

PODNEBNE SPREMEMBE V SLOVENIJI IN SUŠA

Climate Change and Drought in Slovenia

Lučka Kajfež - Bogataj*, Klemen Bergant** UDK 551.58(497.4)

Povzetek Abstract

Povprečna temperatura na zemeljskem površju se je v Evropi v zadnjih 100 letih zvišala za skoraj 1 °C, projekcije pa kažejo na največji dvig za 6,3 °C do leta 2100. Podnebne spremembe bodo močno vplivale na kakovost življenja in gospodarstvo, še posebej ekstremno vreme, kot je na primer suša. Srednja Evropa se bo po napovedih srečevala s pomanjkanjem vode in dolgotrajnimi intenzivnimi sušami. Povprečja za obdobje 1961–1990 o količini padavin (RR) ter temperaturi zraka (T) v poletnem obdobju (junij, julij, avgust) smo uporabili za oceno sedanjih območij z možnim primanjkljajem vode v tleh (PP) v poletnem obdobju. Temperaturne podatke za 108 krajev smo uporabili za izračun možne evapotranspiracije (PET) po Thornthweitovi metodi. Na podlagi podatkov o količini padavin za 366 krajev in izračunanih vrednosti za PET smo s pomočjo GIS-a izdelali karte PP. Ob upoštevanju toplega in suhega scenarija podnebnih sprememb smo ponovili celoten postopek. Primerjajoč sedanje stanje z razmerami, ki ustrezajo scenariju podnebnih sprememb, lahko pričakujemo, da se bo ob dvižu T za 2 °C ter zmanjšanju RR za 10 % celotno območje s PP v Sloveniji povečalo za več kot 100 %. Tem spremembam se bo moralo kmetijstvo prilagoditi.

The average temperature in Europe has increased by 1 °C over the past 100 years and is projected to rise by as much as a further 6.3 °C by 2100. Evidence is growing of climate change's impact on human and ecosystem health, as well as economic viability. The effects of climate change include economic losses resulting from weather and climate-related events such as droughts. Projections for central Europe indicate an increased risk of water shortage, which would harm vegetation. Long term average (1961-1990) precipitation (RR) and air temperature (T) data for the summer period (June, July and August) were used for estimating present potential soil moisture deficit (PSMD) areas. Data for T in the summer period for 108 locations were used to calculate the potential evapotranspiration (PET) using Thornthweite's method. Combining RR data for the same time period for 366 locations with calculated values for PET using GIS, maps of PSMD areas and their intensity, were made. Warm and dry climate change scenarios were applied and the entire procedure for estimating PSMD areas and their spatial visualization was repeated. Comparing the present state and predictions, some conclusions about the possible impact of climate change on soil mby for about 100 % or even more if the increase of T was 2 °C and the reduction of RR 10 % in summer. The separate effect of a 2 °C rise in T is similar to the separate effect of a 10 % RR reduction. These changes may require measures of adaptation and changes in agriculture and nature protection strategies.

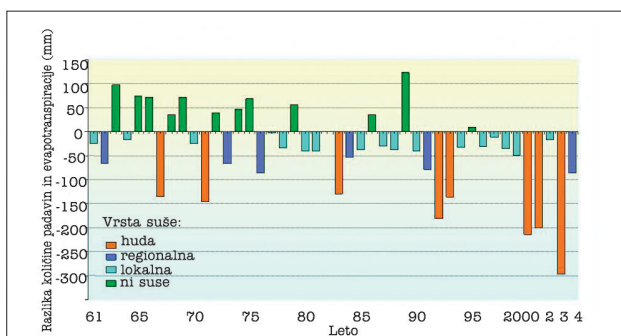
Uvod

Mnenje klimatologov je, da se bodo spremembe podnebja nadaljevale še izraziteje kot v zadnjih desetletjih. Meritve meteoroloških spremenljivk v zadnjih 100 letih kažejo, da se je povprečna temperatura na zemeljskem površju v

