

HIDROLOGINIŲ SAUSRŲ IDENTIFIKAVIMAS LIETUVOS UPĖSE

*Gintarė Kugytė, Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba,
Gintaras Valiuškevičius, Vilniaus universitetas*

SANTRAUKA

Pasaulyje hidrologinės sausros dažniausiai identifikuojamos remiantis įvairiais indeksais, apskaičiuotais pagal vandens debito reikšmes. Tačiau vandens debitas skaičiuojamas pagal debito kreivę, kurią reikia dažnai atnaujinti, todėl nustatyti realią jo reikšmę ilgai užtrunka. Dėl šios priežasties daug patrauklesnė atrodo galimybė identifiкуoti hidrologinę sausrą pagal kas valandą matuojamą ir operatyviai apdorojamą vandens lygį. Straipsnyje aptariamas naujas hidrologinių sausrų identifikavimo pagal vandens lygio duomenis metodas, kuris galėtų būti pritaikytas Lietuvos upėms, analizuojami jo privalumai ir trūkumai, išnagrinėjami jo taikymo skirtingomis savybėmis pasižyminčiuose upių ruožuose ypatumai.

Reikšminiai žodžiai: Lietuvos upės, hidrologinė sausra, sausros identifikavimas, vandens lygis, SDI, SPEI.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5200/GE.2021.5>

ĮVADAS

Keičiantis klimato sąlygoms, šiltuoju metų laiku vis dažniau pasitaiko sausringų laikotarpių, neigiamai veikiančių žemės ūkio, pramonės, energetikos ir kitus sektorius. Manoma, kad dėl kritulių dažnumo pokyčių ir aktyvesnio garavimo ateityje visame pasaulyje sausi laikotarpiai truks vis ilgiau, o sausrų intensyvumas dar labiau didės (Prudhomme ir kt., 2014). Lietuvoje pastaraisiais metais ypač aktualia tema tampa hidrologinės sausros (Rimkus ir kt., 2013). Hidrologinė sausra kyla dėl vandens trūkumo hidrologinėje sistemoje, kuris pasireiškia neįprastai mažu upių nuotėkiu ir žemu vandens lygiu ne tik upėse, bet ir ežeruose bei požeminio vandens sluoksniuose (Cammalleri ir kt., 2017). Sausringų sąlygų laikotarpiu pastebima akivaizdi žala vandens telkinių būklei ir vandens kokybei. Mažo vandens nuotėkio laikotarpiu upėse sutrinkdoma hidroenergetika, laivyba laivuojamuose upių ruožuose, kenčia ir turizmo šakos, užsiimančios vandens pramogomis, dėl senkančių gruntinio vandens atsargų ima stigti vandens šuliniuose ir vandenvietėse, dėl lėtos srovės ir žemo lygio sparčiau veši vandens augalai, o vandenyje gyvenantiems organizmams ima stigti deguonies.

Literatūroje pateikiama daug skirtingų hidrologinės sausras apibrėžimų. Pagal šiuo metu Lietuvoje galiojančius oficialius kriterijus hidrologinė sausra vadinamas sausringas laikotarpis, kurio metu paviršinio telkinio vandens lygis vandens matavimo stotyje lygus arba mažesnis už vidutinį žemiausią šiltojo sezono vandens lygį (Lietuvos hidrometeorologijos..., 2012). Šiuo metu hidrologinės sausras vandens telkiniuose nustato Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba prie Aplinkos ministerijos. Tačiau reiškinio identifikavimo metodika, kaip ir pats hidrologinės sausras apibrėžimas, vis dar tobulinama. Šį reiškinį vertinti gana sudėtinga dėl skirtingų hidrologinių sąlygų įvairiuose telkiniuose (dideli vandens telkiniai lėčiau reaguoja į sausringas sąlygas nei mažesni, be to, skirtingo dydžio telkiniams reikia nevienodai laiko atsigaivinti po sausras) bei operatyvių duomenų apie upių nuotėkį stokos. Su hidrologinių sausrų vertinimu susijusios ir kai kurios teisinės problemos (pavyzdžiui, ekstremalios situacijos šalyje paskelbimas ir nutraukimas).

Pasaulyje hidrologinės sausras dažniausiai identifikuojamos remiantis įvairiais indeksais, apskaičiuotais pagal vandens debito reikšmes. Vienas iš plačiai taikomų hidrologinės sausras indeksų – SDI (*Streamflow Drought Index*). Gana paprasta ir lengvai pritaikoma metodika leidžia palyginti upės faktinį ir vidutinį nuotėkį, skaičiuojant momentinio debito nuokrypį nuo vidurkio ir vertinant jį pasirinktu laikotarpiu. Prasta šios metodikos savybė, reikalaujanti daugiau išteklių ir darbo, – būtinybė naudoti operatyvius upės debito duomenis. Debitas skaičiuojamas pagal debito kreivę, kurią reikia dažnai atnaujinti, todėl nustatyti realią jo reikšmę ilgai užtrunka. Dėl šios priežasties daug patrauklesnė atrodo galimybė identifikuoti hidrologinę sausrą pagal kas valandą matuojamą vandens lygį. Nepaisant skaičiavimo paprastumo, kol kas nėra iki galo aišku, ar toks (pagal vandens lygio matavimų rezultatus gautas) rodiklis yra teisingas ir visur tinkamas. Lietuvoje indeksų skaičiavimai hidrologinių sausrų identifikavimo praktikoje nėra taikomi, todėl labai svarbu išsiaiškinti, ar jie šiam tikslui gali būtų pritaikomi mūsų šalyje.

