

Пројекције потреба шљиве (*Prunus domestica* L.) за наводњавањем у условима будуће климе на подручју Топличког округа

Алекса Липовац^{*,1}, Марија Ћосић¹, Невенка Ђуровић¹, Дуња Сотоница¹, Ленка Гавриловић¹, Ружица Стричевић¹, Мирјам Вујадиновић Мандић¹, Ана Вуковић Вимић¹

¹Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет, Немањина 6, 11080 Земун, Србија

*Аутор за контакт: Алекса Липовац, alipovac@agrif.bg.ac.rs

Извод Abstract

Климатске промене представљају један од кључних изазова за одрживу воћарску производњу, посебно у условима ограничене доступности воде. Циљ овог истраживања био је да се процене потребе шљиве (*Prunus domestica* L.) за водом у условима будуће климе на подручју Топличког округа, као и да се анализира утицај климатских промена на дефицит воде у различитим периодима вегетације. Прорачуни су засновани на FAO-56 методологији, уз примену климатског сценарија RCP8.5 за три будућа периода: 2021–2040 (I), 2041–2060 (II) и 2081–2100 (III). Анализирани су сезонска евапотранспирација културе (ET_c), ефективне падавине (P_e) и нето дефицит воде (I_n), посебно за затрављене и незатрављене засаде. Резултати показују да се до краја XXI века очекује повећање сезонске евапотранспирације шљиве за више од 14%, уз истовремено смањење ефективних падавина за 15–20%, што доводи до значајног раста дефицита воде. Најизраженији дефицити утврђени су у периоду од почетка цветања до сазревања плодова, када дефицит воде достиже вредности од 293 mm у незатрављеним и 422 mm у затрављеним засадима. Утврђено је да су дефицити воде конзистентно већи у затрављеним воћњацима, услед додатне потрошње воде од стране травног покривача. Добијени резултати указују да ће у условима будуће климе производња шљиве у Топличком округу све више зависити од примене наводњавања, посебно у критичним фазама вегетације, ради очувања стабилних приноса и квалитета плодова.

Кључне речи: климатске промене, шљива, евапотранспирација, дефицит воде, наводњавање

Увод

Introduction

Шљива (*Prunus domestica* L.) представља једну од најзначајнијих воћних врста у Србији, како са производног, тако и са економског аспекта. Србија се традиционално убраја међу водеће произвођаче шљиве у Европи, при чему ова воћна врста заузима највећи удео у укупним површинама под воћњацима. Просечни приноси шљиве у Србији износе око 7 t ha⁻¹, али значајно варирају у зависности од избора сорте, начина гајења, примењених агротехничких мера и климатских услова (Републички завод за статистику, 2023). Топлички округ спада у подручја са израженом традицијом гајења шљиве. Према подацима Milentijević и сар. (2017), на овом подручју се гаји око 3,25 милиона родних стабала, што приближно одговара површини од око 6.500 ha под

засадима шљиве. Плодови се на овом подручју најчешће користе за свежу конзумацију, производњу ракије и сушење, што додатно наглашава економски значај ове културе за локално становништво.

Шљива се у Топличком округу углавном гаји у условима природног водног режима, без примене система за наводњавање. Међутим, током критичних фенолошких фаза, као што су цветање, формирање и сазревање плодова, неопходно је обезбедити адекватну количину воде како не би дошло до смањења величине плодова, пада приноса и нарушавања квалитета (Milatović, 2019). Са аспекта водних захтева, шљива спада у воћне врсте са релативно високим потребама за водом, при чему се сезонска евапотранспирација у агроеколошким условима Србије креће у распону од 650 до 700 mm, у зависности од климатских услова, типа засада и начина управљања земљиштем (Milatović, 2019; Стричевић, 2007).

