

UTICAJ KLIMATSKIH PROMENA NA POTREBE PRIRODNIH TRAVNJAKA ZA VODOM U SRBIJI

**Ružica J. Stričević^{1*}, Aleksandar S. Simić¹,
Mirjam P. Vujadinović Mandić¹ i Dejan R. Sokolović²**

¹Univerzitet u Beogradu - Poljoprivredni fakultet, Beograd - Zemun, Srbija

²Institut za krmno bilje, Kruševac, 37251 Globoder, Srbija

Sažetak: Usled povećanja temperature vazduha sve dužeg vegetacionog perioda i promenljivih količina padavina poslednje dve decenije, livade i pašnjaci Srbije sve češće ostaju bez dovoljno vode za regeneraciju. Cilj ovog rada je da preko pet reprezentativnih lokaliteta sagleda uticaj klimatskih promena na raspoloživost vode za prirodne travnjake na području Srbije. Za analizu buduće promene klimatskih uslova na teritoriji Republike Srbije korišćeni su rezultati ansambla od devet regionalnih klimatskih modela iz baze EURO-CORDEX. Za svaki od 9 modela je izračunat deficit/suficit vode, na kraju za najverovatniju vrednost deficita vode uzeta je medijalna vrednost za svaki proučavani vremenski period. Referentni period je 1986–2005, budući periodi su: 2016–2035 (*bliska budućnost*), 2046–2065, (*sredina veka*) i 2081–2100 (*kraj veka*). Analize su urađene za dva izabrana scenarija emisija gasova staklene bašte: RCP4.5 i RCP8.5. Vegetacija prirodnih travnjaka će biti izložena povećanom riziku od suša. Nedostatak vode se očekuje već krajem maja, kada se iscrpe zalihe vode u zemljištu, i trajaće sve do prvih značajnijih kiša u septembru. Po oba scenarija, očekuje se smanjenje raspoloživih voda do 7% u bliskoj budućnosti. Po scenariju RCP4.5 od sredine do kraja veka očekuje se povećanje deficita vode između 10,7% i 24,2%. Nepovoljniji, mada verovatniji scenario RCP8.5, prikazuje da će povećanje nedostatka vode sredinom veka varirati od 4% do 14%, a do kraja veka između 28,4% i 41,9%. Otpornost na sušu će se razvijati prirodnom raznolikošću i širenjem vrsta otpornih na visoke temperature i oskudicu vode na uštrb osetljivih trava, pogotovo u sušnijem delu Srbije na plićim zemljištima.

Ključne reči: prirodni travnjaci, navodnjavanje, klimatske promene, suša.

* Autor za kontakt: e-mail: sruzica@agrif.bg.ac.rs

Uvod

Travnjaci su najčešći tip korišćenja zemljišta u mnogim evropskim zemljama, posebno u zapadnoj Evropi ili u planinskim zemljama srednje i južne Evrope, zauzimajući 30–40% evropskog poljoprivrednog područja (Simić et al., 2019). Travnjaci pokrivaju manje produktivna zemljišta na centralnom Balkanu, koja predstavljaju veliki udeo u ukupnim poljoprivrednim površinama u Srbiji (19,5%), Crnoj Gori (80%), Bosni i Hercegovini (> 50%). Prema važećim statističkim podacima iz 2019. godine, trajni travnjaci u Srbiji pokrivaju 676,36 hiljada hektara (livade se nalaze na 350, a pašnjaci na 326 hiljada hektara), dok se površine pod sejanim livadama procenjuju na oko 50.000 ha (Sokolović et al., 2018; Republički zavod za statistiku, 2019). Prema dostupnim statističkim podacima produkcija livada na nivou Srbije je u proseku svega 2,3 tha^{-1} suve materije, a pašnjaka oko 2 tha^{-1} . Uočava se konstantno smanjenje površina pod travnjacima u Srbiji uz veoma nizak prinos krme. Uz socio-ekonomske razloge za ove promene, veliki uticaj imaju i klimatske promene kroz smanjenje padavina i neregularnost distribucije tokom vegetacione sezone.

Travnjaci su neizmerno značajni za očuvanje kvaliteta zemljišta i vode. Višegodišnje trave formiraju gusti pokrivač sa žiličastim korenovim sistemom koji poboljšava stopu infiltracije više od drugih gajenih ratarskih kultura, a efikasnom potrošnjom smanjuje ispiranje azota. Takođe, svojim gustim sklopom travni pokrivač smanjuje gubitak vode isparavanjem i površinsko oticanje, a samim tim sprečava pojavu vodne i eolske erozije (Suttle et al., 2007).

Generalno, produkcija travnjaka, uključujući pašnjake i livade, ograničena je sunčevim zračenjem, temperaturom, stresom vode, dostupnošću hranljivih sastojaka i upravljanjem ispašom/kosidbom. Većina ograničenja vezanih za vodu, hranljive sastojke i upravljanje može se poboljšati – iako to nije uvek ekonomski isplativo – ali sunčevo zračenje i spoljne temperature ne mogu, što su vrlo važni aspekti klimatskih promena (Hutchinson et al., 2000).

IPCC (2014) predviđa značajne klimatske promene koje mogu imati velike uticaje na vodne resurse, a samim tim i na upravljanje vodama i poljoprivrednu proizvodnju. Klimatske promene uzrokuju lanac problema, koji zahtevaju integrisani pristup utvrđivanja faktora koji ograničavaju prinos, a koji će verovatno imati veliki uticaj na ukupnu poljoprivrednu proizvodnju u budućnosti. Gotovo da nema sumnje da će klimatske promene zahtevati kratkoročno i dugoročno prilagođavanje korišćenja zemljišta i upravljanja vodama (Hansen et al., 2006). Nažalost, na to ukazuju činjenice da je već uočen trend povećanja srednje godišnje temperature vazduha tokom poslednje dekade (2007–2016. godine) za 0,87–0,92°C u odnosu na predindustrijsku eru prošlog veka. Ovo povećanje je izraženije na severnoj hemisferi u odnosu na južnu. Projekcije porasta globalne srednje temperature vazduha su od 1,4°C do 1,8°C u zavisnosti od scenarija emisije gasova

sa efektom staklene bašte. Na području Srbije, izmerene promene daleko prevazilaze globalne i iznose $1,2^{\circ}\text{C}$ za period 1996–2015, u odnosu na 1961–1980. Najveći porast, od $1,8^{\circ}\text{C}$, zabeležen je tokom letnje sezone. U budućnosti se mogu očekivati dalja povećanja koja, u zavisnosti od scenarija emisije GSB, mogu dostići do $1,0^{\circ}\text{C}$ u bliskoj budućnosti, $2,0^{\circ}\text{C}$ sredinom veka i čak $4,3^{\circ}\text{C}$, krajem veka (prema scenariju RCP8.5) u odnosu na referentni period 1986–2005. godine (Vuković et al., 2018). To sve ukazuje na neophodnost proučavanja uticaja klimatskih promena na sadašnje prirodne travnjake (Olesen et al., 2011). Tome u prilog idu rezultati istraživanja u kojima je ustanovljeno da toplotni talasi i suše veoma negativno utiču na prirodne travnjake na području kontinentalne klime u Panonskoj niziji, koja uključuje Mađarsku, Srbiju, Bugarsku i Rumuniju. Stoga je povećanje proizvodnje biomase uz održavanje ili smanjenje količine vode koja se koristi, tj. povećanje efikasnosti korišćenja vode (EKV), od najvećeg interesa. Kombinovanje vrsta trava različitih funkcionalnih grupa i sa različitim funkcionalnim osobinama moglo bi da igra ključnu ulogu u ovom pogledu (Hofer et al., 2016).