Tyrimo objektas – vandens lygio ir nuotėkio rodikliai 8 vandens matavimo stotyse, veikiančiose prie Lietuvos upių, pasižyminčių skirtingu hidrologiniu režimu ir reprezentuojančių įvairias sąlygas.

Tyrimo tikslas – identifikuoti šiltojo laikotarpio hidrologinės sausras atvejus Lietuvoje, remiantis SDI indeksais, apskaičiuotais pagal debitų ir SWLI indeksais bei pagal vandens lygių duomenis, ir įvertinti šių indeksų praktinio pritaikymo galimybes.

Tyrimo uždaviniai:

1. Remiantis standartine SDI hidrologinių sausrų identifikavimo metodika nustatyti šiltojo sezono hidrologinių sausrų atvejus 2000–2018 m. pagal debito duomenis.

2. Pritaikyti ir panaudoti vandens lygio duomenis atliekant SDI skaičiavimus ir identifikuoti hidrologinės sausras atvejus Lietuvos upėse 2000–2018 m. pagal vandens lygį naudojant SWLI indeksą.
3. Palyginti SDI ir SWLI reikšmes, gautas pagal skirtingus duomenis, ir įvertinti hidrologinių sausrų identifikavimo pagal šiuos indeksus galimybes Lietuvoje.

TYRIMO EIGA IR METODIKA

Visi analizei atlikti būtini pradiniai duomenys yra gauti iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos prie Aplinkos ministerijos. Tyrimui pasirinktos 8 vandens matavimo stotys (toliau – VMS), veikiančios prie 7 skirtingų upių ir apimančios visas hidrologines sritis Lietuvos teritorijoje (žr. 1 pav.):

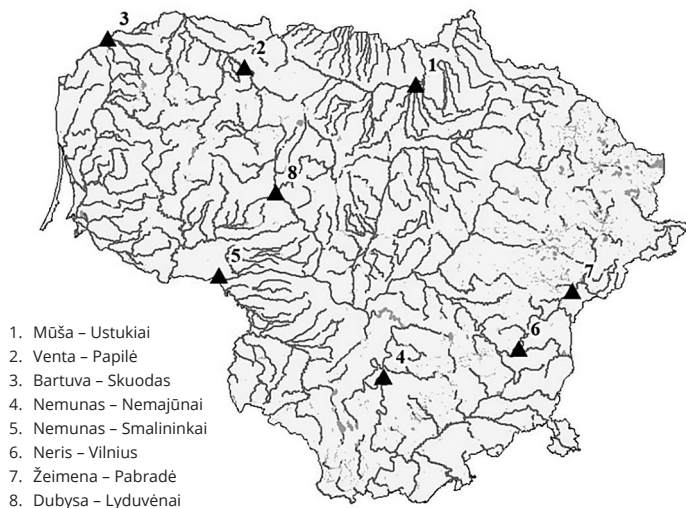
- Pietryčių Lietuvos sritį – Žeimeną ties Pabradės VMS;
- Vidurio Lietuvos sritį – Mūšą ties Ustukių VMS, Ventą ties Papilės VMS ir Dubysą ties Lyduvėnų VMS;
- Vakarų Lietuvos sritį – Bartuvą ties Skuodo VMS;
- Didžiąsias (tranzitines) Lietuvos upes – Nerį ties Vilniaus VMS ir Nemuną ties Nemajūnų VMS bei ties Smalininkų VMS.

Sausros indeksas SDI yra skaičiuojamas remiantis nuotėkio deficitu, įvertinamu pagal upės nuotėkį konkrečių metų pasirinktu periodu, vidutinį upės nuotėkį, būdingą tam periodui, ir pasirinkto periodo nuotėkio standartinį nuokrypį:

$$SDI_{i,k} = \frac{v_{i,k} - \bar{v}_k}{s_k},$$

čia: $SDI_{i,k}$ – konkrečių metų pasirinkto periodo standartizuotas sausras indeksas, $v_{i,k}$ – konkrečių metų pasirinkto periodo vandens debitas, \bar{v}_k – pasirinkto periodo vidutinis vandens debitas, s_k – pasirinkto periodo standartinis nuokrypis.

Pagal šią lygtį gauto rodiklio sekai pritaikomas *Gamma* skirstinys, kuris vėliau transformuojamas į normalųjį skirstinį (McKee ir kt., 1993). Šiame tyrime skaičiuojant SDI buvo naudota modifikuota R programavimo kalbos paketo SPEI (Vicente-Serrano ir kt., 2010) funkcija „spi“, kuri tradiciškai naudojama skaičiuojant standartizuotą kritulių indeksą SPI. Normalizavus duomenis metodus leidžia įvertinti tiek sausuosiuos, tiek drėgnuosius periodus (Svoboda ir kt., 2012), todėl buvo pritaikytas būtent *Gamma* skirstinys. SDI indekso skaičiavimo metodika yra analogiška SPI indekso skaičiavimo metodikai, skirtumas tik tas, kad SPI naudojama kritulių suma, o SDI – vandens debitas. Siekiant pritaikyti „spi“ funkciją SDI apskaičiuoti, lygtyje kaip pradiniai duomenys buvo naudojami dešimties dienų vidutiniai vandens debitai.