Evropi zvišala za skoraj 1 °C (EEA, 2004). Tudi v Sloveniji se je povprečna temperatura zraka v zadnjih 50 letih dvignila za $1,1 \pm 0,6$ °C, v zadnjih 30 letih (1975–2004) pa je ogrevanje že preseglo mejo 1,5 °C/30 let. V Sloveniji se je v zadnjih 50 letih količina padavin zmanjšala v povprečju za nekaj manj kot 10 %, vendar pa gibanja zmanjševanja količine padavin niso statistično značilna. Zato ne moremo z veliko gotovostjo trditi, da gre za očitno spremembo v količini padavin (Kajfež - Bogataj, 2001). V obdobju od 2001 do 2030 se bodo v Sloveniji temperature zraka predvidoma povečale za 0,5 °C do 2,5 °C

* Prof. dr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva ulica 101, Ljubljana, lucka.kajfez.bogataj@bf.uni-lj.si

** Asist. dr., Politehnika Nova Gorica, Vipavska cesta 13, Nova Gorica



Slika 1. Suše v Sloveniji v letih od 1961 do 2004. Vrsta suše je določena na podlagi primanjkljaja vode za kmetijske rastline na 8 kmetijskih območjih v Sloveniji (prirejeno po Sušnik, 2003).

Figure 1. Droughts in Slovenia during 1961 to 2004. The intensity of drought is determined by the rate of water deficit in 8 main agricultural areas in Slovenia (modified from Sušnik, 2003).

(Bergant in Kajfež - Bogataj, 2004). Manj zanesljive so napovedi spremembe povprečne količine padavin, razpon je od + 10 % do - 30 % ob enaki spremembi variance in verjetnosti pojava padavin.

Spremembe podnebja v Sloveniji bodo vplivale na neživi in živi svet ter človeka v celoti, še posebej pa na kmetijstvo in rastlinsko pridelavo (Bergant in sod., 2004). Najverjetneje bodo posledice podnebnih sprememb najprej opazne na vodni bilanci tal, saj se število držav, ki jih prizadeva pomanjkanje vode, povečuje. Po vsem svetu v zadnjih letih ugotavljamo izjemno katastrofalne suše z močno intenzivnostjo in dolgim trajanjem (UNESCO, 2003). Računamo lahko, da bodo s podnebnimi spremembami naraščale potrebe po zvišanju kakovostnih vodnih virov za oskrbo kmetijstva z vodo (Döll, 2002). Obstajajo različni scenariji podnebnih sprememb in njihovega vpliva na klimatološke parametre. Ker je na določenih območjih v Sloveniji v poletnih mesecih za nemoten razvoj nekaterih kmetijskih rastlin tla že treba namakati, nas zanima, kako naj bi predvidene podnebne spremembe T in RR vplivale na prostorsko porazdelitev območij z možnim primanjkljajem vode v tleh (PP). Razlog več za raziskavo je tudi to, da so se v Sloveniji v preteklosti suše pojavljale redkeje kot v zadnjem obdobju, ko smo imeli hude suše kar v šestih letih: 1992, 1993, 1994, 2000, 2001 in 2003. Kmetijske suše različnih intenzitet, ki so v obdobju od leta 1961 do 2004 prizadele Slovenijo, so prikazane na sliki 1. Največji primanjkljaj vode na kmetijskih območjih v Sloveniji, ki je v povprečju dosegel skoraj 300 mm vode, je bil v letu 2003. Vodni viri so že danes zelo ranljivi in vsak nadaljnji stres zaradi podnebnih sprememb bo povečal tekmovalnost različnih sektorjev pri porabi vode.

Izračun prostorske porazdelitve območij z možnim primanjkljajem vode v tleh

Kmetijska suša je kombinacija meteorološke in hidrološke suše. Kadar nastopi med intenzivno rastjo in razvojem kmetijskih rastlin, v kritičnih fenoloških obdobjih, so pridelki manjši ali celo popolnoma uničeni. Suša ni odvisna le od bistveno manjših padavin v določenem obdobju, ampak tudi od vodozadrževalnih lastnosti tal (lahka peščena tla lahko vsebujejo le majhno količino vode, ki jo rastline ob jasnem in toplem vremenu brez padavin v nekaj dneh porabijo).