Последњих деценија, климатске промене све израженије утичу на пољопривредну производњу у Србији, пре свега кроз пораст средњих и екстремних температура ваздуха, промене режима падавина и повећање учесталости сушних периода. Пројекције климатских промена за подручје југоисточне Европе указују на даљи пораст температуре и смањење летњих падавина током XXI века, што ће значајно повећати ризик од појаве водног стреса у воћарској производњи (Vuković et al., 2018; Trbić et al., 2021). У таквим условима, највећи дефицити воде очекују се управо током летњих месеци, када је шљива и најосетљивија на недостатак воде. Досадашња истраживања у Србији показала су да је дефицит воде у засадима шљиве израженији у летњем периоду, као и да је додатно наглашен у затрављеним засадима услед конкуренције травног покривача за воду (Ćosić et al., 2021a). Имајући у виду очекиване климатске промене, значај шљиве за пољопривреду Топличког округа и доминантно гајење у условима без наводњавања, неопходно је проценити будуће потребе ове воћне врсте за водом и идентификовати критичне периоде појаве дефицита воде.

Циљ овог истраживања био је да се, применом FAO-56 методологије и климатског сценарија RCP8.5, процене потребе шљиве за водом у условима будуће климе на подручју Топличког округа, као и да се анализирају разлике у водном дефициту између затрављених и незатрављених засада у различитим периодима вегетације.

Материјал и методе

Materials and Methods

Подручје истраживања

Истраживање је спроведено за подручје Топличког округа, који се налази у јужном делу Србије. Подручје карактерише умерено-континентална клима са израженим летњим максимумом температура и неравномерном расподелом падавина током године. Просечне климатске карактеристике чине ово подручје погодним за гајење шљиве, али истовремено и осетљивим на појаву суше у летњем периоду.

Климатски подаци и сценарији

За процену будућих климатских услова коришћен је климатски сценарио *RCP8.5*, који представља сценарио са високим емисијама гасова са ефектом стаклене баште. Анализирана су три будућа периода: 2021–2040 (I), 2041–2060 (II) и 2081–2100 (III), као и референтни период (R - 1986–2005). Климатски подаци (температура ваздуха и падавине) преузети су из пројекта ”Развој интернет апликације и платформе за процене рањивости на климатске промене и адаптацију” који се реализује у оквиру УНДП пројекта ”Унапређење средњорочног и дугорочног планирања Адаптације у Републици Србији” и подразумева ансамбл од 8 регионалних климатских модела са просторном резолуцијом 0.1° (око 12 km) из базе *EURO-CORDEX* пројекта (табела 1). У сагласности са поменути пројектом, изабран је референтни период 1986–2005 и три двадесетогодишња будућа периода, 2021–2040, 2041–2060 и 2081–2100.

Табела 1. Одабрана комбинација глобалних и регионалних модела за истраживање

Регионални климатски модел	Глобални климатски модел
CCLM4-8-17	ICHEC-EC-EARTH
CCLM4-8-17	MOHC-HadGEM2-ES.rcp85
CCLM4-8-17	MPI-M-MPI-ESM-LR
HIRHAM5	ICHEC-EC-EARTH
RACMO22E	ICHEC-EC-EARTH
RACMO22E	MOHC-HadGEM2-ES
REMO2009	MPI-M-MPI-ESM-LR
REMO2009	MPI-M-MPI-ESM-LR

Прорачун евапотранспирације и дефицита воде

Референтна евапотранспирација (ET_0) израчуната је применом Hargreaves методе, која је погодна за услове ограничене доступности климатских параметара. На основу ET_0 и усвојених коефицијената културе (K_c), одређених према FAO-56 методологији, израчуната је евапотранспирација културе (ET_c) за шљиву (Allen et al., 1998).

Ефективне падавине (P_e) израчунате су као 90% вероватноће појаве дневних падавина, док је нето дефицит воде (I_n) израчунат као разлика између евапотранспирације културе и ефективних падавина. Анализе су спроведене за целокупан вегетациони период, као и по појединачним фазама вегетације, са посебним освртом на период од почетка цветања до сазревања плодова.