Craine et al. (2013) su u svojim istraživanjima ustanovili da se fiziološka tolerancija na sušu deseterostruko razlikovala među 426 vrsta trava. Trave su dobro raspoređene i klimatski i filogenetski, što ukazuje da većina prirodnih travnjaka verovatno sadrži veliku raznolikost tolerancije na sušu. Shodno tome, lokalne vrste mogu pomoći u održavanju funkcionisanja ekosistema kao odgovor na promenljive režime suše, a da ne zahtevaju migracije vrsta trava na velike razdaljine. Dalje, fiziološki tolerantne vrste na sušu imale su veće stope razmene vode i ugljen-dioksida od netolerantnih vrsta, što ukazuje da ozbiljne i dugotrajne suše mogu promeniti floristički sastav prirodnih travnjaka.

Istraživanjima uticaja ekstremnih klimatskih pojava (suše, toplotnih talasa, promene u topljenju snega, itd.) na travnjake u različitim ekosistemima Italije, došlo se do zaključka da je suša imala najozbiljniji efekat na biljke, pogotovo u zajednicama sa mnogo vrsta dok su toplotni talasi imali manji efekat ako su biljke bile dobro snabdevene vodom. Preklapanje različitih ekstremnih klimatskih pojava (npr. suša povezana sa toplotnim talasima) je najčešće sinergijski negativno delovalo, što se ispoljava i na povećano propadanje biljaka (Orsenigo et al., 2014).

Kako su prirodni travnjaci sačinjeni od velikog broja različitih biljnih vrsta u kojima dominiraju predstavnici trava, najverovatnije se mogu očekivati različite reakcije na suše u budućnosti. Cilj ovoga rada je da se ustanovi uticaj klimatskih promena u Srbiji na potrebu prirodnih travnjaka za vodom, kao i da se predvidi verovatnoća pojave trajanja ekstremnih temperaturama ($T_{\text{max}} > 30^{\circ}\text{C}$) u periodu dužem od 30 dana, kao i verovatnoća pojave dâna bez snega i ekstremno niskih temperatura ($T_{\text{min}} < -17^{\circ}\text{C}$) koje mogu negativno uticati na pojedine vrste trava.

Materijal i metode

Izabrano je pet reprezentativnih lokaliteta koji predstavljaju veće agroekološke makroceline Srbije (Rimski Šančevi, Valjevo, Kragujevac, Negotin i Leskovac) za analiziranje uticaja klimatskih promena na potrebu prirodnih travnjaka za vodom na području čitave Srbije.

Za izračunavanje parametara vezanih za buduće klimatske promene korišćen je multi-model ansambl rezultata 9 regionalnih klimatskih modela iz baze EURO-CORDEX, čija je rezolucija 0,1 po geografskoj dužini i širini. Rezultati modela su sa statistički korigovanom greškom modela (engl. *bias*) na dnevnom nivou za srednje, maksimalne i minimalne dnevne temperature i dnevne sume padavina. Detaljan opis korekcije je opisan u Vuković et al. (2015). Korišćeni scenariji budućih emisija gasova sa efektom staklene bašte (GSB) izabrani su u skladu sa Petim izveštajem Međuvladinog panela o klimatskim promenama – *Representative Concentration Pathway* (RCP) (IPCC, 2014). Izabrana su dva scenarija za koje se pretpostavlja da obuhvataju najverovatniji opseg mogućih budućih ishoda: RCP4.5 po kome će emisije GSB doseći maksimum oko 2040. godine, posle čega će se porast stabilizovati, i scenariju RCP8.5, po kome se porast emisija gasova staklene bašte nastavlja kroz 21. vek. Veza emisije GSB i deficita vode se ogleda preko porasta temperature vazduha a samim tim i porasta potencijalne evapotranspiracije tj. potrebe travnjaka za vodom i smanjenja padavina.

Za svaki od 9 modela je izračunat deficit vode, a na kraju za najverovatniju vrednost deficita vode uzeta je medijalna vrednost za svaki proučavani vremenski period. Kao ilustracija velikih varijacija u modelu, pored medijane biće prikazane i maksimalne i minimalne vrednosti koje daju pojedini modeli. Odabir perioda za analizu budućih promena klime je u skladu sa Petim izveštajem Međuvladinog panela o klimatskim promenama. Referentni period je 1986–2005, a budući periodi su: 2016–2035 (*bliska budućnost*), 2046–2065 (*sredina veka*) i 2081–2100 (*kraj veka*).

Potrebe prirodnih travnjaka za vodom, odnosno nedostatak vode ili neto norma navodnjavanjem (I_n) su izračunati metodom vodnog bilansa. Metod vodnog bilansa je podrazumevao izračunavanje referentne evapotranspiracije (ET_o) metodom FAO Hargreaves–Sammani (HS) (Allen et al., 1998), i evapotranspiracije travnjaka (ET), gde je uzet u obzir koeficijent kulture (k_c) i padavina (P) na mesečnom nivou. U proračunu vodnog bilansa, uzeta je u obzir i sposobnost zemljišta da zadrži vodu (θ) koju trave mogu koristiti u beskišnom periodu, dakle:

$$ET=ET_o \cdot k_c \quad (1)$$

$$I_n=ET - P \pm \Delta\theta \quad (2)$$

Poznato je da metoda HS u klimatskim uslovima Srbije daje veće vrednosti i do 28% kada se za proračun koriste mesečne vrednosti minimalne i maksimalne temperature vazduha (Trajković, 2005), i da je bolje primenjivati korigovanu metodu za područje Srbije (Trajković, 2007). Novija pak istraživanja zasnovana na dnevnim vrednostima ulaznih podataka pokazuju da su odstupanja manja, pogotovo u vegetacionom periodu (Marković, 2012). Uzimajući u obzir izveštaje o osmotrenim promenama klime u Srbiji i buduće projekcije klimatskih uslova (Djurdjević et al., 2018), koje ukazuju da će područje Srbije biti toplije i aridnije (sa ekstremnim temperaturama preko $> 30^{\circ}\text{C}$ u trajanju preko mesec dana), tako da se opravdava primena metode HS za izračunavanje vodnog deficita, što potvrđuju istraživanja Todorović et al. (2013). Dakle, izvesne greške pri proceni ET početkom veka su moguće, ali se one minimiziraju krajem veka.