1 pav. Tyrime analizuojamos vandens matavimo stotys

Baziniam laikotarpiui naudoti 1980–2018 m. dešimtadienių debitai, nes indeksui apskaičiuoti reikia mažiausiai 30 metų laikotarpio. Į „spi“ funkciją kiekvienai VMS integruoti 36 dešimtadieniai per metus (iš viso 1 368 dešimtadieniai visam 38 metų laikotarpiui). Siekiant išvengti per ilgą laikotarpį galbūt įvykusių upių morfometrinių rodiklių pokyčių ar VMS perkėlimų poveikio skaičiavimų rezultatams, tolesniam tyrimui naudoti trumpesnio laikotarpio duomenys, apimantys 2000–2018 m. šiltąjį periodą (nuo gegužės 10 d. iki spalio 10 d.). Pagal originalią SDI metodiką (Nalbantis, Tsakiris, 2009) skiriami keturi sausrų tipai pagal sausras stiprumą (žr. 1 lentelę). Teigiamos indekso reikšmės rodo, kad sausras nėra, o neigiamos identifikuoja sausrą.

1 lentelė. Hidrologinės sausras stiprumas pagal SDI reikšmes

Skaitinė vertė	Reikšmė
$SDI \geq 0.0$	Nėra sausras
$-1.0 \leq SDI < 0.0$	Silpna sausra
$-1.5 \leq SDI < -1.0$	Vidutinio stiprumo sausra
$-2.0 \leq SDI < -1.5$	Stipri sausra
$SDI < -2.0$	Ekstremali sausra

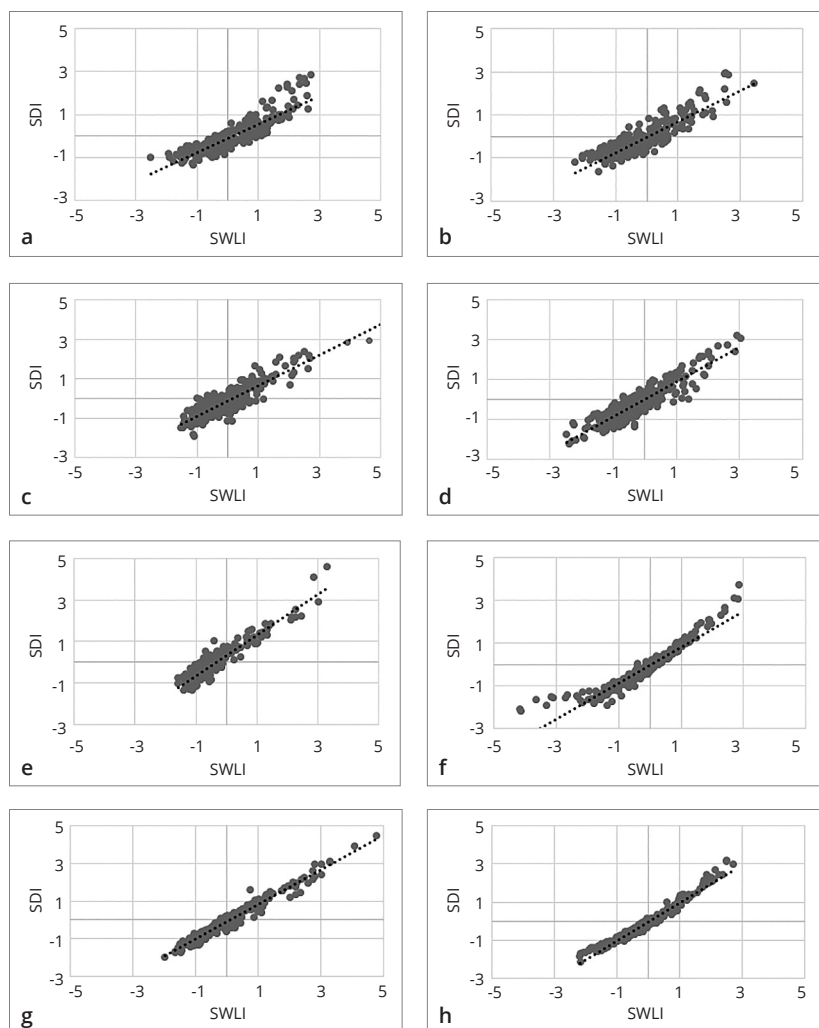
Kaip minėta, Lietuvoje hidrologinių sausrų vertinimą naudojant originalų (pagal debitų duomenis apskaičiuotą) SDI indeksą apsinkina ilgai trunkantis kasdienių debito reikšmių nustatymo procesas. Todėl, siekiant pagerinti hidrologinių sausrų identifikavimo operatyvumą, indeksas skaičiuotas naudojant ne tik upių debito, bet ir jų vandens lygio duomenis. Šie duomenys be didelių korekcijų ar skaičiavimų operatyviai gaunami iš visų Lietuvoje esančių VMS, todėl, jei reiktų greitai nustatyti hidrologines sausras šalies upėse, nekiltų papildomų sunkumų juos naudoti. Kaip ir anksčiau atliekant SDI skaičiavimą, šiuo atveju taip pat remtasi tų pačių 8 VMS duomenimis ir analogiška metodika (tik vietoj 10 dienų vidutinių debitų naudoti 10 dienų vidutiniai vandens lygiai). Toliau atliekant analizę ir ją aptariant siekiama išvengti painiavos, todėl pagal vandens lygio matavimų rezultatus apskaičiuotas indeksas pavadintas SWLI (*Standardized Water Level Index*). Pagal vandens lygio duomenis suskaičiavus viso 1980–2018 m. laikotarpio SWLI, tolimesnei analizei atlikti taip pat naudoti tik 2010–2018 m. šiltojo laikotarpio (gegužės 10 d. – spalio 10 d.) duomenys. Priimta išlyga, kad SWLI reikšmių interpretavimas sutampa su pagal debitą gautų SDI reikšmių interpretavimu (žr. 1 lentelę). Lyginant SWLI ir SDI, analizuotas jų ryšys esant bet kokiai hidrologinės sausros fazei, taip pat atskirai nagrinėjant duomenis sausuoju (kai pagal SDI identifikuojama hidrologinė sausra) ir drėgnuoju (kai pagal SDI hidrologinės sausros nėra) periodais.

