ANALIZA SUŠE IN NJENIH TRENDOV S POMOČJO STANDARDIZIRANEGA PADAVINSKEGA INDEKSA

Urša Šebenik
Inštitut za trajnostni razvoj
Trubarjeva 50, 1000 Ljubljana
ursa.sebenik@gmail.com

1 UVOD

Voda je bistvenega pomena za življenje in nepogrešljiv vir za skoraj vse človekove dejavnosti. Preko številnih povezav in povratnih zank je voda povezana s podnebjem, tako da vse spremembe v podnebju povzročajo tudi spremembe v hidrološkem krogu. Med pojave, vezane na vodni krog, spadajo tudi ekstremni vremenski pojavi, kot so suše in poplave. V primerjavi z ostalimi naravnimi nesrečami se suše najpočasneje razvijejo, pogosto trajajo najdlje in so v tem trenutku najmanj predvidljive in napovedljive med »atmosferskimi« nesrečami (Mishra in Singh, 2010). Zato se suša in z njo povezano pomanjkanje vode kažeta kot izziva današnjega časa za celoten svet, pri tem pa tudi Slovenija ni izjema.

Za ustrezno in pravočasno ukrepanje je potrebno poznavanje značilnosti suše, njenih razlik v primerjavi z ostalimi naravnimi nesrečami ter njenih vplivov na gospodarstvo, okolje in družbo. Sušo je težko zaznati in spremljati njen razvoj. Sušni indeksi so zato danes nepogrešljivo orodje za zaznavanje, spremljanje in oceno stanja sušnega dogodka. Eden izmed najpogosteje uporabljenih je standardiziran padavinski indeks (SPI), ki je bil razvit z namenom izboljšanja odkrivanja in spremljanja razvoja suše. SPI ima več značilnosti, ki predstavljajo izboljšave v primerjavi s prej razvitimi indeksi, predvsem preprostost izračuna in časovno fleksibilnost, ki omogoča uporabo indeksa tudi pri spremljanju stanja vodnih virov na različnih časovnih skalah.

Namen prispevka je predstaviti (1) metodologijo izračuna indeksa SPI, (2) opredeliti sušo, oz. narediti točkovno analizo sušnih obdobij s pomočjo standardiziranega padavinskega indeksa za najdaljše možno obdobje meritev za pet meteoroloških postaj, ki predstavljajo podnebno raznolikost Slovenije, (3) narediti primerjavo izračunanih vrednosti indeksa za skupno presečno obdobje in glede na aktualnost podnebnih sprememb in (4) analizirati trend za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad za dve različni obdobji izračuna.

2 METODOLOGIJA STANDARDIZIRANEGA PADAVINSKEGA INDEKSA (SPI)

SPI je bil razvit kot relativno preprost meteorološki indeks, uporaben za ovrednotenje primanjkljaja oz. presežka padavin na različnih časovnih skalah in oceno njegovega vpliva na vlažnost tal, pretok rek, zalogo podtalne vode. Standardiziran padavinski indeks nam omogoča določevanje pogostosti ekstremno suhih oz. ekstremno mokrih dogodkov na določeni časovni skali za katerokoli lokacijo, ki ima arhiviran padavinski niz podatkov (Gregorič in Ceglar, 2007). SPI nam predstavlja, kaj količina padavin, padla v določenem časovnem obdobju, pomeni glede na normalno oz. pričakovano

količino padavin za to obdobje. Edini vhodni podatek za njegov izračun predstavljajo padavine.

Prvi korak pri izračunu indeksa SPI je določitev gostote verjetnosti, s katero opišemo pretekli niz padavin, ki je lahko podan za katero koli časovno obdobje (serija skupnih padavin za 1 mesec, 2 meseca, 6 mesecev, 1 leto, 3 leta,…). Ko je gostota verjetnosti določena, se izračuna porazdelitvena funkcija (kumulativna verjetnost) za merjeno vsoto padavin. Porazdelitvena funkcija se nato normalizira. Rezultat je vrednost indeksa SPI (Edwards, 1997).

