendencijos. Statistinis SPI pokyčių reikšmingumas buvo įvertintas Mann-Kendall testu ($p < 0,05$).

3.2. HTK kaitos Lietuvoje vertinimas

Kaip nurodyta 1.2 skyrelyje, Lietuvoje sausroms identifikuoti oficialiai naudojamas Selianinovo hidroterminis koeficientas (HTK) (Lietuvos Respublikos..., 2011).

Remiantis oficialiu stichinės sausros kriterijumi buvo analizuojamos visos stichinės sausros Lietuvoje 1961–2010 metų laikotarpiu.

Lietuvoje pagal išplitimo teritoriją stichinės sausros suskirstytos į vietines (lokalias) ir šalies masto. Kai stichinė sausra nustatoma vienoje ar keliose stotyse, ji yra vietinės reikšmės, o jei apima $\geq 1/3$ Lietuvos teritorijos, jau gali sukelti šalies masto nelaimę. Pagal išplitimo teritoriją galima išskirti ir dar vieną itin ekstremalų atvejį visai šaliai – kai stichinė sausra apima $\geq 2/3$ šalies teritorijos (Klimato žinynas, 2000).

Diena, kai $HTK < 0,5$, yra ekstremaliai sausa diena ir tekste įvardijama kaip ESD. Ekstremaliai sausos dienos, susidarydamos tam tikrą laiką iš eilės, sudaro ekstremaliai sausą laikotarpį, kuris tekste įvardijamas kaip ESL.

Pradiniai duomenys – 18 Lietuvos meteorologijos stočių (3.5 pav.) vidutinės oro temperatūros ir kritulių kiekio kasdieniniai duomenys 1961–2010 metų laikotarpiu.

Dotnuvos, Vilniaus (Trakų Vokės) ir Dūkšto meteorologijos stotys pradėjo veikti, atitinkamai, 1963, 1971 ir 1972 metais. Todėl ir skaičiavimai atlikti tik nuo tų metų. Lazdijų MS 1972–1974 metais veikė kaip paprastoji klimato stotis ir vidutinės oro temperatūros matavimų nevykdė, todėl šis laikotarpis, skaičiuojant HTK Lazdijų MS, nebuvo įtrauktas.



3.5 pav. Lietuvos meteorologijos stočių tinklas, kurių duomenys panaudoti skaičiuojant HTK.

Visi reikalingi duomenys buvo surinkti iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos prie Aplinkos ministerijos archyvo.

Buvo apskaičiuoti oro temperatūros ir kritulių kiekio nuokrypiai nuo 1961–2010 m. laikotarpio vidurkio visų HTK registruotų stichinių sausrų metu.

Taip pat buvo apskaičiuoti 30 dienų laikotarpio (įtraukiant ir pirmą sausras dieną) oro temperatūros ir kritulių kiekio nuokrypiai nuo normos prieš stichinės sausras susiformavimą.

Aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio trukmės analizė. Vertinant sausras 1961–2010 m. Lietuvoje HTK indeksu, pirmiausia, visose meteorologijos stotyse buvo apskaičiuota, kiekvienų analizuojamo laikotarpio metų aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio, trukmė. Aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpis prasideda po paros vidutinės oro temperatūros pastovios pereigos (PVOT_{pp}) per 10 °C ir baigiasi, kai PVOT_{pp} tampa žemesnė nei 10 °C. Vegetacijos laikotarpio trukmė – laikotarpis, kai paros vidutinė oro temperatūra >10 °C.

PVOT_{pp} perėjimas per 10 °C pavasarį – tai pirmoji diena tokio laikotarpio su teigiamais paros vidutinės oro temperatūros nuokrypiais nuo 10 °C, kurio teigiamų nuokrypių suma didesnė už bet kurio vėlesnio laikotarpio neigiamų nuokrypių nuo šios temperatūros ribos sumą. Oro temperatūrai krintant – tai pirmoji diena laikotarpio, kurio neigiamų paros vidutinės temperatūros nuokrypių nuo 10 °C ribos suma viršija bet kurio vėlyvesnio laikotarpio teigiamų nuokrypių nuo šios temperatūros ribos sumą (Pempaitė, 1997).

3.3. Dirvožemio drėgmės duomenų panaudojimo galimybių, identifikuojant agrometeorologines sausras Lietuvoje, vertinimas

HTK indeksas gali identifikuoti ekstremalias sausras tik aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpiu, todėl šalia HTK indekso būtina ieškoti ir kitų alternatyvių indeksų bei metodų, padedančių identifikuoti agrometeorologines sausras ankstyvą pavasarį ir augalų vegetacijos laikotarpio pradžioje. Viena iš galimybių yra įtraukti informaciją apie dirvožemio drėgmę, panaudojant duomenis iš 2009 metais atkurto agrometeorologijos tinklo. Šiuo metu agrometeorologijos tinklą sudaro 43 automatinės agrometeorologijos stotys (AGMS), kurios įrengtos daugumoje savivaldybių ir apima visą Lietuvos teritoriją (3.6 pav.).

Agrometeorologijos stotyse vykdomi automatiniai pagrindinių meteorologinių parametrų matavimai. Matuojama oro temperatūra ir oro drėgmė 1,5 m aukštyje, oro temperatūra 2 cm aukštyje, kritulių kiekis, bendroji Saulės

spinduliuotė, vėjo greitis ir kryptis 3 m aukštyje, dirvožemio drėgmė 20, 50 ir 100 cm gylyje, dirvožemio temperatūra 5, 20, 50 cm gylyje.



3.6 pav. Agrometeorologijos stočių tinklas Lietuvoje

Duomenys apie dirvožemio drėgmę ir kitus papildomus meteorologinius rodiklius gali būti panaudojami identifikuojant agrometeorologines sausras. Kadangi agrometeorologijos stotelės yra įrengtos 43 savivaldybėse, tai jos atspindi ir skirtingus dirvožemio tipus.

Dirvožemio drėgmė yra vienas svarbiausių aplinkos veiksnių, lemiančių augalo augimą bei produktyvumą. Dirvožemio drėgmės matavimai būtini nustatant drėkinimo režimą, vertinant augalų vandens poreikius, pagrindžiant sunaudojamo vandens efektyvumą, stebint vandens judėjimo dėsniumus dirvožemyje, sprendžiant agronominius klausimus (Žemės ūkio..., 2013).

Dirvožemio drėgmė (W) matuojama *Watermark* tipo drėgmės jutikliu. Dirvožemio drėgmingumo laipsnis išreiškiamas cbar intervale nuo 0 iki 200 cbar. Išmatuota cbar vertė priklauso nuo energijos, kurią augalas turi sunaudoti, kad galėtų iš dirvožemio pasisavinti drėgmę, t. y. nuo vandens ir dirvožemio dalelių surišimo jėgos. Dirvožemis yra visiškai sausas, kai fiksuojama 200 cbar reikšmė,

o 0 cbar reikšmė reiškia, jog dirvožemis yra permirkęs. Duomenys apie dirvožemio drėgmę *Watermark* prietaisu gali būti registruojami pasirinktu dažnumu.

Daugumos žemės ūkio kultūrų augalų šaknų masė išsidėsčiusi iki 30 cm, todėl dirvožemio drėgmė, matuojama 20 cm gylyje, geriausiai atspindi augalinio sluoksnio drėgmę (Žemės ūkio..., 2013).

Augalų augimo kritinė riba yra tada, kai pasiekama augalo vytimo drėgmė (Wv). Vytimo drėgmė (Wv) – toks drėgmės kiekis dirvožemyje, kai augalai pradeda vysti ir nebeatsigauna net vandens prisotintoje aplinkoje (Žemės ūkio..., 2013).

Augalo vytimo drėgmė labai priklauso nuo dirvožemio tipo, pavyzdžiui, vyraujant vidutinio rupumo smėliui (pvz., Varėna) ji pasiekama tada, kai dirvožemio drėgmė yra ≥ 80 cbar, vyraujant sunkiam moliui (pvz., Telšiai) ≥ 100 cbar, o esant priemoliui (pvz., Dotnuva) ji pasiekama tada, kai dirvožemio drėgmė ≥ 160 cbar (Žemės ūkio..., 2013).

Vertinant, kaip HTK indeksu apskaičiuota kasdieninė reikšmė sutampa su 20 cm gylyje tą pačią dieną agrometeorologijos stotyje išmatuota dirvožemio drėgmė W (cbar), ir ją lyginant su SWI indekso reikšme buvo analizuotas 2011–2013 m. laikotarpis. Buvo vertinama kiekviena vasaros mėnesių diena dviejose, skirtingu dirvožemio tipu pasižyminčiose, agrometeorologijos stotyse – Biržų AGMS ir Varėnos AGMS.

Biržų AGMS vyraujantis dirvožemio tipas – dulkiškas sunkus priemolis. Augalai pasiekia kritinę drėgmės ribą, kai *Watermark* drėgmės jutiklis rodo ≥ 80 cbar (Žemės ūkio..., 2013).

Varėnos AGMS vyraujantis dirvožemio tipas – vidutinio rupumo smėlis. Augalai pasiekia kritinę drėgmės ribą, kai *Watermark* drėgmės jutiklis rodo ≥ 80 cbar (Žemės ūkio..., 2013).

Reikalingi duomenys apie dirvožemio drėgmę, kasdienę oro temperatūrą ir kritulių kiekį surinkti iš LHMT archyvo. SWI indekso skaičiavimui reikalingi

duomenys apie dirvožemio drėgmės imlumą ir augalo vytimo tašką buvo paimti iš Aleksandro Stulginskio universiteto parengtos ataskaitos „Žemės ūkio sausras įvertinimo kriterijų pagrindimas ir metodikos Lietuvos klimatinėmis sąlygomis parengimas“.

3.4. SRI kaitos vertinimas 1961–2010 m. Lietuvoje

Hidrologinių sausrų analizei 1961–2010 m. Lietuvoje naudotas SRI indeksas. Vertinant hidrologines sausras SRI indeksu būtina informacija apie vidutinį mėnesinį upių debitą. Ši informacija surinkta iš hidrologinių metraščių, saugomų LHMT archyve.

Lietuvos upių nuotėkio metiniame cikle yra du nuosėkio laikotarpiai: šiltuoju laikotarpiu (vasarą–rudeni) ir šaltuoju (žiema). Šiltojo laikotarpio nuosėkis prasideda pasibaigus pavasario potvyniui, o baigiasi prasidėjus rudens lietums arba prasidėjus pirmiesiems ledo reiškiniams upėse, kai žemė išąla, o krituliai upės baseine akumuliuojasi sniego pavidalu. Šaltojo laikotarpio nuosėkis fiksuojamas tarp rudens lietu ir pavasario potvynių. Lietuvos upėse kur kas ryškesnis ir ilgesnis yra šiltojo laikotarpio, t. y. vasaros–rudens nuosėkio laikotarpis. Vidutiniškai visoje Lietuvos teritorijoje jis prasideda balandžio pabaigoje – gegužės pradžioje, tik ežeringose Pietryčių Lietuvos upėse šiltojo laikotarpio nuosėkis prasideda gerokai vėliau — gegužės pabaigoje – birželio pradžioje. Šiltojo laikotarpio nuosėkio pabaiga metai iš metų labai skirtinga: lietingais metais jis baigiasi jau rugpjūčio mėnesį, o kai nebūna rudeninių lietu, gali tęstis ir iki lapkričio pabaigos (Gailiušis ir kt., 2001).

Šiame darbe analizei pasirinkti keturi skirtingų laiko žingsnių SRI indeksai: SRI12, SRI4, SRI3, SRI1. Hidrologinės sausras analizei 1961–2010 m. laikotarpiu Lietuvoje pasirinkti, skirtinguose Lietuvos regionuose esantys, 4 upių baseinai: Jūra (Tauragės VMS duomenys), Merkys (Puvočių VMS duomenys), Šventoji

(Ukmergės VMS duomenys) ir Šešupė (Kudirkos Naumiesčio VMS duomenys) (3.7 pav.).

SRI12 (rugsėjo mėn.) reikšmės rugsėjo mėnesį apibūdina upės nuotėkio deficitą ar perteklių per 12 mėnesių laikotarpį – hidrologinius metus. Hidrologiniai metai, skirtingai nei kalendoriniai metai, tęsiasi nuo spalio 1 d. iki rugsėjo 30 d. Hidrologiniai metai prasideda spalio 1 d., nes spalio mėnesį vandens telkiniuose jau gali pradėti formotis ledo reiškiniai, kurie gali turėti įtakos vandens lygiui bei debitui upėse. Pažymėtina, kad hidrologiniai metai, palyginti su kalendoriniais, geriau sutampa su natūraliu nuotėkio formavimusi (Pauliukevičius, 2004). Todėl nuotėkio susidarymo ypatybes geriau nagrinėti hidrologiniais metais.

SRI4 (rugsėjo mėn.) reikšmės rugsėjo mėnesį, apibūdina birželio–rugsėjo hidrologines sąlygas upėse. Tai keturių mėnesių trukmės šiltasis metų laikotarpis, kai eliminuojama pavasarinių potvynių ir ankstyvų rudens ledo reiškinių upėse įtaka.

SRI3 indeksu vertinamas trijų mėnesių vandens debito deficitas upėse. Remiantis *SRI3* buvo analizuojami du, vienas su kitu nepersidengiantys, trijų mėnesių laikotarpiai gegužės–spalio mėnesiais (t. y. gegužės–liepos ir rugpjūčio–spalio). Liepos mėnesio *SRI3* reikšmės apibūdina upės nuotėkio sąlygas gegužės–liepos mėnesiais, o spalio mėnesio *SRI3* reikšmės apibūdina upės nuotėkio sąlygas rugpjūčio–spalio mėnesiais.

SRI1 reikšmės nusako vieno mėnesio upės nuotėkio sąlygas lyginant su daugiamečiais to paties mėnesio dydžiais. Vertinant 1961–2010 m. hidrologines sausras Lietuvoje, analizei buvo pasirinkti tik trys vasaros mėnesiai (birželis, liepa, rugpjūtis). Hidrologinės sausras kiekvieną vasaros mėnesį pagal *SRI1* vertintos atskirai.

Upės nuotėkį ir jo deficitą (lyginant su daugiamečiais duomenimis) žiemos metu lemia ne tik kritulių kiekis, iškritęs upės baseine, bet ir oro temperatūra (t. y. koku pavidalu iškrinta krituliai). Jei krituliai iškrinta sniego pavidalu, jie akumuliuojasi. Jei krituliai iškrinta lietaus pavidalu, jie formuoja nuotėkį. Jei oro

temperatūra neigiama, upės baseine ne tik kaupiasi sniegas, bet upėse formuojasi ir ledo reiškiniai, kurie nemaža dalimi nulemia upės nuotėkį žiemą. Žiemos nuosėkis kur kas trumpesnis, o debitas didesnis nei vasarinio nuosėkio metu. Šiame darbe žiemos hidrologinės sausros neanalizuojamos, nes jų poveikis aplinkai, socialiniam bei ekonominiam sektoriui, lyginant su vasaros hidrologinėmis sausromis, yra kur kas mažesnis.

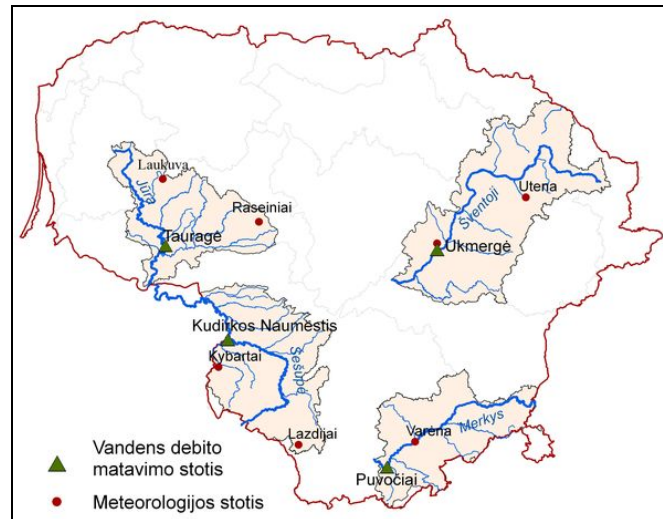
Upės nuotėkį ir jo deficitą (lyginant su daugiamečiais duomenimis) pavasarį didžia dalimi lemia pavasario potvynis, nulemtas sniego tirpsmo. Jei sniego nebuvo arba buvo mažai, arba jei sniegas tirpo palaipsniui, tai pavasarinio potvynio nebus arba jis gali būti daug mažesnis nei vidutinis daugiamečių. Tokiu atveju SRI indeksu jau gali būti registruojama hidrologinė sausra. Todėl analizuoti pavasario hidrologinių sausrų mažos trukmės SRI indeksais (pvz., SRI1, SRI3, SRI4) nėra prasmės.

Dėl išvardytų priežasčių, analizuojant 1961–2010 m. hidrologines sausras Lietuvoje, buvo vertinamos tik visų hidrologinių metų sausros (SRI12) ir hidrologinės sausros šiltuoju metų laikotarpiu (SRI1, SRI3, SRI4).

Hidrologinių sausrų analizei pasirinktų keturių upių baseinai (Jūra, Merkys, Šešupė ir Šventoji) (3.7 pav.), pasižymi skirtingu maitinimo tipu.

Jūra – dešinysis Nemuno intakas. Ilgis 172 km. Analizuojant hidrologines sausras Jūroje, buvo remtasi Tauragės vandens matavimo stoties duomenimis (VMS). Jūros baseino plotas iki Tauragės VMS 1690 km², vyrauja vidutinio sunkumo priemoliai, kurie sudaro apie 80 % baseino ploto. Pasitaiko smėlio salų (apie 6 % stoties baseino ploto). Vidutinis miškingumas 20 %, pelkėtumas 6 %, o ežeringumas 0,2 % (Gailiušis ir kt., 2001). Viso Jūros baseino upių tinklo tankis 1,19 km/km². Iš viso baseine yra 61 upė, ilgesnė nei 10 km. Bendras ežerų plotas tik 1,75 km². Tačiau yra tvenkinių, kurių bendras plotas apie 16 km². Vidutiniškai per metus iškrinta apie 900 mm kritulių. Nuotėkio koeficientas ties Taurage 0,47. Metų nuotėkyje vyrauja lietaus vanduo (apie 50 %), sniego tirpsmo (30 %),

požeminis vanduo (20 %). Sausmečiais Jūra labai nusenka (Kilkus ir Stonevičius, 2011).



3.7 pav. Analizuoti Lietuvos upių baseinai.

Merkys – dešinysis Nemuno intakas. Ilgis 203 km. Analizuojant hidrologines sausras buvo remtasi debito duomenimis, išmatuotais Puvočių vandens matavimo stotyje, kuri įkurta Merkio upės žemupyje. Upės baseino plotas iki Puvočių VMS 4300 km². Didžioji dalis Puvočių VMS baseino plyti smėlingose zandrinėse lygumose. Paviršiuje paplitę smėliai (67 % baseino ploto), miškingumas apie 40 %, ežeringumas 0,9 %, pelkėtumas 10 % (Gailiušis ir kt., 2001). Viso Merkio baseino upių tinklas išskirtinai retas, o 57 % tenka upeliams, trumpesniems kaip 10 km. Upių tankis 0,55 km/km². Merkio baseine per metus vidutiniškai iškrinta 700–750 mm kritulių. Apie 450 mm jų išgaruoja, taigi nuotėkio koeficientas yra apie 0,40 (Kilkus, 1998). Kadangi, baseine vyrauja gruntai, kurie yra laidūs vandeniui, sąlygos paviršiniam nuotėkiui susidaryti yra nepalankios. Daug kritulių sunkiasi gilyn ir papildo gruntinio vandens išteklius, kurie vėliau maitina ir pačią upę. Merkio ties Puvočiais nuotėkyje požeminis vanduo sudaro 63 % viso upės nuotėkio. Nuotėkis per metus pasiskirsto gana tolygiai: pavasarį 35 %, vasarą-rudenį 42 %, žiemą 23 % (Kilkus ir Stonevičius, 2011).

Šventoji – dešinysis Neries intakas, upės ilgis 246 km. Hidrologinės sausros Šventosios upėje vertintos remiantis Ukmergės vandens matavimo stotyje išmatuotais debito duomenimis. Šventosios baseino plotas iki Ukmergės VMS – 5440 km², kurio paviršiuje vyrauja vidutinio sunkumo priemoliai (63 % baseino ploto), smėlio dengiami plotai sudaro 30 %, miškai 12 %, pelkės 9 %, o ežerai 3,8 % minėto baseino ploto (Gailiušis ir kt., 2001). Visame Šventosios baseine yra net 658 ežerai, didesni nei 0,5 ha. Baseino upių tinklo tankis 0,81 km/km². Vidutiniškai per metus Šventosios baseine iškrinta 750 mm kritulių. Baseino nuotėkio koeficientas 0,42. Upė yra mišraus maitinimo, nė vienas mitybos šaltinis nesudaro 50 %: apie 40 % nuotėkio sudaro požeminiai vandenys, 32 % sniego, 28 % lietaus (Kilkus ir Stonevičius, 2011).

Šešupė – kairysis Nemuno intakas, ilgis 298 km. Analizuojant hidrologines sausras Šešupės baseine buvo remtasi Kudirkos Naumiesčio vandens matavimo stoties, esančios Šešupės vidurinėje dalyje, duomenimis. Šešupės baseino plotas iki Kudirkos Naumiesčio 3210 km², vyrauja vidutinio sunkumo ir sunkūs priemoliai, smėlingiems plotams tenka 10 %, pelkėms (daugiausia žemapelkėms) apie 11 %, miškams 17 %, o ežerams 2,0 % minėto baseino ploto (Gailiušis, 2001). Viso Šešupės baseino upių tinklas 1,35 km/km², tačiau 62 % šio upių tinklo sudaro upeliai ir melioravimo grioviai, kurių ilgis < 3 km. Šešupės baseine per metus iškrinta apie 750 mm kritulių. Garavimas mažiausias baseino aukštupyje, kur nemažai kritulių įsifiltruoja į gruntą. Lyguminėje (vidurinėje) baseino dalyje vyrauja nelaidūs gruntai, čia garavimas siekia 540–560 mm. Nuotėkio koeficientas ties Kalvarija 0,33, o ties Marijampole 0,29. Aukštupyje apie 46 % nuotėkio sudaro požeminis vanduo. Vidurupio link labai sumažėja požeminio vandens dalis, o padidėja lietaus vandens dalis. Ties Kudirkos Naumiesčiu požeminis vanduo sudaro 27 %, lietaus 36 %, sniego 37 % metų nuotėkio. Sausomis vasaromis Šešupė labai nusenka. Itin nusenka menčiau į baseino paviršių įsirežę upeliai (Kilkus, 1998).

Lietuvoje hidrologinės sausros apibrėžimo nėra. Tačiau Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakyme (1.2 skyrius) pateikiamos gamtosauginio debito reikšmės ties 11 vandens matavimo stočių, esančių prie 8 Lietuvos upių (Lietuvos Respublikos..., 2011). Kai vandens debitas upėje sumažėja iki reikšmės, mažesnės už pateiktą gamtosauginę debito reikšmę, registruojamas stichinis hidrologinis reiškinys.

Gamtosauginis vandens debitas – minimalus vandentakio vandens debitas, reikalingas, kad būtų užtikrinamos minimalios ekosistemų gyvavimo sąlygos (Lietuvos Respublikos..., 2005).

Remiantis Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2005 m. liepos 29 d. įsakymu „Dėl gamtosauginio vandens debito apskaičiavimo tvarkos aprašo patvirtinimo“, gamtosauginį debitą apibrėžia minimalus vasaros–rudens nuosėkio (V–X mėn.) 80 % arba 95 % tikimybės (priklauso nuo upės nuotėkio per metus natūralaus reguliavimo (išlyginimo) koeficiento) 30 sausiausių parų iš eilės vidutinis vandens debitas (Lietuvos Respublikos..., 2005).

2011 m. lapkričio 11 d. įsakyme „Dėl stichinių, katastrofinių meteorologinių ir hidrologinių reiškinių patvirtinimo“ gamtosauginio debito reikšmės pateikiamos tik tuose miestuose, kur pro jį tekančios upės debito reikšmės, žemesnės už gamtosauginį debitą, gali sukelti daugiausia neigiamų padarinių. Iš šiame darbe analizuojamų upių baseinų (t. y. Jūros, Merkio, Šventosios ir Šešupės), gamtosauginio debito reikšmės pateikiamos Šventojoje ties Ukmerge ir Jūroje ties Taurage (3.2 lentelė).

3.2 lentelė. Riba, kai upės debitas tampa mažesnis už gamtosauginį, darbe tiriamose Lietuvos upėse (Lietuvos Respublikos..., 2011).

<i>Upė</i>	<i>Hidrologinis postas</i>	<i>Vandens debitas</i>
Jūra	Tauragė	$\leq 2,03 \text{ m}^3/\text{s}$
Šventoji	Ukmergė	$\leq 10,1 \text{ m}^3/\text{s}$
Šešupė	Kudirkos Naumiestis	$\leq 2,27 \text{ m}^3/\text{s}$
Merkys	Puvočiai	$\leq 18,1 \text{ m}^3/\text{s}$

Gamtosauginio debito reikšmės Šešupėje ties Kudirkos Naumiesčiu ir Merkyje ties Puvočiais apskaičiuotos atitinkamai pagal 3.1 ir 3.2 formules.

Gamtosauginis debitas gali būti apskaičiuotas kiekvienai upei pagal Lietuvos Respublikos aplinkos ministro patvirtintą metodiką (Lietuvos Respublikos..., 2005).

Upių, kurių metinis nuotėkis neišlygintas arba mažai išlygintas (natūralaus reguliavimo koeficientas 0,65 arba mažesnis), gamtosauginis debitas apskaičiuojamas pagal formulę (3.1):

$$Q_g = Q_{30 \text{ min } 80\%}, \quad (3.1)$$

čia Q_g – gamtosauginis debitas, m^3/s , o $Q_{30 \text{ min } 80\%}$ – minimalus vasaros–rudens nuosėkio 80 % tikimybės 30 sausiausių parų iš eilės vidutinis vandens debitas, m^3/s .

Upių, kurių nuotėkis vidutiniškai arba visai išlygintas (natūralaus reguliavimo koeficientas didesnis kaip 0,65), gamtosauginis debitas nustatomas pagal formulę (3.2):

$$Q_g = Q_{30 \text{ min } 95\%}, \quad (3.2)$$

čia Q_g – gamtosauginis debitas, m^3/s , o $Q_{30 \text{ min } 95\%}$ – minimalus vasaros–rudens nuosėkio 95 % tikimybės 30 sausiausių parų iš eilės vidutinis vandens debitas, m^3/s (Lietuvos Respublikos..., 2005).

Nustatytas upės gamtosauginis debitas priklauso nuo minimalaus nuotėkio, o pastarasis priklauso nuo teritorijoje iškrintančių kritulių kiekio bei paklotinio paviršiaus veiksnių, tiesiog priimančių arba perskirstančių kritulius į paviršinį ir požeminį nuotėkį. Nuosėkio metu, kai vyrauja gruntinis ir gilesnis požeminis upių maitinimas, į pirmą vietą iškyla paklotinio paviršiaus veiksnių įtaka (Gailiūšis ir kt., 2001).

Pagrindiniai, upės nuotėkio variaciją ir minimalų nuotėkį lemiantys, veiksniai: upės baseino plotas ir vagos įsirežimo gylis, baseino miškingumas, pelkėtumas, ežeringumas, litologinė dirvožemio sandara, karstiniai reiškiniai (Gailiušis ir kt., 2001). Svarbiausi iš jų yra baseino plotas ir paviršiaus tipas.

Didėjant upės baseino plotui, kartu didėja vagos įsirežimo gylis, upė kerta daugiau vandeningų sluoksnių, padidėja jos požeminis maitinimas. Požeminis nuotėkis nulemia sausojo laikotarpio nuotėkio dydį. Mažos upės, negaudamos požeminio maitinimo, vasarą gana dažnai visai išdžiūsta, o žiemą gali visiškai užšalti. Išdžiūstančių ar užšalančių upių baseinų plotai yra nuo 1,75 iki 214 km². Baseino plotui mažėjant išdžiūvimo trukmė ilgėja (Gailiušis ir kt., 2001).

Didelę įtaką hidrologiniam upės režimui turi geomorfologinė upės baseino sandara, dirvožemio sudėtis. Paviršinis nuotėkis yra gana nepastovus, o požeminis gana pastovus. Kuo didesnis dirvožemių pralaidumas vandeniui ir kuo storesni smėlingų gruntų klodai, tuo didesnės upės baseino akumuliacinės savybės ir pastovesnis požeminis upės maitinimas. Smėlingi gruntai sugeria daugiau sniego tirpsmo vandens ir sumažina pavasario nuotėkį, kurį atiduoda vėliau, sausmečio metu. Tokiu baseinu pasižymi Merkys, nemažai smėlingų gruntų yra ir Šventosios baseine (Gailiušis ir kt., 2001).

Ežerų įtaka minimaliam nuotėkiui klasikinėje hidrologijoje yra vertinama kaip metų nuotėkį išlyginantis, t. y. minimalų nuotėkį didinantis, veiksnys. Tačiau Lietuvos mokslininkai hidrologai, tyrę šį klausimą, pateikia kitokius rezultatus. Vasaros metu ežerai, esantys upės baseine, dėl didesnio garavimo nuo vandens paviršiaus sumažina nuotėkį iš baseino, o nuotėkio reguliavimo ir išlyginimo funkcija tiesiogiai atlieka tik tas iš baseino ežerų, per kurį teka upė (Gailiušis ir kt., 2001).

Upių baseinų miškingumo, kaip ir kitų žemės naudmenų, poveikis metinio nuotėkio pasiskirstymui glaudžiai siejasi su ežeringumu, pelkėtumu, gruntais ir baseino drenavimo laipsniu. Visi minimi paklotinio paviršiaus veiksniai nuotėkio pasiskirstymą veikia panašiu principu, tik skirtingu mastu – sumažindami

pavasario sezono nuotėkį, padidina sausmečio nuotėkio dalį (Gailiušis ir kt., 2001). Tačiau, pasak B. Gailiušio ir kt. (2001), kiekybiškai įvertinti bei tarpusavyje palyginti minimalaus nuotėkio skirtumus tarp mažo ir didelio miškingumo upių baseinų sunku, nes yra sunku surasti du baseinus, kurie skiriasi miškingumu, bet priklauso tai pačiai hidrologinei sričiai ir yra panašūs pagal dydį, pelkėtumą, ežeringumą ir smėlingumą.

Pelkių įtaką minimaliam nuotėkiui hidrologai vertina gana prieštaringai, tačiau pelkės turi įtakos minimaliam nuotėkiui tik tada, kai upės baseino pelkėtumas yra ne mažesnis kaip 20–50 % (Vladimirov, 1990).

Šiame darbe analizuojant 1961–2010 m. šiltąjį laikotarpį Lietuvoje, buvo suskaičiuotos dienos, kai analizuojamose upėse registruotas vidutinis dienos debitas buvo mažesnis už nustatytą gamtosauginį debitą (3.2 lentelė). Nustačius dienas, kai analizuojamų upių vidutinis dienos debitas buvo mažesnis už nustatytą gamtosauginį debitą, buvo išrinkti tik tie atvejai, kai per mėnesį tokių dienų buvo ≥ 15 . Tada buvo tikrinama, ar SRI indeksu visuose keturiuose laiko žingsniuose (t. y. SRI1, SRI3, SRI4, SRI12) buvo identifikuota hidrologinė sausra. Siekta išsiaiškinti, ar tikslinga SRI1, SRI3, SRI4 ir SRI12 indeksais išskirtas hidrologines sausras sieti su nustatytu gamtosauginiu debitu.

3.5. Skirtingais indeksais nustatytų sausras rodiklių palyginimo metodika

Siekiant tarpusavyje palyginti SPI ir HTK indeksų reikšmes bei šiais indeksais identifikuojamų sausrų parametrus, buvo remtasi 1891–2010 m. laikotarpiu vasaros (tik vasaros mėnesiams yra skaičiuojama HTK reikšmė) mėnesiams apskaičiuotomis SPI ir HTK reikšmėmis Vilniaus MS.

1891–2010 m. laikotarpio vasaros mėnesiams buvo apskaičiuotos HTK reikšmės, kurios palygintos su SPI1 reikšmėmis.

Taip pat buvo apskaičiuota bendra vasaros (t. y. trijų mėnesių laikotarpio) HTK reikšmė, kuri buvo lyginama su SPI3 reikšme, apskaičiuota rugpjūčio mėnesiui.

Siekiant tarpusavyje palyginti SPI ir SRI indeksų reikšmes bei šiais indeksais identifikuotas ekstremalias sausras, buvo remtasi 1961–2010 m. duomenimis. Abiejų indeksų skaičiavimo metodika yra analogiška, tik skaičiuojant SPI naudojami kritulių kiekio duomenys, o skaičiuojant SRI – upės debito duomenys.

Skaičiuojant SPI reikšmes buvo naudojami mėnesiniai kritulių kiekio duomenys iš meteorologijos stočių, patenkančių į atitinkamą upės baseiną. Jūros baseinui – Laukuvos MS, Raseinių MS, Tauragės PKS. Merkio baseinui – Varėnos MS, Puvočių VMS. Šešupės baseinui – Kybartų MS, Lazdijų MS, Marijampolės PKS. Šventosios baseinui – Ukmergės MS, Utenos MS, Anykščių VMS. Buvo apskaičiuojamas visų stočių, veikiančių upės baseine (3.7 pav.), kritulių kiekio vidurkis, o po to skaičiuojamos SPI reikšmės konkreitiems upių baseinams.

Visų analizuojamo laikotarpio mėnesių SRI1, SRI3, SRI4 ir SRI12 indeksų reikšmės Jūroje ties Taurage, Šešupėje ties Kudirkos Naumiesčiu, Merkyje ties Puvočiais, Šventojoje ties Ukmerge buvo palygintos su tais pačiais laiko žingsniais skaičiuotomis SPI reikšmėmis.

Taip pat šiame darbe buvo analizuota, kiek hidrologinių sausrų, identifikuotų SRI ($SRI \leq -1$), tą patį mėnesį buvo identifikuotos ir to paties laiko žingsnio SPI indeksu ($SPI \leq -1$).

3.6. Socioekonominio sausras poveikio Lietuvoje vertinimas

Kaip jau minėta, sausras gali daryti didelį poveikį aplinkai, ekonomikai bei socialiniam sektoriui. Socioekonominis sausras poveikis gali būti tiesioginis ir netiesioginis. Tiesioginis socioekonominis sausras poveikis nustatomas tada, kai

sausros padarytus nuostolius galima įvardyti bei išreikšti pinigine išraiška, t. y. kokius nuostolius bei žalą valstybei padarė sausra viename ar kitame sektoriuje.

Netiesioginį socioekonominės sausros poveikį įvertinti daug sunkiau. Lietuvos gyventojams įtakos gali turėti ne tik sausros Lietuvoje, bet ir kitose šalyse. Pavyzdžiui, dėl sausros Brazilijoje kyla kavos kaina pasaulio biržoje, dėl to pakyla ir kavos kaina Lietuvos gyventojams. Arba kitas pavyzdys, dėl sausros Rusijoje visame pasaulyje kyla grūdų kainos.

Vertinant socioekonominį sausros poveikį Lietuvoje, buvo vertinamas sausros poveikis žemės ūkiui bei sausros įtaka gaisrų skaičiui miškuose.

Vertinant socioekonominį sausros poveikį žemės ūkiui, buvo naudojami duomenys apie grūdinių augalų, avižų, vikių, cukrinių runkelių derlingumą 1991–2013 m. laikotarpiu Lietuvoje.

Vertinant sausros poveikį miškų gaisringumui, buvo panaudoti Lietuvos statistikos departamento duomenys apie gaisrus, kilusius Lietuvos miškuose 1990–2012 m. laikotarpiu.

Norint apžvelgti socioekonominį sausrų poveikį Lietuvai, buvo naudotasi ir Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos prie AM kasmet išleidžiamomis „Pavojingų ir stichinių meteorologinių reiškinių apžvalgomis“.

Vertinant sausros poveikį vandens transportui, buvo analizuota, kiek dienų per mėnesį 1991–2010 m. laikotarpiu vandens lygis buvo žemesnis už nustatytą minimalų 95 % tikimybės paros vidutinį lygį vasaros–rudens laikotarpiu. Analizei pasirinkti – Nemunas ties Druskininkais ir Smalininkais bei Neris ties Vilniumi. Reikalingi duomenys surinkti iš LHMT archyvo.

Taip pat tyrime apžvelgtas socioekonominis sausros poveikis Lietuvoje sausumos transporto infrastruktūrai, rekreacijai bei turizmui, hidroenergetikai, žmonių sveikatai, gyvajai gamtai.

4. DARBO REZULTATAI

4.1. SPI kaita Lietuvoje ir Baltijos jūros regione

4.1.1. SPI kaita Lietuvoje 1961–2010 m.

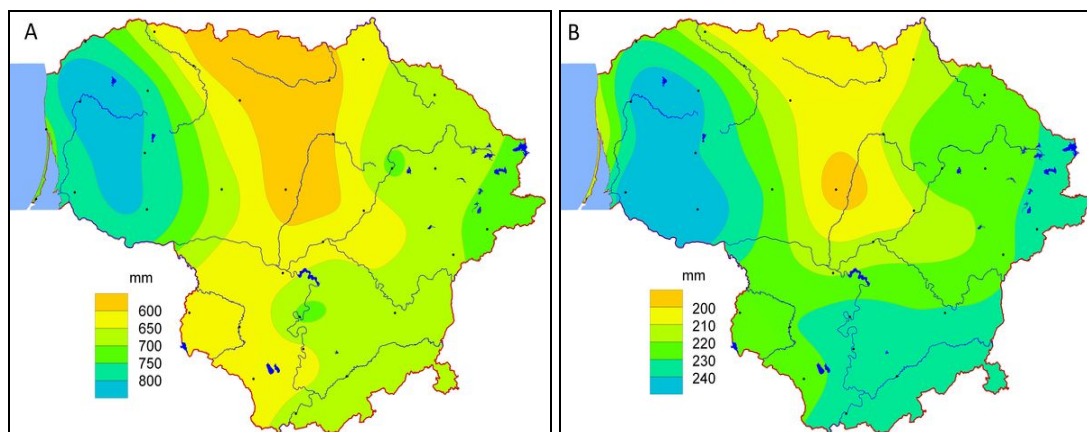
Vidutiniškai Lietuvoje per metus 1961–2010 m. laikotarpiu iškrito 676 mm kritulių. Tačiau vidutinio metinio kritulių kiekio pasiskirstymas, nors ir nedidelėje teritorijoje, yra gana netolygus ir svyruoja tarp 571–841 mm. Tokius skirtumus lemia stambių reljefo formų, aukštumų ir lygumų kaita bei skirtingas paklotinis paviršius.

Analizuojamo laikotarpio vidutinis kritulių kiekis, iškritęs vasaros mėnesiais, vidutiniškai sudarė 224 mm. Lietuvoje vasaros krituliai pasiskirstė gana tolygiai ir svyravo nuo 196 iki 248 mm (4.1 pav.).

Tiek metiniame, tiek vasaros kritulių kiekio pasiskirstyme išryškėja panašūs erdviniai ypatumai. Daugiausia kritulių iškrinta Žemaičių aukštumoje. Žemaičių aukštumos vidurinė dalis bei priešvėjiniai šlaitai yra pirmoji kliūtis drėgnų vakarinių oro masių kelyje. Oro masėms kylant šlaitu vyksta adiabatiniis jų atšalimas, sukeliantis kondensaciją, dėl to formuojasi debesys ir gausėja kritulių (Galvonaitė ir kt., 2007).

Vykstant jau minėtiems adiabatiniams procesams ir tolstant nuo jūros, senkant vandens garų atsargoms ore, mažiausias kritulių kiekis tenka pavėjiniam Žemaičių aukštumos šlaitams (Galvonaitė ir kt., 2007).

Visuose trijuose klasterizacijos metu išskirtuose regionuose (t. y. I – šiaurės rytiniame, II – pietrytiniame, III – vakariniame) (3.1 pav.) SPI reikšmių kaitos dinamika visuose analizuojamuose laiko žingsniuose yra panaši – nustatyta nežymi SPI reikšmių didėjimo tendencija, kuri stiprėja didėjant skaičiuojamam SPI indekso laiko žingsniui, t. y. Lietuvoje nustatyta bendra klimato drėgnumo stiprėjimo tendencija.

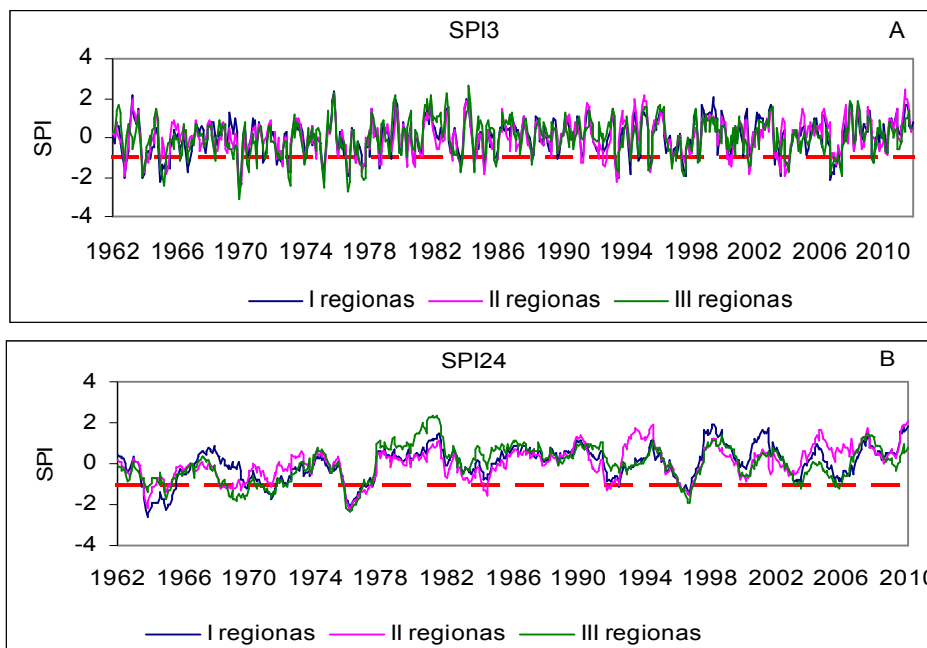


4.1 pav. Vidutinis kritulių kiekis per metus (A) ir vasaros laikotarpiu (B) 1961–2010 m. Lietuvoje.

SPI skaičiuojamas kiekvienam mėnesiui, todėl indekso kreivė nuolat kinta. Čia matoma gana aiški matematinė SPI skaičiavimo metodikos nulemta tendencija – kuo didesnis skaičiuojamas SPI indekso laiko žingsnis, tuo mažesni ir ne tokie staigūs SPI reikšmių kreivės pokyčiai (4.2 pav.). Taigi, kuo didesnis skaičiuojamas laiko žingsnis, tuo sausų laikotarpių mažiau, tačiau jie ilgesni, ir kuo mažesnis laiko žingsnis, tuo sausų laikotarpių daugiau, bet jie trumpesni.

SPI1 ar SPI3 indeksais apskaičiuota drėgnumo sąlygų kaita tarp gretimų mėnesių kur kas didesnė nei apskaičiuota SPI24, pavyzdžiui, SPI reikšmių kaita Kaune (pateikiama 1, 2, 3 prieduose).

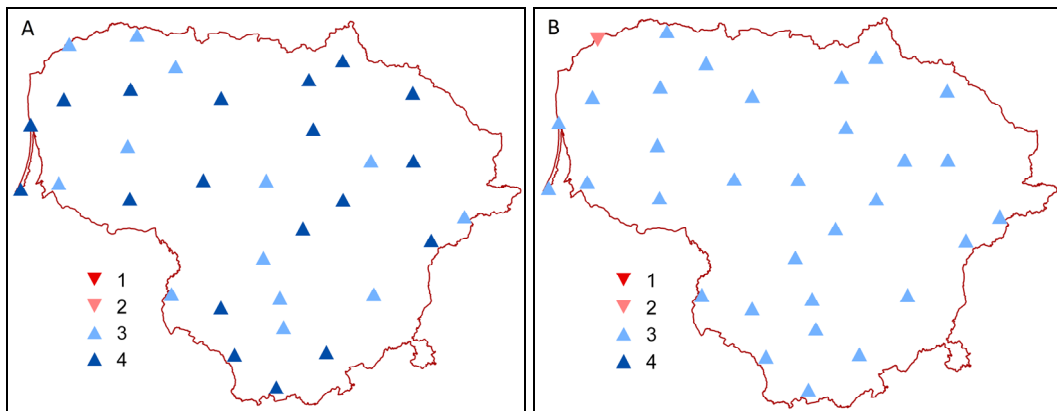
Visuose analizuojamuose laiko žingsniuose (SPI1, SPI3, SPI24), visuose trijuose išskirtuose Lietuvos regionuose (3.1 pav.) nustatyti teigiami metiniai SPI pokyčiai yra statistiškai reikšmingi. Vasaros metu taip pat nustatyti teigiami SPI pokyčiai, tačiau statistiškai reikšmingi jie tėra SPI24 atveju II regione. Ne visų meteorologijos stočių, priskirtų tam tikram regionui (šiaurės rytiniam, pietrytiniam, vakariniam), SPI dinamika sutampa su bendrais viso regiono pokyčiais. Konkrečiose meteorologijos stotyse apskaičiuotai SPI reikšmei įtakos gali turėti ir tam tikras vietovės fizinių geografinių sąlygų specifiškumas. Klasterizacijos būdu išskirtame regione apibendrinamos kur kas didesnės teritorijos sąlygos.



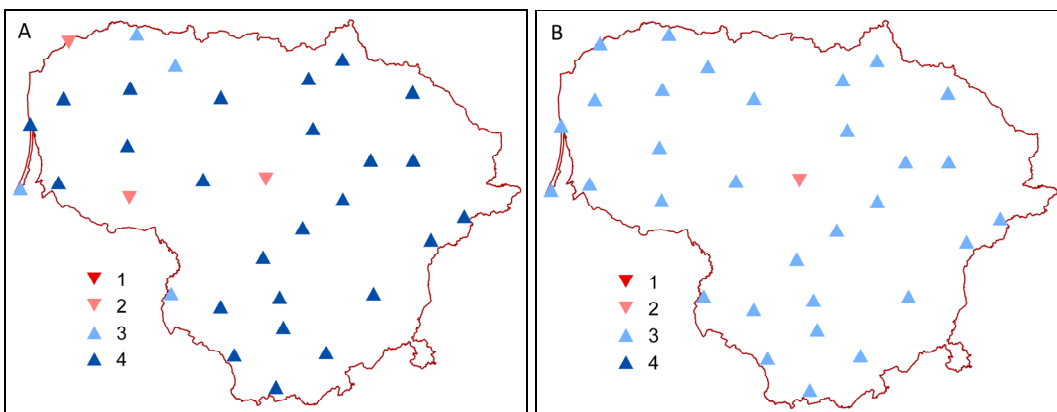
4.2 pav. SPI3 (A) ir SPI24 (B) reikšmių dinamika 1961–2010 m. Lietuvos regionuose. Raudona punktyrinė linija rodo sausras pradžią.

Visose Lietuvos meteorologijos stotyse nustatyti teigiami SPI1 pokyčiai (klimato drėgnumo stiprėjimas). Statistiškai reikšmingi pasikeitimai nustatyti 60 % kritulius matuojančių stočių. Vasaros mėnesiais visose stotyse (išskyrus šiaurės vakaruose esantį Skuodą) taip pat nustatytas klimato drėgnumo stiprėjimas (teigiami SPI pokyčiai). Tačiau šiuo atveju visi pokyčiai yra statistiškai nereikšmingi (4.3 pav.).

Pagal SPI3 metinė indekso reikšmių didėjimo tendencija didžiojoje Lietuvos dalyje yra statistiškai reikšminga. Tik Dotnuvoje ir Tauragėje nustatyti neigiami statistiškai nereikšmingi indekso pokyčiai. Vasaros laikotarpiu pagal SPI3 visoje Lietuvoje, išskyrus centrinėje Lietuvoje esančią Dotnuvą, nustatytas statistiškai nereikšmingas klimato drėgnumo stiprėjimas (teigiami indekso pokyčiai) (4.4 pav.).

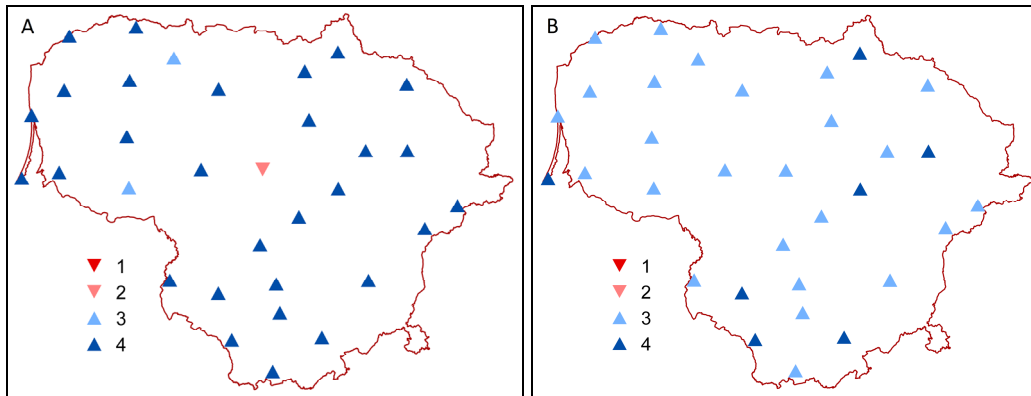


4.3 pav. SPI1 reikšmių kaitos tendencijos ir statistinis reikšmingumas ($p \leq 0,05$) 1961–2010 m. Lietuvoje (A – metinės ir B – vasaros). 1 – statistiškai reikšmingi neigiami pokyčiai; 2 – statistiškai nereikšmingi neigiami pokyčiai; 3 – statistiškai nereikšmingi teigiami pokyčiai; 4 – statistiškai reikšmingi teigiami pokyčiai.



4.4 pav. SPI3 reikšmių kaitos tendencijos ir statistinis reikšmingumas ($p \leq 0,05$) 1961–2010 m. Lietuvoje (A – metinės ir B – vasaros). 1 – statistiškai reikšmingi neigiami pokyčiai; 2 – statistiškai nereikšmingi neigiami pokyčiai; 3 – statistiškai nereikšmingi teigiami pokyčiai; 4 – statistiškai reikšmingi teigiami pokyčiai.

Pagal SPI24 didžioje Lietuvos teritorijos dalyje nustatyti statistiškai reikšmingi teigiami metiniai indekso pokyčiai. Vasaros laikotarpiu pokyčiai visoje Lietuvoje taip pat yra teigiami (klimato drėgnumas didėja), tačiau daugumoje stočių jie statistiškai nereikšmingi (4.5 pav.).



4.5 pav. SPI24 reikšmių kaitos tendencijos ir statistinis reikšmingumas ($p \leq 0,05$) 1961–2010 m. Lietuvoje (A – metinės ir B – vasaros). 1 – statistiškai reikšmingi neigiami pokyčiai; 2 – statistiškai nereikšmingi neigiami pokyčiai; 3 – statistiškai nereikšmingi teigiami pokyčiai; 4 – statistiškai reikšmingi teigiami pokyčiai.

Svarbiausi statistiniai, trijuose šalies regionuose buvusių meteorologinių sausrų, parametrai apskaičiuoti naudojant skirtingus SPI laiko žingsnius, yra pateikiami 4.1 lentelėje.

Iš šioje lentelėje pateiktų duomenų matome, jog registruotas ekstremaliai sausrų mėnesių ir sausrų skaičius regionuose yra skirtingas, nors teoriškai (SPI indekso reikšmės pasiskirsčiusios pagal normaliojo skirstinio dėsnį) turėtų būti vienodas. Taip nutinka dėl kelių priežasčių:

a) Kritulių kiekis, susumuotas per skirtingą mėnesių skaičių, nėra idealiai pasiskirstęs pagal gama skirstinį (4, 5, 6 priedai). Todėl tam tikri neatitikimai gali susidaryti normalizuojant teorinį gama skirstinį.

b) Sausra prasideda tada, kai SPI reikšmė nukrinta < -1 , o baigiasi indekso reikšmei tapus teigiamai. Tad, net jei skirtinguose regionuose per analizuojamą laikotarpį registruojamas lygiai toks pat mėnesių skaičius, kai $SPI < -1$ (registruojama sausras pradžia), sausras mėnesių skaičius gali skirtis, nes vienos sausras metu gali būti registruojama po keletą mėnesių, kai $-1 < SPI < 0$.

c) Sausrą identifikuojant didelės trukmės SPI laiko žingsniais, atsiranda tam tikra inercija, nes vienas mėnuo su gausiais krituliais nebus priežastis, dėl kurios registruojama sausras pabaiga.

SPI1 indeksu 1961–2010 m. laikotarpiu Lietuvos regionuose registruotas kiek besiskiriantis sausrų skaičius. Didžiausias sausrų skaičius registruotas II (pietrytiniame) regione, tačiau čia sausras trumpesnės, o bendras sausras mėnesių skaičius mažesnis nei kituose dviejuose, t. y. šiaurės rytiniame ar vakariniame, regionuose.

