

SAUSRŲ IŠPLITIMO IR INTENSYVUMO VERTINIMAS NAUDOJANT PALYDOVINIUS DUOMENIS

Laurynas Klimavičius

Vilniaus universitetas, Chemijos ir geomokslų fakultetas, Geomokslų institutas

El. p. laurynas.klimavicius@chgf.vu.lt.

Anotacija. Sausra – vienas iš daugiausiai nuostolių sukeliančių gamtinių reiškinių tiek Europoje, tiek visame pasaulyje. Dėl besikeičiančio klimato tikslesnis sausrų identifikavimas, jų išplitimo vertinimas pastaruoju metu tampa vis aktualesne tema ir Lietuvoje. Pastaraisiais dešimtmečiais sausroms stebėti ir identifikuoti sukurta daugybė indeksų. Vienas iš jų – temperatūros ir augmenijos sausumo indeksas *TVDI* (angl. *Temperature Vegetation Dryness Index*), apskaičiuojamas naudojant palydovinius duomenis. Pagrindinis šio darbo tikslas – įvertinti *TVDI* pritaikomumą stichinių sausrų išplitimo ir intensyvumo vertinimui skirtinguose žemėnaudos tipuose Lietuvoje 2002–2019 metais. Siekiant išskirti sausras, apskaičiuotas *TPI* rodiklis (angl. *Temperature–Precipitation Index*) – oficialus sausrų identifikavimo kriterijus Lietuvoje. Nustatytų sausrų metu visai Lietuvos teritorijai buvo apskaičiuotos *TVDI* vertės. Šiam tikslui pasiekti panaudoti NASA *Aqua* palydove įmontuoto MODIS jutiklio teikiami 8 dienų kompozicijos duomenys apie paviršiaus temperatūrą (*LST*) bei 16 dienų kompozicijos duomenys apie augmenijos žalumą (*NDVI*). Sausros atskirai vertintos šešiuose skirtinguose žemėnaudos tipuose, išskirtuose naudojant *CORINE Land Cover (CLC)* 2018 metų duomenis apie Žemės paviršiaus biofizines charakteristikas. Remiantis *TPI* vertėmis 2002–2019 metais Lietuvoje išskirtos keturios sausras: 2002 metų liepos–rugsėjo mėnesiais, 2006 metų birželio–liepos mėnesiais, 2008 metų gegužę ir 2019 metų balandžio–gegužės mėnesiais. Nustatyta, kad didžiausią teritorijos dalį apėmė 2002 metų sausra. Ji labiausiai išplito derlingose centrinėje ir pietvakarinėje Lietuvos dalyse bei Pajūrio regione. Vertinant sausrų išplitimą skirtinguose žemėnaudos tipuose nustatyta, kad visais keturiais atvejais sausra labiausiai išplito dirbamoje žemėje arba ganyklose, o mažiausiai – spygliuočių miškuose.

Reikšminiai žodžiai: sausra, *TVDI*, *TPI*, žemėnaudos tipai, klimato kaita.

Įvadas

Sausra – sudėtingas, kompleksinis, daugybę įvairių ekonomikos sektorių paliečiantis reiškinys (Blauhut et al., 2016; Cammalleri et al., 2020). Keičiantis klimatui sausros vis dažnesnės ne tik aridiniuose ar semiaridiniuose regionuose, bet ir aukštesnėse platumose, pridaro didelių nuostolių tiek žemės ūkiui, tiek ekonomikai (Francis & Vavrus, 2012; Coumou et al., 2020; Fu et al., 2020). Apskaičiuota, kad sausros kasmet Europos Sąjungoje ir Jungtinėje Karalystėje padaro nuostolių už maždaug 9 milijardus eurų. Nuostoliai patiriami įvairiuose sektoriuose – daugiausiai, apie 39–60 %, nuostolių siejami su žemės ūkiu, 22–48 % – su energetikos sektoriumi, 9–20 % – su vandens tiekimo sutrikimais (Cammalleri ir kt., 2020). Tad sausrų vertinimas tampa vis aktualesnis.

