

PROCENA PRINOSA I POTREBE ŠEĆERNE REPE ZA VODOM U  
USLOVIMA KLIMATSKIH PROMENA NA PODRUČJU REPUBLIKE  
SRBIJE PRIMENOM AQUACROP MODELA

**Ružica J. Stričević<sup>1\*</sup>, Nevenka Lj. Đurović<sup>1</sup>, Ana J. Vuković<sup>1,2</sup>,  
Mirjam P. Vujadinović<sup>1,2</sup>, Marija D. Čosić<sup>1</sup> i Borivoj S. Pejić<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet,  
Nemanjina 6, 11080 Beograd-Zemun, Srbija

<sup>2</sup>Virtuelni centar za klimatske promene za jugoistočnu Evropu, Republički  
hidrometeorološki zavod Srbije, Kneza Višeslava 66, 11000 Beograd, Srbija

<sup>3</sup>Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet,  
Trg Dositeja Obradovića 8, 21000 Novi Sad, Srbija

**Rezime:** Uticaj klimatskih promena na proizvodnju hrane je od velikog značaja za strateško planiranje upravljanja prirodnim resursima, pre svega vode i zemljišta. Stoga je cilj ovoga rada bio da se proceni kako klimatske promene mogu uticati na prinose šećerne repe, norme navodnjavanja i mogućnosti uštede vode za navodnjavanje. Za simulaciju prinosa i potreba useva za vodom korišćen je model AquaCrop i rezultati povezanog regionalnog klimatskog modela za atmosferu i okean EBU-POM za scenarija A1B, A2 za prvi period (2010–2039); drugi (2040–2069) i treći (2070–2099). U scenarijima sa oznakom A1B\* i A2\* su u modelu AquaCrop uzete povećane koncentracije CO<sub>2</sub>. Na područjima Vojvodine i centralne Srbije se jasno vidi da se u prvom periodu neće smanjiti prinosi ni po jednom scenariju, već se mogu očekivati i povećanja po svim varijantama gajenja šećerne repe. U drugom periodu, uočavaju se padovi prinosa u scenarijima A1B i A2 na području Vojvodine, dok se u centralnoj Srbiji može očekivati i pad prinosa u scenariju A1B kao i u scenariju A2\*. Navodnjavanjem se u svim scenarijima značajno povećava prinos, s tim što je povećanje prinosa izraženije na području centralne Srbije. Ukoliko bi se koristile optimalne norme navodnjavanja prinos bi mogao da se poveća od 57–97% u Vojvodini i 77–285% u centralnoj Srbiji. Uticaj navodnjavanja na povećanje prinosa je najmanji u prvom periodu i on linearno raste u drugom i trećem periodu. U uslovima redukovano navodnjavanja u scenariju A2, na području centralne Srbije voda bi mogla da se uštedi samo na račun pada prinosa. Za postizanje visokih prinosa, neophodno je obezbediti od 300 do 500 mm vode, a na području Vojvodine od 300 do 420 mm, s mogućnošću uštede za oko 20%. Pri scenariju A1B bi se moglo uštedeti do 80 mm na oba područja.

**Ključne reči:** navodnjavanje, klimatske promene, šećerna repa, AquaCrop model.

---

\* Autor za kontakt: e-mail: [sruzica@agrif.bg.ac.rs](mailto:sruzica@agrif.bg.ac.rs)

## Uvod

U posljednje dve dekade svedoci smo velike klimatske varijabilnosti, koja je izražena širom sveta, pa i u našoj zemlji. Bojazan kako ona može uticati na proizvodnju hrane, pogotovo na bazičnu proizvodnju koja je direktno pogođena klimatskim promenama je uslovlila da se veliki broj naučnih istraživanja usmeri u ovom pravcu. Objavljeno je nekoliko stotina radova koje proučavaju uticaj klimatske varijabilnosti kao i uticaj raznih klimatskih scenarija na prinose najvažnijih ratarskih kultura. Najčešće su to bile pšenica i kukuruz, dve strateške kulture kako u proizvodnji hrane, tako i u trgovinskoj razmeni, a u nešto manjoj meri ispitivan je uticaj na druge kulture.

Peltonen-Sainio et al. (2010) su proučavali klimatsku varijabilnost na prinose značajnih ratarskih kultura (ječam, pšenica, uljana repica, krompir i šećerna repa) i ustanovili da povećanje temperature u evropskim zemljama utiče na prinose, mada sofisticirana poljoprivreda značajno ublažava negativan uticaj. Penalba et al. (2007) su ustanovili da temperatura i obilne padavine mogu direktno uticati na prinose soje, ali da ne postoji opšti trend uticaja za širi region. Trnka et al. (2004) su proučavali uticaj klimatskih promena na prinose jarog ječma. Oni su ustanovili da se prinos jarog ječma uglavnom smanjuje u manjoj ili većoj meri u zavisnosti od scenarija emisije, s tim što povećana koncentracija CO<sub>2</sub> ublažava negativan uticaj. Uticaj klimatskih promena na prinos soje u Austriji istraživali su Aleksandrov et al. (2002) koristeći modele CERES za prognozu prinosa pšenice i CROPGRO za soju za različite scenarije i vremenske serije. Oni su došli do zaključka da promene u budućnosti mogu i pozitivno i negativno da utiču na prinos, što u najvećoj meri zavisi kako od promene količine padavina i povećanja temperature, tako i od kapaciteta zemljišta za vodu. Uticaj klimatskih promena sa povećanom koncentracijom CO<sub>2</sub> na prinose navodnjavanog kukuruza su proučavali Islam et al. (2012) u centralnoj Velikoj ravnici (SAD) primenom modela *Root Zone Water Quality Model (RZWQM2)*. Rezultati simulacije prinosa ukazuju na smanjenje prinosa, zbog negativnog efekta visokih temperatura vazduha koje su dominantnije od pozitivnog efekta povećane koncentracije CO<sub>2</sub>. Takođe je utvrđeno skraćenje vegetacionog perioda, pa samim tim i potrebe useva za vodom, što se odražava i na smanjenje potrebe za navodnjavanjem. Kao mera za ublažavanje negativnih efekata se predlaže uvođenje sorti i hibrida kukuruza sa dužom vegetacijom, koje su tolerantnije na više temperature.

Koristeći rezultate globalnog klimatskog modela i WheatGrow modela za simulaciju prinosa pšenice u glavnim proizvodnim regionima u Kini, Lv et al. (2013) su došli do zaključka da će se prinosi pšenice u uslovima bez navodnjavanja smanjiti u severnom delu do kraja veka, dok će se prinosi povećati u južnim regionima. U uslovima navodnjavanja se očekuje povećanje prinosa u svim regionima, ali ograničeni resursi vode u tom slučaju iziskuju i maksimalnu efikasnost korišćenja vode.