Za količinsko oceno kmetijske suše moramo poznati pozitivne in negativne člene vodne bilance, predvsem porabo vode iz tal in rastlin. Vodna bilanca je odvisna od meteoroloških spremenljivk, vrste tal in lastnosti rastline. Pogosto vseh členov vodne bilance ne poznamo in vodno bilanco poenostavimo. Tudi v tem prispevku smo upoštevali le dva pglavitna člena vodne bilance kmetijskih tal, in sicer evapotranspiracijo in količino padavin. Omejili smo se na poletne mesece, to je obdobje od začetka junija do konca avgusta.

Sistematičnih neposrednih meritev evapotranspiracije v Sloveniji nimamo. Obstoječe meritve veljajo le za izhlapevanje z vodne površine pod določenimi pogoji ali za posamezno rastlinsko vrsto, predvsem travinje. Zato smo vrednosti možne evapotranspiracije (PET) ocenili na podlagi temperaturnih podatkov in geografske širine posamezne klimatološke postaje. Uporabili smo preprosto Thornthwaitovo metodo, saj je pri natančnejših metodah potrebnih več vhodnih podatkov – poleg povprečne dnevne vrednosti temperature še relativna vlažnost zraka, hitrost vetra in sončno obsevanje. Našteti spremenljivki ne merimo na vseh klimatoloških postajah, še posebej ne hitrosti vetra in sončnega obsevanja.

Zaradi razgibanega reliefa in drugih parametrov, ki vplivajo na podnebne razmere v Sloveniji, potrebujemo za realistično vizualizacijo in prostorsko interpolacijo klimatoloških parametrov vse razpoložljive podatke. Za obdobje 1961 - 1990 smo obravnavali temperaturne podatke za 108 meteoroloških postaj, podatke o količini padavin za 366 postaj, izmerjene na Agenciji Republike Slovenije za okolje. Povprečne mesečne junijske, julijske ter avgustovske temperaturne vrednosti smo uporabili za oceno povprečne PET, povprečne mesečne vrednosti RR za iste tri mesece pa za izračun povprečne RR v poletnem obdobju. Na podlagi ocenjenih vrednosti PET smo izdelali karto PET. Za prostorsko interpolacijo 108 podatkov v kilometrsko mrežo smo uporabili metodo kriging z zunanjim vplivom. Pri uporabi te metode potrebujemo še pomožno spremenljivko, od katere je primarna spremenljivka odvisna, njeno vrednost pa moramo poznati v vseh interpolacijskih točkah. Kot pomožno spremenljivko smo v našem primeru uporabili nadmorsko višino, saj je PET

od nje močno odvisna. Poleg karte PET smo izdelali tudi karto RR na podlagi podatkov s 366 padavinskih postaj. Pri tem smo uporabili enako interpolacijsko tehniko in pomožno spremenljivko kot pri PET. Za natančen izračun členov vodne bilance bi potrebovali podatke o vodozadrževalni zmogljivosti tal, ki pa za celotno Slovenijo še niso na voljo. Območja z možnim primanjkljajem vode v tleh smo opredelili kot območja, na katerih so vrednosti RR v poletnih mesecih nižje od vrednosti PET. To so torej območja, na katerih lahko v poletnem obdobju pričakujemo meteorološko sušo. Ta območja seveda ne smemo enačiti s tistimi, na katerih se pojavlja tudi fiziološka oz. kmetijska suša in bi jih bilo treba namakati. Za izračunavanje območij s PP smo uporabili geografski informacijski sistem IDRISI, ki nam omogoča odštevanje kart.

Na dolgoletnem povprečju podatkov o temperaturi in količini padavin smo uporabili scenarij podnebnih sprememb. Glede na različne rezultate različnih modelov smo izbrali dvig T za 2 °C in zmanjšanje RR za 10 %, kar je eden najverjetnejših scenarijev za Slovenijo okrog leta 2030. Na novih podatkih smo ponovili celoten potek izračunavanja območij s PP za posamezna učinka dviga T in zmanjšanja RR ter hkraten učinek obeh.

