

# KAZALNIK SUŠE SWD VODNOBILANČNEGA MODELA MGROWA-SI ZA SLOVENIJO

## SWD DROUGHT INDICATOR OF THE MGROWA-SI WATER BALANCE MODEL FOR SLOVENIA

### Ana Strgar

Pro Horto Strgar d. o. o., Suhadolčanova ulica 6, Ljubljana - Črnuče

### Peter Frantar

dr., Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, Vojkova 1b, Ljubljana, peter.frantar@gov.si

### Povzetek

Vodnobilančni model mGROWA-SI, kot enega izmed rezultatov analize vodne bilance za celotno Slovenijo, ponuja tudi kazalnik SWD. To je kazalnik primanjkljaja vode v tleh, v koreninskem sloju, glede na vrsto rabe tal in pedološke značilnosti. Kazalnik SWD omogoča mesečne, sezonske, letne in obdobjne analize suš. Opravljeni so bili analiza letnih povprečij za Slovenijo v obdobju 1971–2013, pregled kazalnika v rastni sezoni in podrobnejši pregled po treh območjih, od Primorske do Pomurja. Ugotovili smo, da se rezultati kazalnika SWD ujemajo z zapisi o sušah, prav tako pa ga lahko uporabimo pri določanju intenzitete suše in pri opredeljevanju geografske razporeditve suše.

### Abstract

As one of the analysis results of water balance for the whole of Slovenia, the mGROWA-SI water balance model offers the SWD drought indicator. This is an indicator of soil water deficit in the root zone with regard to the type of soil use and pedological characteristics. The SWD indicator provides monthly, seasonal, annual and periodic drought analyses. An analysis of annual averages for Slovenia in the period 1971-2013 has been conducted, and a review of the indicator during the growing season has been carried out, as well as a detailed examination of three areas, from the Primorska to the Pomurje regions. The results revealed that the analyses of the SWD indicator correspond to drought reports, and that the indicator can be used for determining drought intensity and the geographical distribution of a drought.

## Uvod

Suša je vsem znana beseda, pomen suše pa je lahko subjektiven, drugačen za vsakega deležnika posebej, odvisen od posamezne regije ter vrste dejavnosti. Največkrat sušo razumemo kot pomanjkanje vode v prsti, tleh. Slovar slovenskega knjižnega jezika jo opredeljuje kot »stanje zelo majhne vlage v zemlji«, Slovenski pravopis pa kot »pomanjkanje vode« (Fran, 2019). Strokovna literatura prav tako opredeljuje različne suše glede na dejavnost oziroma vrsto vode, enoznačnega pojma o suši pa ni (Brenčič, 2017; Gregorič, 2014). V najširšem pomenu pa gre pri suši, ne glede na vrsto suše, za pomanjkanje vode, ki ga opredelimo kot stanje, ko je potreba po vodi več, kot je vode na razpolago (FAO, 2012). Kmetijska suša je družbeno in strokovno najbolj opredeljena (npr. Sušnik, 2013; Gregorič, 2014; AMPS, 2019), druge vrste hidroloških suš pa so manj znane, najbolj pa se jih zavemo ob pomanjkanju pitne vode. Na svetu poznamo več indeksov in kazalnikov suše (WMO, 2016; Iršič Žibert in Muri, 2014; Pogačar et al., 2014; Sušnik et al., 2017 in drugi), katerih uporabnost je odvisna od tipa suše (meteorološka, kmetijska, hidrološka).

Z modelom mGROWA-SI, ki je bil izdelan v sodelovanju med raziskovalnim centrom Jülich v Nemčiji in Agencijo Republike Slovenije za okolje (v nadaljnjem besedilu: ARSO), smo za območje Slovenije izdelali kazalnik suše SWD. To je kazalnik razpoložljivosti vode v tleh, prsti, zemlji, v primerjavi s potrebami vegetacije. Kazalnik SWD torej kaže na sušo v tleh tako na kmetijskih kot tudi na nekmetijskih (npr. gozdnih) območjih. Z modelom je izračunano obdobje od leta 1971 do 2013, predstavljeni pa so glavni rezultati, povezani s pojavom suš v Sloveniji, in primernost kazalnika SWD kot kazalnika suše.

## Metodologija v vodnobilančnem modelu mGROWA-SI

Za uspešno trajnostno upravljanje voda je potrebno dobro poznavanje vodnega kroga in vodne bilance. Ta je osnova za izračun količinskega stanja vode, ki je temelj trajnostnemu upravljanju. Za območje Slovenije je bilo izdelanih več obdobjnih vodnih bilanc (Kolbezen in Pristov, 1998; Frantar ur., 2008), leta 2008 pa smo na ARSO

v sodelovanju z raziskovalnim centrom Jülich v Nemčiji (FZJ) začeli razvijati obdobjni vodnobilančni model GROWA v letni časovni natančnosti za celotno Slovenijo (Andjelov in sod., 2016). Leta 2015 je sledil razvoj novega vodnobilančnega modela mGROWA-SI z novimi metodološkimi pristopi, izboljšano časovno natančnostjo in integriranim snežnim modulom (Frantar in sod., 2018), sam model pa je uporabljen na več regijah po Evropi in Sredozemlju (Wendland, et al., 2013; Herrmann et al., 2013; Herrmann et al., 2016).

