

Simulacija primene dve mere adaptacije na klimatske promene na prinos pšenice, kukuruza i suncokreta modelom AquaCrop

Ružica Stričević^{1*}, Mirjam Vujadinović Mandić¹, Nevenka Djurović¹, Aleksa Lipovac¹

¹Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Nemanjina 6, 11080 Zemun, Srbija

*Corresponding author: sruzica@agrif.bg.ac.rs

Izvod

Abstract

Učestala pojava suše poslednje dve dekade kao i povećanje temperature vazduha stvara bojazan kod poljoprivrednika da ratarska proizvodnja neće biti moguća bez navodnjavanja. Cilj ovog rada je da se procene kako dve mere adaptacije na klimatske promene rokovi setve i navodnjavanje i viškovi vode utiču na prinos pšenice, kukuruza i suncokreta na području Republike Srbije. Analizom je obuhvaćeno pet reprezentativnih lokaliteta (Rimski Šančevi, Valjevo, Kragujevac, Negotin i Leskovac). Za analizu buduće promene klimatskih uslova u Srbiji korišćeni su rezultati ansambla od devet regionalnih klimatskih modela iz EURO-CORDEX baze. Za najverovatniju vrednost izračunata je medijana rezultata dobijenih za svaki član ansambla. Referentni period je 1986-2005., dok su budući periodi: 2016-2035., 2046-2065. i 2081-2100. Analize su urađene za scenario emisije gasova staklene bašte RCP8.5. Simulacije prinosa, rokova setve i norme navodnjavanja su dobijene primenom AquaCrop modela v.6.1. Rezultati istraživanja ukazuju da će doći do pomeranja rokova setve za kukuruz i suncokret do 5, 11 i 19 dana ka ranijim početkom, sredinom i krajem veka, dok će rokovi setve za pšenicu gajenu u uslovima bez navodnjavanja varirati od 20. septembra do 30. novembra) u zavisnosti od pojave prvih značajnijih kiša tokom jeseni, a u uslovima navodnjavanja pšenica se može sejati u optimalnim rokovima (početak oktobra). Toplija klima će uticati na skraćivanje vegetacionog ciklusa svih proučavanih kultura, ali se ono značajno razlikuje po lokalitetima. Najveće skraćivanje se očekuje kod kukuruza u Valjevu, od 34 do 48 dana početkom i krajem veka, dok se u Negotinu očekuje skraćivanje od svega 6 dana. Pomereni rokovi će omogućiti da se najosetljivije fenofaze, cvetanje i formiranje ploda, pojave u periodu povoljnijih vremenskih prilika, tako da neće doći do smanjenja prinosa kod suncokreta, već do blagog povećanja (2,3 – 13,8 %), dok će prinosi kukuruza ostati na sadašnjem nivou. Povećanje prinosa pšenice se može očekivati u bliskoj budućnosti do 8.3 %, ali i pad prinosa na nekim lokalitetima. Znatno veće vrednosti standardne devijacije od prosečnih prinosa pšenice se javljaju krajem veka i na navodnjavanoj i na nenavodnjavanoj pšenici, što ukazuje na pojavu većih temperaturnih stresova, a ne suše. Deficiti vode za pšenicu, kukuruz i suncokret će ostati u opsegu sadašnjih vrednosti, ali samo ukoliko se setva obavi u optimalnim rokovima. Iako je poznato da se navodnjavanjem menjaju mikroklimatski uslovi, tj. povećava se vlažnost vazduha i smanjuje temperatura vazduha (tzv. efekat oaze) što može uticati na produženje vegetacionog perioda, a samim tim i na povećanje prinosa. Takve suptilne izmene mikroklimati modeli ne mogu da "prepoznaju" tako da ni simulirani prinosi ne mogu biti u potpunosti (precizno) prognozirani. Ovim istraživanjima se dolazi do zaključka da se pored navodnjavanja i pomeranjem rokova setve može uticati na ublažavanje posledica klimatskih promena u ratarskoj proizvodnji, što je od velikog značaja za područja u kojima nema dovoljno vode za navodnjavanje. Rizik od suše će postojati na plitkim i peskovitim terenima i na zemljištima na kojima je otežana obrada zemljišta i setva u optimalnim rokovima.

Ključne reči: ratarske kulture, navodnjavanje, rokovi setve, AquaCrop, klimatske promene, prinos

Uvod

Introduction

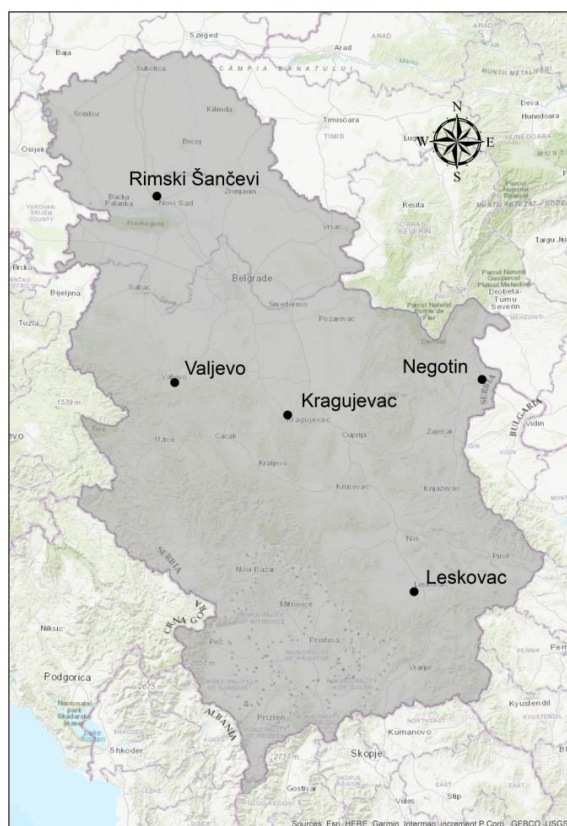
Učestala pojava suše poslednje dve dekade, kao i povećanje temperature vazduha na području Republike Srbije (Djurđević et al. 2018), drastično je uticala na smanjenje prinosa mnogih ratarskih i voćarskih kultura (Stričević et al. 2019a). Po svim scenarijima emisije gasova sa efektom staklene baste (GSB) Srbija se svrstava u zemlje najpodložnije negativnim efektima klimatskih promena (European Environment Agency (EEA, 2017), IPCC 2014; Jacob et al. 2014). Povećanje temperature vazduha i izmenjena distribucija i količine padavina će se negativno odraziti na poljoprivrednu proizvodnju evropskih zemalja, vodne resurse, a posledično i na socio-ekonomske promene (Fronzek et al. 2019), zbog česte promene snabdevanja tržišta poljoprivrednim sirovinama, koje utiču na neizvesnost poslovanja prehrambene industrije, zatim trgovine i drugih pratećih grana privrede i društva u celini. Time se stvara bojazan da ratarska proizvodnja neće biti moguća bez navodnjavanja. Poljoprivreda je veoma važna delatnost u Srbiji, jer je njen udeo u bruto nacionalnom dohotku zajedno sa šumarstvom i ribarstvom u periodu 2015-2017. između 6 – 6,8 % (Statistički godišnjak 2018). Najviše su zastupljene oranice i bašte (75,9 %), a na njima je dominantna proizvodnja kukuruza (29,1 %) i pšenice (16,8%), a slede suncokret (5,6 %), soja, šećerna repa, lucerka, itd. Po Popisu poljoprivrede (2012), ratarske kulture se veoma malo navodnjavaju, oko 25.900 ha, što predstavlja oko 1 % od ukupne ratarske proizvodnje. Iako su navodnjavane površine povećane rehabilitacijom sistema za navodnjavanje i izgradnjom novih na preko 90.000 ha (Stričević et al. 2019a), još uvek su nedovoljne da bi se ostvario pun proizvodni kapacitet. Navodnjavanje se smatra najpouzdanijom merom prilagođavanja na klimatske promene (Agovino et al. 2019). Ipak, ono ima svoja ograničenja, pre svega zbog nedostataka vodnih resursa, kojih će biti sve manje i/ili će dolaziti do velikih varijabilnosti u pogledu raspoloživih količina vode (Stojković et al. 2014; Bär et al. 2015; Idrizović et al. 2020). Istraživanja uticaja klimatskih promena po više scenarija u Srbiji ukazuju da će klima biti i dalje pogodna za poljoprivredu (Ruml et al. 2012; Mihailović et al. 2015), a da će nedostatak padavina biti jedan od limitirajućih faktora za rast najvažnijih ratarskih kultura (Lalić et al. 2013). Proučavanja su pokazala da će se potrebe nekih kultura za vodom u Srbiji (voćarski zasadi, trave, šećerna repa, soja) povećati do kraja veka (Stričević et al. 2017; Stričević et al. 2019b; Jancic et al. 2015). Da će poljoprivreda na području jugoistočne Evrope biti pogođena klimatskim promenama potvrđuju brojna istraživanja (Webber et al. 2018).

