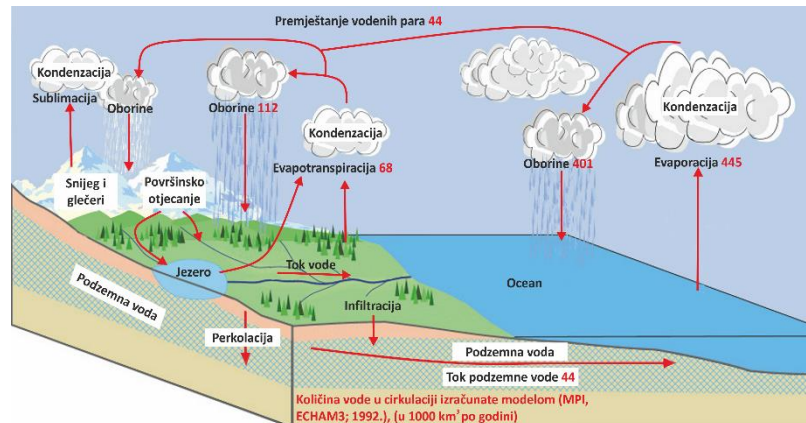


Potreba biljaka za vodom

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

Voda je u hijerarhiji drugi najvažniji abiotički faktor koji omogućava život na Zemlji, odmah iza Sunčeva zračenja (svjetlost, toplota, duljina i kvaliteta osvjetljenja) te je manjak slatke vode trenutno jedna od najvećih briga čovječanstva. Približno 70 % slatke vode iz rijeka i podzemnih voda potroši se za navodnjavanje, oko 10 % u kućanstvima, a ~20 % u industriji. [Procijenjeno je da slatkovodni resursi čine tek 3 % ukupne vode](#), od čega je 75 % slatke vode zarobljeno u ledenjacima i polarnom ledu koji se ubrzano otapaju, odnosno manje od 1 % dostupne slatke vode je u tekućem obliku. [Budući da je voda kroz hidrološki ciklus obnovljivi resurs](#) (evaporacija, evapotranspiracija, kondenzacija i oborine), obnovljivi izvori pitke vode na Zemlji procjenjuju se na $7 \times 10^6 \text{ km}^3$, a uz ubrzane klimatske promjene sve je manje slatke vode za piće i proizvodnju hrane. Budući da voda provede samo kratko vrijeme u tlu (Slika 1.), jer se infiltrira dublje izvan zone korijena, ili perkolira do razine podzemne vode, ili se pak vraća u atmosferu isparavanjem s površine tla i preko lišća (Slika 2.). Drugim riječima, količina vlage u tlu vrlo brzo se mijenja.

Trenutno je ~800 milijuna kronično pothranjenih ljudi širom svijeta te se nameće pitanje možemo li proizvesti usjeve otpornije na sušu i trošiti manje vode? [Potreba za sve više hrane kako bi se prehranila brzorastuća svjetska populacija](#) odrazit će se na potrebu

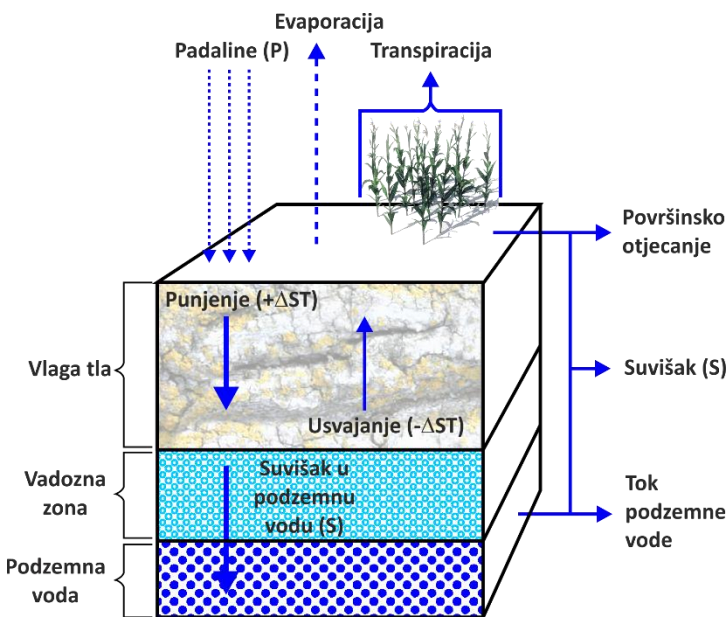


Slika 1. [Hidrološki ciklus](#)