Model mGROWA-SI je deterministični rastrski model, katerega osnovni namen je izračun napajanja podzemne vode v časovni natančnosti enega meseca, preostali deli vodne bilance pa so rezultat celostnega bilančnega modela. Model mGROWA-SI deluje v celicah velikosti 100 x 100 m na vsem ozemlju Slovenije. Modelska časovna skala je en dan, sprejemljiva natančnost rezultatov modela pa je različna, od dnevne do mesečne. Osnovni podatki modela za izračun vodne bilance so geografski podatki o rabi tal, reliefu, kamninah, neprepustnih površinah, pedoloških značilnostih, globini podzemne vode, hidrogeoloških enotah in prepustnosti, odvodnjavanju, zastajanju vode in meteorološki podatki o padavinah, potencialnem izhlapevanju ter podatki za simulacijo snežne odeje. (Herrmann et al., 2013; Frantar et al., 2018).

Transport vode v prsti se izračunava s pomočjo podmodela po 30-cm plasteh. Ta podmodel temelji na nemškem modelu vodne bilance v tleh BOWAB, ki na podlagi hidro-pedoloških lastnosti tal in rabe tal izvede analizo dejanskega izhlapevanja, porabe vode v tleh, pronicanja vode, odtoka in s tem primanjkljaja vode v tleh (kazalnik SWD-). Dejansko izhlapevanje oziroma porabo vode iz prsti se izračuna glede na rabo tal, ki jo ima posamezna celica v modelu (npr. pašnik, travnik, njiva, gozd ...). Na osnovi potreb rastlin in količine vode v prsti se oceni primanjkljaj vode v tleh (Herrmann et al., 2016; Frantar et al., 2018).

## Kazalnik SWD kot kazalnik suše

Kazalnik primanjkljaja vode v tleh iz modela mGROWA-SI je primeren za oceno suše v tleh kot ene izmed medsebojno soodvisnih suš, ki ga lahko modelsko izračunamo za območje vse Slovenije. Kazalnik SWD pove, kakšna je stopnja primanjkljaja vode v tleh v odstotkih. Prvotno je bil razvit za napovedovanje potreb po namakanju v kmetijstvu v sušnih obdobjih (Herrmann et al., 2016). Uporabnost kazalnika poveča možnost upoštevanja preteklih sušnih obdobjih, analizo intenzitet suš ter možnost napovedovanja skrajno sušnih obdobjih ob podnebnih spremembah, odprte pa so tudi možnosti za kratkoročnejše napovedi suš. Prednost kazalnika je, da kaže na **sušo celotne Slovenije**, ne le kmetijskih zemljišč, ki jih je v Sloveniji okrog 25 % (KIS, 2018). Omogoča kvantitativno oceno in primerljivost med različnimi območji v Sloveniji.

V modelu mGROWA-SI je za izračun kazalnika SWD uporabljena ta enačba:

$$SWD = 100 - \left( \frac{\theta - \theta_{pwp}}{\theta_{fk} - \theta_{pwp}} \times 100 \right),$$

kjer je  $\theta$  dejanska vsebnost vode v tleh (izračunana z podmodelom BOWAB),  $\theta_{pwp}$  minimalna vlaga, potrebna, da rastlina ne oveni (točka venenja) in  $\theta_{fk}$  poljska kapaciteta, ki pove, koliko vlage ostane v prsti, ko gravitacijska voda odteče. Minimalna vlaga in poljska kapaciteta sta ocenjeni na podlagi podatkov o rabi tal (uporabljen je sloj pokrovnosti Corine Land Cover) in rastlinskih koeficientih danega meseca.

Če dejanska vsebnost vode presega poljsko kapaciteto prsti, pride do napajanja nižje ležečega sloja tal in je vrednost kazalnika SWD manjša od 0. Ko je dejanska vsebnost vode enaka poljski kapaciteti, je SWD enak 0, z nižanjem vsebnosti vode v tleh pa se viša – ko doseže dejanska vsebnost vode v tleh točko venenja, je SWD enak 100 (preglednica 1). Vrednost 100 pomeni, da rastlina nima na razpolago nič vode.

SWD	
< 0	$\theta > \theta_{fk}$
0	$\theta = \theta_{fk}$
50	$\theta_{fk} > \theta > \theta_{pwp}$
100	$\theta = \theta_{pwp}$
> 100	$\theta < \theta_{pwp}$

Preglednica 1: Primer vrednosti SWD in posledični odnos med dejansko vsebnostjo vode v tleh  $\theta$ , točko venenja  $\theta_{pwp}$  in poljsko kapaciteto  $\theta_{fk}$ .

Table 1 An example of SWD values, and the consequential relation between the actual soil water content  $\theta$ , the wilting point  $\theta_{pwp}$  and the field capacity  $\theta_{fk}$ .