S obzirom na to da se ratarska proizvodnja u Srbiji odvija u prirodnom režimu snabdevanja vodom, dakle padavinama i kapilarnim doticajem podzemne vode, jasno je da je ova problematika veoma aktuelna i u našoj zemlji. Iz tog razloga, naučni projekti i imaju zadatak da utvrde kako će klimatske promene uticati na prinose najznačajnijih ratarskih kultura, kako bi se blagovremeno usmerila istraživanja na mere ublažavanja negativnih efekata. Dosadašnjim istraživanjima je utvrđeno da prinosi šećerne repe u najvećoj meri zavise od raspoložive količine vode (Maksimović i Dragović, 2002; Matović et al., 2002) i da ova kultura efikasnije troši vodu od drugih ratarskih kultura, npr. kukuruza, pšenice ili suncokreta (Stričević et al., 2011). Zato je cilj ovoga rada da se proceni kako klimatske promene utiču na prinose šećerne repe i potrebe useva za vodom i da se predlože mere ublažavanja negativnih efekata klimatskih promena.

### Materijal i metode

Za simulaciju prinosa i potrebe šećerne repe za vodom korišćen je model AquaCrop, verzija 4.0. Sam opis modela i metod rada kalibracije i validacije je detaljno opisan u naučnim publikacijama, kao i u priručniku, tako da se ovde neće opisivati (Hsiao et al., 2009; Raes et al., 2009; Steduto et al., 2009; Steduto et al., 2012). Kalibracija i validacija modela za lokalne uslove izvršena je na osnovu rezultata višegodišnjih oglada obavljenih na oglednoj stanici Rimski Šančevi. Rezultati simulacije ukazuju na visok stepen pouzdanosti ovog modela u proceni prinosa šećerne repe. Svi detalji vezani za kalibraciju i validaciju modela se mogu pogledati u radu Stričević et al. (2011).

Koristeći već postojeće ulazne parametre za simulaciju prinosa šećerne repe u ovom radu je izvršena jedna korekcija koja se odnosi na uticaj plodnosti zemljišta na prinose. Naime, model se uvek kalibrira tako da može da simulira prinose koje može da ostvari određeni genetski potencijal, a ostali parametri se podešavaju u zavisnosti od toga da li je usev u stresu u slučaju nedostatka vode, hraniva ili pak saliniteta. Pored ulaznih podataka vezanih za sam usev, neophodno je raspolagati i podacima o klimatskim parametrima (referentna evapotranspiracija, dnevna minimalna i maksimalna temperatura vazduha, padavine), fizičkim osobinama zemljišta (kapaciteti zemljišta za vodu, mehanički sastav, intenzitet infiltracije, plodnost zemljišta, nagib zemljišta tj. koeficijent oticanja, moćnost horizonata, postojanje nepropusnog zemljišta), načinu obrade zemljišta (mulčiranje, navodnjavanje), vlažnosti zemljišta, i režimu navodnjavanja, kao i o koncentraciji CO<sub>2</sub>.

Da bi se izvršile neophodne korekcije u ulaznim fajlovima za model za simulaciju prinosa i potrebe šećerne repe za vodom na teritoriji Republike Srbije, uzeti su statistički prinosi od 1960. do 1990. godine, posebno za područje Vojvodine i za područje centralne Srbije. Aquacrop model daje prinose šećera, a statistički podaci se odnose na prinos korena. Da bi podaci bili uporedivi urađena je

konverzija, tako što je prinos korena pomnožen sa prosečnim procentualnim sadržajem šećera u korenu, dakle sa 0,159 (Milić et al., 2006; Matović et al., 2002).

Iako je zemljište heterogeno u prostoru, pošlo se od činjenice da se šećerna repa gaji na dubokim i rastresitim zemljištima nešto težeg mehaničkog sastava, tako da je za područje Vojvodine uzeto kao reprezentativno zemljište livadski černoziem, a za područje centralne Srbije gajnjača. Klimatski podaci su uzeti sa dve reprezentativne meteorološke stanice sa aspekta ratarske proizvodnje: Rimski Šančevi za područje Vojvodine i Smederevska Palanka za područje centralne Srbije.

Za koncentraciju CO<sub>2</sub> u modelu AquaCrop korišćena su dva seta podataka:

- Prvi tzv. globalni prosek, za granične pomorske podatke za period 1980–2007.
- Drugi, u radu označen kao >CO<sub>2</sub> Manoa Loo opservacije za period 1959–2009, sa IPCC projekcijom za A1B scenario dobijen modelom BERN. Dakle, scenariji sa oznakama A1B\* i A2\* označavaju da je za simulaciju prinosa u AquaCrop modelu korišćen ovaj set podataka.

Simulacija prinosa je urađena za sledeće opcije:

- Prosečna plodnost i nivo đubrenja za period 1961–1990, ovaj period je referentan za klimatske parametre.

- Plodnost zemljišta i đubrenje na istom nivou kao u periodu 1976–1990 (P), ovaj period je referentan za prinose.

- Povećano đubrenje do nivoa skoro optimalno (F).

- Navodnjavanje uz primenu pune norme (N, odnosno PN).

- Navodnjavanje uz uštedu vode (RN).

Za ocenu uticaja klimatskih promena na svaku granu privrede, pa tako i poljoprivrede, već je ustaljena procedura korišćenja rezultata simulacija klimatskih modela. Globalni klimatski modeli daju generalnu sliku promena klime na velikim razmerama, ali je njihova prostorna rezolucija najčešće previše gruba za analizu uticaja na lokalnom nivou. Zbog toga je uobičajeno da se rezultati globalnih klimatskih modela koriste kao ulaz u regionalne klimatske modele koji imaju veću prostornu rezoluciju i daju detaljniju sliku klime u oblasti od interesa (Ruml et al., 2012). U ovom istraživanju korišćeni su rezultati povezanog regionalnog klimatskog modela za atmosferu i okean EBU-POM (Eta Belgrade University – Prinstone Ocean Model) (Djurđević i Rajković, 2008; Gualdi et al., 2008). Početni i granični uslovi su preuzeti iz globalnog modela ECHAM5 (Roeckner et al., 2003), a domen integracije je zahvatao evro-mediteransku oblast sa Sredozemnim morem (bez Crnog mora). Prostorna rezolucija atmosferskog dela modela je bila 0,25° (oko 30 km), a okeanskog 0,2°. Posmatrana su tri perioda pod različitim scenarijima koncentracija gasova staklene bašte i to: referentni period 1961–1990. godine sa osmotrenom koncentracijom CO<sub>2</sub> (eksperiment 20c3m), 2001–2100. godine pod A1B IPCC/SRES scenarijom i 2001–2100. godine pod A2 IPCC/SRES scenarijom. Po predviđenim koncentracijama gasova staklene bašte, A1B scenario se može nazvati umerenim, a A2 scenarijom jačeg intenziteta (Nakicenovic et al.,

2000). Trenutno osmotrene koncentracije CO<sub>2</sub> u atmosferi su slične onima koje predviđa A2 scenario.