Po sprovedenim istraživanjima kako poljoprivrednici vide problem uticaja klimatskih promena i koje mere adaptacije smatraju da bi bile prioritetne, došlo se do zaključka da je pored navodnjavanja, veoma važno primeniti adekvatne agrotehničke mere (Stričević et al. 2020). S toga je cilj ovoga rada da se procene kako dve mere adaptacije na klimatske promene (rokovi setve i navodnjavanje) utiču na prinos pšenice, kukuruza i suncokreta na području Srbije, tj. da li će se ratarska proizvodnja i u budućim izmenjenim klimatskim uslovima moći obavljati bez navodnjavanja i koji joj rizici prete.

Materijal i metode

Materials and Methods

Ratarske kulture se gaje na čitavom području Republike Srbije, na svim nadmorskim visinama gde je moguće obrađivati zemljište (Popis poljoprivrede, 2012). Da bi se sagledao uticaj klimatskih promena i utvrdila mogućnost primene mera adaptacije radi održivog razvoja poljoprivrede i prehrambene industrije, izabrano je pet reprezentativnih lokaliteta (Rimski Šančevi, Valjevo, Kragujevac, Negotin i Leskovac) koji obuhvataju severne, južne istočne, zapadne i centralne delove R. Srbije (slika 1).

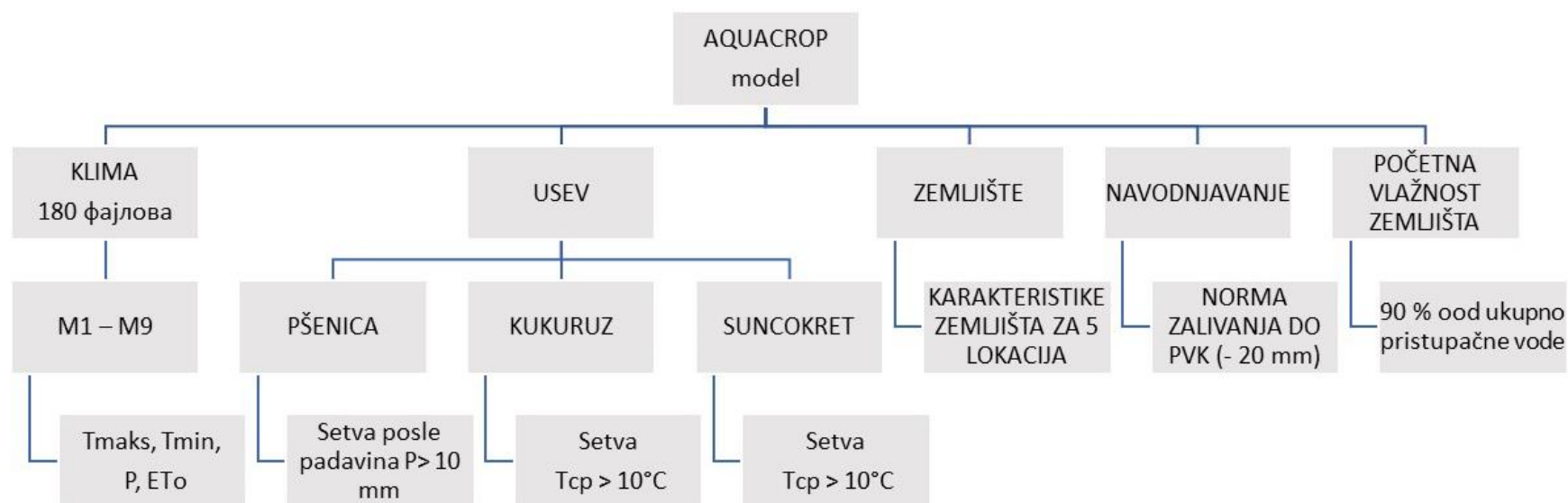


Slika 1. Proučavana područja

Plate 1. Studied area

Za proučavanje su izabrane tri ratarske kulture koje spadaju u osnovne životne namirnice: pšenica, kukuruz i suncokret. Uspešnost njihovog gajenja u budućnosti će biti od velikog interesa za celokupno društvo. Za simulaciju prinosa, rokova setve i norme navodnjavanja korišćen je AquaCrop v.6.1 model. Šema ulaznih podataka je prikazana na dijagramu 1.

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.



Dijagram 1. Šematski prikaz ulaznih podataka za AquaCrop model za simulaciju rokova setve, prinosa i potrebe za navodnjavanjem
Diagram 1. Chart of Aquacrop component and input data for simulation of sowing date, yield and irrigation requirements

Rezultati modela su statistički korigovani metodom mapiranja kvantila na dnevnom nivou za srednje, maksimalne i minimalne dnevne temperature i dnevne sume padavina, kako bi se umanjila sistematska greška koju poseduju svi rezultati klimatskih simulacija. Detaljan opis korekcije je dat u Vuković et al. (2015). Korišćeni scenario budućih emisija gasova staklene bašte (GSB) izabran je u skladu sa Petim izveštajem Međuvladinog panela o klimatskim promenama - *Representative Concentration Pathway* (RCP). Izabran je RCP 8.5 scenario koji predviđa kontinuirani porast emisija gasova staklene bašte kroz 21. vek.

Za najverovatniju vrednost uzeta je medijana ansambla rezultata dobijenih za svaki član ansambla. Odabir perioda za analizu budućih promena klime je u skladu sa Petim izveštajem Međuvladinog panela o klimatskim promenama (IPCC, 2014). Referentni period je 1986-2005., budući periodi su: 2016-2035. (*bliska budućnost*), 2046-2065. (*sredina veka*) i 2081-2100. (*kraj veka*).

Kalibracija i validacija modela za kukuruz i suncokret je urađena za područje Rimskih Šančeva (Stričević et al. 2011), dok je za pšenicu preuzeta kalibracija sa klimatski sličnog područja (Iqbal et al. 2014), a validacija modela je izvršena na osnovu eksperimentalnih podataka (Aćin, 2016). Rezultati validacije ukazuju da dobijeni prosečni prinosi za dve sorte i više rokova setve za period 1986/7 – 2012/13. na području Rimskih Šančeva iznose 6,6 t ha⁻¹, dok su simulirani 5,8 t ha⁻¹. Vrednost normalizovanog korena srednje kvadratne greške (NRMSE 10,9 %) se smatra dobrom procenom, jer nisu uzimane u obzir ni karakteristike sorti, gustina setve ni precizan rok setve, već osnovne karakteristike pšenice kao kulture.