Za izbrane meteorološke postaje (Ljubljana-Bežigrad, Maribor-Tabor, Celje, Novo mesto in Celje) smo s pomočjo verjetnostne analize izbrali za izračun SPI gama porazdelitev z gostoto verjetnosti (Thom, 1966) (1):

$$g_X(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha}(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}. \qquad (1)$$

Nato je potrebno določiti parametra gama porazdelitve *α* (2) in *β* (3) po metodi največjega verjetja tako, da se gostota verjetnosti (1) najbolje ujema s porazdelitvijo padavin:

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A}\left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}\right) \qquad (2)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}}, \qquad (3)$$

kjer za *n* opazovanj *A* (4) predstavlja:

$$A = \ln \bar{x} - \frac{\Sigma \ln x}{n}. \qquad (4)$$

Porazdelitev gama pa ni definirana za *x* = 0, kar pomeni, da ni definirana za dogodke, ko ni padavin, kar je pri identifikaciji sušnih dogodkov povsem mogoče. Porazdelitveno funkcijo (5) zato zapišemo kot:

$$H_X(x) = q + (1 - q)\, G_X(x), \qquad (5)$$

kjer je *q* verjetnost, da ni padavin (*x* = 0). Če je *m* število padavinskih dogodkov brez padavin (*x* = 0) v posameznem časovnem obdobju, je verjetnost *q* kar enaka:

$$q = m/n. \qquad (6)$$

Porazdelitveno funkcijo je nato potrebno transformirati v standardizirano normalno slučajno spremenljivko oz. uporabiti inverzno funkcijo standardizirane normalne (Gaussove) porazdelitve, kar predstavlja vrednost indeksa SPI.

3 REZULTATI IN ANALIZA PRETEKLIH SUŠNIH DOGODKOV S POMOČJO STANDARDIZIRANEGA PADAVINSKEGA INDEKSA (SPI)

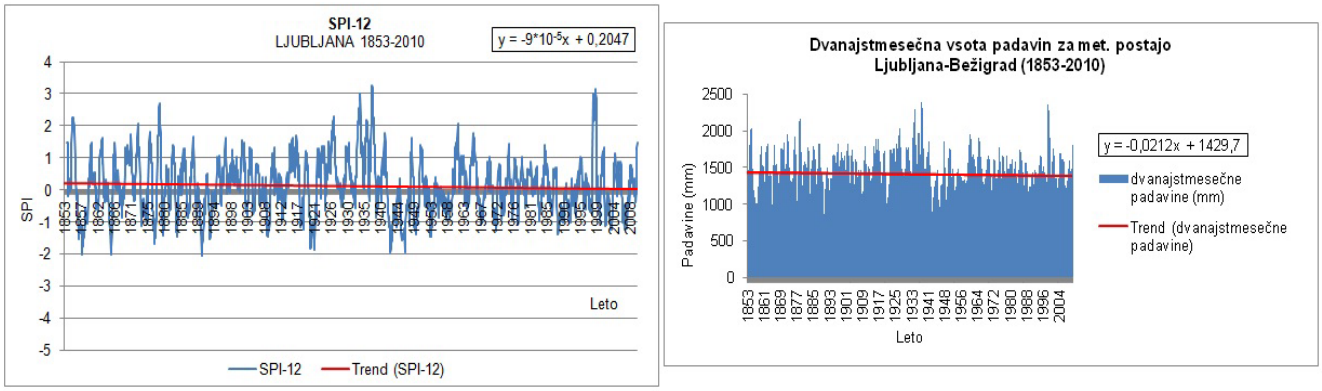
Izbrali smo pet meteoroloških postaj, ki imajo na voljo daljši padavinski niz podatkov (več kot 30 let) in izračunali SPI na šestih časovnih skalah (ena-, dve-, tri-, šest-, devet- in dvanajstmesečni skali). Izbrane so bile meteorološke postaje Ljubljana-Bežigrad, Maribor-Tabor, Celje, Novo mesto in Trst, ki kažejo na podnebno raznolikost Slovenije. Izračunane vrednosti indeksa smo nato za najdaljši dostopni

niz podatkov in za vse časovne skale izračuna primerjali in izvrednotili sušna obdobja na posamezni lokaciji.