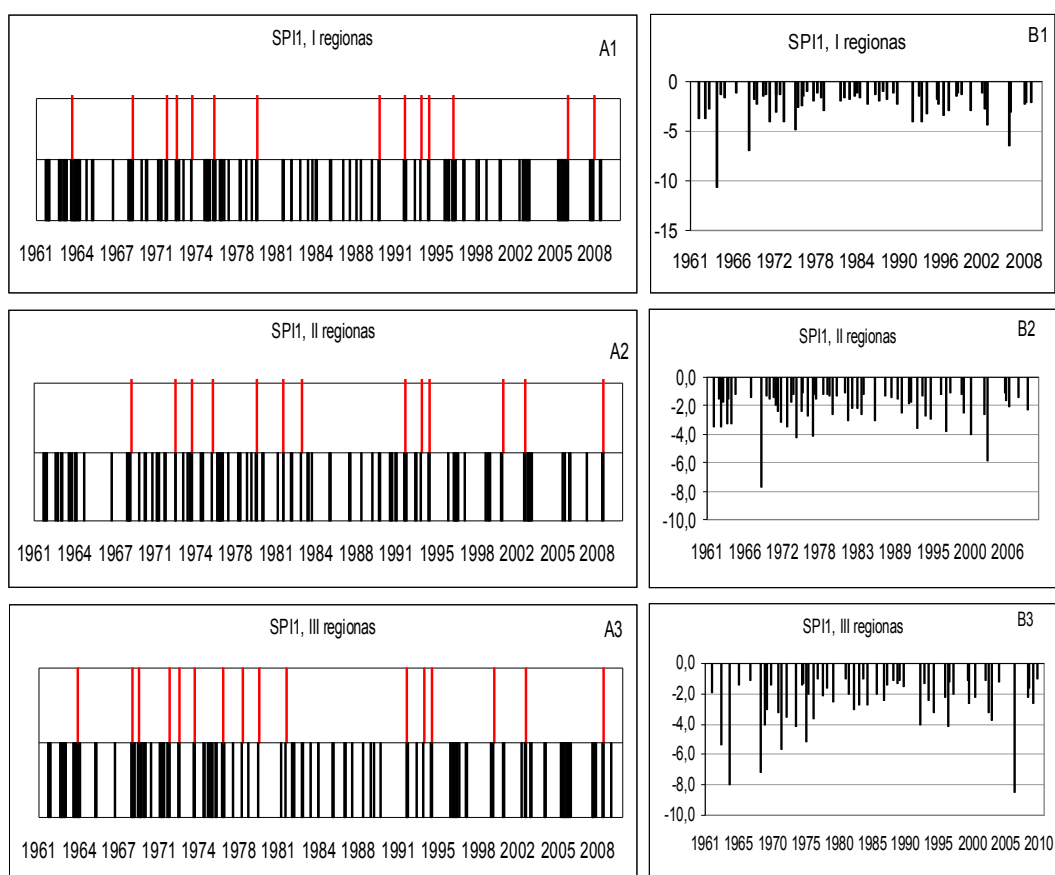
Ilgiausia vidutinė vienos sausras trukmė nustatyta III (vakariniame) regione. Nors sausrų skaičius čia mažiausias, tačiau per visą analizuojamą laikotarpį registruotas didžiausias sausras mėnesių skaičius. Tokie skirtumai atsiranda dėl to, kad į bendrą sausras mėnesių skaičių gali patekti ir tie mėnesiai, kai SPI reikšmės yra tarp $-0,99$ ir 0 . Vidutiniškai intensyviausios sausras taip pat nustatytos vakarinėje šalies dalyje (III regionas) (4.1 lentelė).

4.1 lentelė. Sausrų, registruotų trijuose Lietuvos regionuose 1961–2010 m. pagal skirtingus SPI1, SPI3, SPI24 indeksus, rodikliai

Sausra	SPI1			SPI3			SPI24		
	Regionas			Regionas			Regionas		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Sausrų skaičius	59	61	55	37	30	32	5	7	6
Vid. sausras trukmė (mėn.)	2,2	1,9	2,3	4,2	5,0	4,8	27,6	17,9	26,3
Vid. sausras intensyvumas	-2,5	-2,3	-2,7	-4,5	-5,0	-5,1	-28,0	-17,5	-27,4
ESM skaičius	14	13	16	7	5	12	10	5	6
Ilgiausia sausras trukmė (mėn.)	10	5	11	12	17	11	50	33	58
Didžiausias intensyvumas	-10,6	-7,8	-8,5	-13,9	-10,4	-14,8	-52,9	-34,3	-64,3
Bendras intensyvumas (visų sausrų suma)	-147,1	-138,2	-146,4	-166,4	-149,8	-164,1	-139,8	-122,8	-164,2
Bendras sausras mėnesių skaičius (visų sausrų suma)	130	117	128	155	148	154	138	125	158

I regionas – šiaurės rytinė Lietuva; II regionas – pietrytinė Lietuva;
III regionas – vakarinė Lietuva

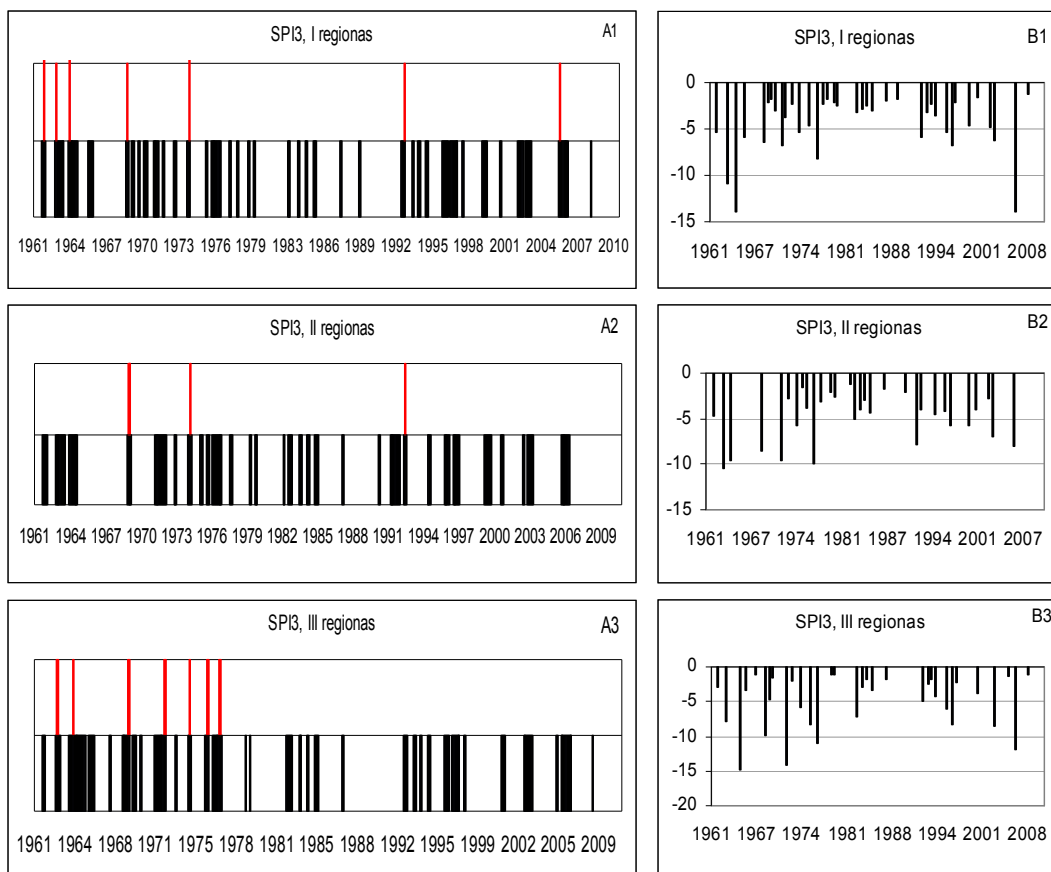
Pagal SPI1 indeksą per visą analizuojamą laikotarpį, t. y. 1961–2010 m., sausrų skaičius ir intensyvumo kaita išskirtuose trijuose regionuose buvo gana panaši (4.6 pav.).



4.6 pav. Sausros (juodi stulpeliai) ir ekstremaliai sausi mėnesiai (raudoni stulpeliai) (A1, A2, A3) bei sausrų intensyvumas, apskaičiuotas jos pabaigos metams (B1, B2, B3), 1961–2010 m. Lietuvos regionuose (I – šiaurės rytinis, II – pietrytinis, III – vakarinis) pagal SPI1 indeksą.

Pagal SPI3 vidutinė vienos sausrų trukmė yra kiek ilgesnė nei 4 mėnesiai, o sausrų trukmė svyruoja nuo 1 iki 17 mėnesių. II regione (pietrytiniame) sausrų ir bendras sausrų mėnesių skaičius mažiausias, tačiau vidutinė vienos sausrų trukmė didesnė nei kituose regionuose. Didžioji dalis ekstremaliai sausrų mėnesių registruota pirmoje analizuojamo 1961–2010 m. laikotarpio pusėje (4.7 pav.).

Jei SPI1 indeksu vienos sausros metu registruojama po vieną ekstremaliai sausą mėnesį (ESM), tai SPI3 indeksu pasitaiko atvejų, kai vienos sausros metu registruota po keletą mėnesių, kuriems apskaičiuota ekstremali SPI vertė (4.7 pav.).

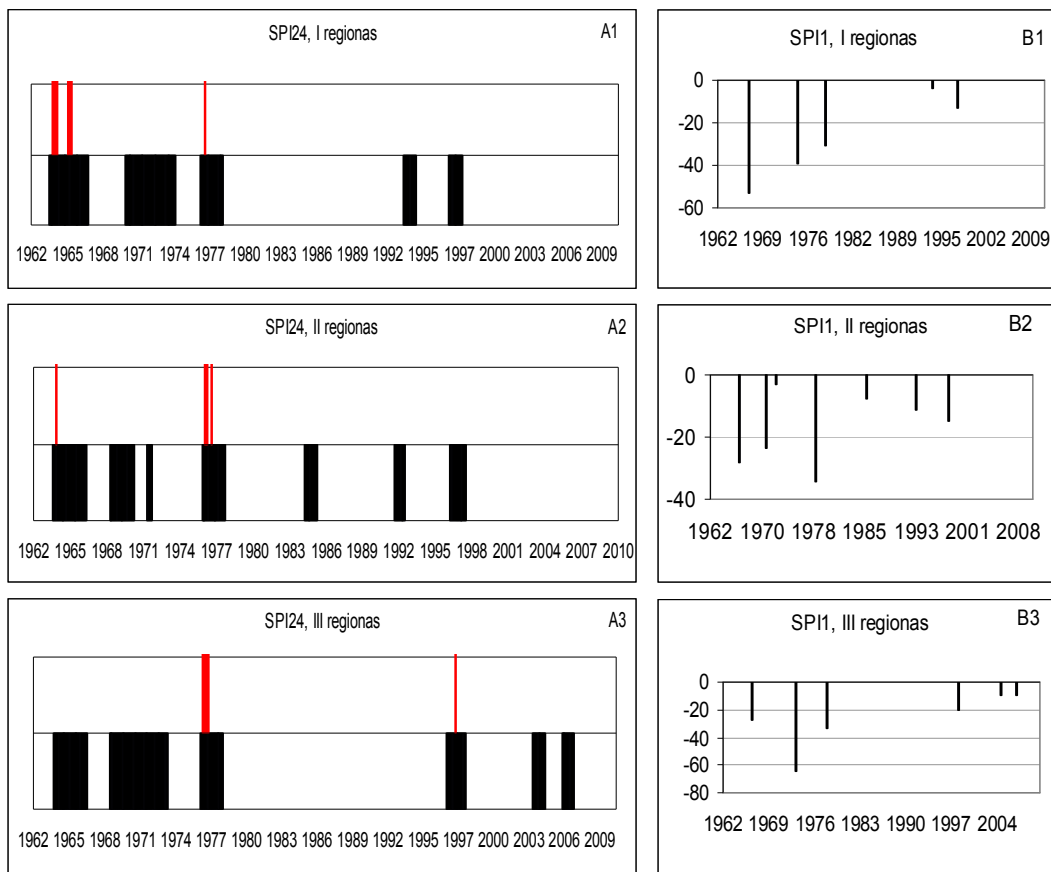


4.7 pav. Sausros (juodi stulpeliai) ir ekstremaliai sausi mėnesiai (raudoni stulpeliai) (A1, A2, A3) bei sausrų intensyvumas, apskaičiuotas jos pabaigos metams (B1, B2, B3), 1961–2010 m. Lietuvos regionuose (I – šiaurės rytinis, II – pietrytinis, III – vakarinis) pagal SPI3 indeksą.

Kadangi pagal SPI24 yra apibūdinamos dvejų metų sąlygos, tai tokią sausrą, tiksliau būtų įvardinti ne kaip sausrą, o kaip sausrą laikotarpį. Per analizuojamą 1961–2010 m. laikotarpį regionuose susiformavo nuo 5 iki 7 sausų laikotarpių (sausrų), kurių trukmė varijavo nuo 11 iki 58 mėnesių (4.8 pav.).

Ekstremaliai sausi mėnesiai registruoti tik analizuojamo laikotarpio pirmoje pusėje, kelių sausrų metu. Dažniausiai fiksuota keletas ESM iš eilės.

Verta atkreipti dėmesį ir į tai, kad ne visada ilgesnė sausra yra intensyvesnė. Pavyzdžiui, pagal SPI24 I regione 39 mėn. trukusios sausras (nuo 1964 m. gegužės iki 1967 m. liepos) suminis intensyvumas (visų SPI reikšmių sausras metu suma) $-52,9$, o tame pačiame regione kitos sausras, trukusios 50 mėnesių (nuo 1970 rugpjūčio iki 1974 rugsėjo), intensyvumas $-39,4$ (4.8 pav.). Tai, kad nėra labai stiprios priklausomybės tarp sausras trukmės ir intensyvumo, nustatyta visuose SPI laiko žingsniuose.



4.8. pav. Sausros (juodi stulpeliai) ir ekstremaliai sausi mėnesiai (raudoni stulpeliai) (A1, A2, A3) bei sausrų intensyvumas, apskaičiuotas jos pabaigos metams (B1, B2, B3) 1961–2010 m. Lietuvos regionuose (I – šiaurės rytinis, II – pietrytinis, III – vakarinis) pagal SPI24 indeksą.

Sausros intensyvumo kaita vienos sausras metu gana įvairi, o pikas gali būti pasiektas bet kuriuo sausras metu. Tačiau dažniausiai pirmoji sausras pusė pasižymi didesniu intensyvumu nei antroji.

Atvejai, kai sausras registruojamos tuo pačiu ar labai panašiu laiku visuose trijuose Lietuvos regionuose, sudaro apie 60 % visų registruotų sausrų atvejų. Tačiau, tuo pačiu metu įvairiuose regionuose registruojamų sausrų trukmė ir intensyvumas gali stipriai skirtis.

Kartais sausra gali trukti daug mėnesių, tačiau būti mažo intensyvumo, o sausras metu neregistruojama nė vieno ESM. Kaip matyti iš 4.1 lentelės, bendras sausrų skaičius analizuojamu laikotarpiu gana didelis. Nemaža tokių sausrų dalis (ypač trumpų ir mažo intensyvumo) didesnės įtakos mūsų kraštui neturi, jos praeina nepastebėtos ir didesnės žalos nepadaro.

Pačios pavojingiausios sausras registruojamos tada, kai pasiekama ekstremali SPI reikšmė. Todėl mus labiau domina tie atvejai, kai pasirinktame laiko žingsnyje registruojamas ESM. SPI1 ir SPI3 indeksais tokių mėnesių per visą analizuojamą laikotarpį daugiausia registruota III (vakariniame) regione. SPI24 indeksu daugiausia ESM registruota I (šiaurės rytiniame regione). II (pietrytiniame) regione visais indeksais ekstremaliai sausrų mėnesių registruota mažiau, nei šiaurės rytiniame ar vakariniame regionuose (4.1 lentelė).

Kaip jau minėta, pagal SPI skaičiavimo metodiką visuose trijuose regionuose, analizuojamais laiko žingsniais, turėtų būti ir vienodas ekstremaliai sausrų mėnesių skaičius. Nevienodas ESM skaičius yra nulemtas kelių priežasčių.

Pirmoji priežastis yra ta, kad kritulių kiekis regionuose ir juose esančiose stotyse nėra visada pasiskirstęs pagal gama skirstinį (4, 5, 6 priedai).

Antroji priežastis yra ta, kad tam tikrame regione SPI reikšmė apskaičiuojama kaip vidutinė visų, tam regionui priklausančių stočių, SPI reikšmė. Analizuojat ekstremalias SPI reikšmes buvo nustatyta, kad kuo didesnis laiko žingsnis, kuriam skaičiuota SPI reikšmė, tuo mažiau stočių tą patį mėnesį registruoja ESM. Dėl šios priežasties, apskaičiavus vidutines tam tikro regiono

SPI reikšmes, SPI3 ir SPI24 indeksais registruotas mažesnis ESM skaičius nei SPI1 atveju.

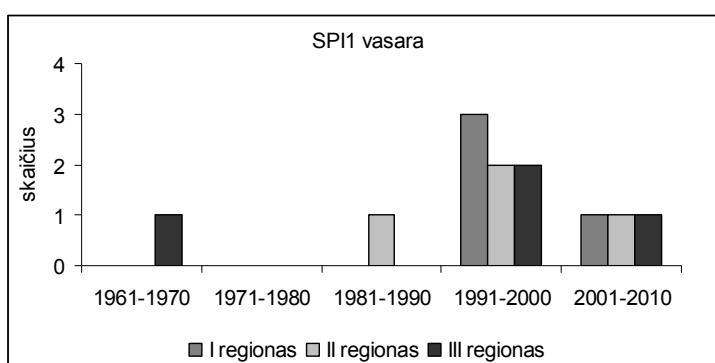
Nustatyta, kad kuo mažesnis laiko žingsnis, tuo ekstremaliausios SPI reikšmės būna žemesnės. Pavyzdžiui, SPI1 ekstremalumo rekordas (-4,68) pasiektas 1993 m. lapkričio mėn. Rokiškyje, kai iškrito vos 1 mm kritulių (vidutiniškai Rokiškyje lapkričio mėnesį iškrinta 57 mm kritulių). SPI3 atveju, žemiausia reikšmė (-3,55) registruota 1969 m. sausio mėn. Vilniuje, kai per tris mėnesius iškrito 51 mm kritulių (Vilniuje lapkričio–sausio laikotarpiu iškrinta vidutiniškai 145,4 mm kritulių). SPI24 indeksu žemiausia reikšmė (-3,35) registruota 1964 m. rugsėjį Panevėžyje, kai per 24 mėnesių laikotarpį iškrito 735 mm kritulių (vidutiniškai Panevėžyje per tokį 2 metų laikotarpį iškrinta 1193 mm kritulių).

Nustatyta, kad jei SPI24 indeksu didžioji dalis ESM registruota analizuojamo, t. y. 1961–2010 m., laikotarpio pirmoje pusėje, tai SPI1 atveju tokie mėnesiai kiek dažnesni per paskutinius du šio laikotarpio dešimtmečius. Taip pat išryškėjo tendencija, kad per paskutinius du dešimtmečius, SPI1 indeksu ESM dažniau registruojami vegetacijos laikotarpiu, o per pirmuosius tris dešimtmečius tokie mėnesiai dažniau buvo fiksuojami šaltuoju metų laikotarpiu. Šaltuoju metu ekstremaliai žemos SPI reikšmės mažuose laiko žingsniuose (SPI1, SPI3) pastebimos įtakos aplinkai neturi ir didesnės žalos nepadaro. Didžiausias poveikis daromas šiltuoju laikotarpiu – augalų vegetacijos metu. Tada kritulių trūkumas kelia didžiausią pavojų žemės ūkiui.

SPI3 indekso ekstremali reikšmė gali būti svarbi, jei ESM registruojamas ir šaltuoju laikotarpiu. Ypač, jei tokia ekstremali SPI3 reikšmė registruojama žiemos pabaigoje arba ankstyvą pavasarį, kai žemė dėl kritulių trūkumo ir teigiamos oro temperatūros žiemos metu nebuvo padengta sniegu, o dirva neiššalo. Drėgmės trūkumas, atsiradęs dar prieš vegetacijos pradžią, gali turėti įtakos drėgmės atsargoms dirvoje šiltuoju laikotarpiu. Jei SPI3 indeksu ekstremaliai sausos SPI3

reikšmės registruojamos vasarą, tai reiškia, kad prieš tai vyravo sausas 3 mėnesių laikotarpis. Tokio ilgumo laikotarpis gali turėti įtakos žemės ūkiui.

Nors bendros SPI indekso tendencijos mažuose SPI laiko žingsniuose ir rodo klimato drėgnumo didėjimą, svarbu atkreipti dėmesį į tai, kad vasarą ekstremaliai sausų mėnesių skaičius išaugo. Kitaip tariant, vasarą trumpų ir stiprių sausrų skaičius padidėjo. Pavyzdžiui, SPI1 indeksu dauguma ESM vasarą buvo registruoti per paskutinius du analizuojamo laikotarpio dešimtmečius (4.9 pav.).



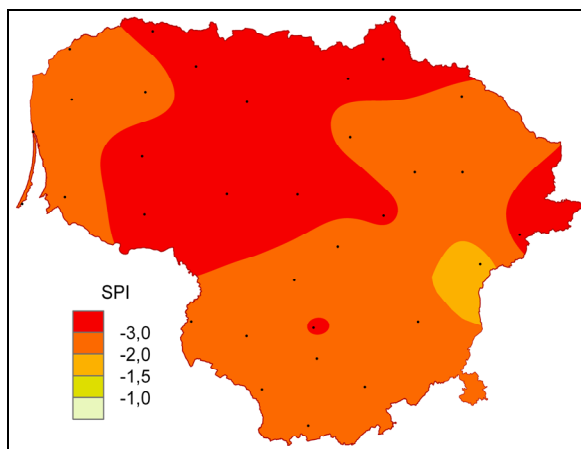
4.9 pav. Ekstremaliai sausų mėnesių skaičius pagal SPI1 vasaros mėnesiais 1961–2010 m. trijuose (I – šiaurės rytinis, II – pietrytinis, III – vakarinis) Lietuvos regionuose.

Kai ESM identifikuojamas naudojant ilgus \geq SPI12 (šioje analizėje SPI24) laiko žingsnius, tai sausros sukeltas poveikis aplinkai ne visada yra žymus. Šiuo atveju apibūdinamos 24 mėnesių sausumo – drėgnumo sąlygos.

Kritulių kiekio svyravimai tam tikroje vietovėje vyksta nuolatos. Vidutinis metinis (ar dvejų metų) kritulių kiekis įvairiose Lietuvos vietovėse gali skirtis net 40 %. Kadangi kritulių kiekis net sausiausių 2 metų laikotarpiu atskirose meteorologijos stotyse sudarė nuo 735 iki 1166 mm, jų nuokrypio nuo normos įtaka žemės ūkiui nėra žymi. SPI24 identifikuotos ekstremalios sausros apibūdina sausus laikotarpius ir yra svarbesnės hidrologiniams objektams, ypač požeminio vandens lygio kaitai vertinti (WMO, 2012) bei klimato kaitos tendencijoms nusakyti.

Skirtingos trukmės SPI laiko žingsniuose ekstremaliai sausi mėnesiai registruojami skirtingu metu. Išskiriant pačius ekstremaliausius atvejus skirtingos trukmės laiko žingsniuose, buvo nustatytos ir pačios stipriausios bei pavojingiausios sausras Lietuvoje.

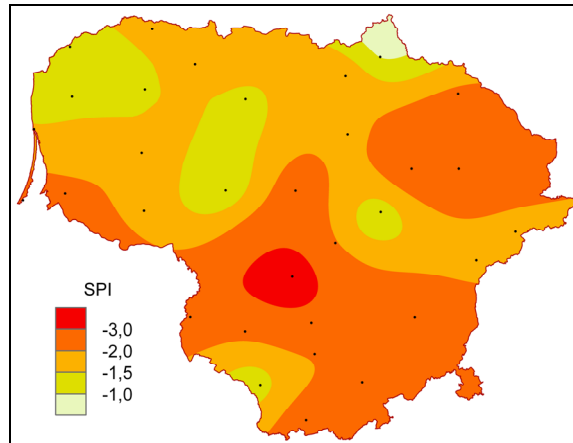
SPI1 indeksu: žemiausios SPI reikšmės registruotos skirtingu metu: I regione (šiaurės rytiniame) – 1993 m. lapkritį (–4,06); II (pietrytiniame) regione – 1976 m. vasarį (–2,67); III (vakariniame) regione – 1994 m. liepą (–3,11). 1993 m. lapkritis ir 1994 m. liepa buvo patys sausiausi mėnesiai Lietuvoje per 1961–2010 m. Tuo metu ESM registruoti beveik visose analizuojamose stotyse. Kaip pats pavojingiausias atvejis gali būti išskirta ekstremali sausra 1994 m. liepą, kuri padarė daug nuostolių žemės ūkiui (4.10 pav.). Šios ekstremalios sausras metu daugelyje meteorologijos stočių buvo registruota vos po keletą milimetrų kritulių ar jų nebuvo visai.



4.10 pav. SPI1 reikšmių pasiskirstymas ekstremalios sausras metu 1994 m. liepą.

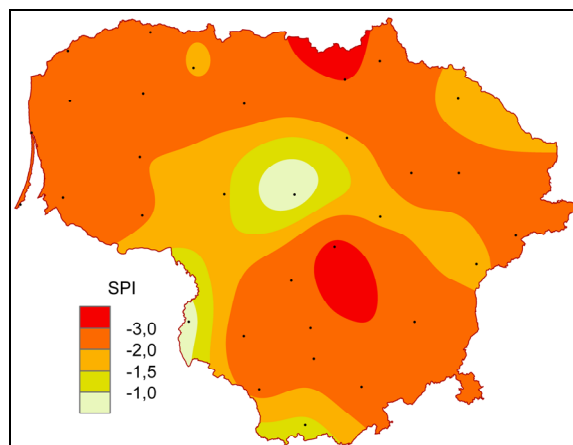
SPI3 indeksu pačios ekstremaliausios reikšmės visuose išskirtuose regionuose registruotos 1969 m. sausį. Šį mėnesį, pagal SPI3 indeksą, Lietuvoje registruota pati stipriausia sausra, o ESM reikšmės pasiektos beveik visose analizuojamose stotyse. Kadangi šiuo atveju ESM registruotas žiema, tai šiame, t. y. SPI3, laiko žingsnyje išskirtas dar vienas, labai pavojingas ekstremalios sausras, atvejis – 1992 m. liepą. Šiuo atveju sausras sąlygos pradėjo formotis jau

nuo gegužės, t. y. vegetacijos laikotarpio pradžios, o ekstremalias reikšmes pasiekė vasaros viduryje (4.11 pav.). Ši sausra nusitęsė iki rugpjūčio mėnesio, o Vakarų Lietuvoje ji baigėsi tik rudenį.



4.11 pav. SPI3 reikšmių pasiskirstymas ekstremalios sausras metu 1992 m. liepą.

SPI24 indeksu, kaip ekstremaliausia ir pavojingiausia, išskirta sausra, registruota 1977 m. sausį (4.12 pav.). Tačiau įvairiuose regionuose pačios žemiausios ESM reikšmės registruotos skirtingu metu: I regione – 1964 m. rugsėjį, II ir III regione – 1977 m. sausį.



4.12 pav. SPI24 reikšmių pasiskirstymas ekstremalios sausras metu 1977 m. sausį.

Ši, SPI24 indeksu registruota, sausra didesnėje Lietuvos dalyje dėl kritulių trūkumo pradėjo formotis 1976 m. rudenį ir, ekstremalias reikšmes daugelyje stočių pasiekusi 1977 m. sausio mėnesį, baigėsi tik 1978 m. rudens pradžioje.

Bendras vasaros sausrų skaičius analizuojamu laikotarpiu pateikiamas 4.2 lentelėje. Pagal SPI1 indeksą I ir II regione buvo registruota po 20 sausrų, o III regione 16 sausrų. Tačiau šios sausras pasižymi skirtingomis charakteristikomis. Dalis iš šių vasaros sausrų yra anksčiau prasidėjusių sausrų tęsinys. Pavyzdžiui, 1971 m. III regione registruota sausra truko visą vasarą, tačiau visais vasaros mėnesiais SPI reikšmės svyravo tik tarp 0 ir -1. Ši vasaros sausra – tai gegužę prasidėjusios sausras tęsinys. Tais metais sausra baigėsi tik spalio mėnesį. Kaip matyti iš šio pavyzdžio, nors ir buvo registruota vasaros sausra, jos intensyvumas buvo nedidelis. Todėl vasaros sausroms yra svarbesni atvejai, kai buvo pasiektas ekstremalios sausras kriterijus. Visuose trijuose regionuose SPI1 indeksu registruota po keturis ekstremaliai sausus vasaros mėnesius.

SPI3 indeksu daugiau nei pusė registruotų vasaros sausrų truko daugiau nei vieną vasaros mėnesį ar yra anksčiau prasidėjusių sausrų tęsinys. Pavyzdžiui, 2006 m. vasaros sausra prasidėjo 2005 m. lapkritį, o baigėsi tik 2006 m. rugsėjį (I regione), rugpjūtį (II regione), spalį (III regione).

4.2 lentelė. Vasaros sausras, registruotos trijuose regionuose 1961–2010 m. Lietuvoje pagal skirtingus SPI1, SPI3, SPI24 indeksus.

Sausra	SPI1			SPI3			SPI24		
	Regionas			Regionas			Regionas		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Sausrų skaičius	20	20	16	21	16	20	13	13	15
Sausra, registruota vasaros mėnesiais									
1 mėnesį	12	12	6	8	6	9	1	3	2
2 mėnesius	5	6	6	5	4	7	1	1	3
3 mėnesius	3	2	4	8	6	4	11	9	10
ESM skaičius	4	4	4	1	1	0	1	1	1

Dauguma SPI24 indeksu registruotų vasaros sausrų irgi yra anksčiau prasidėjusių sausrų dalis.

Apibendrinant galima teigti, kad skirtingų laiko žingsnių SPI reikšmių dinamika 1961–2010 m. rodo nežymų indekso reikšmių augimą, kuris tuo didesnis, kuo didesnis skaičiuojamas SPI laiko žingsnis. Tačiau SPI1 atveju dauguma ekstremalių vieno mėnesio trukmės sausrų (ekstremaliai sausų mėnesių) buvo registruota per paskutinius du analizuojamo laikotarpio dešimtmečius.

SPI1 indeksu sėkmingai identifikuotos pačios stipriausios ir daugiausia nuostolių atnešusios sausras Lietuvoje: 1992, 1994 ir 2002 m.

4.1.2. SPI kaita Vilniuje 1891–2010 m.

Rekonstruotų ir nerekonstruotų kritulių duomenų sekų palyginimas

Palyginus SPI rezultatus, apskaičiuotus pagal rekonstruotą ir nerekonstruotą kritulių duomenų seką 1891–2010 m. laikotarpiui Vilniuje, nustatyta, jog sutampa tik dalis SPI reikšmių. Visais laiko žingsniais koreliacijos koeficientai tarp tų pačių mėnesių SPI reikšmių, apskaičiuotų iš dviejų tipų sekų, yra statistiškai reikšmingi ir labai aukšti (4.3 lentelė). Nustatyta, jog koreliacijos koeficientas nežymiai mažėja didėjant skaičiuojamam SPI laiko žingsniui. Mažėjant koreliacijos koeficientui didėja skirtumai tarp tų pačių mėnesių SPI reikšmių: SPI1 atveju maksimalūs skirtumai yra ne didesni kaip 0,07, o SPI48 atveju jie jau siekia 1,05. Vidutiniai skirtumai kur kas mažesni: SPI1 atveju 0,005, SPI48 atveju 0,239 (4.3 lentelė). Dėl per didelių SPI duomenų sekos trūkių nerekonstruotoje SPI60 indekso sekoje koreliacijos koeficientai nebuvo skaičiuojami.

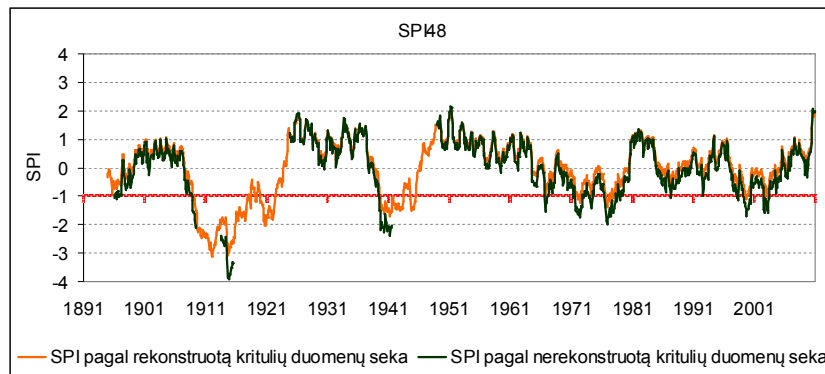
Didžiausi skirtumai tarp rekonstruotų ir nerekonstruotų kritulių duomenų sekų nustatyti esant ekstremaliems SPI dydžiams. Pažymėtina, kad ekstremaliai žemos SPI reikšmės, apskaičiuotos pagal rekonstruotą duomenų seką, yra kiek aukštesnės (pavyzdžiui, SPI $-2,8$ nerekonstruotoje duomenų sekoje tampa $-2,6$

rekonstruotoje duomenų sekoje), nors tai iš esmės rezultatų nekeičia. Rekonstruotoje duomenų sekoje skirtingais laiko žingsniais nustatyta viena ar keliomis ekstremaliomis sausromis mažiau, o ekstremalų kriterijų pasiekusios SPI reikšmės yra šiek tiek aukštesnės.

4.3 lentelė. SPI reikšmių, apskaičiuotų pagal rekonstruotas ir nerekonstruotas kritulių duomenų sekas 1891–2010 m. Vilniuje, palyginimas.

<i>SPI indeksas</i>	<i>Koreliacijos koeficientas</i>	<i>Vidutinis skirtumas</i>	<i>Maksimalus skirtumas</i>
SPI1	0,9999	0,005	0,07
SPI3	0,9998	0,014	0,09
SPI6	0,9997	0,033	0,15
SPI9	0,9997	0,047	0,19
SPI12	0,9995	0,063	0,33
SPI24	0,9997	0,123	0,43
SPI48	0,9995	0,239	1,05

Kadangi skirtumai yra nedideli ir didesnės įtakos galutiniam rezultatui neturi, patogiau naudoti rekonstruotas kritulių duomenų sekas. Dar vienas rekonstruotų sekų duomenų privalumas yra tai, kad skaičiuojant dideliais laiko žingsniais nerekonstruotose SPI9, SPI12, SPI24, SPI48 duomenų sekose susidaro labai dideli duomenų trūkiai (4.13 pav.), kurių galima išvengti rekonstruotoje duomenų sekoje ir dėl šios priežasties rekonstruotos duomenų sekos tampa kur kas informatyvesnės. Be to, naudojant nerekonstruotus duomenis sunku analizuoti ir lyginti SPI reikšmes, gautas naudojant skirtingu laiko žingsniu SPI indeksus.



4.13 pav. SPI48 reikšmių kaita, apskaičiuota pagal rekonstruotą ir nerekonstruotą kritulių duomenų seką, Vilniuje 1891–2010 m. Raudona punktyrinė linija rodo sausros pradžią.

Kritulių duomenų sekos ilgio įtaka SPI reikšmėms. Norint įvertinti, kokią įtaką duomenų sekos ilgis turi SPI reikšmėms, buvo analizuojama Vilniaus MS kritulių duomenų seka. Ši stotis pasirinkta dėl to, jog čia kritulių matavimai vykdomi ilgiausiai Lietuvoje. Skaičiavimai atlikti SPI1, SPI3, SPI12 ir SPI24 indeksai 2 laikotarpiams: 1891–2010 m. ir 1981–2010 m. Pirmuoju laikotarpiu (1891–2010 m.) kritulių duomenų seka yra ilga, bet imamas tik paskutinis trisdešimtmetis su apskaičiuotomis SPI reikšmėmis ir palyginimui imama trumpesnė kritulių duomenų seka, turinti tik 30-ties metų laikotarpio duomenų, t. y. 1981–2010 m., su apskaičiuotomis SPI reikšmėmis.

Lyginant tarpusavyje apskaičiuotas šių laikotarpių SPI reikšmes buvo nustatyta, jog koreliacijos koeficientai yra labai aukšti, $>0,97-0,99$ visais analizuojamais SPI indeksais (4.4 lentelė). Tačiau lyginant šių laikotarpių, tų pačių metų bei tų pačių mėnesių SPI reikšmes, dėl duomenų padėties bei sklaidos rodiklių nesutapimų (dėl nevienodo sekos ilgio skiriasi ir vidurkis, ir vidutinis kvadratinis nuokrypis), atsiranda SPI skirtumai. SPI1 atveju, vidutinis skirtumas 0,21, o 55,6 % atvejų skirtumai yra $<0,2$ ir tik 4,1 % $>0,5$. Didžiausi vidutiniai skirtumai ir daugiausia atvejų, kai skirtumai tarp dviejų sekų $>0,5$, nustatyti SPI24 indekso atveju (4.4 lentelė).

4.4 lentelė. SPI reikšmių palyginimas tarp 1981–2010 m. ir tų pačių metų, paimtų iš 1891–2010 m. duomenų sekos.

	SPI1	SPI3	SPI12	SPI24
Koreliacijos koeficientas	0,969	0,971	0,996	0,998
Vidutinis skirtumas	0,21	0,21	0,14	0,22
Maksimalus skirtumas	1,33	0,94	0,76	0,80
Skirtumas <0,2, atvejų (%)	55,6	59,3	76,2	53,4
Skirtumas >0,5, atvejų (%)	4,1	7	2,3	9,2

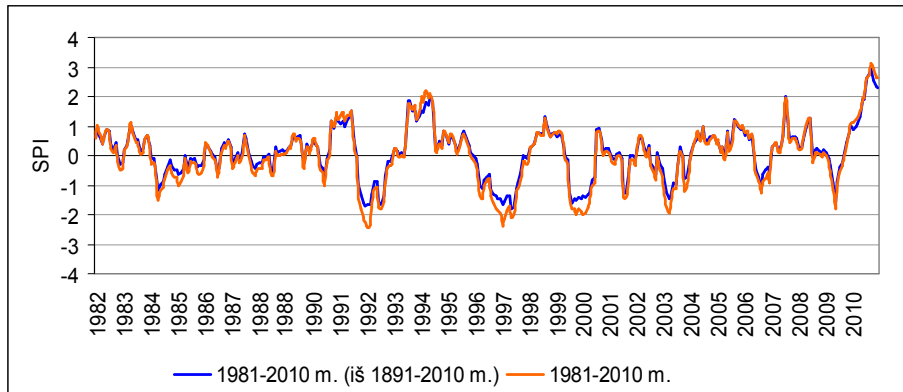
Jei analizuojama labai ilga kritulių duomenų seka dideliais SPI laiko žingsniais, gaunamiems rezultatams gali turėti įtakos tam tikros klimato fluktuacijos, todėl kažkuris laikotarpis išsiskirs sausumu ar drėgnumu. 1981–2010 m. duomenų sekoje tam tikra procentinė dalis mėnesių bet kokiu atveju bus apibūdinti kaip ekstremaliai sausi, nežiūrint į tai, ar šis laikotarpis buvo drėgnas ar sausas. 1981–2010 metais (išskaičiuotais iš 1891–2010 m. sekos) sausų mėnesių gali būti ir nenustatyta, jei ilgas sausas laikotarpis registruotas 1891–2010 metų laikotarpio pradžioje.

Taip nutinka ir analizuojamų sekų atveju, kai lygindami dviejų analizuojamų sekų SPI reikšmes pastebime susidarančius skirtumus tarp ekstremaliai sausų mėnesių skaičiaus ($SPI \leq -2$). 1981–2010 metų duomenų sekoje tokių ekstremaliai sausų mėnesių SPI1 ir SPI3 indeksuose yra daugiau, atitinkamai – 3 ir 4 mėnesiais. 1981–2010 metais (išskaičiuotais iš 1891–2010 metų sekos) SPI12 ir SPI24 indeksais ekstremaliai sausų mėnesių nenustatyta. Tai galima paaiškinti tuo, jog 1891–2010 metais ilgesni sausi laikotarpiai dideliuose SPI laiko žingsniuose buvo registruoti analizuojamo laikotarpio pirmoje pusėje.

Taip pat galima paminėti, jog SPI ekstremalios reikšmės visuose laiko žingsniuose yra labiau ekstremalios tuo atveju, kai indekso reikšmės skaičiuotos iš trumpos kritulių duomenų sekos, t. y. 1981–2010 metų laikotarpio (4.14 pav.).

Šiame darbe buvo apskaičiuotos SPI1, SPI3, SPI6, SPI9, SPI12, SPI24, SPI48 ir SPI60 reikšmės, naudojant 1891–2010 metų rekonstruotą Vilniaus MS kritulių duomenų seką. Labai aiškiai išryškėja rodiklio skaičiavimo metodikos

apspręsta tendencija, kad kuo didesniai laikotarpiui (laiko žingsniui) skaičiuojamas SPI indeksas, tuo mažesnė ir indekso reikšmių sklaida (4.15 pav.).



4.14 pav. SPI12 reikšmių, apskaičiuotų iš 1981–2010 metų sekos, ir tų pačių metų reikšmių, paimtų iš 1891–2010 duomenų sekos, dinamika.

Analizuodami skirtingų laiko žingsnių SPI duomenų sekas galime išskirti gana ryškų sausą laikotarpį XX amžiaus pirmaisiais dešimtmečiais (4.15 pav.). Per visą tiriamą laikotarpį nustatytas statistiškai reikšmingas klimato drėgnumo didėjimas, kuris didėja, didėjant skaičiuojamam SPI laiko žingsniui. Analizuojant SPI24, SPI48 indeksų duomenų sekas (4.15 pav.) galime matyti didesnę SPI reikšmių kaitos amplitudę, pradedant praėjusio amžiaus viduriu.

Žemiausia SPI1 indekso reikšmė $-4,8$ fiksuota 1934 m. gruodį. Šį mėnesį iškrito tik 1 mm kritulių (4.5 lentelė). SPI3 mažiausia reikšmė fiksuota 1918 m. gegužę ($-3,6$), tada per tris mėnesius (kovą, balandį, gegužę) iškrito vos 29 mm kritulių. Vienerių metų SPI12 mažiausia reikšmė ($-3,5$) fiksuota 1912 m. sausį, kai per 12 mėnesių iškrito vos 385 mm kritulių. SPI6, SPI9 ir SPI12 mažiausios reikšmės tarpusavyje susijusios, t. y. SPI12 yra SPI6 ir SPI9 sausrų tąsa. Taip pat pažymėtina, kad visos žemiausios reikšmės fiksuotos praėjusio šimtmečio pirmoje pusėje (4.5 lentelė).

Didžiausias SPI reikšmių kartojimasis visais laiko žingsniais, fiksuojamas $0,99 - -0,99$ intervale (66–70 %). Yra laikoma, kad SPI kintant šiame intervale, drėkinimo sąlygos yra artimos vidutinėms. Taigi tokie rezultatai atitinka empirinį,

SPI skaičiavimo metodikoje nurodytą, reikšmių pasiskirstymą. Ekstremalios reikšmės per tiriamąjį laikotarpį įvairiais laiko žingsniais fiksuotos 3,5–5,5 % atvejų.

4.5 lentelė. Įvairių SPI indeksų mažiausios reikšmės 1891–2010 m. Vilniuje.

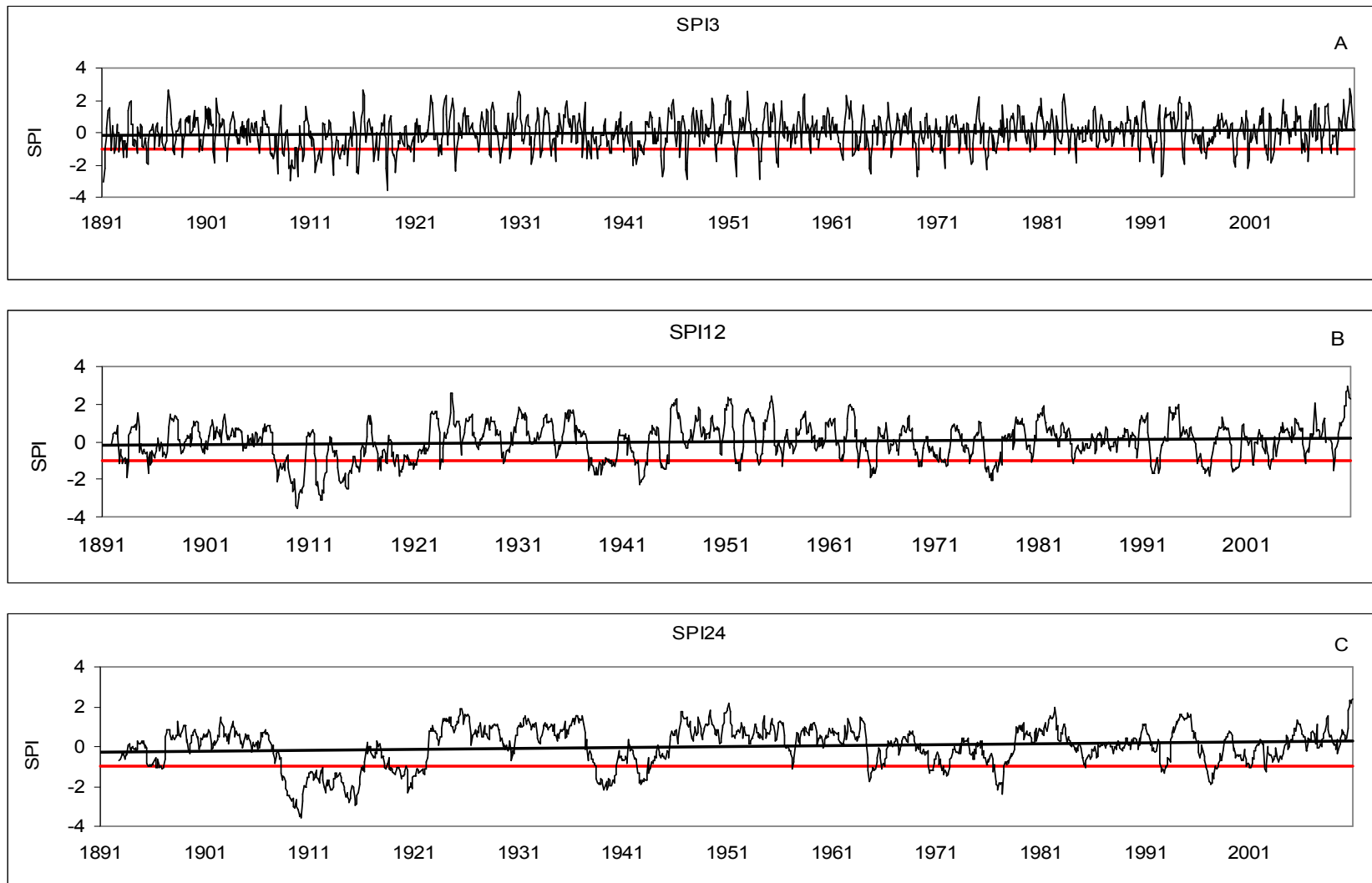
SPI indeksas	Metai	Mėnuo	SPI dydis	Kritulių kiekis mm
SPI1	1934	12	–4,8	1
SPI3	1918	5	–3,58	29
SPI6	1909	5	–3,44	105
SPI9	1909	6	–3,44	117
SPI12	1909	10	–3,5	397
SPI24	1915	7	–3,24	962
SPI48	1912	2	–3,1	1983
SPI60	1912	1	–3,2	2504

Nagrinėdami, kaip tarpusavyje koreliuoja skirtingo laiko žingsnio SPI reikšmės (4.6 lentelė), nustatyta, kad geriausia koreliacija yra tarp SPI9 ir SPI12 indeksų. Tai, kad geriausia koreliacija yra tarp SPI9 ir SPI12 indeksų reikšmių, nustatė ir A. Ceglar su kolegomis (2008), nagrinėdami ilgalaikes sausras Liublianoje bei vengrų mokslininkai, tyrinėję sausras Vengrijoje (Bussay ir kt., 1998).

Koreliacijos koeficientai apskaičiuoti tarp kitų laiko žingsnių SPI reikšmių Vilniaus MS, taip pat yra labai artimi tiems, kurie buvo aprašyti analizuojant sausras Liublianoje (Ceglar ir kt., 2008) bei Vengrijoje (Bussay ir kt., 1998).

4.6 lentelė. Koreliacija tarp skirtingų SPI indeksų reikšmių 1891–2010 m. Vilniaus MS.

	SPI1	SPI3	SPI6	SPI9	SPI12	SPI24	SPI48	SPI60
SPI1	1,00	0,56	0,38	0,30	0,26	0,21	0,17	0,17
SPI3		1,00	0,69	0,54	0,47	0,36	0,29	0,31
SPI6			1,00	0,80	0,68	0,51	0,43	0,41
SPI9				1,00	0,86	0,62	0,52	0,49
SPI12					1,00	0,70	0,60	0,56
SPI24						1,00	0,81	0,74
SPI48							1,00	0,93
SPI60								1,00



4.15 pav. SPI3 (A), SPI12 (B), SPI24 (C) reikšmių kaita ir trendai 1891–2010 m. Vilniuje. Raudona linija rodo SPI reikšmę, kurią peržengus fiksuojama sausras pradžia.

SPI skaičiavimo metodika lemia, kad tai, jog kuo mažesniai laiko žingsniui skaičiuojama SPI, tuo daugiau sausrų fiksuojama, bet jos yra trumpesnės, ir atvirkščiai, kuo didesniai laiko žingsnis skaičiuojama SPI, tuo sausrų mažiau, bet jos ilgesnės. Pavyzdžiui, SPI1 indeksu buvo identifikuota 163 sausras, o vidutinė vienos sausras trukmė 2 mėnesiai. O SPI12 atveju identifikuota 30 sausrų, vidutinė vienos sausras trukmė 15 mėnesių (4.7 lentelė).

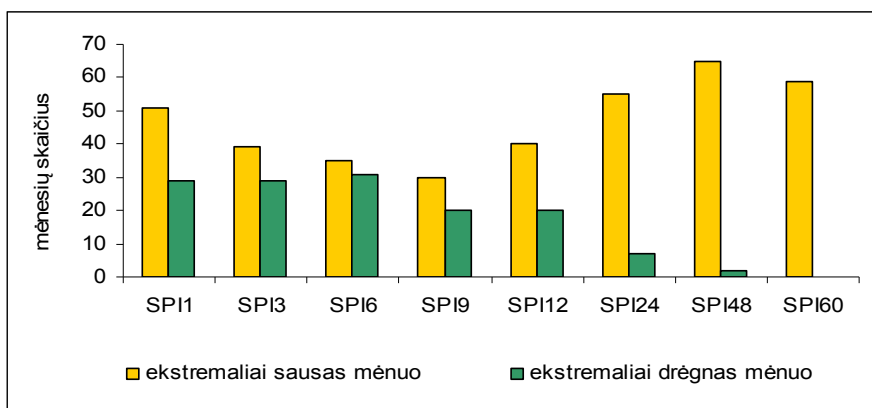
4.7 lentelė. Sausros ir sausi laikotarpiai 1891–2010 m. Vilniuje (sausros pradžia, kai $SPI < -1$, sausras pabaiga, kai $SPI > 0$).

SPI indeksas	Sausrų skaičius	Vienos sausras trukmė mėn.		Vid. vienos sausras trukmė mėnesiais	Bendra visų sausrų trukmė (%) per analizuojamą periodą	Sausrų skaičius, kurių metu buvo pasiektas ekstremalios sausras kriterijus
		nuo	Iki			
SPI1	163	1	9	2	23	43
SPI3	81	1	24	5	28	22
SPI6	51	2	27	8	29	17
SPI9	40	1	37	11	30	8
SPI12	30	2	59	15	31	4
SPI24	14	3	110	28	28	4
SPI48	5	41	178	80	29	1
SPI60	3	35	181	99	21	1

Ekstremalus sausras kriterijus ($SPI \leq -2$) yra pasiekiamas ne kiekvienos tokios sausras metu: pavyzdžiui, iš 81, SPI3 indeksu fiksuotų, sausrų ekstremalus kriterijus buvo pasiektas 22 kartus (4.7 lentelė).

Kadangi kritulių kiekis, analizuojamuose laiko žingsniuose Vilniuje 1891–2010 m. laikotarpiu, ne visada atitinka teorinį gama skirstinį (7 priedas), tai ekstremaliai sausrų ir ekstremaliai drėgnų mėnesių skaičius gali skirtis (4.16 pav.).

SPI60 atveju ekstremaliai drėgnų mėnesių iš viso nebuvo fiksuota, bet buvo net 59 ekstremaliai sausi mėnesiai.



4.16 pav. Ekstremaliai sausų ir ekstremaliai drėgnų mėnesių skaičius pagal skirtingus SPI indeksus 1891–2010 m. Vilniuje.

Nemaža mėnesių, kurie yra ekstremaliai sausi pagal didelį SPI laiko žingsnį, nėra ekstremaliai sausi mažo SPI laiko žingsnio skaičiavimų rezultatuose. Visais SPI indeksais (išskyrus SPI60) ekstremaliai sausi mėnesiai užfiksuoti tik 1909 m. rugsėjį–spalį.

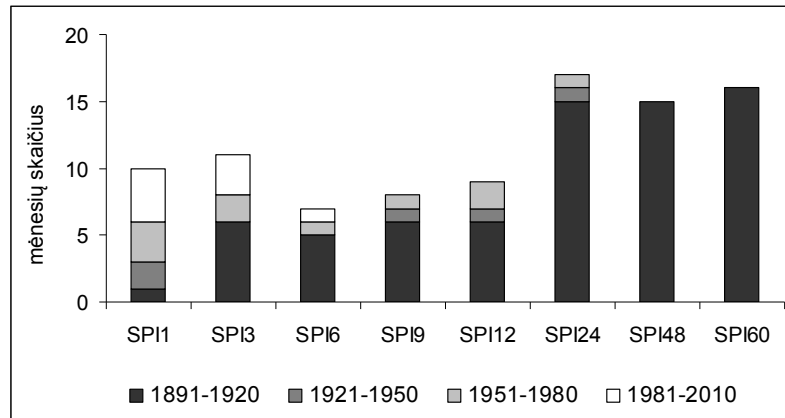
Vasaros laikotarpio ekstremalios sausros Vilniuje 1891–2010 m.

Vasaros mėnesiais dideliuose laiko žingsniuose (SPI48, SPI60) ekstremaliai sausi mėnesiai buvo fiksuoti tik pirmąjį tiriamojo laikotarpio trisdešimtmetį 1891–1920 metais, kai buvo viena ekstremali ir ilga sausra (4.17 pav.). SPI6, SPI9, SPI12 atvejais taip pat daugiausia ekstremaliai sausų vasaros mėnesių fiksuota pirmąjį tiriamojo laikotarpio trisdešimtmetį. Tai yra padarinys to paties, t.y. pirmajame tiriamojo laikotarpio trisdešimtmetyje ilgai vyravusio sauso laikotarpio (4.17 pav.).

SPI3 indeksu daugiausia sausų vasaros mėnesių buvo užfiksuota pirmąjį trisdešimtmetį, antrąjį – jų nefiksuota iš viso, o trečiąjį ir ketvirtąjį – užfiksuoti, atitinkamai, 2 ir 3 ekstremaliai sausi mėnesiai (4.17 pav.).

SPI1 atveju pirmąjį trisdešimtmetį (1891–1920) buvo tik vienas ekstremaliai sausas mėnuo, antrąjį (1921–1950) ir trečiąjį (1951–1980) trisdešimtmečiais ekstremaliai sausų vasaros mėnesių padaugėja iki 3, o paskutinįjį trisdešimtmetį (1981–2010) fiksuojami jau keturi ekstremaliai sausi vasaros mėnesiai (4.17 pav.).

Nustatyta, kad mažuose SPI laiko žingsniuose pastarųjų dešimtmečių vasaros mėnesiais žemos SPI reikšmės fiksuojamos vis dažniau.