Za određivanje rokova setve kukuruza i suncokreta korišćena je opcija pojave srednje dnevne temperature vazduha $T_{sr} > 10$ °C u trajanju od minimum sedam uzastopnih dana, počevši od 1 marta. Da model dobro aproksimira rokove setve potvrđuju rezultati eksperimentalnih istraživanja u periodu 2000 -2007. (Stričević et al, 2011) i 2004-2013. (Stričević et al. 2018). Rokovi setve za pšenicu su izabrani na osnovu sume padavina $\Sigma P > 10$ mm, počevši od 1. septembra. Dobijeni rokovi za 20-ogodišnji referentni period (1986-2005.) su varirali po lokalitetima od 1 – 6. oktobra sa prosečnim odstupanjem do 15 - 18 dana, u zavisnosti od pojave padavina. U pojedinim godinama rok setve je varirao od 25. septembra do 30. novembra. Simulirani rokovi setve pšenice su u opsegu primenjenih rokova setve pšenice sa dugogodišnjih ogleda (Aćin, 2016).

Za svaki lokalitet je izabran najzastupljeniji tip zemljišta tog područja (Novi Sad -černozem; Valjevo – pseudoglej (Planosols); Kragujevac – gajnjača (Eutric cambisol); Negotin – duboka ritska crnica (Gleysols); Leskovac – aluvijum (Fluvisols)).

Norme zalivanja su određene na osnovu dubine zemljišta, vodnih kapaciteta i dozvoljenog isušivanja. Izabrana je opcija da usev uvek ima lakopristupačnu vodu, a da se zemljište ne nakvasi skroz do poljskog vodnog kapaciteta, već nešto manje (-20 mm), kako bi padavine, koje se često javljaju u vegetacionom periodu proučavanih kultura, mogle da se zadrže i efektivno iskoriste. Model računa viškove vode na osnovu vodnog bilansa, a uticaj na prinose prikazuje zbirno preko stresa biljaka nastalih

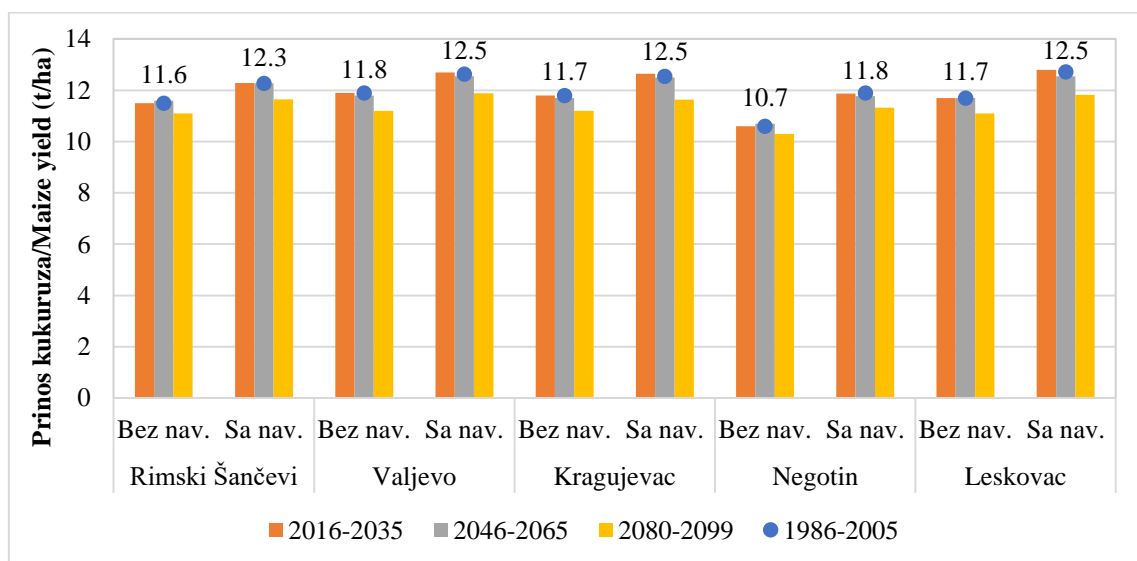
ili usled nedostatka vode, viška vode ili ekstremnih temperatura. S obzirom da se setva pšenice obavlja posle padavina, a kukuruza i suncokreta u proleće, posle otapanja snega, izvesno je da početna vaga u zemljištu bude visoka (90 % od ukupno raspoložive količine vode u zoni korenovog sistema).

Rezultati istraživanja s diskusijom

Results and discussions

Kukuruz

S obzirom da istraživanja ukazuju da je već osmotreno povećanje temperature vazduha (Vuković et al., 2018), i da su projekcije da će se ovaj trend nastaviti do kraja veka, realno je očekivati da će se rokovi setve pomerati ka ranijem proleću. Simulirani rokovi setve i žetve kukuruza i suncokreta su prikazani na graficima 1a i 1b. Rok setve u referentnom periodu se podudara sa primenjenim rokovima setve, što potvrđuju podaci sa brojnih oglada (Latković et al. 2008; Videnović et al. 2011). Rokovi setve se pomeraju ka prolećnim mesecima, i to za dan-dva (do 4) u bliskoj budućnosti, sredinom veka setva se pomera ka prvaj dekadi aprila (28. mart - 1. april), a krajem veka od 21 – 26. marta. Iako se simulacijama dobija još raniji period (12-16. marta), zbog rizika od zahlađenja, verovatnije je da će se primeniti onaj rok koji obezbeđuje da se zemljište dobro zagreje. Da je moguće sejati ovako rano kukuruz i postići visoke prinose, potvrđuju rezultati istraživanja Videnovića et al., (2011), pri setvi 4 aprila početkom 20. veka. To sve ukazuje da će se u budućnosti ići ka ranijim rokovima setve uz primenu adekvatnih hibrida. Rani rokovi setve (20 – 30. mart) su pokazali dobar rezultat i kod suncokreta (Babalić et al. 2012). Na grafiku 1 su prikazani simulirani priosi kukuruza za proučavana područja u uslovima sa i bez navodnjavanja.

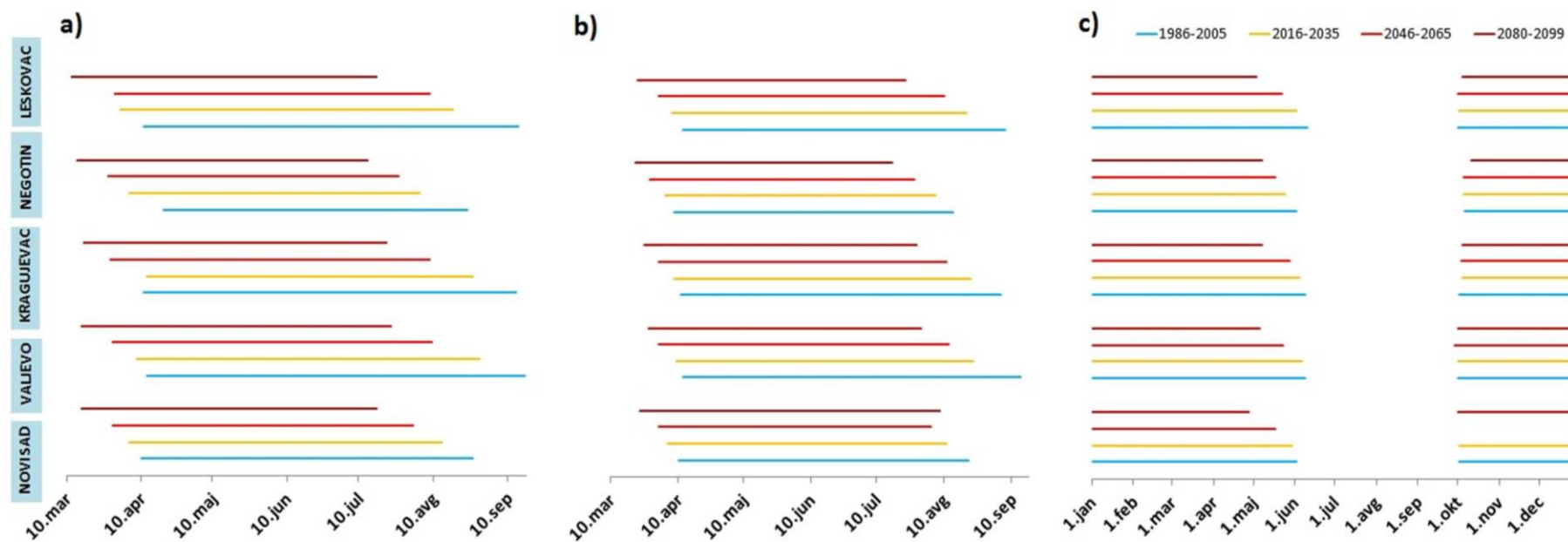


Grafik 1. Simulirani prinosi kukuruza u uslovima sa i bez navodnjavanja ($t\ ha^{-1}$)