Praėjusio amžiaus antroje pusėje prasidėjus nuotoliniams Žemės stebėjimams iš kosmoso sausroms identifikuoti ir vertinti sukurta ne vienas palydoviniai

duomenimis grindžiamas indeksas. Pastaruoju metu šie indeksai vis plačiau pritaikomi. Pagrindinė to priežastis – palydoviniai duomenys yra vis lengviau prieinami, jų apdorojimas tampa vis paprastesnis. Be to, jie aprėpia visą Žemės rutulį ir, laikui bėgant, pasižymi vis geresne erdvine ir laiko skiriamąja geba (Kogan, 1997; Xue & Su, 2017).

Vienas pirmųjų indeksų, sukurtų pasitelkiant palydovinius duomenis – normalizuotas vegetacijos skirtumo indeksas *NDVI* (angl. *Normalized Difference Vegetation Index*), plačiai pritaikomas augmenijos būklei vertinti dar nuo praėjusio amžiaus aštuntojo dešimtmečio (Townshend et al., 1985; Jackson & Huete, 1991). Jis apskaičiuojamas naudojant matomojo (*VIS*) ir artimojo infraraudonojo spektro (*NIR*) dalies bangas (1 formulė) (Jackson & Huete, 1991):

$$NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS). \quad (1)$$

NDVI skaitinė vertė kinta nuo –1 iki 1 – kuo augmenija žalesnė ir tankesnė, tuo šio indekso vertė artimesnė

vienetui ir, priešingai, – nuliui artimos reikšmės būdingos juodam dirvožemiui, o neigiamos – sniegui, debesims bei vandens telkiniams (Jackson & Huete, 1991). Tačiau šis indeksas įvertina tik augmenijos žalumą – tinkamai nenusako sausroms būdingų sąlygų. Todėl išpopuliarėjus *NDVI* pradėti kurti specialūs indeksai, kurie ne tik apibūdina augmenijos žalumą, bet ir padeda identifikuoti sausras. Vienas iš jų – *TVDI*.

TVDI (angl. *Temperature Vegetation Dryness Index*) apskaičiuojamas naudojant žemės paviršiaus temperatūros *LST* (angl. *Land Surface Temperature*) ir *NDVI* vertes. Šis indeksas pasiūlytas tik 2002 metais (Sandholt et al., 2002), tačiau per beveik porą dešimtmečių jau yra sėkmingai pritaikytas sausrų monitoringui Pietryčių Azijoje, Kinijoje, kituose Eurazijos regionuose (Pakistanė, Ukrainoje ir kt.) (Son et al., 2012; Liang et al., 2014; Shi et al., 2020). Skaitinė *TVDI* vertė kinta nuo 0 iki 1. Kuo reikšmė aukštesnė, tuo paviršius sausesnis (Sandholt et al., 2002).

Kol kas *TVDI* ar kiti palydoviniai duomenimis grindžiami indeksai nėra plačiai taikomi siekiant identifikuoti sausras ar įvertinti jų intensyvumą rytinėje Baltijos jūros regiono dalyje. Lietuvoje sausras tirtos tik pasitelkiant antžeminius matavimus grįstus indeksus, pavyzdžiui, Selianinovo hidroterminį koeficientą *HTK*, *SPI* (standartizuotas kritulių indeksas – angl. *Standardized Precipitation Index*) ar *TPI* (temperatūros kritulių indeksas – angl. *Temperature–Precipitation Index*) (Rimkus ir kt., 2013; Taparaskienė ir Lukševičiūtė, 2015; Valiukas, 2015; Rimkus ir kt., 2020). Sausros skirtinguose žemėnaudos tipuose Lietuvoje taip pat nevertintos, nepaisant to, jog nustatyta, kad būtent teritorijose, kuriose driekiasi dirbamos žemės, ganyklos bei įvairūs miškai, jos padaro ypač daug žalos (European Environmental Agency, 2021).

Pagrindinis šio darbo tikslas – įvertinti *TVDI* pritaikomumą sausrų išplitimo ir intensyvumo vertinimui skirtinguose žemėnaudos tipuose Lietuvoje 2002–2019 metais.