Системи гајења и периоди анализе

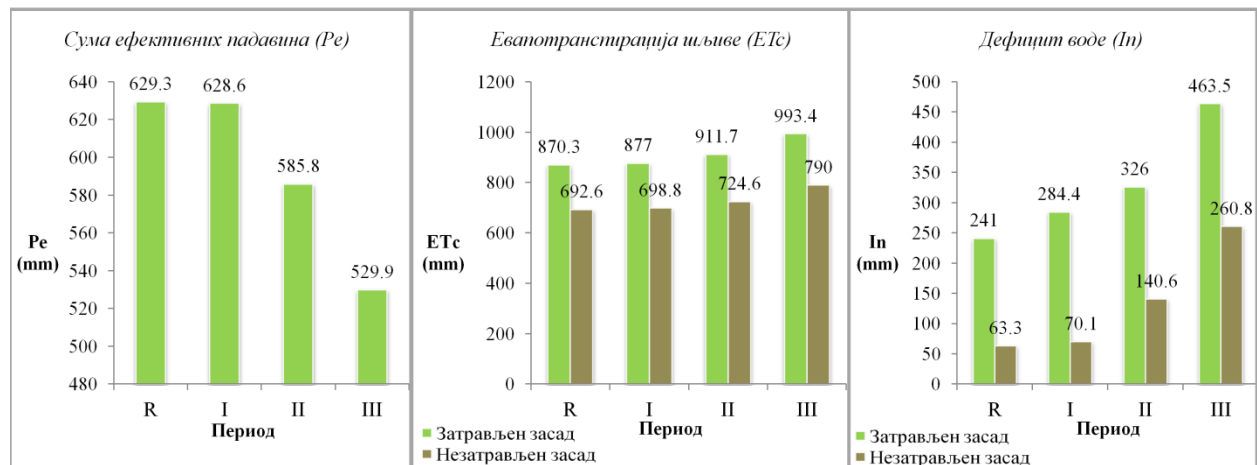
Прорачуни су извршени за два система гајења: затрављене и незатрављене засаде шљиве. Анализа водног дефицита спроведена је по следећим периодима вегетације: од почетка вегетације до цветања (P_1), од цветања до сазревања плодова (P_2) и од сазревања плодова до краја вегетације (P_3).

Резултати

Results

Сезонски водни биланс шљиве

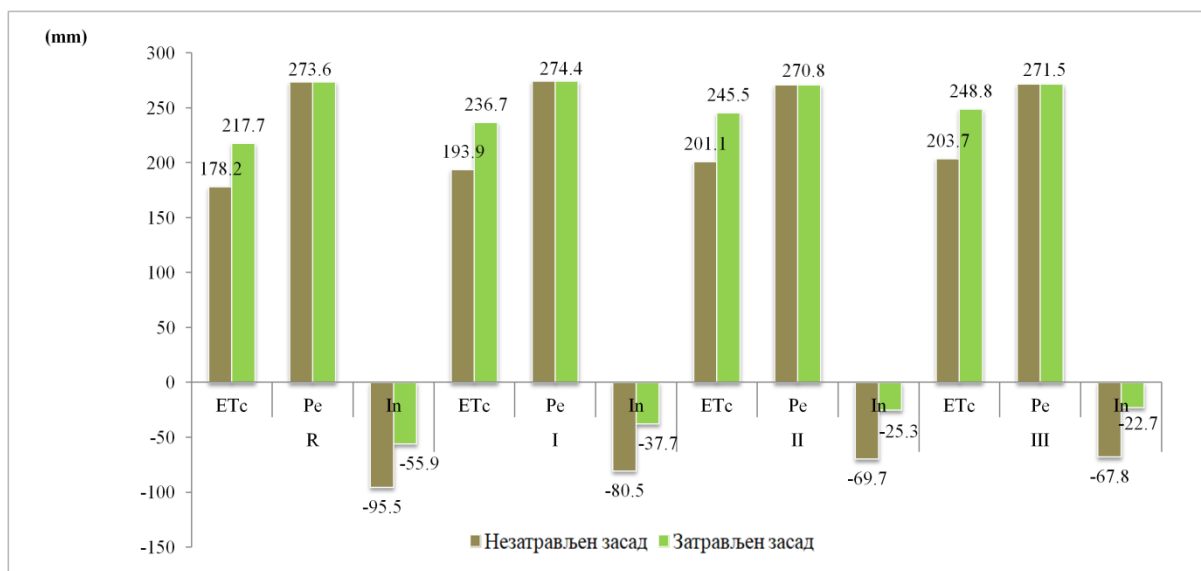
На графикону 1 приказане су сезонске вредности ET_c , P_e и I_n за референтни период (R) и периоде будућности (I, II, и III). Сезонске вредности ET_c у периоду блиске будућности (I) су за само 0.90% веће у односу на референтни период, док се ефективне падавине готово нису мењале, тако да је сезонски дефицит воде I периода незнатно већи у односу на референтни период. Међутим у II и III периоду уочава се повећање ET_c за 6.62% и 14.06% у односу на референтни период, респективно, док се ефективне падавине снижавају за 6.91% и 15.80%, редом. Све ово недвосмислено показује да ће дефицит воде повећавати до краја века што доводи до повећања сезонског дефицита воде за око 140 mm у периоду средине века (II) и за око 230 mm у периоду краја века (III) у односу на референтни период.