Figure 1. Simulated yield of rainfed and irrigated maize ($t\ ha^{-1}$)

U bliskoj budućnosti i sredinom veka prinosi će ostati na dosadašnjem nivou (prosečno do 12 t ha^{-1} - kalibrisan model za hibride FAO grupe zrenja 600). Ovakav rezultat je očekivan, ako se uzme da će se setva obaviti ranije, čime se omogućuju povoljniji temperaturni uslovi i vlaga u zemljištu u toku cvetanja i formiranja plodova, kada je biljka najosetljivija na stresne uslove. Tome doprinosi i činjenica da će se i vegetacioni period skratiti za 6 -17 dana u bliskoj budućnosti i čak do 6 -25 dana sredinom veka (grafik 2a). Izuzetak je Valjevo, gde se očekuju još veća skraćivanja (čak do 34 – 44 dana). Najveće promene tj. smanjenje prinosa se očekuju krajem veka (2,3 – 5,7 %), ali su one u opsegu uobičajene varijacije prinosa. Zbog kraćeg vegetacionog perioda logično bi bilo očekivati niže prinose. Međutim, ostvarenje visokih prinosa počevši od bliske budućnosti sve do kraja veka, doprinosi povećana koncentracija CO_2 , i raniji rokovi setve, manji temperaturni stresovi. Iako će padavina biti manje u odnosu na referentni period, ukupna količina padavina zajedno sa rezervom vode u zemljištu omogućiti će nesmetan rast kukuruza. Istraživanja u EU ukazuju da, ako bi se zadržali rokovi setve kao u sadašnjosti, došlo bi do ostvarenja istih prinosa ili smanjenja prinosa kukuruza do sredine veka na području jugoistočne Evrope do 20 % u zavisnosti od RCP scenarija emisije gasova (Webber, et al., 2018).

Dobijanje ovako visokih prinosa ne znači da neće biti sušnih godina. Norme navodnjavanja će se u bliskoj budućnosti povećati za 13 % na području Rimskih Šančeva i do 11 % na području Leskovca (grafik 3). Na prvi pogled se čini da će područje Vojvodine biti sušnije u bliskoj budućnosti u odnosu na Leskovac. Međutim, zbog većeg deficita vode u referentnom periodu u Leskovcu (272 mm), u odnosu na Rimske Šančeve (212 mm), područje Leskovca će i u budućnosti biti sušnije. Najsušnije područje će i dalje biti Negotin (407 mm), sa neznatnim varijacijama u budućnosti. Pomeranjem rokova setve ka ranom proleću sredinom i krajem veka, kao i skraćanjem vegetacionog perioda, deficit vode će se zadržati na dosadašnjem nivou (grafik 3). Da bi se ostvarili visoki i stabilni prinosi svake godine, navodnjavanje će svakako biti važna agrotehnička mera. Na grafiku 1 se jasno uočavaju povećanja prinosa od 5 – 8 %, i sa manjom međjugodišnjom varijacijom (stdev. $0,4-0,5 \text{ t ha}^{-1}$), za razliku od nenavodnjavanog (stdev $0,6-1,5 \text{ t ha}^{-1}$). Nešto viši prinosi u Leskovcu u odnosu na Rimske Šančeve su posledica toplije klime u proleće i manje temperaturnih stresova. Ipak, krajem veka na svim lokalitetima se primećuju niži prinosi, zbog kraćeg vegetacionog perioda. Iako se navodnjavanjem stvaraju posebni mikroklimatski uslovi (tzv. efekat oaze) s nešto nižom temperaturom i povećanom vlažnošću vazduha, što sve utiče na produženje vegetacije i povećanje prinosa. Međutim, modeli nemaju mogućnost da predvide takve suptilne promene u prirodi, tako da se u uslovima navodnjavanja zadržala ista dužina vegetacije.

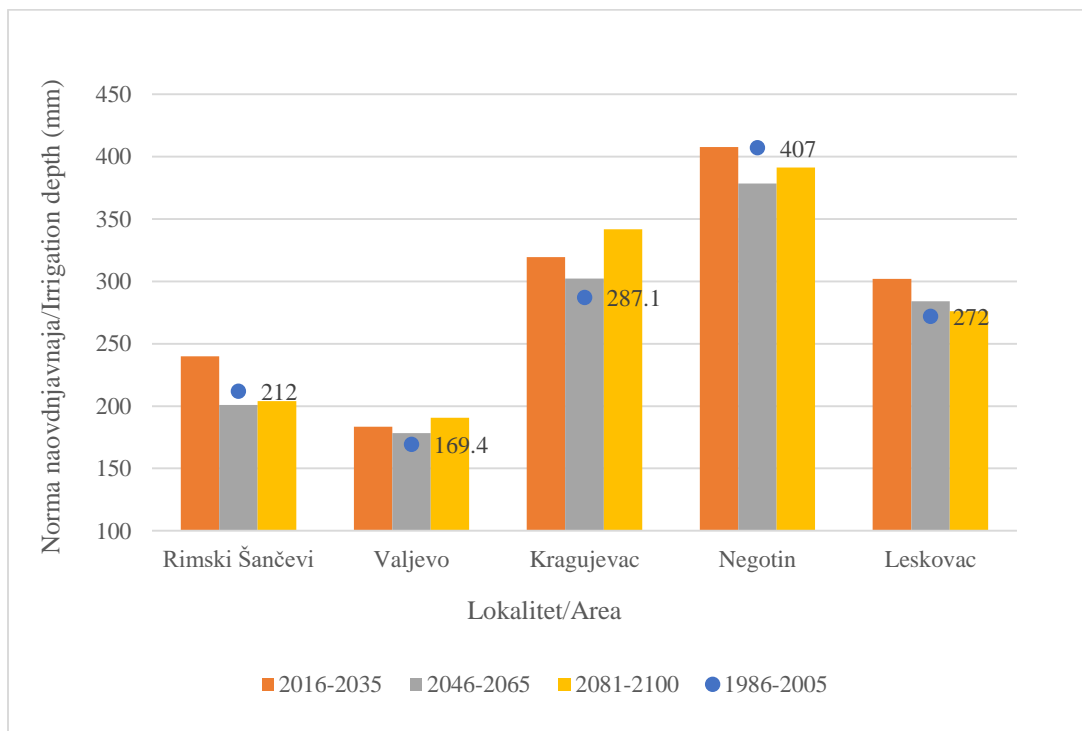


Grafik 2. Simulirani rokovi setve i žetve kukuruza, suncokreta i pšenice
Figure 2. Simulated sowing and harvesting date of maize, sunflower and wheat

Istraživanjima sprovedenim u Severnoj Makedoniji, na području po klimatskim karakteristikama sličnim uslovima u Leskovcu, došlo se do zaključka da bi se zadržavanjem istih rokova setve, prinosi kukuruza gotovo prepolovili, dok bi se navodnjavanjem i drugim agrotehničkim merama prinosi održali na dosadašnjem nivou ili čak povećali. Primenjene norme navodnjavanja do sredine veka se podudaraju sa normama dobijenim ovim istraživanjima (Čukaliev et al. 2020).