Vodni bilans je izračunat za svaki model ponaosob za svaku godinu istraživanja (1986–2100), a zatim je kao najverovatnija vrednost uzeta medijana dobijenih rezultata za svaki posmatrani lokalitet. Pored medijane, takođe su prikazane i maksimalne i minimalne vrednosti koje daju pojedini modeli, koje služe kao ilustracija o odstupanju između pojedinih modela. Na ovakav način se izbegava favorizovanje blažeg ili oštrijeg uticaja klimatskih promena na potrebe useva za vodom i opstanak travnatih vrsta uopšte.

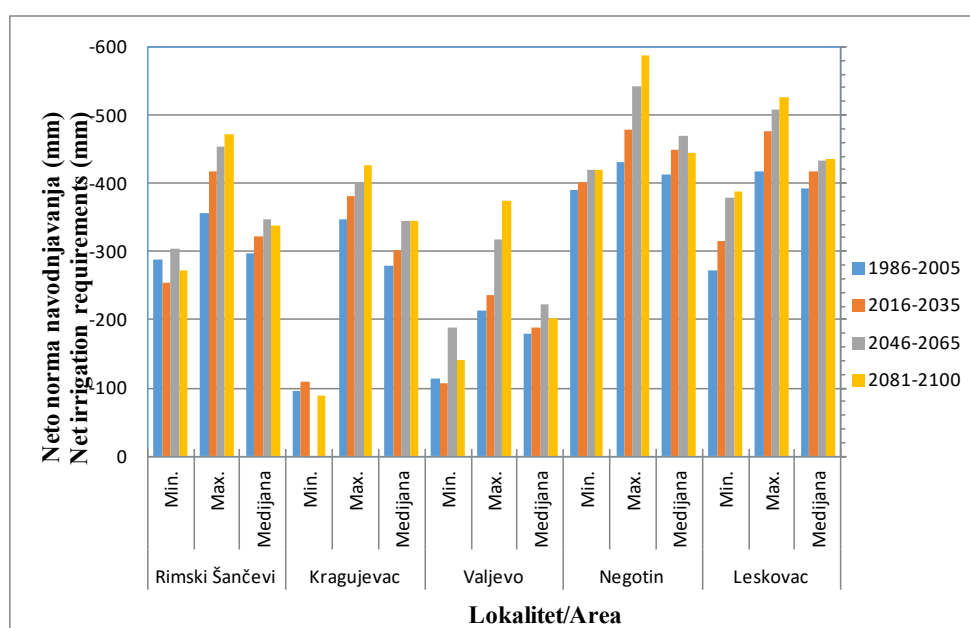
Pored vodnog bilansa izračunata je verovatnoća pojave ekstremnih temperatura vazduha u trajanju dužem od 30 dana u toku vegetacionog perioda trava ($T_{\text{max}} > 30^{\circ}\text{C}$) i u periodu zimskog mirovanja ($T_{\text{min}} < -17^{\circ}\text{C}$) i trend promena da bi se utvrdio mogući uticaj na opstanak pojedinih vrsta u izmenjenom temperaturnom režimu. Ukoliko se toplotni režim naruši, neke višegodišnje trave u kombinaciji sa dugotrajnom sušom teško opstaju. Na primer, trave tipa C_3 mogu lako podneti niske temperature, ali svega nekoliko dana mogu podneti ekstremno visoke ($T_{\text{max}} > 30^{\circ}\text{C}$), a ukoliko one potraju 3–4 nedelje može doći do propadanja trava (Puhalla et al., 2010).

Rezultati i diskusija

Scenario RCP4.5 i RCP 8.5

Na slici 1 su prikazani deficiti vode za prirodne travnjake na pet proučavanih lokaliteta po scenariju RCP4.5. Jasno se uočavaju velike varijacije u vrednostima koje daju pojedini modeli od devet proučavanih. Na svim područjima razlika između minimalnih i maksimalnih vrednosti može dostići od 30% do 50% vrednosti deficita (povoljniji rezultat) u istom posmatranom periodu. Na primer, na Rimskim Šančevima deficit vode sredinom veka bi iznosio 303 mm po jednom modelu, a po drugom čak 453 mm. Kao verovatna vrednost zbog toga je uzeta medijalna vrednost devet modela koja za taj period iznosi 347 mm.

Na svim lokalitetima se uočava trend povećanja deficita vode. U referentnom periodu prosečan deficit prirodnih travnjaka za vodom iznosi 312 mm, s tim što je najniža vrednost dobijena na području Valjeva (180 mm), a najviša na području Negotina (413 mm). U bliskoj budućnosti i sredinom veka uočava se trend povećavanja za po jednu normu zalivanja, dakle povećanje za prosečno 24 mm i 51 mm, redom. S obzirom na to da je po ovom scenariju povećanje emisije GSB sporije, temperaturni i padavinski režim se neće bitnije menjati od sredine veka, a samim tim i neto norme navodnjavanja.



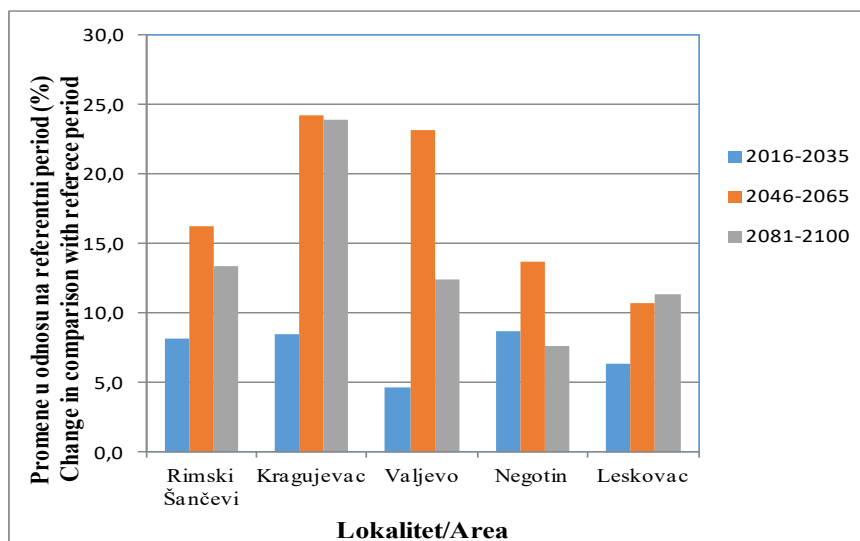
Slika 1. Neto norma navodnjavanja prirodnih travnjaka po scenariju RCP 4.5.

Figure 1. The net irrigation requirement of natural grasslands under the RCP 4.5 scenario.