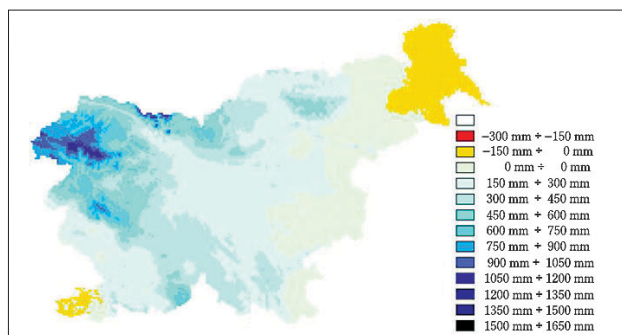
Vpliv podnebnih sprememb na velikost in porazdelitev območij z možnim primanjkljajem (PP) vode v tleh

Zelo dolgo smo bili prepričani, da Slovenija ne sodi med območja, na katerih bi suše lahko pomembneje vplivale na hidrološke razmere in kmetijstvo. Naša država je podnebno sicer raznovrstna, vendar povprečna letna

količina padavin (1567 mm) v dolgoletnem povprečju (Kolbezen in Pristov, 1998) povsod presega izhlapevanje (650 mm). Preprosta primerjava povprečne letne količine padavin v EU, ki je več kot pol manjša (734 mm) od slovenske, in izhlapevanja (415 mm), nam pove, da je naš odtok (917 mm) kar trikrat večji od povprečja v EU (319 mm). Če z letne skale preidemo na krajšo časovno skalo (april–september) in pogledamo dolgoletno povprečno vodno bilanco v samo topli polovici leta, je ugotovitev že nekoliko drugačna, saj možna evapotranspiracija na obalnem in severovzhodnem območju Slovenije, kar zavzema 8 % celotnega območja Republike Slovenije, presega količino padavin (slika 2). Omenjeno območje lahko uvrstimo med možna sušna območja pri nas, na katerih je verjetnost za pojav suše še zlasti ob bistveno manjših padavinah in slabih vodozadrževalnih lastnostih tal (npr. lahka peščena tla) večja.

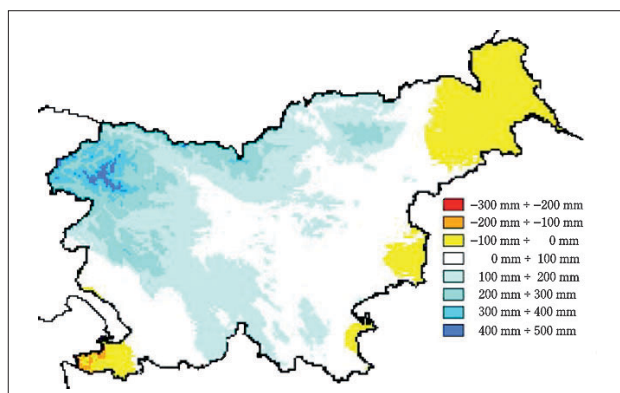
Oglejmo si zdaj le poletne tri mesece. Razlika med RR in PET je prikazana na sliki 3. Primanjkljaje vode v tleh v poletnih mesecih lahko pričakujemo v jugozahodnem delu Slovenije ob Jadranskem morju ter v severovzhodnem delu Slovenije, kjer je vpliv Panonske nižine. Skupno območje s PP zavzema okrog 15 % celotne površine Slovenije (slika 4 a).