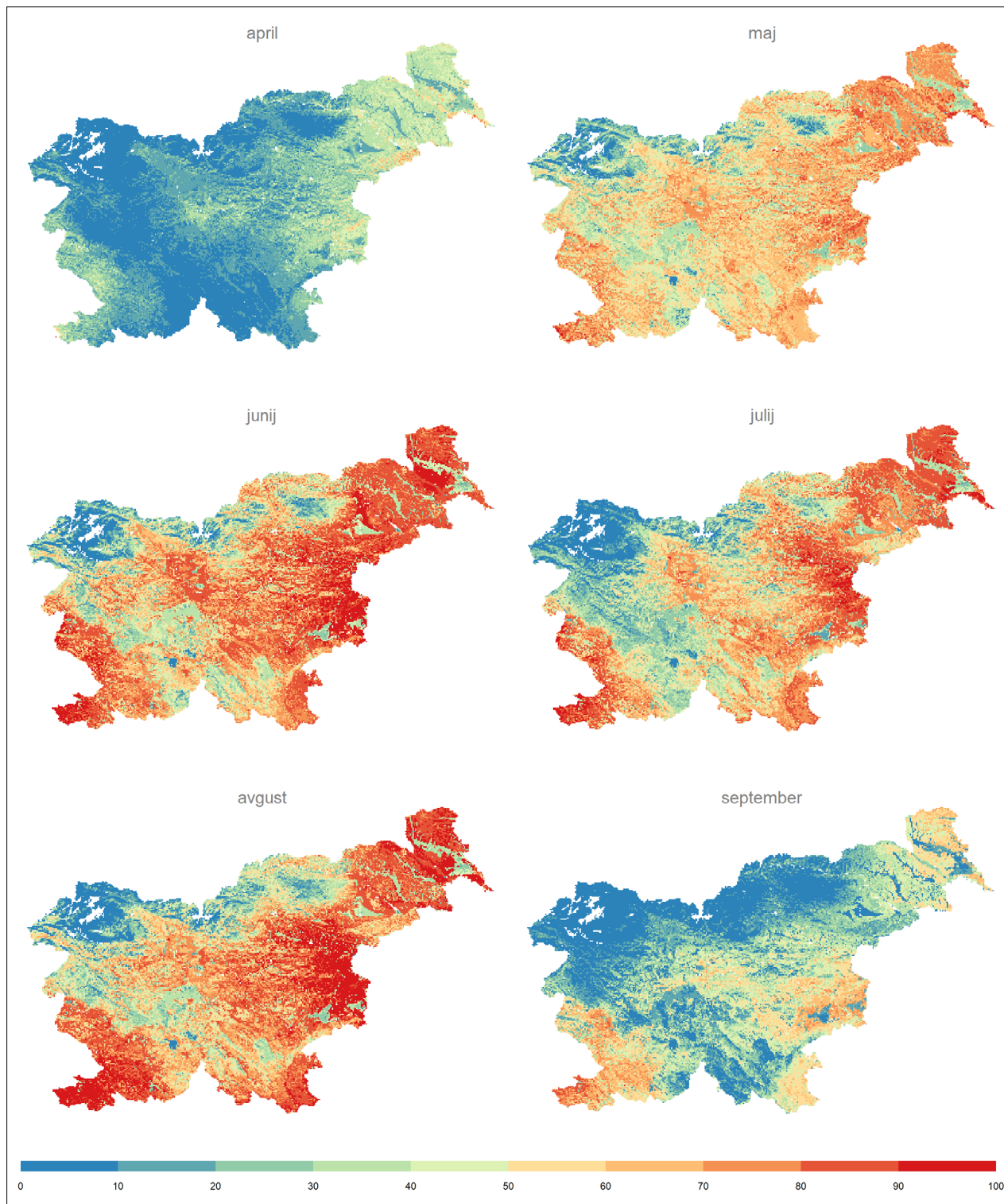
Kazalnik SWD se izračunava na dnevni ravni, model mGROWA-SI pa omogoča tudi izračun statistike v rastni sezoni – od začetka aprila do konca septembra s številom dni nad določeno mejo vrednosti SWD (NDSWD) in maksimalnim zaporednim številom dni nad to mejo (MDSWD). Mejo SWD opredelimo na osnovi strokovne presoje in jo lahko spreminjamo z ustreznimi argumenti.

## Primeri rabe kazalnika SWD za Slovenijo

Primer geografske in časovne porazdelitve kazalnika SWD v rastni sezoni je prikazan na sliki 1 (april–september 2003). Opazno je postopno naraščanje kazalnika od aprila do junija po celotni Sloveniji, julija je kazalnik rahlo upadel, a je še vedno zelo povišan v severovzhodni in vzhodni Sloveniji ter na Primorskem, avgusta pa

