

ISHRANA BILJA

Voda u tlu

Vladimir Vukadinović

Voda je "medij života" i dobra opskrbljenost vodom svih živih bića je izuzetno važna. Biljke najveći dio vode uzimaju korjeniskim sustavom iz tla, premda je mogu usvajati listom i svim drugim organima (ako nisu prekriveni debelom kutikulom ili korom). Gruba procjena raspoloživosti vode najčešće se iskazuje *indeksom aridnosti po De Martonne-u*:

$$\text{Indeks aridnosti} = \frac{\text{ukupne godišnje oborine (mm)}}{\text{prosječna god. temp (}^{\circ}\text{C} + 10)}$$

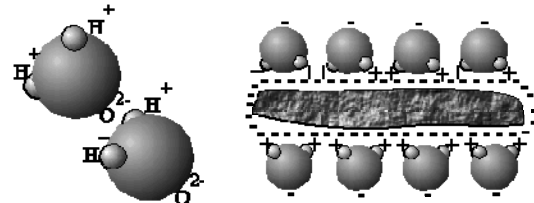
Ako je *indeks aridnosti* manji od 20 područje je sušno. Indeks aridnosti može se primjeniti i za procjenu aridnosti po mjesecima vegetacije:

$$\text{Mjes. indeks arid.} = \frac{\text{mjesečne oborine mm} \times 12}{\text{prosječne mjes. temp. }^{\circ}\text{C} + 10}$$

Ekvatorijalna humidna klima ima svih 12 mjeseci indeks aridnosti iznad 20, ekvatorijalna klima s jednim sušnim razdobljem ima 7 mjeseci indeks iznad 20 itd.

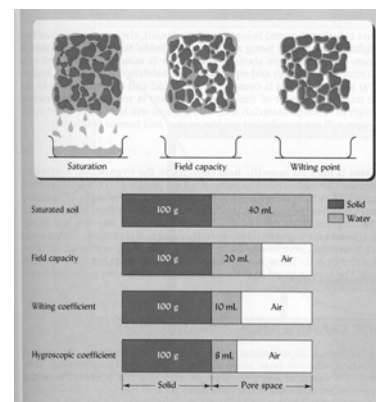
Voda se u tlu nalazi vezana različitim silama koje korijenski sustav kod usvajanja mora savladati pa se voda u tlu dijeli na dvije klase: *pristupačna* i *nepristupačna*. Sile koje vodu drže uz čestice tla su s jedne strane *tenzija vlažnosti* (površinske, hidrostatičke i gravitacijske sile), a s druge strane *osmotski tlak vodene faze tla*.

Kohezione sile povezuju molekule vode (vodikovi mostovi i *Van der Waals-Londonove sile*), dok je za njihovo vezivanje uz čestice tla i formiranje dvostrukog sloja odgovorna adhezija.



Visok osmotski tlak vodene faze na slanim tlima može onemogućiti usvajanje vode. Biljke slanih staništa (*halofite*), koje su prilagođene takvim uvjetima, mogu usvajati vodu vezanu silama do 10 MPa (~100 bara). Porast osmotskog tlaka često nastaje kod unošenja većih količina mineralnih gnojiva u suho tlo. Ta se pojava naziva *solni udar* i sprečava biljke da uzimaju vodu i hranjive tvari u njoj.

Količina vode u tlu zavisi najviše od teksture i sadržaja organskih tvari u njemu. Zahvaljujući većoj površini čestica i mnoštvu kapilarnih pora, tla fine teksture zadržavaju više vode u odnosu na tla grube teksture.



Sadržaj vode u tlima različite teksture

Teksturna klasa tla	% vode na apsolutno suho tlo			
	higroskopna voda	koeficijent uvenuća	poljski kapacitet vlažnosti	Dostupna voda u %
Fini pijesak	3.41	3.7	7.6	2.9
Pjeskovita ilovača	6.93	7.2	15.5	8.3
Praškasta ilovača	10.40	12.7	24.0	11.3
Glinasta ilovača	16.10	20.6	30.4	9.8

Gravitacijska voda zadržava se u krupnim porama tla i otječe pod djelovanjem gravitacije. Zbog toga se ovaj oblik često naziva *slobodna voda*. U slučaju jačih padalina ili poplave (kod dužeg zadržavanja gravitacijske vode) dolazi do *anaerobioze*, otkazivanja funkcija korijenja i gušenja biljaka.