Siekiant įvertinti galimą upės vagos formos poveikį SWLI reikšmėms, apskaičiuotoms pagal vandens lygio rodiklius, ir jų koreliacijai su SDI reikšmėmis, nustatytomis pagal debito duomenis, papildomai buvo analizuojami vagų skersiniai pjūviai ties kai kurių VMS debito matavimo vietomis. Daugiausia dėmesio nagrinėjant pjūvius buvo kreipiamas į priekrantės zonos pobūdį. Tuo tikslu apskaičiuotas kairiojo ir dešiniojo upės krantų (žiūrint pagal vandens srovę) statusas, įvertintas šlaitų polinkio kampo tolygumas priekrantės zonoje, išnagrinėti vagos formos simetriją apibūdinantys rodikliai.

PAGAL VANDENS LYGIO IR DEBITO DUOMENIS GAUTŲ SDI RODIKLIŲ PALYGINIMAS

Originalios SDI metodikos taikymas Lietuvoje sukeltų daug keblumų, nes debito duomenimis paremtas indeksas reikalauja operatyvių vandens debito rodiklių, kurie nėra gaunami tiesioginių matavimų metu (nustatomi pagal debito kreivę). Todėl buvo nuspręsta pamėginti, taikant analogišką SDI skaičiavimams metodiką, suskaičiuoti SWLI indeksą pagal tiesiogiai automatinės įrangos matuojamą ir

operatyviai gaunamą vandens lygį. Siekiant išsiaiškinti tokio indekso pritaikymo galimybes identifikuojant hidrologines sausras, vėliau SWLI skaičiavimų rezultatai buvo palyginti su SDI reikšmėmis, gautomis naudojant debito duomenis. Žinant, kad pagal kasdienio debito reikšmes apskaičiuotas SDI indeksas ne vienoje šalyje yra naudojamas hidrologinėms sausroms įvertinti, toks skirtingų metodikų palyginimas leidžia įvertinti SWLI tinkamumą sausroms identifikuoti.



2 pav. SWLI ir SDI ryšys šiltuoju 2000–2018 m. laikotarpiu: **a** – Mūšoje ties Ustukiais, **b** – Ventoje ties Papile, **c** – Dubysoje ties Lyduvėnais, **d** – Žeimenoje ties Pabrade, **e** – Bartuvoje ties Skuodu, **f** – Nemune ties Nemajūnais, **g** – Neryje ties Vilniumi, **h** – Nemune ties Smalininkais

Vandens lygio duomenų tinkamumas skaičiavimams atlikti buvo vertinamas analizuojant SDI ir SWLI ryšius. Prasčiausias ryšys (kai koreliacijos koeficientas lygus 0,89) iš 8 analizuotų VMS buvo būdingas Ustukių VMS (prie Mūšos) ir Papilės VMS (prie Ventos). Kita vertus, grafinė ryšio analizė parodė, kad nors indeksų reikšmės ryšio grafikuose nėra glaudžiai išsidėsčiusios apie atstojamąją tiesę, tačiau gerokai nuo atstojamosios linijos nukrypusių indekso reikšmės žyminčių taškų ryšius apibūdinančiuose grafikuose neaptinkama (2 pav., a; 2 pav., b). Tai liudija, kad kiek mažesnę nei kitose VMS ryšio tarp dviejų indeksų reikšmių, gautų naudojant skirtingus duomenis, glaudumą nulėmė ne pavieniai atvejai, o kompleksinės priežastys. Viena jų gali būti gausus Ventos ir Mūšos upių užžėlimas makrofytai šiltojo sezono metu, dėl to gerokai yra sunkiau sudaryti tikslią debito kreivę (ir nustatyti SDI indeksą pagal debito duomenis).