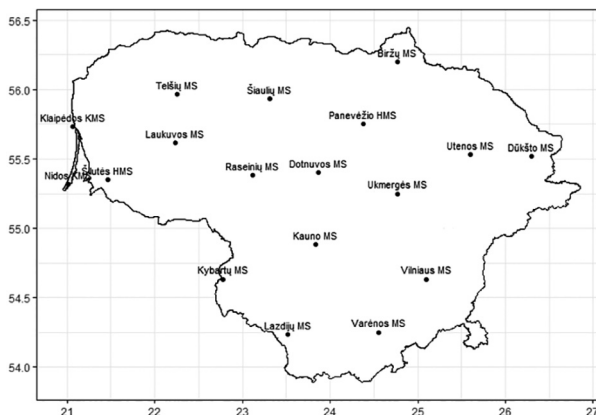
Metodika

Siekiant išskirti stichines sausras apskaičiuotas *TPI* rodiklis – oficialus sausrų identifikavimo kriterijus Lietuvoje. *TPI* apskaičiavimui pasitelkti 18 Lietuvos meteorologijos stočių kasdieniai kritulių kiekio ir oro temperatūros duomenys (1 pav.).

TPI vertės gaunamos pagal 2 formulę:

$$TPI = (P/T) \times 100, \quad (2)$$

čia *P* – praėjusių 30 dienų kritulių kiekio suma; *T* – to paties laikotarpio kiekvienos dienos vidutinės oro temperatūros suma (Rimkus ir kt., 2020). Sausra identifikuojama, jei 30 iš eilės einančių dienų *TPI* verčių vidurkis yra mažesnis už 3,5. Tokiu būdu sausrų laikotarpiai nustatyti kiekvienoje iš 18 meteorologijos stočių. Identifikavus



1 paveikslas. 18 meteorologijos stočių, kurių kasdieniai kritulių kiekio ir oro temperatūros duomenys buvo panaudoti *TPI* apskaičiuoti

sausrą Lietuvoje pagal *TPI* indeksą, jos pradžia ir pabaiga laikomos datos, kuriomis apskaičiuotos vidutinės 30 dienų *TPI* vertės buvo mažesnės už 3,5 bent trijose iš 18 meteorologijos stočių.

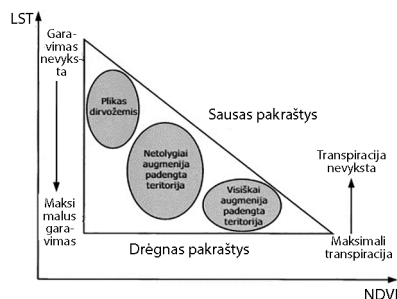
Išskyrus sausrų laikotarpius jų metu visai Lietuvos teritorijai apskaičiuotos *TVDI* reikšmės. Norint gauti šio indekso vertes panaudoti NASA *Aqua* palydove įmontuoto MODIS jutiklio gaunami 8 dienų kompozicijos paviršiaus temperatūros (*LST*) (MYD11A2.006 produktas) bei 16 dienų kompozicijos augmenijos žalumo (*NDVI*; MYD13A2.006 produktas) duomenys. Tiek *LST*, tiek *NDVI* duomenų gardelės dydis – 1 km. *Aqua* palydovas į kosminę erdvę paleistas 2002 metais. Būtent todėl darbe tiriamas laikotarpis nuo 2002 iki 2019 metų.

TVDI apskaičiuojamas pagal formulę:

$$TVDI = (LST - LST_{\min}) / (LST_{\max} - LST_{\min}), \quad (3)$$

čia *LST* – paviršiaus temperatūra atitinkamame taške, *NDVI* – normalizuotas vegetacijos skirtumo indeksas. *LST_{min}* ir *LST_{max}* – atitinkamai minimali bei maksimali paviršiaus temperatūra gardelėje (Sandholt et al., 2002).

TVDI skaičiavimas pagrįstas dėsningumu, pagal kurį ryšys tarp *NDVI* ir *LST_{max}* verčių (sausas pakraštys) rodo drėgmės stygių bei visuomet yra neigiamas. Ryšys tarp *NDVI* ir *LST_{min}* priešingai – įprastai mažiau glaudus ir nusako, kiek maksimaliai drėgmės gali būti sukaupta (drėgnas pakraštys) (2 pav.).