Vlažnost tla preostala nakon otjecanja gravitacijske vode naziva se *poljski kapacitet vlažnosti*. Brzo otjecanje gravitacijske vode iz zone korijena uvjetuje njezinu malu iskoristivost za potrebe biljaka.

Kapilarna voda zadržava se u porama pod utjecajem površinskih sila čestica tla. Ona ne podliježe gravitaciji jer se drži silama površinskog napona za zidove kapilara tla ili je pak "poduprta" razinom podzemne vode. Kapilarna voda je raspoloživa za usvajanje i predstavlja najvažniji dio vode. Količina kapilarne vode u nekom tlu označava se kao *poljski kapacitet vlažnosti* (33 kPa, odnosno 0,33 bara za glinasto-ilovasta tla, a 10 kPa za pjeskovita tla) ili *kapilarni kapacitet tla*. Količina vode u kapilarama može se izraziti *Poiseuille-Hagenovom* jednačinom:

$$Q = \frac{dp \times \pi \times r^4}{8 \times L \times \eta}$$

dp = najveći deficit difuznog tlaka (≈15 bara),
r = radijus kapilare,
L = dužina kapilare,
η = viskoznost vode

Adhezijske sile čestica tla smanjuju vodni potencijal pa se kapilarna voda kreće po gradijentu vlažnosti od vlažnijeg (veća slobodna energija) prema manje vlažnom dijelu tla (manja slobodna energije vode). Visina do koje se može popeti voda kapilarama približno je $h = 15/r$ (gdje je $h = \text{mm}$, $r = \text{radijus kapilare u mm}$)

Higroskopna voda je dio kapilarne vode čije opne ne prelaze debljinu 15-20 molekula vode i ona se drži za čestice tla snagom koja dostiže 1000 bara. Ovaj oblik vode određuje se sušenjem na 105°C i biljkama je potpuno nedostupan.

Količina higroskopne vode u nekom tlu upravo je proporcionalna njegovoj koloidnoj frakciji, a obrnuto proporcionalna veličini čestica. Dakle, s porastom sadržaja koloida tla i smanjivanjem promjera njegovih čestica, sve je više higroskopne vode.

Kemijski vezana voda nalazi se ugrađena u različite hidratizirane kemijske spojeve tla i nije raspoloživa za usvajanje.

Biljke mogu usvajati vodu silom do 1,5 MPa (4,2 pF) pa higroskopna i kemijski vezana voda u tlu predstavljaju takozvanu *mrtvu rezervu* i mogu se odrediti *metodom uvenuća biljaka* koja se temelji na uzgoju biljaka u posudama.

Kad se biljke dobro razvijaju, zalijevanje se prekida, a one se prenose u hladovinu. U trenutku početka venjenja, količina vode se nekom od laboratorijskih metoda utvrdi i ta vlažnost tla se označava kao *koeficijent uvenuća* nekog tla za ispitivanu biljnu vrstu. Međutim, tlo još sadrži izvjesnu količinu vode koju biljke mogu s velikim naporom koristiti, a nakon toga uvenuće biljaka je toliko da se ne mogu više povratiti u život dodavanjem vode. To stanje vlage u tlu naziva se *točka trajnog uvenuća (PWP = Permanent Wilting Point)* i odgovara približno stanju u kojem tlo sadrži isključivo higroskopnu vodu. Interval vlažnosti između koeficijenta uvenuća i točke trajnog uvenuća naziva se *interval uvenuća*.

Sila potrebna za usvajanje različitih oblika vode iz tla

	DDP u cm	pF	atmosfera
gravitacijska voda	0 - 300	0 - 2.5	0 - 0.3
kapilarna voda	300 - 15,000	2.5 - 4.2	15 - 150
osmotska voda	15,000 - 150,000	4.2 - 5.2	15 - 150
higroskopna voda	>150,000	>5.2	>150

Potencijal vode u sustavu tlo-biljka-atmosfera

(u J kg^{-1} ; $\text{J kg}^{-1} = 10^3 \text{Pa} = 10^2 \text{bar} = 0.987 \cdot 10^{-2} \text{atm}$)

	Turgescetne biljke	Uvenule biljke
Tlo	-10 do -1000	-1000 do -2000
List	-200 do -1500	-1500 do -3000
Atmosfera	-10000 do -200000	-10000 do -200000