4.17 pav. Ekstremaliai sausi vasaros mėnesiai įvairiais trisdešimtmečiais 1891–2010 m. Vilniuje. X ašyje – SPI indeksas, Y ašyje – ekstremaliai sausų mėnesių skaičius.

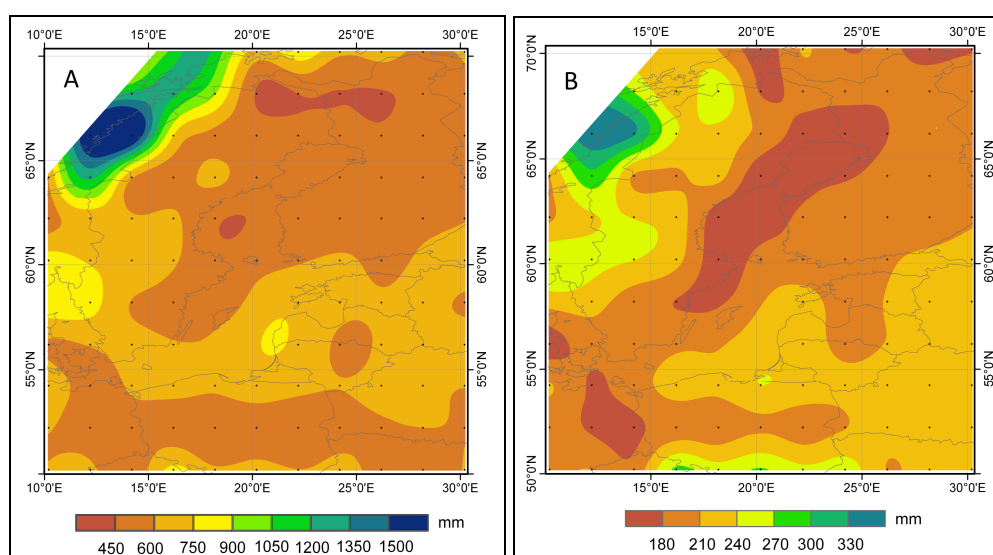
4.1.3. SPI kaita Baltijos jūros regione 1960–2009 m.

Sausros – meteorologinis reiškinys, kuris dažniausiai apima didelę teritoriją, todėl šiame darbe analizuotos sausrų skaičiaus ir trukmės tendencijos Baltijos jūros regione (BJR). Baltijos jūros regionas yra didelis su gana įvairiu kraštovaizdžiu. Sausrų, susiformuojančių vasarą ar kitu metų laiku, trukmė labai priklauso nuo vietovės geografinės padėties, atstumo iki didelių vandens telkinių ir kalnų, taip pat nuo vietinių oro sąlygų lemiančių veiksnių (Thorsteinsson ir Björnsson, 2011).

Vidutinis metinis kritulių kiekis, analizuojamu 1960–2009 m. laikotarpiu Baltijos jūros regione, buvo 632 mm, o vidutinis kritulių kiekis vasaros laikotarpiu sudarė 211 mm (4.18 pav.).

Atsižvelgiant į tai, kad analizuojamos teritorijos plotas gana didelis, galima teigti, jog metinis kritulių kiekio pasiskirstymas didesnėje teritorijos dalyje (išskyrus šiaurės vakarinę regiono dalį) yra gana vienodas ir tolygus (4.18 A). Tolygiai visoje teritorijoje pasiskirsto kritulių kiekis, iškritęs vasaros laikotarpiu. Didesnėje analizuojamos teritorijos dalyje trijų vasaros mėnesių kritulių kiekio suma vidutiniškai svyruoja nuo 170 iki 230 mm. Tiksliai pačioje

šiaurės vakarinėje ir pietinėje BJR dalyje, dėl reljefo įtakos, vasaros mėnesių kritulių kiekis viršija 300 mm (4.18 B pav.). Dėl kur kas didesnio, nei likusioje teritorijoje, kritulių kiekio, iškrintančio Norvegijos pakrantėse, metinio kritulių kiekio netolygumas šioje teritorijoje kur kas didesnis. Šiaurės vakarinėje regiono dalyje metinis kritulių kiekis yra 2–3 kartus didesnis, nei kitose BJR teritorijos dalyse. Šioje vietovėje kur kas didesnę metinę kritulių kiekio sumą didžiąja dalimi nulemia didesnis jo kiekis šaltuoju metų laikotarpiu. Tada šilta Golfo srovė atneša šiltą orą, kuris, susidūręs su Skandinavijos kalnais, adiabatiškai vėsta ir iškrinta krituliai (Forland ir kt., 2000) (4.18 A pav.).

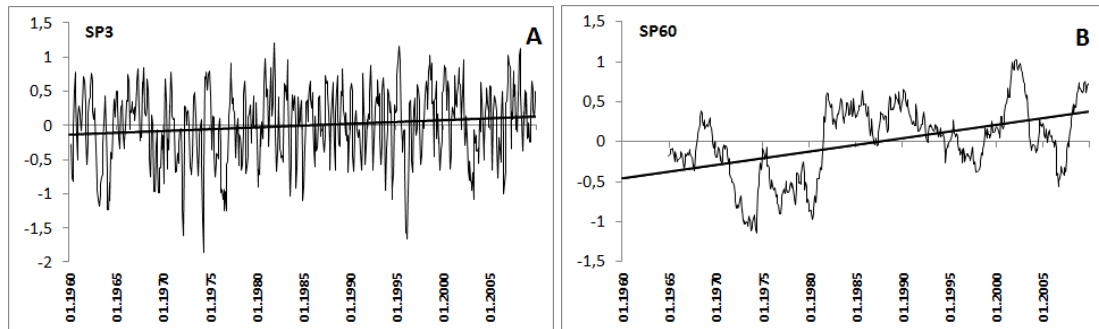


4.18. pav. Vidutinis kritulių kiekis BJR 1960–2009 m. per metus (A) ir vasaros laikotarpiu (B).

Baltijos jūros regiono SPI dinamikos analizė 1960–2009 m. parodė, jog SPI reikšmės naudotuose laiko žingsniuose auga. Tai reiškia, kad regione drėgmės kiekis augo, o bendras sausrų ir sausų laikotarpių skaičius mažėjo. Didžiausias indekso reikšmių augimas nustatytas dideliuose laiko žingsniuose (4.19 B pav.). Tai rodo, kad ilgai trunkantys sausi laikotarpiai analizuojamo laikotarpio pradžioje buvo dažnesni nei pabaigoje. Pirmoji analizuojamo laikotarpio dalis gali būti apibūdinta, kaip laikotarpis su itin žemomis SPI60 reikšmėmis (4.19 B pav.).

SPI reikšmių augimas nustatytas ir analizuojant trijų mėnesių (SPI3) indekso reikšmių kaitos tendencijas BJR, tačiau šiuo atveju indekso reikšmių

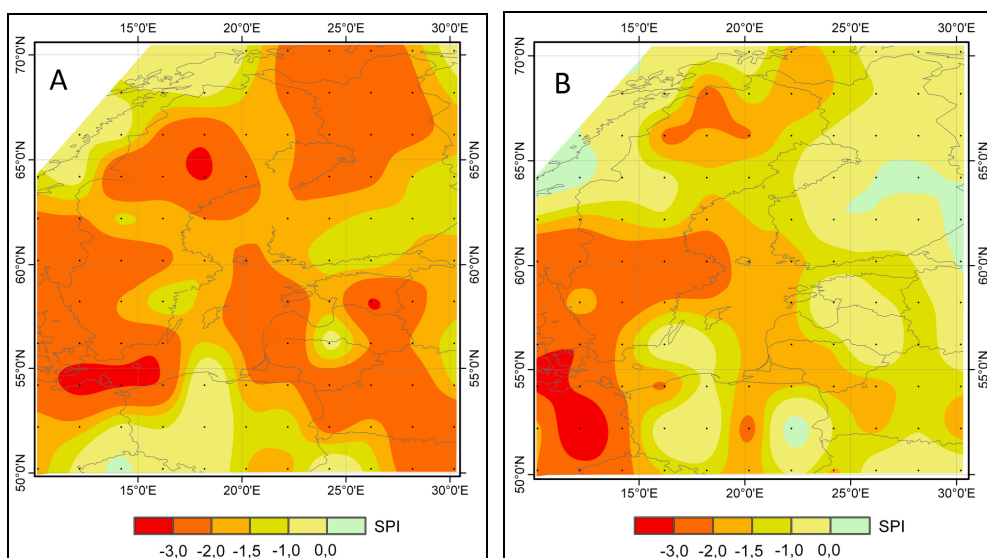
didėjimas nėra toks didelis (4.19 A pav.). Tai reiškia, kad nors bendras teritorijos drėgnumas auga, tačiau trumpalaikių sausrų susiformavimo galimybė išlieka gana didelė.



4.19. pav. SPI indekso kaitos dinamika ir tiesinis trendas BJR 1960–2009 m. laikotarpiu pagal SPI3 (A) ir SPI60 (B) indeksus.

Remiantis T. B. McKee sausras apibrėžimu, SPI3 indeksu per analizuojamą 1960–2009 m. laikotarpį buvo nustatytas 31 atvejis, kai daugiau nei pusėje analizuojamos teritorijos registruota sausra (vyravo vidutiniškai sausras ar sausesnės už vidutines sąlygas). Sausras, apėmusios $\geq 2/3$ analizuojamo regiono, registruotos penkis kartus.

Pati stipriausia ir intensyviausia sausra, pagal SPI3, Baltijos jūros regione registruota 1974 m. gegužę, kai vidutinė SPI3 reikšmė nukrito iki $-1,86$, o beveik pusėje teritorijos SPI3 reikšmės pasiekė ekstremalų sausras kriterijų ($SPI < -2$) (4.20 A pav.). Ši sausra prasidėjo 1974 m. pradžioje, kai dėl nedidelio kritulių kiekio sausras sąlygos pradėjo formotis pietrytinėje BJR dalyje. Kovą–balandį sausra pradėjo intensyvėti ir plisti po visą regioną. Gegužę didžiojoje teritorijos dalyje sausra dar labiau sustiprėjo, o SPI3 reikšmės pasiekė ekstremalias ar artimas ekstremalioms reikšmes. Tik pietvakarinėje regiono dalyje, kur iškritęs kritulių kiekis buvo artimas ar net nežymiai didesnis už vidutinį, SPI3 reikšmės nežymiai išaugo. Ši sausra apėmė ir Lietuvą, tačiau ekstremalios sausras kriterijus buvo pasiektas ne visoje Lietuvos teritorijoje (4.20 A pav.).



4.20 pav. SPI reikšmių pasiskirstymas BJR ekstremalių sausrų metu pagal SPI3 1974 m. gegužę (A) ir 1976 m. rugpjūtį (B).

Žiūrint iš ekonominės pusės, svarbesnės ir reikšmingesnės įvairių ūkio šakų sektoriams yra vasaros sausros. Vasaros metu per visą analizuojamą laikotarpį sausros registruotos 8 kartus. Tai tie atvejai, kai daugiau nei pusėje analizuojamos BJR teritorijos SPI3 reikšmės buvo nukritusios < -1 (vidutiniškai sausa). Pati intensyviausia vasaros sausra registruota 1976 m. rugpjūtį (4.20 B pav.). Tada vidutinė SPI3 reikšmė BJR siekė $-1,24$. Ekstremali indekso reikšmė ($SPI3 \leq -2$) registruota beveik 1/5 teritorijos (daugiausia pietvakarinėje regiono dalyje) (4.20 B pav.). Ši sausra didžiojoje BJR dalyje prasidėjo balandį, o didžiausias kritulių trūkumas susiformavo pietinėje ir pietrytinėje regiono dalyse. Vėliau sausra po truputį intensyvėjo ir maksimalią reikšmę pasiekė rugpjūčio mėnesį.

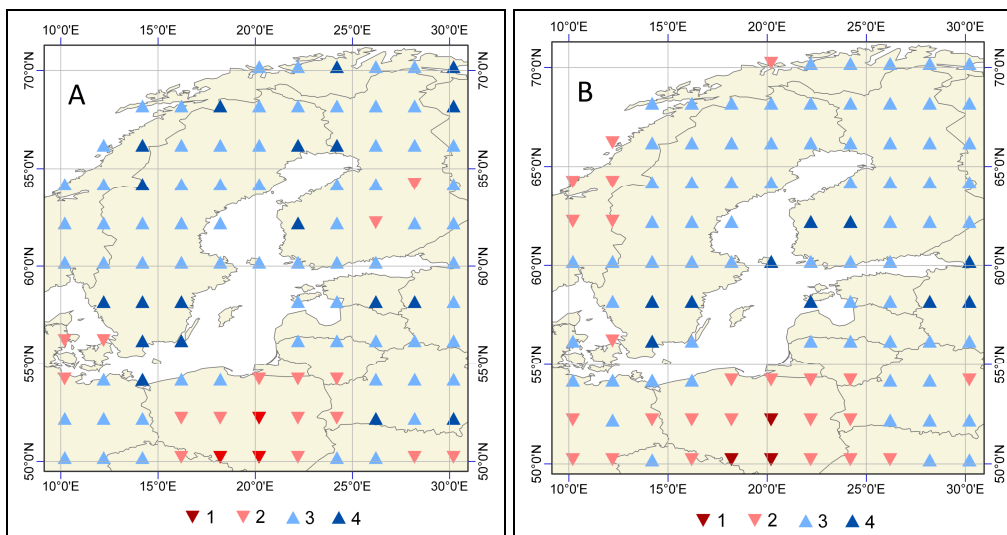
Lietuvoje ši sausra, nors ir nepasiekusi ekstremalios sausros kriterijaus, apėmė visą šalies teritoriją. Šiaurės rytinėje Lietuvoje ji buvo kiek mažiau intensyvi nei likusioje šalies dalyje (4.20 B pav.).

Būtina pažymėti, kad SPI reikšmių kaitos tendencijos įvairiose regiono dalyse skiriasi. Vasaros mėnesių (SPI3) ir metinės (SPI12) SPI reikšmių kaitos tendencijos bei jų statistinis reikšmingumas pavaizduoti (4.21 pav.).

Pagal SPI3 vasaros mėnesiais didžiausi statistiškai reikšmingi teigiami pokyčiai (klimato drėgnumo stiprėjimas) nustatyti Baltijos jūros priekrantinėse dalyse: pietinėje Švedijos pakrantėje, Baltijos jūros salose ir Pietvakarių

Suomijoje (4.21 B pav.). Taip pat statistiškai reikšmingi teigiami pokyčiai nustatyti BJR rytinėje dalyje. Neigiamos indekso tendencijos (klimato drėgnumo mažėjimas) užfiksuotos pietinėje ir vakarinėje regiono dalyse, o tai reiškia, kad šiose vietovėse sausrų ir sausrų laikotarpių daugėja. Statistiškai reikšmingi pokyčiai nustatyti pietinėje ir centrinėje Lenkijos dalyse.

Pagal SPI12 teigiamos indekso (4.21 A pav.) reikšmių kaitos tendencijos nustatytos didesnėje teritorijos dalyje nei SPI3 atveju. Dalis teigiamų indekso pokyčių yra statistiškai reikšmingi ($p=0,05$). Statistiškai reikšmingi neigiami indekso pokyčiai (klimato drėgnumo mažėjimas) nustatyti Lenkijos teritorijoje.



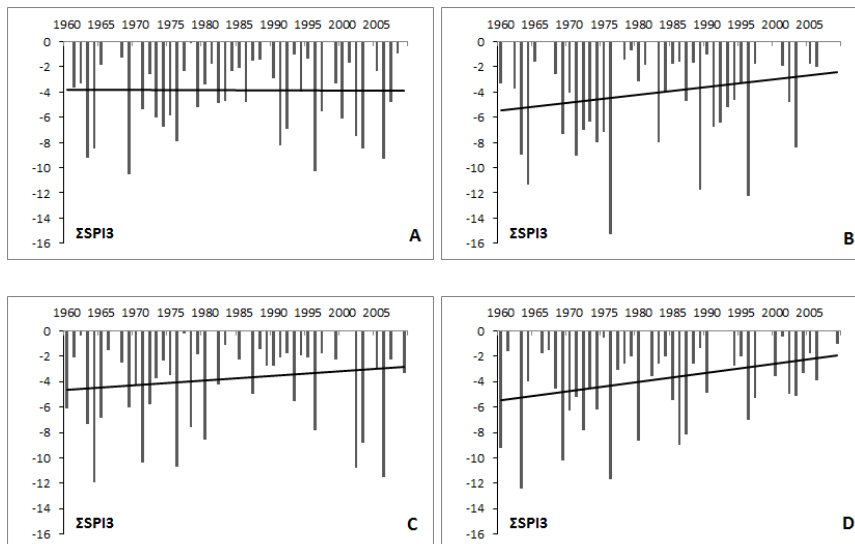
4.21 pav. SPI reikšmių kaitos tendencijos ir statistinis reikšmingumas ($p=0,05$) 1960–2009 m. laikotarpiu BJR pagal SPI12 (metinis A) ir SPI3 (vasaros B). 1 – statistiškai reikšmingi neigiami pokyčiai, 2 – statistiškai nereikšmingi neigiami pokyčiai, 3 – statistiškai nereikšmingi teigiami pokyčiai, 4 – statistiškai reikšmingi teigiami pokyčiai.

Pirmojoje, t. y. pietinėje, klasterinės analizės būdu išskirtoje BJR dalyje (3.4 pav.) nustatyta nežymi sausrų intensyvumo didėjimo tendencija. Kituose trijuose BJR regionuose sausrų intensyvumas mažėjo (4.22 pav.). Ryškiausia sausrų intensyvumo mažėjimo tendencija nustatyta šiaurinėje BJR dalyje — ketvirtajame regione (4.22 D pav.). Metų, kai SPI3 reikšmė nenukrinta žemiau -1 , skaičius labai išaugo per paskutinius du dešimtmečius antrajame ir ketvirtajame regionuose (4.22 B ir D pav.). 1976 m. antrajame regione

registruota ir pati intensyviausia sausra (-15,3) (4.22 B pav.). Kituose trijuose regionuose sausiausi metai registruoti 7-ajame XX amžiaus dešimtmetyje, kai sausras intensyvumas buvo ≤ -10 (4.22 A, C, D pav.).

1976 metų ekstremali sausra buvo registruojama didžiojoje Šiaurės Europos dalyje. Kaip atsaką, Didžiosios Britanijos vyriausybė paskelbė „Sausrų įstatymą“, kuris įgaliojo įmones sumažinti vandens suvartojimą (Rodda ir Marsh, 2011).

Taigi, SPI reikšmių tendrų analizė rodo, jog BJR meteorologinių sausrų formavimosi tendencijos XX a. antroje pusėje išliko beveik nepakitusios ar net nustatytas klimato drėgnumo stiprėjimas. Nors sausrų ir sausrų laikotarpių atvejų skaičiaus mažėjimo tendencijos Baltijos jūros regione išryškėja per 50 pastarųjų metų, vis dėlto, stiprios sausras vis dar gali susiformuoti bet kurioje regiono dalyje (van Lanen ir kt. 2007; Graham ir kt. 2009; Tallaksen ir Stahl 2012). Antra vertus, kai kurios sausrų skaičiaus didėjimo tendencijos buvo nustatytos Danijoje bei Latvijoje (BACC, 2008). Analizuojamo laikotarpio pabaigoje – 2002 ir 2003 metais buvusios sausras parodė, kad sausras vis dar gali būti ekstremalios ir pavojingos (Tallaksen ir kt., 2011).



4.22 pav. Sausrų intensyvumo kaita ir jos tiesinis trendas įvairiose BJR dalyse 1960–2009 m. laikotarpiu pagal SPI3 (remiantis duomenimis iš CRU duomenų bazės): A) 1 regionas ($52,2^{\circ}$ š. p. ir $24,2^{\circ}$ r. i.); B) 2 regionas ($58,2^{\circ}$ š. p. ir $14,2^{\circ}$ r. i.); C) 3 regionas ($62,2^{\circ}$ š. p. ir $24,2^{\circ}$ r. i.); D) 4 regionas ($70,2^{\circ}$ š. p. ir $24,2^{\circ}$ r. i.).

Sausrų ir sausų laikotarpių skaičiaus ir intensyvumo mažėjimo tendencija buvo fiksuota ir naudojant kitus meteorologinius indeksus bei analizės metodus įvairiose BJR dalyse (Mager ir kt., 2000; Hisdal ir Tallaksen, 2003; Tammets, 2007; Jakimavičiūtė ir Stankūnavičius 2008; Avotniece ir kt., 2010; Briede ir Lizuma, 2010; Samaniego ir kt., 2011). Baltijos jūros regione nustatytas ir agrometeorologinių (Schindler ir kt., 2007; Daugėlienė ir Žekonienė, 2009; Tammets, 2010; Kaznowska, 2011), bei hidrologinių (Hisdal ir kt., 2001; Stonevičius ir kt., 2006; Kriauciūnienė ir kt., 2007; Klavinš ir kt., 2008; Wilson ir kt., 2010; Gailiūšis ir kt., 2011) sausrų skaičiaus mažėjimas.

Rezultatai ir jų sutapimas su kitų mokslininkų gautais tyrimų rezultatais rodo, jog SPI gali būti sėkmingai taikomas meteorologinių sausrų identifikavimui BJR.

4.1.4. SPI kaitos scenarijai XXI a. Lietuvai ir Baltijos jūros regionui

SPI reikšmių kaitos projekcijos Lietuvoje ir Baltijos jūros regionui apskaičiuotos remiantis regioninio CCLM modelio kritulių kiekio išvesties duomenimis pagal A1B ir B1 šiltnamio dujų emisijos scenarijus.

SPI kaitos scenarijai XXI a. Lietuvai

Prognozuojama, kad XXI a. SPI reikšmių kaitos tendencijos išliks panašios į fiksuotas 1961–2010 m. laikotarpiu.

Numatoma, kad SPI1, SPI3 ir SPI24 reikšmių kaitos tendencijos pagal abu klimato kaitos scenarijus visuose trijuose Lietuvos regionuose (3.1 pav.) bus teigiamos (klimato drėgnumas stiprės). Daugeliu atveju šie pokyčiai bus statistiškai reikšmingi (4.8 lentelė). Didžiausias klimato drėgnumo didėjimas numatomas pagal SPI24 indeksą vakarinėje šalies dalyje remiantis B1 emisijos scenarijumi (4.23 A pav.).

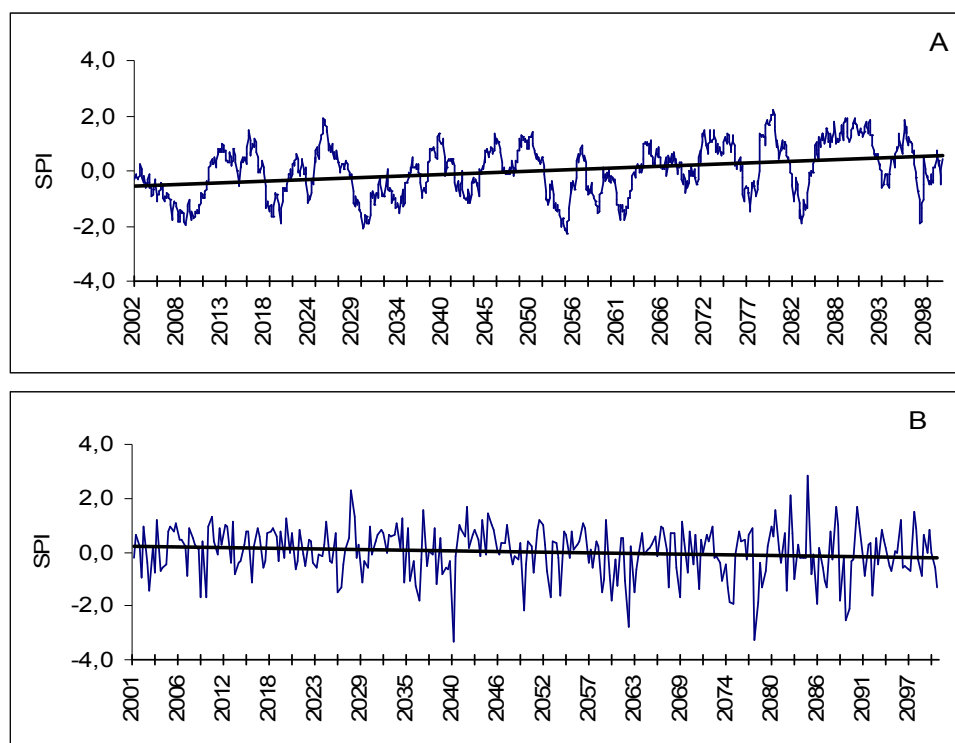
Vasaros laikotarpiu pagal B1 klimato kaitos scenarijų numatoma, kad SPI3 ir SPI24 lako žingsniuose klimato drėgnumas didės visuose regionuose, o pagal SPI1 vakariniame regione. Tačiau statistiškai reikšmingi pokyčiai visuose regionuose numatomi tik pagal SPI24 bei pagal SPI3 šalies vakaruose.

Pagal SPI1 klimato drėgnumo mažėjimas numatomas šiaurės rytiname ir pietrytiniame regionuose.

4.8 lentelė. Prognozuojamos SPI reikšmių kaitos tendencijos XXI a. ir jų statistinis reikšmingumas ($p \leq 0,05$) Lietuvos regionuose.

SPI indeksas	Klimato kaitos scenarijus					
	A1B			B1		
	Regionas			Regionas		
	I	II	III	I	II	III
SPI1 metinė	+	+	+++	+++	+++	+++
SPI1 vasaros	---	-	-	-	-	+
SPI3 metinė	+++	+	+++	+++	+++	+++
SPI3 vasaros	-	-	-	+	+	+++
SPI24 metinė	+++	+++	+++	+++	+++	+++
SPI24 vasaros	+++	+	+++	+++	+++	+++

+ statistiškai nereikšmingi teigiami pokyčiai; +++ statistiškai reikšmingi teigiami pokyčiai; - statistiškai nereikšmingi neigiami pokyčiai; --- statistiškai reikšmingi neigiami pokyčiai.



4.23 pav. Numatoma SPI24 reikšmių kaita ir tiesinis trendas XXI a. pagal B1 klimato kaitos scenarijų III regione (A) ir vasaros SPI1 reikšmių kaita pagal A1B klimato kaitos scenarijų I regione (B).

Pagal A1B klimato kaitos scenarijų numatoma, kad vasaros laikotarpiu SPI1 ir SPI3 reikšmės mažės. Tačiau tik šiaurės rytiniame regione šis pokytis pagal SPI1 bus statistiškai reikšmingas (4.23B). Pagal SPI24 numatomi statistiškai reikšmingi teigiami (išskyrus II regione pagal A1B klimato kaitos scenarijų) indekso pokyčiai (4.8 lentelė).

Prognozuojama, kad antroje XXI amžiaus pusėje pagal SPI1 indeksą sausras šiltuoju metų laikotarpiu bus dažnesnės nei šaltuoju. Numatoma, kad sausrų vidutinė trukmė ir intensyvumas visuose analizuotuose SPI laiko žingsniuose išliks panašūs į fiksuotus 1961–2010 m. laikotarpiu.

Numatoma, kad kritulių kiekis labiausiai išaugs vakarinėje šalies dalyje, kurioje ir dabar jų iškrinta daugiausia. Prognozuojami SPI indekso kaitos pokyčiai XXI amžiuje Lietuvoje sutampa su numatomais kritulių kiekio pokyčiais. Prognozuojama, kad per XXI a. Lietuvoje kritulių kiekis išaugs (iki 22 %). Dėl dažnesnės šiltų ir drėgnų oro masių advekcijos ypač išaugs žiemos kritulių sumos, o vasarą kritulių kiekis beveik nepasikeis. Didžiausi pokyčiai numatomi Pajūrio žemumoje ir Žemaičių aukštumoje (Rimkus ir kt., 2009). Būtent vakariniame regione numatomi ir didžiausi teigiami SPI indekso pokyčiai.

Analizuojant prognozuojamą ESM skaičių atskirais 30-mečiais (2011–2040 m., 2041–2070 m., 2071–2100 m.) nustatyta, kad pagal SPI1 indeksą, pagal B1 klimato kaitos scenarijų, ekstremalių sausrų skaičius visais trimis trisdešimtmečiais, visuose trijuose regionuose pasiskirstys gana tolygiai (8–11 ESM per trisdešimt metų). Pagal A1B klimato kaitos scenarijų šiaurės rytiniame ir vakariniame regionuose ekstremalių sausrų skaičius paskutinįjį analizuojamo 2011–2100 m. laikotarpio trisdešimtmetį (t. y. 2071–2100 m.) bus mažesnis nei per pirmuosius du trisdešimtmečius. Pietrytiniame regione tokių mėnesių skaičius visais trisdešimtmečiais turėtų būti labai panašus (4.9 lentelė).

Prognozuojama, kad pagal SPI3 indeksą pagal B1 klimato kaitos scenarijų daugiausia ekstremaliai sausrų mėnesių pietrytiniame ir vakariniame regionuose bus 2011–2040 m. laikotarpiu, o šiaurės rytiniame regione

paskutinį XXI a. trisdešimtmetį. Pagal A1B klimato kaitos scenarijų prognozuojamas ekstremalių sausrų skaičius pietrytiniame regione visais trim analizuojamais trisdešimtmečiais bus panašus. Numatoma, kad šiaurės rytiniame ir vakariniame regionuose daugiausia ekstremalių sausrų bus 2011–2040 m. laikotarpiu.

4.9 lentelė. Prognozuojamų ESM skaičius pagal A1B ir B1 emisijos scenarijus 2011–2100 m. laikotarpiu.

Regionas	Klimato kaitos scenarijus					
	B1			A1B		
	I	II	III	I	II	III
SPI indeksas	SPI1	SPI1	SPI1	SPI1	SPI1	SPI1
2011–2040	8	8	8	11	13	14
2040–2070	8	11	11	10	11	13
2070–2100	9	8	8	8	13	10
SPI indeksas	SPI3	SPI3	SPI3	SPI3	SPI3	SPI3
2011–2040	6	7	9	13	11	16
2040–2070	5	6	5	9	11	6
2070–2100	9	5	7	9	11	9
SPI indeksas	SPI24	SPI24	SPI24	SPI24	SPI24	SPI24
2011–2040	1	0	0	1	7	11
2040–2070	10	5	5	10	1	0
2070–2100	1	0	0	1	0	1

Naudojant SPI24 indeksą pagal B1 klimato kaitos scenarijų numatoma, kad dažniausiai ekstremalios sausras visuose regionuose bus registruojamos XXI a. viduryje (t. y. 2041–2070 m. laikotarpiu). Tokios pat tendencijos numatomos ir šiaurės rytiniame regione pagal A1B klimato kaitos scenarijų. Pietrytiniame ir vakariniame regionuose daugiausia ekstremalių sausrų turėtų būti registruojama 2011–2040 m. laikotarpiu (4.9 lentelė).

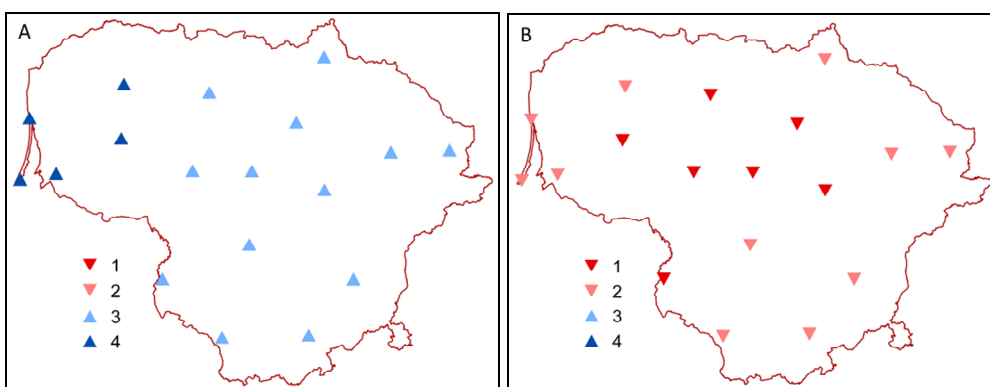
Vertinant XXI a. numatomą SPI reikšmių kaitą ne tik šiame darbe išskirtuose trijuose Lietuvos regionuose, bet ir įvairiose meteorologijos stotyse, nustatyta, kad pagal SPI1 indeksą numatoma bendra metinė klimato drėgnumo stiprėjimo tendencija tiek pagal A1B, tiek pagal B1 klimato kaitos scenarijus (Vakarų Lietuvoje – statistiškai reikšminga). Tačiau vasaros laikotarpiu Lietuvoje numatomas klimato drėgnumo mažėjimas pagal A1B klimato kaitos

scenarijų visoje Lietuvoje (dalyje Lietuvos – statistiškai reikšmingas) ir pagal B1 klimato scenarijų dalyje Lietuvos (statistiškai nereikšmingas) (4.24 ir 4.25 pav.).

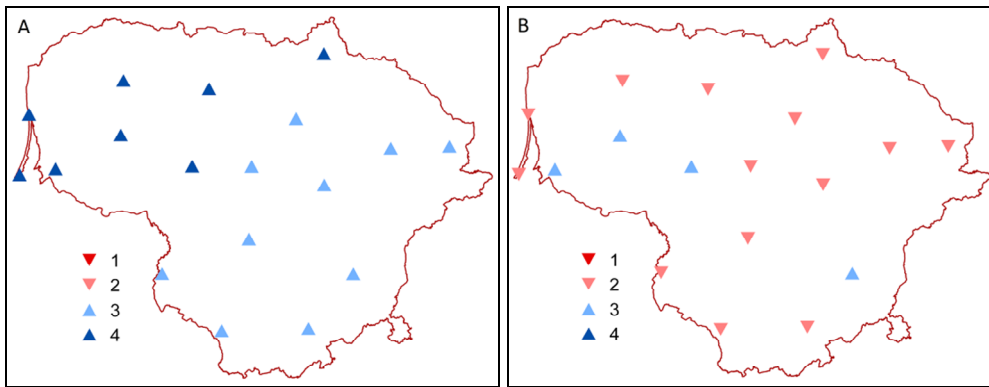
Teigiami metinių SPI3 reikšmių pokyčiai (klimato drėgnumo didėjimas) Lietuvoje numatomi pagal abu klimato kaitos scenarijus. Pagal B1 klimato kaitos scenarijų visose meteorologijos stotyse, o pagal A1B klimato scenarijų dalyje stočių, numatomi pokyčiai yra statistiškai reikšmingi (4.26 A, 4.27 A pav.).

Vasaros laikotarpiu pagal B1 klimato kaitos scenarijų visoje Lietuvoje numatoma teigiama SPI3 reikšmių kaitos tendencija (4.27 B). Remiantis A1B klimato kaitos scenarijumi prognozuojama, kad SPI3 indekso reikšmės didės tik pajūryje, o visoje likusioje Lietuvoje numatomos SPI reikšmių mažėjimo tendencijos (daugeliu atvejų statistiškai nereikšmingos) (4. 26 A pav.).

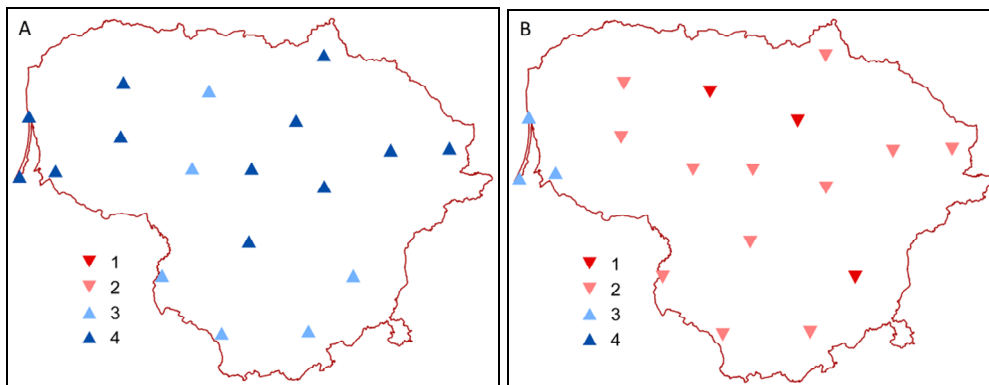
Pagal SPI24 indeksą, remiantis abiem klimato kaitos scenarijais, prognozuojamas ir metinis, ir vasaros laikotarpio SPI reikšmių augimas (klimato drėgnumo didėjimas) visoje Lietuvoje (4.28 ir 4.29 pav.). Pagal B1 scenarijų numatomi pokyčiai visose meteorologijos stotyse yra statistiškai reikšmingi (4.29 pav.). Pagal A1B – statistiškai reikšmingi pokyčiai prognozuojami didesnėje dalyje meteorologijos stočių (4.28 pav.).



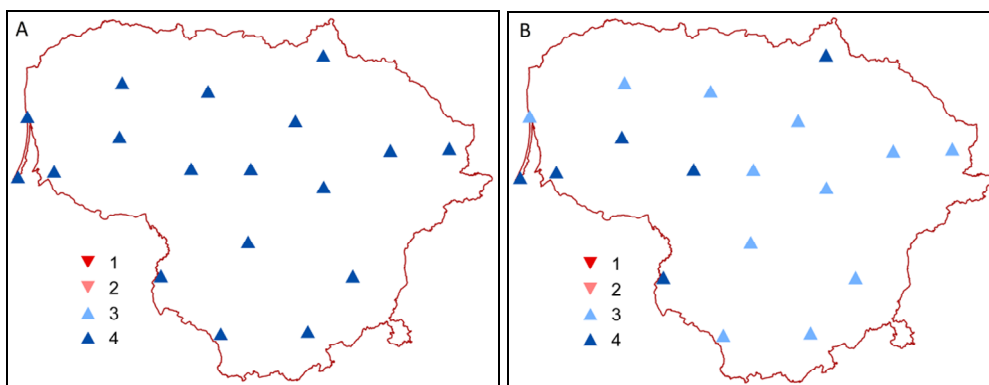
4.24 pav. Prognozuojamos SPI1 reikšmių kaitos tendencijos XXI a. ir jų statistinis reikšmingumas ($p \leq 0,05$) Lietuvoje pagal A1B klimato kaitos scenarijų (metinės – A ir vasaros – B). 1 – statistiškai reikšmingi neigiami pokyčiai; 2 – statistiškai nereikšmingi neigiami pokyčiai; 3 – statistiškai nereikšmingi teigiami pokyčiai; 4 – statistiškai reikšmingi teigiami pokyčiai.



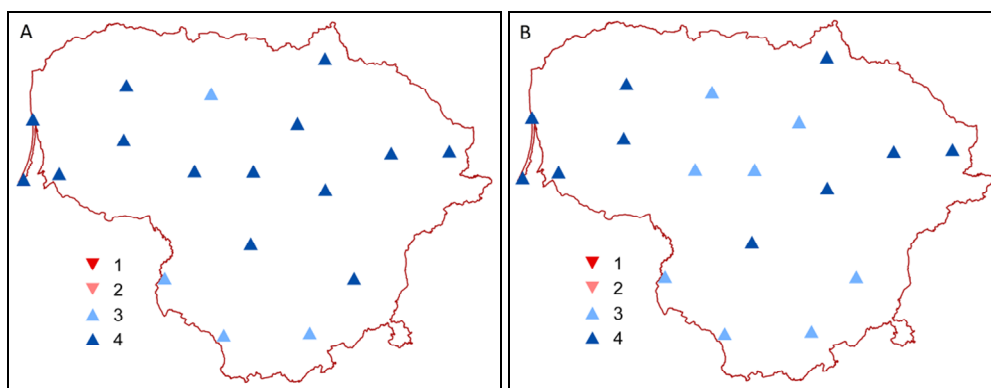
4.25 pav. Prognozuojamos SPI1 reikšmių kaitos tendencijos XXI a. ir jų statistinis reikšmingumas ($p \leq 0,05$) Lietuvoje pagal B1 klimato kaitos scenarijų (metinės – A ir vasaros – B). 1 – statistiškai reikšmingi neigiami pokyčiai; 2 – statistiškai nereikšmingi neigiami pokyčiai; 3 – statistiškai nereikšmingi teigiami pokyčiai; 4 – statistiškai reikšmingi teigiami pokyčiai.



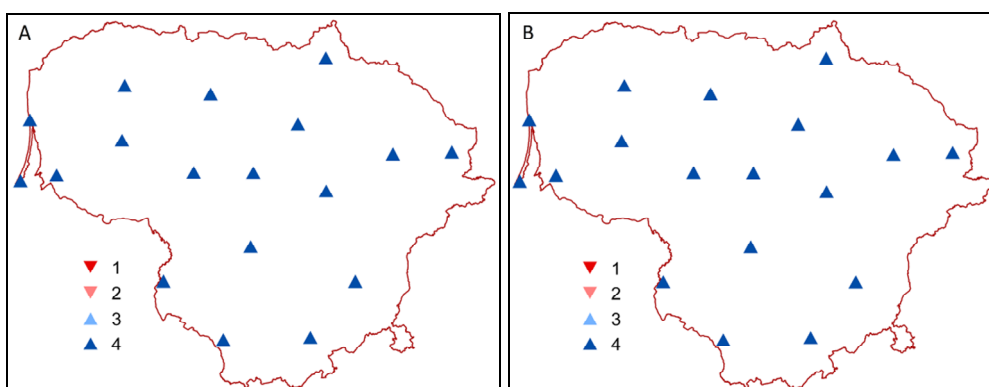
4.26 pav. Prognozuojamos SPI3 reikšmių kaitos tendencijos XXI a. ir jų statistinis reikšmingumas ($p \leq 0,05$) Lietuvoje pagal A1B klimato kaitos scenarijų (metinės - A ir vasaros - B). 1 – statistiškai reikšmingi neigiami pokyčiai; 2 – statistiškai nereikšmingi neigiami pokyčiai; 3 – statistiškai nereikšmingi teigiami pokyčiai; 4 – statistiškai reikšmingi teigiami pokyčiai.



4.27 pav. Prognozuojamos SPI3 reikšmių kaitos tendencijos XXI a. ir jų statistinis reikšmingumas ($p \leq 0,05$) Lietuvoje pagal B1 klimato kaitos scenarijų (metinės – A ir vasaros – B). 1 – statistiškai reikšmingi neigiami pokyčiai; 2 – statistiškai nereikšmingi neigiami pokyčiai; 3 – statistiškai nereikšmingi teigiami pokyčiai; 4 – statistiškai reikšmingi teigiami pokyčiai.



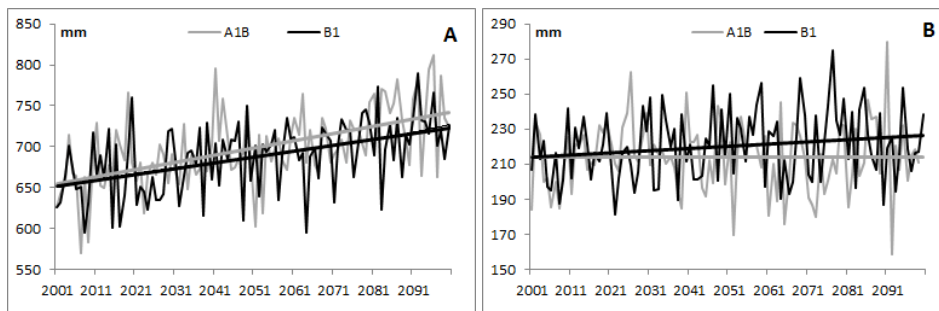
4.28 pav. Prognozuojamos SPI24 reikšmių kaitos tendencijos XXI a. ir jų statistinis reikšmingumas ($p \leq 0,05$) Lietuvoje pagal A1B klimato kaitos scenarijų (metinės – A ir vasaros – B). 1 – statistiškai reikšmingi neigiami pokyčiai; 2 – statistiškai nereikšmingi neigiami pokyčiai; 3 – statistiškai nereikšmingi teigiami pokyčiai; 4 – statistiškai reikšmingi teigiami pokyčiai.



4.29 pav. Prognozuojamos SPI24 reikšmių kaitos tendencijos XXI a. ir jų statistinis reikšmingumas ($p \leq 0,05$) Lietuvoje pagal B1 klimato kaitos scenarijų (metinės – A ir vasaros – B). 1 – statistiškai reikšmingi neigiami pokyčiai; 2 – statistiškai nereikšmingi neigiami pokyčiai; 3 – statistiškai nereikšmingi teigiami pokyčiai; 4 – statistiškai reikšmingi teigiami pokyčiai.

SPI kaitos scenarijai XXI a. Baltijos jūros regionui

Remiantis regioninio CCLM modelio išvesties duomenimis, vidutinis metinis kritulių kiekis BJR turėtų išaugti. Prognozuojama, kad pagal A1B klimato kaitos scenarijų kritulių kiekis išsaugys 13 %, o pagal B1 klimato kaitos scenarijų numatoma, kad kritulių kiekis išsaugys 11 % (4.30 A pav.). Didžiausias augimas numatomas XXI a. pradžioje. Amžiaus viduryje kritulių kiekis kis nežymiai (4.30 A pav.). Kritulių kiekis vasarą pagal A1B klimato kaitos scenarijų turėtų išlikti mažai pakitęs, o pagal B1 klimato kaitos scenarijų, kritulių kiekis vasarą nežymiai išsaugys (apie 6 %) (4.30 B pav.).



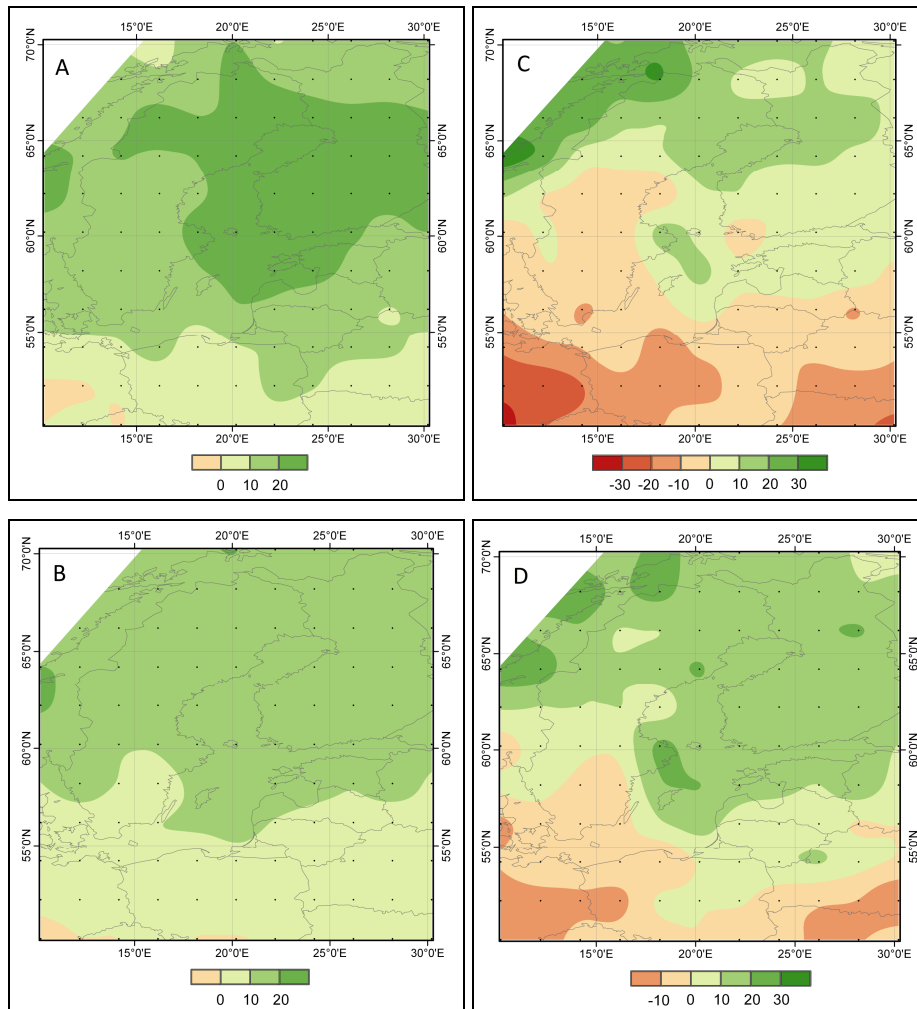
4.30 pav. CCLM modeliu prognozuojami metinio (A) ir vasaros (B) kritulių kiekio pokyčiai XXI a. BJR, remiantis A1B ir B1 emisijos scenarijais.

Taigi pagal abu klimato kaitos scenarijus numatoma, kad metinis kritulių kiekis XXI a. BJR augs beveik visame regione (4.31 pav.). Tikrai pietvakarinėje BJR dalyje, pagal A1B klimato kaitos scenarijų (4.31 A pav.), ir pietinėje BJR dalyje, pagal B1 klimato kaitos scenarijų (4.31 B pav.), kritulių kiekis turėtų išlikti nepakitęs ar net nežymiai sumažėti. Pagal A1B klimato scenarijų didžiausias metinis kritulių kiekio augimas (27 %) numatomas centrinėje Botnijos įlankos dalyje ir teritorijose, esančiose aplink ją (4.31 A pav.). Pagal B1 klimato scenarijų metinis kritulių kiekis labiausiai turėtų išaugti vakarinėje Norvegijos dalyje (>22 %) (4.31 B pav.). Didesni teigiami pokyčiai prognozuojami šiaurinėje BJR dalyje (4.31 A ir B pav.).

Tokie pat pokyčiai prognozuojami ir vasaros mėnesiams (4.31 C ir D pav.). Tačiau numatomos ir gana stiprios neigiamos kritulių kiekio tendencijos pietinėje BJR dalyje. Pagal abu klimato kaitos scenarijus, didžiausi neigiami pokyčiai turėtų būti pietvakarinėje analizuojamo regiono dalyje (4.31 C ir D pav.). Pagal A1B klimato kaitos scenarijų numatoma, kad kritulių kiekis čia sumažės daugiau nei 34 % (4.31 C pav.), o pagal B1 klimato scenarijų daugiau nei 20 % (4.31 D pav.).

Tokie pokyčiai paveiks augalų vegetacijos sąlygas vasaros laikotarpiu. Pagal A1B klimato kaitos scenarijų, kritulių kiekio mažėjimo tendencijos numatomos gana didelei teritorijai, apimančiai ne tik pietinę BJR dalį, bet ir Lietuvą bei Centrinę Švediją. Šiaurinėje BJR dalyje, pagal abu klimato kaitos scenarijus, prognozuojamas kritulių kiekio augimas. Didžiausi teigiami pokyčiai numatomi Norvegijos priekrantinėje dalyje: 36 % pagal A1B klimato

kaitos scenarijų ir 26 % pagal B1 klimato kaitos scenarijų.



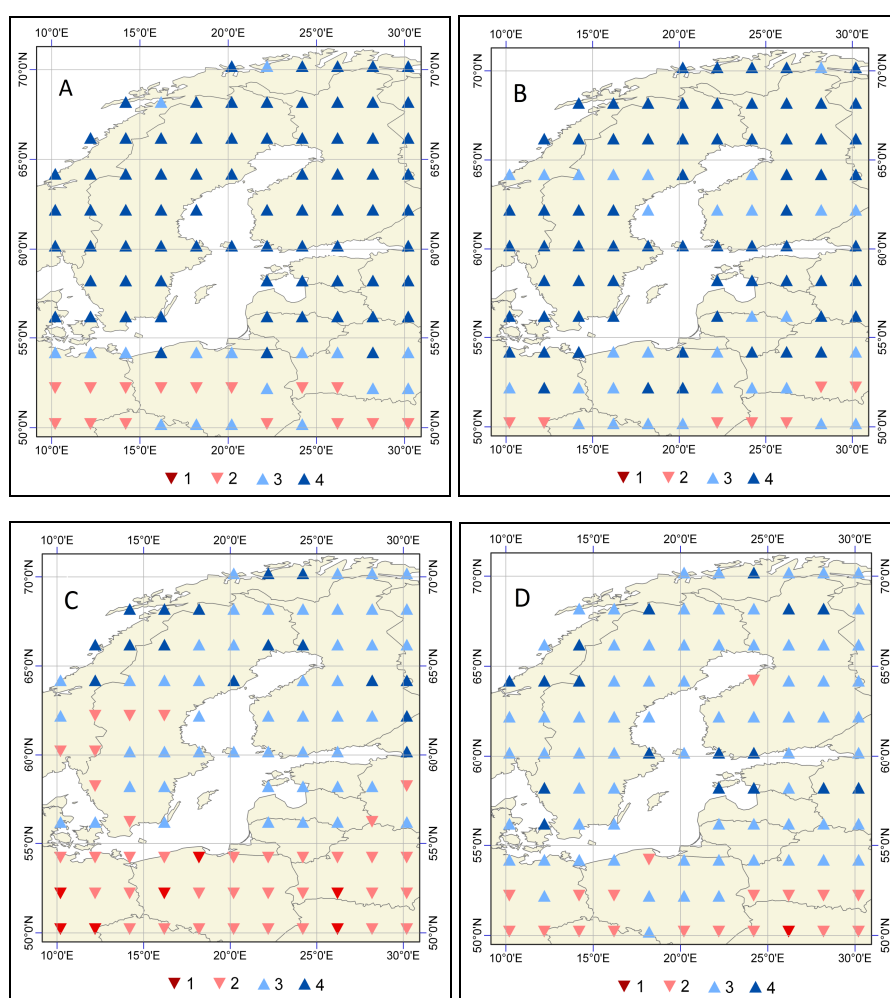
4.31 pav. CCLM modeliu prognozuojami kritulių kiekio pokyčiai (%) 2071–2100 m., remiantis A1B ir B1 emisijos scenarijais, lyginant su 1971–2000 m. matavimų duomenimis: A) A1B metinis; B) B1 metinis; C) A1B vasaros; D) B1 vasaros.

Prognozuojama sausrų skaičiaus dinamika (4.32 pav.) gana tiksliai sutampa su numatomais kritulių režimo pokyčiais (4.31 pav.). Numatoma, kad beveik visoje teritorijoje teigiama SPI12 kaitos tendencija (klimato drėgnumo stiprėjimas) bus statistiškai reikšminga (4.32 A ir B pav.). Tikrai pačioje pietinėje BJR dalyje prognozuojami statistiškai nereikšmingi neigiami SPI12 pokyčiai.