brzih promjena u svim aspektima življenja i gospodarstva, uključujući poljoprivrednu proizvodnju u kojoj se mjerilo učinkovitosti ubrzano mijenja, od postizanja najvećeg prinosa po jedinici površine prema utrošku najmanje količine utroška energije, rada, vode, gnojiva i pesticida po jedinici uroda. Dakle, neminovno je da

poljoprivredni strojevi budu sve „pametniji“, opremljeni s različitim sensorima i ekspertnim sustavima što će rezultirati prilagodbom agrotehnike potrebama biljaka, većom učinkovitosti i to uz očuvanje okoliša. [Stoga će precizna agrikultura biti sve masovnije korištena i postupno preći u robotiziranu proizvodnju hrane](#) o čemu sam već više puta pisao te se u ovom tekstu želim usredotočiti na potrebu biljaka za vodom.

Fiziološki procesi odvijaju se u vodenoj sredini koja čini 80 - 95 % mase biljaka, a kod životinja nešto manje. Za usvajanje vode biljkama odgovorna je tzv. [sila usisavanja \(S\) koju determinira razlika između osmotskog tlaka \(O\) i turzorovog tlaka \(T\), odnosno \$S = O - T\$](#) . Vodni režim biljaka zapravo je mnogo složeniji i sastoji se iz njegovog

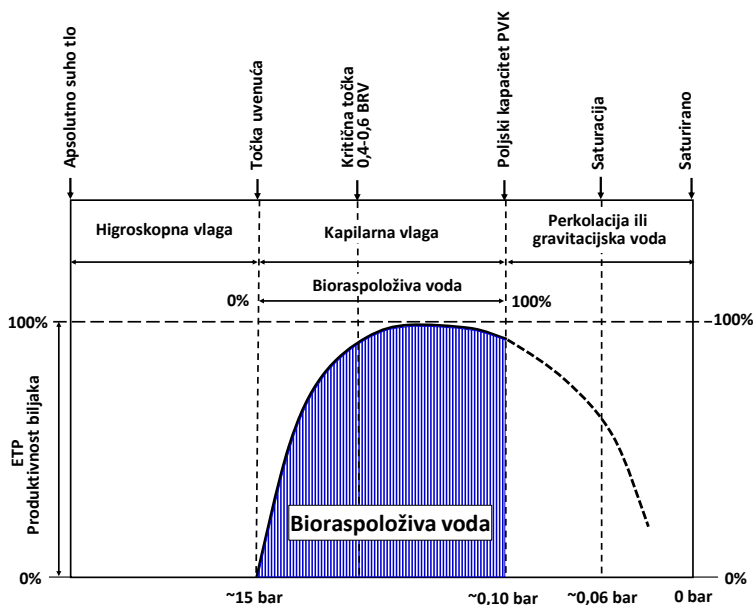


Slika 2. Bilanca vode u tlu (ΔST = promjena vode u tlu)

usvajanja, kretanja kroz biljku i gubljenja, a bilanca vode u biljkama, zbog njenog izuzetnog fiziološkog i poljoprivrednog značaja, danas je predmet svestranog izučavanja. Ona ovisi o razvijenosti i svojstvima korijenskog sustava, građi i svojstvima provodnog sustava, o pokrovnim tkivima kroz koja se voda gubi te niza

vanjskih faktora od kojih su najznačajniji sadržaj i raspoloživost vode u tlu, njegova tekstura i struktura, temperatura tla i atmosfere i aeracija tla, odnosno opskrbljenost korijena kisikom.