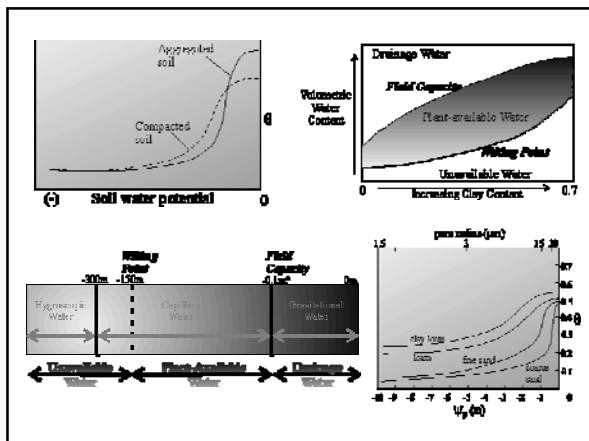
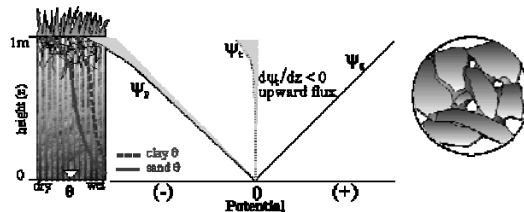
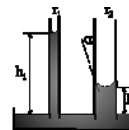
Utvrđivanje raspoloživosti vode je vrlo složen problem jer je status vode dinamičan sustav čiji su reprezentanti higroskopna, kapilarna i gravitacijska voda.

Ukupni potencijal vode tla (ψ_t) suma je **matriks** (ψ_p), **osmotskog** (ψ_o), **hidrostatskog** (ψ_m), **pneumatskog** (ψ_{pn}) i **gravitacijskog potencijala** (ψ_g) od kojih su prva dva presudna za raspoloživost vode.

Razlika vlažnosti dvije točke tla čini **gradijent potencijal vlažnosti** po kojemu se voda kreće iz područja pozitivnijeg (ili manje negativnog) ka području tla negativijeg potencijala).

Stoga je **retencija vode** prvenstveno određena teksturnom klasom tla, ali i velikim brojem drugih parametara (zbijenost, prisutnost nepropusne zone, nagib, visina podzemne vode, homogenost soluma itd.) koji se teško mogu potpuno procijeniti.

Pokretljivost vode u tlu, odnosno njegova hidraulična svojstva ovise o teksturi i strukturi tla, odnosno ukupne poroznosti tla, dijametra pora i popunjenosti pora vodom. Što je tlo više suho to teže provodi vodu (negativniji potencijal ψ) pa konduktivitet raste s vlažnošću tla.



Temperatura tla

Temperatura tla može znatno varirati ovisno o vremenu (godišnje, dnevno) i dubini profila. Porastom temperature raste enzimatska aktivnost žive faze tla, a postoji više razloga zašto je ona važna:

- **Dekompozicija organske tvari** (oslobađanje hraniva, utjecaj na vodni režim)
- **Razgradnja minerala tla** (led, temperaturni koeficijent i dr.)

- **Rast biljaka** (potreba za temperaturom, temp. valenca, optimum)
 - direktan utjecaj**
 - klijanje i nicanje sjemena
 - rast korijena
 - usvajanje hraniva
 - rast izdanaka
 - indirektan utjecaj**
 - premještanje vode
 - premještanje plinova (N_2 , O_2)
 - struktura tla
 - raspoloživost hraniva

- **Difuzija hraniva**
 - premještanje od najveće ka nižoj konc.
 - plinovi (O_2 , CO_2 , CH_4 , C_2H_6 , N_2)
 - metalni ioni (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NO_3^- , PO_4^{3-})
 - organske tvari (DON)
- **Pokretljivost vode** (konvekcija, evaporacija)
- **Biologija tla**
 - mikroorganizmi (bakterije, gljive, itd.)
 - mezofauna (crvi itd.)
 - kontrola razgradnje organske tvari
 - utjecaj na strukturu tla
 - mikrobi mogu živjeti od $-12^\circ C$ do $100^\circ C$
 - većina ih živi između 0 i $30^\circ C$
 - kako mikroorganizmi prežive temperature ispod $0^\circ C$
 - * posebni lipidi zadržavaju vitalnost i funkciju biomebrana
 - * visoka koncentracija otopljenih tvari u stanicama
 - većina velikih organizama spušta se dublje u tlo preko zime ili ljeta