Taigi, dabar nustatytos tendencijos išliks tokios pat ir ateityje, ar net dar sustiprės. Numatoma, jog teritorija, kur per analizuojamą laikotarpį bus

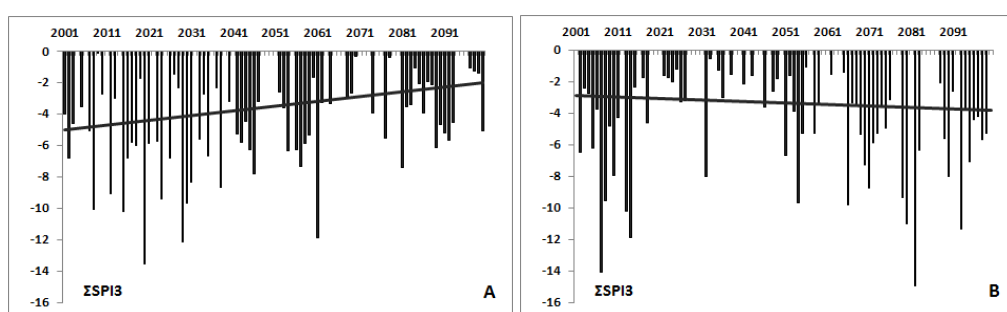
registruojamos neigiamos metinių pokyčių tendencijos, bus mažesnė nei dabar. Vasaros metu tokie plotai bus didesni. Tai ypač išryškėja pagal A1B klimato kaitos scenarijų (4.32 C pav.).

BJR sausų sąlygų didėjimas, pagal B1 klimato kaitos scenarijų, vasaros laikotarpiu numatomas didesneje pietinio regiono dalyje (4.32 D pav.). Teigiami ir, daugeliu atveju, statistiškai reikšmingi pokyčiai pagal SPI3 reikšmes yra numatomi didžiajai likusios teritorijos daliai. Didžiausi teigiami pokyčiai yra prognozuojami pačiai šiauriausiai regiono daliai.



4.32 pav. SPI reikšmių kaitos tendencijos ir statistinis reikšmingumas ($p \leq 0,05$) XXI a. BJR, pagal SPI12 (metinis) ir SPI3 (vasara). Prognozė sudaryta pagal CCLM modelio išvesties duomenis, remiantis A1B ir B1 emisijos scenarijais. A) A1B metinis, B) B1 metinis, C) A1B vasaros, D) B1 vasaros. 1 – statistiškai reikšmingi teigiami pokyčiai, 2 – statistiškai nereikšmingi teigiami pokyčiai, 3 – statistiškai nereikšmingi neigiami pokyčiai, 4 – statistiškai reikšmingi neigiami pokyčiai.

Pagal abu klimato kaitos scenarijus prognozuojama, kad beveik visoje analizuojamoje teritorijoje sausrų intensyvumas pagal SPI3 XXI a. mažės. Didžiausi pokyčiai numatomi šiaurinei BJR daliai (4 regionas) (4.33 A pav.). Taip pat reiktų pažymėti ir tai, kad ne tik sumažės ekstremaliai sausrų vasarų, bet pailgės ir laikotarpiai, kurių metu pagal SPI3 nebus registruojami ekstremaliai sausi mėnesiai (4.33 A pav.). Tikrai pietvakariniame BJR pakraštyje yra prognozuojamas sausrų intensyvumo didėjimas, kuris nulemtas prognozuojamo kritulių kiekio sumažėjimo vasarą (4.33 B pav.).



4.33 pav. Sausros intensyvumo kaita ir tiesiniai trendai BJR dalyse XXI a. pagal SPI3. Prognozė sudaryta pagal CCLM modelio išvesties duomenis, remiantis A1B emisijos scenarijumi. A) 4 regionas (70.2° š. p. ir 24.2° r. i.); B) 1 regionas (50.2° š. p. ir 20.2° r. i.).

Lietuvoje numatomi drėkinimo sąlygų pokyčiai yra artimi tiems, kurie prognozuojami pietrytinei Baltijos jūros pakrantės daliai. Šiame darbe nustatyti BJR prognozuojamų drėkinimo sąlygų tendencijų rezultatai yra panašūs į kitų autorių gautus rezultatus (Raisanen ir kt., 2003; BACC, 2008). Numatoma, jog didžiojoje regiono dalyje sausrų ir sausrų laikotarpių skaičius XXI a. mažės. Tik pačioje pietinėje regiono dalyje sausrų skaičius ateityje išaugs. Pietinėje regiono dalyje sausrų sąlygų didėjimo tendencijos sutampa su oro temperatūros didėjimo ir kritulių kiekio mažėjimo prognozėmis Centrinei bei Pietų Europai (Kjellstrom ir kt., 2007; Fischer ir Schar, 2009). Kadangi oro temperatūra vasaros metu augs, sausrų kartojimasis ir intensyvumas gali išaugti (IPCC, 2007; BACC, 2008). Ankstesni tyrimai parodė, kad kai kuriose regiono dalyse išaugs liūtinių kritulių atvejų skaičius (Christensen ir Christensen, 2004; Beniston ir kt., 2007; Kjellstrom ir Ruosteenoja, 2007; Rimkus ir kt., 2011). Tai reiškia, kad nors vidutiniškai iškris tas pats, ar net didesnis, kritulių kiekis,

dažniau iškris liūtiniai krituliai, po to seks sausi laikotarpiai. Sausrų skaičius BJR XXI a. bus mažesnis, tačiau sausros bus intensyvesnės ir galės susiformuoti bet kurioje regiono dalyje (Dankers ir Hiederer, 2008; van der Linden ir Mitchell, 2009).

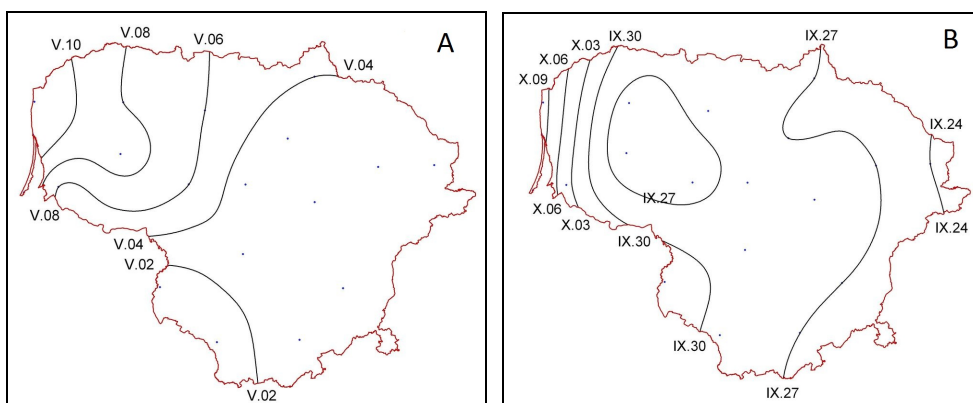
4.2. Sausrų identifikavimas Lietuvoje remiantis HTK 1961–2010 m.

4.2.1. Aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio trukmė Lietuvoje

Norint vertinti sausras HTK indeksu, būtina žinoti aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio trukmę. Aktyvioji augalų vegetacija vyksta tada, kai vidutinė oro temperatūra $>10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tačiau vidutinė oro temperatūra Lietuvoje pavasarį per $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ į aukštesnių reikšmių pusę ir rudenį per $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ į žemesnių reikšmių pusę pereina ne vienu metu. Analizuojamu 1961–2010 m. laikotarpiu $PVOT_{PP}$ (paros vidutinės oro temperatūros pastovi pereinama) pavasarį per $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ į aukštesnę pusę vidutiniškai įvyksta gegužės 4 dieną. Anksčiausiai perėjimas įvyksta Pietryčių Lietuvoje, o vėliausiai pajūryje. Rudenį per $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ į neigiamą pusę $PVOT_{PP}$ vidutiniškai pereina rugsėjo 28 dieną. Anksčiausiai perėjimas įvyksta Rytų Lietuvoje ir Žemaičių aukštumoje, o vėliausiai pajūryje (4.34 pav.).

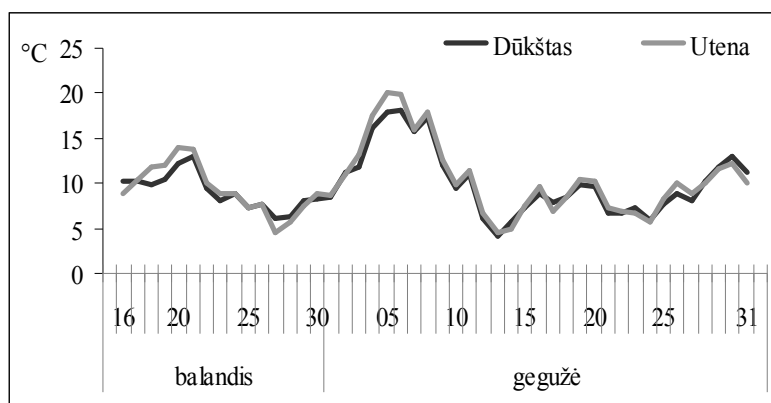
Skaičiuojant temperatūros perėjimo laiką gali būti naudojamas ne tik vidurkis, bet ir mediana. Palyginus oro temperatūros perėjimo per $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ vidurkį ir medianą, apskaičiuotus kiekvienai MS, nustatyta kad gauti rezultatai yra labai panašūs. Remiantis medianine reikšme kai kuriose MS vidutinis daugiametis oro temperatūros perėjimas per $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ pavasarį įvyksta 0–2 dienomis anksčiau, o rudenį 0–2 dienomis vėliau.

Anksčiausiai pavasarį $PVOT_{PP}$ per $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ į aukštesnę pusę įvyko 2002 m. balandžio 14 d. Vilniuje, o vėliausiai – 1962 m. birželio 9 d. Klaipėdoje. Rudenį $PVOT_{PP}$ per $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ į žemesnę pusę anksčiausiai registruotas 1993 m. rugsėjo 4 d. Telšiuose, o vėliausiai – 1967 m. spalio 31 d. Klaipėdoje.



4.34 pav. Vidutinis PVOT_{pp} per 10°C į aukštesnę pavasarį (A) ir žemesnę rudenį (B) 1961–2010 m. Lietuvoje.

Kai kuriais metais oro temperatūros perėjimų skirtumas tarp Lietuvoje esančių meteorologijos stočių gali skirtis net keliolika ar keliasdešimt dienų. Pavyzdžiui, 2008 metais pastovus (PVOT_{pp}) perėjimas per 10 °C į žemesnę pusę rudenį beveik visoje Lietuvoje įvyko rugsėjo 11–15 d., o pajūryje (Klaipėdoje, Nidoje, Šilutėje) daugiau nei mėnesiu vėliau – spalio 17–25 dienomis. 2004 m. PVOT perėjimas per 10 °C pavasarį Utenoje registruotas gegužės 2 dieną, o netoli esančiame Dūkšte tik gegužės 25 dieną. Tačiau vidutinės paros oro temperatūros eiga abiejose MS labai panaši (4.35 pav.).



4.35 pav. Vidutinė oro temperatūra 2004 m. balandį–gegužę Dūkšto ir Utenos MS.

Abiejose meteorologijos stotyse nuo gegužės 2 d. iki gegužės 9 d. vidutinė paros temperatūra buvo >10 °C. Utenoje teigiamo nuokrypio per 10 °C suma sudarė 48,0 °C, o Dūkšte – 44,4 °C. Vėliau Dūkšte, gegužės 12–28 d., registruotas laikotarpis, kai vidutinė paros oro temperatūra nesiekė 10 °C. Neigiamų nuokrypių nuo 10 °C suma sudarė 44,6 °C. Dėl to, kad šio

vėlesnio laikotarpio neigiamų nuokrypių suma 0,2 °C didesnė už prieš tai buvusio laikotarpio teigiamų nuokrypių sumą, Dūkšte perėjimas registruojamas >20 dienų vėliau nei visoje Lietuvoje. Taigi riba tarp to, ar perėjimas Dūkšte būtų registruotas gegužės 2 d., ar gegužės 28 d., yra labai maža. Panašios situacijos vienoje ar keliose meteorologijos stotyse susidaro kas kelinti metai.

PVOT perėjimas per 10 °C į aukštesnę pusę pavasarį Lietuvos teritorijoje vidutiniškai įvyksta per 10 dienų. PVOT perėjimas per 10 °C į žemesnę pusę rudenį vidutiniškai įvyksta per 16 dienų.

Vidutiniškai 1 kartą per 3 metus oro temperatūros pereiga per 10 °C į aukštesnę pusę visoje Lietuvoje įvyksta per 1–5 dienas.

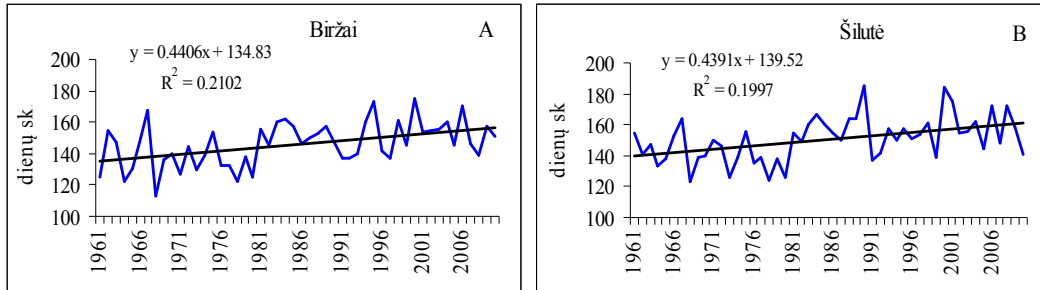
Rudenį, dėl šildančio Baltijos jūros poveikio, pajūrio regione oro temperatūros pereiga per 10 °C registruojama vėliau nei likusioje Lietuvoje. Vidutiniškai tik 1 kartą per 8–9 metus oro temperatūros pereiga per 10 °C į žemesnę pusę visoje Lietuvoje įvyksta per 5 dienų ar trumpesnę laikotarpį.

Dėl to, kad konkrečiose MS oro temperatūros perėjimas registruojamas nevienodu metu, HTK indeksas negali būti pradėtas taikyti visoje Lietuvoje vienu metu, o tai yra gana didelis šio indekso taikymo trūkumas.

Nustatyta, kad analizuojamuoju laikotarpiu, kylant vidutinei metinei oro temperatūrai, PVOT perėjimas per 10 °C į aukštesnę pusę pavasarį prasideda vis anksčiau, o rudenį pereiga į žemesnę nei 10 °C pusę įvyksta vis vėliau. Taigi, nustatytas aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio ilgėjimas (4.36 pav.). Įvertinus vegetacijos trukmės pokyčių statistinį reikšmingumą Mann-Kendall testu nustatyta, kad visose analizuotose meteorologijos stotyse nustatytas aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio trukmės ilgėjimas yra statistiškai reikšmingas ($p > 0,05$).

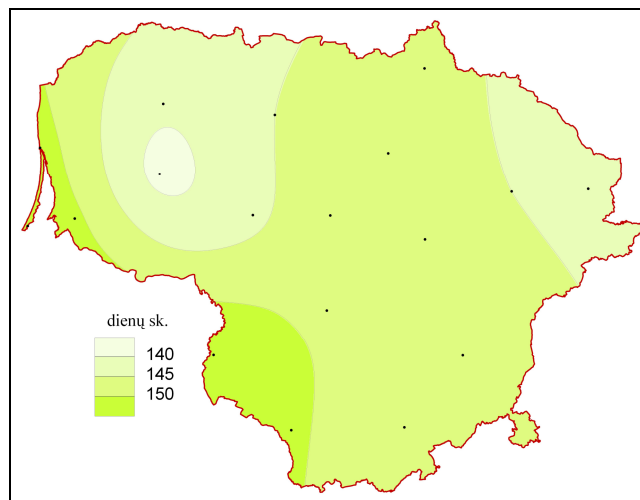
PVOT perėjimo per 10 °C į aukštesnę oro temperatūrą pavasarį ankstėjimo tendencija nustatyta visose meteorologijos stotyse ir visose stotyse ji yra statistiškai reikšminga. Ir nors perėjimo per 10 °C į žemesnę oro temperatūrą rudenį vėlavimo tendencija taip pat nustatyta visose meteorologijos stotyse, tačiau ji statistiškai reikšminga tik Dotnuvoje,

Lazdijuose, Raseiniuose, Ukmergėje ir Utenoje. Taigi oro temperatūros pokyčiai pavasarį yra ryškesni nei rudenį.



4.36 pav. Aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio trukmės kaita ir tiesiniai trendai 1961–2010 m. Biržuose (A) ir Šilutėje (B).

Vidutinė aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio trukmė Lietuvoje yra 147 paros, ilgiausiai jis trunka pajūryje ir Pietvakarių Lietuvoje (vidutiniškai 151–154 paros), o trumpiausiai Žemaičių aukštumoje, (vidutiniškai 139–141 paros) (4.37 pav.).



4.37 pav. Aktyviosios augalų vegetacijos vidutinė trukmė Lietuvoje 1961–2010 m.

Trumpiausiai aktyvusis augalų vegetacijos laikotarpis truko 1971 m. Klaipėdoje – 101 dieną, o ilgiausiai 185 parą – Klaipėdoje (1977 m. ir 2006 m.), Kybartuose (1990 m. ir 2000 m.), Nidoje (1990 m.) ir Šilutėje (1990 m.).

4.2.2. Stichinės sausros Lietuvoje ir jų identifikavimo problemos

Kai jau buvo minėta darbo metodikoje, pagal išplitimo teritoriją stichinės sausros skirstomos į vietines (lokalias) ir šalies masto. Per 1961–2010 m. analizuojamą laikotarpį Lietuvoje buvo 13 metų, kai bent vienoje meteorologijos stotyje pagal HTK buvo identifikuota stichinė sausra (4.10 lentelė).

Lokali stichinė sausra (bent 1 iš 18 analizuojamų MS) registruota kiek dažniau nei 1 kartą per 4 metus. Šalies masto stichinės sausros, apimančios $\geq 1/3$ šalies teritorijos, fiksuotos maždaug 1 kartą per 8–9 metus, o stichinės sausros, apimančios $\geq 2/3$ šalies teritorijos, tik 1 kartą per 25 metus (4.10 lentelė). Nustatyta, kad sausros per paskutinius du dešimtmečius ne tik kad padažnėjo, bet ir apėmė kur kas didesnę Lietuvos teritorijos dalį nei būdavo anksčiau. Šiais dešimtmečiais buvo registruotos net 5 šalies masto stichinės sausros, o per pirmus tris dešimtmečius tokių sausrų registruota tik viena. Pažymėtina ir tai, kad iš šių 5 atvejų 2 kartus (1992 m. ir 1994 m.) buvo registruotos stichinės sausros, apėmusios $\geq 2/3$ šalies teritorijos (4.10 lentelė).

4.10 lentelė. Stichinės sausros Lietuvoje 1961–2010 m. pagal HTK.

Metai	Stotis	Pradžia	Pabaiga	Trukmė (dienų sk.)	Oro temperatūros nuokrypis nuo normos, °C		Kritulių kiekis % lyginant su vidutiniu daugiamečiu	
					Sausros metu	29 dienos prieš	Sausros metu	29 dienos prieš
1964	Dotnuva	07.23	09.11	51	-0,4	-0,1	34	14
1964	Lazdijai	06.04	07.11	38	1,6	0,1	25	35
1964	Panevėžys	06.13	08.04	53	0,9	0,7	26	35
1964	Ukmergė	07.02	08.05	35	-0,3	2,2	28	37
1967	Kaunas	07.12	08.20	40	0,4	0,3	32	10
1967	Nida	07.11	08.11	32	0,9	-0,4	28	26
1969	Kybartai	07.16	08.23	39	-0,1	-0,4	33	25
1969	Utena	07.29	08.28	31	-0,4	-0,1	26	36
1971	Kaunas	07.31	08.30	31	1,8	0,4	29	18
1971	Lazdijai	07.30	08.30	32	1,8	-0,5	22	58
1971	Varėna	07.30	09.04	37	1,6	-0,8	31	26
1974	Nida	08.25	09.30	37	1,4	-1,9	18	32

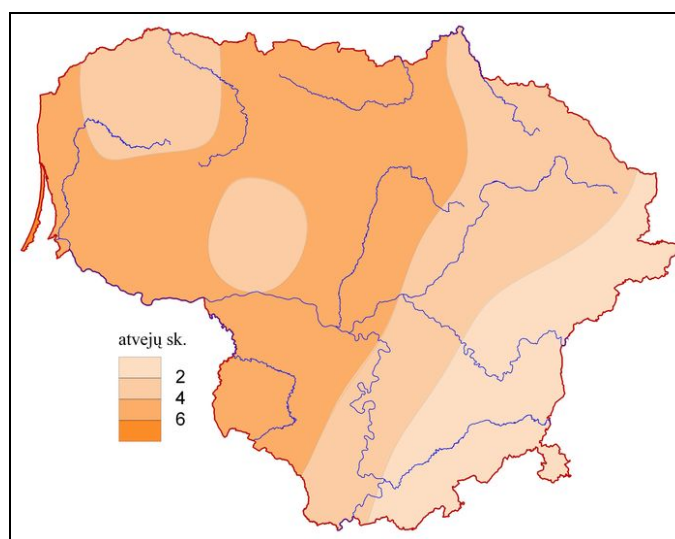
4.10 lentelės tęsinys

1975	Biržai	08.27	09.26	31	2,5	1,0	28	31
1975	Klaipėda	06.02	07.25	54	0,2	1,4	20	46
1975	Laukuva	06.21	07.24	34	1,8	-1,6	23	25
1975	Laukuva	08.26	10.01	35	2,8	1,2	16	49
1975	Nida	06.09	07.25	47	1,0	-0,4	29	29
1975	Šilutė	06.16	07.25	40	1,5	-1,5	25	27
1975	Telšiai	06.19	07.24	36	1,5	-2,6	24	28
1975	Telšiai	08.28	10.01	35	3,0	1,2	24	13
1983	Kybartai	08.22	09.21	31	1,8	0,5	35	25
1992	Dotnuva	06.11	08.01	52	1,0	1,3	28	25
1992	Dūkštas	06.11	08.13	64	1,3	0,8	26	32
1992	Kaunas	06.11	08.01	52	1,3	1,5	26	5
1992	Klaipėda	06.13	07.27	45	0,8	2,9	24	50
1992	Kybartai	06.11	08.01	52	1,4	1,5	31	4
1992	Laukuva	06.13	07.27	45	1,2	2,3	26	37
1992	Nida	06.13	08.01	50	1,2	3,4	22	1
1992	Panevėžys	06.11	08.13	64	1,3	1,3	28	10
1992	Raseiniai	06.11	07.17	37	0,8	1,2	30	31
1992	Šiauliai	06.11	08.01	52	1,2	1,8	27	15
1992	Šilutė	06.11	07.27	47	1,4	2,6	22	13
1992	Utena	06.11	08.22	73	1,0	0,6	24	24
1992	Vilnius	06.16	08.03	49	1,5	1,5	20	31
1994	Biržai	07.18	08.21	35	1,3	0,9	37	36
1994	Dotnuva	07.17	08.22	37	2,3	0,8	33	27
1994	Kaunas	07.17	08.22	37	2,4	1,0	29	32
1994	Klaipėda	07.07	08.21	46	1,8	-1,4	26	34
1994	Kybartai	07.19	09.05	49	1,9	1,0	20	31
1994	Lazdijai	07.16	08.23	39	2,3	0,6	32	28
1994	Laukuva	07.16	08.21	37	2,4	0,5	12	25
1994	Nida	07.04	08.17	45	2,7	-2,0	30	31
1994	Panevėžys	07.16	08.18	34	2,8	0,6	37	29
1994	Raseiniai	07.19	08.28	41	2,2	1,1	25	22
1994	Šiauliai	07.16	08.21	37	2,5	0,8	37	34
1994	Šilutė	07.08	08.22	46	2,7	-1,4	22	29
1994	Telšiai	07.19	08.21	34	2,9	1,6	29	29
1996	Biržai	08.05	09.08	35	1,3	-2,1	34	31
1996	Laukuva	08.09	09.08	31	1,1	-2,6	10	24
1996	Nida	08.09	09.11	34	0,0	-2,1	27	33
1996	Šiauliai	08.07	09.08	33	0,0	-2,1	18	35
1996	Ukmergė	08.08	09.09	33	1,7	-2,4	24	33
1996	Utena	08.05	09.08	35	1,5	-1,6	27	11
2002	Biržai	08.19	09.20	33	2,3	2,3	26	36
2002	Dotnuva	08.21	09.21	32	2,7	2,9	24	47
2002	Dūkštas	07.25	09.18	56	2,6	1,6	15	33
2002	Kaunas	08.03	09.14	43	3,3	3,3	36	21
2002	Klaipėda	08.11	09.15	36	3,3	3,1	17	44
2002	Kybartai	08.10	09.13	35	3,1	2,8	34	8

4.10 lentelės tęsinys

2002	Lazdijai	08.10	09.13	35	3,2	3,0	21	19
2002	Laukuva	08.10	09.15	37	3,1	2,1	24	20
2002	Panevėžys	08.04	09.21	49	2,5	3,1	22	21
2002	Raseiniai	08.04	09.21	49	2,7	2,8	18	33
2002	Šiauliai	08.19	09.21	34	2,3	2,3	18	17
2005	Šiauliai	09.08	10.10	33	2,6	0,9	31	22
2006	Dotnuva	06.26	07.26	31	3,9	0,3	46	34
2006	Klaipėda	06.30	08.20	52	1,9	1,2	29	41
2006	Nida	06.28	08.01	35	3,4	0,9	36	36
2006	Panevėžys	06.26	08.02	38	3,5	0,2	33	34
2006	Šiauliai	07.01	07.31	31	3,4	1,2	33	34
2006	Šilutė	06.27	08.06	41	2,8	0,2	30	22
2006	Ukmergė	06.30	08.05	37	2,6	0,8	34	31
2006	Telšiai	07.04	08.13	41	3,1	2,3	23	27

Konkrečiose MS registruotų stichinių sausrų skaičius per 50 metų varijuoja nuo 1 Varėnoje bei Vilniuje iki 7 Nidoje (4.38 pav.).



4.38 pav. Stichinių sausrų skaičius Lietuvoje 1961–2010 m.

Analizuojamuoju laikotarpiu stichinės sausras buvo dažnesnės vakarinėje, o retesnės pietrytinėje ir rytinėje Lietuvos dalyse (4.39 pav.). Lietuvos mastu susidaro nemaži skirtumai – jei pietrytinėje Lietuvoje sausras registruojamos tik 1 kartą per 50 metų, ar 1 kartą per 25 metus, tai Kuršių Nerijoje bent kartą per 7–8 metus, o vakarinėje ir pietvakarinėje Lietuvoje 1 kartą per 10 metų. Pažymėtina, jog daugiausia stichinių sausrų registruota

Nidos MS, kur žemės ūkis nėra vystomas ir stichinės agrometeorologinės sausras nėra aktualios.

Apskaičiuotas oro temperatūros bei kritulių kiekio nuokrypis nuo normos stichinių sausrų metu (4.10 lentelė). Oro temperatūra sausrų metu dažniausiai būna aukštesnė už vidutinę daugiametę to paties laikotarpio temperatūrą, o kritulių kiekis mažesnis. Vidutiniškai oro temperatūra sausrų metu buvo 1,8 °C aukštesnė už normą. Didžiausi vidutinės oro temperatūros nuokrypiai nustatyti 2002 m. sausras metu (vidutiniškai 2,8 °C). 1964 m. stichinės sausras metu Dotnuvoje ir Lazdijuose, 1969 m. Kybartuose ir Utenoje registruoti nedideli (–0,1..–0,6°C) neigiami oro temperatūros nuokrypiai. Visų kitų sausrų, registruotų įvairiose MS, metu nustatytas teigiamas oro temperatūros nuokrypis nuo daugiametės normos, jis siekė nuo 0,2 iki 3,9 °C (4.10 lentelė). Teigiami oro temperatūros nuokrypiai nuo normos nustatyti ne tik tose meteorologijos stotyse, kuriose registruota stichinė sausra, bet ir tose MS, kuriose stichinės sausras nebuvo.

Kritulių kiekiui didelę įtaką daro erdvinis kritulių lauko netolygumas, kuris ypač išreikštas lokalių stichinių sausrų atveju. Todėl neigiamų kritulių nuokrypių gali būti ir tik nedidelėse teritorijose. Vietos sąlygų įtaka ypač jaučiama tada, kai tais pačiais metais įvairiose MS stichinės sausras prasideda ir baigiasi skirtingu metu.

Kritulių kiekis, iškritęs registruotų stichinių sausrų metu, sudarė nuo 10 iki 46 % nuo vidutinio kritulių kiekio, iškrintančio per tą patį laikotarpį. Dažniausiai stichinių sausrų metu iškrisdavo tik 20–35 % kritulių, lyginant su to paties laikotarpio klimatine norma (4.10 lentelė). Stichinės sausras metu vienai sausras dienai vidutiniškai tekdavo apie 0,6–0,7 mm kritulių. Svarbu atkreipti dėmesį į tai, jog gausūs krituliai šiltuoju metų laikotarpiu gali iškristi ir tik labai nedidelėje teritorijoje.

Pagal HTK skaičiavimo metodiką, stichinė sausra pasibaigia tada, kai iškrinta krituliai arba nukrinta oro temperatūra. Stichinės sausras pabaiga (HTK reikšmė pakyla $\geq 0,50$) priklauso nuo oro temperatūros ir kritulių kiekio, iškritusio per skaičiuojamąjį 30 dienų laikotarpį. Kartais pakanka vos 1–2 mm

kritulių, kad HTK reikšmė viršytų 0,50 ir būtų registruojama stichinės sausros pabaiga.

Oro temperatūros įtaka sausros pabaigai gali būti dvejopa. Kartais stichinė sausra baigiasi kartu su aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio pabaiga, nors pasibaigus vegetacijai lietus ir neregistruojamas. Kadangi HTK skaičiavimas surištas ir su krituliais, ir su oro temperatūra, todėl stichinės sausros pabaiga gali būti registruojama ir aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio metu vien dėl to, kad nukrinta oro temperatūra (nors krituliai ir neiškrinta).

Vertinat kritulių ir oro temperatūros nuokrypį nuo normos stichinės sausros metu reiktų nepamiršti ir laikotarpio prieš sausrą, t. y. sausros formavimosi laikotarpio. Pagal HTK skaičiavimo metodiką, tai 29 dienos prieš pradedant registruoti stichinę sausrą ir pirma stichinės sausros diena. Oro temperatūros ir kritulių kiekio nuokrypiai, įtraukiant ir šį laikotarpį, gali skirtis nuo nuokrypių sausros metu. Jei oro temperatūros nuokrypiai stichinės sausros formavimosi laikotarpiu gali būti tiek didesni, tiek mažesni už to paties laikotarpio normą, tai kritulių kiekis visada yra mažesnis (4.10 lentelė). Todėl laikotarpis su kritulių kiekio deficitu registruojamos stichinės sausros metu pailgėja 29 dienomis. Dėl šios priežasties stichinės sausros metu susidaro >60 dienų laikotarpis su kritulių trūkumu.

Stichinės sausros dažniau fiksuojamos aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio antroje pusėje, o tai iš dalies nulemia ir HTK indekso skaičiavimo specifišką. Stichinės sausros augalų vegetacijos laikotarpio pabaigoje dažniau registruojamos tik vienoje MS.

Stichinių sausrų trukmė 1961–2010 m. Lietuvoje svyravo nuo 31 iki 73 parų. Pati ilgiausia stichinė sausra registruota 1992 m. Utenoje, kuri truko nuo birželio 11 d. iki rugpjūčio 22 d., t. y. net 73 paras (4.10 lentelė). Tais metais aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpis Utenoje truko nuo gegužės 2 d. iki rugsėjo 22 d.

Lokalioms stichinės sausros registruotos 1964, 1967, 1969, 1971, 1974, 1983, 2005 metais. Šalies masto stichinės sausros, apėmusios $\geq 1/3$ Lietuvos

teritorijos, registruotos 1975, 1996, 2002, 2006 metais. Šalies masto stichinės sausras, apėmusios $\geq 2/3$ Lietuvos teritorijos, registruotos 1992 ir 1994 metais.

Lokaliios stichinės sausras

1964 m. Stichinė sausra registruota 4 MS. Visose MS stichinė sausra prasidėjo ir baigėsi skirtingu metu. Ilgiausiai sausra truko Panevėžyje – 53 paras. Kai kuriose MS stotyse sausų dienų beveik nebuvo. Pavyzdžiui, Laukuvoje per visą aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpį neregistruota nė vienos ekstremaliai sausras dienos (ESD), kai HTK reikšmė nukrinta $< 0,5$.

1967 m. Stichinė sausra registruota 2 MS, kuri prasidėjo ir baigėsi beveik tuo pačiu metu. Nedaug tetrūko, jog būtų pasiektas ekstremalus sausras kriterijus ir Kybartų MS, kur registruotas 28 dienų trukmės ESL (ekstremaliai sausras laikotarpis).

1969 m. Stichinė sausra registruota 2 MS. Prasidėjo ir baigėsi skirtingu metu.

1971 m. Stichinė sausra registruota 3 MS, esančiose pietinėje, pietrytinėje Lietuvos dalyse. Visose trijose MS stotyse sausra prasidėjo ir baigėsi panašiu metu.

1974 m. Stichinė sausra registruota 1 MS aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio pabaigoje. Šie metai visoje Lietuvoje pasižymėjo vėlyva vegetacijos laikotarpio pabaiga.

1983 m. Stichinė sausra registruota 1 MS, kurios trukmė neilga – tik 31 diena. Keliose kitose stotyse buvo daugiau kaip 20 dienų trukmės ESL, tačiau 31 dienos nepasiekė. Ši sausra susiformavo aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio pabaigoje.

2005 m Stichinė sausra registruota 1 MS aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio pabaigoje. Utenoje susidarė 30 dienų trukmės ESL, Raseiniuose 27 dienų trukmės ESL, tačiau ekstremalus kriterijus nebuvo pasiektas.

Šalies masto stichinės sausras, apėmusios $\geq 1/3$ Lietuvos teritorijos

1975 m. Stichinė sausra registruota 6 MS. Vakarų Lietuvoje esančiose MS stichinė sausra prasidėjo ir baigėsi panašiu metu. Biržuose stichinė sausra susiformavo tada, kai Vakarų Lietuvoje ji jau buvo pasibaigus; tuo pačiu metu

antra stichinė sausra per sezoną registruojama Telšiuose ir Laukuvoje. Laikotarpis tarp stichinių sausrų šiose MS – 34 dienos.

1996 m. Stichinė sausra registruota 6 MS. Būtų fiksavę ir daugiau MS (dar 4), tačiau pasibaigė aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpis, kurio pabaiga buvo labai ankstyva. Pažymėtina, kad šiais metais meteorologijos stotyse susidarė gana dideli skirtumai tarp vegetacijos laikotarpio pabaigos datų.

2002 m. Stichinė sausra registruota 11 iš 18 Lietuvoje esančių MS, aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio pabaigoje. Nidoje ir Šilutėje registruotas 29 dienų trukmės ESL, Ukmergėje 30 dienų ESL, o dar dviejose stotyse daugiau kaip 20 dienų ESL. Ir tik Pietryčių Lietuvoje (Vilniuje ir Varėnoje) registruota 14 dienų ESL. Stichinė sausra prasidėjo ir baigėsi ne vienu metu; vienoje MS ji nutrūko kartu su aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio pabaiga, o kitose MS – dar prieš vegetacijos pabaigą.

2006 m. Stichinė sausra registruota aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio pirmoje pusėje 8 MS. Ilgiausiai stichinė sausra truko Klaipėdoje, net 52 paras. Įvairiose MS sausra prasidėjo ir baigėsi ne vienu metu (nors labai didelių skirtumų, išskyrus Klaipėdą dėl vėlyvos vegetacijos laikotarpio pabaigos, nėra). Stichinė sausra daugiausia fiksuota vakarinėje Lietuvos dalyje. Stichinė sausra taip pat registruota Dotnuvoje, Panevėžyje ir Dūkšte, nors netoli šių meteorologijos stočių esančiose MS (išskyrus Biržus) nesusiformavo net 20 dienų trukmės ekstremaliai sausi laikotarpiai.

Šalies masto stichinės sausros, apėmusios $\geq 2/3$ Lietuvos teritorijos

1992 m. Stichinė sausra registruota 13 iš 18 MS. Stichinė sausra visose MS prasidėjo panašiu metu, tačiau pabaiga registruota skirtingu metu. Ši stichinė sausra ilgiausiai užtruko Utenoje (73 paras, tai ilgiausiai trukusi stichinė sausra Lietuvoje) bei Dūkšte ir Panevėžyje, atitinkamai 65 ir 64 paras.

1994 m. Stichinė sausra registruota 13 iš 18 MS. Stichinė sausra fiksuota beveik visoje Lietuvoje, išskyrus rytinę ir pietrytinę šalies dalis. Rytinėje ir pietrytinėje Lietuvoje esančiose visose 5 MS išsilaikė daugiau kaip 20 dienų trukę ESL, tačiau 31 paros trukmės stichinės sausros kriterijus nebuvo

pasiektas. Įvairiose MS stichinė sausra prasidėjo skirtingu metu – iš pradžių pajūryje, vėliau likusioje šalies dalyje. Baigėsi taip pat ne vienu metu.

Stichinės sausras identifikavimo HTK indeksu problemos

HTK yra vienintelis oficialus ir teisiškai reglamentuotas indeksas, pagal kurį identifikuojama ir skelbiama stichinė sausra Lietuvoje. Analizuojant ir identifikuojant stichines sausras HTK išryškėjo tam tikros šio indekso naudojimo problemos. Bene svarbiausia yra tai, jog jei šis indeksas neidentifikuoja stichinės sausras, ūkininkai praranda galimybę gauti kompensacijas dėl patirtų nuostolių, nors nuostoliai gali būti dideli. Šiame darbe aptikti HTK trūkumai, kurie yra apžvelgiami plačiau.

I. Pati sausras samprata Lietuvoje susijusi su sausras žemės ūkyje aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpiu. HTK koeficientas ir apibūdina aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio termines bei drėkinimo sąlygas. Tačiau kai vertinamas tik aktyvusis augalų vegetacijos laikotarpis, neįvertinamos ankstyvo pavasario sausras. Remiantis šiuo metu oficialiu kriterijumi, apibūdinančiu stichinę sausrą (Lietuvos Respublikos..., 2011), yra nurodoma, kad sausra – tai sausra aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpiu. Oficialaus kriterijaus, apibūdinančio ankstyvas pavasario sausras nėra, kaip nėra ir kriterijaus, apibūdinančio hidrologines bei meteorologines sausras.

II. Viena iš HTK skaičiavimo problemų yra ta, kad skiriantis skaičiavimo metodikoms gali skirtis ir gaunami rezultatai. Šiuo metu Lietuvos hidrometeorologijos tarnyboje prie AM HTK skaičiuojamas iš trisdešimties dienų laikotarpio, kiekvieną dieną perstumiant į priekį. Kai kuriais laikotarpiais šis indeksas buvo skaičiuojamas kiek skirtingai. Pagal vieną skaičiavimo metodiką naudoti tik dešimtadienio kritulių ir oro temperatūros duomenys. Naudojant kitą metodiką HTK buvo skaičiuojamas nuo pirmosios iki paskutinės aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio dienos, iš kasdieninių oro temperatūros ir kritulių duomenų, vis iš naujo pridėdant naujos paros duomenis, tačiau neeliminuojujant prieš tai buvusių dienų duomenų, ir tokiu būdu vis ilgėjant laikotarpiui, iš kurio duomenų skaičiuojamas HTK. Šiuo metu HTK

skaičiuojamas iš 30-ties parų laikotarpio, kiekvieną parą pastumiant per vieną parą į priekį. Naudojant skirtingas skaičiavimo metodikas skiriasi ir gaunami rezultatai – stichinių sausrų skaičius bei jų trukmė.

III. Kitas indekso trūkumas (su šia problema susiduriama ir naudojant kitus indeksus) kyla iš pačios HTK vertės interpretacijos. Yra nurodoma, kad ekstremaliai sausa diena yra tada, kai HTK reikšmė yra $<0,5$ (t. y. mažiau nei pusė). Yra svarbu, ar vertindami gautą HTK reikšmę naudosime keletą skaitmenų po kablelio, ar apvalinsime iki vieno skaitmens po kablelio. Jeigu gautą HTK reikšmę 0,4665 suapvalinsime iki vieno skaičiaus po kablelio, tai gausime 0,5, o tai reikštų, kad tokia diena nėra ekstremaliai sausa. Jei apvalinsime iki dviejų skaitmenų po kablelio, gausime 0,47, o tai jau bus ekstremaliai sausa diena. Tokia interpretacija gali turėti ir nemažą reikšmę registruojant ar neregistruojant ekstremalios sausras. Kaip pavyzdį galime pateikti 1964 m. situaciją Dotnuvoje: jei HTK reikšmę interpretuosime žvelgdami į du skaičius po kablelio, tai gausime stichinę sausrą, trukusią 51 dieną, o jei naudosime suapvalinimą iki vieno skaičiaus po kablelio, tai tokiu atveju stichinės sausras neregistruosime. Iš viso bus tik keletas sausrų laikotarpių, iš kurių ilgiausio trukmė 20 dienų (4.11 lentelė).

4.11 lentelė. HTK reikšmės 1964 m. Dotnuvoje, apvalinimo neatlikus (A) ir atlikus apvalinimą (B).

Mėnuo	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8	8	8	8
Diena	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4
A	0,18	0,3	0,3	0,3	0,3	0,25	0,25	0,25	0,25	0,3	0,37	0,37	0,37
B	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4
Mėnuo	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Diena	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
A	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46	0,38	0,35	0,35	0,36	0,36	0,37	0,37	0,37
B	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Mėnuo	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Diena	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A	0,37	0,45	0,47	0,48	0,49	0,36	0,37	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
B	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Mėnuo	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
Diena	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
A	0,38	0,3	0,3	0,3	0,22	0,2	0,2	0,2	0,21	0,26	0,36	0,39	
B	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	

Taigi, kai HTK reikšmė nesiekia 0,50, tikslingiau būtų atsižvelgti tik į du skaitmenis po kablelio ir apvalinimo neatlikti. Pavyzdžiui, jei HTK reikšmė yra 0,4665, tai laikyti, jog HTK reikšmė yra 0,46 (o ne 0,50).

IV. Kartais susidaro situacija, kai HTK indeksas kritulių kiekiui suteikia per didelę vertę. Pavyzdžiui, 1969 m. Šilutėje stichinė sausra nesusidarė, tačiau susiformavo du sausi laikotarpiai: vieno iš jų trukmė 21 ESD, o kito 28 ESD. Tarpas tarp šių dviejų, ekstremaliai sausų, laikotarpių – 12 dienų. Tačiau nė vienos iš šių dvylikos dienų HTK reikšmė neviršija 0,54. Per pirmąjį ESL ir tarp pirmojo ir antrojo ESL iškrito apie 26 mm kritulių. Jei būtų iškritę bent 2 mm kritulių mažiau, tai tarpas tarp dviejų ekstremaliai sausų laikotarpių nebūtų susidaręs. Būtų registruota ekstremali sausra, trukusi 61 dieną. Šiuo atveju stichinė sausra Šilutėje nebuvo registruota, tačiau tokia situacija žemės ūkiui ne mažiau pavojinga nei 31 dieną trunkanti stichinė sausra.

1971 m. Dotnuvoje susidarė du ESL: pirmojo trukmė 12 parų, o antrojo 22 paros. Tarpas tarp šių ESL – 2 dienos, kurių HTK reikšmės, atitinkamai, tik 0,53 ir 0,50. Pastarosios reikšmės labai artimos ekstremaliai sausoms reikšmėms, tačiau 1971 m. ekstremali sausra Dotnuvoje neregistruota. Remiantis šiuo atveju, jei sauso laikotarpio metu būtų iškritę ne 29 mm, o bent 1,9 mm kritulių mažiau, Dotnuvoje būtų registruota ekstremali sausra, trukusi 38 paras. Taigi 2 mm kritulių kiekis yra per mažas dydis, nulemiantis gana ilgai trunkančios ekstremalios sausros neregistravimą.

Kartais užtenka vos 0,6–1,2 mm kritulių, kad būtų registruojama stichinės sausros pabaiga, o tai yra per mažas lietaus kiekis, kuriam iškritus būtų skelbiama sausros pabaiga.

Dėl per tam tikrą parą iškritusių kritulių kartais pasireiškia nemaži HTK reikšmių skirtumai tarp gretimų parų. Viena para gali būti nepakankamai drėgna, o kita jau ekstremaliai sausa (2.2 lentelė). Taip nutinka dėl to, kad gausūs krituliai į HTK indekso skaičiavimą įtraukiami 30 parų, o 31 parą po jų iškritimo, kad ir labai gausūs krituliai iš HTK skaičiavimo eliminuojami.

V. Nemažai problemų kyla dėl to, jog HTK skaičiavimo metodika yra susieta ne tik su krituliais, bet ir su aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpiu,

o pastarasis priklauso nuo oro temperatūros. Kai kuriais metais skirtumas tarp aktyviosios augalų vegetacijos pradžios ar pabaigos datų, net ir tarp greta esančių meteorologijos stočių, gali skirtis keliolika ar keliasdešimt dienų. Prisirišimo prie vegetacijos laikotarpio problema labiausiai išryškėja tada, kai kartu su aktyviuoju augalų vegetacijos laikotarpiu prasideda ir sausra. Jei dviejose, šalia viena kitos esančiose, meteorologijos stotyse atsiranda kritulių stoka, kartais labai nedideli temperatūros trūkumai, siekiantys vos 0,5 °C per parą, gali lemti vėlesnę aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio pradžią ir stichinės sausras neregistravimą vienoje iš MS.

Lietuvoje HTK naudojamas agrometeorologinėms sausras identifikuoti. Tačiau net ir tais metais, kai aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio pradžia ar pabaiga tarp gretimų teritorijų žymiai skiriasi, vis vien dažniausiai žemės ūkio darbai dirbami panašiu metu. Tokių skirtumų, kaip kad vegetacijos pradžios ir pabaigos datų atvejais, tarp gretimų teritorijų nėra. Siejant šį indeksą su žemės ūkiu iškyla ir kitas klausimas: ar stichinė sausra, susiformavusi esant vėlyvai aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio pabaigai, atneša didelių nuostolių žemės ūkiui ir ar ją reikėtų skelbti stichine. Pavyzdžiui, 2005 m. Šiauliuose aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio pabaiga buvo vėlyva (baigėsi tik spalio 11 d.), o stichinė sausra prasidėjo tik rugsėjo 9 dieną (kai kuriais metais tokiu laiku jau būna vegetacijos laikotarpio pabaiga ir HTK reikšmės nebeskaičiuojamos, kaip kad nutiko 1996 m.).

Nuo aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio pradžios turi praeiti mažiausiai 61 diena, kai gali būti paskelbta stichinė sausra. Pavyzdžiui, 1977 m. aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpis Klaipėdoje prasidėjo tik birželio 7 d., tokiu atveju anksčiausia data, kada galima paskelbti stichinę sausrą, būtų tik rugpjūčio 6 d.

Taigi trūkumas yra tas, jog HTK niekada neidentifikuos stichinės sausras aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio pradžioje. Be to, esant labai trumpam aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpiui, labai sutrumpėja ir laikotarpis, per kurį gali susiformuoti ir būti registruojama stichinė sausra.

VI. HTK skaičiavimas susietas su krituliais ir oro temperatūra. Tačiau oro temperatūros įtaka kartais taip pat gali būti pervertinta. Pavyzdžiui, 2006 m. Dotnuvoje pagal HTK skaičiavimo metodiką stichinės sausros pabaiga buvo nustatyta tada, kai 30 dienų vidutinė oro temperatūra nežymiai nukrito nuo (22 iki 21,2 °C), nors tomis dienomis ir nelijo, vien tik dėl tokio nežymaus oro temperatūros pažemėjimo, indekso reikšmė pakilo $\geq 0,50$ ir buvo fiksuojama stichinės sausros pabaiga. Suprantama, kad toks nežymus oro temperatūros pažemėjimas, kuriuo metu neiškrinta lietus, nėra priežastis, dėl kurios turėtų būti registruojama sausros pabaiga. Priešingai – esant tokiai aukštai vidutinei oro temperatūrai ~ 20 °C ir neiškrintant krituliams, sausra tik stiprėja ir intensyvėja. Dėl tokios situacijos, t. y. oro temperatūros sumažėjimo, sausros pabaiga neturėtų būti fiksuojama (nebent registruojama aktyvioji augalų vegetacijos laikotarpio pabaiga).

VII. Stichinių sausrų identifikavimas ir analizavimas konkrečiais metais, dėl skirtingos aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio trukmės, gana komplikotas. Dar daugiau painiavos įneša tai, kad tais pačiais metais skirtingose MS augalų vegetacijos pradžia ir pabaiga gali labai skirtis. Žvelgiant į formulę (2.12 formulė), pati indekso skaičiavimo metodika leistų skaičiavimą atlikti dar net ir neprasidėjus ar jau pasibaigus aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpiui. Kadangi indekso skaičiavimui naudojamos 30-ties dienų laikotarpio temperatūros sumos, tai paskutinė diena, kuriai skaičiuojama HTK reikšmė, galėtų būti jau ir pasibaigus aktyviajai augalų vegetacijai. Svarbu, kad vardiklyje temperatūros suma, sumažinta 10 kartų, būtų ne mažesnė nei 30 (30 dienų vidutinė oro temperatūra po 10,1 °C). Tokiu būdu apskaičiuota HTK reikšmė bus tokia pat: ar visų 30 dienų vidutinė oro temperatūra būtų po 10,1 °C, ar 15 dienų vidutinė oro temperatūra būtų po 15 °C, likusių kitų, 15 dienų, vidutinė oro temperatūra būtų vidutiniškai 5,1 °C. Kitaip tariant, nereikėtų griežtai kreipti dėmesį į aktyviosios augalų vegetacijos tikslią pradžią ir pabaigą. Tai leistų HTK indekso reikšmių skaičiavimą atlikti apsibrėžtų datų ribose. Tai ypač aktualu, kai kalbame apie vėlyvą vegetacijos laikotarpį ar greta viena kitos esančias meteorologijos stotis. Pavyzdžiui, 1979

m. Kaune stichinė sausra registruota nebuvo, nes aktyvusis augalų vegetacijos laikotarpis prasidėjo tik gegužės 13 dieną. Tačiau, jei HTK indeksą skaičiuotume nuo gegužės 1 d., darydami prielaidą, kad tada kiekvieną dieną oro temperatūra buvo 10 °C, gautume stichinę sausrą, trukusią nuo birželio 1 d. iki birželio 30 d. Kai kuriais metais aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio pradžia būna vėlyva. Tačiau, jei daugumos parų vidutinė oro temperatūra dar iki aktyviosios augalų vegetacijos pradžios pasiekia 8–9 °C, yra pakankama, kad žemdirbiai pradėtų savo darbus. Dėl to, esant vėlyvam vegetacijos laikotarpiui, žemdirbiai savo darbus vis tiek pradeda „pagal kalendorių“. Šias dienas dar iki aktyviosios augalų vegetacijos pradžios būtų tikslinga įtraukti į HTK skaičiavimą.

Panaši situacija, kai būtų tikslinga pratęsti HTK skaičiavimą, gali susidaryti ir aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio pabaigoje (ypač esant ankstyvai vegetacijos laikotarpio pabaigai), kai kartu su vegetacijos laikotarpio pabaiga nutrūksta ir sausros (tiksliau jos skaičiavimas), nepasiekusios ekstremalaus kriterijaus. Pavyzdžiui, 1996 m. Kybartuose buvo ankstyva aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio pabaiga – rugpjūčio 18 d. prasidėjusi sausra truko iki pat aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio pabaigos, t. y. rugsėjo 14 d. (iš viso 28 dienas). Tačiau šiuo atveju stichinė sausra nebuvo registruota, nes ekstremalus sausros kriterijus (t. y. 31 diena) nebuvo pasiektas, nors kitas 4 dienas gausesnių kritulių neiškrito, o vidutinė šių dienų temperatūra buvo >9 °C. Tokias dienas, jau po aktyviosios augalų vegetacijos pabaigos, būtų tikslinga įtraukti į HTK skaičiavimą.

VIII. Kartais susidaro situacija, kai per vieną sezoną toje pačioje MS susiformuoja dvi stichinės sausros, kaip kad nutiko 1975 m. Laukuvoje bei Telšiuose (4.8 lentelė). Kyla klausimas, ar norint suskaičiuoti stichinių sausrų skaičių, laikyti, jog šiose MS (t. y. Laukuvoje ir Telšiuose) 1975 m. buvo po 2 ar po 1 stichinę sausrą? Jei pasitaiko tokia situacija, kai vienoje MS per tą patį sezoną susiformuoja kelios stichinės sausros, reikėtų laikyti, jog tai yra tik viena stichinė sausra. Nes jei vertintume, jog šiose MS 1975 m. įvyko po 2

stichines sausras per tą patį sezoną, ir norėtume įvertinti bei suskaičiuoti buvusias sausras Lietuvoje, sausrų skaičių pervertintume.

Taigi, objektyviau būtų manyti, kad 1975 m. Telšių ir Laukuvos MS buvo tik po 1 stichinę sausrą. Arba skaičiuojant buvusias stichines sausras, skaičiuoti ne pačias sausras, o metus, kai registruotos stichinės sausras.

IX. Lokalioms reikšmės stichinė sausra būna tada, kai ji nustatoma vienoje ar keliose stotyse, o jei stichinė sausra apima $\geq 1/3$ Lietuvos teritorijos, ji gali sukelti šalies masto nelaimę. Dėl lokalioms sausras didesnių klausimų nekyla, tačiau tam tikrų diskusijų gali sukelti šalies masto stichinės sausras paskelbimas. Daugiausia klausimų kyla, kai stichinės sausras įvairiose meteorologijos stotyse registruojamos ne vienu metu, o ekstremaliai sausras dienos ne visose meteorologijos stotyse persidengia. Pavyzdžiui, gali susidaryti situacija, kad tais pačiais metais keturiose MS stichinė sausra skelbiama aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio viduryje, o kitose trijose MS – vegetacijos laikotarpio pabaigoje. Gauname situaciją, kad visose 7 MS per aktyvųjų augalų vegetacijos laikotarpį buvo skelbiama stichinė sausra. Tačiau ar tokį atvejį reikėtų traktuoti kaip dvi lokalias sausras, ar kaip vieną šalies masto? Viena vertus, bendras sausras paveiktos teritorijos plotas, pasibaigus aktyviajam augalų vegetacijos laikotarpiui, apėmė $\geq 1/3$ šalies teritorijos. Kita vertus, sausra vyko ne vienu metu ir ekstremaliai sausi laikotarpiai nepersidengia. Pastarasis kriterijus ir turėtų būti tas pagrindinis veiksnys, nulemiantis, jog buvo dvi lokalias sausras. Tačiau reiktų akcentuoti ir tai, kad tais metais nuo stichinių sausrų (registruotų ne vienu metu) nukentėjo $\geq 1/3$ šalies teritorijos. Tokiais metais registruojamos dvi lokalias stichinės sausras, kurių sukelti padariniai yra šalies masto.

