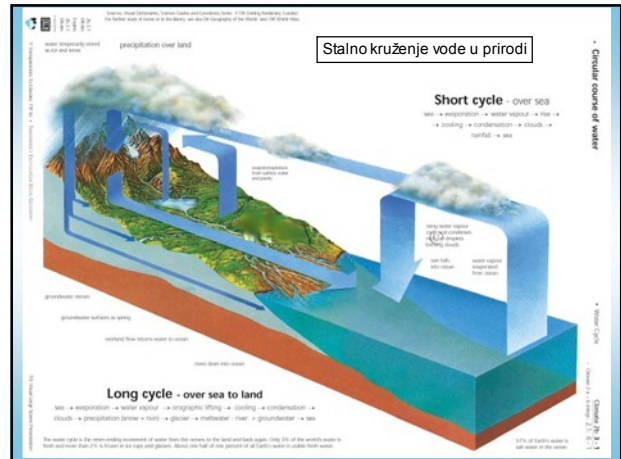
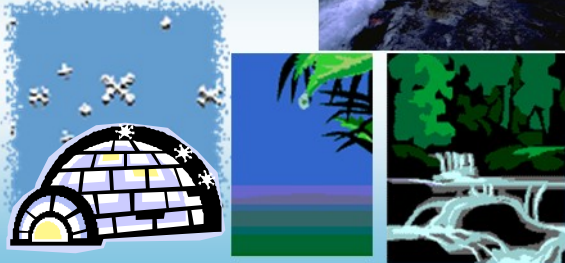


## 6. VODA

prisutna u sva tri agregatna stanja:  
 > krutom (led, snijeg),  
 > tekućem (voda, kiša, rosa) i  
 > plinovitom (para)



### 6.1. Isparavanje vode

#### 6.1.1. Evaporacija i transpiracija

Evaporacija/isparavanje – spontano odlaženje molekula vodene pare iz vode, mokrlog tijela ili leda u zrak  
 preduvjet: apsolutna vlažnost zraka nad samom vodom ili ledom ( $a_{vs}$ ) veća od apsolutne vlažnosti u okolnom zraku ( $a_{va}$ )

Gustoća toka vodene pare (Fick-ova formula)

$$\Phi_w = D (a_{vs} - a_{va})$$

gdje je:

$\Phi_w$  – broj grama isparene vode s površine 1 m<sup>2</sup> u sekundi  
 D – koeficijent difuzije vodene pare u zraku [m s<sup>-1</sup>]  
 $a_{vs}$  – apsolutna vlažnost zraka (gustoća vodene pare nad samom vodom ili ledom) [izraženo u g m<sup>-3</sup>]  
 $a_{va}$  – apsolutna vlažnost u okolnom zraku

Isparavanje troši toplinu!!!

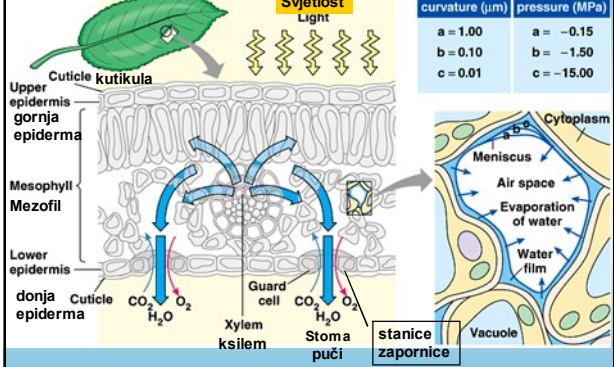
Na evaporaciju utječu:

1. temperatura tijela iz koje voda isparava
2. temperatura zraka
3. vlažnost zraka
4. brzina vjeta