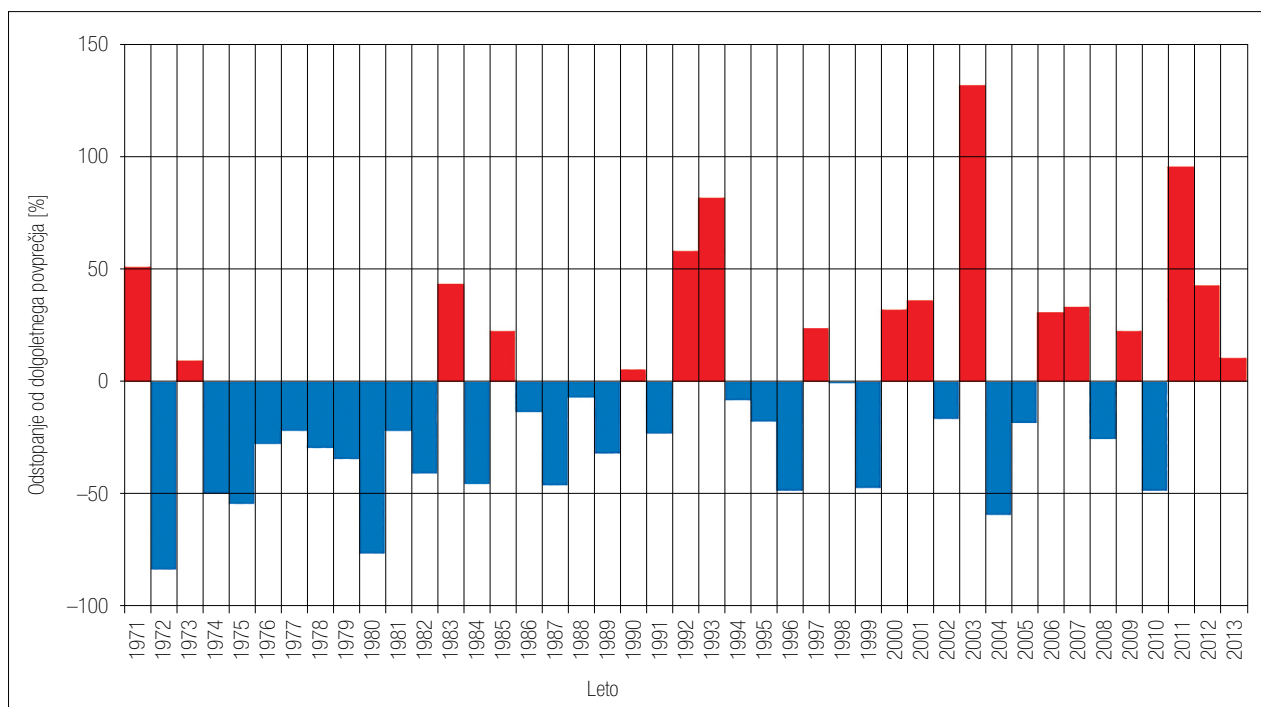
znova nastopi suša, ki traja vse do septembra. Primanjkljaj vode v tleh in zaradi tega povišan kazalnik SWD sta posledica povečane potrebe rastlin po vodi v rastni sezoni in manjših količin padavin v poletnih mesecih. Najmanj pomanjkanja vode v tleh je v gorovjih (Julijske Alpe, Karavanke, Kamniško-Savinjske Alpe in Dinarsko gorstvo), kar je najbolj vidno aprila in septembra.

Primernost kazalnika SWD kot kazalnika suše smo preverili z modelom mGROWA-SI za obdobje 1971–2013, kot referenčno obdobje pa je bilo uporabljeno tridesetletno obdobje od leta 1981 do 2010. V tem obdobju je kazalnik SWD povprečno znašal 9,92. Odstopanja letnih povprečij za vso Slovenijo od dolgoletnega povprečja 1981–2010 so prikazana na sliki 2. Negativno



Slika 1: Primer porazdelitve kazalnika SWD v sušnem obdobju v rastni sezoni (april–september 2003) – povprečje kazalnika v mesecu.

Figure 1: An example of SWD indicator distribution in the drought period during the growing season (April–September 2003) – indicator averages for particular months



Slika 2: Odstopanje letnih povprečji od povprečja obdobja 1981–2010 za območje cele Slovenije.

Figure 2: Deviations of annual averages from the average in the period 1981-2010 for the whole of Slovenia

odstopanje pomeni mokra leta, pozitivno odstopanje pa sušna leta glede na tridesetletno obdobje. Najvišje negativno odstopanje od povprečja je bilo leta 1972, najvišje pozitivno pa leta 2003. Kot sušna leta izstopajo še leta 1971, 1992, 1993 ter 2011. Poudarjamo, da so to povprečja celega leta na območju celotne Slovenije, kar pomeni, da so bila lahko izredno sušna obdobja tudi, kadar letno povprečje tega ne kaže. Podobno velja za posamezna območja, ki ne pridejo do izraza pri povprečenju na celotno Slovenijo.

Spremenljivost geografske porazdelitve povprečja kazalnika SWD v poletnih mesecih (junij, julij, avgust) v obdobju od leta 1971 do 2013 je prikazana na sliki 3. Podobno kot na sliki 2 tudi tu pridejo do izraza leta 1971, 1983, 1992, 1993, 2000, 2003 ter 2011, 2012 in 2013, kjer je kazalnik SWD visok v večjem delu Slovenije. Ena največjih prednosti modelskega rezultata je prikaz geografske razporeditve suše v državi v poletni sezoni. Na osnovi posameznih prikazov lahko primerjamo poročila o sušah in modelske rezultate, ki so pokazali na zelo dobro ujemanje (poglavje 5).