Rekomendacijos ir pasiūlymai. Naudojant HTK indeksą rekomenduotume laikytis šių bendrų taisyklių:

1. HTK skaičiuoti iš trisdešimties parų laikotarpio, kiekvieną kitą dieną persistumiant į priekį per vieną dieną (išlaikant trisdešimties parų laikotarpį).

2. Interpretuojant HTK reikšmę atsižvelgti tik į du skaitmenis po kablelio. Pavyzdžiui, jei HTK reikšmė yra 0,498, tai laikyti, jog HTK reikšmė yra 0,49 (o ne 0,50).

3. HTK skaičiavimą pradėti ir pabaigti visose MS vienu metu, jei aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio pradžios ir pabaigos datos skiriasi ne daugiau kaip 15 dienų, o skaičiuojamo 30 laikotarpio vidurkis $>10^{\circ}\text{C}$.

4. Jei dėl aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio metu, nukritusios oro temperatūros HTK reikšmė pakyla $\geq 0,50$, nors krituliai ir neiškrito, stichinės sausras pabaigą registruoti tik tada, kai iškrinta krituliai.

5. Jei per vieną sezoną toje pačioje MS susiformavo dvi stichinės sausras, laikyti, kad tais metais buvo tik viena stichinė sausra (jei tarp jų buvo ne didesnis kaip 10 dienų tarpas). Arba traktuoti, kad tai buvo metai, kai registruota stichinė sausra. Skaičiuojant sausrų skaičių per tam tikrą laikotarpį reiktų skaičiuoti ne stichinių sausrų skaičių, o metų skaičių, kai buvo registruota stichinė sausra.

6. Jei stichinė sausra per aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpį registruojama trečdalyje ir daugiau MS stočių ne vienu metu, laikyti, kad tais metais buvo lokaliai stichinės sausras. Tačiau šių stichinių sausrų padaryti nuostoliai yra šalies masto.

HTK indeksu identifikavus stichinę sausrą, ji tampa oficialiai skelbiama Lietuvoje. Paskelbus stichinę sausrą, ūkininkai turi galimybę gauti draudimo išmokas dėl prarasto derliaus. Todėl ir toliau naudojant HTK stichinėms sausroms identifiкуoti Lietuvoje, reiktų praplėsti stichinės sausras apibrėžimo kriterijų. Taip siekiama išvengti aukščiau aprašytos situacijos, kai nereikšmingas kritulių kiekis (iki 5 mm) galimai ilgą stichinę sausrą padalija į du paprastus sausus laikotarpius. Ūkininkai praranda derlių, bet neturi galimybės gauti draudimo išmokų.

Stichinės sausras apibrėžimas galėtų būti toks: **„Stichinė sausra registruojama tada, kai aktyviosios augalų vegetacijos metu HTK reikšmė >30 parų iš eilės yra $<0,50$; arba ≥ 35 parų laikotarpis, kurio metu $\geq 90\%$**

parų, HTK reikšmė yra <0,50. Stichinės sausros pabaiga skelbiama tik iškritus krituliams“.

4.3 Agrometeorologinių sausrų identifikavimo galimybės Lietuvoje

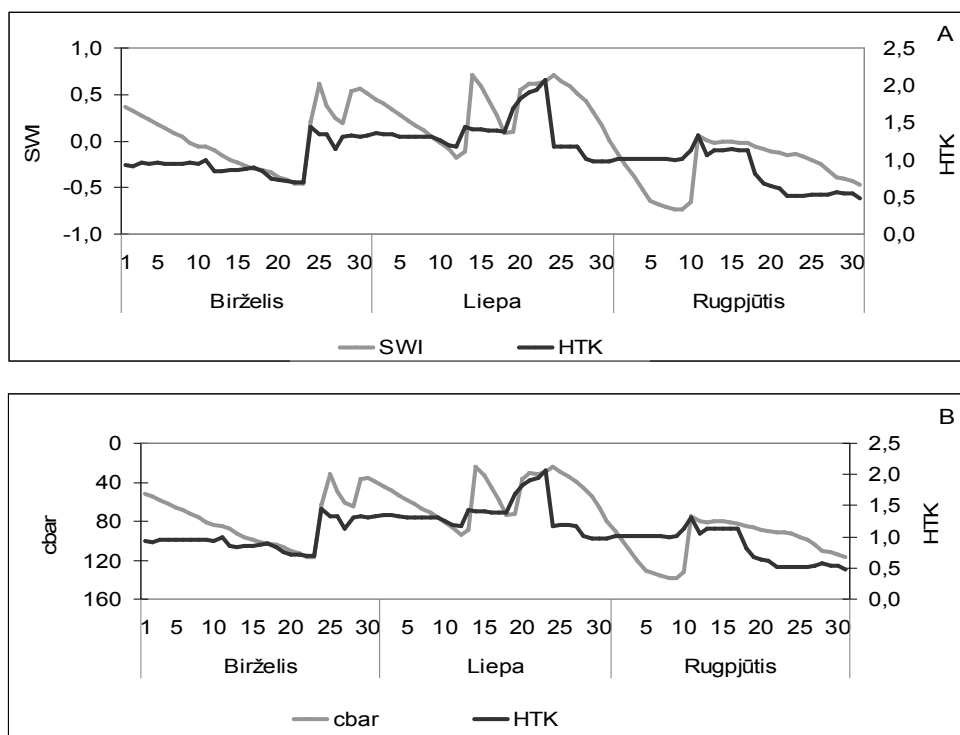
Duomenys apie drėgmės atsargas dirvožemyje, išmatuoti *Watermark* jutikliu, yra nesusieti su vegetacijos (ar kokiu kitu) laikotarpiu. Dirvožemio drėgmė (W) išmatuojama tiesiogiai ir apibūdina dirvožemio drėgmės sąlygas tam tikrame gylyje. Šiuo atveju didelę svarbą turi dirvožemio tipas, drėgmės kiekis dirvožemyje ir kritinė pavojų konkrečiai augalų rūšiai kelianti drėgmės riba (vytimo drėgmė). Todėl kiekvienai agrometeorologijos stočiai, matuojančiai dirvožemio drėgmę (W), reikalinga informacija apie dirvožemį ir vytimo drėgmę.

Šiame darbe panaudotas SWI indeksas glaudžiai susijęs su išmatuota dirvožemio drėgme (W), nes atliekant skaičiavimus pagal šį indeksą reikalingi duomenys apie dirvožemio drėgmę, augalo vytimo tašką ir dirvožemio vandens imlumą.

Lyginant 2011–2013 metų kiekvienos vasaros dienos HTK apskaičiuotas reikšmes su 20 cm gylyje išmatuota dirvožemio drėgme W (cbar) bei SWI apskaičiuotomis reikšmėmis, nustatyta, kad bendrosios indeksų kaitos tendencijos yra gana panašios. 4.39 pav. pateikiama šių parametų kasdienė reikšmių kaita 2013 m. vasarą Biržuose (4.39 A ir B pav.).

Nepaisant to, kad HTK ir W (cbar) bei HTK ir SWI reikšmių kaitos dinamika panaši, registruotų sausų dienų skaičius pagal SWI, W (cbar) ir HTK, skiriasi (4.12 lentelė).

4.12 lentelėje pateikiamas sausų dienų birželio–rugpjūčio mėnesiais skaičius 2011–2013 metais Biržuose ir Varėnoje. Sausa diena – kai W (cbar) reikšmė ≥ 80 cbar (dirvožemio drėgmė mažesnė už augalo vytimo drėgmę), SWI reikšmė < 0 , HTK reikšmė $< 0,5$.



4.39 pav. HTK ir SWI (A) bei HTK ir W (cbar) (B) reikšmių kaita 2013 m. birželį–rugsjūtį, Biržuose.

Kaip galime matyti iš 4.12 lentelės, tiek pagal *Watermark* prietaiso rodmenis, tiek pagal SWI indeksą sausų dienų skaičius yra vienodas.

Remiantis HTK analizuojamu laikotarpiu Biržuose sausų dienų registruota vos keletas (2011 m. – 7, 2012 m. – 0, 2013 m. – 1), Varėnoje pagal HTK sausų dienų iš viso neregistruota.

4.12 lentelė. Skirtingais metodais identifikuotų sausų dienų skaičius 2011–2013 m., Biržuose ir Varėnoje.

	W (cbar)	SWI	HTK	W (cbar)	SWI	HTK
Metai	Biržai			Varėna		
2011	35	35	0	10	10	0
2012	2	2	0	1	1	0
2013	48	48	1	20	20	0

Siekiant palyginti 20 cm gylyje išmatuotą dirvožemio drėgmę W (cbar) su kasdienėmis HTK reikšmėmis, buvo atliktas kasdienių reikšmių sugretinimas. Atitinkamoms HTK ir dirvožemio drėgmės W (cbar) reikšmėms buvo priskirtos tam tikros spalvos (4.13 lentelė).

Atlikus kasdienių reikšmių, apskaičiuotų HTK ir gautų tiesiogiai išmatavus dirvožemio drėgmę W (cbar) 20 cm gylyje, sugretinimą (pagal priskirtas sausumo klases), galime matyti daug nesutapimų. 4.14 ir 4.15 lentelėse pateikiamos šių dviejų skirtingų metodų kasdienių reikšmių spalvinė interpretacija 2013 m vasarą Biržuose ir Varėnoje.

4.13 lentelė. HTK ir dirvožemio drėgmės W (cbar) verčių interpretavimas priskyrus vertėms spalvinę gamą.

HTK		Spalvinė interpretacija	W (cbar)	
Interpretacija	reikšmė		reikšmė	Interpretacija
Perteklinis	>1,6		0–10	prisotintas
artima optimaliam	0,80–1,59		11–60	artimas optimaliam
Sausringa	0,51–0,79		61–80	sausringa
Sausa	<0,5		81–200	sausas

4.14 lentelė. Išmatuota dirvožemio drėgmė W (cbar) ir apskaičiuota HTK reikšmė 2013 m. birželio–rugsjūčio mėnesiais Biržuose.

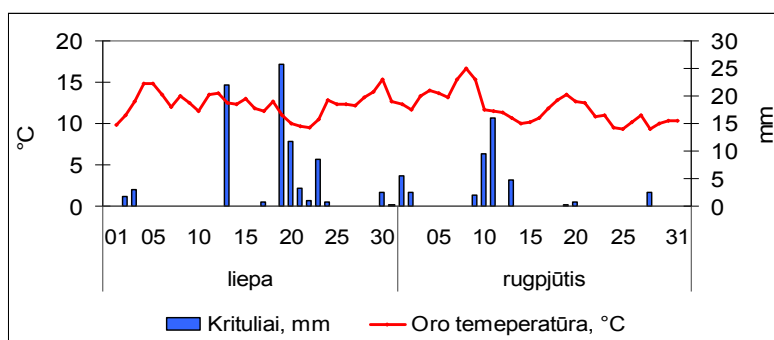
Biržai, 2013																															
mėnuo	Birželis																														
diena	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Watermark, cbar																															
HTK																															
mėnuo	Liepa																														
diena	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Watermark, cbar																															
HTK																															
mėnuo	Rugsjūtis																														
diena	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Watermark, cbar																															
HTK																															

4.15 lentelė. Išmatuota dirvožemio drėgmė W (cbar) ir apskaičiuota HTK reikšmė 2013 m. birželio–rugsjūčio mėnesiais Varėnoje.

Varėna, 2013																															
mėnuo	Birželis																														
diena	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Watermark, cbar																															
HTK																															
mėnuo	Liepa																														
diena	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Watermark, cbar																															
HTK																															
mėnuo	Rugsjūtis																														
diena	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Watermark, cbar																															
HTK																															

Reiktų paminėti, kad dalis dienų, kurios HTK indeksu apibūdinamos kaip artimos optimaliam drėkinimui, remiantis dirvos drėgmės matavimais yra apibūdinamos kaip sausos. Ypač reiktų atkreipti dėmesį į 2013 m rugsjūčio

mėnesį Biržuose, kai pagal dirvožemio drėgmę W (cbar) beveik visos dienos buvo apibūdinamos kaip sausras, o tai jau būtų palankios sąlygos susiformuoti sausras. Tuo tarpu pagal HTK, pusė mėnesio dienų buvo apibūdinamos kaip optimalaus drėkinimo ir tik viena, paskutinė rugpjūčio mėnesio diena, buvo apibūdinama, kaip sausras diena (4.14 lentelė). Verta atkreipti dėmesį į tai, kad kritulių kiekis 2013 m rugpjūtį Biržuose buvo 29 mm, o tai sudaro tik 45 % nuo klimatinės normos (1981–2010 m. vidurkis).



4.40 pav. Kritulių kiekis ir vidutinė oro temperatūra 2013 m. liepos–rugpjūčio mėnesiais Biržuose.

Remiantis HTK sąlygos sausras susidaryti susidarė tik antroje rugpjūčio mėnesio pusėje, kai eliminavosi kritulių kiekis, iškritęs liepos viduryje. Dirvožemio drėgmės W (cbar) matavimai apibūdina vienos dienos dirvožemio drėgmės sąlygas. Suprantama, kad konkrečios dienos drėgmės atsargos dirvožemyje priklauso ir nuo ankstesnių dienų meteorologinių sąlygų (kritulių, temperatūros ir t. t.) ir turi tiesioginės įtakos dirvožemio drėgmei. Tačiau galime daryti prielaidą, kad drėgmės atsargoms rugpjūtį kritulių kiekis, iškritęs per antrąją liepos pusę (4.40 pav.), įtakos neturėjo.

Vasaros metu transpiracija ir evapotranspiracija yra itin intensyvios. Aktyviosios augalų vegetacijos metu išgaravimas per parą gali siekti 3,5–5 mm. Todėl galima daryti prielaidą, kad kai kuriais atvejais 30 dienų laikotarpis, kurio duomenys naudojami HTK skaičiuoti, yra per ilgas.

Norint, kad pasipildytų sauso dirvožemio drėgmės atsargos, turi iškristi pakankamai nemažas kritulių kiekis. Pavyzdžiui 2013 m. Varėnoje liepos 12 d.

iškrito 10,9 mm kritulių. Kadangi HTK skaičiavimui naudojamas 30 parų laikotarpis, to pakako, kad HTK reikšmė iš sausos taptų artima normaliai. Dirvožemio drėgmė W ($cbar$) liko nepakitusi. Ji iš sauso dirvožemio į prisotintą perėjo po dviejų dienų, liepos 14 d., kai iškrito 23,8 mm kritulių.

Informacija apie dirvožemio drėgmę W ($cbar$), kai žinomas dirvožemio tipas ir augalo vytimo taško drėgmė, gali būti neprastesnis rodiklis už agrometeorologinius sausros indeksus, nes dirvožemio drėgmės trūkumas identifikuojamas tik tada, kai dirvožemyje drėgmės augalams iš tiesų trūksta.

Iš daugybės egzistuojančių indeksų, skirtų agrometeorologinei sausrai identifiкуoti, rasti tinkamiausią yra sudėtinga, nes gaunami rezultatai priklauso nuo pasirinkto indekso skaičiavimo algoritmo. Antra vertus, agrometeorologinę sausrą vertinti agrometeorologiniais sausrų indeksais yra patogiausia tada, kai siekiama palyginti agrometeorologinių sausrų geografinį pasiskirstymą ar kaitos tendencijas per tam tikrą laikotarpį, nes indekso reikšmės yra lengviau interpretuojamos.

Jei yra atlikti dirvožemio tyrimai – žinomas jo tipas, granulimetrinė sudėtis ir informacija apie augalo vytimo drėgmės ribą, tai tokiu atveju informacija apie dirvožemio drėgmę, o ne indeksinė išraiška, gali būti naudingesnė vartotojui.

Suprantama, kad viena ar dvi sausos dienos didesnės žalos augalams nepadarys. Todėl identifiкуojant sausras remiantis dirvožemio drėgmės duomenimis, reiktų apsibrėžti laikotarpį, kiek turi būti dienų su dirvožemio drėgmės reikšmėmis, mažesnėmis nei augalo vytimo drėgmė, kad būtų galima skelbti sausros pradžią.

Šiame darbe sausra Lietuvoje apibrėžiama, kaip neigiamas kritulių, dirvožemio drėgmės, vandens nuotėkio nuokrypis nuo daugiamečių normų, besitęsiantis daugiau nei 30 parų. Tačiau kyla klausimas, ar tos dienos turi būti iš eilės einančios? Juk viena diena po negausaus lietaus, net ir tada, kai dirvožemio drėgmės reikšmė būna didesnė už vytimo drėgmę, augalams patirto drėgmės streso, kad ir per 25 sausas dienas, nekompensuoja, ypač jei po to vėl seka keliolika ar keliasdešimt sausų dienų.

Tikriausiai, apibrėžiant sausros laikotarpį, reiktų palikti ir keletą „laisvų dienų“ („laisva diena“ – nepatenkanti į nustatytą sausos dienos kriterijų), kai vytimo drėgmės riba nėra pasiekama.

Apibrėžimas galėtų skambėti taip: „Agrometeorologinė sausra registruojama tada, kai ≥ 35 dienų laikotarpiu ≥ 90 % dienų būna su dirvožemio drėgmės reikšmėmis, mažesnėmis už nustatytą vytimo drėgmę“ (t. y. mažiausiai 35 dienų laikotarpiu registruojama bent 31 diena su dirvožemio drėgmės reikšmėmis, mažesnėmis už augalo vytimo drėgmę).

4.4. SRI indekso kaita Lietuvoje 1961–2010 m.

Hidrologinės sausros 1961–2010 m. laikotarpiu Lietuvoje analizuotos naudojant skirtingus SRI indeksus: SRI12, SRI4, SRI3, SRI1. Hidrologinės sausros analizei buvo pasirinkti 4 Lietuvos upių baseinai: Jūros (Tauragės VMS duomenys), Merkio (Puvočių VMS duomenys), Šventosios (Ukmergės VMS duomenys) ir Šešupės (Kudirkos Naumiesčio VMS duomenys).

SRI12 rugsėjo mėnesį apibūdina hidrologinių metų sąlygas: nuo vieno metų spalio 1 d. iki kitų metų rugsėjo 30 d.

1961–2010 m. laikotarpiu Lietuvoje visose keturiose upėse nustatyta hidrologinių metų SRI12 nuotėkio didėjimo tendencija. Tiesa, šis pokytis statistiškai reikšmingas ($p \leq 0,05$) yra tik Merkyje ties Puvočiais (4.16 lentelė). Lietuvoje kritulių kiekis didėja šaltuoju metų laiku ir mažėja šiltuoju (Klimato kaita, 2014). Be to, krituliai šaltuoju metų laikotarpiu vis dažniau iškrinta skystu pavidalu, t. y. vis dažniau lyja, todėl didesnė jų dalis įsifiltruoja į gruntą ir papildo požeminio vandens atsargas, o ne akumuliuojasi upės baseine.

Kritulių dalis, kuri iškrinta kietu pavidalu (sniegas), kaupiasi upės baseine, tirpdamas sniegas virsta vandeniu ir didesnė jo dalis gana staigiai nuteka paviršiniu nuotėkiu, dėl to gruntinio vandens atsargos ne visada yra papildomos. Be to, šaltuoju laikotarpiu iš sniego dangos dalis vandens atsargų išgaruoja, o ne transformuojasi į nuotėkį.

4.16 lentelė. Skirtingų SRI indeksu Mann-Kendall testo statistikos reikšmės upių baseinuose 1961–2010 m.

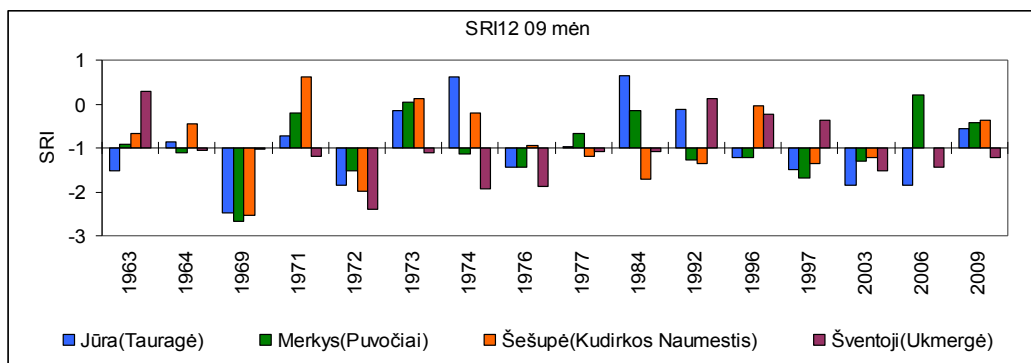
Upė (VMS)	SRI12	SRI4	SRI3		SRI1		
	rugsėjis	rugsėjis	liepa	spalis	birželis	liepa	rugpjūtis
Jūra (Tauragė)	1,04	0,97	0,33	0,31	1,66	1,75	0,68
Merkys (Puvočiai)	2,09*	2,07*	0,99	2,23*	0,9	1,31	1,36
Šešupė (Kudirkos Naumiestis)	1,64	1,02	0,48	0,96	0,00	1,45	0,71
Šventoji (Ukmergė)	1,76	2,72*	0,64	2,53*	1,28	3,11*	1,98

*statistiškai reikšmingi pokyčiai ($p \leq 0,5$).

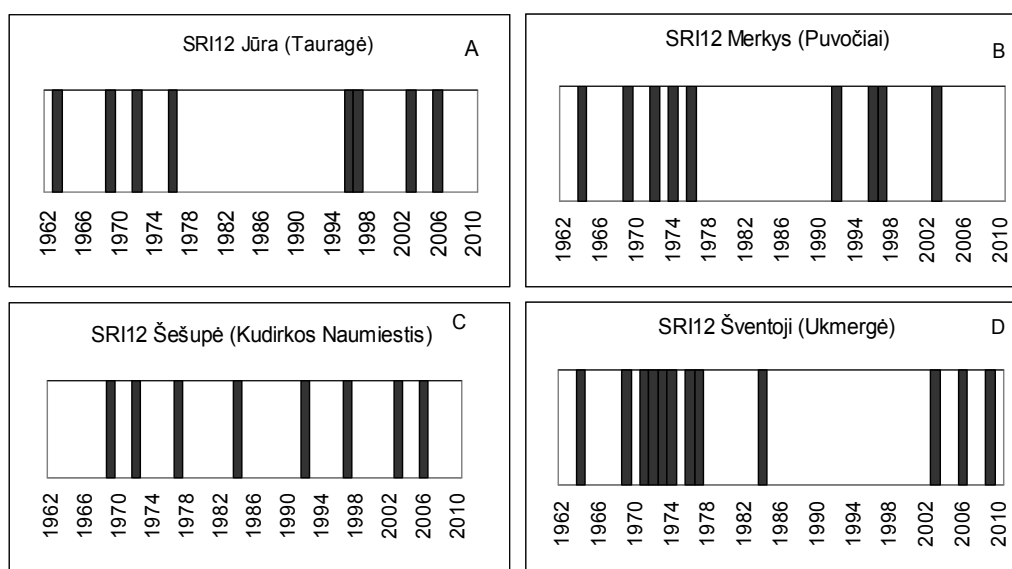
Tiriant hidrologines sausras Lietuvoje SRI12 indeksu analizei pasirinktose 4 Lietuvos upėse identifikuota nuo 8 iki 12 hidrologinių sausrų (kai $SRI12 \leq -1$) (4.41 pav.). Visose analizuojamose upėse 1961–2010 metų laikotarpiu buvo registruota po vieną ekstremalią hidrologinę sausrą ($SRI12 \leq -2$). Tokių sausrų skaičių lemia tai, jog SRI reikšmės pasiskirsčiusios pagal normaliojo skirstinio dėsnį.

1961–2010 m. laikotarpiu Lietuvoje galima išskirti keletą hidrologinių metų, kurie pasižymėjo mažu nuotėkiu ir hidrologinės sausras buvo registruotos visose keturiose analizuojamose upėse. Tai 1968–1969, 1971–1972, 2002–2003 metai (4.41 pav.). Reiktų išskirti 1968–1969 m. hidrologinius metus, kai net trijose iš keturių analizuojamų upių (Jūroje, Merkyje ir Šešupėje) registruojama ekstremali sausra ($SRI12 \leq -2$), o Šventojoje registruota sausra ($SPI12$ rugsėjį ≤ -1), nepasiekusi ekstremalios sausras kriterijaus. Šventojoje ekstremaliai sausi metai nustatyti 1971–1972 m., o kitose trijose upėse šiais metais fiksuotos sausras nepasiekusios ekstremalios sausras kriterijaus. Gana sausi buvo ir 1975–1976 bei 1996–1997 metai, kai hidrologinės sausras buvo registruotos 3 iš 4 analizuojamų upių (4.41 pav.).

Tyrimo metu nustatyta, kad hidrologinių metų sausras buvo dažnesnės analizuojamo laikotarpio pradžioje ir pabaigoje, o 1978–1991 metai pasižymėjo mažesniu sausrų skaičiumi. Per šį laikotarpį buvo registruota vos po vieną hidrologinių metų sausrą Šventojoje ir Šešupėje (4.42 pav.).



4.41 pav. Hidrologiniai metai 1961–2010 m. laikotarpiu, kai bent vienoje iš analizuojamų upių buvo registruota hidrologinė sausra pagal SRI12 rugsėjį ($SRI12 \leq -1,0$).

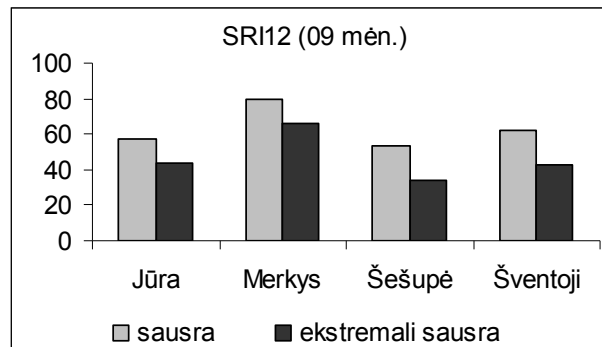


4.42 pav. Hidrologinės sausros (juodi stulpeliai) 1961–2010 m. Lietuvoje pagal SRI12 rugsėjo mėn.: Jūroje ties Taurage (A), Merkyje ties Puvočiais (B), Šešupėje ties Kudirkos Naumiesčiu (C), Šventijoje ties Ukmerge (D).

Laikantis nuostatos, jog vidutinė metinė debito norma (1961–2010 m. vidutinė debito reikšmė) sudaro 100 %, buvo apskaičiuota, kokią procentinę vidutinės debito reikšmės dalį sudarė debitas hidrologinės sausros metu.

Jei Šventijoje, Jūroje ir Šešupėje metinis debitas hidrologinės sausros metu sudarė 54–62 % nuo daugiamečio vidurkio, tai Merkyje – 80 % (4.43 pav.). Ekstremalios hidrologinės sausros metais Merkyje debitas sudarė 66 % daugiamečių normos, o likusiose upėse šis procentas nesiekė ir 50 %. Labiausiai metinis debitas, per ekstremaliai sausus hidrologinius metus,

sumažėjo Šešupėje ir tesudarė 34 % nuo vidutinio daugiamečio vidurkio (4.43 pav.).



4.43. pav. Upių debitas (%) hidrologinės sausros metu pagal SRI12 indeksą rugsėjo mėnesį lyginant su vidurkiu (100 %) 1961–2010 m.

Tokius skirtumas tarp upių gerai paaiškina upės debito variacijos koeficientų dydžiai. Gausiai požeminiu vandeniu maitinamame Merkyje hidrologinių metų variacijos koeficientas yra kur kas mažesnis nei kitų analizuotų upių baseinuose (4.17 lentelė).

Upių nuotėkio kaita per metus priklauso nuo fizinių-geografinių upės baseino charakteristikų ir jos maitinimo tipo. Kadangi analizuojamų upių baseinų pelkėtumas, ežeringumas ir miškingumas (išskyrus miškingą Merkio baseiną) nėra tokie dideli, kad galėtų stipriau paveikti nuotėkį, pagrindinis vaidmuo upės nuotėkio pasiskirstymui per metus tenka klimatiniais veiksniais, paklotiniam paviršiui ir upės maitinimo tipui. Merkio baseine įtakos turi ir didelis baseino miškingumas (40 %), kuris prisideda prie nuotėkio išlyginimo: sumažina pavasario potvynio nuotėkį ir padidina sausojo laikotarpio nuotėkį. Merkio baseine svarbus veiksnys yra jame vyraujantys smėlingi gruntai, jie sumažina pavasario potvynio nuotėkio dydį sugerdami sniego tirpsmo vandenį, kurį vėliau atiduoda šiltojo laikotarpio metu.

Hidrologiniai metai, kuriais registruotos sausros, pasižymėjo nedideliais ir neilgais pavasario potvyniais bei nedideliais lietaus sukeltais poplūdziais rudenį (hidrologinių metų pradžioje). Dažniausiai hidrologiniais sausros metais registruojama ir meteorologinė sausra, t. y. baseine iškrinta mažiau kritulių nei įprasta. Tačiau meteorologinė sausra nebūtinai apima visą hidrologinių metų

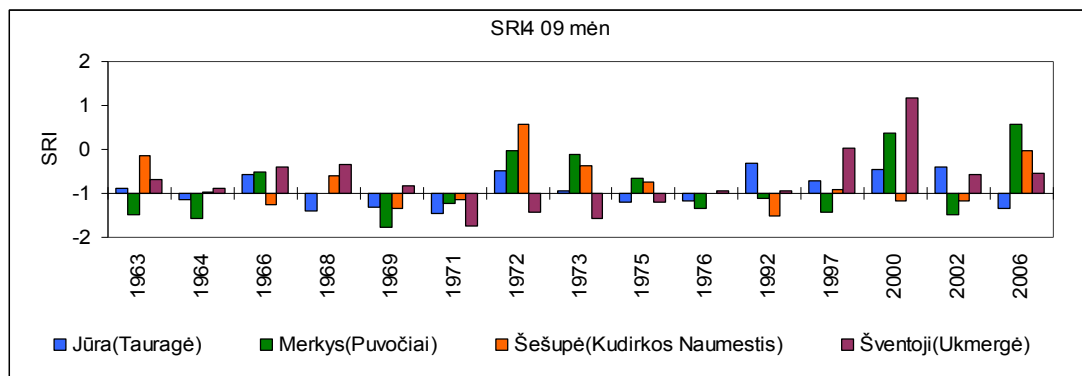
laikotarpį. Verta atkreipti dėmesį ir į tai, kad upėse (ypač tose, kurios gausiai maitinamos požeminiu vandeniu) iš pradžių susiformuoja meteorologinė sausra. Dėl to nepakankamai papildomos gruntinio vandens atsargos, kurios vėliau maitina upę.

4.17 lentelė. Analizuojamų upių debito variacijos koeficientai skirtingais laikotarpiais.

Laikotarpis	Upė/VMS			
	Jūra (Tauragė)	Merkys (Puvočiai)	Šešupė (Kudirkos Naumiestis)	Šventoji (Ukmergė)
12 mėnesių (spalis–rugsėjis)	0,27	0,14	0,34	0,28
4 mėnesiai (birželis–rugsėjis)	0,69	0,19	0,53	0,48
3 mėnesiai (gegužė–liepa)	0,50	0,15	0,37	0,38
3 mėnesiai (rugpjūtis–spalis)	0,74	0,22	0,65	0,58
1 mėnuo (birželis)	0,52	0,19	0,51	0,48
1 mėnuo (liepa)	1,21	0,24	0,69	0,52
1 mėnuo (rugpjūtis)	0,97	0,30	0,81	0,52

SRI4 rugsėjo mėn. apibūdina šiltojo metų laikotarpio (birželio–rugsėjo) hidrologines sąlygas. Analizuojamu 1961–2010 m. laikotarpiu visose keturiose upėse nustatyta nuotėkio didėjimo tendencija (statistiškai reikšmingi pokyčiai Merkyje ties Puvočiais ir Šventojoje ties Ukmerge) (4.16 lentelė).

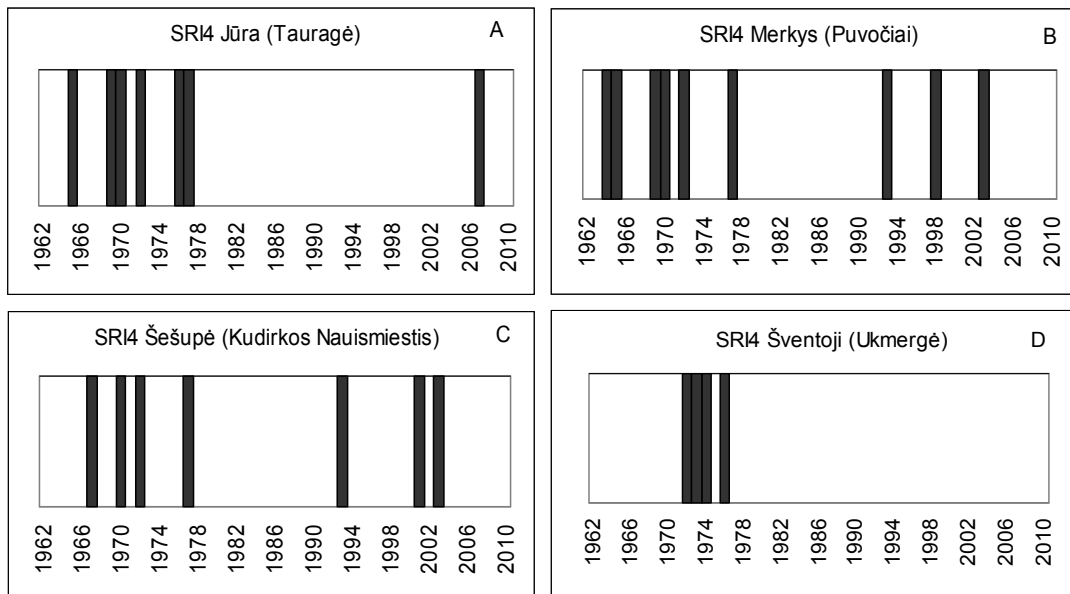
Tiriamose upėse registruota nuo 4 (Šventojoje) iki 9 (Merkyje) hidrologinių sausrų. Ekstremalių hidrologinių sausrų ($SRI \leq -2$) neužfiksuota nė vienoje upėje (4.44 pav.).



4.44 pav. Hidrologiniai metai 1961–2010 m., kai bent vienoje iš analizuojamų upių buvo registruota hidrologinė sausra pagal SRI4 rugsėjį ($SRI4 \leq -1,0$).

Per 50-ties metų laikotarpį iš viso buvo 15 metų, kai bent vienoje upėje registruota hidrologinė sausra. Tik 1971 m. hidrologinė sausra nustatyta visose tiriamose upėse, o 1969 ir 1976 m. hidrologinė sausra registruota 3 upėse. Kitais metais hidrologinė sausra nustatyta dviejose ar vienoje upėje (4.44 pav.).

Tiriant sausrų kartojimąsi analizuojamu 1961–2010 m. laikotarpiu, kaip ir SRI12 atveju, nustatytas hidrologinių sausrų skaičiaus sumažėjimas nuo 1976 metų (4.45 pav.).

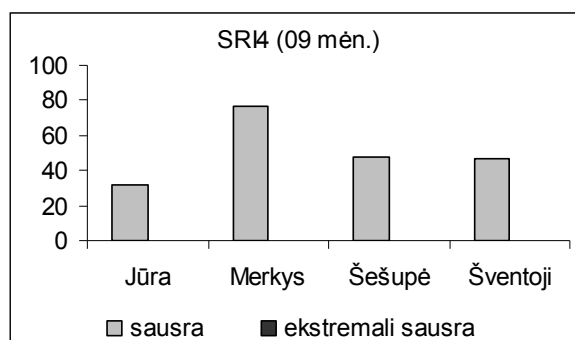


4.45 pav. Hidrologinės sausras (juodi stulpeliai) 1961–2010 m. Lietuvoje pagal SRI4 rugsėjo mėn.: Jūroje ties Taurage (A), Merkyje ties Puvočiais (B), Šešupėje ties Kudirkos Naumiesčiu (C), Šventijoje ties Ukmerge (D).

Nuo 1976 m. Šešupėje neregistruota nė vienos hidrologinės sausras, o Jūroje tik viena. Tik Merkyje ir Šešupėje registruota po 3 hidrologines sausras tiriamo laikotarpio antroje pusėje (4.45 pav.).

SRI4 indeksu identifikuotų šiltojo metų laikotarpio hidrologinių sausrų debito reikšmės sudaro nuo 32 % Jūroje iki 76 % Merkyje lyginant su daugiamečiu vidurkiu (4.46 pav.).

Debito nuokrypiai nuo vidutinių daugiamečių reikšmių yra didesni nei SRI12 atveju. To priežastis yra ta, kad trumpesnio laikotarpio nuokrypiai nuo vidurkio yra didesni, didesni ir variacijos koeficientai (4.17 lentelė).



4.46 pav. Upių debitas (%) hidrologinės sausras metu pagal SRI4, apskaičiuotą rugsėjo mėnesiui, lyginant su vidurkiu (100 %) 1961–2010 m.

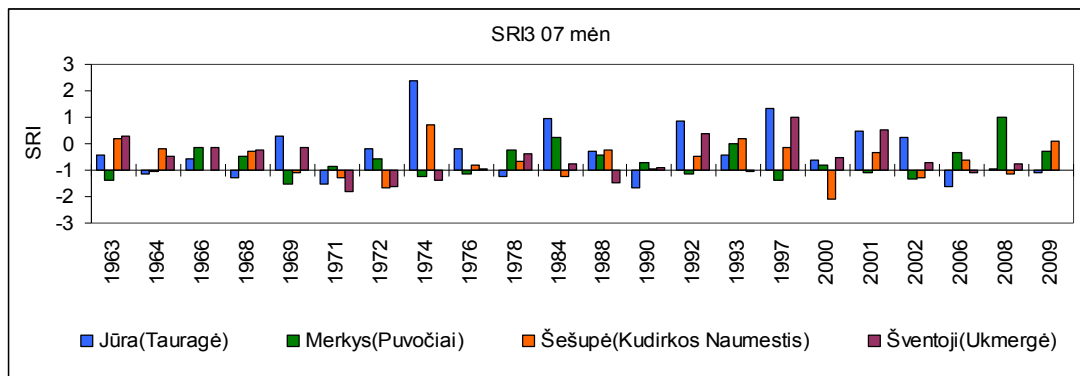
Šiuo atveju didžiausią įtaką nuotėkio deficitui ir hidrologinės sausras susiformavimui daro upės maitinimo tipas. Šiltuoju metų laikotarpiu viena svarbesnių priežasčių hidrologini saurai susiformuoti yra kritulių trūkumas. Kuo didesnis kritulių deficitas, tuo labiau sumažėja ir nuotėkis. Tačiau Merkyje, kuris gausiai maitinamas požeminiu vandeniu, net ir tada, kai registruojama hidrologinė sausra, debitas sumažėja tik 24 %. O daugiausia lietaus vandeniu vasarą maitinamoje Jūroje sausras metu debitas, lyginant su vidutiniu daugiamečiu debitu, sumažėja net 68 % (4.46 pav.). Čia įtakos turi ne tik tai, kad upė daugiausia maitinama paviršinio nuotėkio, bet ir tai, kad jos baseinas driekiasi Žemaičių aukštuma, kur Lietuvoje iškrinta daugiausia kritulių. Todėl, esant ilgesniam kritulių deficito laikotarpiui, susidaro ir kiek didesnis absoliutus nuokrypis nuo normos nei upėje, kurios baseine kritulių iškrinta mažiau.

Analizuojant 1961–2010 m. laikotarpio hidrologines sausras pagal **SRI3**, buvo analizuojami du vienas su kitu nepersidengiantys laikotarpiai: gegužė–liepa ir rugpjūtis–spalis. Abiem atvejais 1961–2010 m. nustatyta analizuojamų upių nuotėkio didėjimo tendencija. Tačiau statistiškai reikšmingi pokyčiai nustatyti tik rugpjūčio–spalio mėnesiais Merkyje ties Puvočiais ir Šventijoje ties Ukmerge (4.16 lentelė).

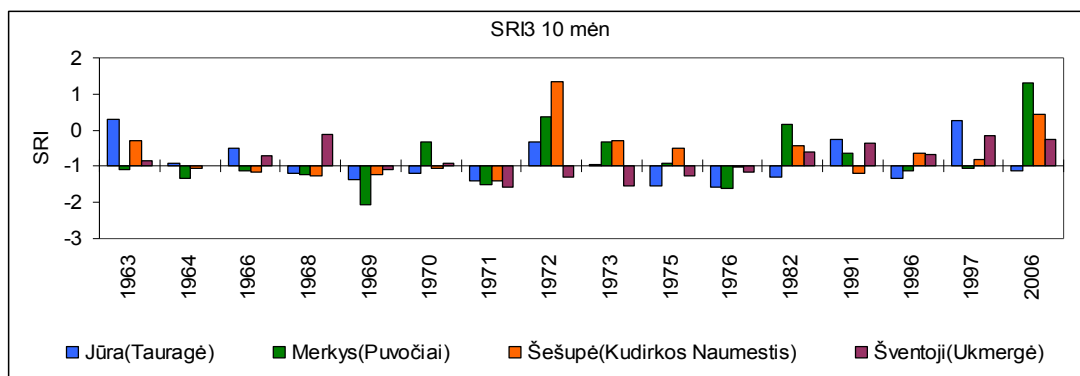
1961–2010 m. laikotarpiu Lietuvoje, gegužės–liepos mėnesiais, buvo nustatyti net 22 metai, kai bent viename iš 4 analizuojamų upių baseinų buvo registruota hidrologinė sausra (4.47 pav.). Tačiau tik 1971 m. hidrologinė

sausra registruota 3 upėse. Visais kitais atvejais hidrologinė sausra registruota ne daugiau kaip 2 upėse (4.47 pav.).

1961–2010 m. rugpjūčio–spalio laikotarpiu buvo 16 metų, kai bent vienoje iš keturių analizuojamų upių, registruota hidrologinė sausra. Priešingai, nei gegužės–liepos laikotarpiu, rugpjūčio–spalio laikotarpiu hidrologinės sausros registruojamos ir visose keturiose (1969, 1971 ir 1976 m.) ar trijose (1964 ir 1968 m.) upėse vienu metu (4.48 pav.). Vėl išryškėja, kad didžioji dalis sausrų registruota analizuojamo 1961–2010 m. laikotarpio pirmoje pusėje, t. y. iki 1977 m. (4.48 pav.).



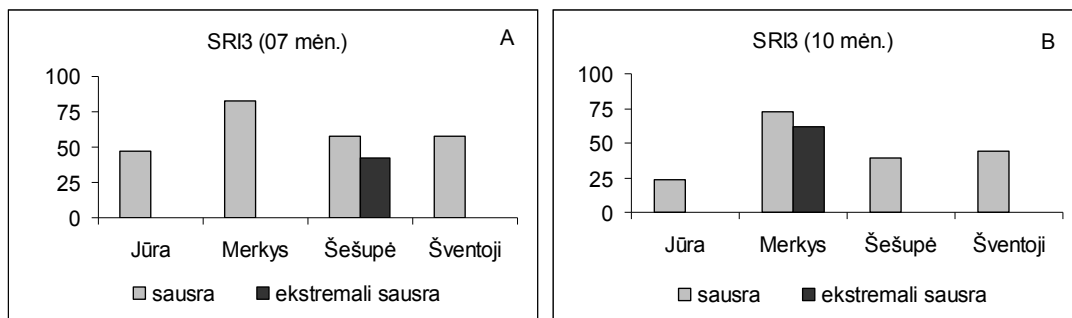
4.47 pav. Metai 1961–2010 m. laikotarpiu, kai bent vienoje iš analizuojamų upių buvo registruota hidrologinė sausra gegužės–liepos mėn. pagal SRI3 liepą ($SRI3 \leq -1,0$).



4.48 pav. Metai 1961–2010 m. laikotarpiu, kai bent vienoje iš analizuojamų upių buvo registruota hidrologinė sausra rugpjūčio–spalio mėn. pagal SRI3 spalį ($SRI3 \leq -1,0$).

1961–2010 m. laikotarpiu SRI3 indeksu buvo registruota tik po vieną ekstremalios hidrologinės sausros atvejį: gegužę–liepą – 2000 metais Šešupėje

ties Kudirkos Naumiesčiu, o rugpjūtį–spalį – 1969 metais Merkyje ties Puvočiais (4.49 pav.).



4.49 pav. Upių debitas (%) hidrologinės sausros metu pagal SRI3, apskaičiuotą liepos (A) ir spalio (B) mėnesiams, lyginant su vidurkiu (100 %) 1961–2010 m.

Debito nuokrypis nuo daugiamečių vidutinių debito reikšmių hidrologinės sausros metu, kaip ir analizuojant kitais SRI indeksais, priklauso nuo pagrindinio upės maitinimo tipo šiltuoju metų laikotarpiu ir pavasarinio potvynio dydžio.

Hidrologinėms sausroms, identifikuotoms SRI3 liepos mėnesį, susidaryti yra svarbus ir šaltasis metų laikotarpis: baseine susikaupiančios vandens atsargos sniege ir sniego tirpimo sąlygos pavasarį. Jei sniego mažai, tai rimtas signalas, jog galima sausra. Jei sniego daug – labai svarbios tirpimo sąlygos, nes nuo sniego tirpimo greičio priklauso, kiek sniego nutekės paviršiniu nuotėkiu ir koks bus potvynio dydis bei kiek tirpstantis sniegas papildys požeminio vandens atsargas. Kuo sniego tirpimas greitesnis, tuo didesnė jo dalis nuteka paviršiniu nuotėkiu ir, atvirkščiai, esant lėtam sniego tirpimui yra labiau papildomos upės baseino vandens atsargos. Antra vertus, vykstant sniego tirpimui nemaža dalis jo dangos išgaruoja (Matulevičienė ir Vološnienė, 1972).

Vasaros antroje pusėje upės nuotėkio variacija labiau nulemta kritulių, kurie formuoja paviršinį nuotėkį. Todėl ir variacijos koeficientai visose upėse gegužė–liepą yra mažesni nei rugpjūtį–spalį (4.17 lentelė). Dėl šių priežasčių rugpjūčio–spalio laikotarpiu debito nuokrypiai nuo daugiamečių vidurkių sausrų metu yra didesni nei gegužės–liepos laikotarpiu.

Jūros, Šešupės ir Šventosios nuotėkiui didelės įtakos turi lietus ir sniego kiekis pavasarį. Todėl skirtumai tarp šių dviejų šiltojo laikotarpio tarpsnių sudaro apie 20 % ir yra kur kas didesni nei požeminiu vandeniu maitinamame Merkyje, kur skirtumai tarp gegužės–liepos ir rugpjūčio–spalio mėnesių debito nuokrypių sausros metu, nuo daugiamečių debito vidurkių, sudaro vos 5 % (4.49 pav.).

SRII apibūdina vieno mėnesio normalizuotą debito deficitą ar perteklių, lyginant su daugiamečiais vidurkiais. 1961–2010 m. laikotarpiu SRII indeksu buvo analizuojamos vasaros mėnesių (birželio, liepos ir rugpjūčio) hidrologinės sausros. Išanalizavus šių trijų mėnesių SRI reikšmes nustatyta indekso reikšmių augimo tendencija, t. y. nuotėkio didėjimas, tačiau statistiškai reikšmingi pokyčiai registruoti tik Šventojoje ties Ukmerge liepos mėnesį (4.16 lentelė). Pagal SR1 užfiksuotų hidrologinių sausrų skaičius pateiktas 4.18 lentelėje. Analizuojamu laikotarpiu registruotas tik vienas ekstremalios hidrologinės sausros atvejis 2000 m. birželio mėn. Šešupėje.

4.18 lentelė. Hidrologinių sausrų skaičius pagal SRII birželio–rugpjūčio mėnesiais 1961–2010 m.

Mėnuo	Jūra (Tauragė)	Merkys (Puvočiai)	Šešupė (Kudirkos Naumiestis)	Šventoji (Ukmerge)
Birželis	9	5	7	6
Liepa	3	9	5	9
Rugpjūtis	6	9	7	6

Liepos ir rugpjūčio mėnesiais išsiskiria 1977–1992 metų laikotarpis, kurio metu hidrologinės sausros nebuvo registruojamos nė vienoje iš keturių analizuojamų upių. Rugpjūčio mėnesį nuo 1977 iki 2010 metų Jūroje neregistruota nė viena hidrologinė sausra, o Šventojoje – tik viena.

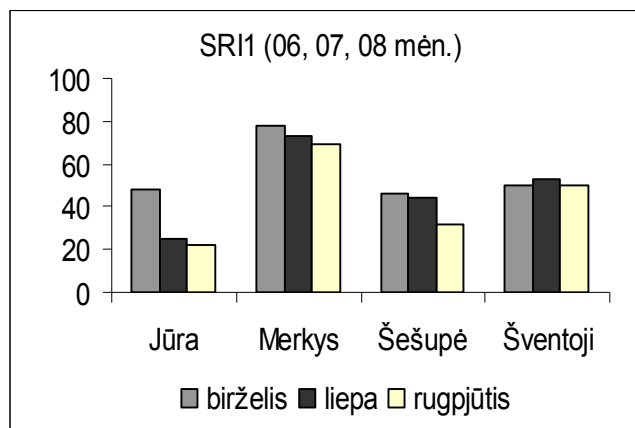
Jei liepos ir rugpjūčio mėnesiais hidrologinės sausros vienu metu registruojamos visose keturiose ar trijose upėse, tai birželio mėnesį – tik dviejose ar vienoje upėje. Taip nutinka dėl to, kad liepos ir rugpjūčio mėnesiais upių nuotėkiui didesnės reikšmės turi iškritęs lietaus kiekis. Upės nuotėkis birželio mėnesį su tam tikru vėlavimu vis dar gali priklausyti nuo pavasario

potvynio bei susikaupusių sniego atsargų upės baseine šaltuoju metų laikotarpiu.

Didžiausias debito nuokrypis sausrų metu nuo daugiamečio vidurkio, kaip ir kitais SRI indeksais, nustatytas Jūroje ties Taurage (4.50 pav.).

Nustatyta ir tai (išskyrus Šventąją ties Ukmerge), kad liepą ir rugpjūtį registruojamos hidrologinės sausros metu debito nuokrypiai nuo normos yra didesni (4.50 pav.).

Ypač tai žymu Jūroje ties Taurage, kurioje liepos ir rugpjūčio mėnesiais pagrindinę nuotėkio dalį sudaro lietus. Požeminiu vandeniu maitinamame Merkyje sausros metu nuokrypiai kur kas mažesni. Tokius skirtumus galima paaikškinti ir variacijos koeficientais. Analizuojamų upių debitų variacijos koeficientai birželį visose upėse yra mažesni nei liepą ar rugpjūtį (4.17 lentelė).



4.50 pav. Upių debitas (%) hidrologinės sausros metu pagal SRI1, apskaičiuotą vasaros mėnesiams, lyginant su vidurkiu (100 %) 1961–2010 m.

Birželio mėnesio nuotėkis priklauso ir nuo pavasario potvynio pabaigos ir potvynio dydžio. Potvynio laikotarpiu papildomos baseino vandens atsargos. Liepą ir rugpjūtį upių maitinimas daugiau priklauso nuo iškritusio kritulių kiekio. Kuo mažesnę dalį upės nuotėkio sudaro požeminis vanduo, tuo labiau debito kiekis sausros metu sumažėja lyginant su daugiametėmis normomis.

Atvejai, kai buvo pasiektos žemesnės už gamtosauginį debitą reikšmės.

Buvo suskaičiuotos 1961–2010 m. laikotarpio gegužės–spalio laikotarpio dienos, kai 4 upių baseinuose registruotas vidutinis dienos debitas buvo mažesnis už nustatytą gamtosauginį debitą (nustatytas gamtosauginis debitas pateiktas 3.2 lentelėje) ir išrinkti tik tie atvejai, kai per mėnesį tokių dienų buvo ≥ 15 . Tada tikrinama, ar SRI indeksu visuose 4 laiko žingsniuose (t. y. SRI1, SRI3, SRI4, SRI12) buvo identifikuota hidrologinė sausra.

Jūroje ties Taurage 1961–2010 m. laikotarpiu buvo nemažai atvejų, kai per mėnesį registruojama vos po vieną ar keletą dienų su mažesnėmis už gamtosauginį debitą reikšmėmis. Tačiau buvo nustatyti tik 7 mėnesiai (per 6 metus), kai per mėnesį tokių dienų buvo ≥ 15 (4.19 lentelė).

Dažniausiai Jūros upės (ties Taurage) debitas, mažesnis už gamtosauginį, buvo registruojamas liepos antroje – rugpjūčio pirmoje pusėje. Buvo nustatyta, kad visais atvejais hidrologinė sausra buvo identifikuota tik SRI1 indeksu, o SRI3 indeksu buvo identifikuota 75 % tokių atvejų. SRI4 ir SRI12 indeksais buvo identifikuota mažiau nei pusė tokių atvejų (4.19 lentelė).

4.19 lentelė. Atvejai, kai dienų su mažesniu už gamtosauginį debitą buvo ≥ 15 per mėnesį, Jūroje ties Taurage 1961–2010 m. gegužės–spalio mėn. Hidrologinė sausra SRI buvo registruota (+), nebuvo (–).

Metai	Mėnuo	Trukmė	SRI1	SRI3	SRI4	SRI12
1968	Rugpjūtis	15	+	+	+	–
1968	Rugsėjis	18	+	+	+	–
1969	Liepa	31	+	–	–	+
	Rugpjūtis	15	+	+	–	+
1970	Rugpjūtis	21	+	–	–	–
1971	Rugpjūtis	30	+	+	+	–
2006	Liepa	23	+	+	–	+

Merkyje gamtosauginio debito neviršijantys atvejai dažniau registruoti analizuojamo laikotarpio pradžioje (iki 1977 metų), rugpjūčio–rugsėjo mėnesiais (4.20 lentelė).

Visais atvejais, kai vandens debitas buvo mažesnis už gamtosauginį, hidrologinė sausra buvo identifikuota SRI1, SRI3, SRI4 indeksais. Daugiau nei

pusė atvejų tą patį mėnesį buvo ir hidrologinė sausra pagal SRI12 indeksą (4.20 lentelė).

4.20 lentelė. Atvejai, kai dienų su mažesniu už gamtosauginį debitą buvo ≥ 15 per mėnesį, Merkyje ties Puvočiais 1961–2010 m. gegužės–spalio mėn. Hidrologinė sausra SRI buvo registruota (+), nebuvo (–).