Графикон 1. Сезонске вредности евапотранспирације шљиве (ETc), ефективних падавина (Pe) и нето дефицита воде (In) у незатрављеним засадима шљиве.

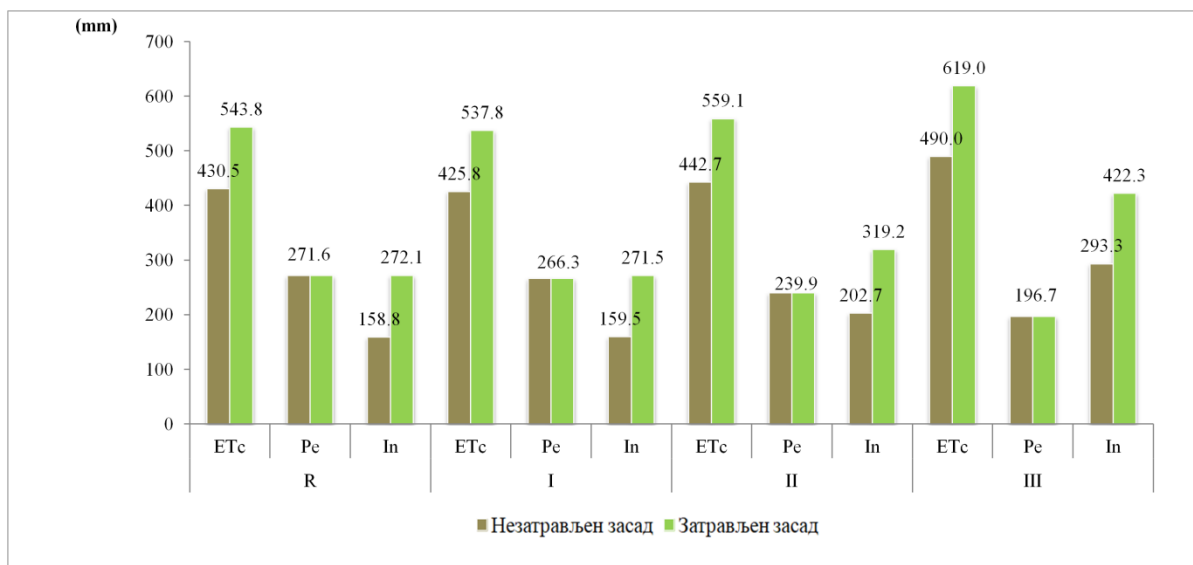
Водни биланс по периодима вегетације

Да би се боље стекао увид у потребе шљиве за водом, на графиконима 2, 3 и 4 приказани су дефицити воде за издвојене периоде вегетације. Графикон 2 приказује вредности ETc, Pe и In у временском интервалу од кретања вегетације до почетка цветања (P_1) за све испитиване периоде. Током P_1 , запажа се тренд благог пораста евапотранспирације шљиве (ETc) од 8.08% (I), 11.40% (II) и 12.52% (III), редом у поређењу са референтним периодом. Количина падавина у овом делу вегетације није се значајно мењала и варирала је у опсегу од 1%. Овакве вредности ETc и Pe, условиле су да током периода од кретања вегетације до почетка цветања (P_1) до краја века нема водног дефицита (In) шљиве.