U mnogim studijama klimatskih projekcija pokazano je da većina regionalnih klimatskih modela ima sistemsku grešku, tzv. *bias*, nad jugozapadnom Evropom, a naročito u oblasti Panonske nizije (Hagemann et al., 2004). Ona je najuočljivija leti, kada su rezultati modela mahom topliji i sušniji u poređenju sa osmatranjima. Kako bi se neutralisala ova greška, rezultati regionalnog klimatskog modela su dodatno statistički korigovani (Dettinger et al., 2004; Piani et al., 2010). Korekcija je urađena za dnevne minimalne i maksimalne temperature vazduha na 2 m visine i dnevne količine padavina. Procedura statističke korekcije podrazumeva poređenje kumulativnih raspodela verovatnoće osmatranja sa dve meteorološke stanice, Rimski Šančevi i Smederevska Palanka, i rezultata modela u tačkama najbližim ovim stanicama, na dnevnom nivou u periodu 1961–1990. godine i formiranje korektivne funkcije preslikavanja (Rajković et al., 2014). Ovo poređenje je izvršeno posebno za svaku stanicu, promenljivu i svaki mesec, a dobijene korektivne funkcije su primenjene na rezultate modela za referentni i buduće periode. Ovako korigovani parametri su korišćeni kao ulaz u AquaCrop model.

Analizirani klimatski periodi su:

- Prvi period 2010–2039. godine,
- Drugi period 2040–2069. godine,
- Treći period 2070–2099. godine.

Za analizu i upoređivanje podataka statističkih prinosa i onih dobijenih simulacijom korišćene su tri statističke metode: kvadratni koren sredine greške (*RMSE*), normalizovani kvadratni koren sredine greške (*NRMSE*) i Vilmotov indeks slaganja (*d*). Što su niže vrednosti *RMSE* i *NRMSE* to je rezultat simulacije pouzdaniji, a kalibracija modela se poboljšava ako vrednost teži nuli.

$$RMSE = \left[ \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2} \right] \quad (1)$$

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2}{n}} \times \frac{100}{\bar{M}} \quad (2)$$

Gde je:  $S_i$  i  $M_i$  su simulirane odnosno statističke vrednosti, a  $n$  je broj osmatranja.

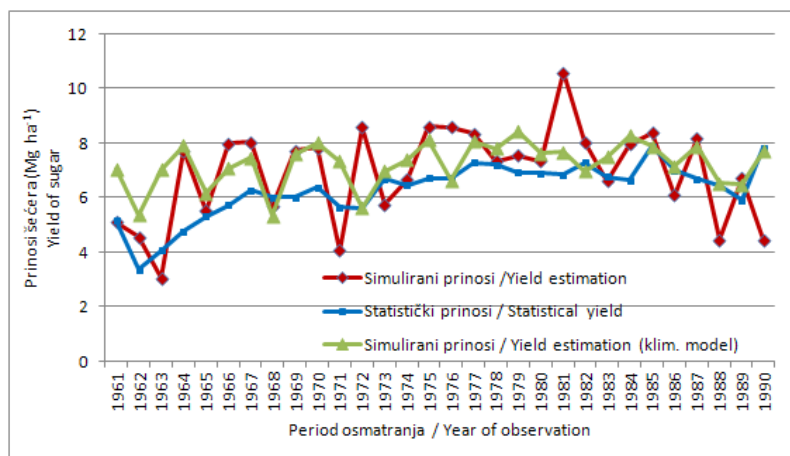
Indeks slaganja (*d*) je izračunat po jednačini (Willmott, 1982) koja glasi:

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|S_i - \bar{M}| + |M_i - \bar{M}|)^2} \quad (3)$$

gde  $\bar{M}$  predstavlja prosečne vrednosti izmerenih podataka. Indeks slaganja je opisni parametar i njegove vrednosti se kreću od 0 do 1. Što je vrednost bliža jedinici, to model bolje simulira posmatrani parametar.

### Rezultati i diskusija

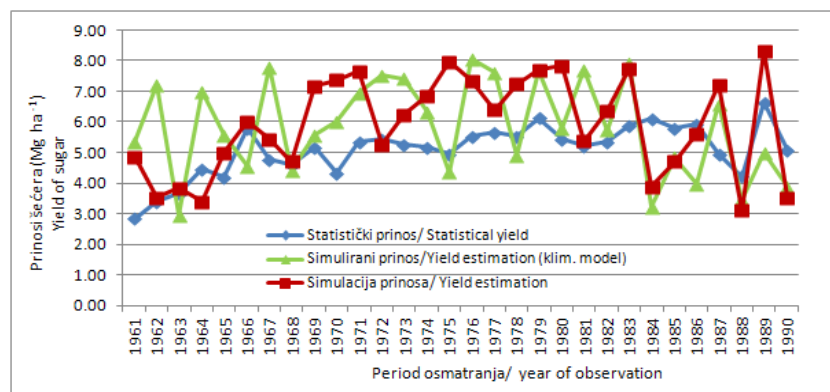
Pre nego što se krenulo sa simulacijom prinosa i potrebe šećerne repe za vodom u uslovima klimatskih promena, urađena je simulacija za period od 1960 do 1990. godine, da bi se mogao sagledati trend i stepen uticaja istih. Rezultati simulacije prinosa za područje Vojvodine su prikazani na slici 1, a za područje centralne Srbije na slici 2.



Slika 1. Simulacija prinosa šećera na području Vojvodine.  
Figure 1. Sugar yield estimation for the Vojvodina region.

Na prvi pogled, moglo bi se zaključiti da dolazi do značajnih odstupanja u proceni prinosa. Međutim, to se javlja samo u prvoj polovini proučavanog perioda (1960–1975), kada na čitavom području nisu primenjivana mineralna đubriva ili su tek počela da se primenjuju u manjoj količini i na manjim površinama. Sa povećanjem primene đubriva (1976–1990), bolje selekcije bilja i dorade semena, trend odstupanja procenjenih prinosa je značajno smanjen. Po statističkom parametru *NRMSE* uočava se manje odstupanje na području Vojvodine (23,8%), gde su zemljišta moćnija u odnosu na centralnu Srbiju (28%), dok su u pogledu druga dva parametra (*RMSE* i *d*) uočena manja odstupanja na području centralne Srbije. Ovakva odstupanja su oučena i pri proceni prinosa ozime pšenice i sunckoreta na području jugoistočne Evrope (Moriondo et al., 2011). Ohrabruje činjenica da se rezultati simulacije prinosa šećera pri korišćenju klimatskih podataka dobijenih iz

modela bolje podudaraju sa statističkim prinosisima. Odstupanja na području Vojvodine iznose svega 11,5%, a izuzetno visoka vrednost  $d$  (0,956), ukazuje na veoma dobro slaganje. Na području centralne Srbije odstupanja su neznatno viša (13,8%), ali je koeficijent  $d$  značajno manji i ukazuje na srednje slaganje.