Metai	Mėnuo	Trukmė	SRI1	SRI3	SRI4	SRI12
1963	Rugpjūtis	18	+	+	+	–
1964	Rugpjūtis	28	+	+	+	+
1968	Rugsėjis	17	+	+	+	–
1969	Liepa	16	+	+	+	+
	Rugpjūtis	31	+	+	+	+
	Rugsėjis	29	+	+	+	+
	Spalis	28	+	+	+	+
1971	Rugpjūtis	30	+	+	+	–
	Rugsėjis	18	+	+	+	–
1976	Rugpjūtis	20	+	+	+	+
	Rugsėjis	29	+	+	+	+
2002	Rugpjūtis	31	+	+	+	-

Merkyje dėl gausaus požeminio maitinimo nėra trumpalaikių nuotėkio svyravimų. Didelė požeminio vandens dalis upės maitinime lemia tai, kad Merkyje nuotėkio inercija yra didesnė nei kitose analizuotose upėse.

1961–2010 m. laikotarpiu Šventojoje ties Ukmerge registruota 19 mėnesių, kai debitas 15 dienų ar daugiau buvo mažesnis už gamtosauginio debito reikšmes (4.21 lentelė).

1961–2010 m. laikotarpiu Šešupėje ties Kudirkos Naumiesčiu, gegužės–spalio mėnesiais registruoti tik 5 atvejai, kai bent pusę mėnesio vandens debitas buvo mažesnis už nustatytą gamtosauginį (4.22 lentelė).

Dažniausiai atvejai, kai buvo pasiektos gamtosauginio debito reikšmės, buvo registruoti rugpjūčio mėnesį (4.22 lentelė).

SRI1 indeksu buvo identifikuoti visi atvejai, kai gamtosauginio debito trukmė per mėnesį buvo ≥ 15 dienų. Kai šios upės debitas mažesnis už gamtosauginį buvo ≥ 20 dienų per mėnesį, visais atvejais hidrologinė sausra buvo identifikuojama SRI1 ir SRI3 indeksais.

4.21 lentelė. Atvejai, kai dienų su mažesniu už gamtosauginį debitą buvo ≥ 15 per mėnesį, Šventojoje ties Ukmerge 1961–2010 m. gegužės–spalio mėn. Hidrologinė sausra SRI buvo registruota (+), nebuvo (–).

Metai	Mėnuo	Trukmė (dienomis)	SRI1	SRI3	SRI4	SRI12
1964	Liepa	21	+	–	–	+
1969	Rugpjūtis	28	+	–	–	–
1970	Rugpjūtis	26	–	+	–	–
1971	Birželis	20	+	+	–	+
	Liepa	31	+	+	+	+
	Rugpjūtis	31	+	+	+	+
	Rugsėjis	31	+	+	+	+
	Spalis	21	+	+	+	+
1972	Rugpjūtis	20	+	+	+	+
1972	Rugsėjis	31	+	+	+	+
1973	Liepa	19	+	–	+	+
	Rugpjūtis	30	+	+	+	+
	Rugsėjis	26	+	+	+	+
1976	Rugpjūtis	28	+	–	+	+
1988	Birželis	22	–	–	–	–
1992	Liepa	28	+	–	–	–
	Rugpjūtis	31	+	+	–	–
1996	Rugpjūtis	19	+	–	–	–
1999	Rugpjūtis	16	–	–	–	–

4.22 lentelė. Atvejai, kai dienų su mažesniu už gamtosauginį debitą buvo ≥ 15 per mėnesį, Šešupėje ties Kudirkos Naumiesčiu 1961–2010 m. gegužės–spalio mėn. Hidrologinė sausra SRI buvo registruota (+), nebuvo (–).

Metai	Mėnuo	Trukmė	SRI1	SRI3	SRI4	SRI12
1966	Rugpjūtis	21	+	+	+	–
1969	Rugpjūtis	23	+	+	+	+
1970	Rugsėjis	20	+	+	–	–
1971	Rugpjūtis	23	+	+	+	–
2003	Rugpjūtis	15	+	–	–	+

Jūroje ir Šešupėje atvejų, kai dienų su mažesniu už gamtosauginį debitą buvo ≥ 15 per mėnesį, registruota mažiau nei Merkyje ar Šventojoje. Taip nutinka dėl to, kad Jūros ir Šešupės nuotėkis gana greitai išauga iškritus lietui (tačiau greitai sumažėja ilgesnį laiką nelyjant). Todėl šiose upėse registruojama daugiau trumpų laikotarpių, kai dienų su mažesniu už gamtosauginį debitą per mėnesį būna po keletą (t. y. ≤ 15).

Siejant hidrologinę sausrą su gamtosauginiu debitu galima daryti išvadą, jog tokie atvejai, kai per mėnesį susidaro ≥ 15 dienų su upės debito reikšmėmis,

mažesnėmis už gamtosauginį, hidrologinės sausras geriausiai identifikuojamos mažo laiko žingsnio – SRI1 indeksu. Tačiau pasitaiko atvejų, kad per mėnesį registruojama po 15–22 dienas, kai upės debito reikšmės mažesnės už gamtosauginį, tačiau SRI1 sausras neregistruoja. Tokie trys atvejai registruoti Šventojoje ties Ukmerge (4.21 lentelė). Tokia situacija susidaro dėl to, kad dėl vyravusių sausų oro sąlygų vieną mėnesio pusę registruojamos labai mažos upės debito reikšmės, o kitą to paties mėnesio pusę, dėl gausesnio lietaus, upės debito reikšmės išauga ir vidutinis mėnesio debitas būna toks, kad hidrologinė sausra SRI1 indeksu neidentifikuojama.

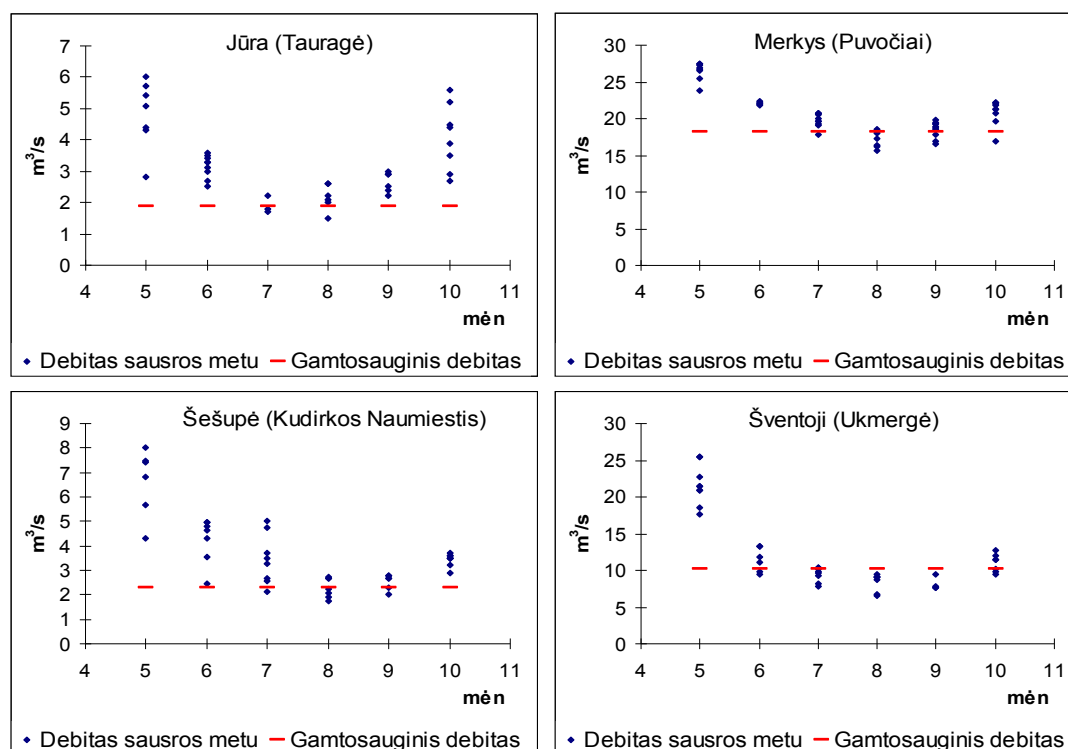
Didesnio laiko žingsnio SRI indeksai (SRI3, SRI4, SRI12) apibūdina upės debitą per ilgesnį laikotarpį. Jei trijų, keturių ar dvylikos mėnesių laikotarpiu bus registruojama vos po keletą dienų (ar iš viso tokių dienų nebus) su upės debito reikšmėmis, mažesnėmis už gamtosauginį debitą, hidrologinė sausra SRI3, SRI4 ar SRI12 gali būti identifikuojama tik tokiais atvejais, kai kitomis mėnesių dienomis upės debitas bus mažesnis už vidutinį daugiametį (nors ir nenukris iki reikšmių, mažesnių už gamtosauginį debitą). Ir atvirkščiai, jei vieną mėnesį ir bus registruojama ≥ 15 dienų su upės debito reikšmėmis, mažesnėmis už gamtosauginį debitą, o kitomis analizuojamų laikotarpių (3, 4 ar 12 mėnesių) dienomis upės debito reikšmės bus artimos ar didesnės už daugiametės vidutinės, hidrologinė sausra SRI3, SRI4, SRI12 indeksais identifikuojama nebus. Taigi, vertinant SRI3, SRI4 ir SRI12 indeksais nustatytas hidrologines sausras, nereiktų jų sieti su upės gamtosauginiu debitu.

Apibendrinant reiktų atkreipti dėmesį į tai, jog SRI identifikuojant hidrologines sausras Lietuvos upėse, kurių pagrindinis maitinimo šaltinis yra požeminis vanduo (pvz., Merkys), identifikuoja sausrą net ir esant nedideliame vandens debito (10–20 %) nuokrypiui nuo normos.

Upėse, kurių pagrindinis maitinimo šaltinis yra paviršinis nuotėkis (pvz., Jūra), net ir dvigubai sumažėjus vandens debitui hidrologinė sausra dar nėra identifikuojama. Nepriklausomai nuo debito nuokrypio nuo normos dydžio, hidrologinė sausra paveiks tiek vienos, tiek kitos upės ekosistemas.

Reiktų nepamiršti ir to, kad hidrologinė sausra – tai ne tik labai sumažėjęs vandens debitas ar nukritęs vandens lygis. Lietuvoje yra nedidelių, tik lietaus vandeniu maitinamų, upelių, kurie periodiškai labai smarkiai nusenka ar net išdžiūsta beveik kiekvieną vasarą. Tačiau tai yra daugiau natūralus tokio upelio metinio nuotėkio ciklas, o ne hidrologinė sausra. Dėl šios priežasties hidrologinę sausrą reiktų labiau sieti su tam tikros upės baseino vandens atsargų nuokrypiu nuo daugiamečių normų. Hidrologinę sausrą galima sieti ir su laikotarpiu, kuomet didesniąją mėnesio dalį tam tikroje upėje registruojamos dienos su debito reikšmėmis, mažesnėmis už nustatytą gamtosauginį debitą.

Patys sausiausi upės mėnesiai (dienų skaičius >15 per mėnesį, kai upės debitas mažesnis už gamtosauginį debitą) gana gerai identifikuojami SRI1 indeksu. Hidrologinė sausra pagal SRI – tai mažesnis už vidutinį upės debitas, kuris teoriškai pagal SRI skaičiavimo metodiką turėtų būti registruojamas vienodu dažnumu visais mėnesiais. Gamtosauginis debitas siejamas su mažu debitu, kuris dažniausiai registruotas antroje vasaros pusėje (4.51 pav.).



4.51 pav. Vidutinis paros debitas sausrų metu, identifikuotų pagal SRI1, 1961–2010 m. laikotarpiu ir gamtosauginis debitas.

Gegužės mėnesį upės nuotėkis yra kur kas didesnis nei vasaros mėnesiais, todėl SRI registruotos sausros metu jis nesiekia gamtosauginio debito reikšmių. Kadangi gegužės mėnuo labai priklauso nuo pavasario potvynio laiko ir dydžio, jo objektyviai vertinti SRI1 negalime. Tas pats pasakytina ir apie birželio mėnesį, kurio nuotėkio dydis dažnai vis dar yra veikiamas pavasario potvynio. Geriausiai SRI1 registruotos sausros su gamtosauginio debito reikšmėmis siejasi liepos, rugpjūčio ir rugsėjo mėnesiais, t. y. šiltojo nuosėkio laikotarpio antroje pusėje.

4.5. Skirtingų indeksų reikšmių palyginimas

4.5.1. SPI ir HTK reikšmių palyginimas

Siekiant tarpusavyje palyginti SPI ir HTK indeksų reikšmes buvo lyginamos atskirų vasaros mėnesių ir vasaros periodo SPI ir HTK indeksų reikšmės bei šiais indeksais identifikuotos sausros 1891-2010 m. laikotarpiu Vilniaus MS.

Per analizuojamąjį 1891–2010 m. laikotarpį fiksuoti 23 ekstremaliai sausi vasaros mėnesiai, kai HTK buvo $<0,5$. Per tą patį analizuojamą laikotarpį, atskirais vasaros mėnesiais, tokių ekstremaliai sausų mėnesių ($SPI1 \leq -2$) SPI1 fiksuota vos 10, t. y. daugiau nei dvigubai mažiau. Jei SPI ekstremalumo kriterijų pakeistume nuo $SPI < -2$ iki $SPI < -1,5$, tuomet SPI1 indeksu būtų nustatytos visos ekstremalios sausros, kurios buvo fiksuotos ir HTK. Tačiau SPI1 indeksu per analizuojamąjį laikotarpį, papildomai būtų registruoti dar 4 ekstremaliai sausi mėnesiai – trys birželio ir vienas rugpjūčio mėnesį. Tokius rezultatus galėjo nulemti ir tai, jog šie, SPI1 indeksu papildomai registruoti ekstremaliai sausi mėnesiai, buvo kiek vėsesni, t. y. jų vidutinė oro temperatūra buvo mažesnė nei įprastai.

Taigi, norint, kad SPI1 identifikuotų visus, ekstremaliai sausus mėnesius, nustatytus pagal HTK, SPI1 kritinė reikšmė turi būti ne -2 , o $-1,5$.

Tačiau kyla kitas klausimas: ar HTK reikšmė ($<0,5$), nuo kurios pradedama fiksuoti sausra mūsų regione, gali būti siejama su sausromis, nes

G. Selianinovas sukūrė ir pritaikė šį indeksą karštesnio klimato sąlygoms? Lyginant šių dviejų indeksų skaičiavimo metodiką ir reikšmių interpretaciją, galima pastebėti, kad SPI ekstremali reikšmė (≤ -2) turi kur kas lengviau suprantamą matematinę prasmę, nes tik tam tikra dalis mėnesių yra apibrėžiami kaip ekstremaliai sausi. Teoriškai, ekstremaliai sausų mėnesių dalis pagal SPI nepriklauso nuo klimato zonos, tuo tarpu atvejų su žemesnėmis nei 0,5 HTK reikšmėmis santykinė dalis didėja šiltesniame ir sausesniame klimate. Pastaruoju atveju be pagrindo niveliuojama sausros apibrėžtis.

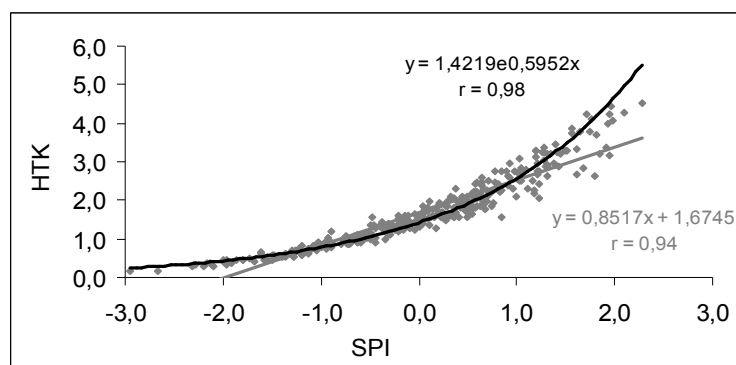
Iš ryšio grafiko tarp SPI1 ir HTK (4.52 pav.), galime matyti, kad priklausomybė tarp SPI1 ir HTK reikšmių yra ne tiesinė, o eksponentinė (4.52 pav.). Remiantis šiuo ryšio grafiku, pagal eksponentinę priklausomybę $SPI \leq -2$, turėtų atitikti 0,43 HTK, o $SPI -1,5$ turėtų atitikti 0,58 HTK.

Nustatyta, kad koreliacija tarp SPI1 ir HTK reikšmių vasaros mėnesiais yra labai stipri – pagal tiesinę priklausomybę koreliacijos koeficientas siekia 0,94, o pagal eksponentinę jis išauga iki 0,98 (4.52 pav.).

Šiuo metu Lietuvoje naudojant HTK indeksą sausrų identifikavimui, naudojamas vienos dienos laiko žingsnis. Identifikuojant ir analizuojant sausras pagal SPI naudojamas vieno mėnesio laiko žingsnis. Dėl šios priežasties gali atsirasti nesutapimų identifikuojant sausras. Pavyzdžiui, jei ekstremalios sausros HTK registruojamos ne mėnesio pradžioje, bet mėnesio viduryje, tai tokiu atveju SPI1 indeksu ekstremalios sausros gali būti neregistruojamos. Pavyzdžiui, per analizuojamo periodo paskutinį penkiasdešimtmetį, t. y. nuo 1961 iki 2010 m., Vilniuje pagal HTK buvo registruotos 3 oficialios stichinės sausras 1971, 1992, 1994 m. (Klimato žinynas, 2000). Pagal HTK 1971 m. ekstremali sausra prasidėjo liepos antroje pusėje ir tęsėsi iki rugpjūčio antros pusės. Tais pačiais metais SPI1 reikšmė liepą buvo $-1,98$, o rugpjūtį – $-1,4$. 1971 m. rugpjūčio SPI1 indekso reikšmė susijusi su šio mėnesio antroje pusėje iškritusiais gausiais krituliais, dėl ko ekstremali sausra ir nebuvo registruota.

1992 m. ekstremali sausra HTK indeksu fiksuota liepą ir rugpjūtį. Tais pačiais metais SPI1 indeksas ekstremalią sausrą fiksuoja birželį ir liepą,

atitinkamai, $-2,19$ ir $-2,2$, o rugpjūčio SPI1 jau tik $-0,59$. 1994 m. HTK indeksu ekstremali sausra taip pat fiksuota liepą ir rugpjūtį, o SPI1 indekso reikšmės šiais mėnesiais, atitinkamai, buvo $-2,66$ ir $-0,35$. Taigi, kaip matome iš pateikto pavyzdžio, SPI1 negali visiškai tiksliai identifikuoti ekstremalios sausras, nustatytos HTK, jei ši, ekstremali sausra, prasideda ne nuo mėnesio pradžios, o nuo mėnesio vidurio.



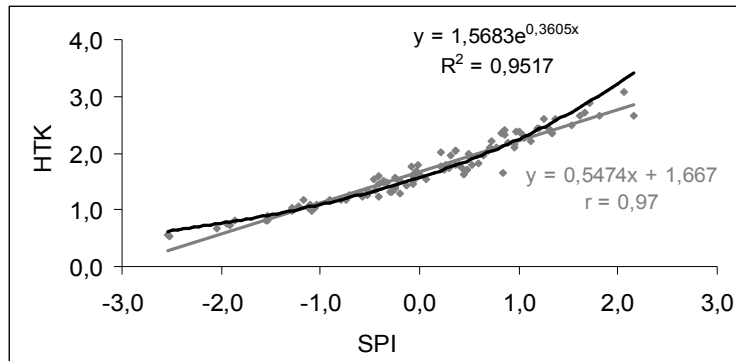
4.52 pav. HTK ir SPI1 reikšmių ryšys 1891–2010 m. vasaros mėnesiais Vilniuje.

Pagal HTK, per analizuojamąjį laikotarpį (t. y. 1891–2010 m.), identifikuotos 3 vasaros, kai bendras trijų mėnesių laikotarpio HTK koeficientas buvo $<0,7$, o tai, anot G. T. Selianinovo ir S. Sapožnikovo, yra labai sausa vasara (Čirikov, 1988). SPI3 indeksu taip pat identifikuotos 3 vasaros, kai SPI3 rugpjūčio mėnesį $<-2,0$, t. y. registruotos ekstremalios sausras. Tiek HTK, tiek SPI3 indeksais buvo identifikuotos tos pačios trys, 1914, 1964 ir 1992 m. ekstremaliai sausras, vasaros.

Visos vasaros (trijų mėnesių periodo) HTK ir rugpjūčio mėnesio SPI3 labai glaudžiai koreliuoja tarpusavyje. Tiesinės koreliacijos koeficientas siekia $0,97$, o eksponentinės koreliacijos koeficientas $0,95$ (4.53 pav.).

Vertinat visos vasaros sausumo sąlygas, remiantis ryšio grafiku, pagal tiesinę priklausomybę $SPI \leq -2$, turėtų atitikti $0,57$ HTK, o $SPI -1,5$ turėtų atitikti $0,85$ HTK (4.53 pav.). Tačiau šiuo atveju, esant ekstremaliai žemoms SPI reikšmėms, HTK reikšmei suteikiama per maža vertė. Todėl ryšys tarp indekso verčių turėtų būti vertinamas pagal eksponentinę priklausomybę, kaip

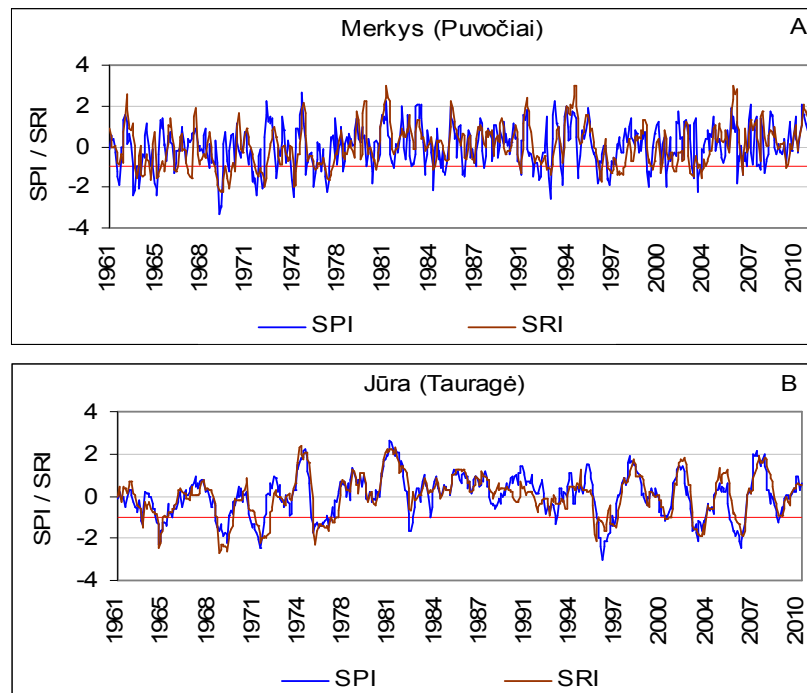
ir SPI1 bei vieno mėnesio HTK atveju. Remiantis eksponentine priklausomybe $SPI \leq -2$, turėtų atitikti 0,76 HTK, o $SPI = -1,5$ turėtų atitikti 0,91 HTK.



4.53 pav. Visos vasaros HTK ir SPI3 rugpjūčio mėnesio reikšmių ryšys 1891–2010 m. Vilniuje.

4.5.2. SPI ir SRI reikšmių palyginimas

Tarpusavyje palyginus SPI ir SRI indeksų reikšmes, nustatyta, kad abiejų indeksų reikšmių kaitos dinamika 1961–2010 m. gana sinchroniška (4.54 pav.).

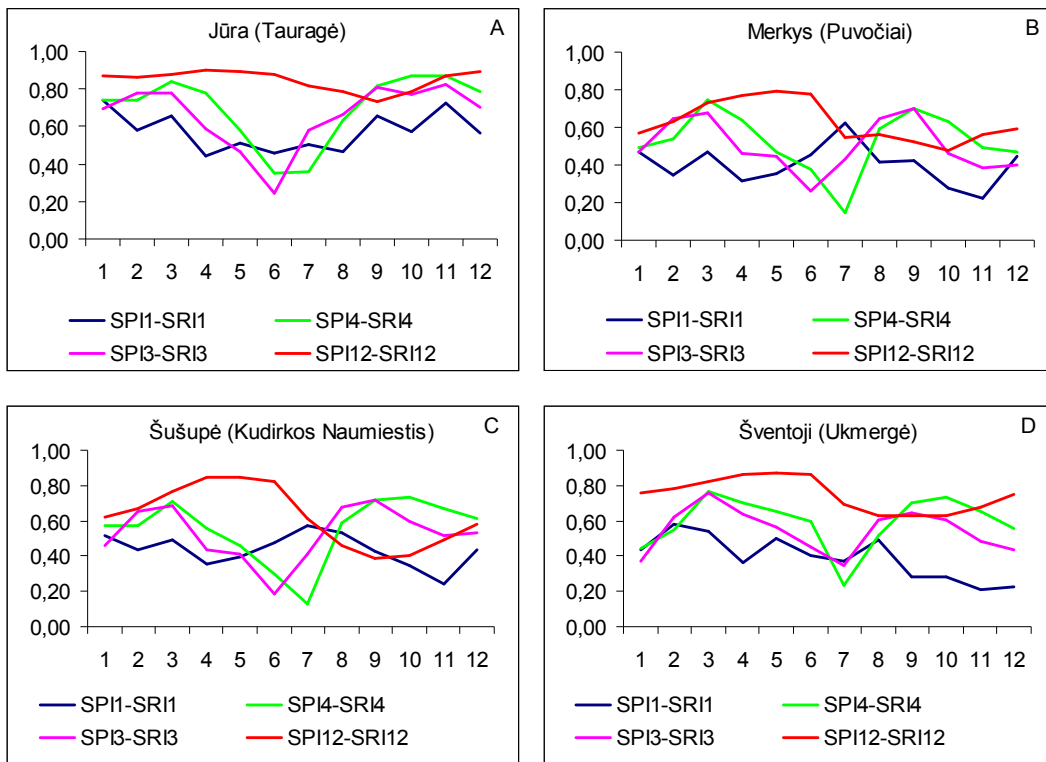


4.54 pav. SPI ir SRI reikšmių kaita pagal 3 mėnesių (A) ir 12 mėnesių (B) laiko žingsnius 1961-2010 m. laikotarpiu Lietuvoje.

Analizuojant ir lyginant abiejų indeksų kaitos dinamiką, išryškėja tendencija, jog SPI (visais laiko žingsniais) dažniau registruojamos ekstremaliai mažos (<-3) indekso reikšmės, o SRI (visais laiko žingsniais) ekstremaliai didelės (>3) indekso reikšmės. Kuo mažesnio laiko žingsnio SPI ar SRI indeksu analizuojama sausra, tuo ši tendencija ryškesnė.

Iš dalies tai galima paaiškinti tuo, jog upių debito skirstiniai pasižymi didesne teigiama asimetrija nei kritulių. Kuo mažesnis laiko žingsnis (mažesnis laikotarpis), tuo labiau kritulių kiekis ar upės debitas gali nukrypti nuo daugiamečio vidurkio.

Analizuojant koreliacijos koeficientus tarp tų pačių mėnesių SPI ir SRI indeksų verčių įvairiuose laiko žingsniuose (4.55 pav.), nustatyta, kad koreliacija labai priklauso nuo pasirinkto laiko žingsnio ir analizuojamo mėnesio.



4.55 pav. Koreliacijos koeficientai tarp SPI ir SRI reikšmių 1961-2010 m. Jūroje ties Taurage (A), Merkyje ties Puvočiais (B), Šešupėje ties Kudirkos Naumiesčiu (C), Šventojoje ties Ukmerge (D).

Silpniausias koreliacinis ryšys būna tais mėnesiais (išskyrus SPI12–SRI12), kuomet analizuojamo laikotarpio SRI reikšmę lemia pavasarinis potvynis. Stipriausia koreliacija tarp SPI12–SRI12 indekso reikšmių nustatyta balandžio, gegužės, birželio mėnesiais.

Koreliacijos koeficiento dydžiui tarp SPI ir SRI indeksų reikšmių įtakos turi ir upės maitinimo pobūdis. Pavyzdžiui, daugiausia krituliais maitinamoje Jūroje koreliacijos koeficientas yra didesnis nei gausiai požeminiu vandeniu maitinamame Merkyje (4.55 pav.). Taip yra dėl to, jog upėse, kurios gausiai maitinamos požeminiu vandeniu, kritulių kiekio deficitas ne iš karto, o su tam tikru vėlavimu transformuojasi į sumažėjusį nuotėkį.

Buvo tiriama, kiek hidrologinių sausrų, kurios buvo identifikuotos SRI indeksu ($SRI \leq -1$) tą patį mėnesį buvo identifikuotos ir SPI indeksu ($SPI \leq -1$).

1 mėnesio laiko žingsnis (SPI1 ir SRI1).

Vasaros mėnesiais sausrų skaičius, registruotas SPI1 ir SRI1 indeksais, gana panašus (4.23 lentelė). Didžiausias skirtumas nustatytas liepos mėnesį Jūroje ir Šešupėje, kuomet meteorologinių sausrų registruota kur kas daugiau nei hidrologinių.

Sausros, abiem indeksais vienu metu identifikuotos tik vidutiniškai 1 atveju iš 3. Didžiausias sutapimas nustatytas Jūroje, o mažiausias Šventojoje (4.23 lentelė). Pavyzdžiui, 1961–2010 m. laikotarpiu birželio mėnesį nė vienu atveju, hidrologinės sausras Šventojoje nebuvo identifikuotas SPI. Kai kuriais atvejais visos hidrologinės sausras identifikuojamos ir SPI indeksu. Pavyzdžiui, liepos mėnesiais Jūroje ties Taurage, SRI1 buvo identifikuotos 3 hidrologinės sausras. Visos šios hidrologinės sausras buvo identifikuotos ir SPI1. Tačiau, analizuojamu 1961–2010 m. laikotarpiu, SPI1 indeksu liepos mėnesiais buvo nustatytos dar penkios sausras, kurių SRI1 indeksas neidentifikavo (4.23 lentelė).

Pagrindinė priežastis, dėl kurios tik dalis sausrų, identifikuotų SRI1, tą patį mėnesį identifikuojama ir SPI1, yra ta, jog konkretaus mėnesio upės nuotėkis yra labai priklausomas nuo prieš tai buvusio mėnesio nuotėkio. Tuo tarpu ryšio tarp dviejų gretimų mėnesių kritulių kiekio nėra.

3 mėnesių laiko žingsnis (SPI3 ir SRI3). Gegužės–liepos ir rugpjūčio–spalio periodais sausrų, identifikuotų SPI3 ir SRI3 indeksais skaičius gana panašus (4.23 lentelė). Sausros abiem indeksais vienu metu dažniausiai identifikuotos Šventojoje rugpjūčio–spalio periodu, o rečiausiai Šešupėje gegužės–liepos periodu. Nustatyta, kad rugpjūčio–spalio periodu dažniau sausras abiem indeksais identifikuotos Jūroje, Šešupėje ir Šventojoje, o gegužės–liepos periodu – Merkyje (4.23 lentelė).

4 mėnesių laiko žingsnis (SPI4 ir SRI4). Birželio–rugsėjo periodu Jūroje, Šešupėje ir Šventojoje sausrų registruotų SPI4 buvo daugiau nei sausrų registruotu SRI4. Didžiausias sutapimas nustatyta Jūroje, o mažiausias Šešupėje (4.23 lentelė).

12 mėnesių laiko žingsnis (SPI12 ir SRI12). SPI12 ir SRI12 indeksais rugsėjo mėnesį Jūroje, Merkyje ir Šešupėje identifikuotų sausrų skaičius labai panašus. Tik Šventojoje ties Ukmerge SRI12 sausrų identifikuota net trečdaliu daugiau nei SPI12 (4.23 lentelė). Didžiausias sutapimas, kai per hidrologinius metus (spalio 1 d.– rugsėjo 30 d.) sausras buvo identifikuotos ir SRI12 ir SPI12 indeksais nustatytas Jūroje (net 7 atvejai iš aštuonių), o mažiausias Šešupėje (4.23 lentelė). Galima teigti, jog didėjant laiko žingsniui sutapimų skaičius taip pat didėja. Tai yra lengvai paaiškinama tuo, jog didelio laiko žingsnio SRI svyravimai yra žymiai glaudžiau susiję su ilgalaikiais kritulių režimo pokyčiais.

4.23 lentelė. Mėnesių skaičius, kuomet SPI (A) ir SRI (B) buvo ≤ -1 , bei atvejų skaičius (C), kuomet tą patį mėnesį SPI ir SRI reikšmės buvo ≤ -1 .

	Jūra			Merkyš			Šešupė			Šventoji		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
SPI1-SRI1 (birželis)	10	9	3	4	5	2	9	7	2	7	6	0
SPI1-SRI1 (liepa)	8	3	3	9	9	3	9	5	2	8	9	1
SPI1-SRI1 (rugpjūtis)	5	6	2	8	9	3	6	7	1	9	7	2
SPI3-SRI3 (liepa)	8	7	3	8	9	4	8	8	1	9	7	2
SPI3-SRI3 (spalis)	8	9	4	8	9	2	9	8	2	10	7	4
SPI4-SRI4 (rugsėjis)	10	7	5	9	9	6	8	7	2	10	4	2
SPI12-SRI12 (rugsėjis)	8	8	7	8	9	6	9	8	2	8	12	6

Tačiau, verta atkreipti dėmesį ir į tai, kad lyginant tarpusavyje šiuos indeksus yra lyginamos to paties mėnesio indeksų reikšmės. Tačiau, hidrologinė sausra gali vėluoti (pasireikšti po tam tikro laiko) ir būti jau kaip pasekmė, ilgai besitęsiančios, nors ir nelabai intensyvios, meteorologinės sausras.

Reiktų atkreipti dėmesį ir į tai, kad meteorologijos bei kritulius matuojančių vandens matavimo stočių, tinklas upių baseinuose yra gana retas (3.7 pav.). Šiltuoju metų periodu liūtiniai krituliai gali iškristi (ar neiškristi) labai lokaliai ir turėti įtakos meteorologinės sausras registravimui. Šiuo atveju retas meteorologinių stočių tinklas gali neatspindėti bendro kritulių kiekio, išskrintančio visame upės baseine ir darančio įtaką upės nuotėkiui.

Kadangi, esant meteorologinei sausras hidrologinės sausras pradžia gali pasireikšti su tam tikru vėlavimu, buvo tikrinama, kiek hidrologinių sausras registruota meteorologinių sausras metu (4.24 lentelė). Hidrologinės sausras pradžia laikoma tuomet, kai $SRI \leq -1$. Meteorologinė sausra prasideda tuomet, kai SPI reikšmė nukrinta ≤ -1 ir tęsiasi tol, kol SPI nepakyla >0 .

Nustatyta, kad didesnioji dalis hidrologinių sausras susiformavo meteorologinių sausras metu (4.24 lentelė).

4.24 lentelė. Hidrologinių sausras skaičius (pagal SRI) (A) ir hidrologinių sausras skaičius, registruotas meteorologinių sausras metu (pagal SPI) (B).

	Jūra		Merkys		Šešupė		Šventoji	
	A	B	A	B	A	B	A	B
SPI1-SRI1 (birželis)	9	6	5	3	7	5	6	1
SPI1-SRI1 (liepa)	3	3	9	6	5	4	9	5
SPI1-SRI1 (rugpjūtis)	6	5	9	4	7	4	7	4
SPI3-SRI3 (liepa)	7	4	9	5	8	4	7	2
SPI3-SRI3 (spalis)	9	8	9	5	8	8	7	7
SPI4-SRI4 (rugsėjis)	7	7	9	8	7	6	4	2
SPI12-SRI12 (rugsėjis)	8	7	9	6	8	6	12	10

Kadangi hidrologinė sausra pasireiškia su tam tikru vėlavimu, buvo tikrinama, ar koreliacija tarp analizuojamų SPI ir SRI reikšmių išauga, SRI reikšmės perslenkant į priekį.

Dažniausiai hidrologinių sausrų pradžia, jau esant meteorologinei sausrai, nustatyta SRI3–SPI3 spalio mėnesį ir SRI4–SPI4 rugsėjo mėnesį. Jūroje ir Šešupėje, visais skaičiuojamais laiko žingsniais, hidrologinės sausras meteorologinių sausrų metu registruotos dažniau nei Merkyje ir Šventojoje. Taip yra todėl, kad šiltojo laikotarpio antroje pusėje Jūros ir Šešupės maitinime, lyginant su Merkiu ar Šventąja, didesnę nuotėkio dalį sudaro paviršinis lietaus nuotėkis.

Atliekant pasislinkusių sekų koreliaciją nustatyta, jog koreliacijos koeficientas tarp SPI ir SRI, kai kuriais atvejais, išauga SRI reikšmes perstumiant per 1, 2 ar 3 mėnesius į priekį (4.25 lentelė). Šioje lentelėje pateikiami atvejai, kuomet koreliacijos koeficientas išaugo daugiausiai.

Vieno mėnesio laiko žingsnyje, dėl SRI1 perslinkimo per vieną ar daugiau mėnesių, koreliacijos koeficientas visais vasaros mėnesiais tarp SPI ir SRI1 išauga tik Šventojoje ties Ukmerge, o rugpjūčio mėnesį – Jūroje bei Šešupėje.

Trijų mėnesių laiko žingsnyje perslinktų SRI3 verčių ryšys su SPI3 reikšmėmis išauga ir liepos, ir spalio mėnesiais (išskyrus liepos mėnesį Jūroje).

SPI4–SRI4 koreliacijos koeficientas tarp perslinktų reikšmių išauga Šventojoje ir Šešupėje.

SPI12–SRI12 rugsėjo mėnesį ryšys tarp šių dviejų indekso reikšmių labiausiai išauga SRI12 reikšmes perstumiant per 3 mėnesius į priekį (4.25 lentelė).

Koreliacijos išaugimas tarp SPI ir perslinktų SRI reikšmių parodo, kad į kritulių kiekio deficitą upės nuotėkis sureaguoja tik po kurio laiko.

Tai, kad koreliacija tarp SPI ir perslinktų SRI reikšmių visais mėnesiais išauga tik Šventojoje, yra nulemta ir pakankamai didelio baseino dydžio bei baseino ežeringumo, dėl ko upės nuotėkis į iškritusį kritulių kiekį reaguoja su tam tikru vėlavimu.

4.25 lentelė. Atvejai, kai koreliacijos koeficientas, tarp SPI ir perslinktų SRI reikšmių lyginant su neperslinktomis reikšmėmis (skliausteliuose), išauga.

	Jūra (Tauragė)	Merkys (Puvočiais)	Šešupė (K. Naumiestis)	Šventoji (Ukmergė)
SPI1–SRI1 (birželis) SRI perslinkta per				0,49 (0,40) 1 mėn.
SPI1–SRI1 (liepos) SRI perslinkta per				0,53 (0,37) 1 mėn.
SPI1–SRI1 (rugpjūtis) SRI perslinkta per	0,50 (0,47) 1 mėn.		0,57 (0,54) 1 mėn.	0,55 (0,50) 1 mėn.
SPI3–SRI3 (liepa) SRI perslinkta per		0,51 (0,43) 1 mėn.	0,53 (0,41) 1 mėn.	0,67 (0,35) 1 mėn.
SPI3–SRI3 (spalis) SRI perslinkta per	0,80 (0,77) 1 mėn.	0,76 (0,46) 1 mėn.	0,74 (0,59) 2 mėn.	0,77 (0,61) 1 mėn.
SPI4–SRI4 (rugsėjis) SRI perslinkta per			0,81 (0,72) 1 mėn.	0,79 (0,70) 1 mėn.
SPI12–SRI12 (rugsėjis) SRI perslinkta per	0,85 (0,73) 3 mėn.	0,79 (0,52) 3 mėn.	0,85 (0,39) 3 mėn.	0,86 (0,63) 3 mėn.

4.6. Socioekonominis sausrų poveikis Lietuvoje

Šiame skyrelyje analizuojamas socioekonominės sausrų poveikis žemės ūkiui (1991–2013 m.) bei miškų gaisringumui (1990–2012 m.) Lietuvoje. Taip pat trumpai apžvelgiamas sausrų socioekonominis poveikis vandens ir sausrų transporto infrastruktūrai, rekreacijai bei turizmui, žmonių sveikatai, hidroenergetikai, gyvajai gamtai.

Socioekonominis sausrų poveikis žemės ūkiui. Lietuvoje dažniausiai sausrų (netgi sausrų, kaip reiškinio) samprata, pirmiausiai, siejama su žemės ūkiu. Dėl agrometeorologinės sausrų aktyviosios augalų vegetacijos periodu sumažėja žemės ūkio kultūrų derlingumas. 4.26 lentelėje pateikiamas kai kurių žemės ūkio kultūrų derlingumas 1991–2013 metais, lyginant su 1991–2013 m. vidutine derlingumo reikšme. Nustatyta, jog didžiausi derliaus nuostoliai užfiksuoti tais metais, kada buvo registruojama stichinė sausra: 1992, 1994 ir 2006 metais.

Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos prie AM kasmet leidžiamose „Stichinių hidrometeorologinių reiškinų apžvalgose“ yra punktas – „padaryta žala“, kuriame informuojama apie patirtus nuostolius. 1992 metais žala apibūdinama taip: „nepaprastai dideli nuostoliai, nes vasarą, daugiametės

žolės, kai kuriuose rajonuose, išdžiūvo, smarkiai sumažėjo bulvių, cukrinių runkelių derlius“ (LHMT, 1993). 1994 m. įrašas skelbia, jog „derlius dėl sausros buvo 30 % mažesnis negu įprastai. Javų derlius siekė tik 14 cnt/ha, bulvių 100 cnt/ha, cukrinių runkelių 200 cnt/ha. Išdžiūvo 20–50 % pievų“ (LHMT, 1995).

1992 m. ir 1994 m. buvo registruotos pačios stipriausios šalies masto stichinės agrometeorologinės sausros apėmusios $\geq 2/3$ Lietuvos teritorijos, o 2006 m. stichinė sausra buvo apėmusi $\geq 1/3$ Lietuvos teritorijos.

4.26 lentelė. Žemės ūkio kultūrų derlingumas, 1991–2013 m. (%) lyginant su 1991–2013 m. vidurkiu, Lietuvoje. Metai, kai fiksuotos stichinės sausros apėmusios $\geq 1/3$ Lietuvos teritorijos, paryškinti (Žemės ūkio..., 2013).

Metai	Grūdinės kultūros	Avižos	Vikiai	Cukriniai runkeliai	Rapsai	Bulvės
2013	134	118	132	155	124	110
2012	146	86	54	148	90	126
2011	110	108	90	141	113	115
2010	100	86	85	131	96	96
2009	125	118	99	128	126	105
2008	122	109	100	110	119	109
2007	109	103	104	134	104	81
2006	70	56	48	110	65	59
2005	107	102	101	108	107	89
2004	119	118	87	110	118	95
2003	112	126	112	108	104	114
2002	101	94	92	102	102	114
2001	92	93	84	94	74	76
2000	99	99	99	90	85	121
1999	74	69	64	80	80	104
1998	89	104	91	89	108	100
1997	93	105	122	80	98	112
1996	90	104	129	72	112	121
1995	69	75	110	80	79	95
1994	65	67	111	49	64	70
1993	78	95	94	70	87	108
1992	71	43	44	54	84	70
1991	114	152	176	77	83	105
1990	112	134	138	81	127	103

Šiame darbe neanalizuojamos žiemos sausros bei jų įtaka (taip pat ir socioekonominė) žemės ūkiui, tačiau reiktų atsižvelgti ir į galimą tokių sausrų poveikį. Pavyzdžiui, žiemą, dėl mažo sniego dangos storio ar jos nebuvimo,

užėjus šalčiams, gali iššalti žiemkenčiai. Taip pat kritulių trūkumas žiemą sąlygoja dirvožemio drėgmės deficitą pavasarį, t. y. ankstyvuojų vegetacijos laikotarpiu.

Socioekonominis sausros poveikis miškų gaisringumui. Dėl sausros poveikio padidėja gaisrų skaičius miškuose. Nors miškų gaisrai dažniausi vasarą, jie gali kilti ir pavasarį ar rudenį. Lietuvoje miškų gaisrai prasideda pavasarį ištirpus sniegui ir išdžiuvus pernykštei žolei. Tačiau sąlygos kilti gaisrams nėra palankios, kol miško paklotės sluoksniuose yra pakankamas drėgmės kiekis. Drėgmės trūkumas miško paklotėje atsiranda sausrų metu.

Daugiausiai miškų gaisrų kilo 1992, 2002 ir 2006 m. (4.56 pav.). Tais pačiais metais buvo registruojamos ir stichinės sausros didesnėje Lietuvos dalyje.

1992 metais, užregistruoti 1182 gaisrai. Degė 870 ha, iš jų 300 ha visai sudegė. Daugiausiai gaisrų registruota pietryčių Lietuvoje (LHMT, 1993).

2002 metais, penktos klasės miškų gaisringumas apėmė beveik visą Lietuvos teritoriją. Kilo 1500 gaisrų, išdegė 800 ha miškų. Nuostoliai apie 1 mln. Lt (LHMT, 2003).

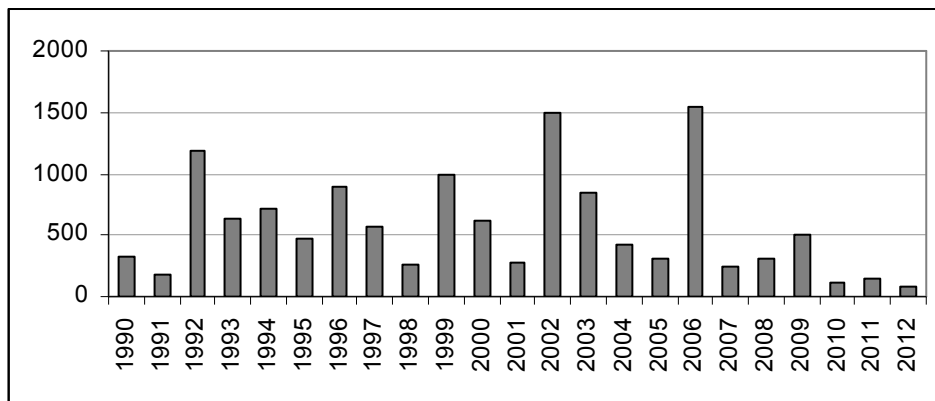
2006 metais užregistruoti 1545 miško gaisrai 1199 ha plote. Gaisrų nuostoliai siekė apie 1,83 mln. litų (LHMT, 2007).

Pagrindinė miškų gaisrų priežastis yra žmonių veiksmai. Remiantis Lietuvos statistikos departamento duomenimis dėl žmonių veiksmų kyla apie 90 % gaisrų miškuose. Vasarą, vyraujant karšties ir sausiems orams, didėja miškų rekreacinė apkrova, todėl išauga ir miškų, pievų bei durpynų gaisrų pavojus.

Todėl, kalbant apie gaisrus miškuose, reikėtų turėti omenyje, jog miškų gaisringumo pavojus išauga dėl sausros įtakos, tačiau didžioji dalis miško gaisrų kyla dėl žmonių veiklos.

Didelė problema Lietuvoje ir durpynų gaisrai. Kasmet kyla dešimtys didesnių ar mažesnių durpynų gaisrų. Daugumas durpynų gaisrų kyla sausros

metu. Durpynų gaisrai yra sunkiai gesinami ir nesuvaldyti gali degti mėnesius, kelis metus ir ilgiau (Nacionalinė rizikos..., 2013).



4.56 pav. Miškų gaisrų skaičius 1990–2012 m. Lietuvoje (Miško gaisrų..., 2014).

Miškų gaisrai daro didelę žalą visai miško ekosistemai. Dėl šių gaisrų padidėja aplinkos oro užterštumas ir sunkiųjų metalų koncentracija Lietuvos upėse (Nacionalinė rizikos..., 2013).

Socioekonominis sausros poveikis vandens transportui.

Socioekonominis sausros poveikis vandens transportui, pirmiausia, siejamas su laivyba upėse, o hidrologinės sausros metu dėl nukritusio vandens lygio upėse gali pasireikšti šios transporto rūšies veiklos sutrikimas.

Lietuvoje yra daugiau nei 22 tūkst. upių ir upelių, kurių bendras ilgis – 76,8 tūkst. km. Dauguma jų yra trumpi, seklūs ir laivybai netinka, ir tik nedidelė dalis pagrindinių šalies upių atitinka laivybai keliamus reikalavimus.

Vidaus vandens keliai sudaro 902,3 km. Iš jų: 821,3 km – valstybinės reikšmės keliai, 48 km – vietinės reikšmės ir 33 km – perspektyviniai keliai. Iš visų vidaus vandens kelių, tik 475,7 km gabenami kroviniai ir keleiviai (Katkevičius ir Baublys, 2008).

Laivybai ir vandens keliams upėse svarbiausias kriterijus yra projektinis vandens lygis, kuris užtikrina saugios laivybos sąlygas upėse. Projektinis vandens lygis – vandens lygis, nustatytas pagal minimalų 95 % tikimybės

paros vidutinį vandens lygį, išmatuotą vandens matavimo stotyse (Lietuvos Respublikos..., 2009).

Siekiant išsiaiškinti, kada upės vandens lygis nukrinta žemiau nei projektinis vandens lygis, buvo analizuojamos dvi didžiausios Lietuvos upės ir jų atkarpos, kuriose vykdoma laivyba: Nemunas ties Druskininkais ir Smalininkais bei Neris ties Vilniumi 1991–2010 m.

Paros vandens lygio kritimas žemiau už nustatytą 95 % tikimybę, dažniausiai buvo registruotas rugpjūčio ir rugsėjo mėnesiais. Taigi didžiausios problemos laivybai kilo šiais mėnesiais. Daugiausiai dienų su vandens lygiu žemesniu už nustatytą projektinį abejose upėse buvo registruota 1992 ir 2002 metų sausrų metu (4.27 lentelė).

4.27 lentelė. Dienų skaičius per mėnesį, kuomet vandens lygis buvo nukritęs žemiau už projektinį vandens lygį.

Upė	Vandens matavimo stotis	Metai	Mėnuo		
			Liepa	Rugpjūtis	Rugsėjis
Neris	Vilnius	1992	1	18	1
		1996			2
		1997		1	
		1999			3
		2002	7	13	14
Nemunas	Druskininkai	1992		19	5
		2002		5	21
Nemunas	Smalininkai	1992		31	7
		2002		20	18

Pavyzdžiui, Nemune ties Smalininkais 1992 m. sausros metu visą rugpjūčio mėnesį vandens lygis buvo žemesnis už nustatytą projektinį vandens lygį, tokia pat situacija registruota ir pirmąją rugsėjo savaitę. Taigi, susidarė 38 dienų periodas, kuomet įprastos sąlygos laivybai buvo sutrikdytos. Panaši situacija tais pačiais metais registruota ir Nemune ties Druskininkais bei Neryje ties Vilniumi.

Sausumos transportas (keliai). Socioekonominis sausros poveikis sausumos keliams gali būti kelių tipų — sausros poveikis asfaltui ir sausros poveikis žvyrkeliams. Remiantis Lietuvos automobilių kelių direkcijos (LAKD)

duomenimis, 2014 m. Lietuvoje buvo 21254,1 km valstybinės reikšmės sausumos kelių, iš kurių žvyrkeliai sudarė 33,4 % (7225 km) sausumos kelių Lietuvoje (Ką turime..., 2014).

Vasarą, sausros metu, dažniausiai oro temperatūra būna aukštesnė už normą, taigi, sausra siejama ne tik su kritulių trūkumu, bet ir karščiais. Dėl karščių kenčia asfalto kokybė, jis perkaista ir gali pradėti lydėtis (jei iškristų krituliai, net ir esant aukštai temperatūrai, asfaltas atvėstų, o tuo metu esantis debesuotumas sumažintų Saulės spinduliuotę). Dėl šios priežasties dienos metu gali būti draudžiamas sunkiasvorių transporto priemonių eismas. Taigi, nuostolių dėl asfalto būklės patiria ne tik kelininkai, bet ir vežėjai.

Didžiausia problema, kurią sausra sukelia žvyrkeliams, yra jų nudulkėjimas. Dėl sausros netenkama apie poros centimetrų žvyrkelių paviršiaus dangos. Smulkios žvyro dangos dalelės išdulka, stambesnes transporto ratai išsvaido į pakeles. Prie kelio briaunos susiformuoja grunto volai, trukdantys nuleisti vandenį. Žvyrkeliai tampa grubūs, atsiranda sunkiai profiliuojamos provėžos (Bazys, 2003).

Dėl žvyrkelių nudulkėjimo prarandama ne tik kelio danga. Dėl nudulkėjimo ir dulkių sklaidos keliuose bei pakelėse kyla kitos problemos: aplinkos užterštumas dulėmis daro neigiamą įtaką aplinkai, eismo saugumui ir žmonių sveikatai bei gyvenimo kokybei (LAKD, 2004).

Dėl sausros miestuose padidėja dulkėtumas, dėl to miestų gatves reikia laistyti, o tai papildomos išlaidos savivaldybėms.

Socioekonominis sausros poveikis kitiems sektoriams. Sausros rekreaciją bei turizmą gali veikti ir šiltuoju, ir šaltuoju metų laikotarpiu. Žiemos metu (jei oro temperatūra neigiama) esant kritulių deficitui nesusidaro pakankamai stora sniego danga, o dėl šios priežasties žmonės praranda galimybę slidinėti ar užsiimti kitomis žiemos sporto šakomis. Šiltuoju metų laiku dėl hidrologinės sausros nusenka vandens lygis, ko pasekoje kai kuriose upėse, nebegalima plaukioti baidarėmis, maudytis ir pan.

Sausros metu išauga sužeidimų, infekcinių ligų protrūkių, psichinės sveikatos sutrikimų, maisto bei saugaus geriamojo vandens trūkumo rizika (SMPLC, 2014).

Dėl sausros poveikio mažesniuose, ypač nepratakiuose vandens telkiniuose, kuriuose vanduo neatsinaujina, vanduo gali tapti užterštas. Dėl vandens patekimo į burną ir jo nurijimo besimaudant išauga užkrečiamų ligų rizika (Centres for..., 2014).

Sausros metu yra palankesnės sąlygos ir *E.coli* bei *Salmonelles* bakterijų plitimui, todėl išauga žmonių sergamumas. Užkrečiamų ligų tikimybė išauga ir žmonėms, kurie buityje naudoja šulinių vandenį (Centres for..., 2014). Kaimiškose vietovėse dėl nusekusių šulinių iškyla aprūpinimo geriamu vandeniu problema.

Sausros neigiamai veikia ir žmones sergančius chroniškais kvėpavimo takų ligomis, pvz. astma. Sausrų metu dažniausiai išauga oro užterštumas, didėja žiedadulkių koncentracija ore, nes mažėja savaiminis atmosferos apsivalymo potencialas (Centres for..., 2014).