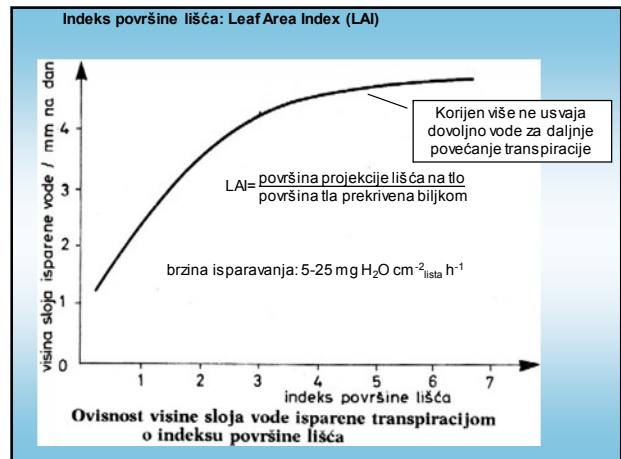
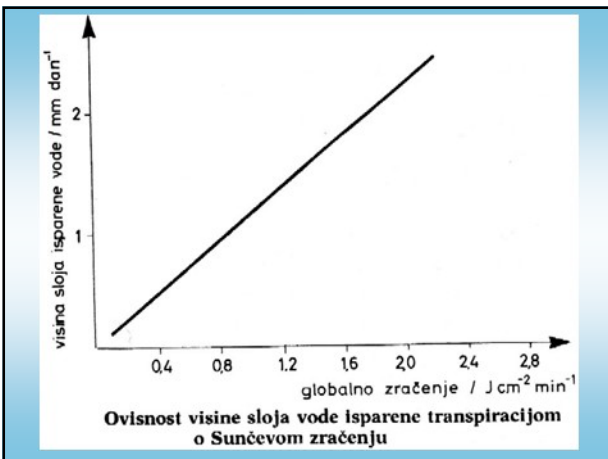
za prijelaz 1 g tekuće vode u paru treba 25 kJ topline: tzv. Latentna toplina, L

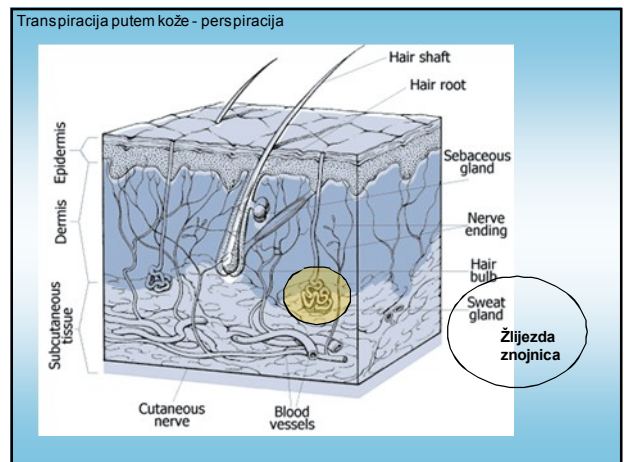
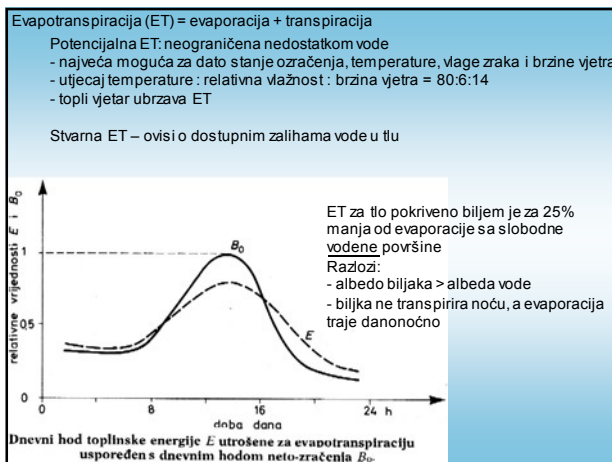
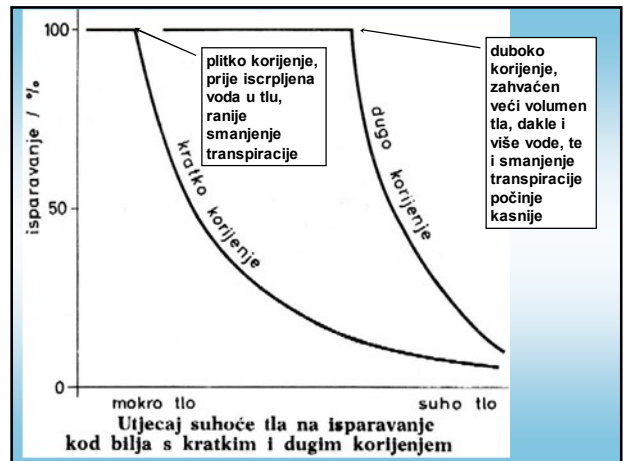
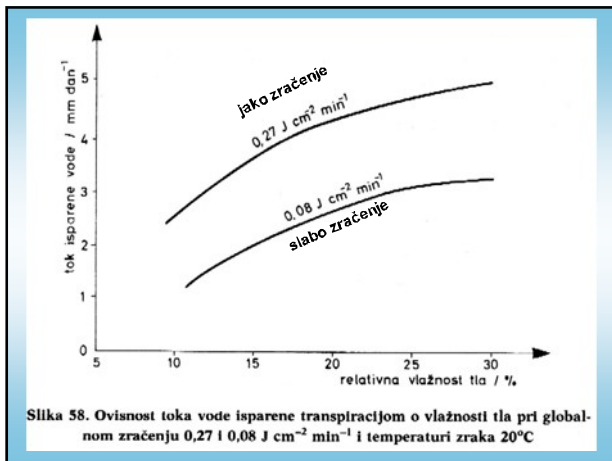
### Transpiracija – isparavanje vode iz biljaka i životinja