Slika 2. Simulacija prinosa šećera na području centralne Srbije.  
Figure 2. Sugar yield estimation for the Central Serbia region.

Takođe, treba istaći da je pogrešno upoređivati godinu za godinom iz klimatskog modela i osmatranja. Važno je da su srednje vrednosti i vrednosti standardne devijacije dobijene za 30 godina osmatranja, npr. temperature vazduha, padavina ili prinosa uporedive sa vrednostima dobijenim modelom u istom periodu.

Tabela 1. Statistička analiza simulacije prinosa šećerne repe za period 1976–1990.  
Table 1. Statistical analysis of sugarbeet yield for the period 1976–1990.

Region	Klimatski podaci (mereno) <i>Measured climate data</i>			Klimatski podaci (model) <i>Estimated climate data</i>		
	RMSE (Mg ha <sup>-1</sup> )	NRMSE (%)	$d$	RMSE (Mg ha <sup>-1</sup> )	NRMSE (%)	$d$
Vojvodina	1,66	23,8	0,585	0,8	11,54	0,956
Centralna Srbija	1,57	28,35	0,628	1,72	13,8	0,467

RMSE - kvadratni koren sredine greške (*Root Mean Square Error*), NRMSE - normalizovani kvadratni koren sredine greške (*Normalized Root Mean Square Error*),  $d$  - Vilmotov indeks slaganja (*Willmott's Index of Agreement*).

U ovom radu je upravo pokazano da su srednje vrednosti dobijene klimatskim modelom slične kao iz eksperimenta sa osmatranjima. Dobijeni rezultati nam otvaraju mogućnost da sa dosta pouzdanosti možemo predvideti budući trend prinosa šećerne repe, zatim potrošnje vode i ukupne potrebe za navodnjavanjem, kako bi se na vreme mogle preduzeti neophodne mere u procesu strateškog planiranja.

U tabeli 2 su prikazani prosečni prinosi šećera pri gajenju šećerne repe na istovetan način kao u referentnom periodu (1961–1990), dakle opcija P. Dobijeni rezultati pokazuju da razlika prosečnih izmerenih i simuliranih prinosa iznosi 10% i zajedno sa statističkim pokazateljima se mogu dosta pouzdano predvideti prinosi u uslovima različitih klimatskih scenarija. Posmatrajući prosečne prinose u uslovima klimatskih promena, uočava se trend opadanja od 2010. do 2099. godine. Veće standardne devijacije se uočavaju na području centralne Srbije u odnosu na područje Vojvodine. Najviši prinosi se prognoziraju za scenario A2\* na oba područja u prvom i drugom periodu, dok se u trećem periodu očekuju najviši prosečni prinosi po scenariju A1B\*. Za razliku od naše zemlje, u Holandiji se očekuju povećanja prinosa šećerne repe do 20% usled povećanja temperature i padavina, čime se obezbeđuju povoljniji uslovi za rast (Van Asseldonk i Langeveld, 2007).

Tabela 2. Prosečni prinosi šećera ( $Mg\ ha^{-1}$ ) pri gajenju šećerne repe istovetno kao u referentnom periodu, u različitim scenarijima klimatskih promena.

*Table 2. Average sugar yield ( $Mg\ ha^{-1}$ ) under the climate change conditions, when growing sugar beet under the same conditions as during the reference period.*

Prinos Yield ( $Mg\ ha^{-1}$ )	Region	Vojvodina				Centralna Srbija Central Serbia			
		1976– 1990	2010– 2039	2040– 2069	2070– 2099	1976– 1990	2010– 2039	2040– 2069	2070– 2099
Mereno <i>Measured</i>	Prosek/ <i>Mean</i>	6,9				6,2			
	Stdev	0,5				1,7			
Simulirano <i>Simulated</i>	Prosek/ <i>Mean</i>	7,4				5,6			
	Stdev	1,6				0,6			
A1B	Prosek/ <i>Mean</i>		7,43	6,47	6,16		5,72	4,55	4,24
	Stdev		1,4	1,3	1,17		1,96	1,63	1,93
A1B*	Prosek/ <i>Mean</i>		8,01	7,69	7,84		6,3	5,84	6,07
	stdev		1,51	1,46	1,45		2,13	1,98	2,63
A2	Prosek/ <i>Mean</i>		7,70	6,88	6,14		5,95	5,18	4,03
	Stdev		1,14	1,35	1,47		1,83	1,89	2
A2*	Prosek/ <i>Mean</i>		8,29	8,16	7,81		6,41	6,16	5,13
	Stdev		1,18	1,51	1,78		1,95	2,2	2,5

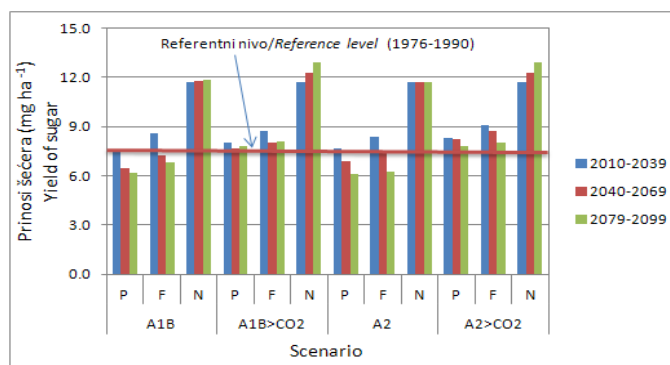
\*Označava da je prinos simuliran sa povećanom koncentracijom  $CO_2$ .

\**Yield simulation with elevated concentration of  $CO_2$ .*

Na slikama 3 i 4 su prikazani rezultati prosečnih prinosa šećera na području Vojvodine i centralne Srbije za sva četiri scenarija, za tri perioda posmatranja, 2010–2039. godine; 2040–2069. godine i 2070–2099. godine kao i prosečan prinos u periodu 1976–1990. godine u uslovima prosečnog đubrenja, povećanog đubrenja (F) i u uslovima navodnjavanja (N). Na oba područja se jasno vidi da se u prvom periodu (2010–2039) neće smanjiti prinosi ni po jednom scenariju, već se mogu očekivati i povećanja po svim varijantama gajenja šećerne repe. U drugom periodu (2040–2069) uočavaju se padovi prinosa u scenarijima bez povećanja  $CO_2$  na

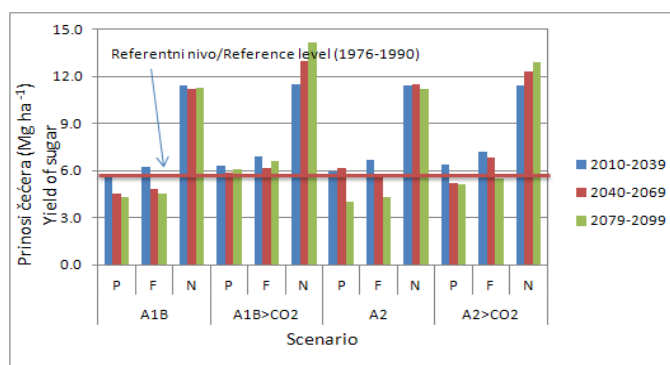


području Vojvodine, dok se u centralnoj Srbiji može očekivati i pad prinosa u scenariju A1B na opciji P i F, zatim u scenariju A2\*, samo na varijanti P. Primenom adekvatnog đubrenja prinosi se mogu zadržati prosečno na istom nivou kao u referentnom periodu.