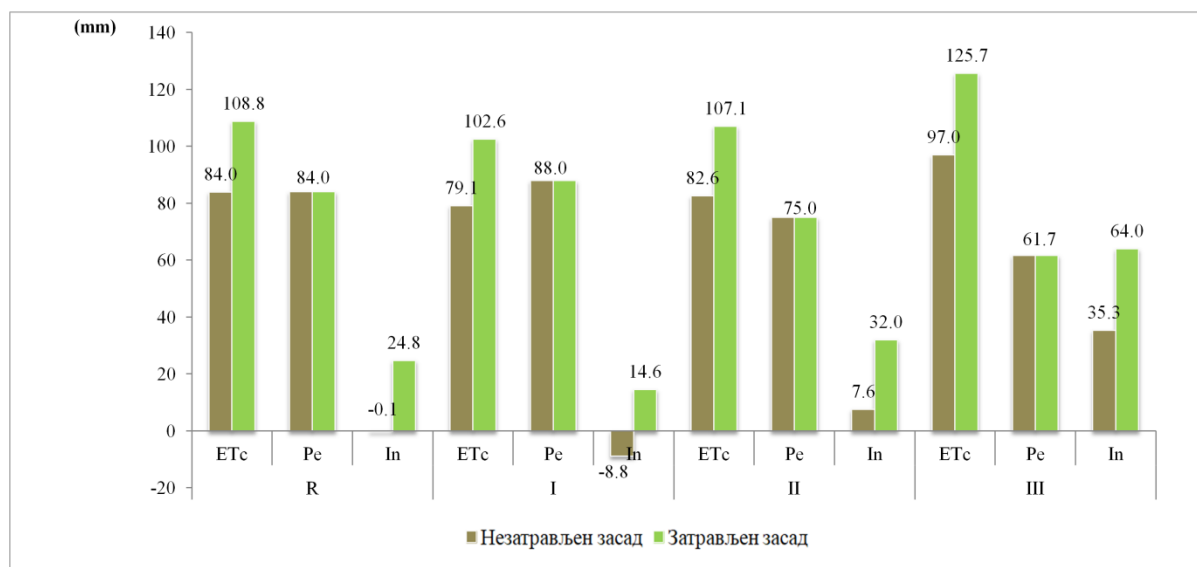
Графикон 2. Вредности ETc, Pe и In у периоду од кретања вегетације до почетка цветања (P₁) за све испитиване периоде (Референтни период (1986-2005), период блиске будућности (I), средина века (II), крај века (III))

Графикон 3 приказује вредности ETc, Pe и In у периоду од почетка цветања до сазревања плодова (P₂). Овај период јесте најкритичнија фаза вегетације са аспекта потреба за водом шљиве. Већ у референтном периоду у овом делу сезоне долази до појаве нето дефицита воде, јер ефективне падавине не могу у потпуности да задовоље повећане потребе културе за водом. У периоду блиске будућности (I) уочава се умерен пораст евапотранспирације, при чему ETc расте за око 8% у односу на референтни период, док количина ефективних падавина остаје приближно иста. Као резултат тога, долази до благог повећања нето дефицита воде. Знатно израженије промене јављају се у условима средине и краја века. У периоду средине века (II), ETc у фази P₂ се повећава за око 6,6%, уз истовремено смањење ефективних падавина од приближно 7%, што доводи до осетнијег пораста дефицита воде. У периоду краја века (III), евапотранспирација у овој фази расте за око 14%, док се ефективне падавине смањују за 15–16%, што резултира израженим нето дефицитом воде. Прорачуни указују да би до краја XXI века нето дефицит воде у периоду од цветања до сазревања плодова у незатрављеним засадима достиже вредности од 290 mm, док је у затрављеним засадима још израженији и износи преко 420 mm.