Na sliki 4 b je prikazan vpliv dviga T za 2 °C na prostorsko porazdelitev območij s PP. Skupno območje se glede na obdobje 1961–1990 poveča za 69 % in pomeni 25 % celotne površine Slovenije. Do podobnega učinka na prostorsko porazdelitev območij s PP pride ob zmanjšanju RR za 10 %, kar je prikazano na sliki 4 c. V tem primeru skupno območje s PP zavzema 29 % celotne površine Slovenije. Najverjetnejše pa je, da bo prišlo do hkratnega dviga T in zmanjšanja RR. V tem primeru se poveča



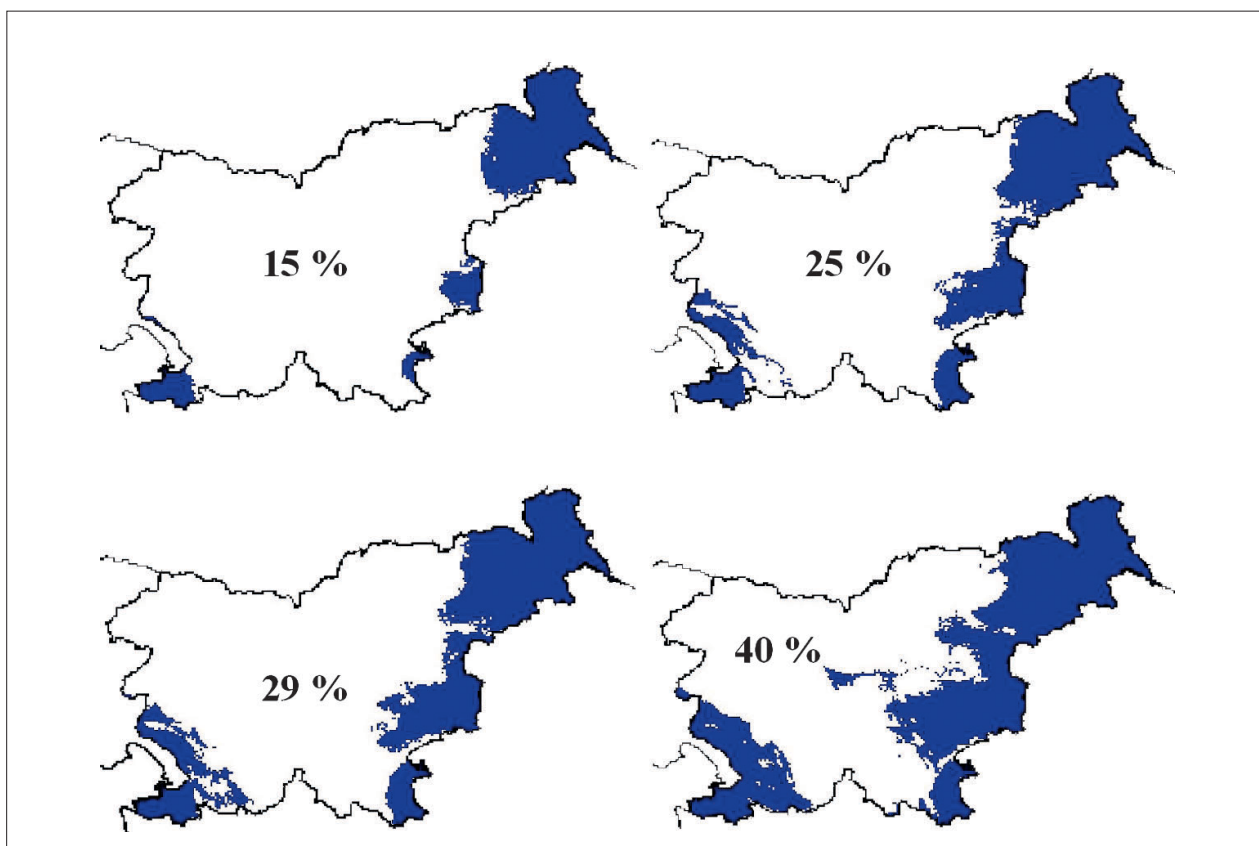
Slika 2. Razlika med RR in PET v topli polovici leta v obdobju 1961–1990. Območje, na katerem je količina padavin manjša od možne evapotranspiracije, zavzema 8 % celotnega območja Republike Slovenije.

Figure 2. The difference between RR and PET in the warm half of the year (April-September) on the basis of long term (1961-1990) average data for T and RR. The total area of PSMD represents 8 % of the entire area of Slovenia.