Analiza sezonske porazdelitve kazalnika SWD je pokazala, da so vrednosti nad 60 dosežene v glavnem le poleti, redko tudi jeseni (v letih 1971 in 1985).

V analizi smo se osredotočili še na tri testne predele Slovenije, v katerih so sušna obdobja pogostejšain suše intenzivnejše. Območja smo delno poimenovali po imenih vodnih teles podzemnih voda, ki sta Murska kotlina in Dravska kotlina, tretje območje pa je območje fliša v Koprskih brdih, v Koprskem primorju. Primerjava mesečnih povprečij med celotno Slovenijo in testnimi

predeli pokaže (slika 4), da so vrednosti na testnih območjih opazno višje. Mesečno povprečje za celotno Slovenijo redko preseže vrednost kazalnika SWD 60, na testnih območjih pa je vrednost 60 pogosto presežena ne le v poletnih mesecih, ampak tudi maja in septembra ter oktobra na območju fliša Koprskih brd in v Dravski kotlini.

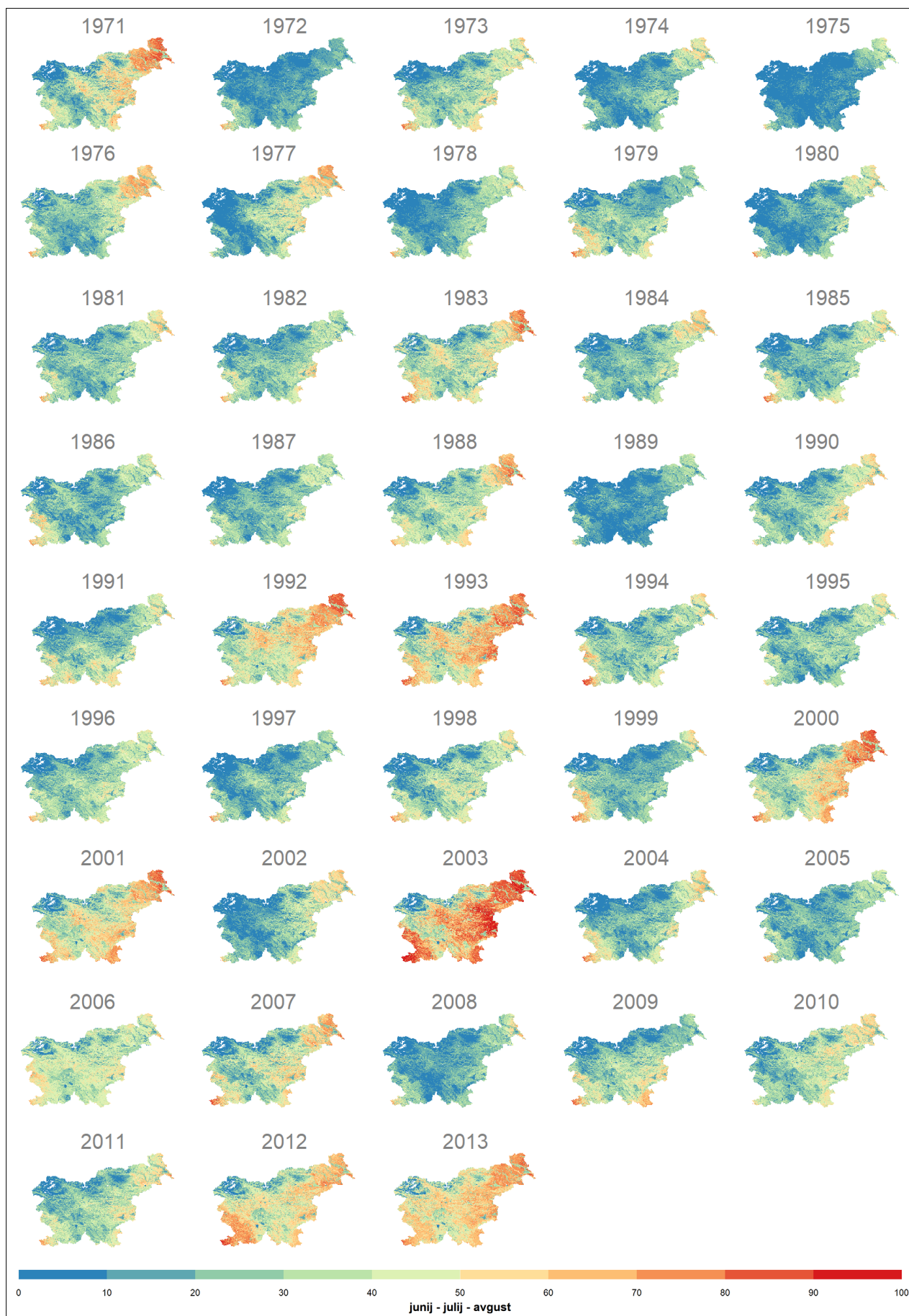
## Analiza sušnih obdobj

V drugi polovici 20. stoletja ter na začetku 21. stoletja lahko opazimo porast števila in intenzitete sušnih obdobj v zadnjih analiziranih letih. V zadnjih dvajsetih letih je bilo suš, ki so povzročile škodo na državnih ravni, kar osem (Sušnik in Gregorič, 2017). Za primerjavo obdobj s povišanim kazalnikom SWD s podatki v literaturi so bile mesečne povprečne vrednosti SWD od leta 2001 do 2013 razdeljene v tri razrede. Vrednosti med 45 in 60 označujejo mesece s šibko sušo, vrednosti med 60 in 80 sušne mesece in vrednosti nad 80 mesece z močno sušo (preglednica 2).