Графикон 3. Вредности ETc, Pe и In у периоду од почетка цветања до зрелости плодова (P₂) за све испитиване периоде (Референтни период (1986-2005), период блиске будућности (I), средина века (II), крај века (III))

Графикон 4 приказује водни биланс шљиве у периоду од сазревања плодова до краја вегетације (P₃). У овом делу сезоне потребе културе за водом су мање изражене у односу на период P₂, али и даље показују јасан тренд промена у условима будуће климе. У референтном периоду, ефективне падавине су углавном успеvale да у потпуности покрију потребе шљиве за водом, те је нето дефицит воде у периоду након бербе био занемарљив или није постојао. У појединим годинама могао је бити присутан чак и благ суфицит влаге. Међутим, са порастом температуре ваздуха и променама режима падавина, уочава се тенденција појаве дефицита воде и у овом делу вегетације. У условима средине века (II) јавља се умерен нето дефицит воде, док је у периоду краја века (III) овај дефицит још израженији. Пројекције указују да би до краја века нето дефицит воде у периоду након бербе могао достићи вредности до 64 mm.



Графикон 4. Вредности ETc, Pe и In у периоду од сазревања плодова до краја вегетације (P₃) за све испитиване периоде (Референтни период (1986-2005), период блиске будућности (I), средина века (II), крај века (III))

Поређење затрављених и незатрављених засада

У референтном климатском периоду (R), укупна сезонска евапотранспирација у затрављеним засадима износила је 870,3 mm, док је у незатрављеним засадима износила 692,7 mm, што представља повећање од 177,6 mm, односно 25,6% (Графикон 1). Истовремено, нето дефицит воде у затрављеним засадима био је 241,0 mm, у поређењу са 63,2 mm у незатрављеним засадима, што указује на готово четвороструко већи дефицит воде услед присуства травног покривача. Сличан однос задржава се и у будућим климатским периодима. У периоду средине века (II), укупна ETc у затрављеним засадима достиже 911,7 mm, што је за 185,3 mm (25,5%) више у односу на незатрављене засаде (726,4 mm). До краја века (III), ова разлика се додатно повећава, при чему је ETc у затрављеним засадима 993,5 mm, а у незатрављеним 790,7 mm, што представља разлику од 202,8 mm, односно 25,7%.

Дискусија

Discussion

Резултати овог истраживања јасно указују да ће у условима будуће климе доћи до значајног повећања потреба шљиве (*Prunus domestica* L.) за водом у Топличком округу, пре свега услед пораста евапотранспирације и истовременог смањења ефективних падавина током

вегетационог периода. Ови налази су у складу са бројним истраживањима која указују да ће климатске промене у региону југоисточне Европе довести до интензивирања водног стреса у воћарској производњи (Vuković et al., 2018; Trbić et al., 2021), али и са глобалним проценама које указују на раст потреба за водом у пољопривреди као директну последицу климатских промена (Fischer et al., 2007).

Анализа сезонских вредности ET_c, P_e и I_n показује да се у периоду блиске будућности (2021–2040) очекују релативно умерене промене у односу на референтни период, док су у периодима средине и краја века (2041–2060 и 2081–2100) пројектоване знатно израженије промене. Повећање сезонске евапотранспирације шљиве од преко 14% до краја века, уз истовремено смањење ефективних падавина за око 15–20%, резултира значајним растом нето дефицита воде. Сличан тренд уочен је и у другим истраживањима за традиционална подручја гајења шљиве у Србији, где је показано да је дефицит воде у будућим климатским условима израженији управо током летњих месеци (Ćosić et al., 2021b). Поређења ради, и истраживања за друге регионе и типове воћака указују да пораст температуре ваздуха доводи до систематског раста референтне и евапотранспирације културе, независно од климатске зоне (Battisti et al., 2024).