Nors SDI Mūšoje ties Ustukių VMS nefiksuoja dešimtadienių su stipria ar ekstremalia sausra, tačiau pagal šį rodiklį čia yra identifikuojama daugiau silpnos sausras atvejų nei skaičiuojant SWLI. Iš viso SDI šioje VMS aptinka 194, o SWLI – 169 dešimtadienius su vienokio ar kitokio stiprumo hidrologine sausra. Ventoje ties Papile, naudojant skirtingo tipo indeksus, aptinkamas panašus kiekis hidrologine sausra pasižyminčių dešimtadienių (pagal SWLI buvo nustatyti 209, o pagal SDI – 213 atvejų).

Dubysos ties Lyduvėnų VMS duomenys rodo, kad naudojant skirtingą pradinę informaciją gautos indeksų reikšmės stipriai koreliuoja tarpusavyje ($r = 0,90$). Pakankamai glaudus ryšys tarp nagrinėjamų rodiklių nustatytas nepaisant to, kad analizuotu laikotarpiu didžioji dalis gautų indekso reikšmių buvo mažos ir tik trys didžiausias reikšmes atspindintys taškai labai išsiskiria iš bendro fono (2 pav., c). Visos ekstremaliai didelės teigiamos reikšmės, nurodančios perteklinės drėgmės sąlygas, analizuojamu laikotarpiu pasireiškė tais pačiais 2007 m. Tačiau analizuojant SDI ir SWLI skirtumus, pastebėta, kad Lyduvėnų VMS SDI identifikuoja mažiau sausringumu nepasižyminčių laikotarpių (kai $SDI \geq 0$) ir daugiau sausringų sąlygų (kai $SDI < 0$) nei SWLI.

Žeimenoje ties Pabrade skirtingomis metodikomis apskaičiuoto rodiklio reikšmių koreliacija dar labiau priartėja prie labai stiprų ryšių nusakančio koreliacijos koeficiento, kuris šiuo atveju siekia 0,91. Analizuojamu laikotarpiu tarp SWLI ir SDI reikšmių neaptikta iš visos imties išsiskiriančių ar gerokai nuo atstojamosios tiesės nutolusių taškų (2 pav., d). Lyginant pagal skirtingus duomenis apskaičiuotų indeksų reikšmes Pabradės VMS, pastebėta, kad dešimtadienių, kai pagal skirtingus duomenis identifikuojamos vienokios ar kitokios sausringumo sąlygos, skaičius yra panašus.

Toks, beveik analogiškas, įvairaus stiprumo sausrų pasiskirstymas, vertinant ir pagal vandens lygį, ir pagal debitą apskaičiuotus indeksus, Žeimenoje ties Pabrade gali būti siejamas su upės vagos skersinio profilio forma ir krantų statumu. Vandens debito pokyčiai, esant sauringoms sąlygoms ir drėgnam periodui, gali skirtingai paveikti vandens lygio pokyčius, jei upės krantams atkarpoje ties VMS įvairiame aukštyje būdingas nevienodas nuolydis. Žeimenos ties Pabrade abu krantai debito matavimo vietoje yra statesni – dešinysis visiškai status (nuolydis pakrantės zonoje $89,2^\circ$), nes prasideda ties seno tilto gelžbetoniniu bloku, kairysis kiek lėkštesnis – nuolydis pakrantės zonoje $64,2^\circ$ (3 pav., a). Status šlaitų pobūdis lemia tai, kad vandens lygio kaita šiame ruože yra beveik analogiška vandens debito pokyčiams: padidėjus debitui, upė ties Pabradės VMS neturi galimybės išsiliesti į salpą, todėl vandens apimtas vagos skerspūvio plotas didėja tik dėl vandens lygio kilimo. Taigi, statūs upės krantai daugiausia lėmė, kad taikant tiek vandens lygiu, tiek debitu paremtą indeksų skaičiavimo metodiką buvo nustatyta tokia stipri pagal skirtingus duomenis apskaičiuotų indeksų koreliacija ir panašiai pasikartojančios įvairaus stiprumo sausros. Ryšio glaudumui šiuo atveju galėjo turėti poveikį ir tai, kad Žeimena pasižymi gana stabiliu nuotėkio režimu: ežeringu ir miškingu baseinu pasižyminčiais upei nebūdingi staigūs debito pokyčiai.