Iako se na prvi pogled čini da se norme navodnjavanja neće značajnije menjati, treba napomenuti da nedostatak vode u Negotinu od 470 mm vode ukazuje na redovnu pojavu dugotrajnih suša, što predstavlja rizik po prirodne travnjake da se ne oporave posle obilnih jesenjih kiša, što posebno važi za one vrste trava čiji je uobičajeni period letnje dormancije na travnjaku kraći.

Na slici 2, prikazane su procentualne promene neto norme navodnjavanja u odnosu na referentni period (1986–2005). U bliskoj budućnosti povećanje varira od 4,7% u Valjevu do 8,7% u Negotinu, što se smatra uobičajenom standardnom varijacijom. Međutim, sredinom veka, povećanje deficita će biti najmanje na

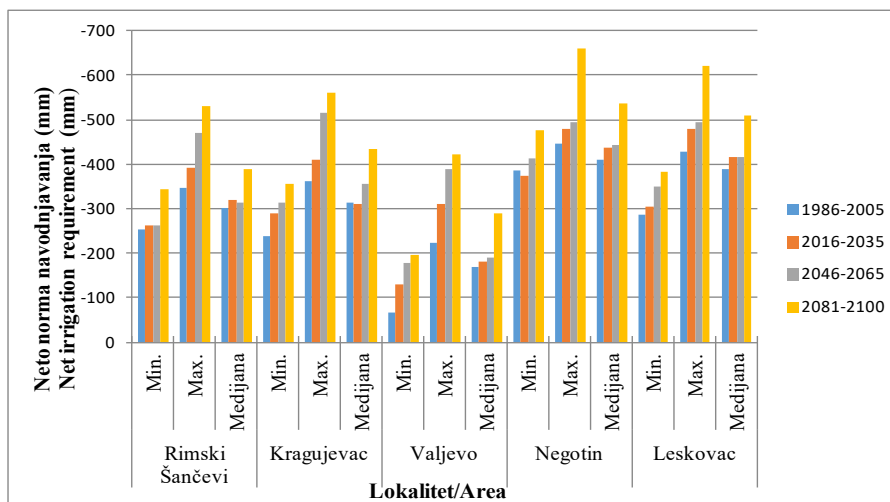
području Leskovca (10,7%), a najveće na području Kragujevca (24,2%). Nešto manje vrednosti će se javiti do kraja veka (7,7% u Negotinu do 23,9% u Kragujevcu). Na prvi pogled se može reći da povećanje od, na primer, 10,7% nije veliko za područje Negotina, ali ako su tamo deficiti znatno veći nego u drugim područjima, onda je jasno da će se situacija značajno pogoršati u i ovako najsušnijem delu Srbije.



Slika 2. Promena neto potreba za navodnjavanjem (%) po scenariju RCP4.5.

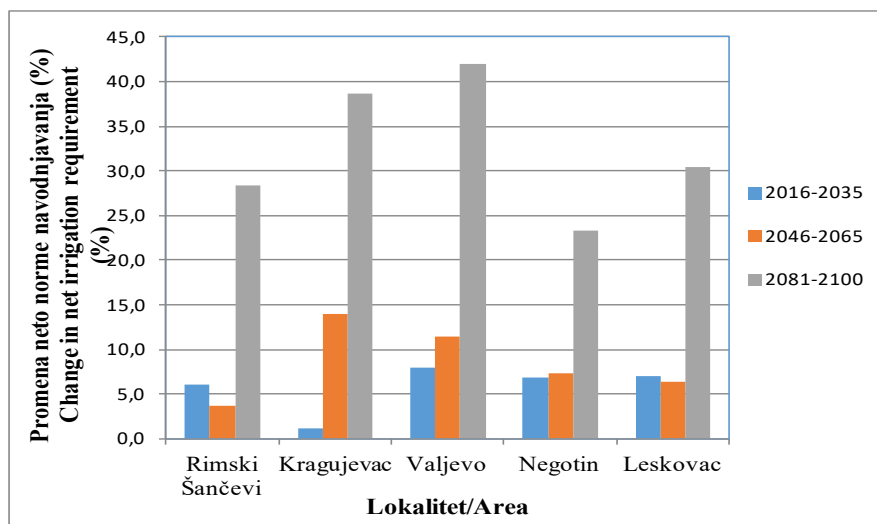
Figure 2. The percentual variation in irrigation water requirements under the RCP4.5 scenario.

Na slici 3 prikazane su neto norme navodnjavanja za prirodne travnjake po scenariju RCP8.5. Kao i u prethodnom scenariju (RCP4.5), uočavaju se značajne razlike u neto normama navodnjavanja po modelima. Na primer, u referentnom periodu deficit vode na području Valjeva po jednom modelu je 66 mm, a po drugom 223 mm, dok je medijalna vrednost 168 mm, što se podudara sa osmotrenim vrednostima deficita vode u pomenutom periodu (Avakumović et al., 2005). Nešto manje razlike se dobijaju na ostalim područjima. Na primer, na lokalitetu Negotin najniža vrednost je 385 mm, dok je najviša 447 mm, a medijalna 410 mm. Iz dobijenih podataka jasno je da je medijalna vrednost merodavna za dalje prognoze potreba prirodnih travnjaka za navodnjavanjem. Medijalne vrednosti deficita vode po svim modelima na posmatranim područjima iznose 333 mm, 343 mm i 430 mm u bliskoj budućnosti, sredinom i krajem veka, redom. Najniži deficiti se očekuju na području Valjeva 182 mm, 190 mm, 290 mm, a najveći na području Negotina 438 mm, 443 mm i 535 mm, u bliskoj budućnosti, sredinom i krajem veka, redom.



Slika 3. Neto potreba prirodnih travnjaka za navodnjavanjem po scenariju RCP 8.5.
Figure 3. The net irrigation requirement of grasslands under the RCP 8.5 scenario.

Daleko nepovoljniji scenario u pogledu vodnog režima prirodnih travnjaka je RCP8.5, po kome se očekuju značajno veći deficiti vode, naročito krajem veka. Iako je procentualno povećanje najmanje na području Negotina (23,3%), to područje će biti najviše pogođeno sušom (slika 4).



Slika 4. Promena neto potreba za navodnjavanjem (%) po scenariju RCP8.5.
Figure 4. The percentage of variation in net irrigation requirements under the RCP8.5 scenario.

Naime, kad su veliki deficiti vode, onda i malo povećanje je mnogo veće nego na nekom području gde su deficiti u referentnom periodu mnogo manji. Na primer, na području Negotina se deficit povećava za 125 mm, dok se na lokalitetu Valjevo povećava za 121 mm. Dakle, posmatrati samo relativno povećanje nije dovoljno da bi se ocenio negativan uticaj suše na neko područje, već je neophodno šire, sveobuhvatnije posmatranje. U svakom slučaju, promene deficita vode za 41,9%, na primer za Valjevo, svakako će izazvati ozbiljnu reakciju ekosistema travnjaka.

Sušni period

Dužina sušnog perioda je od velikog značaja za održivost ekosistema prirodnih travnjaka, ali i broj dana sa ekstremnim temperaturama, kako sa visokim tako i sa niskim, kao i izostanak snežnog pokrivača, itd.