Suncokret

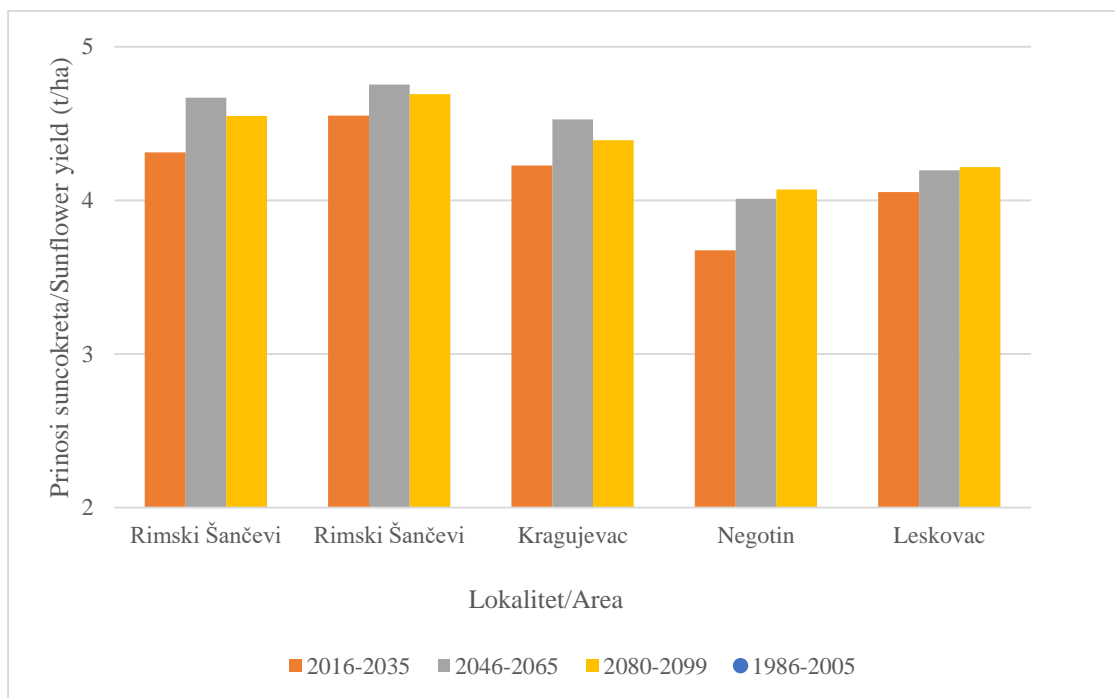
Poznato je da je suncokret toploljubiva kultura koja dobro podnosi sušu (Doorenbos and Kassam, 1986), što pokazuju i rezultati ovih istraživanja. Naime, na grafiku 4 su prikazani prinosi suncokreta gajeni u uslovima prirodnog snabdevanja vodom. Na svim proučavanim područjima očekuje se porast prinosa suncokreta i to početkom veka od 2,3% u Valjevu do 8,4% i Leskovcu. Sredinom veka očekuje se povećanje od 6,9% u Valjevu do 14,7% u Negotinu. Ovakvi prinosi su očekivani i ostvarivi pri sumi padavina od oko 300 mm na području Srbije (Kolarić et al., 2013), jer se dužina vegetacionog perioda neće znatno skratiti, za svega 5-8 dana na području Rimskih Šančeva do 22 dana na području Valjeva (grafik 2b), uz ranije rokove setve. Do kraja veka se takođe mogu očekivati veći prinosi u odnosu na referentni period od 5.5 - 12,7%, ali nešto niže u odnosu na sredinu veka, kao posledica kraćeg vegetacionog perioda (3 -8 dana).



Grafik 3. Norme navodnjavanja kukuruza (mm)

Figure 3. Irrigation requirement of maize (mm)

Simulirani podaci o obezbeđenosti suncokreta vodom ukazuju da neće doći do većeg vodnog stresa, tj. da se u uslovima prirodnog snabdevanja vodom obezbeđuje transpiracija tokom vegetacionog perioda na svim područjima od 80-85 % na području Negotina i Leskovca do 99% na području Valjeva, što ukazuje da navodnjavanje nije neophodno. Projekcije sume padavina u vegetacionom periodu suncokreta krajem veka od oko 190 mm u Negotinu, 250 mm Leskovcu i preko 300 mm na ostalim područjima na dubokim i plodnim zemljištima, podudaraju se sa onim dobijenim u Mediteranskim uslovima (do 4 t ha^{-1}) pri setvi početkom aprila i sličnim raspoloživim količinama vode dobijenim redukovanim navodnjavanjem (Demir et al. 2008).



Grafik 4. Simulirani prinosi suncokreta (t ha $^{-1}$)

Figure 4. Simulated yield of sunflower (t ha $^{-1}$)

Pšenica

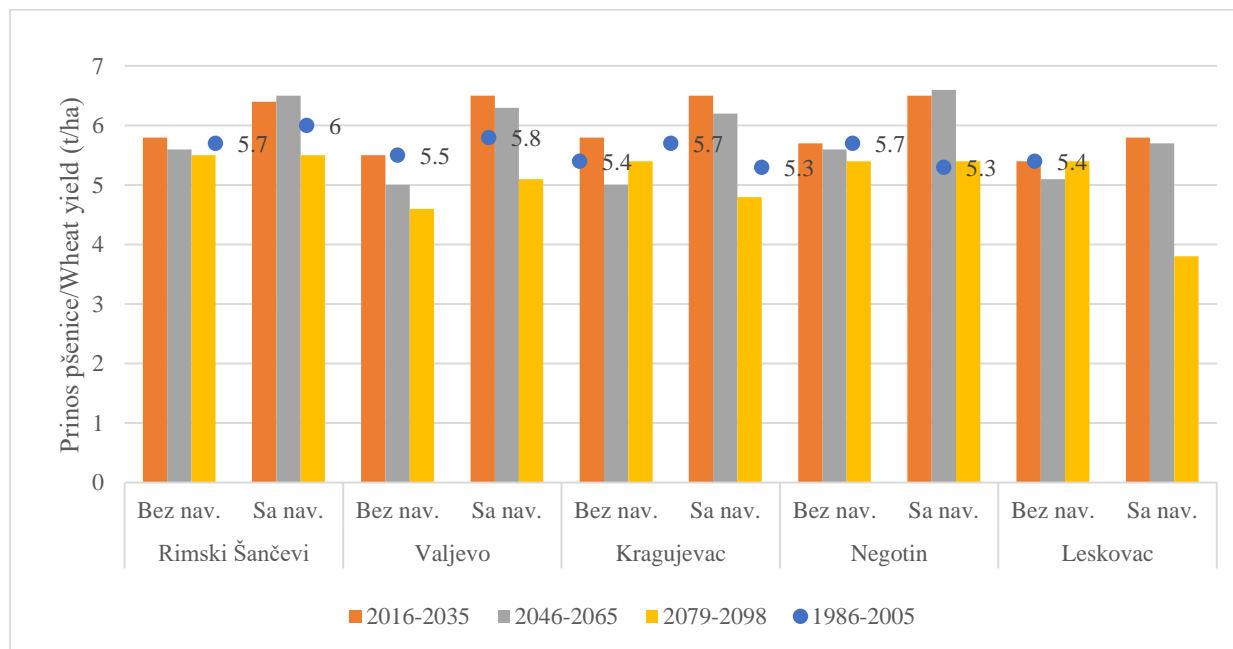
Kao što je napred rečeno, rokovi setve pšenice se neće bitnije menjati do kraja veka (grafik 2c). Ustvari, oni će uglavnom zavisiti od sume padavina u ranu jesen. Da bi pšenica nikla u optimalnim rokovima i ušla dobro pripremljena u zimski period, urađena je simulacija prinosa u uslovima sa i bez navodnjavanja (grafik 5).