Dėl hidrologinių sausrų senka upės, ko pasekoje trikdomas mažųjų hidroelektrinių darbas ir jos nustoja gaminti elektros energiją. Lietuvoje 2006 metų sausros metu iš veikusių 78 hidroelektrinių, dėl per mažo upių vandeningumo vasaros sausros metu, daugelis iš jų neveikė (Sausra įtakoja..., 2006). Šios sausros metu Aplinkos ministerijos regionų aplinkos apsaugos departamentams ir savivaldybėms liepos mėnesio pradžioje buvo pavesta sustiprinti hidroelektrinių kontrolę, siekiant užtikrinti, kad per hidrotechnikos įrenginius būtų praleidžiamas gamtosauginis vandens debitas būtinas upės ekosistemos minimalioms gyvavimo sąlygoms užtikrinti (Sausra įtakoja..., 2006).

Sausros daro didelį neigiamą poveikį ir gyvėjai gamtai. Gyvūnai, paukščiai, vabzdžiai patiria stresą ne tik dėl vandens trūkumo. Dėl sausros kylančiuose miškų ir pievų gaisruose dalis gyvūnijos žūva. Tačiau verta atkreipti dėmesį į tai, jog paukščių populiacijai įtakos gali turėti ir sausros paukščių žiemojimo vietovėse. Pavyzdžiui, Europoje ir Lietuvoje šiuo metu

daug pastangų dedama, siekiant išsaugoti meldinės nendrinukės populiaciją. Tačiau sausra jų žiemavietėse Afrikoje skaudžiai smogė ir taip kritinėje padėtyje atsidūrusiai populiacijai (Meldinės nendrinukės..., 2014).

Sausrų nuostolius yra įprasta vertinti pinigine išraiška. Tačiau, verta pabrėžti, kad sausrų padaryti nuostoliai vienais ar kitais metais, ne visada atspindi realią sausros našta valstybei. Pavyzdžiui, 10 mln. litų 1994 m. ar 2006 m., tai jau yra skirtinga našta valstybei jau vien dėl skirtingo bendrojo vidaus produkto. Todėl, vertinant sausros žalą, vienais ar kitais metais, reikėtų atsižvelgti ir į tų metų BVP. Naudojant tokio pobūdžio informaciją būtų galima gauti objektyvesnę informaciją apie socioekonominį sausros poveikį.

5. Apibendrinimas

Šiame darbe sausrų analizei buvo naudoti trys sausrų identifikavimui skirti indeksai: SPI, HTK ir SRI. Kiekvienas iš jų skirtas tam tikro tipo sausrai identifikuoti: SPI ir HTK – meteorologinei, SRI – hidrologinei. Nors HTK Lietuvoje naudojamas agrometeorologinei sausrai identifikuoti, jis dažniau priskiriamas prie meteorologinių sausrų indeksų. Todėl, buvo apžvelgtos dirvožemio drėgmės panaudojimo agrometeorologinių sausrų identifikavimui galimybės bei atlikti bandomieji skaičiavimai, panaudojant duomenis apie dirvožemio drėgmę dvejose agrometeorologijos stotyse Lietuvoje.

Dėl savo paprastumo ir universalumo, naudojant tinkamą laiko žingsnį, SPI gali būti plačiai naudojamas analizuojant ir vertinant meteorologines sausras ir sausus laikotarpius Lietuvoje. Šis indeksas įvertina kritulių kiekio nuokrypį nuo normos per tam tikrą laikotarpį. Tačiau, daug mokslininkų nurodo, kad tam tikru SPI laiko žingsniu (dažnai su pasislinkimu) galima apibūdinti agrometeorologines bei hidrologines sausras.

Taip pat šis indeksas patogus sudarant sausrų bei sausrų laikotarpių dinamikos prognozes XXI a., nes užtenka turėti mėnesių kritulių kiekio prognozes.

Vienas iš SPI indekso privalumų yra tas, jog jis gali identifikuoti sausras bei sausus laikotarpius ne tik šiltuoju, bet ir šaltuoju metų laikotarpiu.

SPI buvo identifikuotos įvairios trukmės nuo 1 iki 24 mėnesių sausras. Lietuva yra perteklinio drėkinimo zonoje, o ir požeminių vandenų ištekliai pakankamai gausūs. Todėl tos sausras, kurios identifikuojamos SPI12 ar SPI24 indeksais, dažnai praeina nepastebėtos ir didesnės įtakos aplinkai neturi.

Lietuvoje naudojant SPI reiktų daugiausiai dėmesio kreipti į mažus SPI indekso laiko žingsnius, t. y. vertinti nuo 1 iki 6 mėnesių drėkinimo sąlygas. Dideli SPI indekso laiko žingsniai naudingesni apibūdinant bendras klimato kaitos tendencijas.

Analizuojamu 1961–2010 m. laikotarpiu skirtinguose laiko žingsniuose (SPI1, SPI3, SPI24), visuose trijuose išskirtuose Lietuvos regionuose nustatyti

teigiami SPI pokyčiai (klimato drėgnumas stiprėjo). Vasaros metu taip pat nustatytos teigiamos tendencijos. SPI reikšmių augimas nustatytas ir Vilniuje 1891–2010 m., kuris stiprėja, didėjant SPI laiko žingsniui. Nepaisant to, kad klimato drėgnumas Lietuvoje auga, nustatyta, kad mažuose SPI laiko žingsniuose pastarųjų dešimtmečių vasaros mėnesiais sausros fiksuojamos dažniau. Klimato drėgnumo didėjimas nustatytas ir didžiojoje Baltijos jūros regiono dalyje.

Prognozuojama, kad XXI amžiuje tiek Lietuvoje, tiek didžiojoje Baltijos jūros regiono dalyje klimato drėgnumas didės. Tačiau, vasaros laikotarpiu trumpalaikių sausrų susidarymo tikimybė išliks gana aukšta.

HTK Lietuvoje oficialiai naudojamas nustatant agrometeorologines sausras, tačiau šis indeksas negali identifikuoti pavasario ar aktyviosios augalų vegetacijos periodo pradžios sausrų. Tos stichinės sausros, kurios yra identifikuojamos vegetacijos periodo pabaigoje, didesnės įtakos žemės ūkiui nepadaro (tai ypač akivaizdu, kai vegetacijos periodo pabaiga būna vėlyva). Be to į šio indekso skaičiavimus nėra įtraukiami duomenys apie dirvožemio drėgmę. Dėl šių priežasčių HTK indeksas pats vienas, kaip agrometeorologinės sausros indikatorius, Lietuvai nėra labai tinkamas. Kartu su šiuo koeficientu turėtų būti naudojama ir informacija apie dirvožemio drėgmę iš agrometeorologijos stočių tinklo.

Lyginant vienerių metų vasaros laikotarpio kasdienes apskaičiuotas HTK reikšmes su išmatuotomis dirvožemio drėgmės reikšmėmis agrometeorologijos stotyse, nustatyta, jog nemažai dienų, kurios pagal dirvožemio drėgmę išmatuotą 20 cm gylyje apibūdinamos kaip sausros, HTK indeksu apibūdinamos kaip artimos optimaliam drėkinimui. Todėl informacija apie dirvožemio drėgmę turėtų būti naudojama kaip pagrindinė priemonė, identifikuojant agrometeorologines sausras Lietuvoje.

Kaip pagalbinė priemonė kartu gali būti naudojami ir HTK, ir SPI mažuose (1, 2, 3 mėnesių) laiko žingsniuose.

Stichinės sausros pagal HTK dažniau registruotos aktyviosios augalų vegetacijos laikotarpio antroje pusėje. Analizuojamuoju laikotarpiu stichinės

sausros buvo dažnesnės vakarinėje, o retesnės pietrytinėje ir rytinėje Lietuvos dalyse. HTK indeksu nustatyta, kad stichinės sausros per paskutinius du, analizuojamo laikotarpio dešimtmečius ne tik kad padažnėjo, bet ir apėmė kur kas didesnę Lietuvos teritorijos dalį nei anksčiau.

Palyginus vasaros mėnesių SPI ir HTK reikšmes Vilniuje 1891–2010 m. laikotarpiu, nustatyta, kad koreliacija tarp šių dviejų indeksų yra labai stipri.

Nustatyta, kad ekstremaliai sausas mėnuo pagal SPI1 ($SPI \leq -2$) atitinka 0,43 HTK reikšmę. Šiuo metu apibūdinant ekstremaliai sausą mėnesį pagal HTK naudojama 0,50 reikšmė. Kadangi, SPI indeksu apibrėžta ekstremaliai sausa reikšmė turi aiškią matematinę prasmę, reiktų ja ir remtis, t. y. HTK reikšmė nustatant sausras turėtų būti sumažinta iki 0,43.

SRI yra skirtas hidrologinėms sausroms identifikuoti. Lietuvoje jis turėtų būti naudojamas vertinant laikotarpius, kurių metu upės nuotėkio dydis jau nebėra priklausomas nuo pavasarinio potvynio dydžio.

Analizuojant hidrologines sausras 1961–2010 m. laikotarpiu Merkyje (ties Puvočiais), Jūroje (ties Taurage), Šešupėje (ties Kudirkos Naumiesčiu), Šventojoje (ties Ukmerge), visais analizuojamais laikotarpiais nustatyta SRI reikšmių augimo, t.y. nuotėkio didėjimo tendencija.

Nustatyta, kad 1961–2010 m laikotarpiu, pagal analizuojamus skirtingo laiko žingsnio SRI indeksus hidrologinės sausros buvo dažnesnės analizuojamo periodo pirmoje pusėje ir jo pabaigoje.

Tarpusavyje palyginus SPI ir SRI indeksus, nustatyta, kad didesnioji dalis hidrologinių sausrų formuojasi meteorologinių sausrų metu. Apskaičiuota, kad koreliacijos koeficientas tarp SPI ir SRI, kai kuriais atvejais, išauga SRI reikšmes perstumiant per 1, 2 ar 3 mėnesius į priekį. Tai reiškia, kad hidrologinė sausra susiformuoja po tam tikro laiko, t. y. jau esant ar net pasibaigus meteorologinei saurai.

Stipriausių registruotų sausrų metu Lietuvoje (1992, 1994, 2002, 2006 metų) nustatytas ir socioekonominės sausros pasireiškimas: krenta žemės ūkio kultūrų derlingumas, išauga miško gaisrų skaičius, sutrinka laivyba upėse ir kt.

IŠVADOS

1. Sausros sampratą didžiąją dalimi lemia sausrų sukeliama padariniai. Kadangi Lietuvoje sausros daugiausia nuostolių padaro žemės ūkio sektoriui, tai ir sausros samprata siejama su agrometeorologinėmis sausromis. Tačiau stipriausių registruotų sausrų metu Lietuvoje nustatyta, kad sausros daro poveikį daugeliui žmogaus veiklos sričių bei gamtinių sferų. Todėl būtina išplėsti sausros sampratą bei apibrėžimą.

2. Tyrimo metu nustatyta bendra statistiškai reikšminga įvairių laiko žingsnių SPI indekso reikšmių didėjimo tendencija visoje Lietuvos teritorijoje 1961–2010 m. Tokios pat tendencijos nustatytos ir analizuojant 1891–2010 m. laikotarpį Vilniuje. Pokyčiai vasaros laikotarpiu, nors ir teigiami, tačiau nėra statistiškai reikšmingi. Kita vertus, ekstremaliai sausų mėnesių skaičius vasarą pagal SPI1 per paskutinius du analizuojamo laikotarpio dešimtmečius išaugo.

Klimato drėgnumo stiprėjimas nustatytas ir 1961–2010 m. didesnėje Baltijos jūros regiono dalyje. Didžiausi pokyčiai nustatyti dideliuose SPI laiko žingsniuose. Dalis pokyčių yra statistiškai reikšmingi. Klimato drėgnumo mažėjimas fiksuojamas pietinėje Baltijos jūros regiono dalyje.

3. Remiantis CCLM regioninio klimato modelio išvesties duomenimis, prognozuojama, kad Lietuvoje XXI amžiuje SPI1, SPI3, SPI24 reikšmės didės. Didesnėje Lietuvos dalyje šie pokyčiai bus statistiškai reikšmingi tiek pagal A1B, tiek pagal B1 klimato kaitos scenarijus. Vasaros laikotarpiu SPI1 reikšmės pagal A1B klimato kaitos scenarijų visoje Lietuvoje ir pagal B1 scenarijų didesnėje dalyje Lietuvos turėtų mažėti. Tai reiškia, jog ekstremaliai sausų mėnesių skaičius vasarą gali išaugti. Pagal SPI3 visoje Lietuvoje numatomas statistiškai nereikšmingas indekso reikšmių didėjimas pagal A1B klimato kaitos scenarijų ir mažėjimas pagal B1 (pagal šį scenarijų statistiškai reikšmingi pokyčiai numatomi Lietuvos pajūriui). SPI24 reikšmės XXI amžiuje turėtų augti.

Pagal abu klimato kaitos scenarijus prognozuojama, kad beveik visame Baltijos jūros regione sausrų skaičius ir intensyvumas XXI a. mažės, o klimato

drėgnumas ir toliau didės. Tiktai pačiai pietinei regiono daliai prognozuojamas klimato drėgnumo mažėjimas bei sausrų skaičiaus didėjimas.

4. 1961–2010 metų laikotarpiu remianris HTK Lietuvos teritorijai būdingas stichinių sausrų skaičiaus bei jų išplitimo teritorijoje didėjimas vegetacijos laikotarpiu Pačios stipriausios stichinės sausras registruotos per paskutinius du analizuojamo laikotarpio dešimtmečius. Stichinėms sausroms, jų formavimosi bei vyksmo metu, būdingas didelis neigiamas kritulių kiekio nuokrypis (53–88 %) ir, dažniausiai, teigiamas oro temperatūros nuokrypis (vidutiniškai 1,6 °C) nuo 1961–2010 metų vidurkio. Tyrimo rezultatai rodo, kad ekstremalią SPI1 reikšmę (≤ -2) vidutiniškai atitinka 0,43 HTK reikšmė. Todėl pagal SPI1 fiksuojama mažiau sausrų nei pagal HTK.

5. Lietuvoje agrometeorologinėms sausroms identifikuoti naudojamas HTK nėra visiškai tinkamas, kadangi jam apskaičiuoti nenaudojama informacija apie dirvožemio drėgmę, kuri turėtų būti pagrindinis kriterijus identifikuojant agrometeorologinę sausrą. HTK indekso reiktų atsisakyti arba jis galėtų būti naudojamas, kaip papildoma priemonė sausroms išskirti.

6. Analizuojant hidrologines sausras SRI indeksu 1961–2010 m. Merkio, Minijos, Šešupės ir Šventosios baseinuose, nustatyta tiek hidrologinių metų, tiek įvairios trukmės šiltojo metų laikotarpio nuotėkio didėjimo tendencija. Remiantis įvairaus laiko žingsnio SRI indeksais, nustatytų hidrologinių sausrų skaičius buvo didesnis analizuojamo laikotarpio pirmoje pusėje ir jo pabaigoje.

7. Nustatyta, jog koreliacijos koeficientas tarp SPI ir SRI reikšmių kai kuriais atvejais išauga SRI reikšmes perstumiant į priekį. Tai reiškia, kad hidrologinė sausra susiformuoja po tam tikro laiko, t. y. jau esant ar net pasibaigus meteorologinei saurai.

Siejant hidrologinę sausrą su gamtosauginiu debitu nustatyta, jog mažesnio nei gamtosauginio debito atvejai geriausiai identifikuojami – SRI1 indeksu. Geriausiai SRI1 indeksu registruotos sausras su gamtosauginio debito reikšmėmis siejasi šiltojo nuosėkio laikotarpio antroje pusėje.

LITERATŪRA

Adams H. D., Guardiola-Claramonte M., Barron-Gafford G. A., Villegas J. C., Breshears D. D., Zou C. B., Troch P. A., Huxman T. E. (2009). Temperature sensitivity of drought-induced tree mortality portends increased regional die-off under global-change-type drought. (ed. Mooney H. A.). *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 106(17): 7063–7066.

Agnew C. T., Clifford N. J., Haylett S. (2000). Identifying and alleviating low flows in regulated rivers: The case of the Rivers Bulbourne and Gade, Hertfordshire, UK. *Regulated Rivers: Research and Management*, 16: 245-266.

Agnew C., Anderson W. (1992). *Water in the arid realm*. Routledge, London.

Aleksandrov V., Radeva S. (2010). SPI as an indicator of drought in South Bulgaria. *Economics of drought and drought preparedness in a climate change context Zaragoza: CIHEAM/FAO/ICARDA/GDAR/CEIGRAM/MARM*: 113-115. (Options Méditerranéennes: Serie A. Seminaires Méditerranéens; n. 95).

Alley W. M. (1984). The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23: 1100 – 1109.

Alliance for Water Efficiency (2010). *Drought and Drought Response Introduction*. www.allianceforwaterefficiency.org/Drought_Introduction.aspx (paskutinį kartą žiūrėta 2012 10 25).

Al-Qinna M. I., Hammouri N. A., Obeidat M. M., Ahmad F. Y. (2011). Drought analysis in Jordan under current and future climates. *Climatic Change*, 106:421–440.

American Meteorological Society (1997). Meteorological drought – Policy statement. *Bulletin of American Meteorological Society*, 78:847–849.

Anctil F., Larouche W., Viau A. A. (2002). Exploration of the standardized precipitation index with regional analysis. *Canadian Journal of Soil Science*, 82(1): 115–125.

Aplīnikos apsargos agentūra (2010). Lielupēs, Ventos ir Dauguvos upiņu baseiņu rajonu valdymo planu parengimas. *Projektu veiklų rezultatai III dalis*.

Arnell N. W. (1994). Variations over time in European hydrological behaviour: a spatial perspective. *FRIEND (Flow Regimes from International Experimental and Network)*, (Proceeding of the Braunschweig conference, October 1994), 221: 179-184.

Askew A. J., Yeh W. W., Hall W. A. (1971). A comparative study of critical drought simulation. *Water Resources Research*, 7:52–62.

Atlas R., Wolfson N., Terry J., (1993). The effect of SST and soil moisture anomalies on GLA model simulations of the 1998 U.S. summer drought. *Journal of Climate*, 6: 2034–2047.

Avotniece Z., Rodinov V., Lizuma L., Briede A., Klavins M. (2010). Trends in the frequency of extreme climate events in Latvia. *Baltica*, 23 (2), 135–148.

- BACC (2008). *Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Regional Climate Studies*. Bolle H. J., Menenti M., Rasool I. (eds), Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 473 pp.
- Bajgiran P. R., Darviahsefat A. A., Khalili A., Makhdoum M. F. (2008). Using AVHRR-Based Vegetation Indices for Drought Monitoring in the Northwest of Iran. *Journal of Arid Environments*, 72 (6): 1086-1096.
- Barisas A., Minkevičienė O. (1966). Minimalaus nuotėkio statistinių parametru skaičiavimo klausimu. *Geografija ir geologija: Lietuvos TSR aukšt. Mokyklų mokslo darbai*, 4: 39-69.
- Barisas A. (1971). Minimalus Nemuno nuotėkis ties Smalininkais 1812-1920 m. *Geografija ir geologija*, 8: 7-12.
- Barisas A. (1973). Minimalus šiltojo laikotarpio paros nuotėkis Šventosios baseine. *Geografija ir geologija*, 10: 9-15.
- Barisas A. (1979). Minimalus kriogeninis nuotėkis Nemune ir Neryje. *Geografija ir geologija: Lietuvos TSR aukšt. Mokyklų mokslo darbai*, 15: 34-43.
- Barisas A. (1981). Minimalus Nemuno ir Neris nuotėkis. *Geografinis metraštis*, 18: 127-139.
- Bazys J. (2003). Kelių priežiūrai dėmesio nestinga. *Mokslas ir Technika 2003*: 7-8.
- Bazrafshan J., Hejabi S., Nokhandan M. H. (2010). Is the SPI sufficient for monitoring meteorological droughts in extreme costalclimates of Iran? *Advances in Natural and Applied Sciences*, 4 (3): 345-351.
- Beard L. R., Kubik H. K. (1972). Drought severity and water supply dependability. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 98 (3): 433-442.
- Belal A. A., El-Ramady H. R., Mohamed E. S., Saleh A. M. (2014). Drought risk assessment using remote sensing and GIS techniques. *Arabian Journal of Geosciences*, 7 (1): 35-53.
- Beniston M., Stephenson D. B., Christensen O. B., Ferro C. A. T., Frei C., Goyette S., Halsnaes K., Holt T., Jylha K., Koffi B., Palutikoff J., Scholl R., Semmler T., Woth K. (2007). Future extreme events in European climate; an exploration of regional climate model projections. *Climatic Change* 81: 71-95, <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-006-9226-z>, (paskutinį kartą žiūrėta 2014 06 25).
- Beran M. A., Rodier J. A. (1985). Hydrological aspects of drought: a contribution to the International Hydrological Programme. Unesco, WMO.
- Byun H R., Lee K., D., Jong (1992). A study on the atmospheric circulation during the dry period before the Changma. Part I: Existence and characteristics. *Journal of the Korean Meteorological Society*, 28: 72-85.
- Byun H. R., (1996). On the atmospheric circulation associated with Korean drought. *Journal of the Korean Meteorological Society*. 32: 455-469.
- Byun H. R., Wilhite D. A. (1999). Objective Quantification of Drought Severity and Duration. *Journal of Climate*. 12: 2747-2756.
- Blasing T. J., Duvick D. (1984). Reconstruction of precipitation history in the North American cornbelt using tree rings. *Nature*, 307:143-145.

- Bonaccorso B., Cancelliere A., Rossi B. (2003). An analytical formulation of return period of drought severity. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 17: 157-174.
- Bordi I., Frigio S., Speranza A., Sufera A. (2001). The analysis of the Standard Precipitation Index in the Mediterranean area: regional patterns. *Annali di geofisica*, 44: 5-6.
- Bordi I., Sutera A., (2012). Drought assessment in a changing climate. *Climate variability – some aspects, challenges and prospects*. A. Hannachi (Ed.), In Tech, 123–140.
- Borg D. S. (2009). An application of drought indices in Malta, Case study. *European Water*, 25-26: 25-38.
- Breshears D. D., Cobb N. S., Rich P. M., Price K. P. et al. (2005). Regional vegetation die-off in response to globalchange-type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 102 (42): 15144–15148.
- Briede A., Lizuma L. (2010). Analysis of high temperature extremes and climatological drought long-term tendencies in Latvia. *EMS Annual Meeting Abstracts 7*, EMS 2010-370: 13–17 September 2010, Zürich, Switzerland.
- Bryant E. A. (1991). Natural Hazard. *Cambridge University Press*, Cambridge, UK.
- Buitkuvienė M. S. (1999) Sausros Lietuvoje – klimato kitimo rodiklis? *Mokslas ir gyvenimas* 10.
- Bukantis A., Rimkus E. (1996). Lietuvos agroklimatinių resursų dinamika ir prognozės. *Geografija*, 32: 22-26.
- Bureau of Meteorology (2012). *Living with Drought*. www.bom.gov.au/climate/drought/livedrought.html. (paskutinį kartą žiūrėta 2013 02 21).
- Burroughs W. J. (2001). *Climate Change: A Multidisciplinary Approach*. Cambridge University Press:Cambridge, UK.
- Bussay A. M., Szinell C., Hayes M., Svoboda M. (1998). Monitoring drought in Hungary using the standardized precipitation index. *Annales Geophysicae*. Supplement 11 (16), the Abstract Book of 23rd EGS General Assembly, C450. April 1998, Nice; France.
- Cai W., Cowan T. (2008). Evidence of impacts from rising temperature on inflows to the Murray-Darling basin. *Geophysical Research Letters*, 35 (7).
- Ceglar A., Crepinsek Z., Kajfez-Bogataj L. (2008). Analysis of meteorological drought in Slovenia with two drought indices. *BALWOIS 2008, Ohrid, Republic of Macedonia, 27–31 May 2008*.
- Centres for disease control and Prevention (2014). Drought and Health, <http://www.cdc.gov/nceh/drought/default.htm> (paskutinį kartą žiūrėta 2014 09 27).
- Chang T. J. (1990). Effects of droughts on streamflow characteristics. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 116 (3):332–341.

Chbouki N. (1992). Spatio-temporal characteristics of drought as inferred from tree-ring data in Morocco. *PhD thesis, University of Arizona, Tucson*. http://arizona.openrepository.com/arizona/bitstream/10150/185851/1/azu_td_9229846_sip1_m.pdf (paskutinį kartą žiūrėta 2014 09 30).

Chiew F. H. S., Piechota T. C., Dracup J. A., McMahon T. A. (1998). El Nino/Southern Oscillation and Australian rainfall, streamflow and drought: Links and potential for forecasting. *Journal of Hydrology*, 204:138-149.

Chopra P. (2006). Drought risk assessment using remote sensing and GIS, A case study in Gujarat, *Master Science Thesis, Department of Geo-information Science and Earth Observation, ITC, Netherlands*. www.itc.nl/library/papers_2006/msc/iirs/chopra.pdf (žiūrėta 2012 04 14).

Chortaria C., Karavitis C. A., Alexandris S. (2010). Development of the SPI drought index for Greece using geo-statistical methods. *International Conference BALWOIS 2010, Ohrid, Macedonia, 25–29 May 2010*.

Christensen O. B., Christensen J. H. (2004). Intensification of extreme European summer precipitation in a warmer climate. *Global and Planetary Change*, 44 (1–4): 107–117.

Christensen N. S., Wood A. W., Voisin N. J., Lettenmaier D. P., Palmer R. N. (2004). The effects of climate change on the hydrology and water resources of the Colorado River Basin. *Climatic Change*, 62 (1): 337–363.

Christensen N., Lettenmaier D. P. (2006). A multimodel ensemble approach to assessment of climate change impacts on the hydrology and water resources of the Colorado River basin. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 3: 1–44.

Chu P. S., Nash A. J., Porter F. U. (1993). Diagnostic studies of two contrasting episodes in Hawaii: Dry 1981 and wet 1982. *Journal of Climate*, 6: 1457–1462.

Ciais P., Reichstein M., Viovy N., Granier A. et al. (2005). Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, 437: 529–533.

Cirkov J. I. (1988). *Osnovy agometeorologii*. Leningrad, Gidrometeoizdat. Cook E. R., Jacoby G. C. (1977). Tree-ring drought relationships in the Hudson Valley. *Science*, 198:399–401.

Cleaveland M. K., Stahle D. W. (1996). Tree-ring reconstruction of climate extremes using discriminant function analysis. *In: 13th Conference Probability Statistics Atmospheric Sciences. American Meteorological Society, San Francisco*: 33–36.

Cook E. R., Kahlack M. A., Jacoby, G. C. (1988). The 1986 drought in the southeastern United States - how rare an event was it? *Journal of Geophysical Research* 93 (D11): 14257-14260.

Cook E. R., Stahle D. W., Cleaveland M. K. (1992). Dendroclimatic Evidence from Eastern North America, *Climate Since 1500* (eds. Bradley R. S., and Jones, P. D), Routledge, London, :331–348.

Cook E. R., Meko D. M., Stahle D. W., Cleaveland M. K., (1996). Tree-ring reconstructions of past drought across the coterminous United States: Tests of a regression method and calibration/verification results. *Tree rings*,

environment and humanity (ed. Dean J. S., Meko D. M., Swetnam T. W.). Tucson, Arizona, USA, Radiocarbon: 155-169.

Cook E. R., Seager R., Cane M. A., Stahle D. W. (2007). North American droughts: Reconstructions, causes and consequences. *Earth-Science Reviews*, 81: 93–134.

Costa A. C. (2011). Local patterns and trends of the Standard Precipitation Index in southern Portugal (1940–1999). *Advances in Geosciences*, 30: 11–16.

Coughlan M. J. (1985). Drought in Australia, *Natural disasters in Australia*, Australian Academy of Technological Sciences and Engineering, Parkville: 127-149.

Dai A. (2011). Drought under global warming: A review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. 2: 45-65.

Dankers R., Hiederer R. (2008). *Extreme temperatures and precipitation in Europe: analysis of a high-resolution climate change scenario*. Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability, EUR-23291.

Daugėlienė N., Žekonienė V. (2009). The effect of climate change on the productivity of agrocenoses. *Ekologija*, 55 (1): 20–28.

Demuth S., Stahl K. (eds). (2001). Assessment of regional impact of droughts in Europe. Final report to the European Union ENV-CT97-00553. Institute of Hydrology, University of Freiburg: Freiburg, Germany.

Deneshvar M. R. M., Bagherzadeh A., Khosravi M. (2012). Assessment of drought hazard impact on wheat cultivation using standardized precipitation index in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 6 (11): 4463-4473.

Diršė A. (2001). Žemės ūkio augalų vegetacijos laikotarpių drėgmingumas. *Žemės ūkio mokslai*, 3: 51 – 56.

Diršė A., Trapatauskienė L. (2010). Drėgmingumo kaita augalų vegetacijos metu ir jo vertinimo metodų palyginimas. *Žemės ūkio mokslai*, 17: 9–17.

DMA (2000). Drought / Extreme heat. *Hazard Mitigation Plan*, City of Port Jervis, New York.

Domenikiotis C., Dalezios N. R., Loukas A., Karteris M. (2002). Agreement assessment of NOAA/AVHRR NDVI with Landsat TM NDVI for mapping burned forested areas. *International Journal of Remote Sensing*, 23 (20): 4235 – 4246.

Dovydenko O. V. (2009). Agroklimaticheskie rajonirovanie Belarusi v usloviach izmenenia klimata. www.bsu.by/Cache/pdf/353093.pdf (paskutinį kartą žiūrėta žiūrėta 2011 11 14).

Dracup J. A., Lee K S., Paulson J. E. G. (1980). On the definition of droughts. *Water Resources Research*, 16(2): 297 – 302.

Drysdale R., Zanchetta G., Hellstrom J., Maas R., Fallick A., Pickett M., Cartwright I., Piccini L. (2005). Late Holocene drought responsible for the collapse of Old World civilizations is recorded in an Italian cave flowstone. *Geology*, 34 (2): 101–104.

Du J., Fang J., Xu W., Shi P. (2013). Analysis of dry/wet conditions using the standardized precipitation index and its potential usefulness for drought/flood monitoring in Hunan Province, China. *Stochastic Environmental Research & Risk Assessment*. 27(2): 377-387

Dunkel Z. (2009). Brief surveying and discussing of drought indices used in agricultural meteorology. *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*: 113 (1–2): 23–37.

EAA (2009). Water resources across Europe — confronting water scarcity and drought. *EEA Report No 2/2009*.

Edwards D. C., McKee T. B. (1997). Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Atmospheric Science Paper No. 634, Colorado State University, Fort Collins, USA*.

Encyclopedia of earth sciences (1987). *Climatology, vol. XI*, ed. Oliver J. E, New York.

EurAqua (Network of Europe's leading freshwater research organisations) (2004). Discussion document: *Towards a European Drought Policy*. www.geo.uio.no/edc/downloads/discussion_document.pdf (paskutinį kartą žiūrėta 2013 12 14).

European Commission (2006). Water Scarcity and Drought, First Interim Report. http://ec.europa.eu/environment/water/pdf/1st_report.pdf (paskutinį kartą žiūrėta 2013 12 17).

European Commission (2010). Water Scarcity & Droughts in the European Union. <http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/brochure.pdf> (paskutinį kartą žiūrėta 2013 12 17).

Farat R., Kepinska-Kasprzak M., Kowalczyk P., Mager P. (1998). Droughts in Poland, 1951–1990. *Drought Network News*. 10 (1). www.drought.unl.edu/pubs/dnn/dnnarchive.htm (paskutinį kartą žiūrėta 2013 11 16).

Feyen L., Dankers R. (2009). Impact of global warming on stream- flow drought in Europe, *Journal Geophysical Research: Atmospheres*, 114, (D17).

Field J. O. (2000). Drought, the Famine Process, and the phasing of interventions, *Drought: A global assessment Volume 2*: 273-284 (ed. Wilhite D. A.) Routledge, London.

Fischer E. M., Schar C. (2009). Future changes in daily summer temperature variability: driving processes and role for temperature extremes. *Climate Dynamics* 33: 917–935.

Fleig A. K. (2004). Hydrological drought – a comparative study using daily discharge series from around the world. *Master thesis*, Institute fur Hydrologic, University Freiburg, Germany. www.geo.uio.no/edc/downloads/msc_thesis_fleig.pdf (paskutinį kartą žiūrėta 2014 02 12).

Fleig A. K., Tallaksen L. M., Hisdal H., Demuth S. (2006). A global evaluation of streamflow drought characteristics. *Hydrological Earth System Science*. 10, 535–552.

Forland E., Roald L. A., Tveito O. E., Hanssen-Bauer I. (2000). *Past and future variations in climate and runoff in Norway*. Norwegian Meteorological Institute, Report No. 19/00.

- Frei C., Schar C., Luthi D., Davies H. C. (1998). Heavy precipitation processes in a warmer climate. *Geophysical Research Letters*, 25(9), 1431–1434.
- Gailiusis B., Jablonskis J., Kovalenkoviėnė M. (2001). Lietuvos upės: Hidrografija ir nuotėkis. Kaunas, LEI
- Gailiusis B., Kriaučiūnienė J., Jakimavičius D., Šarauskiėnė D. (2011). The variability of long-term runoff series in the Baltic Sea drainage basin. *Baltica* 24 (1), 45–54.
- Galvonaitė A., Misiūnienė M., Valiukas D., Buitkuvienė M.S. (2007). Lietuvos klimatas, ARX Baltica, Vilnius.
- Gao M., Qin Z., Zhang H., Lu L., Zhou X., Yang X. (2008). Remote sensing of Agro-droughts in Guangdong province of China using MODIS satellite data. *Sensors*, 8: 4687–4708.
- Garen D. C. (1992). Revised Surface-Water Supply Index for western United States. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 119: 437 – 454.
- Gerten D., Haddeland I., Hagemann S., Ludwig F., Wiberg D. (2008). Definition of socioeconomic scenarios for land surface hydrology simulations of the 21st century, *WATCH Technical Rep. 5*.
- Gibons A. (1993). How the Akkadian Empire Was Hung Out to Dry. *Science*, 261 (5124): 985.
- Gibbs W. J. (1975). Drought its definition, delineation and effects. *Special Environmental Report No. 5*. Pub. No. 403, WMO.
- Giddings L., Soto M., Rutherford B. M., Maarouf A. (2005). Standardizes Precipitation Index Zones for Mexico. *Atmosfera*, 18 (1): 33–56.
- Gleick P. (2000). Water: The potential consequences of climate variability and change for the water resources of the United States. *The Report of the Water Sector Assessment Team of the National Assessment of the Potential Consequences of Climate Variability and Change for the U.S. Global Change Research Program*. www.gcrio.org/NationalAssessment/water/water.pdf (paskutinį kartą žiūrėta 2013 11 17).
- Goklany I. M. (2007). Death and death rates due to extreme weather events: global and U.S. trends, 1900–2006. *The Civil Society Report on Climate Change (London: International Policy Press; 2007)*, www.csecc.info/reports/report_23.pdf (paskutinį kartą žiūrėta 2013 10 29).
- Goklany I. M. (2011). Wealth and Safety: The Amazing Decline in Deaths from Extreme Weather in an Era of Global Warming, 1900–2010. Reason Foundation. http://www.csecc.info/reports/report_23.pdf (paskutinį kartą žiūrėta 2013 10 18).
- Goodess C. M., Jones P. D. (2002). Links between circulation and changes in the characteristics of Iberian rainfall. *International Journal of Climatology*, 22: 1593–1615.
- Gouveia C., Trigo R. M., DaCamara C. C. (2009). Drought and vegetation stress monitoring in Portugal using satellite data. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9: 185–195.

Graham L. P., Olsson J., Kjellstrom E., Rosberg J., Hellstrom S. S., Berndtsson R. (2009). Simulating river flow to the Baltic Sea from climate simulations over the past millennium. *Boreal Environment Research*, 14: 173–182.

Gregorič G., Niemeyer S. (2010). Drought Indices in Europe. *International conference BALWOIS 2010, 25 – 29 May, 2010, Ohrid, Republic of Macedonia*, www.wamis.org/agm/meetings/wies09/S54-Gregoric.pdf (paskutinį kartą žiūrėta 2013 10 11).

Grybauskiene V. (2009). Measurement and Estimation of Evapotranspiration for Spruce (*Pice abies*) Seedlings. *Rural development 2009: the fourth international scientific conference, 15-17 October, 2009, Akademija, Kaunas region, Lithuania*. 4 (2): 29-34.

Guerrero M. J., Lajinha T., Abreu I. (2008). Flood analysis with the standardized precipitation index (SPI). *Revista da Faculdade de Ciencia e Tecnologia*. http://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/361/1/artigo%20revista_%20FLOOD%20ANALYSIS.pdf. (paskutinį kartą žiūrėta 2013 12 17).

Gustokashina N. N., Maksutova E. V. (2006). Tendencii izmeneniia zasushlivosti v stepi I lesostepi Predbaikalia. *Geography and Natural Resources*, 4: 76-81

Guttman N. B. (1994). On the sensitivity of sample L moments to sample size. *Journal of Climatology*, 7: 1026–1029.

Guttman, N. B. (1998). Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1): 113-121.

Gutman N. B. (1999). Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm. *American Water Resources Association*, 35: 311-322.

Haug G. H., Gunther D., Peterson L. C., Daniel M., Sigman D. M., Konrad A., Hughen K. A., Aeschlimann B. (2003). Climate and the collapse of Maya civilization. *Science*, 299: 1731–1735.

Hayes M. J., Svoboda M. D., Wilhite D. A., Vanyarkho O. V. (1999). Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80:429-438.

Hayes M. J. (2006). *What is Drought?: Drought indices*. <http://drought.unl.edu/whatis/indices.htm>, National Drought Mitigation Center, (Žiūrėta 2012-12-20).

Hayes M. J., Alvord C., Lowrey J. (2007). Drought indices. *Intermountain West Climate Summary*, 3(6). wwa.colorado.edu/climate/iwcs/archive/IWCS_2007_July.pdf (paskutinį kartą žiūrėta 2013 12 19).

Heim R. Jr. (2002). A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society* 83 (8): 1149–1165.

Herbst P. H., Brendenkemp D. B., Barke H. M. (1966). A technique for evaluation of drought from the rainfall. *Journal of Hydrology*. 4:264–272.

Herweijer C., Seager R., Cook E. R., (2006). North American droughts of the mid to late nineteenth century: History, simulation and implications for Medieval drought. *Holocene*, 16: 159–171.

Hisdal H., Tallaksen L. M. (2000). *Drought event definition*, ARIDE Technical Report No. 6, University of Oslo, Oslo, Norway.

Hisdal H., Stahl K., Tallaksen L. M., Demuth S. (2001). Have streamflow droughts in Europe become more Severe or frequent? *International Journal of Climatology*, 21: 317–333.

Hisdal H., Tallaksen L. M. (2003). Estimation of regional meteorological and hydrological drought characteristics. *Journal of Hydrology*, 281: 230–247.

Hisdal H., Tallaksen L. M., Clausen B., Peters E., Gustard A. (2004). Hydrological Drought Characteristics. *Hydrological Drought: Processes and estimation methods for streamflow and groundwater* (eds Tallaksen L.M, van Lanen H.A.J), Development in Water Science 48. Elsevier Science B.V., Amsterdam, the Netherlands.

Hoerling M. P., Eischeid J. (2006). Past peak water in the Southwest. *Southwest Hydrology*, 6 (1): 18–19.

Horion S., Carrao H., Singleton A., Barbosa P., Vogt J. (2012). JRC experience on the development of Drought Information Systems, *JRC Scientific and Technical Report*.

Hurrell J. W., (1995). Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science*, 269: 676–679.

Hurrell J. W., van Loon H. (1997). Decadal variations in climate associated with the North Atlantic oscillation. *Climatic Change*, 36: 301–326.

Hurrell J. W., Kushnir Y., Ottersen G., Visbeck M., (2003). An overview of the North Atlantic Oscillation. *Geophysical Monograph*, 134: 1-36.

Huschke R. E. (1970). Glossary of Meteorology. American Meteorological Society, Boston.

IPCC (2007). Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change – Fourth assessment report – Summary for policymakers. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA.

Yevjevich V. (1967). An Objective Approach to Definitions and Investigations of Continental Hydrologic Droughts. *Hydrology Papers, Colorado State University*: 23.

Yulianti J. S., Burn D. H. (1998). The Impact of Climate Change on Low Streamflow in the Prairies Region of Canada. *Canadian Water Resources Journal*, 23: 45-60.

Jakimavičiūtė N., Stankūnavičius G. (2008). Analysis of dry spells in Lithuania using different precipitation indices and classification techniques. *Geografija* 44: 50–57.

Januškis V. (1975). Minimalaus nuotėkio pasiskirstymas Merkio baseine. *Geografija ir geologija: Lietuvos TSR aukšt. Mokyklų mokslo darbai*, 11: 7-14.

Januškis V. (1981). Lietuvos upių minimalus nuotėkis šiltuoju laikotarpiu, Vilnius.

Ji L., Peters A. J. (2003). Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices. *Remote Sensing of Environment* 87(1): 85–98.

Joetzjer E., Douville H., Delire C., Ciais P., Decharme B., Tyteca S. (2012). Evaluation of drought indices at interannual to climate change timescales: a case study over the Amazon and Mississippi river basins. *Hydrology & Earth System Sciences Discussions*, 9 (11).

Jones J. A. A. (1999). Climate change and sustainable water resources: Placing the threat of global warming in perspective. *Hydrologica. Science Journal*, 44(4): 541–557.

Joseph E. S. (1970a). Probability distribution of annual droughts. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 96: 461–473.

Joseph E. S. (1970b). Frequency of design droughts. *Water Resources Research*, 6: 1199–1201.

Ką turėtume žinoti apie Lietuvos kelius (2014). LAKD http://www.lakd.lt/files/leidiniai/LAKD_bukletas_2014.pdf (paskutinį kartą žiūrėta 2014 09 27).

Kagon F. N. (2000). Global drought detection and impact assessment from space. *Drought: A Global Assessment* (ed. by. Wilhite D.A): 196–210, Routledge, London.

Karavatis C. A., Alexandris S., Tsesmelis D. E., Athanasopoulos G. (2011). Application of the Standardized Precipitation Index (SPI) in Greece. *Water*, 3: 787:805.

Karl T. R. (1983). Some spatial characteristics of drought duration in the United States. *Journal of climate and Applied Meteorology*. 22:1356–1366.

Karl T. R., Riebsame W. E. (1984). The identification of 10- to 20-year temperature and precipitation fluctuations in the contiguous United States. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23: 950–966.

Karl T. R., Quayle R. G., Groisman P. I. (1993). Detecting climate variations and change: New challenges for observing data management systems. *Journal of. Climate*, 6: 1481–1494.

Katkevičius L., Baublys R. (2008). Vandens kelių, krantinių ir priepalaukų statyba, mokomoji knyga, Kaunas.

Katz W. R., Brown G. (1992). Extreme events in changing climate: Variability is more important than averages. *Climatic Change*, 21: 289–302.

Kaznowska E. (2011). Analysis of low flow characteristics and drought frequency in agricultural catchments. *Prediction and reduction of diffuse pollution, solid Mission and extreme flows from rural areas – case study of small agricultural catchment*, K. Banasik, L. Oygarden, L. Hejduk (eds), SGGW, Warszawa, 27–46.

Keyantash J. A., Dracup J. A. (2002). The quantification of drought: An evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83: 1167–1180.

Keyantash J. A., Dracup J.A. (2004). An aggregate drought index: Assessing drought severity based on fluctuations in the hydrologic cycle and surface water storage. *Water Resources Research*, 40, W09304.

Kelly P. M., Wright P. B. (1978). The European drought of 1975-1976 and its climatic context. *Progress in Physical Geography*, 2 (2):137-160.

Keskin F., Sorman A. U. (2010). Assessment of the dry and wet period severity with hydrometeorological index. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*. 2 (2): 29-39.

Khadr M., Morgenschweis G., Schlenkhoff A. (2009). Analysis of Meteorological Drought in the Ruhr Basin by Using the Standardized Precipitation Index. *Engineering and Technology*, 33: 607-616.

Kilkus K. (1978). Ežeringumo poveikis Lietuvos upių nuotėkiui. Minimalus šiltojo ir šaltojo laikotarpių nuotėkis. *Geografija ir geologija: Lietuvos TSR aukšt. Mokyklų mokslo darbai*, 14: 28-34.

Kilkus K. (1998). Lietuvos vandenų geografija. Vilnius, Apyaušris.

Kilkus K., Stonevičius E. (2011). Lietuvos vandenynų geografija. Vilnius, Vilniaus Universitetas.

Kim D. W., Byun H. R., Choi K. S. (2009). Evaluation, modification and application of the Effective Drought Index to 200-year drought climatology of Seoul, Korea. *Journal of Hydrology*: 378, 1 – 12.

Kjellstrom E., Barring L., Jacob D., Jones R., Lenderink G., Schar C. (2007). Modelling daily temperature extremes: recent climate and future changes over Europe. *Climatic Change*, 81 (S1): 249–265.

Kjellstrom E., Ruosteenoja K. (2007). Present-day and future precipitation in the Baltic Sea region as simulated in a suite of regional climate models. *Climatic Change* 81 (1): 281–291.

Klavins M., Rodinov V., Timukhin A., Kokorite I. (2008). Patterns of river discharge: long-term changes in Latvia and the Baltic region. *Baltica*, 21 (1–2): 41–49.

Klimato kaita. http://www.meteo.lt/klim_kaita.php (paskutinį kartą žiūrėta 2014 09 10).

Klimato žinynas (2000). *Stichiniai meteorologiniai reiškiniai 1961–1995 m.* LHMT, Vilnius.

Knutson C., Hayes M., Phillips T. (1998). *How to Reduce Drought Risk. A Guide Prepared by the Preparedness and Mitigation Working Group of the Western Drought Coordination Council.* National Drought Mitigation Center, Lincoln, Nebraska. <http://drought.unl.edu/portals/0/docs/risk.pdf>. (paskutinį kartą žiūrėta 2012 02 12).

Kogan F. N. (1995). Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar orbiting satellite data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76: 655–668.

Kogan F. N. (1997). Global drought watch from space. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78:621-636.

Kriauciūnienė J., Kovalenkoviėnė M., Meilutytė-Barauskienė D. (2007). Changes of the Low Flow in Lithuanian Rivers. *Environmental Research, Engineering and Management*, 42 (4): 5–12.

Krishnan A. (1979). Definitions of drought and factors relevant to specifications of agricultural and hydrological droughts. *Proceedings of the International Symposium on hydrological aspects of droughts*, vol. I. Indian Institute of Technology, New Delhi: 67–102.

Kumar V., Panu U (1997). Predictive assessment of severity of agricultural droughts based on agro-climatic factors. *Journal Of the American Water Resources Association*, 33:1255–1264.

Kumar M. N., Muthky C. S.; Sai M. V. R. S., Roy P. S. (2009). On the use of Standardized Precipitation Index (SPI) for drought intensity assessment. *Meteorological applications*, 16: 381-389.

Kuusisto E. (2004). Droughts in Finland – past, present and future. *Hydrology Days 2004, March 10-12, 2004, Fort Collins, USA*. http://hydrologydays.colostate.edu/Papers_2004/Kuusisto_Paper.pdf. (paskutinį kartą žiūrėta 2012 12 02).

Labeledzki L. Bak B., (2005). Drought mapping in Poland using SPI. *ICID 21st European Regional Conference 2005 - 15-19 May 2005 - Frankfurt (Oder) and Slubice - Germany and Poland*.

Labeledzki L. (2007). Estimation of local drought frequency in central Poland using the standardized precipitation index SPI. *Irrigation and Drainage*, 56: 67–77.

LKAD (2004). Kelio su žvyro danga dulkejimo mažinimas, *Metodiniai nurodymai*, Vilnius.

Lake P. S. (2008). *Drought, the "creeping disaster": effects on aquatic ecosystems*, Canberra, A.C.T. : Land & Water Australia

Lana X., Serra C., Burgueno A. (2001). Patterns of monthly rainfall storage and excess in terms of standardized precipitation index for Catalonia. *International journal Climatology*, 21: 1669-1691.

Landsberg H. E. (1975). The definition and determination of climate changes, fluctuations and outlooks. *Atmospheric Quality and Climatic Change*, (ed. Kopec R. J.), *Papers of the Second Carolina Geographical Symposium*.

Lasinskas M. (1968). Šešupės aukštupio minimalūs debitai. *Hidrometeorologiniai straipsniai*. 1: 245-255.

Lazauskas S., Semaškienė R., Paplauskienė V. (2005). Azoto trąšų ir fungicidų įtaka salyklinių miežių įvairių veislių grūdų derliui ir stambumui kontrastingomis meteorologinėmis sąlygomis. *Žemdirbystė-Agriculture*. 92 (4):52–65.

Lehner B., Doll P., Alcamo J.; Henrichs T., Kaspar F. (2006). Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: A continental, integrated analysis. *Climatic Change*, 75 (3): 273-299.

Lespinas F, Ludwig W, Heussner S. (2009). Impact of recent climate change on the hydrology of coastal Mediterranean rivers in southern France. *Climatic Change*, 99: 425–456.

Levitskaya N. G., Shatalova O. V., Ivanov A. G. F. (2010). Zasuhi v povolzh'e i ich vliyanie na proizvodstvo zerna. *Agrarni Vestnik Juga-Vostoka*, 3-4 (6-7): 71-74.

LHMT (2013). Selianinovo hidroterminis koeficientas. http://www.meteo.lt/ivair_hidroterminis_koef (paskutinį kartą žiūrėta 2013 0714).

Lietuvos Respublikos civilinės saugos įstatymas (1998). *Valstybės žinios*, 115-3230.

Lietuvos Respublikos Vyriausybė (2005). Dėl Gamtosauginio vandens debito apskaičiavimo tvarkos aprašo patvirtinimo. *Valstybės žinios*, 94-3508.

Lietuvos Respublikos Vyriausybė (2006). Dėl ekstremalių įvykių kriterijų patvirtinimo. *Valstybės žinios*, 29-1004.

Lietuvos Respublikos susisiekimo ministro įsakymas 2009 m. lapkričio 25 d. Nr. 3-600 Dėl vidaus vandenų kelių eksploatavimo taisyklių patvirtinimo

Lietuvos Respublikos Vyriausybė (2011). Dėl ekstremalių įvykių kriterijų patvirtinimo pakeitimo. *Valstybės žinios*, 107-5059.

LHMT (1993) 1992 m. Stichinių hidrometeorologinių reiškinių ie staigių orų pakitimų Lietuvoje apžvalga, Vilnius.

LHMT (1995). 1994 m. Stichinių hidrometeorologinių reiškinių apžvalga, Vilnius.

LHMT (2003). 2002 m. Stichinių meteorologinių reiškinių apžvalga, Vilnius.

LHMT (2007). 2006 m. Stichinių hidrometeorologinių reiškinių apžvalga, Vilnius.

Lillesand T. M., Kiefer R.W. (1994). Remote Sensing and Image Interpretation, 3rd. Ed., John Wiley and Sons, Toronto.

Liu X., Ren L., Yuan F., Yang B., Nanjing P. R. (2009). Meteorological drought Forecasting using Markov Chain model. *11th International Conference on Environmental Science and Information Application Technology*, Chania, Crete, Greece, 23-26.

Liu L., Hong Y., Bednarczyk C. N., Yong B., Shafer M. A., Riley R., Hocker J. E. (2012). Hydro-climatological drought analyses and projections using meteorological and hydrological drought indices: a case study in Blue River basin, Oklahoma. *Water Resource Manage*, 26: 2761–2779.

Lloyd-Hughes B., Saunders M. A. (2002). A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology*, 22: 1571–1592.

Logan K. E., Brunsell N. A., Jones A. R., Feddema J. J. (2010). Assessing spatiotemporal variability of drought in the USA central plains. *Journal of Arid Environments*, 74: 247-255.

Lopez-Moreno J. I., Vicente-Serrano S. M. (2008). Positive and Negative Phases of the Wintertime North Atlantic Oscillation and Drought Occurrence over Europe: A Multi-Temporal- Scale Approach. *Journal of Climate*, 21: 1220-1243.

Lorenzo-Lacruz J., Vicente-Serrano S. M., Lopez-Moreno J. I., Begueria S., Garcia-Ruiz J. M., Cuadrat J. M. (2010). The impact of droughts and water management on various hydrological systems in the headwaters of the Tagus River (central Spain). *Journal of Hydrology*, 386: 13–26.

Magana V., Amador J. A., Medina S. (1999). The Midsummer drought over Mexico and Central America. *Journal of climate*, 12: 1577-1588.

Mager P., Kuznicka M., Kepinska-Kasprzak M., Farat R. (2000). Changes in intensity and frequency of occurrence of droughts in Poland (1891–1995). *Geographia Polonica*, 73: 41–47.

Massarutto A., Musolino D., Pontoni F., de Carli A., Senn L. ir kt. (2013) Analysis of historic events in terms of socio-economic and environmental impacts. *Technical Report No. 9*.

Matulevičienė V., Vološinienė A. (1972). K voprosu ob ispareniji s poverkhnosti snega v uslovijakh Litovskoy SSR. *Geografija ir geologija*. IX: 9–12.

Mauget S. A. (2003). Multidecadal regime shifts in U.S. streamflow, precipitation, and temperature at the end of the twentieth century. *Journal of Climate*, 16 (23): 3905–3916.

McKee T. B., Doesken N. J., Kliest, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, American Meteorological Society, 17–22 January, Anaheim, USA, 179–184.

Meko D. M. (1992). Dendroclimatic evidence from the Great Plains of the United States. *Climate since A. D. 1500* (ed. Bradley R. S., Jones, P. D.), London, Routledge: 312–330.

Meko D. M., Therrell M. D., Baisan C. H., Hughes M. K. (2001). Sacramento River flow reconstructed to A. D. 869 from tree rings. *Journal of the American Water Resources Association*, 37(4): 1029–1040.

Meldinės nendrinukės šiemet žuvo ir dėl sausros žiemavietėse. <http://www.meldine.lt/naujienos/95-meldins-nendrinuks-iemet-uvo-ir-dl-sausros-iemavietse> (paskutinį kartą žiūrėta 2014 10 21).

Mendicino G., Senatore A., Versace P. (2008). A Groundwater Resource Index for drought monitoring and forecasting in a mediterranean climate. *Journal of Hydrology*, 357: 282 – 302.

Mitchell T. D., Jones P. D. (2005). An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *International Journal of Climatology* 25, 693–712.

Min S. K., Kwon W. T., Park E. H., Choi Y. (2003). Spatial and temporal comparisons of droughts over Korea with East Asia. *International Journal of Climatology*, 23(2): 223–233.

Miško gaisrų atvejų skaičius (2014) Oficialios statistikos portalas. www.osp.stat.gov.lt

Mo K. C., Zimmerman J. R., Kalnay E., Kanamitsu M. (1991). A GCM study of the 1988 United States drought. *Monthly Weather Review*, 119: 1512–1532.