Slika 3. Prosečan prinos šećera po različitim scenarijima i tehnologiji gajenja na području Vojvodine.

*Figure 3. Mean yield of sugar in different scenarios, and under different growing practices in the Vojvodina region.*



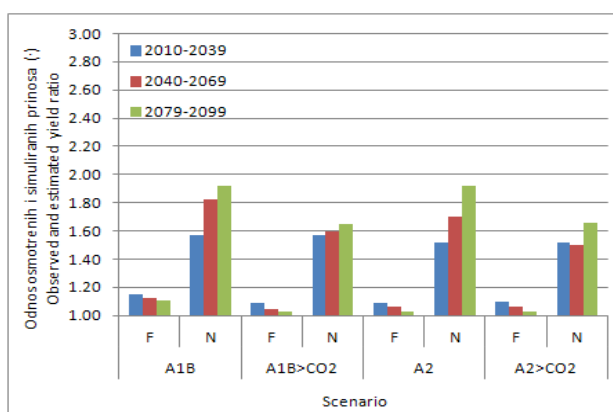
Slika 4. Prosečan prinos šećera po različitim scenarijima i tehnologiji gajenja na području centralne Srbije.

*Figure 4. Mean yield of sugar in different scenarios, and under different growing practices in the Central Serbia region.*

U trećem periodu (2070–2099), na oba područja očekuje se pad prinosa u scenarijima A1B i A2, s tim što se na području centralne Srbije očekuje pad prinosa i u scenariju A2\* samo na varijantama P i F. Navodnjavanjem se u svim scenarijima značajno povećava prinos na oba područja, s tim što je povećanje prinosa izraženije

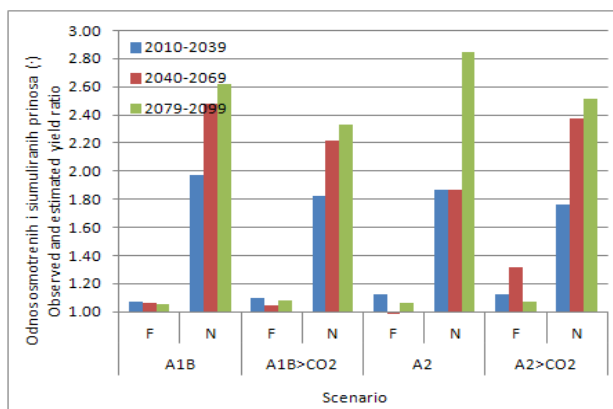
na području centralne Srbije. Ovakav rezultat se očekivao jer su zemljišta prosečno plića, a prinosi u uslovima prirodne snabdevenosti vodom bi bili manji u odnosu na područje Vojvodine. Do zaključka da povećana koncentracija CO<sub>2</sub> povoljno utiče na efikasnije trošenje vode i hraniva, tj. na ostvarenje visokih prinosa u uslovima klimatskih promena došli su i Trnka et al. (2004) proučavajući uticaj na jarom ječmu, Kersebaum et al. (2009) na šećernoj repi, ozimom ječmu i pšenici.

Na slikama 5 i 6 su prikazani odnosi prosečnih osmotrenih i simuliranih prinosa šećera po svim scenarijima i varijantama gajenja šećerne repe.



Slika 5. Odnos prosečnih osmotrenih i simuliranih prinosa šećera na području Vojvodine.

*Figure 5. Observed and simulated mean sugar yield ratios in the Vojvodina region.*

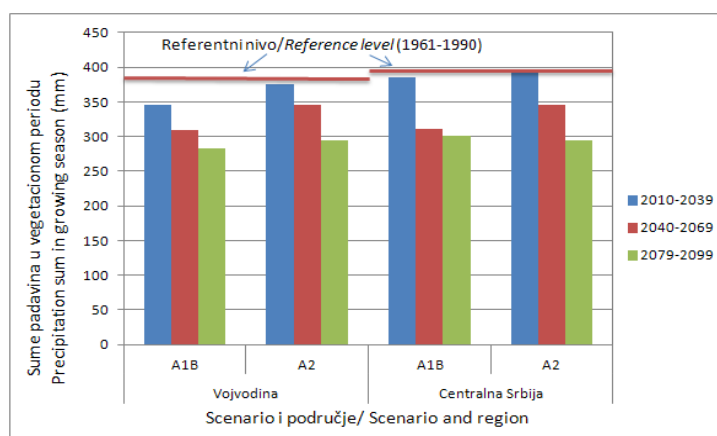


Slika 6. Odnos prosečnih osmotrenih i simuliranih prinosa šećera na području centralne Srbije.

*Figure 6. Observed and simulated mean sugar yield ratios in the Central Serbia region.*

Ukoliko bi se koristile optimalne količine đubriva, prinos bi mogao da se poveća svega 3–15% na oba područja u odnosu na varijantu P, dok se prinosi u uslovima navodnjavanja povećavaju od 57% do 97% na području Vojvodine, a na području centralne Srbije od 77% sve do 285%. Uticaj navodnjavanja na povećanje prinosa je najmanji u prvom periodu 2010–2039. godine i on linearno raste u drugom i trećem periodu. Najveći pozitivan efekat navodnjavanja se uočava na scenariju A2, a najmanji na scenariju A1B\* na oba područja.

Ovakav trend uticaja navodnjavanja se može objasniti smanjenjem količina padavina s jedne strane, i povećanjem temperaturne sume s druge. Uticaj klimatskih promena na količine padavina i temperaturne sume je prikazan na slikama 7, odnosno 8.