Посебно је значајно што су највећи дефицити воде у овом истраживању утврђени у периоду од почетка цветања до сазревања плодова (P₂), који се сматра критичним са аспекта приноса и квалитета шљиве. У овом периоду долази до највећег повећања ET_c, док падавине не прате раст потреба културе за водом, што доводи до водног стреса. Ови резултати су у сагласности са налазима Ćosić et al. (2021b), који наводе да је период од цветања до очвршћавања коштице код шљиве најосетљивији на недостатак воде. Дефицит воде у овој фази може условити опадање заматака плодова, смањење величине и квалитета плодова, као и укупан пад приноса, што је потврђено и у бројним студијама редукованог наводњавања код врста из рода *Prunus* (Hassan et al., 2021).

Поређење затрављених и незатрављених засада показало је да су дефицити воде конзистентно већи у затрављеним воћњацима, што је последица додатне потрошње воде од стране травног покривача. Овај резултат је у потпуности у складу са претходним истраживањима у Србији, где је утврђено да су сезонске вредности евапотранспирације у затрављеним засадима и до 20–30% више у односу на незатрављене (Ćosić et al., 2021a). Иако затрављивање воћњака може имати позитивне ефекте на структуру земљишта, смањење ерозије и побољшање микроклиматских услова, у условима ограничене доступности воде оно представља додатни

фактор ризика за појаву водног стреса, што је уочено и у медитеранским системима гајења воћака (Kourgialas et al., 2019).

Резултати за период од сазревања плодова до краја вегетације (P_3) указују да се и у овом делу сезоне у будућности може очекивати појава умереног дефицита воде, нарочито у сценаријима средине и краја века. Иако су ови дефицити мањи у поређењу са периодом P_2 , њихов значај не треба занемарити, јер продужени водни стрес у каснијим фазама вегетације може утицати на диференцијацију цветних пупољака и припрему стабала за наредну производну годину (Milatović, 2019). Резултати овог рада указују да ће производња шљиве у Топличком округу у будућности све више зависити од примене система за наводњавање, као допунске, а у појединим годинама и неопходне агротехничке мере, ради очувања стабилних приноса и квалитета плодова.

Закључак

Conclusion

Резултати истраживања показују да ће климатске промене повећати потребе шљиве (*Prunus domestica* L.) за водом у Топличком округу, пре свега услед пораста евапотранспирације и смањења ефективних падавина током вегетационог периода. До краја XXI века пројектовано је повећање сезонске евапотранспирације за више од 14%, уз смањење ефективних падавина за 15–20%, што доводи до израженог раста нето дефицита воде. Најкритичнији период је фаза од почетка цветања до сазревања плодова, током које нето дефицит воде достиже вредности од 293 mm у незатрављеним и 422 mm у затрављеним засадима, при чему је дефицит у затрављеним засадима за 44% већи. Ови резултати указују да ће производња шљиве у будућности захтевати примену наводњавања као стандардне агротехничке мере, посебно у критичној фази развоја плодова, ради очувања приноса и квалитета.

Захвалница

Acknowledgments

Ово истраживање је реализовано у оквиру пројекта финансираног од стране Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије (евиденциони број пројекта: 451-03-137/2025-03/200116).