Dobijeni prinosi u svim periodima istraživanja su realni i ostvarivi na svim područjima R. Srbije. Dobijeni prinosi modelom su varirali po godinama i modelima od 0,5 – 9,5 t/ha, što je u saglasnosti sa

rezultatima dobijenim u višegodišnjim ogledima (Aćin, 2016; Dolijanović et al. 2008, Dragović i Maksimović, 2000). U bliskoj budućnosti mogu se očekivati nešto viši prinosi u odnosu na referentni period (od 2,9% na Rimskim Šančevima do 8,3% u Negotinu). Povoljniji toplotni uslovi u jesen i rano proleće i dovoljne količine zimskih padavina akumuliranih u zemljištu i prosečnom sumom padavina od preko 400 mm na svim područjima, omogućiće ostvarenje visokih prinosa (prosečno do 5,8 tha^{-1}). Sredinom veka se može očekivati povećanje prinosa u Negotinu za 7,1%, dok se na ostalim područjima može očekivati smanjenje od 1,8% na Rimskim Šančevima do 9,3% u Valjevu. Ovo smanjenje može biti posledica skraćivanja vegetacionog perioda pšenice za 12 do 19 dana (grafik 2c). Naime, ranije cvetanje može biti pod uticajem hladnijeg talasa koji izaziva temperaturni stres (na koje ukazuju rezultati modeliranja), što se kasnije odražava na prinos. Toplija klima u Negotinu, utiče na blaži temperaturni stres ili njegov izostanak, te se dobija viši prinos. Krajem veka prinosi pšenice će ili ostati na istom nivou ($>1,9\%$) ili će doći do neznatnog smanjenja na Rimskim Šancevima (3,8%) i najvećeg na području Valjeva (-17,2%). Na hladnijem i vlažnijem području Valjeva će usled skraćivanja vegetacije za oko 34 dana, doći do ranijeg cvetanja i formiranja klasa. Prolećne promene vremena će značajnije uticati na prinos nego na drugim područjima. Tome doprinosi činjenica da se najveći viškovi voda u zimskom period javljaju upravo na području Valjeva od 277 mm, za razliku od Negotina i Leskovca 136 i 133 mm (grafik 6). Dakle, dobijeni rezultati ukazuju da praktično neće doći do bitnog smanjenja prinosa pšenice ni usled viškova vode niti nedostatka, jer su promene u domenu uobičajene međugodišnje varijacije prinosa.

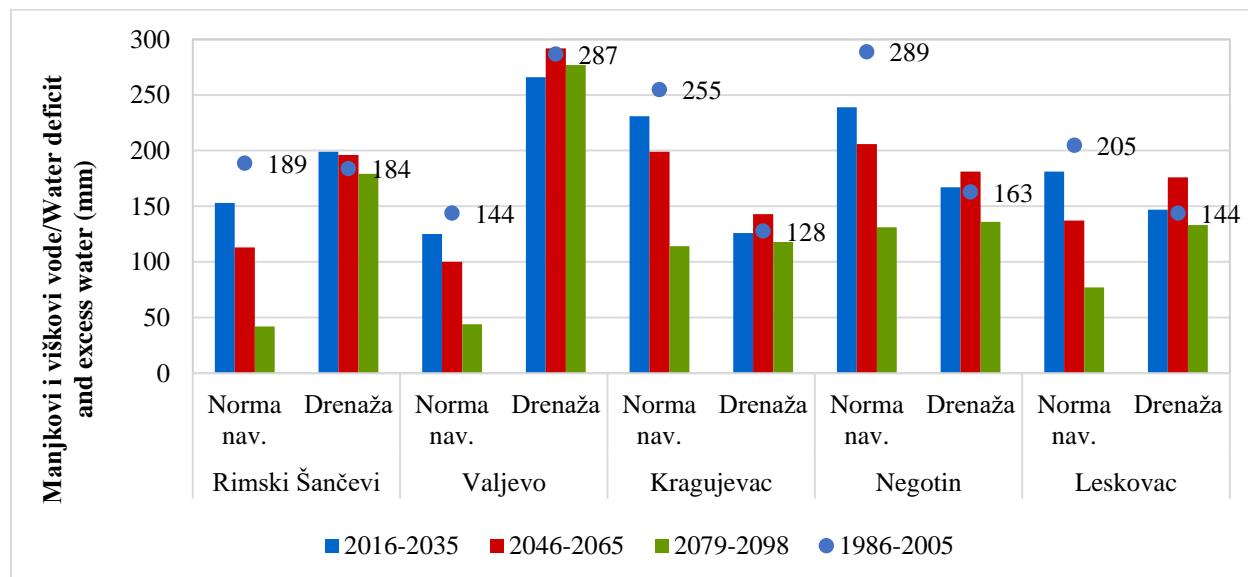
Norme navodnjavanja će se smanjivati do kraja veka na svim proučavanim lokalitetima, što ukazuje da se akumulirana količina vode u dubljim slojevima zemljišta (koju model nije uzimao u obzir) može koristiti u slučaju izostanka navodnjavanja. Navodnjavanje pšenice ima u stvari najveći značaj pri setvi, da bi se obezbedilo blagovremeno nicanje i bokorenje i dobra priprema useva za hladan period. Prinosi u uslovima navodnjavanja se u referentnom periodu mogu prosečno povećati najviše u Negotinu do 7,7%, a najmanje u Leskovcu, 1,5% (grafik 5). Međutim, u bliskoj budućnosti navodnjavanje dobija veći značaj jer se prinosi prosečno mogu povećati od 7% u Leskovcu do čak 17,5% u Valjevu. Najveći uticaj navodnjavanja na prinos će se ostvariti sredinom veka, kad se prosečno mogu postići prinosi veći za 16% na Rimskim Šančevima do čak 91% u Leskovcu. Međutim, krajem veka usled kraćeg vegetacionog perioda od 31 – 34 dana na svim lokalitetima osim za Leskovac, gde se očekuje skraćivanje od čak 41 dan, navodnjavanjem se neće moći nadoknaditi gubitak prinosa povećanom asimilacijom CO_2 , tj. navodnjavanje neće biti efikasno. Naime, ovi rezultati su u skladu sa onim dobijenim u susednim zemljama EU (Mađarska, Rumunja, Bugarska), simuliranim preko više modela i RCP scenarija, gde se očekuje ili ostvarenje istih ili nešto manjih prinosa do sredine veka, a gde se navodi upravo da kukuruz efikasnije iskorišćava CO_2 od pšenice (Webber et al. 2018). Kao što je napred rečeno, model ne uzima u obzir promenu mikroklimatskih

uslova dobijenih navodnjavanjem, što utiče na produženje perioda rasta a samim tim i na povećanje prinosa, tako da se ovi rezultati mogu uzeti kao najgori scenario.



Grafik 5. Simulirani prinosi pšenice u uslovima sa i bez navodnjavanja ($t\ ha^{-1}$)

Figure 5. Simulated yield of rainfed and irrigated wheat ($t\ ha^{-1}$)



Grafik 6. Norme navodnjavanja i viškovi vode za pšenicu po lokalitetima (mm)

Figure 6. Irrigation requirement and water excess for wheat for studied area (mm)

Studija koju su sprovedeli Vanuytrecht et al. (2014) je pokazala uglavnom pozitivne efekte klimatskih promena na kukuruz i ozimu pšenicu do sredine veka u Belgiji. Po ovim istraživanjima doći će do povećanja prinosa kukuruza za 2 – 3 %, a pšenice od 11 do 13 % u zaleđu Belgije, što je u saglasnosti sa našim istraživanjima. Veći porasti prinosa dobijeni su po klimatskim scenarijima sa manje izraženim porastom temperature, uglavnom usled manjeg izraženog skraćivanja vegetacionog perioda.