Posebej je narejen tudi izračun indeksov za presečno obdobje 1951–2004 na vseh izbranih postajah in časovnih skalah. Vrednosti za posamezne lokacije smo primerjali med seboj in poiskali skupna sušna obdobja. Ugotovili smo, da v začetku in koncu opazovanega obdobja meteorološke postaje Ljubljana-Bežigrad, Novo mesto in Trst kažejo podoben vzorec pojavljanja sušnih in mokrih obdobij, kar bi lahko rekli tudi za meteorološki postaji Celje in Maribor-Tabor. Suša nikoli ne zajame enakomerno celotne Slovenije, kar potrjuje trditev, da je suša regionalen pojav. V analiziranem obdobju je bilo kar nekaj suhih let, mednje spadajo leta 1954, 1968, 1971, 1972, 1983, 1988/1989, 1992, 1997/1998, 2000 in leto 2003 z rekordno sušnim in vročim poletjem. Zadnje obdobje analize (1990–2004) kaže, da se število ekstremnih dogodkov povečuje in hkrati intenzivira. Na izbranih lokacijah se kaže trend hitrega menjavanja ekstremnih situacij (ekstremnih sušnih in mokrih obdobij), še posebej od leta 2000 naprej.

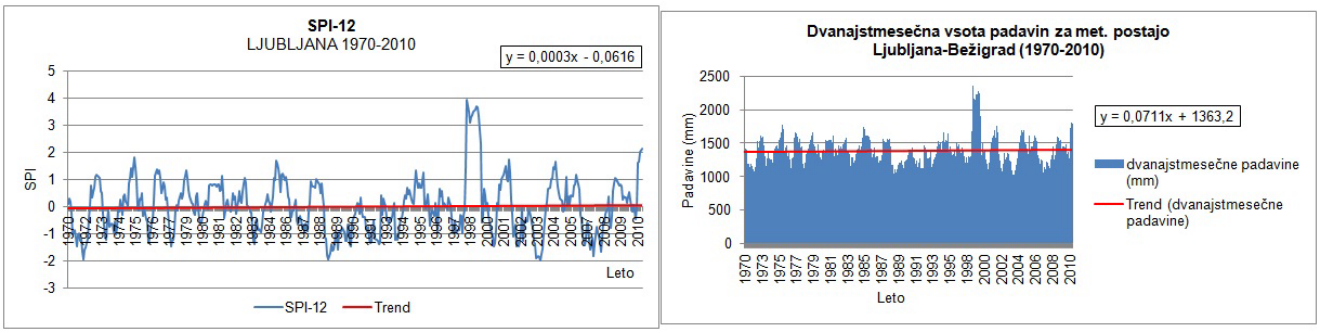
4 REZULTATI IN ANALIZA TRENDOV

Za celotno dostopno daljše obdobje in vse časovne skale izračuna indeksa SPI smo za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad pokazali trende, ki se kažejo glede na dobljene vrednosti indeksa. Tudi s pomočjo analize časovnih sprememb indeksa je mogoče napovedati trend pojavljanja sušnih oz. mokrih razmer in s tem pričakovane količine padavin. V Ljubljani so se v letih 1853–2010 tako vsote padavin posameznih časovnih skal kot same vrednosti indeksa stalno zmanjševale, kar kaže na primanjkljaj padavin in večjo pogostost sušnih razmer glede na preteklo obdobje. Na sliki 1 je prikazan indeks SPI na letni časovni skali s pripadajočimi padavinami in trendoma.



Slika 1. SPI-12 in dvanajstmesečna vsota padavin s pripadajočimi trendi za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad in obdobje 1853–2010

Želeli smo ugotoviti tudi vpliv posameznih dolžin obdobij na prikazane trende. Tako se pri analizi krajšega preteklega obdobja (1970–2010) kažejo nekoliko drugačni trendi (slika 2). Za razliko od 158–letnega niza se za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad na šest-, devet- in dvanajstmesečni časovni skali kažejo pozitivni trendi in s tem naraščanje vrednosti SPI.