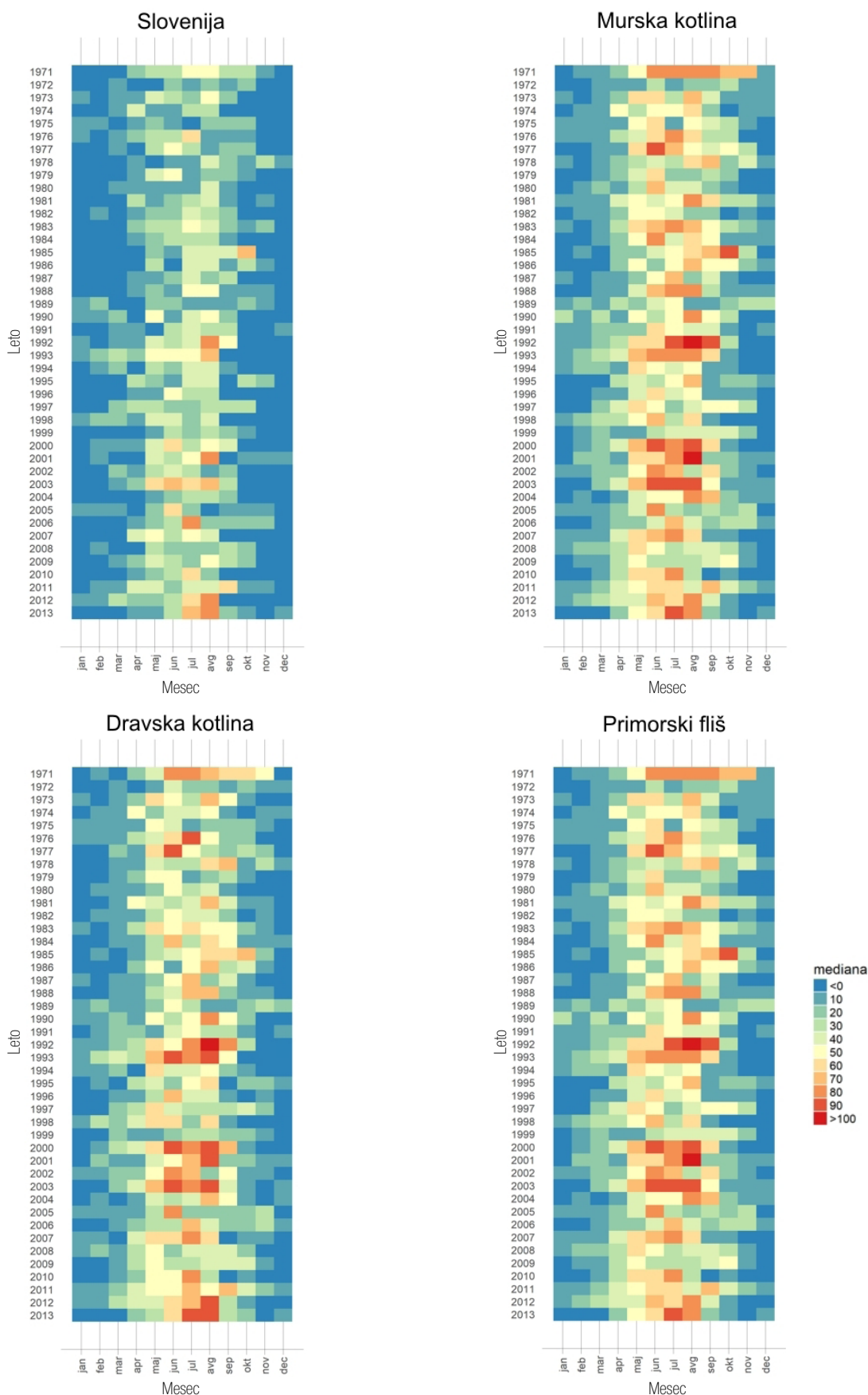
SWD	Opis
45–60	šibka suša
60–80	suša
80+	močna suša

Preglednica 2: Razredi SWD-vrednosti in opis intenzitete suše

Table 2: SWD value classes, and a description of drought intensity



Slika 3: Prostorska porazdelitev kazalnika SWD v poletnih mesecih v obdobju od leta 1971 do 2013  
 Figure 3: Spatial distribution of the SWD indicator during the summer months in the period 1971-2013



Slika 4: Primerjava mesečnih povprečji po letih glede na regijo; SWD – celotna Slovenija, MK – Murska kotlina, DK – Dravska kotlina, PF – fliš Koprskih brd