Istraživanja sprovedena u EU (Hamidov et al. 2018), kako klimatske promene i mere ublažavanja utiču na funkciju zemljišta i održivog razvoja Poljoprivrede, ukazuju da izbor mera adaptacije u poljoprivredi zavisi od lokalnih uslova, a to su najšće, izmena plodoreda i agrotehnike, uvođenje navodnjavanja i/ili efikasnije korišćenje vode za navodnjavanje u sušnijim zemljama ili poboljšanje drenažnih sistema i kontrola dreniranosti zemljišta u severnim zemljama EU. S obzirom na klimatske i topografske karakteristike naše zemlje, mi se susrećemo sa potrebom i za navodnjavanjem i za odvodnjavanjem. Kroz istoriju, odvodnjavanje je bila prioritetnija mera nego navodnjavanje, i to će se zadržati i nadalje, što se tiče ratarskih useva, ali za prirodne travnjake i višegodišnje kulture, navodnjavanje će biti od velikog značaja (Stričević et al. 2017). Ne treba zanemariti činjenicu da će biti neophodno obezbediti dobre drenažne uslove na svim područjima gde se gaje ozimi usevi. Na grafiku 6 jasno se vidi da će biti viškova vode, koja se ne može zadržati u zoni korenovog sistema. U područjima koja nisu sklona prevlaživanju (nema prihranjivanja podzemnih voda doticajem sa strane) ovi viškovi voda će se zadržavati u zemljištu i/ili prihranjivati podzemne vode. Međutim, na onim područjima u blizini reka ili kotlinama odakle dotiče voda biće neophodno dobro održavanje drenažnih sistema, kako viškovi vode ne bi ugrozili useve.

Istraživanja sprovedena širom EU, pokazuju da se poljoprivrednici širom Evrope trenutno prilagođavaju klimatskim promenama, posebno u pogledu promene vremena setve i odabira drugih vrsta useva i sorti (Olesen, et al., 2011), što je svojevrсна potvrda da će se na ove agrotehničke mere u budućnosti oslanjati poljoprivrednici.

Zaključak

Conclusions

Učestala pojava ekstremnih vremenskih pojava, manifestovana kroz dugotrajne suše, praćene toplotnim talasima, zatim česte pojave olujnih vetrova i grada, kao i obilnih padavina koje izazivaju poplave, utiču na velike varijacije prinosa ratarskih kultura. Poslednje dve dekade suše su izazvale veće štete poljoprivredi nego suvišne vode (i poplave), s toga se nametnulo pitanje da li će biti moguće gajiti ratarske kulture, koje su od suštinskog značaja za opstanak stanovništva, bez navodnjavanja u našoj zemlji. Uzimajući u obzir projekcije klime na osnovu nepovoljnog scenarija emisije GSB, došlo se do zaključka da će se proizvodnja proučavanih kultura moći obavljati i bez navodnjavanja, a da se pri tom ostvare visoki prinosi do kraja

veka. Tome doprinosi činjenica da će se usled toplije klime promeniti kalendar optimalnih rokova setve i žetve. Rizici će svakako postojati kao i u istorijskom periodu, pogotovo na područjima sklona prevlađivanju, jer se neće moći obaviti setva u optimalnim rokovima, a svako pomeranje rokova setve dovodi u opasnost da biljke uđu u period cvetanja i plodonošenja u periodu pojave visokih temperatura ili suše, što se može odraziti negativno na prinos. Temperaturni stresovi takođe mogu uticati na prinos pogotovo pšenice, jer česte temperaturne promene u proleće mogu izazvati stres, više nego sušni periodi. Potrebe za navodnjavanjem će ostati na dosadašnjem nivou, zbog skraćanja vegetacionog perioda i ozimih ali i letnjih kultura. Potreba za odvodnjavanjem će i dalje biti od velikog značaja za uspešno obavljanje biljne proizvodnje pogotovo na hidromorfnim zemljištima.

Glavne mere prilagođavanja ratarske proizvodnje će, pored navodnjavanja, biti agrotehničke mere poput usklađivanja rokova setve u skladu sa aktuelnim vremenskim prilikama, izborom kultura, sorti i hibrida.

Zahvalnica

Acknowledgment

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

References

- Agovino M, Casaccia M, Ciommi M, Ferrara M, Marchesano K. 2019. Agriculture, climate change and sustainability: The case of EU-28. *Ecological Indicators*, 105, 525-543.
- Aćin V. 2016. Rokovi i gustine setve u funkciji prinosa ozime pšenice u dugotrajnom poljskom ogledu. Doktorska disertacija. Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.
- Babalić I, Zorić M, Crnobarac J. 2012. Interpretation of hybrid by sowing date interaction for 1000 seed weight in sunflower. *Ratarstvo i povrtarstvo*, 49(3), 229-235.
- Bär R, Rouholahnejad E, Rahman K, Abbaspour KC, Lehmann A. 2015. Climate change and agricultural water resources: A vulnerability assessment of the Black Sea catchment. *Environmental Science & Policy*, 46, 57-69.
- Vanuytrecht E, Raes D, Willems P, Semenov MA. 2014. Comparing climate change impacts on cereals based on CMIP3 and EU-ENSEMBLES climate scenarios. *Agricultural and forest meteorology*, 195, 12-23.

- Videnović Ž, Simić M, Srdić J, Dumanović Z, Pavlov M. 2011. Effect of sowing time on yield of ZP maize hybrids. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 15(1), 23-26.
- Vuković A, Vujadinovic M, Djurdjevic V, Cvetkovic B, Rankovic-Vasic Z, Przic Z, Krzic A. 2015. Fine Scale Climate Change Analysis: from Global Models to Local Impact Studies in Serbia. In HAICTA (pp. 892-901).
- Vuković AJ, Vujadinović MP, Rendulić SM, Đurđević VS, Ruml MM, Babić VP, Popović DP. 2018. Global warming impact on climate change in Serbia for the period 1961-2100. *Thermal Science*, 22(6 Part A), 2267-2280.
- Vanuytrecht E, Raes D, Willems P, Semenov MA. 2014. Comparing climate change impacts on cereals based on CMIP3 and EU-ENSEMBLES climate scenarios. *Agricultural and forest meteorology*, 195, 12-23.
- Demir AO, Göksoy AT, Büyükcangaz H, Turan ZM, Köksal ES. 2006. Deficit irrigation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in a sub-humid climate. *Irrigation Science*, 24(4), 279-289.
- Doorenbos J, Kassam AH. 1986. Yield response to water. FAO Irrigation and drainage paper, (33), 257, Rome.
- Dragović S, Maksimović L. 2000. Effect of sowing date on yield and quantitative characteristics of some wheat varieties grown in irrigation. *Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo*, (33), 201-215.
- Dolijanović Ž, Kovačević D, Oljača S, Momirović N. 2008. The grain yield of winter wheat in different growing systems. *Poljoprivredna tehnika*, 33(2), 89-94.
- Djurdjević 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
- EEA - European Environment Agency, 2017. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/key-past-and-projected-impacts-and-effects-on-sectors-for-the-main-biogeographic-regions-of-europe-3> (accessed 28 November 2018)
- Idrizović D, Pocuca V, Mandic MV, Djurovic N, Matovic G, Gregoric E. 2020. Impact of climate change on water resource availability in a mountainous catchment: A case study of the Toplica River catchment, Serbia. *Journal of Hydrology*, 124992.
- 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.
- Iqbal MA, Shena Y., Stricevic R, Peia H, Sun H, Amiri E, Penas A, del Rio S. 2014. Evaluation of the FAO AquaCrop model for winter wheat on the NorthChina Plain under deficit irrigation from field experiment to regional yield simulation. *Agricultural Water Management* 135, 61–72.
- Jacob D, Petersen J, Eggert B, Alias A, Georgopoulou E. 2014. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg. Environ. Change* 1; 14(2), 563-78.
- Jancic M., Lalic B, Mihailovic DT, Jacimovic G, 2015. Impact of climate change and carbon dioxide fertilization effect on irrigation water demand and yield of soybean in Serbia. *The Journal of Agricultural Science*, 153(08), 1365-1379.
- Kolarić L, Glamočlija Đ, Živanović L, Ikanović J. 2013. Uticaj gustine useva na prinosa semena hibrida suncokreta. *Zbornik naučnih radova sa XXVII Savetovanja agronoma, veterinara, tehnologa i agroekonomista Vol. 19. br. 1-2*, 149. PKB Agroekonomik.
- Latković D, Starčević L, Malešević M, Jaćimović G, Crnobarac J. 2008. Uticaj roka i gustine setve na visinu prinosa kukuruza. *Letopis naučnih radova, Poljoprivredni fakultet Novi Sad*, 32, 70-74.
- Lalić B, Eitzinger J, Mihailovic DT, Thaler S, Jancic M. 2013. Climate change impacts on winter wheat yield change-which climatic parameters are crucial in Pannonian lowland? *The Journal of Agricultural Science*, 151(6), 757.
- Mihailović DT, Lalić B, Drešković N, Mimić G, Djurdjević V, Jančić M. 2015. Climate change effects on crop yields in Serbia and related shifts of Köppen climate zones under the SRES-A1B and SRES-A2, *Int. J. Climatol.* 35, 3320–3334.
- Olesen JE, Trnka M, Kersebaum KC, Skjelvåg AO, 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.
- Popis Poljoprivrede. 2012. Zavod za statistiku. www.stat.gov.rs (Internet, decembar 2020)
- 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. *Agric Forest Meteorol*, 158, 53-62
- Statistički godišnjak. 2018. Zavod za statistiku R. Srbije. www.stat.gov.rs (Internet, decembar 2020)
- Stojković M, Prohaska S, Plavšić J. 2014. Internal stochastic structure of annual discharge time series of Serbia's large Rivers. *Journal of Serbian Water Pollution Control Society Water Research and Management*, 4, 3-13.