Bartuvoje ties Skuodu SWLI ir SDI reikšmių koreliacijos koeficientas yra lygus 0,94. Indeksų tarpusavio ryšio grafike akivaizdžiai matoma, kad didžioji dalis reikšmių (daugiau nei 60 proc.) yra susitelkusi neigiamų reikšmių intervale, kurie identifikuoja sauringas sąlygas (2 pav., e). Tiesa, 2000–2018 m. čia dažniausiai kartojosi silpnos sausros atvejai, o ekstremalios sausros atvejų nebuvo aptikta taikant nei vieną, nei kitą metodiką. Kadangi Bartuvos ties Skuodu krantai nėra tokie statūs (kairiojo kranto nuolydis lygus $31,1^\circ$, o dešiniojo – $31,8^\circ$) kaip Žeimenoje, vandens lygio pokyčiai čia menkliau priklauso nuo debito padidėjimo ar sumažėjimo (3 pav., b). Dėl šios priežasties vandens lygio duomenimis paremtų sausros atvejų gaunama daugiau nei sausrų, kurios yra skaičiuojamos remiantis vandens debito duomenimis. Tačiau glaudus SWLI ir SDI ryšys liudija, kad krantai ties VMS, kuri naudojama sausras įvertinti, nebūtinai turi būti ypač statūs – šiuo atveju ne mažiau svarbu, kad jų nuolydis priekrantės zonoje būtų daugmaž panašus (tuomet vandens lygio pakilimas yra proporcingas debito padidėjimui, net ir vandeniui užpildytai vagos daliai po truputį plečiantis į šonus).

Nemuno ties Nemajūnais SDI ir SWLI reikšmių išsidėstymas ryšio grafike primena pusmėnulio formą – ties vidurine ryšio grafiko dalimi reikšmės prigludusios prie atstojamosios tiesės, tačiau esant mažoms arba didelėms indeksų reikšmėms ryšys įgyja kiek kitokį pobūdį (2 pav., f): tiek esant itin drėgniems,

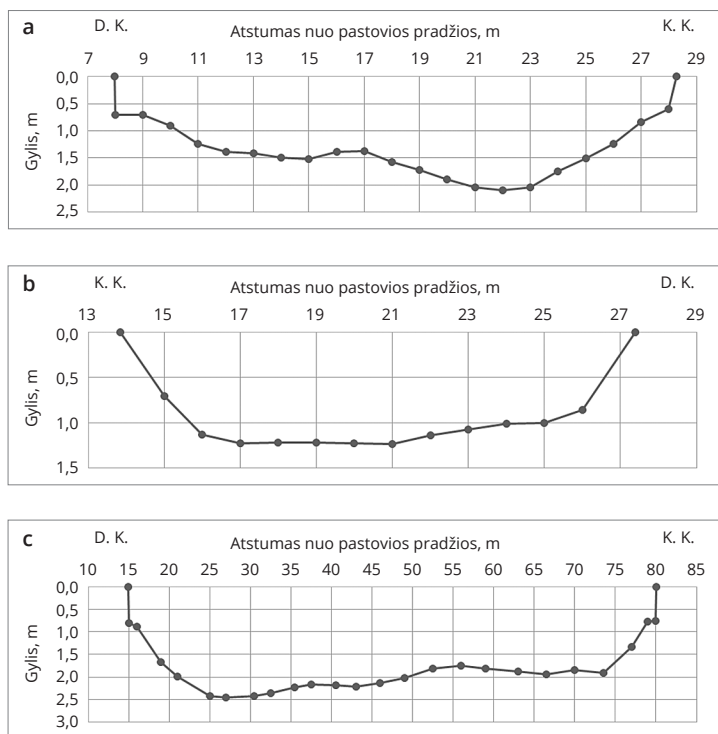
ties itin sausiems laikotarpiams SWLI reikšmės rodo mažiau ekstremalias sąlygas nei SDI. Nepaisant to, visos reikšmių imties koreliacija yra labai stipri ($r = 0,95$) – greičiausiai tai sietina su gerokai didesniu SDI reikšmių, būdingų ekstremaliu sausringumu ar drėgnumu neišsiskiriančioms sąlygoms (kai SDI reikšmės artimos 0), skaičiumi. SWLI atveju daugiau identifikuojama drėgmės sąlygas nurodančių dešimtadienių (132 atvejai), o SDI sekoje vyrauja 132 dešimtadieniai su silpnos sausros sąlygomis upėje. Kitų tipų sausrų kiekis yra panašus – vidutinio stiprumo sausrų atvejų skaičius netgi sutapo.

Stipriausia abiejų indeksų koreliacija iš analizuojamų 8 VMS pasižymėjo Vilniaus ir Smalininkų VMS sausros indekso skaičiavimų duomenys. Naudojant skirtingus duomenis, gautus tiek Neryje ties Vilniumi, tiek Nemune ties Smalininkais, nustatyta, kad rodikliams būdingas labai stiprus ryšys, kurio koreliacijos koeficientas lygus 0,98 (2 pav., g; 2 pav., h). Didžiausiomis SWLI ir SDI koreliacijos reikšmėmis pasižyminčiose vietovėse hidrologinių sausrų ir drėgnumo išsiskiriančių sąlygų pasikartojimas tiriamuoju laikotarpiu, kaip ir anksčiau aptartais atvejais, yra analogiškas – Vilniaus ir Smalininkų VMS atliekamų matavimų duomenimis, didesnę visų dešimtadienių dalį vyravo sausringos sąlygos.