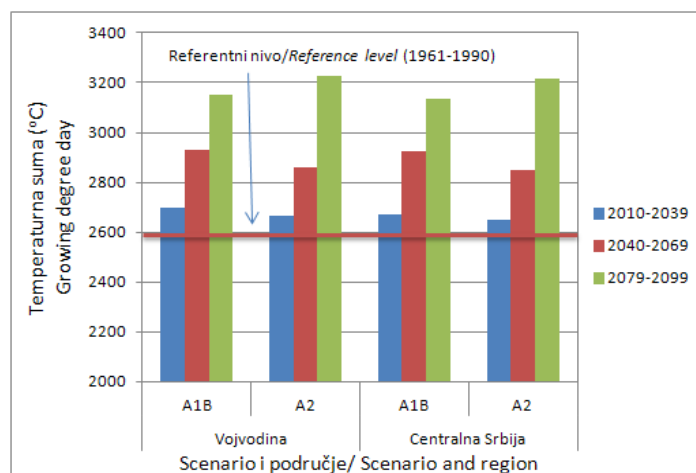


Slika 7. Sume padavina u vegetacionom periodu šećerne repe po scenarijima, periodima i područjima.

*Figure 7. Precipitation sum in the growing period of sugar beet per periods, scenarios and regions.*

Po svim scenarijima, prosečna suma padavina u vegetacionom periodu šećerne repe se smanjuje. U prvom periodu (2010–2039), prosečne sume padavina se neznatno smanjuju na području centralne Srbije i to smanjenje iznosi svega 10 mm, dok je smanjenje veće na području Vojvodine i iznosi 35 mm. U drugom periodu, smanjenje padavina iznosi 35 za scenario A2 i 70 mm za scenario A1B na oba područja. U trećem periodu mogu se očekivati manje sume padavina za 100 mm po oba scenarija. Povećanje temperaturnih suma je povezano sa povećanjem temperatura i praćeno je smanjenjem padavina. Povećanje temperaturnih suma je izraženije po scenariju A2 u trećem periodu (povećanje i do 700°C), dok je u drugom periodu povećanje izraženije u scenariju A1B. U prvom periodu, uvećanje temperaturnih suma ide do 200°C i ujednačeno je na oba područja i oba scenarija.

Proučavajući klimatske promene na području Velike ravnice u SAD, Islam et al. (2012) su ustanovili trend smanjenja padavina u vegetacionom periodu kukuruza, od 1,7 do 10% idući od 2010. do 2099. godine, a temperaturne sume se povećavaju po tri proučavana scenarija (A2, A1B i B1) od 1,4 do 5,4°C, što se podudara sa povećanjem temperaturnih suma za vegetacioni period u našem području.

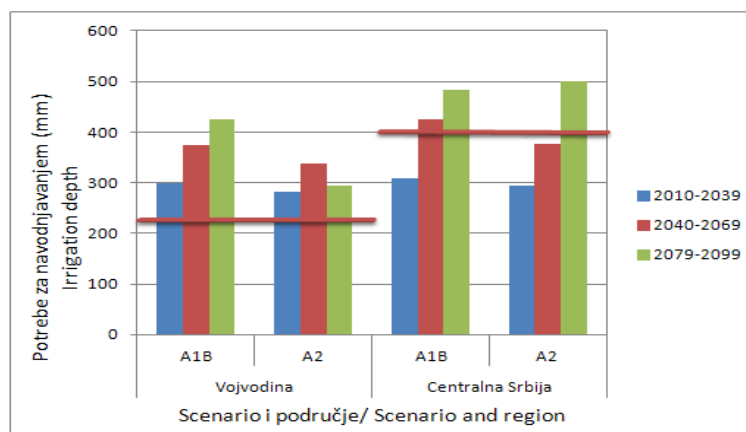


Slika 8. Temperaturne sume po različitim scenarijima, periodima i područjima.  
 Figure 8. Growing degree days for different scenarios, periods and regions.

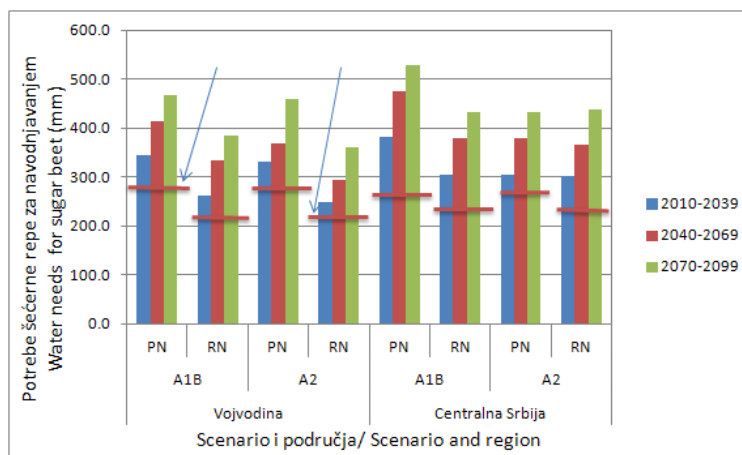
Na slici 9 su prikazane norme navodnjavanja šećerne repe u uslovima klimatskih promena i njihove promene u odnosu na referentni nivo (1961–1990) koje su prikazane kao prava linija. Ovi rezultati su dobijeni tako što je usev u svakom trenutku bio dobro snabdeven vodom. Povećanje potreba za vodom je izraženije na području Vojvodine po oba scenarija u sva tri perioda posmatranja, dok se na području centralne Srbije povećanje očekuje samo u drugom i trećem periodu po scenariju A1B, odnosno samo u trećem periodu u scenariju A2, dok se čak mogu očekivati manje norme u prvom periodu, što može biti posledica boljeg rasporeda padavina u centralnoj Srbiji u odnosu na područje Vojvodine.

S obzirom na to da se radi o povećanju normi navodnjavanja šećerne repe u uslovima klimatskih promena s jedne strane, a s druge strane se očekuje smanjenje padavina, logična je pretpostavka da može doći do konflikta oko raspodele vode u budućnosti. Iz tog razloga, urađena je simulacija prinosa šećerne repe kada se primenjuju redukovane norme, tj. kada se smanjuje količina vode u periodu kada je biljka manje osetljiva na vodni stres. Primenom ovog koncepta ustanovljeno je da se mogu uštedeti znatne količine vode, a da pri tom ne dođe do smanjenja prinosa (Kirada, 2002). Na slici 10 su prikazane uporedne norme zalivanja pri punom i redukovanom zalivanju. Ukoliko bi se javio scenario A2, na području centralne

Srbije voda bi se mogla uštedeti samo na račun pada prinosa, u protivnom, ukoliko se želi zadržati visok prinos, biće neophodno obezbediti navedene norme zalivanja, dok bi se na području Vojvodine moglo uštedeti od 80 do 120 mm, odnosno oko 20%.



Slika 9. Potrebe šećerne repe za navodnjavanjem u odnosu na referentni nivo.  
Figure 9. Sugar beet needs for irrigation in regard to reference level.



Slika 10. Potrebe šećerne repe za vodom pri punom (PN) i redukovanom navodnjavanju (RN) i prosečan referentni nivo.  
Figure 10. Water needs of sugar beet under full (PN) and deficit irrigation (RN) regimes and average reference level.