Slika 2. SPI-12 in dvanajstmesečna vsota padavin s pripadajočimi trendi za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad in obdobje 1970–2010

Trendna linija se na vseh časovnih skalah giblje v okvirih normalnih razmer glede na klasifikacijo vrednosti SPI. Vrednosti smernih koeficientov so sicer zelo majhne, kar kaže na počasno spreminjanje vrednosti SPI skozi opazovano štiridesetletno obdobje. V primerjavi s prikazanimi trendi daljšega preteklega obdobja (1853–2010) trendna linija krajšega obdobja (1970–2010) kaže hitrejše spremembe. Na podlagi prikazanih trendov, še posebej na šest-, devet- in dvanajstmesečni skali lahko rečemo, da je na negativni trend imelo največji vpliv obdobje, ki ga pri izračunu SPI za krajše obdobje nismo upoštevali, torej med leti 1853 in 1970. V začetku smo zapisali, da se še posebej v zadnjem desetletju število in intenziteta sušnih dogodkov povečujejo, kar pa bi glede na prikazane trende (slika 2) lahko ovrgli.

V preglednici 1 so podane vse enačbe pridobljenih vrednosti indeksa in pripadajočih padavin za obe opazovani obdobji 1853–2010 in 1970–2010.

Preglednica 1. Enačbe trendov za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad za obdobje 1853–2010 in 1970–2010

Časovna skala izračuna SPI in obdobje izračuna	Enačba trenda indeksa SPI	Enačba trenda vsote padavin
SPI-1 (1853–2010)	y = -6*10-6x + 0,0166	y = -0,0015x + 119,16
SPI-2 (1853–2010)	y = -2*10-5x + 0,0327	y = -0,0031x + 238,44
SPI-3 (1853–2010)	y = -3*10-5x + 0,0413	y = -0,0047x + 357,48
SPI-6 (1853–2010)	y = -4*10-5x + 0,0814	y = -0,0098x + 714,69
SPI-9 (1853–2010)	y = -6*10-5x + 0,1395	y = -0,016x + 1072,6
SPI-12 (1853–2010)	y = -9*10-5x + 0,2047	y = -0,0212x + 1429,7
SPI-1 (1970–2010)	y = -0,0001x + 0,0395	y = 0,012x + 112,89
SPI-2 (1970–2010)	y = -0,0002x + 0,04	y = 0,0221x + 226,15
SPI-3 (1970–2010)	y = -0,0001x + 0,0259	y = 0,0301x + 339,85
SPI-6 (1970–2010)	y = 0,0001x - 0,0303	y = 0,05x + 679,7
SPI-9 (1970–2010)	y = 0,0002x - 0,058	y = 0,0611x + 1020,7
SPI-12 (1970–2010)	y = 0,0003x - 0,0616	y = 0,0711x + 1363,2

Tudi trend vsot padavin za vse izbrane časovne skale je za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad in daljše obdobje negativen, kar kaže na upadanja količine padlih padavin v Ljubljani. Tako kot pri indeksih SPI, se tudi pri vsotah padavin z večanjem skale izračuna, veča smerni koeficient, kar pomeni, da je regresijska premica dvanajstmesečne vsote padavine najbolj strma in letni primanjkljaj padavin najbolj očiten. Povsem drugačna situacija se kaže za krajše obdobje, kjer so trendi za vse časovne skale za vsote padavin pozitivni, kar kaže na naraščanje količine padavin v

Ljubljani. Negativen trend se kaže za prve tri (krajše) časovne skale izračuna indeksa.

Viri

Edwards, D.C. (1997): Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Master of Science degree in Atmospheric Science. Fort Collins, Colorado State University, Department of Atmospheric Science: 155 f.

Gregorič, G., Ceglar, A. (2007): Monitoring suše – regionalni aspekt. V: 18. Mišičev vodarski dan: zbornik referatov, Maribor, 10.december, 2007. Maribor: Vodnogospodarski biro: str. 124–127.

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, 3: 429–438.

Kolbezen, M. (1998): Rečni režimi. V: Kolbezen, M. (ur.), Pristov, J. (ur.). Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije. 50 let organizirane hidrometeorološke službe na Slovenskem 1947–1997. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Hidrometeorološki zavod Slovenije: 13–14.

McKee, T.B., Nolan, D.J., Kleist, J. (1993): The relationship of drought frequency and duration to time scales. V: Preprints of 8th Conference on Applied Climatology. January 17–22, Anaheim, California, 1993. p. 179–184.

Mishra, A.K., Singh, V.P. (2010): A review of drought concepts. Journal of Hydrology 391, 1–2: 202–216.

Thom, H.C.S. (1966): Some Methods of Climatological Analysis. Geneva: Secretariat of the World Meteorological Organization. Technical Note No. 81.