2 paveikslas. Ryšio tarp *NDVI* ir *LST* schema (pagal Sandholt ir kt., 2002)

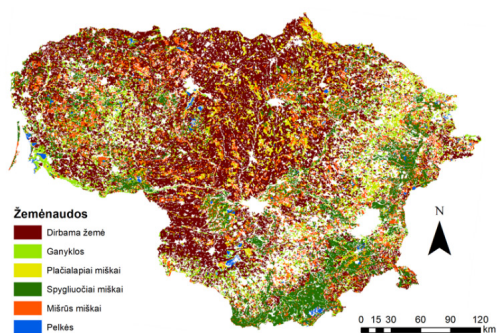
Siekiant nustatyti LST_{max} ir LST_{min} , $NDVI$ vertės pirmiausiai suskirstytos į nedidelius intervalus (kas 0,02). Tuomet kiekvienam iš šių $NDVI$ intervalų išrinkta minimali bei maksimali paviršiaus temperatūros vertės. Sudaromi ryšio grafikai tarp $NDVI$ ir atrinktų minimalių bei maksimalių paviršiaus temperatūros reikšmių. Vėliau išvedamos tiesinės regresijos lygtys (4 ir 5 formulės), pagal kurias ir apskaičiuojamos LST_{max} ir LST_{min} vertės kiekviename tiriamos teritorijos taške.

$$LST_{max} = a_1 \times NDVI + b_1, \quad (4)$$

$$LST_{min} = a_2 \times NDVI + b_2, \quad (5)$$

čia $NDVI$ – normalizuoto vegetacijos skirtumo indekso vertė kiekviename tiriamos teritorijos taške, a_1 ir b_1 – sauso pakraščio, atitinkamai, krypties ir postūmio koeficientai; a_2 ir b_2 – drėgno pakraščio krypties ir postūmio koeficientai. Gavus LST_{min} ir LST_{max} reikšmes, pritaikoma 3 formulė bei kiekviename 1 km gardelės dydžio taške gaunama $TVDI$ vertė.

Sausros pasitelkiant $TVDI$ atskirai vertintos ir skirtinguose žemėnaudų tipuose. Žemėnaudų tipai išskirti naudojant *Copernicus* programos CORINE Land Cover (CLC) duomenis. Iš viso darbe $TVDI$ pasiskirstymas ir sausrų išplitimas bei intensyvumas vertintas šešiose žemėnaudose: ganyklose, dirbamoje žemėje, plačialapiuose miškuose, spygliuočių miškuose, mišriuose miškuose ir pelkėse (3 pav.).



3 paveikslas. Skirtingų žemėnaudų plotų pasiskirstymas Lietuvos teritorijoje

$TVDI$ reikšmės darbe interpretuotos pagal C. Wang ir kt. 2004 metais pasiūlytą klasifikaciją: $TVDI = 0-0,2$ – labai drėgna; $0,2-0,4$ – drėgna; $0,4-0,6$ – normalios sąlygos; $0,6-0,8$ – sausa; $0,8-1$ – labai sausa.

Rezultatai ir jų analizė

Apskaičiavus TPI reikšmes Lietuvoje 2002–2019 metais išskirtos keturios sausros (1 lentelė).

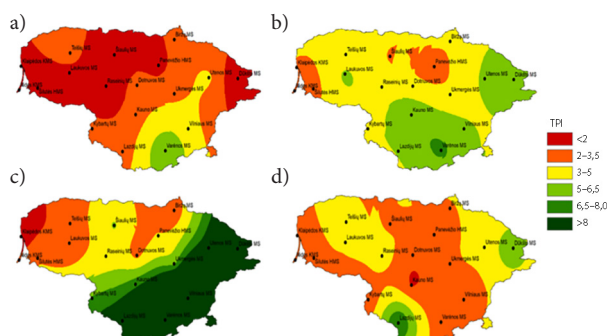
Pagal TPI vertes didžiausią teritorijos dalį apėmė 2002 metų sausra. Rugsėjo 18 dieną, sausrai pasiekus didžiausią intensyvumą (vidutinė TPI vertė 18

1 lentelė. Pagal TPI vertes identifikuoti sausrų laikotarpiai, jų pradžios ir pabaigos data bei sausrų trukmė

Metai	Pradžios data	Pabaigos data	Trukmė
2002	Liepos 28	Rugsėjo 6	40 dienų
2006	Birželio 18	Liepos 15	28 dienos
2008	Gegužės 9	Gegužės 28	21 diena
2019	Balandžio 15	Gegužės 1	17 dienų

meteorologijos stočių tuo metu buvo mažiausia, siekė 2,35), sausiausia buvo Vidurio ir Vakarų Lietuvoje bei rytiniame šalies pakraštyje (4 pav.).