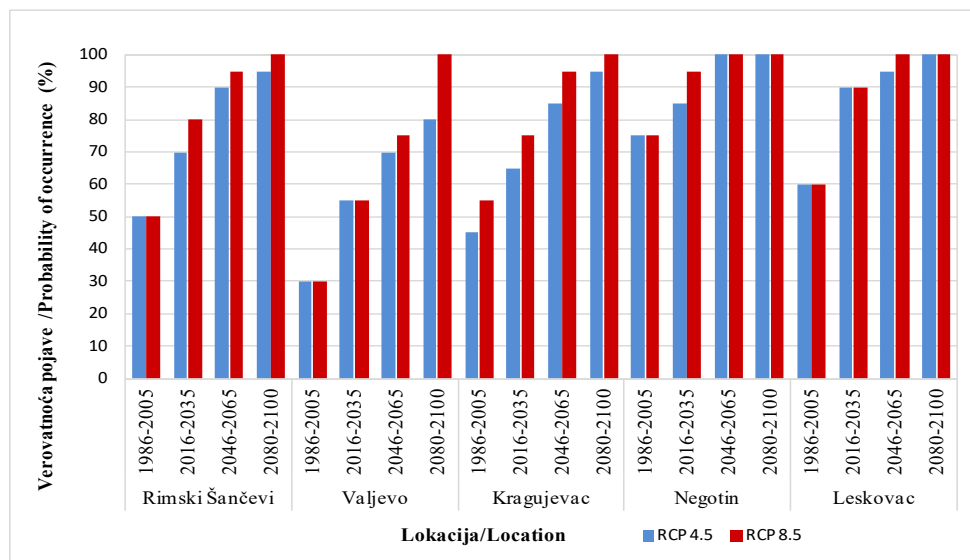
U tabeli 1 su prikazane verovatnoće pojave broja sušnih dana po lokalitetima. Iz podataka se vidi da će broj sušnih dana početkom veka biti najmanji na području Valjeva (97), a najveći na lokalitetu Negotin (107). Sredinom i krajem veka po scenariju RCP4.5 doći će do povećanja broja sušnih dana za 2 na svim područjima. Sličan broj dana se može očekivati i po scenariju RCP8.5, s tim što se krajem veka broj sušnih dana povećava 9 dana za Valjevo i od 5 do 7 dana na ostalim lokalitetima.

Tabela 1. Simulirani broj sušnih dana po lokalitetima.

Table 1. The number of days without rain.

Scenario	Period	Rimski Šančevi	Valjevo	Kragujevac	Negotin	Leskovac
RCP 4.5	1986–2005	101	95	100	106	101
	2016–2035	101	97	101	107	102
	2046–2065	103	99	103	109	105
	2080–2100	103	99	103	108	105
RCP 8.5	1986–2005	100	94	100	106	102
	2016–2035	101	96	101	106	101
	2046–2065	102	99	103	108	104
	2080–2100	106	103	107	111	109

Veza uticaja ekstremnih vremenskih pojava ekstremnih temperatura (verovatnoće pojave ekstremno visokih temperatura $> 30^{\circ}\text{C}$ u trajanju dužem od 30 dana), suše i broja sušnih dana su prikazane na slici 5. U referentnom periodu vidimo da je verovatnoća da ovako ekstremne temperature traju preko mesec dana variraju od 30% za lokalitet Valjevo, do 60% na lokalitetu Leskovac. U bliskoj budućnosti verovatnoće da će se ovako visoke temperature javiti rastu na svim područjima i variraju od 55% za Valjevo do 90% za Negotin i Leskovac, da bi sredinom i krajem veka praktično to postala redovna pojava (verovatnoća od 95% do 100%), pogotovo po scenariju RCP8.5.



Slika 5. Verovatnoća pojave (%) maksimalne dnevne temperatura vazduha $> 30^{\circ}\text{C}$ u trajanju od preko 30 dana na proučavanom području po dva scenarija RCP 4.5 i RCP 8.5.

Figure 5. The probability of the occurrence (%) of the maximum daily air temperature ($> 30^{\circ}\text{C}$) for more than 30 days at selected locations, under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios.

Verovatnoća pojavljivanja veoma niskih temperatura u toku zimskog dela godine je na istraživanim lokalitetima u referentnom periodu varirala od 15% za Rimske Šančeve, Valjevo i Kragujevac do 25% za Leskovac. U bliskoj budućnosti mogu se očekivati samo manje promene ovih verovatnoća po oba scenarija. Polovinom i krajem veka se po scenariju RCP4.5 može očekivati smanjenje verovatnoće na 5% do 10% na svim lokalitetima. Prema scenariju RCP8.5 polovinom veka verovatnoća pojavljivanja niskih temperatura će biti 10% na svim lokalitetima, dok se krajem veka takvi događaji ne očekuju (tabela 2).

Verovatnoća pojavljivanja veoma niskih temperatura koje su u isto vreme praćene golomrazicom, odnosno pojavljuju se bez formiranja snežnog pokrivača je očekivano manja (tabela 3). U Valjevu ovakvih događaja nije bilo u referentnom periodu, jer su obično niske temperature bile praćene formiranjem snežnog pokrivača, što se očekuje i u budućnosti, dokle god se tako niske temperature budu javljale. Na ostalim lokalitetima verovatnoća pojavljivanja niskih temperatura sa golomrazicom u referentnom periodu i bliskoj budućnosti je oko 5%, dok se do sredine i kraja veka očekuje da se ovakvi događaji više ne javljaju, naročito prema scenariju RCP8.5.

Tabela 2. Verovatnoća pojave $T_{min} < -17^{\circ}\text{C}$ u toku zime (%).*Table 2. The probability of the occurrence of $T_{min} < -17^{\circ}\text{C}$ during winter (%).*

Scenario	Period/Lokalitet	Rimski Šančevi	Valjevo	Kragujevac	Negotin	Leskovac
RCP4.5	1986–2005	15	15	15	20	25
	2016–2035	10	15	15	15	25
	2046–2065	5	10	5	5	15
	2081–2100	10	5	5	10	5
RCP8.5	1986–2005	15	15	15	15	25
	2016–2035	15	15	15	20	20
	2046–2065	10	10	10	10	10
	2081–2100	0	0	0	0	0

Dobijeni rezultati jasno ukazuju na to da će vegetacija prirodnih travnjaka biti izložena promeni klimatskih uslova, čestoj suši i čestoj pojavi ekstremno visokih temperatura. Nedostatak vode se očekuje već krajem maja, kada se iscrpe zalihe vode u zemljištu, i trajaće sve do prvih značajnijih jesenjih kiša, odnosno kada priliv vode bude dovoljan da se ostvari proces regeneracije biljaka i proces evapotranspiracije.