- Stricevic R, Cosic M, Djurovic, N, Pejic, B, Maksimovic 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
- Stričević R, Srđević Z, Vujadinović-Mandić M, Srđević B. 2017. Održivo upravljanje vodnim resursima i water footprint koncept: primer primene u voćarstvu. *Vodoprivreda*, 49, 4-6.
- Stričević RJ, Stojakovic N, Vujadinovic-Mandic M, Todorovic M. 2018. Impact of climate change on yield, irrigation requirements and water productivity of maize cultivated under the moderate continental climate of Bosnia and Herzegovina. *The Journal of Agricultural Science*, 156(5), 618-627., Cambridge University press, DOI:10.1017/s0021859617000557 <https://goo.gl/WnLF5v>
- Stričević R, Prodanović S, Đurović N, Petrović Obradović O, Đurović D. 2019a. IZVEŠTAJ uticaja osmotrenih klimatskih promena na poljoprivredu u Srbiji i projekcije uticaja buduće klime na osnovu različitih scenarija budućih emisija . – Beograd : Program Ujedinjenih nacija za razvoj, Izveštaj je pripremljen u okviru projekta „Priprema izveštaja R. Srbije prema Okvirnoj konvenciji Ujedenjenih nacija o promeni klime (UNFCCC)“, koji sprovodi Ministarstvo zaštite životne sredine uz tehničku podršku Programa Ujedinjenih nacija za razvoj (UNDP) i finansijsku podršku Globalnog fonda za životnu sredinu (GEF).
- Stričević R, Srdjević Z, Lipovac A, Prodanović S, Petrović-Obradović O, Ćosić M, Djurović N. 2020. Synergy of experts' and farmers' responses in climate-change adaptation planning in Serbia. *Ecological Indicators*, Volume 116, 106481 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106481>
- Stričević R, Simić A, Vujadinović-Mandić M. 2019b. Uticaj klimatskih promena na potrebe prirodnih travnjaka za vodom. IX Simpozijum „Inovacije u ratarskoj i povrtarskoj proizvodnji“. Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu. Beograd, 17-18.oktobar 2019. Zbornik izvoda, p. 19
- Čukaliev O, Tanaskovik V, Mukeatov D, Martinovska-Stojčevska A, Dimitrov L. 2020. Navodnjavanje kao mera adaptacije i ublažavanja efekata klimatskih promena. Zbornik sažetaka. Simpozijum: Navodnjavanje i odvodnjavanje u svetlu klimatskih promena. Vršac, 9-11 septembar 2020, p 6.
- Fronzek S, Carter TR, Pirttioja N, Alkemade R, Audsley E, Bugmann H, Janes-Bassett V. 2019. Determining sectoral and regional sensitivity to climate and socio-economic change in Europe using impact response surfaces. *Regional Environmental Change*, 19(3), 679-693.
- Hamidov A, Helming K, Bellocchi G, Bojar W, Dalgaard T, Ghaley BB, Kværnø SH. 2018. Impacts of climate change adaptation options on soil functions: A review of European case studies. *Land Degradation & Development*, 29(8), 2378-2389.

Webber H, Ewert F, Olesen, JE, Müller C, Fronzek S, Ruane AC, Wallach D. 2018. Diverging importance of drought stress for maize and winter wheat in Europe. *Nature communications*, 9(1), 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06525-2>

Application of two measures of adaptation to climate change for assessment on the yield of wheat, corn and sunflower by the aquacrop model

Ružica Stričević^{1*}, Mirjam Vujadinović Mandić¹, Nevenka Djurović¹, Aleksa Lipovac¹

¹University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Nemanjina 6, 11080 Zemun, Serbia

*Corresponding author: sruzica@agrif.bg.ac.rs

Abstract

Frequent occurrence of droughts over the last two decades, as well as increases in the air temperature increase have led to the rise farmers' concerns that field crop production would not be possible without irrigation. The aim of this research is to assess how two adaptation measures, sowing dates and irrigation and water excess impacts the yields of wheat, maize and sunflower in Serbia. In order to assess the future of climatic condition five representative locations have been selected for the analysis (Novi Sad, Valjevo, Kragujevac, Negotic and Leskovac). For the analysis of future climatic conditions, results of the ensemble of nine regional climate models from the EURO-CORDEX database were used. The period between 1986 and 2005 was used as a reference, while time slices in the future are: 2016-2035 (near future), 2046-2065 (mid-century) and 2081-2100 (end of the century). Analyses were made for the scenario of GHG emissions RCP8.5. Aquacrop model v.6.1 was used for the yield, sowing period, and irrigation requirement assessment. The analysis and the results have indicated that earlier start of the growing season of maize and sunflower for 5, 11 and 19 days in near future, mid and end of the century, respectively, whereas optimal sowing period for rainfed wheat will vary from September 20 to November 30, depending on rainfall occurrence, and for irrigated one in optimal sowing period (beginning of October). The warmer climate will shorten the growing cycle of all studied crops. However, the shortening significantly differs among locations. The growing cycle of maize shortened from 34 up to 48 days in Valjevo in near future through the end of the century, while in Negotin it could be less only for 6 days. The increase in air temperature and earlier start of the growing season will enable the most sensitive phenophases, flowering and fruit formation, to appear in a period of more favorable weather conditions, together with the increase in CO₂ concentration, can help mitigate the negative impact of the climate change, so that there will be no reduction in sunflower yields. Slight increment of sunflower yields could be expected by the end of century (2.3 – 13.8%), whereas yield of maize will remain on the present level. The increase of wheat yield could be expected only in the near future (up to 8.3 %), but also it can be reduced at some locations by the end of the century. Irrigation water requirements of all studied crops will remain at the same level the same level as the present, but only if sowing applied in the optimal period. Although it is known that irrigation changes microclimatic conditions, i.e., the air humidity increases, and the air temperature decreases (the so-called oasis effect), which can affect the extension of the vegetation period, and thus the increase in yield. Such subtle changes in the microclimate cannot be “recognized” by models, so even simulated yields cannot be fully (accurately) predicted. This research come to the conclusion that in addition to irrigation, shifting the sowing dates earlier can have an impact on mitigating the consequences of climate change in crop production, which is of great importance for areas where there is not enough water for irrigation. The risk of drought will exist on shallow and sandy soils as well as on overwetted lands that cannot be plowed until drained to be sown in optimal terms and all crops sown in the late spring.

Keywords: field crops, irrigation, sowing date, climate change, AquaCrop, yield

Received 21.12.2020

Revised 25.03.2021

Accepted 29.03.2021