Nedaug išplitimu atsiliko ir 2019 metų sausra, pagal TPI apėmusi ir teritorijas, kuriose kitos sausros fiksuotos nebuvo, – Pietų, Pietryčių Lietuvą. 2006 ir 2008 metų sausros pagal šio indekso reikšmes buvo labiau lokaliai – apėmė labiau vakarinę Lietuvos dalį. Tokie dėsniniai pirmiausiai sietini su kritulių kiekiu pasiskirstymu.



4 paveikslas. TPI indekso pasiskirstymas Lietuvos teritorijoje skirtingų sausrų metu: 2002 metų rugsėjo 18 dieną (a), 2006 metų liepos 2 dieną (b), 2008 metų gegužės 16 dieną (c) ir 2019 metų balandžio 18 dieną (d). Tomis dienomis darbe išskirtų sausrų laikotarpiu TPI verčių vidurkis Lietuvos teritorijoje buvo mažiausias

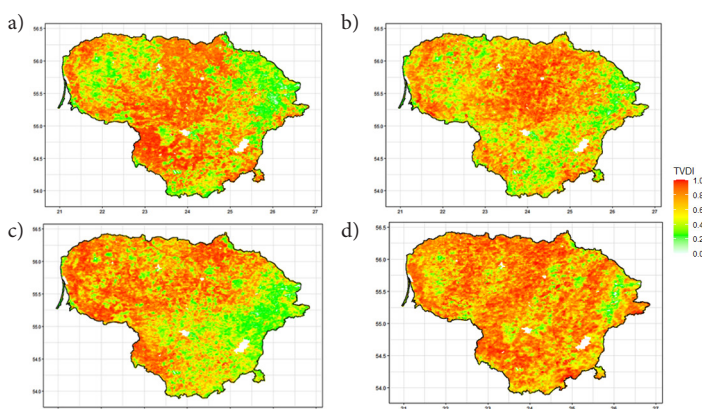
Keturis sausrų, išskirtų pagal TPI , išplitimo ir intensyvumo vertinimas atliktas pasitelkiant $TVDI$. Nustatyta, kad pagal šio indekso vertes 2002 metų sausra išplito beveik pusėje šalies teritorijos. Rugsėjo 21 dieną sausa buvo 46,5 %, o labai sausa – 4,6 % Lietuvos teritorijos (5 pav., a). Kitos vasaros metu išskirtos sausros atveju (2006 metų) sausa pagal $TVDI$ vertes taip pat buvo beveik pusėje šalies teritorijos (45,4 %) (5 pav., b). Likusių dviejų sausrų metu (2008 ir 2019 metais) $TVDI$ vertės, aukštesnės už 0,6, fiksuotos jau atitinkamai 71,9 % ir 68,3 % teritorijos (5 pav., c ir d). Visgi pavasario metu didelėje Lietuvos dalyje gautos $TVDI$ reikšmės, aukštesnės už 0,6, nebūtinai rodo sausros susidarymą. Tokios vertės šiuo metų laiku gali būti gaunamos dėl prasidedančio vegetacijos sezono. Tuo metu, net ir esant saurai, augmenijos žalumas vis tiek didėja, išauga $NDVI$ reikšmės, taip iškreipdamos $TVDI$ vertes, o šio indekso vertės tampa panašios visoje tiriamoje teritorijoje.

Vertinant erdvinį *TVDI* reikšmių pasiskirstymą Lietuvos teritorijoje nustatyta, kad itin sausa visais atvejais buvo derlingoje centrinėje Lietuvos dalyje. O Rytų Lietuva – priešingai, išsiskyrė žemomis *TVDI* vertėmis. Panašūs dėsningumai nustatyti ir vertinant sausras pagal *TPI*.

Visais atvejais sausra labiausiai išplito dirbamos žemės plotuose ir ganyklose, o mažiausiai – spygliuočių miškuose (2 lentelė). Tokias tendencijas lėmė keletas veiksnių. Dirbamoje žemėje ar ganyklose nėra medžių, kurie galėtų sukaupti drėgmę ir sausras prasidėjus dalį jos išnaudoti bei taip sumažinti jos poveikį. Be to, šių žemėnaudos tipų teritorijos daugeliu atvejų yra atviros vietovės, tad jose greičiau pakyla paviršiaus temperatūra,

prasčiau sulaikomi iškritę krituliai ar sniego tirpsmo vanduo. Tad ir sausras poveikis pajuntamas greičiau bei stipriau. Spygliuočių miškai, priešingai, yra prisitaikę žaliuoti įvairiomis sąlygomis, tad ir sausrų poveikis juose gali būti kiek mažesnis.