Abiotički uvjeti (uvjeti okoliša) čine najveće ograničenje u biljnoj proizvodnji, a uz sve izraženije, kako globalne, tako i lokalne klimatske promjene, situacija se ubrzano pogoršava. Naime, visoka temperatura i suša nesumnjivo su dva najvažnija stresa koji imaju ogroman utjecaj na rast i produktivnost usjeva, međusobno su povezani te se najčešće događaju istovremeno. Negativan utjecaj visoke temperature i suše (podoptimalna opskrba biljaka vodom) rezultira biokemijskim i fiziološkim poremećajima, a oba stresa imaju višeslojni utjecaj i stoga kompleksno djelovanje na intenzitet rasta, visinu i kvalitetu prinosa. Biljke su veliki potrošači vode, ali samo njezin mali dio sudjeluje u građi organske tvari pa se u prosjeku od 1000 g usvojeno vode u biljkama zadrži ~10 g, od čega svega 1 - 2 g bude ugrađeno u organsku tvar biljaka.



Slika 3. Tenzija vode u tlu i njena biorasplošivost.

transpiracije kod neograničene raspoloživosti vodom, naravno pri aktualnim uvjetima u tlu (tenzija vlažnosti ili sila kojom se voda veže za čestice tla, poljski vodni kapacitet, razina podzemne vode i dr.) i atmosfere (relativna vlaga zraka, brzina vjetera, temperatura i dr.). Dakle, kritičan sadržaj vode odgovara vlažnosti tla ispod koje je aktualna (stvarna) transpiracija manja od najviše moguće. Međutim, najveću moguću transpiraciju lako je izračunati, ali je stvarnu transpiraciju teško dobro procijeniti obzirom na potrebu utvrđivanja razlike potencijala vode između lišća i cijele biljke, kao i otpora kretanja vode kroz provodno tkivo

različitih biljaka, njihove starosti, intenziteta metabolizma i dr.). Otuda je jasno, zašto se potreba biljaka za vodom, npr. potreba za navodnjavanjem gotovo isključivo utvrđuje temeljem raspoložive vode u tlu što se korigira najčešće jednim, tzv. koeficijentom usjeva (K_c) ili rjeđe s više tabličnih koeficijenata, npr. za temperaturu, površinu lisnog pokrova i iscrpljenost vode iz tla. FAO daje vrlo jednostavnu formulu za proračun smanjenja prinosa pri nedostatku vode koju je potrebno kalibrirati za određene agroekološke uvjete, što prema mojim saznanjima u RH nikad nije provedeno temeljem egzaktnih poljskih pokusa:



Slika 4. Grafenski senzor na prozirnoj plastičnoj traci (tzv. "senzor biljne tetovaže")

Usjevi mogu usvajati vodu silom do 1,5 MPa, a status vode u tlu uobičajeno se izražava pF vrijednošću koja predstavlja dekadski logaritam vodnog potencijala tla izraženog u cm vodenog stupca. Vrijednost pF u tlu kreće se 0 - 7, a trajno uvenuće (letalni deficit) nastupa kod većine biljaka kada je pF ~4,2, odnosno kada se voda u tlu drži silom od oko 15 bara (1,5 MPa), dok je ta sila kod poljskog kapaciteta za vlagu između 1/10 i 1/3 bara (Slika 3.).

Budući da je najpouzdaniji indikator opskrbljenosti biljaka vodom omjer između aktualne i optimalne vlage tla koji se može izračunati kao omjer aktualne i potencijalno najveće moguće transpiracije, odnosno