Tabela 3. Verovatnoća pojave $T_{min} < -17^{\circ}\text{C}$ bez snežnog pokrivača u toku zime (%).*Table 3. The probability of the occurrence of $T_{min} < -17^{\circ}\text{C}$ without snow cover during winter (%).*

Scenario	Period/Lokalitet	Rimski Šančevi	Valjevo	Kragujevac	Negotin	Leskovac
RCP4.5	1986–2005	5	0	5	5	5
	2016–2035	5	0	0	5	0
	2046–2065	0	0	0	0	5
	2081–2100	0	0	0	5	0
RCP8.5	1986–2005	0	0	5	5	5
	2016–2035	10	0	5	5	5
	2046–2065	0	0	0	0	0
	2081–2100	0	0	0	0	0

Proučavanjem trendova osmotrenih klimatskih parametara u periodu 1961–2017, uočeno je da se temperatura vazduha povećava za $0,36^{\circ}\text{C}$ po deceniji, ali da akumulirane padavine nemaju izraženi i jednoznačan trend u prostornoj i sezonskoj analizi. Uočeno je povećanje padavina za 7 mm, ali ovi rezultati nisu statistički značajni. Međutim, analizom sezonskih padavina došlo se do rezultata da se one smanjuju tokom letnjih meseci (Djurđević et al., 2018).

Iako će biti padavina tokom leta, one često neće biti dovoljne da prokvasa zemljište do potrebne dubine kako bi se travnjaci održavali u životu i obezbedila regeneracija pojedinih vrsta. Opšte je poznato da padavine manje od 8 mm nisu

efektivne ako se jave posle sušnog perioda, jer se najveći deo tih padavina zadrži na lišću (čak i suvom lišću) i u površinskom delu zemljišta odakle pri visokim letnjim temperaturama ispare istog ili sledećeg dana (Doorenbos i Pruitt, 1984), dok su padavine od 25 mm do 30 mm efektivne svega oko 60% (što znači da u zemljište dospe svega 15–18 mm), i one mogu prokvasiti zemljište do desetak centimetara. Ukoliko su padavine učestale, i manje količine mogu biti efektivne. S obzirom na to da se očekuje povećani broj sušnih dana i povećanje ekstremno visokih temperatura vazduha, opstanak travnjaka će u mnogome zavisiti od visine padavina u toku leta koje će obezbediti održavanje korenovog sistema u periodu prinudne hibernacije.

Istraživanja na globalnom nivou (Stuart-Haëntjens et al., 2018) ukazuju da je otpornost prirodnih travnjaka na ekstremne suše i njihov oporavak u korelaciji sa srednjim godišnjim sumama padavina. S obzirom na to da se sume padavina neće bitnije menjati na području Srbije, po ovim istraživanjima se može očekivati opstanak prirodnih travnjaka i pored povećanja deficita vode.

Mogući uticaji klimatskih promena na prirodne travnjake u Srbiji

U budućnosti se mogu očekivati dalja povećanja temperatura vazduha i to od 1,0°C, 2,0°C i 4,3°C, u bliskoj budućnosti, sredinom i krajem veka redom u odnosu na referentni period 1986–2005, po scenariju RCP8.5 (Vuković et al., 2018). Ovakve projekcije porasta temperature mogu imati i dobre i loše strane. Dobre strane se mogu očekivati samo na višim nadmorskim visinama, kada se usled otopljanja može očekivati duži vegetacioni period. Uz nepromenjene varijacije padavina mogu se očekivati i viši prinosi biomase (Orsenigo et al., 2014).

Međutim, više pokazatelja po ovim istraživanjima ukazuje na to da se usled klimatskih promena mogu očekivati negativni uticaji. Na primer, suša u kombinaciji sa toplotnim talasima utiče na produkciju biomase u letnjem periodu, ali ne i u prolećnom. Takođe, utiče i na mortalitet mladih biljaka, biljaka u razvoju, pa čak i stasalih (razvijenih) biljaka. Stepenu uvenuća svakako zavisi ne samo od stepena suše već i od biljne vrste i njene tolerantnosti na ekstremne uslove (C₃ ili C₄), kao i plodnosti zemljišta. Porast temperature može povećati fotosintezu trava tipa C₃ za 30%, ali ne i C₄, kojima veće temperature mogu pogodovati većem rastu (Volenc i Nelson, 2017), ali će im lišće i stabla biti slabijeg kvaliteta. Povezanost sa vodnim stresom će kod biljaka na travnjaku uticati na izduženje korena, u potrazi za vlagom.

Verovatnoća pojave ekstremnih temperatura vazduha u dužem trajanju u sadejstvu sa sušnim uslovima, što se očekuje u Srbiji može dovesti do ugrožavanja opstanka travnih biljnih vrsta (McDowell et al., 2011; Craine et al., 2013; Griffin-Noland i Knapp, 2018), a posebno vrsta severnog umerenog klimata kao što su: *Lolium perenne* (engleski ljulj), *Lolium multiflorum* (italijanski ljulj), *Phleum*

pratense (mačji rep), *Dactylis glomerata* (ježevica), *Festuca pratense* (livadski vijuk), *Poa pratensis* (prava livadarka), *Bromus inermis* (bezosni vlasen), *Alopecurus pratensis* (lisičji rep) i druge, koje su izuzetno osetljive na ovakve klimatske prilike. Sve ove višegodišnje travne vrste čine veoma brojne komponente, neretko edifikatore, biljnih asocijacija prirodnih trajnih travnjaka, odnosno glavne komponente i nosioce prinosa sejanih travnjaka za proizvodnju kabaste stočne hrane na livadama i oranicama Srbije (Sokolović et al., 2013).

Istovremeno, one se veoma razlikuju prema otpornosti na hladnoću, pa je mačji rep otporniji od bezosnog vlasena, a on je otporniji od ježevice. Prema otpornosti na izmrzavanje, trave tipa C₃ se razlikuju, od ekstremno otpornih, kao što su rosulje, koje izdržavaju i temperature ispod -30°C, preko prave livadarke, koja izdržava u zavisnosti od sorte i uslova sredine, od -20 do -30°C, do nešto osetljivijeg visokog vijuka, koji izdržava do -15°C i relativno osetljivog engleskog ljlulja, koji strada u rasponu od -5°C do -15°C (Bertrand et al., 2013).

Bezosni vlasen je tolerantniji na sušu od ježevice i prave livadarke, jer je dubljeg korena i ima pristup većoj zapremini zemljišta (Volenc i Nelson, 2017). Višegodišnje trave tipa C₃ se takođe razlikuju i po odgovoru na toplotni stres, pa visoki vijuk pokazuje visoku tolerantnost, prava livadarka dobru, dok engleski ljlulj i rosulje imaju zadovoljavajuću otpornost. S druge strane, obična livadarka (*Poa trivialis*) je neotporna na toplotni udar (DaCosta i Huang, 2013).