Kaip ir vertinant sausras pagal *TVDI* visoje tiriamoje teritorijoje, taip ir skirtinguose žemėnaudos tipuose labiausiai išplito pavasario – 2008 ir 2019 metų – sausras. Tuo metu dirbamoje žemėje sausa buvo 81,1 % (2008 metų gegužės 16 dieną) ir 83,7 % (2019 metų balandžio 15 dieną) teritorijos, o ganyklose – atitinkamai 74,3 % ir 75,0 % (2 lentelė). Visgi kaip jau minėta, būtent pavasari susiduriama su daugiausiai neapibrėžtumų vertinant



5 paveikslas. *TVDI* indekso pasiskirstymas Lietuvos teritorijoje: 2002 metų rugpjūčio 21 dieną (a), 2006 metų liepos 4 dieną (b), 2008 metų gegužės birželio 1 dieną (c) ir 2019 metų gegužės 1 dieną (d)

2 lentelė. Teritorijos dalis (%), kurioje pagal *TVDI* vertes sausrų metu buvo sausa (indekso vertės >0,6) arba labai sausa (>0,8) skirtinguose žemėnaudos tipuose. Raudonai pažymėti atvejai, kai sausa buvo daugiau nei pusėje atitinkamo žemėnaudos tipo teritorijos

Data	<i>TVDI</i>	Dirbama žemė	Ganyklos	Plačialapiai miškai	Spygliuočiai miškai	Mišrūs miškai	Pelkės
2002-08-05	>0,6	70,1	64,7	57,1	46,4	74,6	56,9
	>0,8	16,6	13,8	7,0	2,1	4,3	10,9
2002-08-21	>0,6	70,2	54,1	34,5	11,6	23,2	30,4
	>0,8	9,5	7,8	3,1	0,5	2,0	9,9
2002-09-06	>0,6	14,3	20,9	9,9	5,4	8,1	17,1
	>0,8	1,1	0,6	0,5	0,2	0,2	2,8
2006-06-18	>0,6	29,8	28,7	18,2	12,2	13,6	22,6
	>0,8	2,7	1,7	1,4	0,4	0,5	6,1
2006-07-04	>0,6	59,8	50,7	42,0	17,8	29,2	33,5
	>0,8	5,5	4,7	3,9	0,5	1,5	9,3
2006-07-20	>0,6	32,8	33,9	22,1	13,0	18,4	28,7
	>0,8	2,7	2,1	1,3	0,5	0,9	4,0
2008-05-16	>0,6	81,1	74,3	75,5	51,0	70,2	59,4
	>0,8	12,1	13,5	8,9	1,9	5,2	4,4
2008-06-01	>0,6	64,6	51,6	30,6	12,8	22,5	32,6
	>0,8	7,3	7,7	2,6	0,4	1,1	5,9
2019-04-15	>0,6	83,7	75,0	63,4	30,6	45,6	40,3
	>0,8	18,8	9,4	6,5	0,9	2,1	5,3
2019-05-01	>0,6	63,7	72,6	52,6	28,8	42,6	48,1
	>0,8	6,8	10,5	3,1	0,9	2,2	5,7

NDVI vertes (kurios reikalingos TVDI skaičiuoti), tad tiksliai interpretuoti šiuos rezultatus sudėtinga.