Figure 4: A comparison of monthly averages by year and region (SWD – the whole of Slovenia; MK – the Muska kotlina basin; DK – the Dravska kotlina basin; PF – flysch in the Kopraska brda hills)

Leta 2000 so povprečne mesečne vrednosti kazalnika SWD za celotno Slovenijo presegle mejo 45 v mesecu juniju in avgustu, medtem ko so na vseh treh testnih območjih vrednosti naraščale že maja (v Dravski kotlini presežejo vrednost 45 /šibka suša/, v Murski kotlini in primorskem pa že vrednost 60 /suša/), ki jim nato sledi močna suša v juniju (SWD > 80), v juliju rahlo nižja (SWD med 60 in 80) in nato spet močna suša v avgustu. Septembra nato v Murski kotlini in na Primorskem padejo vrednosti kazalnika SWD pod 60, v Dravski kotlini pa še zmeraj označujejo obdobje suše (SWD med 60 in 80). Zapisi o preteklih sušah (Matajč, 2001; Zorn et al., 2015; ARSO, 2018) beležijo leta 2000 močni suši v juniju in avgustu, kar se ujema z vrednostmi kazalnika SWD.

Zelo močna suša državnih razsežnosti se je zgodila leta 2003, ko je škoda v kmetijstvu znašala 130 milijonov evrov (Sušnik in Kurnik, 2004; Sušnik in Gregorič, 2017; ARSO, 2018). Na podlagi analize kazalnika SWD lahko ugotovimo, da se je sušno obdobje začelo v maju ter je v Pomurju in Koprskih brdih trajalo vse do septembra. V maju so na vseh treh testnih območjih vrednosti presegle SWD 60, junija se je začela močna suša s kazalnikom SWD nad 80, ki je v Murski kotlini in na območju Koprskih brd trajala vse do avgusta, v Dravski kotlini pa imamo julija rahlo omilitev. Septembra kazalnik SWD kaže le še na šibko sušo (SWD med 45 in 60).

Med letoma 2004 in 2011 se na podlagi kazalnika SWD sušna obdobja pojavijo avgusta in septembra 2004, junija 2005, julija 2006, junija in julija 2007, julija 2010 in septembra 2011. Vmes so posamezna obdobja šibke suše, močna suša pa se pojavi šele avgusta 2012. Suše v posameznih letih so opisane tudi v dozdajšnjih revijah

Ujma: suša leta 2006 (Sušnik, 2007), leta 2007 (Sušnik in Matajč, 2008), leta 2011 (Sušnik in Valher, 2012), vse pa so omenjene tudi v internem poročilu ARSO (ARSO, 2018).

Leta 2013 je Slovenijo znova prizadela zelo močna suša (ARSO, 2017; Sušnik, 2014; Iršič Žibert in Muri, 2014; Sušnik in Valher, 2014). Kazalnik SWD kaže na začetek šibke suše maja, ki je dosegla vrhunec julija na vseh treh testnih območjih. V Dravski kotlini je kazalnik SWD tudi v avgustu nad 80, v Murski kotlini in na območju fliša Koprskih brd pa pade na vrednost med 60 in 80.

## Sklepne misli

Primerjava sušnih obdobj med posameznimi testnimi območji je pokazala, da sta si Murska kotlina in območje primorskega fliša zelo podobna v trajanju in intenziteti sušnih obdobj, medtem ko suša v Dravski kotlini včasih traja manj časa in ni tako močna. Le redko (npr. avgust 2013) je kazalnik SWD pokazal močnejšo sušo na območju Dravske kotline kot na območjih Murske kotline ali fliša Koprskih brd.

Sklenemo lahko, da kazalnik SWD kot rezultat modela mGROWA-SI lahko uporabimo kot kazalnik suše. To kažejo zgoraj opisane analize in primerjave s poročili o sušah (Sušnik in Gregorič, 2017; Zorn in Hrvatina, 2015 idr.). Prednosti kazalnika so celotna geografska pokritost ozemlja Slovenije ter precejšnja časovna in geografska natančnost. Obstaja še veliko možnosti za izboljšave modela, kljub temu pa je to edini model, ki poleg kazalnika SWD za celotno območje Slovenije omogoča vodnobilančne analize na dnevni ravni v 100-m prostorski ravni.