Литература

References

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome.
- Battisti, R., Silva Neto, W. A. D., Costa, R. M. D., Dapper, F. P., Elli, E. F. (2024). Irrigation demand for fruit trees under a climate change scenario using artificial intelligence. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 54, e77917.
- Ćosić, M., Lipovac, A., Mandić, M. V., Stričević, R., Đurović, N., Vasić, Z. R., Životić, L. (2021a). Water requirements of fruit and vine plantations in the area of the Kolubara District in present and future conditions. In: *Proceedings of the 3rd International and 15th National Congress of the Serbian Society of Soil Science – Soils for Future under Global Challenges*, Sokobanja, Serbia, 21–24.
- Ćosić, M., Lipovac, A., Vujadinović-Mandić, M., Vuković-Vimić, A., Đurović, D., Nikolić, D. (2021b). Water requirements in traditional plum producing regions of Serbia. In: *XII International Symposium on Plum and Prune Genetics, Breeding and Pomology*, Acta Horticulturae 1322, 209–214.
- Fischer, G., Tubiello, F. N., van Velthuizen, H., Wiberg, D. A. (2007). Climate change impacts on irrigation water requirements: effects of mitigation, 1990–2080. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(7), 1083–1107.
- Hassan, I. F., Gaballah, M. S., El-Hoseiny, H. M., El-Sharnouby, M. E., Alam-Eldein, S. M. (2021). Deficit irrigation to enhance fruit quality of the ‘African Rose’ plum under Egyptian semi-arid conditions. *Agronomy*, 11(7), 1405.
- Kourgialas, N. N., Koubouris, G. C., Dokou, Z. (2019). Optimal irrigation planning for addressing current or future water scarcity in Mediterranean tree crops. *Science of the Total Environment*, 654, 616–632.
- Milatović, D. (2019). *Šljiva*. Naučno voćarsko društvo Srbije, Čačak. (књига)
- Milentijević, N., Dragojlović, J., Cimbalević, M., Valjarević, A. (2017). Primarne delatnosti kao determinante održivosti i regionalnog razvoja Topličkog okruga. *Ecologica*, 24(86), 231–235.
- Trbić, G., Popov, T., Đurđević, V., Milunović, I., Dejanović, T., Gnjato, S., Ivanišević, M. (2021). Climate change in Bosnia and Herzegovina according to climate scenario RCP8.5 and possible impact on fruit production. *Atmosphere*, 13(1), 1. <https://doi.org/10.3390/atmos13010001>
- 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.
- Републички завод за статистику (РЗС) (2023). *Статистички годишњак Републике Србије 2023*. Републички завод за статистику, Београд.
- Стричевић, Р. (2007): Наводњавање - основе пројектовања и управљања системима. Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду, Република Србија.

Projections of irrigation water requirements of plum (*Prunus domestica* L.) under future climate conditions in the Toplica District

Aleksa Lipovac^{*,1}, Marija Ćosić¹, Nevenka Djurović¹, Dunja Sotonica¹, Lenka Gavrilović¹, Ružica Stričević¹, Mirjam Vujadinović Mandić¹, Ana Vuković Vimić¹

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

*Contact author: Aleksa Lipovac, alipovac@agrif.bg.ac.rs

Abstract

Climate change represents one of the major challenges for sustainable fruit production, particularly under conditions of limited water availability. The aim of this study was to assess the water requirements of plum (*Prunus domestica* L.) under future climate conditions in the Toplica District and to analyze the impact of climate change on water deficit during different vegetation periods. Calculations were based on the FAO-56 methodology, using the RCP8.5 climate scenario for three future periods: 2021–2040 (I), 2041–2060 (II) and 2081–2100 (III). Seasonal crop evapotranspiration (ET_c), effective precipitation (Pe) and net water deficit (In) were analyzed for both grassed and non-grassed orchards. The results indicate that by the end of the 21st century seasonal evapotranspiration of plum is expected to increase by more than 14%, while effective precipitation may decrease by 15–20%, resulting in a substantial increase in water deficit. The most pronounced deficits were identified during the period from flowering to fruit ripening, when water deficit may reach approximately 293 mm in non-grassed and 422 mm in grassed orchards. Water deficits were consistently higher in grassed orchards due to additional water consumption by the grass cover. The obtained results indicate that under future climate conditions plum production in the Toplica District will increasingly depend on irrigation, particularly during critical phenological stages, in order to maintain stable yields and fruit quality.

Keywords: climate change, plum, evapotranspiration, water deficit, irrigation

Received 15.01.2026

Revised 27.04.2026

Accepted 27.04.2026