Išvados

1. TVDI gali padėti identifikuoti sausras bei įvertinti jų išplitimą. Šis indeksas labiau tinkamas vasaros sausroms (tokioms kaip 2002 ir 2006 metais) vertinti, tuomet gaunami rezultatai patikimesni, o verčių pasiskirstymo dėsningumai panašūs kaip ir sausras vertinant pagal TPI.
2. Remiantis TVDI, visų keturių darbe išskirtų sausrų metu ypač sausa buvo centrinėje Lietuvos dalyje bei daugeliu atveju teritorijose, kuriose vykdoma intensyviausia žemės ūkio veikla šalyje. Tai atsispindi ir vertinant sausras skirtinguose žemėnaudos tipuose – labiausiai sausras apėmė būtent dirbamos žemės plotus ir ganyklas. Drėgniausia buvo spygliuočių miškuose.
3. Būtina pabrėžti, kad taikant šį indeksą pavasari susidaranti sausras reiktų vertinti ypač atsargiai. Mat tai – vegetacijos sezono pradžios laikas, tad net ir esant sausras, vieno iš TVDI skaičiuoti naudojamo kintamojo – NDVI vertės gali išaugti ir taip iškreipti gaunamas TVDI vertes. Svarbus ir dar vienas aspektas – analizuojamos teritorijos dydis. Kuo teritorija didesnė bei pasižyminti įvairesne paviršiaus danga, tuo TVDI tinkamesnis sausras vertinti. Tad šiuo atveju, siekiant išskirti ir analizuoti sausras Lietuvoje, tikslinga būtų iš karto tirti, pavyzdžiui, visą Baltijos jūros regiono rytinę dalį. Tačiau tuomet susiduriama su ypač didelio duomenų kiekio ir kompiuterinių resursų problema. Visgi jei šios sąlygos patenkinamos, TVDI gali sėkmingai pasitarnauti siekiant nustatyti tiek sausras išplitimą, tiek ypač sausras stiprumą (intensyvumą) įvairiose tiriamos teritorijos dalyse.

Literatūra

Blauhut, V., Stahl, K., Stagge, J. H., Tallaksen, L. M., Stefano, L. De, & Vogt, J. (2016). Estimating drought risk across Europe from reported drought impacts, drought indices, and vulnerability factors. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(7), 2779–2800.
<https://doi.org/10.5194/hess-20-2779-2016>

Cammalleri, C., Naumann, G., Mentaschi, L., Formetta, G., Forzieri, G., Gosling, S., Bisselink, B., Roo, De A., & Feyen, L. (2020). *Global Warming and Drought Impacts in the EU*. European Commission.
<https://doi.org/10.2760/597045>

Coumou, D., Di Capua, G., Vavrus, S., Wang, L., & Wang, S. (2018). The influence of Arctic amplification on mid-latitude summer circulation. *Nature Communications*, 9(1), 1–12.
<https://doi.org/10.1038/s41467-018-05256-8>

European Environmental Agency. (2021). *Drought impact on ecosystems in Europe*. <https://www.eea.europa.eu/ims/drought-impact-on-ecosystems-in-europe>

Francis, J. A., & Vavrus, S. J. (2012). Evidence linking Arctic amplification to extreme weather in mid-latitudes. *Geophysical Research Letters*, 39(6), 1–6.
<https://doi.org/10.1029/2012GL051000>

Fu, Z., Ciais, P., Bastos, A., Stoy, P. C., Yang, H., Green, J. K., Wang, B., Yu, K., Huang, Y., Knohl, A., Ladislav, Š., Gharun, M., Cuntz, M., Arriga, N., Roland, M., Peichl, M., Migliavacca, M., Cremonese, E., Varlagin, A., Brümmer, C., Gourlez de la Motte, L., Fares, S., Buchmann, N., El-Madany, T. S., Pitacco, A., Vendrame, N., Li, Z., Vincke, C., Magliulo, E., & Koebsch, F. (2020). Sensitivity of gross primary productivity to climatic drivers during the summer drought of 2018 in Europe. *Philosophical Transactions B*, 375, 20190747. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0747>

Jackson, R. D., & Huete, A. R. (1991). Interpreting Vegetation Indices. *Preventive Veterinary Medicine*, 11, 185–200.

Kacira, M., Ling, P. P., & Short, T. H. (2002). Establishing crop water stress index (CWSI) threshold values for early, non-contact detection of plant water stress. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 45(3), 775–780. <https://doi.org/10.13031/2013.8844>

Keršytė, D., Rimkus, E., & Kažys, J. (2015). Klimato rodiklių scenarijai Lietuvos teritorijoje XXI a. *Geologija. Geografija*, 1(1), 22–35. <https://doi.org/10.6001/geol-geogr.v1i1.3069>

Kogan, F. N. (1997). Global drought watch from space. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(4), 621–636. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<0621:GDWF-S>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<0621:GDWF-S>2.0.CO;2)