## Viri in literatura

1. Agencija RS za okolje – ARSO, 2017. Ocena tveganja za sušo. MOP-ARSO. [citirano 1. aprila 2019]. [www.meteo.si/uploads/probase/www/agromet/OT/Ocena\\_tveganja\\_Susa\\_DOPOLNJENA\\_PS.pdf](http://www.meteo.si/uploads/probase/www/agromet/OT/Ocena_tveganja_Susa_DOPOLNJENA_PS.pdf)
2. Agencija RS za okolje – ARSO, 2018. Preglednica suš v zadnjih desetletjih. Interno gradivo.
3. Agrometeorološki portal Slovenije – AMPS, 2019. Suša/moča. [citirano 15. aprila 2019] <http://agromet.mko.gov.si/index.asp?ID=Susa/default.asp>
4. Andjelov, M., Mikulič, Z., Tetzlaff, B., Uhan, J., Wendland, F., 2016. Groundwater recharge in Slovenia: Results of a bilateral German-Slovenian Research project. Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich.
5. Brenčič, M., 2017. Kaj je Suša. 28. Mišičev vodarski dan 2017. Zbornik. [www.mvd20.com/LETO2017/R4.pdf](http://www.mvd20.com/LETO2017/R4.pdf)
6. FAO, 2012. Coping with water scarcity, An action framework for agriculture and food security. FAO Water Reports 38. [citirano 1. aprila 2019] <http://www.fao.org/docrep/016/i3015e/i3015e.pdf>
7. Fran, 2019. Fran, slovarji Inštituta za slovenski jezik Frana Ramovša ZRC SAZU, Različica 6.0, 3. december 2018, Medmrežje: [www.fran.si](http://www.fran.si)
8. Frantar, P., Herrmann, F., Andjelov, M., Draksler, A., Wendland, F., 2018. Vodnobilančni model mGROWA-SI. Mišičev vodarski dan 2018. Maribor.
9. Frantar, P., ur., 2008. Vodna bilanca Slovenije 1971–2000. MOP-ARSO.
10. Gregorič, G., Muri, B., 2014. Monitoring suše na Agenciji RS za okolje.
11. Herrmann, F., Chen, S., Heidt, L., Elbracht, J., Engel, N., Kunkel, R., Müller, U., Röhm, H., Vereecken, H., Wendland, F., 2013. Zeitlich und räumlich hochaufgelöste flächendifferenzierte Simulation des Landschaftswasserhaushalts in Niedersachsen mit dem Model mGROWA. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 2013; 57: 206-224. DOI: 10.5675/HyWa\_2013,5\_2.
12. Herrmann, F., Kunkel, R., Ostermann, U., Vereecken, H., Wendland, F., 2016. Projected impact of climate change on irrigation needs and groundwater resources in the metropolitan area of Hamburg (Germany). *Environmental Earth Sciences* 2016; 75. DOI: 10.1007/s12665-016-5904-y.
13. Iršič Žibert, M., Muri, B., 2014. Satelitsko zaznavanje stanja vegetacije na regionalni ravni – primer poletja 2013. *Ujma*, 28. 219–222.
14. Kmetijski inštitut Slovenije – KIS, 2018. Slovensko kmetijstvo v številkah 2018. [citirano 1. aprila 2019]. [https://www.kis.si/f/docs/Slovensko\\_kmetijstvo\\_v\\_stevilkah\\_OEK/KIS\\_Slovensko\\_kmetijstvo\\_v\\_stevilkah\\_2018\\_SLO\\_splet.pdf](https://www.kis.si/f/docs/Slovensko_kmetijstvo_v_stevilkah_OEK/KIS_Slovensko_kmetijstvo_v_stevilkah_2018_SLO_splet.pdf)

15. Kolbezen, M., Pristov, J., 1998. Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije. Hidrometeorološki zavod Slovenije. Ljubljana.
16. Matajc, I., 2001. Značilnosti in posledice kmetijske suše leta 2000 v Sloveniji. Ujma, 14-15, 165-161.
17. Pogačar, T., Kajfež Bogataj, L., Črepinšek, Z., 2014. Sledenje suše v Sloveniji in po svetu. Ujma, 28, 65-95.
18. Sušnik, A., 2007. Vzroki in posledice kmetijske suše 2006. Ujma, 21, 73-79.
19. Sušnik, A., 2013. Kmetijska suša – od sledenja do upravljanja. »Nacionalno posvetovanje o prilagajanju podnebnim spremembam in sušim«, Ljubljana, 6. februar 2013. Medmrežje: <https://www.arso.gov.si/podnebne%20spremembe/.../Susnik.pdf>
20. Sušnik, A., Gregorič, G., 2017. Kmetijska suša v 21. stoletju v Sloveniji. Mišičev vodarski dan 2017 (zbornik).
21. Sušnik, A., Gregorič, G., Oblišar, G., Žun, M., 2017. Novi pristopi pri sledenju suše v Podonavju – mednarodni projekt DriDanube. Ujma, 31, 133-137.
22. Sušnik, A., Kurnik, B., 2004. Katastrofalna kmetijska suša leta 2003. Ujma 17-18, 54-60.
23. Sušnik, A., Matajc, I., 2008. Kmetijska suša v Sloveniji leta 2007. Ujma 22, 37-42.
24. Sušnik, A., Valher, A., 2012. Spomladanska suša in drugi vremenski vplivi na kmetijske rastline leta 2011. Ujma 26, 55-69.
25. Wendland, F., Herrmann, F., Kunkel, R. and B. Tetzlaff, 2013. System of GROWA models – History and application in Germany and abroad. 24. Mišičev vodarski dan – Zbornik referatov, Maribor.
26. WMO, 2016. Handbook of Drought Indicators and Indices. Integrated Drought Management Programme, WMO-No. 1173.
27. Zorn, M., Hrvatin, M., 2015. Škoda zaradi naravnih nesreč v Sloveniji med letoma 1991 in 2008. Ujma 29, 135-148.