Ties Smalininkų VMS drėgnesnių už normą laikotarpių ir silpnos sausros atvejų pasikartojimas tarp abiejų indeksų skiriasi nedaug (maždaug 7 proc.). Stiprios sausros atvejų pasikartojimas SWLI rezultatų sekoje yra 2 kartus dažnesnis nei jų pasikartojimas SDI sekoje. Visų laikotarpio sausringumą apibūdinančių sąlygų pasikartojimas Neryje ties Vilniumi yra panašus tiek SWLI, tiek SDI rezultatų sekoje. Galima teigti, kad, remiantis Vilniaus VMS duomenimis, skirtingomis metodikomis identifikuotų vandeningumo sąlygų pasikartojimas Neryje yra lygiavertis. Išanalizavus Neries ties Vilniumi gylių profilį, gana aiškiai matoma tokią stiprią koreliaciją ir analogišką įvairių vandeningumo sąlygų pasikartojimą lemianti priežastis. Kadangi Vilniaus miesto centre, ties VMS pjuviu, yra įrengta betoninė krantinė, Neries krantai šiame profilyje yra visiškai statūs (3 pav., c).

Tokiu atveju net menkiausias vandens debito pokytis paveikia ir vandens lygį. Situacija gali pasikeisti nebent vandeniui apsėmus krantinę aukščiau pakrantėse įrengtų takų, tačiau tokia situacija gali būti stebima tik esant potvyniui, todėl neturi poveikio, kai yra vertinamos sausros. Analogiška abiejų šių hidrologinių parametrų kaita lemia jais paremtų skaičiavimo rezultatų lygiavertiškumą.

Apibendrinant galima teigti, kad, palyginus SDI ir SWLI, buvo nustatyta stipri abiejų indeksų koreliacija, kurios koeficientas svyruoja nuo 0,89 iki 0,98 ties visomis 8 analizuotomis VMS. SDI indeksas yra oficialiai pripažintas ir plačiai



3 pav. Debito matavimo gylių profilis, esant vidutiniam vandens debitui laisvoje vagoje: **a** – Žimenoje ties Pabrade, **b** – Bartuvoje ties Skuodu, **c** – Neryje ties Vilniumi (D. K. – dešinysis krantas, K. K. – kairysis krantas).

pasaulyje taikomas hidrologinėms sausroms identifikuoti. Lietuvoje tokia praktika nėra taikoma dėl metodikos specifikos – reikalinga operatyvi vandens debito informacija. O vandens lygio matavimų duomenys Lietuvoje šiuo metu yra nuolat kaupiami automatinų VMS įrangos kaupikliuose ir operatyviai perduodami į Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos serverį, kur informacija yra lengvai prieinama bet kuriuo metu. Dėl šios priežasties vandens lygio duomenys galėtų būti pritaikomi atliekant hidrologinių sausrų indekso skaičiavimus – tai ne tik priartintų hidrologinių sausrų identifikavimą Lietuvos upėse prie oficialių metodikų, bet ir gerokai palengvintų panašių skaičiavimų atlikimą. Tačiau reikia pabrėžti, kad, prieš priimant sprendimą oficialiai taikyti šiame straipsnyje siūlomą sausrų identifikavimo Lietuvoje metodą, būtini papildomi tyrimai, panaudojant daugiau įvairių objektų ir charakteristikų.

IŠVADOS

1. Remiantis SWLI reikšmių analize, daugiausia hidrologinių sausrų šiltuoju 2000–2018 m. sezonu buvo identifikuota Bartuvoje ties Skuodu (245 atvejai). Vertinant hidrologines sausras pagal debito duomenis daugiausia sausrų (213 atvejų) nustatyta Ventoje ties Papile. Visose tirtose VMS didžiąją dalį dešimtadienių tiriamuoju laikotarpiu vyravo sausringos sąlygos, o indeksų reikšmės, identifikuojančios drėgnas sąlygas, pasikartojo nuo 20 proc. (Bartuvoje ties Skuodo VMS) iki 45 proc. (Neryje ties Vilniaus VMS) visų dešimtadienių. Visose 8 VMS vandens lygio ir debito duomenimis parentų indeksų reikšmės pasižymi glaudžiu tarpusavio ryšiu. Geriausiai naudojant skirtingus duomenis gauti rezultatai koreliuoja Nemune ties Smalininkais ir Neryje ties Vilniumi ($r = 0,98$), prasčiausiai – Mūšoje ties Ustukiais ir Ventoje ties Papile ($r = 0,89$). Didžiausi dviejų metodikų nusakomos situacijos (drėgno laikotarpio ir skirtingo stiprumo hidrologinių sausrų) skirtumai gauti ties Ventos, Mūšos ir Bartuvos upių VMS. Naudojant skirtingus duomenis nustatyta, kad daugiausia gautų atvejų pasikartoja Neryje ties Vilniumi.
2. Nustatyta, kad pagal abu metodus identifikuojamų skirtingo stiprumo sausrų pasikartojimo galimybei nemenką įtaką turi upės vagos profilis konkrečioje atkarpoje. Vietovėse, kur upės krantų šlaitai statesni, SWLI ir SDI panašiai apibūdina vandeninumo situaciją ir sausrų atvejų pasikartojimą šiltuoju 2000–2018 m. laikotarpiu (tai ypač būdinga upių atkarpoms su dirbtinėmis krantinėmis). Upių ruožuose, kurių krantai lėkštesni, vyrauja didesni atvejų, gautų naudojant skirtingus duomenis, skirtumai. Kita vertus, ruožuose, kur vagos šlaitų nuolydis kintant aukščiui pernelyg nesikeičia, tiek pagal debitą, tiek pagal vandens lygį gauti indeksai sėkmingai identifikuoja hidrologinę sausrą net ir esant nuožulniems šlaitams (t. y. SWLI visada labiau tinka hidrologinėms sausroms vertinti ten, kur nėra salpos, o kranto polinkis viršuje ir apačioje – panašus).
3. Šiuo metu Lietuvoje taikoma sausrų identifikavimo metodika, paremta faktinio vandens lygio duomenimis ir jų nuokrypiu nuo žemiausio vidutinio šiltojo sezono vandens lygio, įvertina tik kas 10 dienų pasireiškiančią situaciją upėse. Todėl nėra galimybės atsižvelgti į upės vandeninumą ir jo pokyčius laikotarpiu tarp dešimtadienio pradžios ir pabaigos (vertinamas tik konkrečios paros vandens lygis kartą per 10 dienų). Pagal pasaulyje plačiai taikomą SDI metodiką hidrologinės sausras vertinamos taip pat dešimtadienio terminais, tačiau šiuo atveju vandeninumas apibrėžiamas 10 dienų vidutinio