Moradi H. R., Rajabi M., Faragzadeh M. (2011). Investigation of meteorological drought characteristics in Fars Province, Iran. *Catena*, 84: 35–46.

Moreira E. E., Paulo A. A., Pereira L. S., Mexia J. T. (2006). Analysis of SPI drought class transitions using loglinear models. *Journal of Hydrology*, 331: 349–359.

Murad H., Islam S. (2011). Drought assessment using remote sensing and GIS in North-West region of Bangladesh. *3rd International Conference on Water and Flood Management (ICWFM)*. www.teacher.buet.ac.bd/akmsaifulislam/publication/ICWFM2011_full_paper_27.pdf (paskutinį kartą žiūrėta 2013 12 17).

Nacionalinė rizikos analizė (2013) http://www.ladina.lt/ziniu-baze/teises-aktai/item/download/54_ac079e59948db905995867113c05fe59 (paskutinį kartą žiūrėta 2014 10 25).

Nafarzadegana A. R., Zadeha M. R., Kherada M., Ahania H., Gharehkhania A., Karampoora M. A., Kousari M. R. (2012). Drought area monitoring during the past three decades in Fars Province, Iran. *Quaternary International*, 250: 27–36.

Namias J. (1991). Spring and summer 1988 drought over the contiguous United States—Causes and prediction. *Journal of Climate*, 4: 54–65.

Nash L. L., Gleick P. H. (1991). The sensitivity of streamflow in the Colorado Basin to climatic changes. *Journal of Hydrology*, 125: 221–241.

National Drought Mitigation Centre (2013). *Types of drought*, <http://drought.unl.edu/DroughtBasics/TypesofDrought.aspx> (paskutinį kartą žiūrėta 2013 12 17).

Nicholls N. (2004). The changing nature of Australian droughts. *Climatic Change*, 63: 323–336.

Niemeyer S. (2008). New drought indices. *Water Management*, 80: 267–274.

Ntale H. K., Gan T. Y. (2003). Drought indices and their application to East Africa. *International Journal of Climatology*, 11: 1335–1357.

Obasi G. O. P. (1994). WMO's Role in the international decade for natural disaster reduction. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 75: 1655–1661.

Ogallo J. L. (1989). *Report to the Tenth Session of CCL by the CCL Rapporteur on Drought and Desertification in Warm Climates*. WMO/TD, No.286.

Oladipo O. (1985). A Comparative performance analysis of three meteorological drought indexes. *International Journal of Climatology*, 5: 655–664.

Palmer W. C. (1965). Meteorological drought. *Paper no. 45*. U. S. Weather Bureau, Washington, DC.

Pauliukevičius H. (2004). Mažos upės nuotėkio ypatybės metais su sausu šiltuoju laikotarpiu. *Geografijos metraštis*, 37(1–2): 8–26.

Paulo A. A., Ferreira E., Coelho C., Pereira L. S. (2005). Drought class transition analysis through Markov and Loglinear models, an approach to early warning. *Agricultural Water Management*, 77: 59–81.

Pempaitė I. (1997). Paros vidutinės oro temperatūros pastovios pereinamosios per 0°C ir 15°C datos bei klimatinių–terminių sezonų trukmė Lietuvos teritorijoje 1961–1990 metais. *Geografijos metraštis*, 30: 154:161.

Pereira L. S. (1990). The role of irrigation in mitigating the effects of drought. *Irrigation and Drainage* (Proc. 14th ICID Congress, Rio de Janeiro), General Report 43.

Perevedencev Yu. P., Sharipova R. B. (2012). Izmenenie osnovnykh klimaticheskikh pokazatelei na teritorii Ulianovskoi oblasti. *Biologija. Nauki o Zemle*. 6 (1): 136-144.

Perevedencev Yu. P., Sharipova R. B., Vazhnova N. A. (2012). Agroklimaticheskie resursy Ulianovskoi oblasti i ich vlianie na urozhainost zernovykh kultur. *Biologija, Nauki o Zemle*, 6 (2): 120-126.

Peters E., Bier G., Van Lanen H. A. J., Torfs P. J. J. F. (2006). Propagation and spatial distribution of drought in a groundwater catchment. *Journal of Hydrology*, 321: 257–275.

Peterson L., Haug G. (2005). Climate and the Collapse of Maya Civilization. *American Scientist*, 93 (4): 322-329.

Piccarreta M., Capolongo D., Boenzi F. (2004). Trend analysis of precipitation and drought in Basilicata from 1923 to 2000 within a southern Italy context. *International Journal of Climatology*. 24: 907–922.

Potop V., Mozny M. (2011). The application a new drought index – standardized precipitation evapotranspiration index in the Czech republic. *Mikroklima a mezoklima Krajinných Struktur a Antropogenních Prostředí Skalní Mlyn*. 2: 2-14.

Prieto-Gonzalez R., Cortes-Hernandez V. E., Montero-Martinez J. (2011). Variability of the standardized precipitation index over Mexico under the A2 climate change scenario. *Atmosfera*, 24 (3): 243:250.

Qian B., Corte-Real J., Xu H. (2000). Is the North Atlantic oscillation the most important atmospheric pattern for precipitation in Europe? *Journal of Geophysical Research*, 105 (D9): 11901–11910.

Quiring S. M., Papakryiakou T. N. (2003). An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 118: 49–62.

Rafiuddin M., Dash B. K., Khanam F. (2011). Diagnosis of Drought in Bangladesh using Standardized Precipitation Index. *International Conference on Environment Science and Engineering IPCBEE*, 8: 12-17.

Raisanen J., Hansson U., Ullerstig A., Doscher R., Graham L. P., Jones C., Meier M., Samuelsson P., Willen U. (2003). *GCM driven simulations of recent and future climate with the Rossby Centre coupled atmosphere – Baltic Sea regional climate model RCAO. SMHI Rep. RMK 101*, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping.

Rhee J., Carbone G. J. (2007). A Comparison of Weekly Monitoring Methods of the Palmer Drought Index. *Journal of Climate*, 20: 6033–6044.

Riebsame W. E., Changnon S. A., Karl T. R., Boulder C. O. (1991). *Drought and Natural Resources Management in the United States: Impacts and Implications of the 1987- 89 Drought*. Westview Press.

Rimkus E., Kažys J., Junevičiūtė J., Stonevičius E. (2007). Lietuvos klimato pokyčių XXI amžiuje prognozė. *Geografija*, 43 (2): 56-64.

Rimkus E., Kažys J., Bukantis A. (2009). Gausių kritulių Lietuvoje prognozė XXI amžiui pagal regioninį CCLM modelį. *Geografija*, 45(2):122-130.

Rimkus E., Kažys J., Bukantis A., Krotovas A. (2011). Temporal variation of extreme precipitation events in Lithuania. *Oceanologia*, 53 (1-TI): 259–277.

Rimkus E., Stonevičius E., Korneev V., Kažys, J., Valiuškevičius G., Pakhomau A. (2013). Dynamics of meteorological and hydrological droughts in the Neman river basin. *Environmental research letters*, 8 (4).

Rodda J. C., Marsh T. J. (2011). *The 1975–76 drought – a contemporary and retrospective review*. Centre for Ecology & Hydrology, UK.

Rodriguez-Iturbe I. (2000). Ecohydrology: a hydrologic perspective of climate-soil-vegetation dynamics. *Water Resource Research*, 36(1): 3-9.

Rossi G. (2003). An integrated approach to drought mitigation in Mediterranean regions. *Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions. Water Science and Technology Library*. 44: 3-18.

Rouault M., Richard Y. (2003). Intensity and Spatial extension of drought in South Africa at different time scales. *Water SA*, 29: 489-500.

Rudenko A. I. (1958). Zasuhi v SSSR. Ih proishozdenija, povtorimost i vlijanija na urozai. *Gidrometeoizdat*.

Samaniego L. E., Kumar R., Zink, M. (2011). Extreme drought events in Germany during the last 60 yrs. *American Geophysical Union, Fall Meeting 2011*, Abstract #H23J-06.

Santos M. A. (1983). Regional droughts: a stochastic characterization. *Journal of Hydrology*,. 66: 183–211.

Santos J. F., Portela M. M. (2011). Regional Frequency Analysis of Droughts in Portugal. *Water Resources Management*, 29 (04).

Sausra (1983) Lietuviškoji tarybinė enciklopedija, 10 tomas.

Sausra (2012) Visuotinė Lietuvos enciklopedija, XXI : Sam–Skl.

Sausra įtakoja hidroelektrinių darbą. <http://aplinkosauga.lt/sausra-itakoja-hidroelektriniu-darba/> (paskutinį kartą žiūrėta 2014 09 14).

Schindler U., Steidl J., Muller L., Eulenstein F., Thiere J. (2007). Drought risk to agricultural land in Northeast and Central Germany. *The Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170: 357–362.

Schubert S. D., Suarez M. J., Pegion P. J., Koster R. D., Bacmeister J. T. (2004). Causes of long-term drought in the U.S. great Plains. *Journal of Climate*, 17: 485–503.

Schmidt-Thome P. (2006). Natural and technological hazards and risks affecting the spatial development of European regions. ESPON project. *Geological Survey of Finland, Special Paper*, 42.

Schneider S. H. (1996). *Encyclopedia of Climate and Weather*. Oxford University Press, New York.

Seager R., Ting M., Held I., Kushnir Y., Lu J., Vecchi G., Huang H-P, Harnik N., Leetmaa A., Lau N-C, Li C., Velez J., Naik N. (2007). Model projections of an imminent transition to a more arid climate in southwestern North America. *Science*, 316: 1181-1184.

Seiler R. A., Hayes M., Bressan L. (2002). Using the standardized precipitation index for flood risk monitoring. *International Journal of Climatology*, 22: 1365-1376.

Seljaninovic G. T. (1928). On agricultural climate valuation. *Proc. Agric. Meteor.*, 20: 165–177.

Sen Z. (1990). Critical drought analysis by second order Markov chain. *Journal of Hydrology*. 120:183–202.

Shafer B. A., Dezman L. E. (1982). Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas (Colorado). *Product of 50th Western Snow Conference*: 164 – 175.

Sharipova R. B., Sabitov M. M. (2011). Agroklimatičeskaja ocenka atmosfernih zasuch i urozhainosti na teritorii GNU UNIICCH. *Agrarni Vestnik Juga-Vostoka*, 8-9(1-2): 70-72. http://www.ariser.narod.ru/files/Westnik_2013.pdf. (paskutinį kartą žiūrėta 2013 01 21).

Sharma A., Dadhwal V. K., Jeganathan C., Tolpekin V. (2009). Drought Monitoring using Standardized Precipitation Index: A case study for the state of Karnataka, India. www.gisdevelopment.net/application/natural_hazards/drought/drought_aditi.htm. (paskutinį kartą žiūrėta 2014-05-22).

Sheffield J., Wood, F. (2007). Characteristics of global and regional drought, 1950–2000: Analysis of soil moisture data from off-line simulation of the terrestrial hydrologic cycle. *Journal of Geophysical Research*, 112 (D17).

Shukla S., A. W. Wood. (2008). Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysical Research Letters*. 35. www.hydro.washington.edu/forecast/monitor/info/Shukla_Wood_SRI_GRL08.pdf (paskutinį kartą žiūrėta 2013 01 21).

Singleton A. (2012). Forecasting drought in Europe with the Standardized Precipitation Index. *JRC Scientific and Technical Reports* <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/111111111/25406> (paskutinį kartą žiūrėta 2013 01 21).

Sirdas S., Sen Z. (2001). Application of the standardized precipitation index SPI to the Marmara region, Turkey. *Integrated water resources management Selected papers from an International Symposium on Integrated Water Resources Management, University of California, Davis, California, USA, April 2000*: 291-296.

Smith D. I., Hutchinson M. F., McArthur R. J. (1993). Australian climatic and agricultural drought: Payments and policy. *Drought Network News*, 5(3): 11–12.

SMPLC (Sveikatos mokymo ir ligų prevencijos centras) (2014). Klimatas ir sveikata, http://smlpc.lt/lt/aplinkos_sveikata/klimatas_ir_sveikata/atsinaujinanti_energija_raktas_i_svaresni_ir_sveikesni_pasauli.html (paskutinį kartą žiūrėta 2013 11 21).

Spasov P., Spasova D., Petrovic P. (2005). Changes in drought occurrences in Serbia. *International Conference of Drought Mitigation and Prevention of Land Desertification*, 21–25 April, 2005, Bled, Slovenia.

Stackevičienė E. (2003). Šilauogių (*Vaccinium*) introdukcinio adaptyvumo analizė. *Botanika*, 5: 97-107.

Stahle D. W., Cleaveland M. K. (1985). A 450-year drought reconstruction for Arkansas, United States. *Nature*, 316: 530-532.

Stahle D. W., Cleaveland M. K. (1988). Texas drought history reconstructed and analyzed from 1698 to 1980. *Journal of Climate*, 1: 59-74.

Starkutė R., Bundinienė O., Zalatorius V. (2010). Ekoplant trąšų ir meteorologinių sąlygų įtaka ekologiškai augintų morkų produktyvumui. *Sodininkystė ir daržininkystė*, 29 (3): 23-34.

Steila D. (1986). Drought. *The Encyclopaedia of Climatology*, J. E. Oliver, Ed., Van Nostrand Reinhold, 386-395.

Steinemann A., Hayes M. J., Cavalcanti L. (2005). Drought Indicators and Triggers. *Drought and Water Crises: Science, Technology, and Management Issues* (ed. Wilhite D. A.) CRC Press.

Steppeler J., Domms G., Schattler U., Bitzer H., W. Gassmann A., Damrath U., Gregoric G. (2003). Mesogamma scale forecasts using the nonhydrostatic modelį LM. *Meteorology and Atmospheric Physics* 82, 75-96. <http://dx.doi.org/10.1007/s00703-001-0592-9> (žiūtėta 2013 01 24).

Stockton C. W., Meko D. M. (1975). A long-term history of drought occurrence in western United States as inferred from tree rings. *Weatherwise*, 28 (6): 245-249.

Stockton C. W., Meko D. M. (1983). Drought recurrence in the Great Plains as reconstructed from long-term tree-ring records. *Journal of Climate and Applied Climatology*, 22 (1): 17-29.

Stonevičius E., Stankūnavičius G., Jalinskas P. (2006). The warm season runoff dependence on the drought index in Lithuania. In *International conference BALWOIS 2006*, 23-26 May, 2006, Ohrid, Republic of Macedonia, 11 pp.

Strashnaya A. I., Maksimenkova T. A., Chub O. V. (2011). Agrometeorologicheskie ocbennosti zasuch 2010 goda Rossii. *Trudi Gidrometcentra Rossiiskoj Federacini* 345: 171-188.

Sud Y. C., Mocko D. M., Lau K., Atlas R. (2003). Simulating the midwestern U.S. drought of 1988 with a GCM. *Journal of Climate*, 16: 3946-3965.

Šulgin A. M. (1978). *Agrometeorologija ir klimatologija*. Leningrad: Gidrometeoizdat.

Szalai S., Szinell Cs., Zoboki J., (2000). Drought Monitoring in Hungary. *Early warning systems for drought preparedness and drought management*, 161-176, WMO, Geneva.

Tadesse T., Wilhite D. A., Harms S. K., Hayes M. J., Goddard S. (2004). Drought Monitoring Using Data Mining Techniques: A Case Study for Nebraska, U.S.A. *Natural Hazards*, 33(1): 137-159.

Tallaksen L. M., Stahl K., Wong G. (2011). Space-time characteristics of large-scale droughts in Europe derived from streamflow observations and WATCH multi-model simulations. *WATCH Project Technical Report No. 48*, 11 pp.

Tallaksen L. M., Stahl K. (2012). Major historical droughts in Europe as simulated by an ensemble of large-scale hydrological models. *Geophysical Research Abstracts 14*, EGU2012-11570.

Tammets T. (2007). Distribution of extreme wet and dry days in Estonia in last 50 years. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 13 (3): 252–259.

Tammets T. (2010). Estimation of extreme wet and dry days through moving totals in precipitation time series and some possibilities for their consideration in agrometeorological studies. *Agronomy Research*, 8 (SI2): 433–438.

Tate E. L., Gustard A. (2000). Drought definition: A hydrological perspective, in Vogt J. V., F. Somma F. (eds), *Drought and Drought Mitigation in Europe*, Kluwer, Dordrecht: 23-48.

Tatli H. (2006). Analysis Mediterranean precipitation associated with the North Atlantic Oscillation Index (NAOI) via Hilbert-Huang Transformation. *International conference BALWOIS 2006*, 23–26 May, 2006, Ohrid, Republic of Macedonia.

The definition of drought (2014). Centre for climate adaptation. <http://www.climateadaptation.eu/lithuania/droughts/> (paskutinį kartą žiūreta 2014 09 21).

The Disaster Handbook (1998). *What is Drought?* National Edition, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.

Thenkabel P. S., Gamage M. S. D. N., Smakhtin V. U. (2004). Use of remote sensing data for drought assessment and monitoring in Southwest Asia. *Research report 85*. International Water Management Institute. Colombo, Sri Lanka.

Thorsteinsson T., Bjornsson H. (2011). *Climate change and energy systems: Impacts, risks and adaptation in the Nordic and Baltic Countries*. Nordic Council of Ministers, 226 pp.

Touchan R., Meko D. M., Hughes, M. K. (1999). A 396-year reconstruction of precipitation in Southern Jordan, *Journal of the American Water Resources Association*, 35(1), 45–55.

Touchan R., Funhouser G., Hugles M., Erkan N. (2005). Standart precipitation index reconstructed from Turkish tree-ring width. *Climate Change*. 72 (3): 339-353.

Trenberth K., Branstator G. W. (1992). Issues in establishing causes of the 1988 drought over North America. *Journal of Climate*, 5: 159–172.

Trenberth K., Guillemot C. J. (1996). Physical processes involved in the 1988 drought and 1993 floods in North America. *Journal of Climate*, 9: 1288–1298.

Trigo R. M., Osborn T. J., Corte-Real J. (2002). The North Atlantic oscillation influence on Europe: climate impacts and associated physical mechanisms. *Climate Research*, 20: 9–17.

Tsiros E., Domenikiotis C., Spiliotopoulos M., Dalezios N. R. (2004.) Use of NOAA/AVHRRbased vegetation condition index (VCI) and temperature condition index (TCI) for drought monitoring in Thessaly, Greece.

EWRA Symposium on Water Resources Management. Izmir, Turkey, 2-4 September 2004, 769-782.

Tucker C. J., Choudhury B. J. (1987). Satellite remote sensing of drought conditions. *Remote Sensing of Environment*, 23: 243-251.

Turkes M., Erlat E. (2003). Precipitation changes and variability in Turkey linked to the North Atlantic Oscillation during the period 1930–2000. *International Journal of Climatology*, 23: 1771–1796.

Turkes M., Erlat E. (2005). Climatological responses of winter precipitation in Turkey to variability of the North Atlantic Oscillation during the period 1930–2001. *Theoretical and Applied Climatology*, 81: 45–69.

Usatov A. V., Ustenko A. A., Gorbachenko F. I., Gorbachenko O. F., Denisenko Lu. V. (2012). *Vlijanija klimaticheskich faktorov na izmenchivost choziaictveno cenych priznakov 50 podsolnechnika v Priazovskoi zone Rostovskoi oblasti*. <http://www.science-education.ru/101-r5505>.

van der Linden P., Mitchell J. F. B. (2009). *Climate change and its impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project*. Met Office Hadley Centre, UK, 160 pp.

van Lanen H. A. J., Peters, E. (2000). Definition, effects and assessment of groundwater droughts. *Drought and Drought Mitigation in Europe* (ed. Vogt J.V., Somma F.): 49-61. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.

van Lanen H. A. J., Tallaksen L. M., Rees G., (2007). *Droughts and climate change*. Commission staff working document – Impact assessment (SEC 993), accompanying document to the communication addressing the challenge of water scarcity and droughts in the European Union, Commission of the European Communities, Brussels, Belgium.

Van Loon A. F., Fendekova M., Hisdal H., Horvat O., van Lanen H. A. J., Machlica A., Oosterwijk J., Tallaksen L. M. (2010). Understanding hydrological winter drought in Europe. *Global Change: Facing Risks and Threats to Water Resources, IAHS*:340.

Vergni L., Todisco F. (2010). Spatio-temporal variability of precipitation, temperature and agricultural drought indices in central Italy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(3): 301–313.

Vicente-Serrano S. M. (2006). Differences in Spatial Patterns of Drought on different Time Scales: An Analysis of The Iberian Peninsula. *Water Resources Management*, 20: 37- 60.

Vicente-Serrano S. M., Begueria S., Lopez-Moreno J. I. (2010). A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index – SPEI. *Journal of Climate*, 23: 1696–1718.

Vicente-Serrano S. M., Lopez-Moreno J. I., Drumond A., Gimeno L., Nieto R., Moran-Tejeda E., Lorenzo-Lacruz J., Begueria S., Zabalza J. (2011). Effects of warming processes on droughts and water resources in the NW Iberian Peninsula (1930–2006). *Climate Research*, 48: 203–212.

Vidal J. (2009). Climate scientists warn of wild weather in the year ahead as El Nino begins. www.theguardian.com/environment/2009/jul/13/el-nino-climate-change. (paskutinį kartą žiūrėta 2014 03 24).

Vladimirov A. M. (1990). *Gidrologičeskie rasčioti*. Leningrad, 365 pp.

Voropay N. N., Maksyutova E. V., Balybina A. S. (2011). Contemporary climatic changes in the Predbaikalie region. *Environmental Research Letters*, 6(4).

Zaitchik B. F., Evans J. P., Geerken R. A., Smith R. B. (2007) Climate and Vegetation in the Middle East: Interannual Variability and Drought Feedbacks. *Journal of Climate*, 20: 3924–3941.

Wagner W., Borgeaud M., Noll J. (1996). Soil moisture mapping with the ERS scatterometer. *Earth Observation Quarterly*, 54: 4-7.

Walter M. T., Wilks D. S., Parlange J. Y., Schneider R. L. (2004). Increasing evapotranspiration from the conterminous United States. *Journal of hydrometeorology*, 5: 405–408.

Wanders N., van Lanen H. A. J, van Loon A. F. (2010) Indicators for drought characterization on a global scale. *Technicaal Report No. 24*.

Wang Y., Woodcock C. E., Buermann W., ir kt. (2004). Evaluation of the MODIS LAI algorithm at a coniferous forest site in Finland. *Remote Sensing of Environment*, 91: 114–127.

Weber L., Nkemdirim L. (1998). Palmer's drought indices revisited. *Geografiska Annaler* (80A): 153 – 172.

Wilhite D. A., Glantz M. H. (1985). Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International*, 10:111-120.

Wilhite D. A., Glantz M. H. (1987). Understanding the drought phenomenon. In: Wilhite D.A., Easterling W. E., Wood D. A. (eds.), *Planning for Drought: Toward a Reduction of Societal Vulnerability*. Westview Press, Boulder, CO: 11–27.

Wilhite D. A. (1993). Drought Assessment, Management, and Planning: Theory and Case Studies. *Natural Resources Management and Policy*, 15 (2).

Wilhite D. A. (2000). Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions (Chapter 1). *Drought: A Global Assessment. Hazards and Disasters: A Series of Definitive Major Works* (ed. Keller A. Z.). Routledge Publishers, London.

Wilhite D. A., Hayes M. J. C., Knutson K. H. (2000) Planning for drought: Moving from crisis to risk management. *Journal of American Water Resources Association*, 36(4): 697–710.

Wilhite D. A., Svoboda M. D., Hayes M. J. (2007). Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness. *Water Resources Management*, 21: 763-774.

Wilhite D. A. (2011). Quantification of Agricultural Drought for Effective Drought Mitigation and Preparedness: Key Issues and Challenges. *Proceedings of an Expert Meeting on Agricultural Drought Indices (Murcia, Spain, June, 2010)*. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

Wilson L., Wilson J., Holden J., Johnstone I., Armstrong A. Morris M. (2010). Recovery of water tables in Welsh blanket bog after drain blocking:

discharge rates, timescales and the influence of local conditions. *Journal of Hydrology*, 391: 377–386.

WMO (2006). Drought monitoring and early warning: concepts, progress and future challenges. *WMO No. 1006*, Geneva.

WMO (2009). Experts agree on a universal drought index to cope with climate risk. *WMO Press Release No. 872, Geneva, 15 December 2009*.

WMO (2012). Standardized Precipitation Index User Guide (Svoboda M., Hayes M., Wood D.), *WMO-No. 1090*, Geneva.

WMO (2014). Atlas of mortality and economic losses from weather, climate and weather extremes (1970-2012), *WMO-No. 1123*, Geneva.

Wu H., Hayes M. J., Weiss A., Hu Q. (2001). An evaluation of the standardized precipitation index, the China-Z index and the statistical Z-score. *International Journal of Climatology*, 21: 745–758.

Wu H., Wilhite D. A. (2004). An operational agricultural drought risk assessment model for Nebraska, USA. *Natural Hazards*, 33(1):1-21.

Wu H., Hayes M. J., Wilhite D. A., Svoboda M. D. (2005). The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation. *International journal of climatology*, 25: 505–520.

Wu H., Svoboda M. D., Hayes M. J., Wilhite D. A., Wen, F. (2007). Appropriate Application of the Standardized Precipitation Index in Arid Locations and Dry Seasons. *International Journal of Climatology*, 27: 65-79.

Zhai J., Su B., Gao C., Jiang T. (2010). Spatial variation and trends in PDSI and SPI indices and their relation to streamflow in 10 large regions of China. *Journal of Climate*. 23: 649–663.

Žeimys G. (1978) Minimalaus nuotėkio prognozė, *Miolioracija ir hidrotechnika: LŽŪA mokslo darbų rinkinys*, 47-48, Kaunas, Noreikiškės.

Žemės ūkio sausrų derlingumas (2014) Oficialios statistikos portalas. www.osp.stat.gov.lt

Žemės ūkio sausras įvertinimo kriterijų pagrindimas ir metodikos Lietuvos klimatinėms sąlygoms parengimas (2013). Žemės ūkio, maisto ūkio ir žuvininkystės mokslinių tyrimų ir taikomosios veiklos programą, *Galutinė ataskaita*, Kaunas-Akademija.

PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS

Mokslo leidiniuose referuojamuose ir turinčiuose citavimo indeksų ISI WOS duomenų bazėje

Kažys J., Stankūnavičius G., Rimkus E., Bukantis A., **Valiukas D.** (2011). Long-range alternation of extreme high day and night temperatures in Lithuania. *Baltica*. 24(2): 71-82.

Rimkus E., **Valiukas D.**, Kažys J., Gečaitė I., Stonevičius E. (2012). Dryness dynamics in the Baltic Sea Region. *Baltica*. 25 (2): 129-142.

Ozolinčius R., Lekevičius E., Stakėnas V., Galvonaitė A., Samas A., **Valiukas D.** (2013). Lithuanian forests and climate change: possible effects on tree species composition. *European Journal of Forest Research*. 133 (1): 51-60.

Rimkus E., Kažys J., **Valiukas D.**, Stankūnavičius G. (2014). The atmospheric circulation patterns during dry periods in Lithuania. *Oceanologia*. 56(2): 223-239.

Kituose referuojamuose mokslo leidiniuose

Valiukas D. (2011). Sausringi laikotarpiai Vilniuje 1891-2010 m. *Geografija* 47(1): 9-18.

Kažys J., **Valiukas D.**, Liutikas D., (2013). Methodology for territorial vulnerability assessment in agriculture in Panevėžys district, Lithuania. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science*. 3/4: 637-644.

Straipsniai kituose recenzuojamuose tarptautiniuose, užsienio ir Lietuvos periodiniuose, testiniuose arba vienkartinuose leidiniuose:

Valiukas, D. (2012). Droughts analysis in Lithuania using SPI and HTC indexes. In: International conference BALWOIS 2012, 28 May – 2 June, 2012, Ohrid, Republic of Macedonia, 9. (https://www.researchgate.net/publication/267245798_Droughts_analysis_in_Lithuania_using_SPI_and_HTC_indexes).

Lekevičius E., Samas A., Galvonaitė A., **Valiukas D.** (2012). Galimas klimato poveikis Lietuvos miškams. *Mokslas Gamtos mokslų fakultete*. 7: 60-70.

Valiukas D. (2014). Lietuvos sausringumo analizė bei prognozė standartizuotu kritulių indeksu (SPI). *Mokslas Gamtos mokslų fakultete*. 8: 144-159.

Rimkus E., Kažys J., **Valiukas D.**, Stankūnavičius G. (2013) Atmospheric circulation during dry periods in Lithuania. *7th study conference on BALTEX : conference proceedings, 10-14 June, 2013, Borgholm*. ISSN 1681-6471 Borgholm, 2013. p. 34-35

PRANEŠIMŲ MOKSLINĖSE KONFERENCIJOSE SĄRAŠAS

Tarptautinės konferencijos:

„BALWOIS 2012“ (Ohridas, Makedonija 2012-05-28 – 2012-06-02);

„International Conference of Ecosystems (ICE) 2013“ (Tirana, Albanija 2013-05-31 – 2013-06-05);

„BALTEX“ (Borgholmas, Švedija 2013-06-10 – 2013-06-14);

„22nd Cartographic school: Geoinformatics and atmospheric science“ (Walbrychas, Lenkija 2014-05-06 – 2014-05-09).

Respublikinės konferencijos:

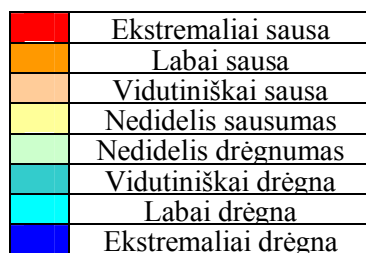
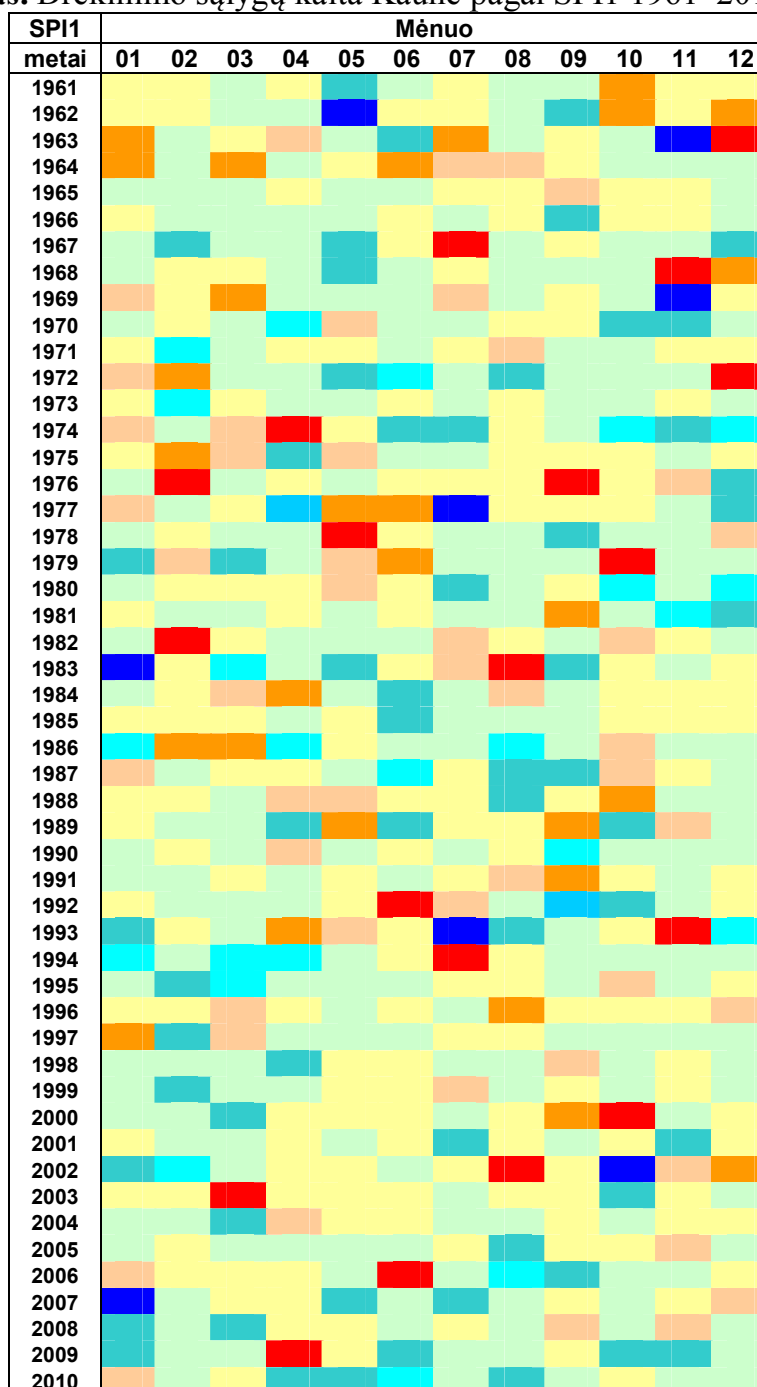
Jaunųjų mokslininkų konferencija „*Bioateitis: gyvybės ir geomokslų perspektyvos*“ (Vilnius, 2010-12-01);

„Mokslas gamtos mokslų fakultete 7“ (Vilnius, 2012-10-05);

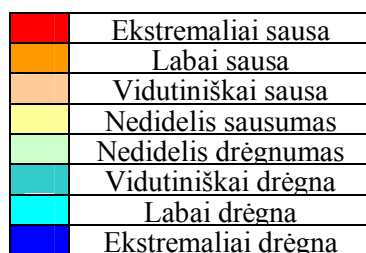
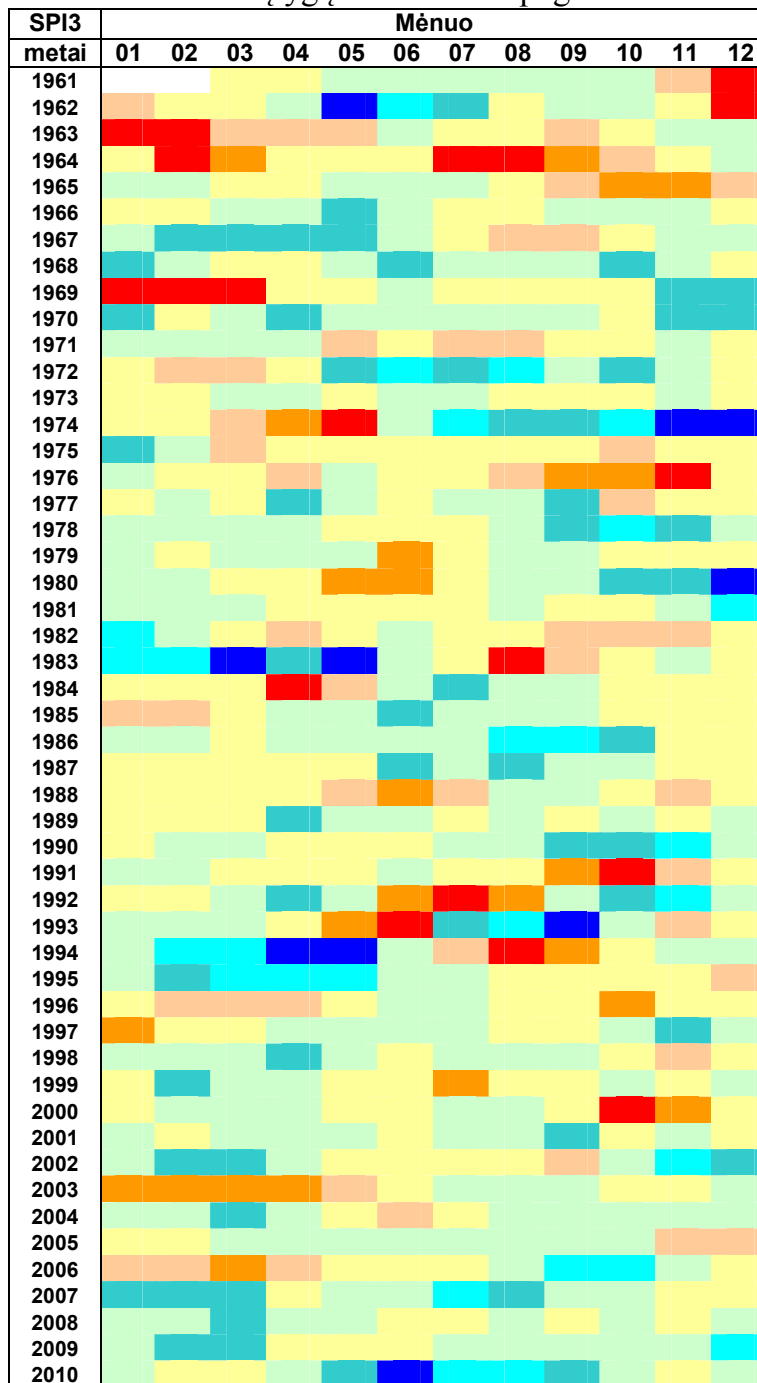
„Mokslas gamtos mokslų fakultete 8“ (Vilnius, 2014-10-03).

PRIEDAI

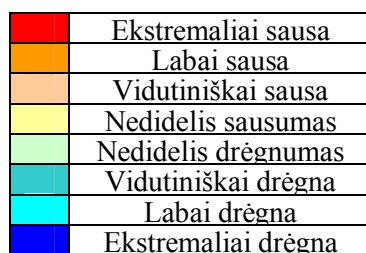
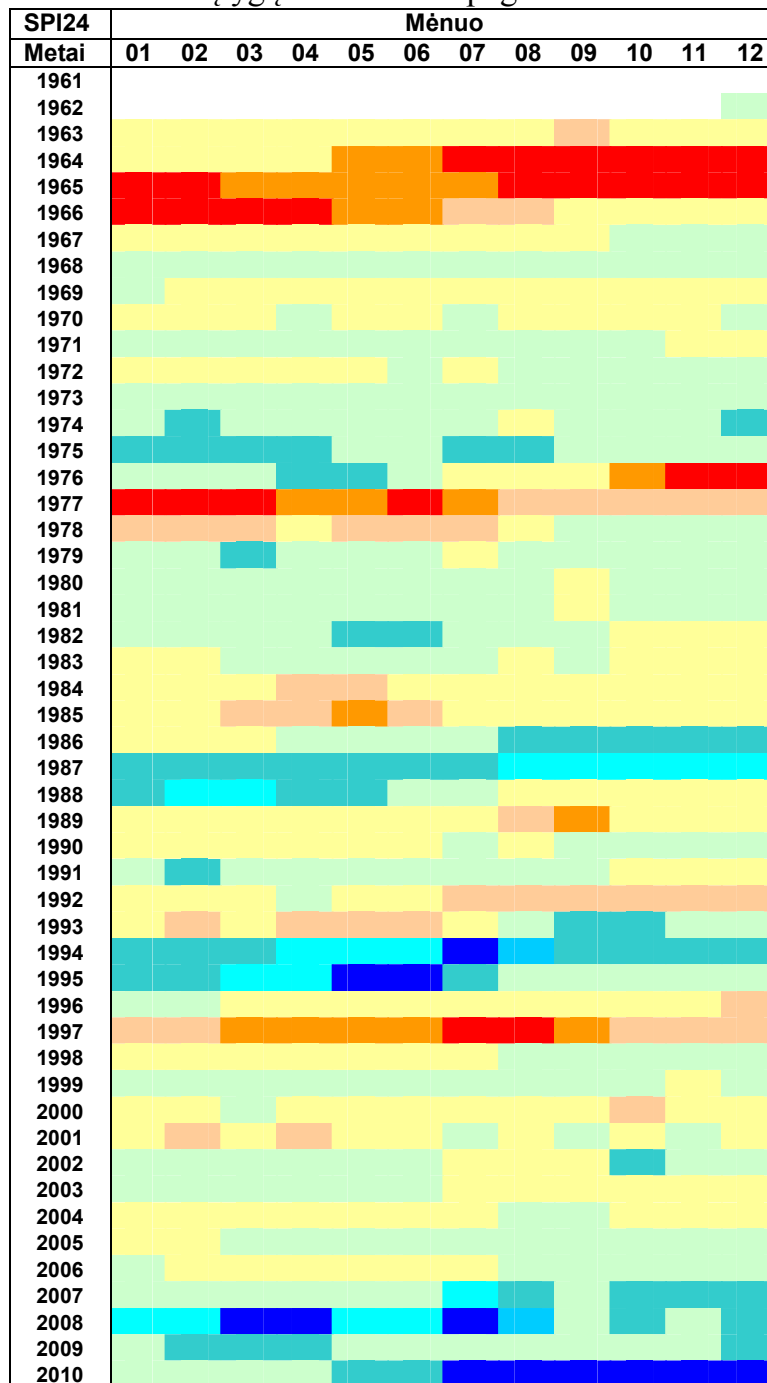
1 priedas. Drėkinimo sąlygų kaita Kaune pagal SPI1 1961–2010 metais.

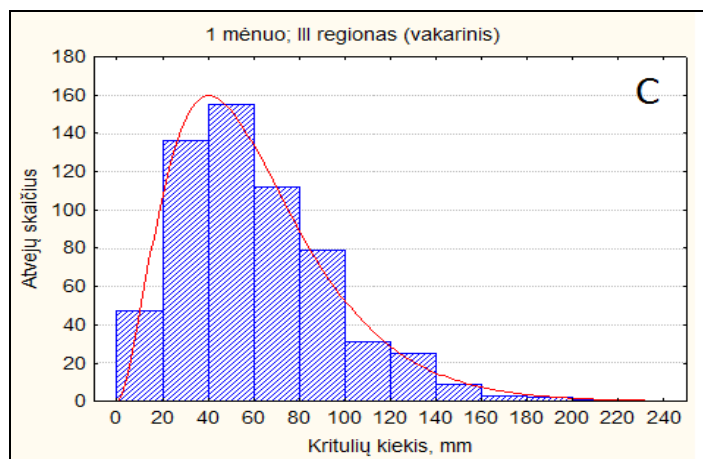
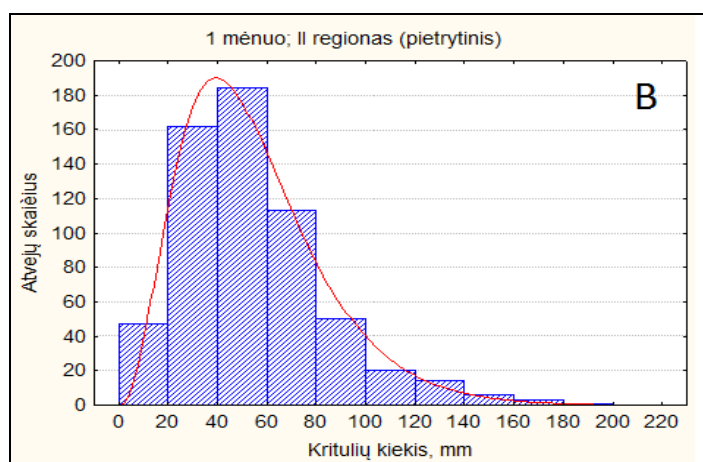
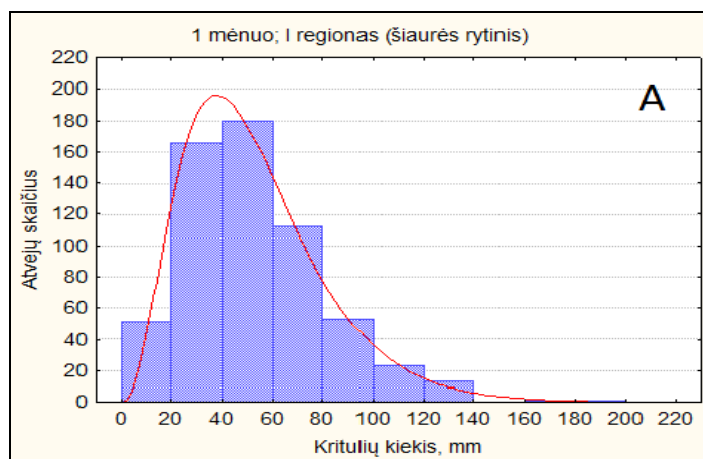


2 priedas. Drėkinimo sąlygų kaita Kaune pagal SPI3 1961–2010.

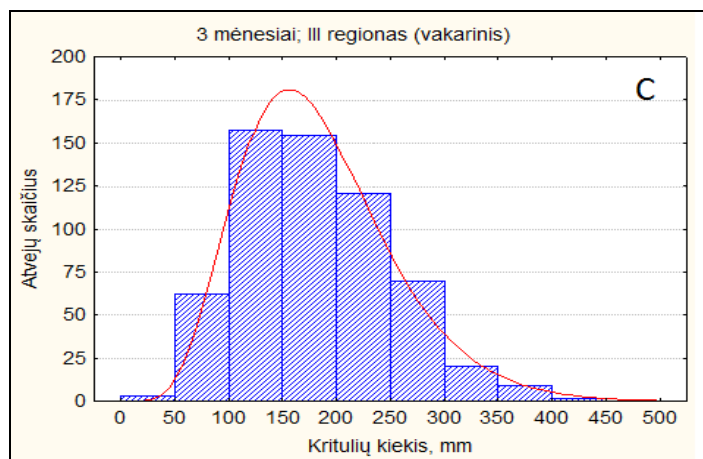
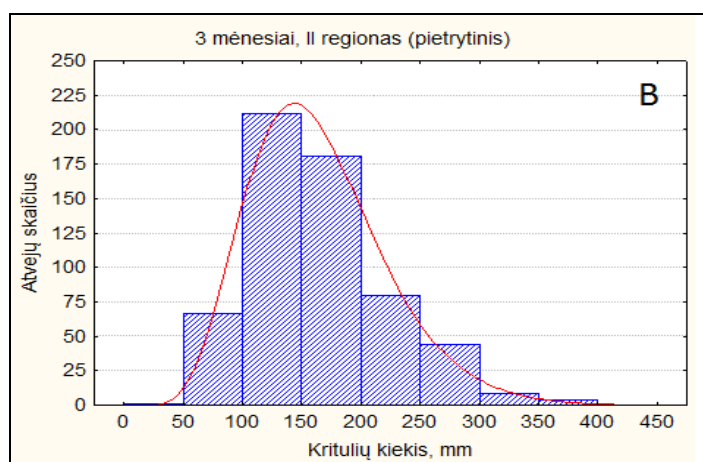
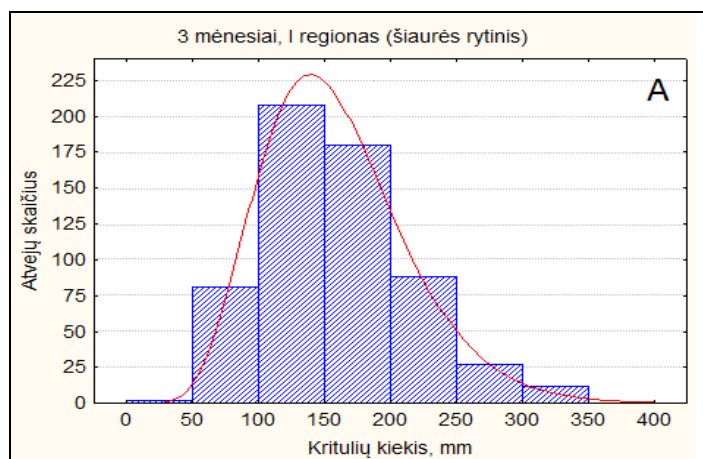


3 priedas. Drėkinimo sąlygų kaita Kaune pagal SPI24 1961–2010 metais.

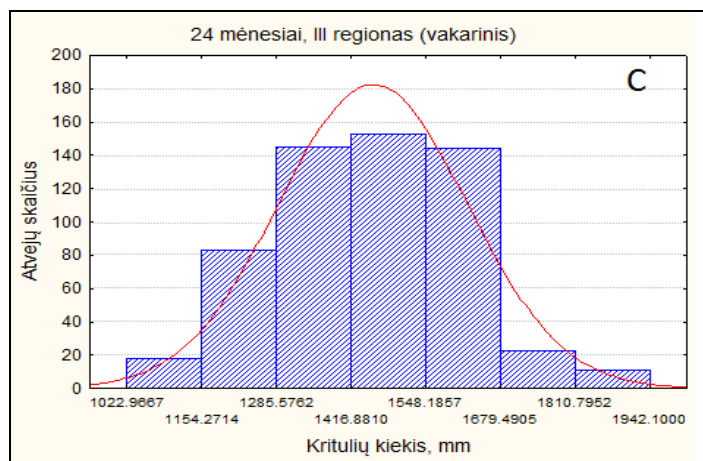
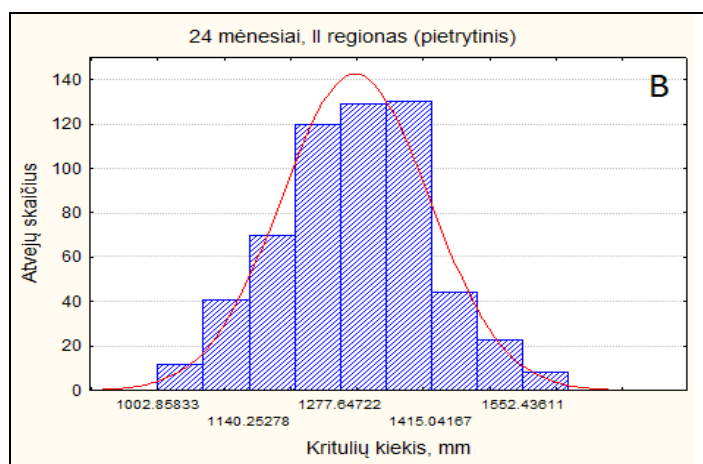
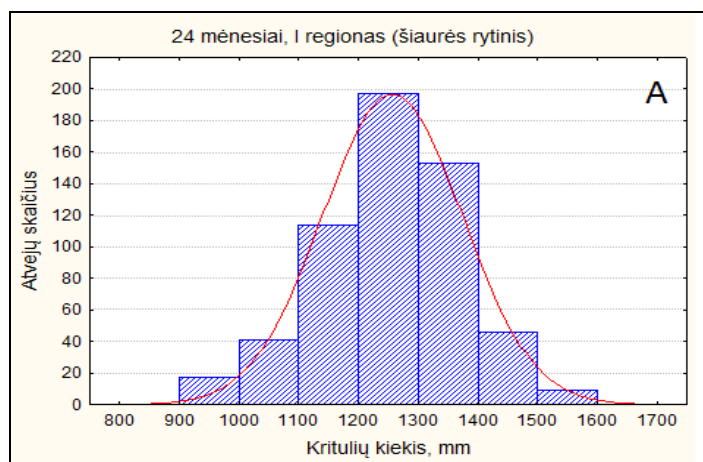




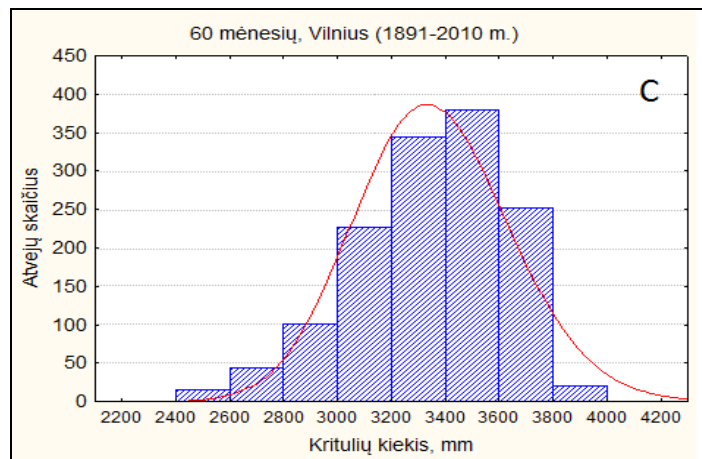
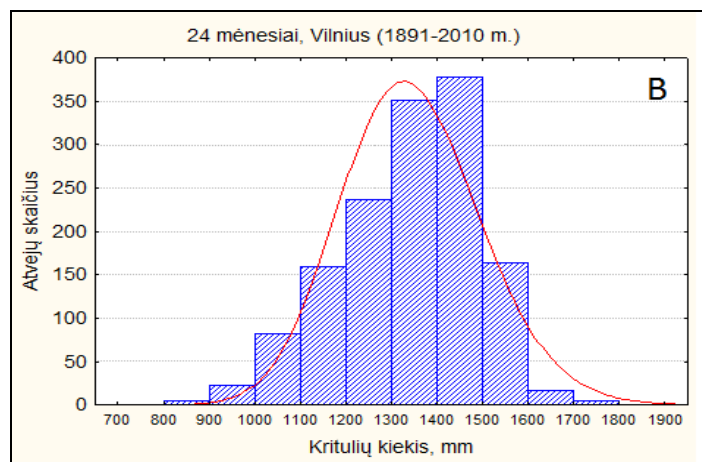
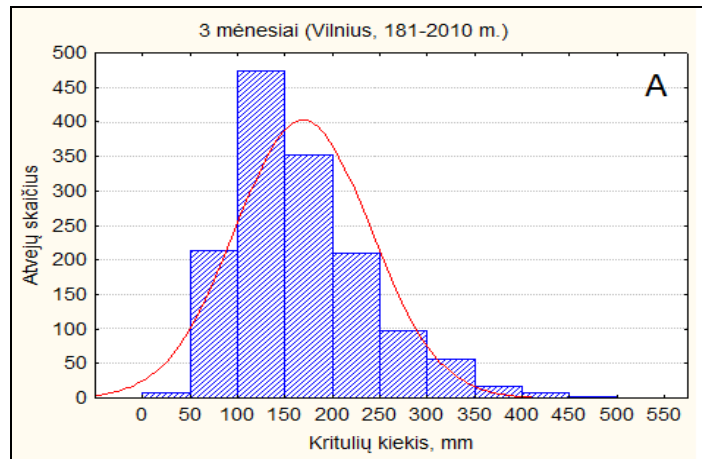
4 priedas. Mėnesio kritulių kiekio pasiskirstymas ir jį atspindintis normalusis skirstinys, I – šiaurės rytiniame (A), II – pietrytiniame (B) ir III – vakariniame (C) regionuose 1961–2010 metais.



5 priedas. 3 mėnesių kritulių kiekio pasiskirstymas ir jį atspindintis normalusis skirstinys: I – šiaurės rytiniame (A), II – pietrytiniame (B) ir III – vakariniame (C) regionuose 1961–2010 metais.



6 priedas. 24 mėnesių kritulių kiekio pasiskirstymas ir jį atspindintis normalusis skirstinys, I – šiaurės rytiniame (A), II – pietrytiniame (B) ir III – vakariniame (C) regionuose 1961–2010 metais.



7 priedas. 3 mėnesių (A), 24 mėnesių (B), 60 mėnesių (C) kritulių kiekio pasiskirstymas ir jį atspindintis normalusis skirstinys, Vilniuje 1891-2010 metais.