Slika 3. Razlika med RR in PET v poletnem obdobju, izračunana na podlagi dolgoletnega (1961–1990) povprečja temperaturnih in padavinskih podatkov. Območje, na katerem je količina padavin manjša od možne evapotranspiracije, zavzema 15 % celotnega območja Republike Slovenije.

Figure 3. The difference between RR and PET in summer (JJA) on the basis of long term (1961-1990) average data for T and RR. The total area of PSMD represents 15 % of the entire area of Slovenia.



Slika 4. Prostorska porazdelitev območij z možnim primanjkljajem vode v tleh v poletnem obdobju v Sloveniji: a) dolgoletno povprečje RR in PET (1961 - 1990), b) ob dvigu T za 2 °C, c) ob zmanjšanju RR za 10 % ter d) ob hkratnem dvigu T za 2 °C in zmanjšanju RR za 10 %.

Figure 4. Spatial distribution of summer (JJA) PSMD areas in Slovenia a) based on long term average data (1961-1990), b) in the case of a T rise of 2 °C, c) in the case of a reduction in RR of 10 % and d) the combined effect of a T rise of 2 °C and a reduction in RR of 10 %.

skupno območje s PP glede na dolgoletno povprečje kar za 169 % in zavzema 40 % celotne površine Slovenije. Območja s PP se premaknejo proti notranjosti Slovenije.

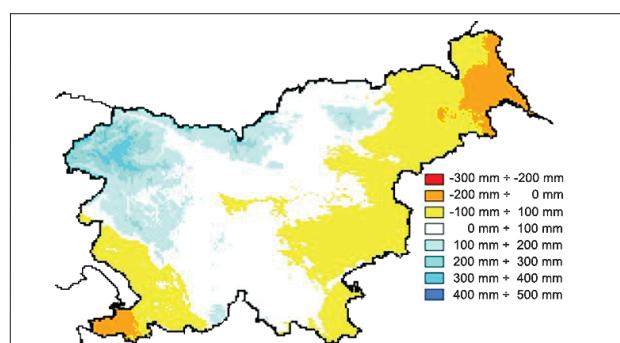
Natančnejšo velikost primanjkljaja vode ob hkratnem dvigu T in zmanjšanju RR prikazuje slika 5. Razvidno je, da se poleg povečanja skupnega območja PP poveča tudi razlika med RR in PET na območjih s PP, prikazanih na sliki 3. Lahko pričakujemo, da bo v poletnem obdobju ob dvigu T za 2 °C in zmanjšanju RR za 10 % kar 40 % celotne Slovenije imelo manj RR kot PET. Napaka ocene metode kriging z zunanjim vplivom je za območje cele Slovenije približno 30 mm.

Sklepne misli

Ob dvigu T za 2 °C in zmanjšanju RR za 10 % se bo skupno območje s PP v Sloveniji več kot podvojilo. Prikazana območja s PP so le groba ocena realnih območij s primanjkljajem vode v tleh, saj pri izračunih nismo upoštevali lastnosti tal, ki imajo veliko vlogo v vodni bilanci tal. Zaradi sposobnosti tal za zadrževanje vode bodo območja, na katerih je mogoče pričakovati primanjkljaje vode, po vsej verjetnosti manj obsežna, kot je prikazano v članku. Za nadaljnje študije bi bilo treba oceniti vodozadrževalno

zmogljivost tal na podlagi pedoloških podatkov in podatke vključiti v izračunavanje vodne bilance tal. Po drugi strani pa je znano, da Thornthweita metoda nekoliko podceni realne vrednosti PET, kar pa ima obraten vpliv kot izračunavanje vodne bilance brez podatkov o vodozadrževalni zmogljivosti tal.

Pri interpretaciji tega dela moramo biti previdni, saj se napovedi različnih podnebnih scenarijev glede T in RR



Slika 5. Razlika med RR in PET v poletnem obdobju ob dvigu T za 2 °C in zmanjšanju RR za 10 %

Figure 5. Difference between RR and PET in summer (JJA) in the case of T rise for 2 °C and reduction in RR of 10 %.

razlikujejo. Ne moremo pa mimo tega, da v Sloveniji na podlagi meritev zaznavamo ogrevanje in so zato lahko rezultati dela prva ocena vpliva podnebnih sprememb na pojavljanje meteorološke suše.