Duži sušni periodi uslovljavaju letnju dormanciju trava, tako da slabije štite zemljište od erozije i bujica koje mogu nastati usled jakih letnjih kiša. Pored toga, podložno je uticaju požara, a samim tim i ubrzanoj potencijalnoj sukcesiji biljnih asocijacija i izmeni prirodnog sintaksona. Višegodišnja izloženost nepovoljnim klimatskim uslovima može čak dovesti i do dezertifikacije (Kosmas et al., 2003), što se sve može očekivati u Srbiji s obzirom na očekivanu dugotrajnost sušnog perioda i visokih temperatura.

Istraživanja sprovedena na više ekozona ukazuju na to da će klimatske promene na područjima umerenih stepa (u koje se po prikazanoj klasifikaciji nalazi i naša zemlja) uticati na smanjenje produkcije biomase, pre svega zbog suše i povećane evapotranspiracije (Hossain i Li, 2020). Ovi podaci su u saglasnosti s dobijenim rezultatima o povećanju potreba travnatog pokrivača za vodom.

Eksperimentalna istraživanja sprovedena u mediteranskim uslovima potvrđuju da uticaj suše u kombinaciji sa visokim temperaturama negativno utiče na preživljavanje nekih trava. Naime, Severmutlu et al. (2011) su ustanovili da visoki vijuk, kao trava koja pripada tipu C₃ ulazi u period dormancije sredinom jula, a oporavak se ostvaruje na 70% biljaka na jednom području, dok se na drugom području ne oporavlja uopšte. S obzirom na to da će sušni period početi već u maju, a trajaće do septembra na svim područjima Srbije, po pitanju suše klima sve više nalikuje mediteranskoj.

S druge strane, i pored mogućnosti pojave niskih temperatura od -17°C , sa ili bez snežnog pokrivača, očekivanja su da će travnjaci dobro podnositi takve niske temperature, usled fiziološke osnove dominantnih vrsta na travnjaku – trava. Inače, na području Srbije se javljaju trave tipa C_3 koje skladište u ćelijskim vakuolama ugljeni hidrat fruktan, što im daje značajnu otpornost na oštećenja od niskih temperatura. Uz takve trave se javljaju i prilično tolerantne višegodišnje leguminoze dobro razvijenog korena (lucerka, crvena detelina, esparzeta...), koje akumuliraju skrob u hloroplastima i smanjuju disanje, dočekujući niske temperature spremne za preživljavanje. Veće probleme od veoma niskih temperatura mogu imati u proleće, kada se često smenjuju pozitivne dnevne temperature sa niskim noćnim, što može provocirati metaboličke procese u biljkama i izazvati oštećenja osetljivih vrsta.

Zaključak

Ova istraživanja su nagovestila velike promene koje će uslediti do kraja veka, ako se obistine projekcije date preko 9 klimatskih modela. Povećanje deficita vode, kao i ekstremnih temperatura i dužina sušnog perioda nagoveštava da su moguće promene u ekosistemu, što otvara niz pitanja kako prilagoditi korišćenje prirodnih travnjaka u budućnosti i kako zadržati/sačuvati floristički sastav trava. Dobijeni rezultati ukazuju na neophodnost obavljanja višegodišnjih eksperimentalnih istraživanja uticaja dužine sušnog perioda i ekstremnih temperatura na održivost prirodnih travnjaka.

Više temperature će uticati na skraćivanje perioda od nicanja do cvetanja. U toplijem klimatu sa manje padavina, biljke će na travnjacima imati ubrzano razviće. Biljke će biti kraće i težiće da cvetaju ranije. Radi očuvanja kvaliteta krme, to će zahtevati češće košenje.

Niske temperature ni do sada nisu imale značajniji uticaj na prirodne travnjake, ali će se rizik od stresa izazvanog niskim temperaturama ili opasnost od izmrzavanja još smanjivati.

S ozbirom na izvesno povećanje deficita vode, proizvodnja biomase uz povećanje efikasnosti korišćenja vode biće od najvećeg interesa u budućnosti, posebno za oplemenjivače. Kombinovanje vrsta trava različitih funkcionalnih grupa i sa različitim funkcionalnim osobinama, kao i tolerantnih sorti, moglo bi da igra ključnu ulogu u obezbeđenju dovoljno hrane za ispašu.

Zahvalnica

Ovaj rad je nastao kao rezultat istraživanja u okviru ugovora o realizaciji i finansiranju naučnoistraživačkog rada u 2020. godini između Poljopravnog fakulteta u Beogradu i Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, evidencioni broj ugovora: 451-03-68/2020-14/200116.

Literatura

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements*-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300 (9), D05109.
- Avakumović, D., Stričević, R., Đurović, N., Stanić, M., Dašić, T., & Đukić, V. (2005). Savremena analiza potrebnih količina vode za navodnjavanje. *Vodoprivreda*, 37 (1-3), 11-20.
- Bertrand, A., Castonguay, Y., Azaiez, A., & Dionne, J. (2013). Low temperature stress. *Turfgrass: Biology, use, and management*, 56, 279-318.
- Craine, J.M., Ocheltree, T.W., Nippert, J.B., Towne, E.G., Skibbe, A.M., Kembel, S.W., & Fargione, J.E. (2013). Global diversity of drought tolerance and grassland climate-change resilience. *Nature Climate Change*, 3 (1), 63-67.
- Doorenbos, J., & Pruitt, W.O. (1984). Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage papers. FAO, Rome.
- DaCosta, M., & Huang, B. (2013). Heat Stress Physiology and Management. *Turfgrass: Biology, Use, and Management*, 56, 249-278.
- Djordjević, V., Vuković, A., & Vujadinović Mandić, M. (2018). Osmotrene promene klime u Srbiji i projekcije buduće klime na osnovu različitih scenarija budućih emisija. (UNDP) https://www.klimatskepromene.rs/wp-content/uploads/2019/04/Osmotrene-promene-klime-Final_compressed.pdf.
- Griffin-Nolan, R.J., & Knapp, A. (2018). Functional trait diversity explains grassland sensitivity to drought. American Geophysical Union, Fall Meeting, December 2018, abstract #B13C-01.
- Hansen, J.W., Challinor, A., Ines, A., Wheeler, T., & Moron, T. (2006). Translating climate forecasts into agricultural: advances and challenges. *Climate Research*, 33, 27-41.
- Hofer, D., Suter, M., Haughey, E., Finn, J.A., Hoekstra, N.J., Buchmann, N., & Lüscher, A. (2016). Yield of temperate forage grassland species is either largely resistant or resilient to experimental summer drought. *Journal of Applied Ecology*, 53, 1023-1034.
- Hossain, M.L., & Li, J. (2020). Effects of long-term climatic variability and harvest frequency on grassland productivity across five ecoregions. *Global Ecology and Conservation*, e01154.
- Hutchinson, G.K., Richards, K., & Risk, W.H. (2000). Aspects of accumulated heat patterns (growing degree-days) and pasture growth in Southland. *New Zealand Grassland Association, Special issue 62*, 81-85.
- IPCC (2014). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Billir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Geniova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1132.
- Kosmas, C., Tsara, M., Moustakas, N., & Karavitis, C. (2003). Identification of indicators for desertification. *Annals of Arid Zone*, 42, 393-416.
- McDowell, N.G., Beerling, D.J., Breshears, D.D., Fisher, R.A., Raffa, K.F., & Stitt, M. (2011). The interdependence of mechanisms underlying climate-driven vegetation mortality. *Trends in Ecology & Evolution*, 26, 523-532.
- Marković, S. (2012). Proračun referentne evapotranspiracije na području republike Srpske u uslovima limitiranih klimatskih podataka. Doktorska disertacija, Univerzitet u Banja Luci.
- Olesen, J.E., Trnka, M., Kersebaum, K.C., Skjelvåg, A.O., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., Rossi, F., Kozyra, J., & Micale, F. (2011). Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *European Journal of Agronomy*, 34, 96-112.
- Orsenigo, S., Mondoni, A., Rossi, G., & Abeli, T. (2014). Some like it hot and some like it cold, but not too much: plant responses to climate extremes. *Plant Ecology*, 215 (7), 677-688.