Pri scenariju A1B bi se moglo uštedeti do 80 mm na oba područja. Islam et al. (2012) su ustanovili da bi se povećala norma navodnjavanja kukuruza u Velikoj ravnici SAD-a u uslovima klimatskih promena od 11% do 40% od 2010. do 2099. godine. U scenarijima sa povećanom koncentracijom CO<sub>2</sub> ne dolazi do povećanja normi navodnjavanja, niti povećanjem evapotranspiracije, što se poklapa sa istraživanjima Snyder et al. (2011) i Snyder (2012). Čak i u humidnijim područjima poput Nemačke, utvrđeno je da će se potrebe za navodnjavanjem povećavati, jer dolazi do promene distribucije vode tako što se više vode javlja u toku hladnog dela godine, a sve manje u toku letnjih meseci (Schmidt i Zinkernagel, 2012).

### Zaključak

Uticaj klimatskih promena na proizvodnju hrane je od velikog značaja za strateško planiranje upravljanja prirodnim resursima, pre svega vode i zemljišta. Ovim istraživanjima se došlo do zaključka da se u prvom periodu (2010–2039) prosečni prinosi neće značajno smanjiti, a da se smanjenje očekuje u drugom i trećem periodu (2040–2069 i 2070–2099). Ustanovljeno je povećanje prinosa sa povećanjem koncentracije CO<sub>2</sub>. Međutim, sa povećanjem temperaturnih suma i smanjenjem padavina, gubitak prinosa se predviđa po svim scenarijima. Za područje Srbije i uzgoj ratarskih kultura, pogotovo šećerne repe, povoljniji bi bio scenario A2 odnosno A2\*, nešto povoljniji A1B\*, a nepovoljan A1B. Očekuje se porast temperaturnih suma, što je u direktnoj vezi sa smanjenjem padavina. Drastične promene se najviše očekuju u trećem periodu (2070–2099), koje će usloviti povećanje temperaturnih suma u vegetacionom periodu šećerne repe i do 700°C, a smanjenje padavina za 100 mm. U ovakvim uslovima ukazaće se potreba za povećanjem normi navodnjavanja. Kao mera ublažavanja suše, odnosno mera za povećanje efikasnosti korišćenja vode predlaže se primena metoda redukovano navodnjavanja, koja kada se primeni u periodu kada biljka nije jako osjetljiva na stres, može obezbediti visoke prinose i uštedu vode i do 20%. Iz ovih rezultata se može izvući zaključak da je redukovano navodnjavanje ujedno i racionalno navodnjavanje, dok se puno navodnjavanje može smatrati kao mera sa većim stepenom sigurnosti obezbeđenosti vodom, za slučaj da se pojave nepovoljni klimatski uslovi između dva zalivanja (jači intenzitet vetra, smanjena vlažnost vazduha i povećane temeprature vazduha).

### Zahvalnica

Autori se iskreno zahvaljuju neimenovanim recenzentima, koji su svojim sugestijama doprineli da ovaj rad bude kvalitetniji i interesantniji za čitaoce. Sredstva za ostvarivanje rezultata iz ovog rada obezbedilo je Ministarstvo za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije (Projekt TR 37005).