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_x}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_x}\right) \quad \text{gdje su } Y_x \text{ i } Y_a \text{ najveći mogući i stvarni prinos, } ET_x \text{ i } ET_a \text{ su najveća moguća i stvarna evapotranspiracija, } K_y \text{ je koeficijent prinosa koji odgovara gubitku prinosa pri smanjivanju evapotranspiracije, dok je } K_c \text{ koeficijent prinosa tijekom vegetacije. Jednadžba se odnosi na sve poljoprivredne kulture, uključujući i trajne nasade.}$$

$$ET_x = K_c \times ET_o$$

Potreba za pouzdanijom procjenom potrebe biljaka za vodom utjecala je na razvoj novih metoda utemeljenih na utvrđivanju statusa vode u biljkama, njenom usvajanju, kretanju i gubicima te permanentnom definiranju „žedi biljaka“ primjenom senzora (Slika 5.), a ne statusu vode u tlu, odnosno mjerenjem vlažnosti tla, npr., tenziometrima, elektrometrijskim mjeracima, vlagomjerima, neutronskim i gama mjeracima itd. Međutim, [u poljoprivrednoj proizvodnji RH navodnjavanje se najčešće provodi samo u tzv. kritičnim periodima potrebe biljaka za vodom](#) (npr. period vlatanja do klasanja, nakon završetka cvjetanja pa do kraja intenzivnog plodonošenja, formiranje gomolja i dr.) i to [praćenjem vlage u tlu](#).



Slika 5. [Senzor za istodobno mjerenje debljine i električnog kapaciteta lista za nadziranje vodnog stresa u biljkama](#)

U posljednje vrijeme istražuju se nove metode i nove tehnologije utvrđivanja potrebe biljaka za vodom koje koriste jeftine, a [vrlo učinkovite sofisticirane grafenske senzore na fleksibilnim i prozirnim plastičnim](#), papirnim ili tekstilnim trakama koje se mogu lako zalijepiti na različite oblike i vrste listova (Slika 4.). Senzori se najčešće proizvode pomoću 3D printerskog ispisa što omogućuje izradu izuzetno tankih i fleksibilnih senzorskih traka s vrlo složenim uzorcima, a to znatno povećava njihovu osjetljivost. Naime, senzori od grafen oksida osjetljivi su na vodenu paru koji mijenja vodljivost i može se vrlo precizno izmjeriti, odnosno utvrditi intenzitet transpiracije lista. [Također, osjetljivi senzori mogu biti napravljeni od konduktivnih \(provodljivih\) nanomaterijala](#) kao što su ugljikove nano cjevčice, metalne nano-žice oksida i grafena, a mogu

pored više različitih senzora sadržavati akumulatore sunčeve energije i uređaje za obradu i pohranu podataka. Ova tehnologija bi mogla ubrzo imati široku primjenu, npr. za biomedicinsku dijagnostiku, provjeru strukturne cjelovitosti zgrada, nadgledanje okoliša, determinaciju bolesti usjeva djelovanja pesticida i dr.

Novi grafenski senzori (Slika 4.) provjereni su na biljkama kukuruza i uz njihovu pomoć je utvrđeno da [hibridi premještaju ascendentno \(prema gore\) vodu veoma različitom brzinom](#), dok neki hibridi kukuruza brže zatvaraju puči pri nedostatku vode što im pomaže u očuvanju vode u uvjetima suše. Cilj razvoja ovakvih senzora je pomoći u kreiranju usjeva otpornih na sušu koji se mogu nositi s ubrzanim klimatskim promjenama.

U Osijeku 06. siječnja 2020. god.

Više o potrebi biljaka za vodom:

- [Ishrana bilja](#) (2011., III izdanje, Vladimir Vukadinović i Vesna Vukadinović)
- [Ekofiziologija bilja](#) (2014., Vladimir Vukadinović, Irena Jug i Boris Đurđević)
- [Tlo, gnojidba i prinos](#) (2016., eknjiga, Vladimir Vukadinović i Vesna Vukadinović)
- [Zemljišni resursi](#) (2018., eknjiga, Vladimir Vukadinović i Vesna Vukadinović)
- [Voda u tlu](#) (2019., prezentacija; Vesna Vukadinović)
- [Suša i njene posljedice](#) (2018., Vladimir Vukadinović)
- [Utjecaj visoke temperature na biljke - toplinski stres](#) (2017., Vladimir Vukadinović)