Liang, L., Zhao, S. H., Qin, Z. H., He, K. X., Chen, C., Luo, Y. X., & Zhou, X. D. (2014). Drought change trend using MODIS TVDI and its relationship with climate factors in China from 2001 to 2010. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(7), 1501–1508. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60813-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60813-3)

Rimkus, E., Stonevičius, E., Korneev, V., Kažys, J., Valiūškevičius, G., & Pakhomau, A. (2013). Dynamics of meteorological and hydrological droughts in the Neman river basin. *Environmental Research Letters*, 8(4).
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/4/045014>

Rimkus, E., Maciulyte, V., Stonevičius, E., & Valiukas, D. (2020). A revised agricultural drought index in Lithuania. *Agricultural and Food Science*, 29(4), 359–371.
<https://doi.org/10.23986/afsci.92150>

Sandholt, I., Rasmussen, K., & Andersen, J. (2002). A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing of Environment*, 79, 213–224.
[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00274-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00274-7)

Shi, S., Yao, F., Zhang, J., & Yang, S. (2020). Evaluation of temperature vegetation dryness index on drought monitoring over Eurasia. *IEEE Access*, 8, 30050–30059.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2972271>

Son, N. T., Chen, C. F., Chen, C. R., Chang, L. Y., & Minh, V. Q. (2012). Monitoring agricultural drought in the lower Mekong basin using MODIS NDVI and land surface temperature data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18(1), 417–427.
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.03.014>

Taparaskienė, L., & Lukševičiūtė, V. (2015). Drought occurrence under Lithuanian climatic conditions. *Proceedings of the 7th International Scientific Conference Rural Development 2015*. <https://doi.org/10.15544/rd.2015.059>

- Thomas, A. (2000). Spatial and temporal characteristics of potential evapotranspiration trends over China. *International Journal of Climatology*, 20(4), 381–396. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(20000330\)20:4<381::AID-JOC477>3.0.CO;2-K](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(20000330)20:4<381::AID-JOC477>3.0.CO;2-K)
- Townshend, J. R. G., Goff, T. E., & Tucker, C. J. (1985). Multi-temporal dimensionality of images of normalized difference vegetation index at continental scales. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-23(6), 888–895. <https://doi.org/10.1109/TGRS.1985.289474>
- Valiukas, D. (2015). *Sausrų ir sausrų laikotarpių Lietuvoje analizė: daktaro disertacija*. Vilniaus universitetas.
- Wang, C., Qi, S., Niu, Z., & Wang, J. (2004). Evaluating soil moisture status in China using the temperature–vegetation dryness index (TVDI). *Canadian Journal of Remote Sensing*, 30(5), 671–679. <https://doi.org/10.5589/m04-029>
- Xue, J., & Su, B. (2017). Significant remote sensing vegetation indices. A review of developments and applications. *Journal of Sensors*, 2017, 1353691. <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>

EVALUATION OF DROUGHT DISTRIBUTION AND INTENSITY USING SATELLITE DATA

L. Klimavičius

Summary

Drought is one of the most damaging natural phenomena in Europe and all around the world. Due to the climate change,

more accurate identification of droughts and assessment of their distribution has recently become increasingly important in Lithuania as well. Numerous indices have been developed in recent decades to monitor and identify droughts. One of them is the Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI), calculated using satellite data. The main objective of this work is to evaluate the ability of TVDI to assess the distribution and intensity of droughts in different types of land use in Lithuania from 2002 till 2019. To distinguish severe droughts, the TPI index (Temperature – Precipitation Index, the official drought identification index in Lithuania) was calculated for the study period. TVDI values were calculated for the whole territory of Lithuania during the drought periods identified by TPI. To do that, 8-day surface temperature (LST) composition data and 16-day NDVI data were obtained using a MODIS sensor built into NASA's Aqua satellite. Droughts were also assessed separately in six different types of land use, which were distinguished using 2018 CORINE Land Cover (CLC) data. Based on the TPI values, there were four drought periods in Lithuania in 2002–2019: July–September 2002, June–July 2006, May 2008 and April–May 2019. According to the TVDI values the most intense drought was in 2002. During this drought the driest conditions were identified in southwestern Lithuania as well as the central Lithuania, which is one of the most fertile regions in the country. During the assessment of the distribution of droughts in different land uses, it was found that in all four cases the drought covered the largest areas in arable land or pastures, while the smallest in coniferous forests.

Keywords: drought, TVDI, TPI, types of land use, climate change.