## Literatura

- Aleksandrov, V., Eitzinger, J., Cajic, V., Oberforster, M. (2002): Potential impact of climate change on selected agricultural crops in north-eastern Austria. *Global Change Biology* 8:372-389.
- Dettinger, M.D., Cayan, D.R., Meyer, M.K., Jeton, A.E. (2004): Simulated hydrologic responses to climate variations and change in the Merced, Carson, and American River Basins, Sierra Nevada, California, 1900–2099. *Climate Change* 62:283-317.
- Djurdjevic, V., Rajkovic, B. (2008): Verification of a coupled atmosphere-ocean model using satellite observations over the Adriatic Sea. *Annals of Geophysics* 26:1935-1954.
- Gualdi, S., Rajkovic, B., Djurdjevic, V., Castellari, S., Scoccimarro, E., Navarra, A., Dacic, M. (2008): Simulations of climate change in the Mediterranean Area, Final Scientific Report. [http://www.earth-prints.org/bitstream/2122/4675/1/SINTA\\_Final\\_Science\\_Report\\_October\\_2008.pdf](http://www.earth-prints.org/bitstream/2122/4675/1/SINTA_Final_Science_Report_October_2008.pdf).
- Hagemann, S., Machehauer, B., Jones, R., Christensen, O.B., Deque, M., Jacob, D., Vidale, P.L. (2004): Evaluation of water and energy budgets in regional climate models applied over Europe. *Climate Dynamics* 23:547-567.
- Hsiao, T.C., Heng, L., Steduto, P., Rojas-Lara, B., Raes, D., Fereres, E. (2009): AquaCrop – the FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. *Agronomy Journal* 101(3):448-459.
- Islam, A., Ahuja, L.R., Garcia, L.A., Ma, L., Saseendran, A.S., Trout, T.J. (2012): Modeling the impacts of climate change on irrigated corn production in the Central Great Plains. *Agricultural Water Management* 110:94-108.
- Kersebaum, K.C., Mirschel, W., Wenkel, K.O., Manderscheid, R., Weige, H.J., Nendel, C. (2009): Modelling climate change impacts on crop growth and management in Germany. In: Utset, A. (Ed.), *Climate variability, modeling tools and agricultural decision-making*. Nova Science Publishers, New York, USA.
- Kirda, C. (2002): Deficit irrigation scheduling based on plant growth stages showing water stress tolerance. In: *Deficit irrigation practices*, Water reports, 22 FAO Rome.
- Ly, Z., Liu, X., Cao, W., Zhu, Y. (2013): Climate change impacts on regional winter wheat production in main wheat production regions of China. *Agricultural and Forest Meteorology* 171-172:234-248.
- Moriondo, M., Giannakopoulos, C., Bindi, M. (2011): Climate change impact assessment: The role of climate extremes in crop yield simulation. *Climatic Change* 104:679-701.
- Maksimovic, L., Dragovic, S. (2002): Effect of irrigation on sugar beet yield increase and stabilization in the Vojvodina province, Yugoslavia. *Proceedings of International conference on "Drought Mitigation and Prevention of Land Desertification"*, ICID-SINICID, Bled, Slovenia, reg. No. 37, pp. 1-9.
- Matović, G., Milivojevic, J., Bosnjakovic, G., Denic, M. (2002): Effects of irrigation scheduling variants of chernozem soil planted with sugar beet on root and sugar yield. *Plant and Soil* 51(2):97-106.
- Milić, S., Pejić, B., Maksimović, L. (2006): Uticaj navodnjavanja i đubrenja na sadržaj šećera i prinos korena šećerne repe. *Journal of Scientific Agricultural Research* 67(2): 5-12.
- Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grüber, A., Jung, T.Y., Kram, T., la Rovere, E.L., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Papper, W., Pitcher, H., Price, L., Riahi, K., Roehrl Rogner, H.H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, P., Swart, R., van Rooyen, S., Victor, N., Dali, Z. (2000): *Special report on emissions scenarios (SRES)*, Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Trnka, M., Olesen, J.E., Calanca, P., Eckersten, H., Eitzinger, J., Gobin, A., Kersebaumh, K.C. Kozyra, J., Kumar, S., Dalla Marta, A., Micale F., Schaap, B., Seguin, B., Skjelvag, A.O., Orlandini, S. (2010): Coincidence of variation in yield and climate in Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139:483-489.
- Penalba, O.C., Bettoli, M.L., Vargas, W.M. (2007): The impact of climate variability on soybean yields in Argentina. *Multivariate regression. Meteorological Application* 14:3-14.
- Piani, C., Haerter, J.O., Coppola, E. (2010): Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe. *Theoretical and Applied Climatology* 99:187-192.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E. (2009): AquaCrop – The FAO crop model to simulate yield response to water: II. Main algorithms and software description. *Agronomy Journal* 101(3):438-477.
- Rajković, B., Vujadinović, M., Vuković, A. (2014): Report on revisited climate change scenarios including review on applied statistical method for removing of systematic model errors, with maps of temperature, precipitation and required climate indices changes, Second national communication of the Republic of Serbia under the United Nations framework convention on climate change, MERZ, Belgrade, Serbia.
- Roeckner, E., Bäuml, G., Bonaventur, L., Brokopf, R., Esch, M., Giorgetta, M., Hagemann, S., Kirchner, I., Kornbluh, L., Manzini, E., Rhodin, A., Schlese, U., Schulzweida, U., Tompkins, A. (2003): The atmospheric general circulation model ECHAM 5. Part I: Model description, MPI-Report No 349.
- Ruml, M., Vuković, A., Vujadinović, M., Djurdjević, V., Ranković-Vasić, Z., Atanacković, Z., Sivčev, B., Marković, N., Matijašević, S., Petrović, N. (2012): On the use of regional climate models: Implications of climate change for viticulture in Serbia. *Agricultural and Forest Meteorology* 158:53-62.
- Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D., Fereres, E. (2009): AquaCrop – The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal* 101(3):426-437.
- Steduto, P., Raes, D., Hsiao, T.C., Fereres, E. (2012): Crop response to water. Irrigation and drainage paper no 66. FAO Rome.
- Stričević, R., Čosić, M., Djurović, N., Pejić, B., Maksimović, L. (2011): Assessment of the FAO AquaCrop model in the simulation of rainfed and supplementally-irrigated maize, sugar beet and sunflower. *Agricultural Water Management* 98:1615-1621.
- Schmidt, N., Zinkernagel, J. (2012): Modelling evapotranspiration and water demand of vegetables induced by climate change for irrigation purposes. *Proceedings of 7<sup>th</sup> International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops*. Geisenheim, Germany, 16-20<sup>th</sup> July 2012.
- Snyder, R.L., Moratiel, R., Song, Z., Swelam A., Jomaa, I., Shapland T. (2011): Evapotranspiration response to climate change. *Acta Horticulturae* 922:91-98.
- Snyder, R. (2012): Effects and mitigation of climate change on evapotranspiration, chilling and heat stress. *Proceedings of 7<sup>th</sup> International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops*. Geisenheim, Germany, 16-20<sup>th</sup> July 2012.
- Trnka, M., Dubrovský, M., Žalud, Z. (2004): Climate change impacts and adaptation strategies in spring barley production in the Czech Republic. *Climatic Change* 64:227-255.
- Van Asseldonk, M.A.P.M., Langeveld, J.W.A. (2007): Coping with climate change in agriculture: A portfolio analysis. 101st EAAE Seminar ‘Management of Climate Risks in Agriculture’, Berlin, Germany, July 5-6, 2007.
- Willmott, C.J. (1982): Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of American Meteorological Society* 63:1309-1313.

Primljeno: 12. juna 2014.

Odobreno: 3. jula 2014.



APPLICATION OF AQUACROP MODEL FOR YIELD AND IRRIGATION  
REQUIREMENT ESTIMATION OF SUGAR BEET UNDER CLIMATE  
CHANGE CONDITIONS IN SERBIA

**Ružica J. Stričević<sup>1\*</sup>, Nevenka Lj. Đurović<sup>1</sup>, Ana J. Vuković<sup>1,2</sup>,  
Mirjam P. Vujadinović<sup>1,2</sup>, Marija D. Ćosić<sup>1</sup> and Borivoj S. Pejić<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>University of Belgrade, Faculty of Agriculture,  
Nemanjina 6, 11080 Belgrade-Zemun, Serbia

<sup>2</sup>South East European Virtual Climate Change Center, Republic Hydro-  
meteorological Service of Serbia, Kneza Višeslava 66, 11000 Belgrade, Serbia

<sup>3</sup>University of Novi Sad, Faculty of Agriculture,  
Trg Dositeja Obradovića 8, 21000 Novi Sad, Serbia

A b s t r a c t

Climate change impact on field production may play a great role in strategic planning on soil and water resources management. Therefore, the aim of this work was to find out the impact of climate change on sugar beet yield, irrigation depth variation and water saving practices. AquaCrop model v.4.0 was used for yield and irrigation requirement estimation. Input data for future climatic parameters were obtained from EBU-POM for four scenarios A1B, A2, A1B\* and A\* (\* >CO<sub>2</sub>), and periods of observation were first (2010–2039); second (2040–2069), and third (2070–2099). Undoubtedly, yield will not be reduced in the first period by any scenario, on the contrary, it might be increased. In the second period, yield reduction was observed in A1B i A2 scenarios, hence without the increment of CO<sub>2</sub> in the Vojvodina region, whereas in Central Serbia, yield reduction might be expected even in scenarios of A1B and A2\*. Irrigation could ensure yield increment in both regions, provided that an increase is more considerable in Central Serbia, due to lower soil water capacity. Application of optimal irrigation depth yield could be increased by up to 57–97% in Vojvodina and 77–285% in Central Serbia. Lower values are obtained in the first period and the highest in the third period. Applying deficit irrigation, water saving would reduce yield in scenario A2, otherwise to obtain high yield, irrigation depth of 300–500 mm should be ensured in Central Serbia. In the same scenario, 300–420 mm of water for irrigation is needed in Vojvodina, but its water savings could be 80–120 mm, or 20%. In scenario A1B, to obtain high yield, 80 mm could be saved in both regions.

**Key words:** irrigation, climate change, sugar beet, AquaCrop model.

Received: June 12, 2014

Accepted: July 3, 2014

---

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