Sklenemo lahko, da bodo ob podnebnih spremembah najranljivejša tista območja v Sloveniji, ki so že danes problematična s stališča preskrbe s pitno vodo oziroma so izpostavljena suši. Zaradi povečevanja temperature zraka in možne večje pogostosti sušnih obdobij lahko pričakujemo povečanje porabe vode končnih uporabnikov in poslabšanje razmer pri oskrbi z vodo. Zato so že danes nujni ohranjanje kakovosti podtalnice, zmanjšanje izgub v omrežju z obnovo sistemov za oskrbo z vodo, racionalnejša poraba vode v gospodinjstvih in industriji, prilagoditev izpustov čistilnih naprav, prilagoditev sistemov odvajanja meteoritnih voda ter gradnja novih vodnih zajetij za bogatenje nizkih pretokov oziroma za namakanje.

Za reševanje vprašanja suše v kmetijstvu je potrebno skladno delovanje vseh odgovornih in tudi vpletenih institucij. Glede na velika plačila iz državnega proračuna za sušo so nujne boljše strokovne podlage in interdisciplinarna strokovna povezanost. RS nima programa za ublažitev posledic suše. Nacionalni program upravljanja voda kot sestavni del NPVO sicer vsebuje tudi ukrepe za ublažitev hidroloških suš, vendar ne vključuje kmetijskih suš. Slovenija potrebuje medresorsko telo, ki bo strokovno usklajevalo pripravo programa in dejavnosti za ublažitev posledic suše. Nujne bodo tudi spremembe zakona o naravnih nesrečah, saj bo treba razmisliti tudi o delni preusmeritvi finančnih sredstev, ki se zdaj namenjajo za izplačilo škod, v strokovne rešitve, ki bi škodo zaradi suš lahko dolgoročno zmanjševale. Čim prej je treba tudi vzpostaviti sistem za zgodnje napovedovanje suše in obveščanje. Za zdaj sta v nacionalnem

programu varstva okolja predvideni le napovedovanje ekstremnih hidroloških pojavov in opozarjanje nanje, ne pa tudi spremljanje kmetijskih suš, katerih problematika je veliko bolj zapletena.

Viri in literatura

1. Bergant, K., Kajfež - Bogataj, L., Sušnik, A., Cegnar, T., Črepinšek, Z., Kurnik, B., Dolinar, M., Gegorič, G., Rogelj, D., Žust, A., Matajč, I., Zupančič, B., Pečenko, A., 2004. Spremembe podnebja in kmetijstvo v Sloveniji. Agencija Republike Slovenije za okolje, 40 str.
2. Bergant, K., Kajfež - Bogataj, L., 2004. Nekatere metode za pripravo regionalnih scenarijev podnebnih sprememb. *Acta agric. slov.*, 2004, vol. 83, št. 2, str. 273–287.
3. Döll, P., 2002. Impact of climate change and variability on irrigation requirements: a global perspective. *Climatic Change*, 54, 269–293.
4. EEA, 2004. Impacts of Europe changing climate. An indicator-based assessment. European Environment Agency, Copenhagen (Denmark), Report 2/2004, Office for official publications of the European communities, Luxembourg, 107 str.
5. Kolbezen, M., Pristov, J., 1998. Surface streams and water balance of Slovenia, Hidrometeorological Institute of Slovenia, Ljubljana, Slovenia, 98 str.
6. Sušnik, A., 2003. Dinamika primanjkljaja vode za kmetijske rastline včeraj, danes in jutri. 14. Mišičev vodarski dan 2003, Maribor, 5. dec. 2003, Maribor, VGB Maribor, VP Drava: str. 84–92.
7. UNESCO, 2003. World Water Assessment Report. UNESCO, Paris, 574 str.