vandens debito duomenimis. Lietuvoje kol kas nėra galimybės vertinant sausras pritaikyti SDI, nes stinga operatyvios informacijos apie kasdienius debitus. Dėl šios priežasties modifikuota SDI skaičiavimo metodika (SWLI), kai indeksas vertinamas remiantis vandens lygio duomenimis, mūsų šalyje gali tapti gera alternatyva identifikuojant hidrologines sausras. Ši metodika būtų ypač tinkama upėms (ar jų atkarpoms) su tolygiu krantų nuolydžiu ir stačiais vagos šlaitais.

LITERATŪRA

1. Cammalleri, C., Vogt, J., Salamon, P. (2017). Development of an operational low-flow index for hydrological drought monitoring over Europe. *Hydrological Sciences Journal*, 62 (3), 346–358.
2. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba prie Aplinkos ministerijos. (2012). Įsakymas Nr. V-28 „Dėl pavojingų meteorologinių ir hidrologinių reiškinių rodiklių patvirtinimo“. [Žiūrėta 2021 m. balandžio 14 d.]. Prieiga internete: http://www.meteo.lt/documents/20181/159594/Teises_aktas_64.pdf/18e6coa3-03d3-4aeb-b7a8-5e2b26bfb3e9.
3. McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, 17–22 January 1993, Anaheim, California. [Žiūrėta 2021 m. balandžio 23 d.]. Prieiga internete: https://www.droughtmanagement.info/literature/AMS_Relationship_Drought_Frequency_Duration_Time_Scales_1993.pdf.
4. Nalbantis, I., Tsakiris, G. (2009). Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23 (5), 881–897.
5. Prudhomme, C., Giuntoli, I., Robinson, E. L. et al. (2014). Hydrological droughts in the 21st century, hotspots and uncertainties from a global multimodel ensemble experiment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111 (9), 3262–3267.
6. 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), 1–10.
7. Svoboda, M., Hayes, M., Wood, D. (2012). *Standardized precipitation index user guide*. Geneva: World Meteorological Organization.
8. Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of climate*, 23 (7), 1696–1718.

IDENTIFICATION OF HYDROLOGICAL DROUGHTS IN LITHUANIAN RIVERS

Gintarė Kugytė, Gintaras Valiuškevičius

Summary

Globally, hydrological droughts are most commonly identified based on various indices calculated from water flow values. However, the water flow rate is calculated from a flow rate curve that needs to be updated constantly, so it takes a long time to resolve its true value. For this reason, the possibility of identifying a hydrological drought on the basis of hourly and prompt treated water levels seems much more attractive. 8 water gauging stations (WGS) operating along 7 important rivers and covering the hydrological areas of visas in the Lithuanian region were selected for the study. In this study, a modified SPI function of the R programming language SPEI package (traditionally used to calculate the standardized precipitation index, SPI) was applied for the streamflow drought index (SDI) calculations. Given how it was applied to the SDI calculation, just like the baseline data, this was the ten-day mean water flow and then the water level. The suitability of water level data for SDI calculations was assessed by analyzing the relationships between SWLI (Standardized Water Level Index) calculated from water level data and SDI calculated from water flow information. SWLI and SDI in all 8 WGS are closely interconnected. It was found that the possibility of recurrence of droughts of different severity identified by both methods is significantly influenced by the profile of the river bed in a specific section. In areas where riverbanks have steeper slopes, the SWLI and SDI similarly describes the water situation and the recurrence of droughts. It is believed that a modified SDI methodology (SWLI), which is based on water level data, may become a good alternative in our country for identifying hydrological droughts.

Keywords: Lithuanian rivers, hydrological drought, identification of droughts, water level, SDI, SWLI.