- Puhalla, J., Krans, J., & Goatley, M. (2010). *Sports fields: Design, construction and maintenance*. John Wiley & Sons. New Jersey, Canada. Secodn edition.
- Republički zavod za statistiku (2019). *Statistički godišnjak Srbije*, Beograd.
- Severmutlu, S., Mutlu, N., Shearman, R.C., Gurbuz, E., Gulsen, O., Hocagil, M., Karaguzel O., Heng-Moss, T., Riordan, T.P., & Gaussoin, R.E. (2011). Establishment and turf qualities of warm-season turfgrasses in the Mediterranean region. *Hort Technology*, 21 (1), 67-81.
- Simić, A., Bjelić, Z., Mandić, V., Sokolović, D., & Babić, S. (2019). Permanent and sown grasslands in Serbia: Current state and trends. *Annals of the University of Craiova - Agriculture, Montanology, Cadastre Series XLIX*244-253.
- Sokolović, D., Dinić, B., Babić, S., Radović, J., Lugić, Z., Tomić, Z., & Jevtić, G. (2013). Forage quality, production and conservation on perennial grasses. In: Pavlovski Z. (Ed), *Proceedings of the 10th International Symposium, Modern Trends in Livestock Production*, (pp. 364-381). Belgrade, Serbia.
- Sokolović, D., Simić, A., & Babić, S. (2018). Višegodišnje krmne trave i njihov biodiverzitet. Organska proizvodnja i biodiverzitet, Nacionalno udruženje za razvoj organske proizvodnje, Serbia Organica, Ugrenović, V., & Filipović V. (Ed.), *Zbornik referata VI otvorenih dana biodiverziteta*, (pp. 43-66). Pančevo, Srbija.
- Stuart-Haëntjens, E., De Boeck, H.J., Lemoine, N.P., Mänd, P., Kröel-Dulay, G., Schmidt, I.K., Jentsch, A., Stampfli, A., Andereggi, W.R.L., Bahn, M., Kreyling, J., Wohlgemuth, T., Lloret, F., Classen, A.T., Gough, C.M., & Smith, M.D. (2018). Mean annual precipitation predicts primary production resistance and resilience to extreme drought. *Science of the Total Environment*, 636, 360-366.
- Suttle, K.B., Thomsen, M.A., & Power, M.E. (2007). Species interactions reverse grassland responses to changing climate. *Science*, 315 (5812), 640-642.
- Todorovic, M., Karic, B., & Pereira, L.S. (2013). Reference evapotranspiration estimate with limited weather data across a range of Mediterranean climates, *Journal of Hydrology*, 481, 166-176
- Trajkovic, S. (2005). Temperature-based approaches for estimating reference evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131 (4), 316-323.
- Trajkovic, S., 2007. Hargreaves versus Penman-Monteith under humid conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133 (1), 38-42.
- Vukovic, A., Vujadinovic, M., Djurdjevic, V., Cvetkovic, B., Rankovic-Vasic, Z., Przic, Z., Ruml, M., & Krzic, A. (2015). Fine Scale Climate Change Analysis: from Global Models to Local Impact Studies in Serbia. *Proceedings of the 7th International Conference on Informations and Communication Technologies in Agriculture, Food and Environment (HAICTA 2015)* (pp. 892-901). Kavala, Greece.
- Volenc, J.J., & Nelson, C.J. (2017). Environmental aspects of forage management. In: Collins, M., Nelson, C.J., Moore, K.J., & Barnes, R.F. (Eds.). *Forages, Volume 1: An Introduction to Grassland Agriculture*. (pp. 1-71). John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ, USA.
- Vuković, A.J., Vujadinović, M.P., Rendulić, S.M., Đurđević, V.S., Ruml, M.M., Babić, V.P., & Popović, D.P. (2018). Global warming impact on climate change in Serbia for the period 1961-2100. *Thermal Science*, 22 (6 Part A), 2267-2280.

Primljeno: 18. januara 2021.

Odobreno: 19. jula 2021.

THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE WATER
REQUIREMENT OF GRASSLANDS IN SERBIA**Ružica J. Stričević^{1*}, Aleksandar S. Simić¹,
Mirjam P. Vujadinović Mandić¹ and Dejan R. Sokolović²**¹University of Belgrade - Faculty of Agriculture, Belgrade-Zemun, Serbia²Institute for forage crops, Kruševac, 37251 Globoder, Serbia

A b s t r a c t

Due to the air temperature increase, longer growing seasons and erratic rainfalls in the last two decades, natural grasslands like meadows or pastures grow in unfavourable climatic conditions that disable the regeneration. The aim of this work is to assess the impact of climate changes on the water requirement of grasslands in Serbia. The results of ensembles of nine regional climate models from the EURO-CORDEX database were used to analyse future climatic conditions. As the most probable value, the median of scores obtained for each ensemble member was considered. The period of 1986–2005 was used as the reference. The time slices in future periods are: 2016–2035 (the near future), 2046–2065 (the mid-century) and 2081–2100 (the end of the century). Analyses were conducted for two scenarios of GHG emissions: RCP4.5 and RCP8.5. Permanent grasslands will be more prone to drought risks in the future. Water shortage could be expected at the end of May when the water stored in the soil will be depleted by the duration of drought until September heavy rains. According to both scenarios, an increment of water requirement of 7% could be expected in the near future. The RCP4.5 scenario projects an increase in the water requirement in the range of 10.7–24.2% from the mid to the end of the century. The less favourable but more realistic RCP8.5 scenario projects a water need increment in the range from 4% to 14 % in the mid-century and 28.4–41.9% toward the end of the century. Recent research indicates that drought resistance will be developed through natural diversity and the spread of species resistant to high temperatures and water scarcity.

Key words: permanent grasslands, irrigation, climate change, drought.

Received: January 18, 2021

Accepted: July 19, 2021

*Corresponding author: e-mail: sruzica@agrif.bg.ac.rs