>70% ide kroz puči



Stanice zapornice - zatvaraju puči noću i tijekom dana ukoliko nema dosta vode u tlu (podnevni deficit vode za transpiraciju)





Transpiracija putem daha - respiracija

Kondenzacija vodene pare: zagrijani zrak iz pluća, zasićen vodenom parom, hladi se, smanjuje mu se kapacitet za vlagu, te se para kondenzira u oku vidljive kapljice

Pustinjska bića: temperatura zraka na izlazu iz pluća je niža nego okolni zrak → vlaga se ne gubi ovim putem

Dahtanje: tijelo se hladi putem ispuštanja toplijeg zraka iz pluća i udisanjem hladnog iz okoliša, te hlapljenja tekućine s dobro prokrvjenog tkiva jezika

6.1.2. Mjerenje i izračunavanje količine isparene vode

Atmometri – voda isparava kroz pore na stjenkama materijala, te se donekle simulira transpiracija biljaka

Slika 62. Evaporimetar klase A i Wilted evaporimetar

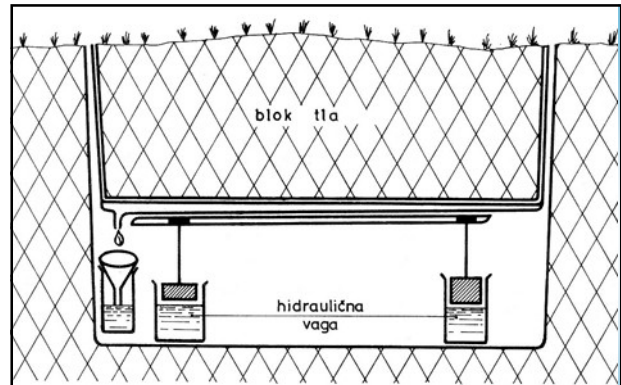
Evaporimetri – mjerenje evaporacije s otvorene vodene površine ili tla

Valjci 1 i 2 se svakodnevno važu i premještaju



**Slika 63. Popovljev evaporimetar**

Podaci o težinama valjaka, procijeđene vode i oborina daju informacije o isparavanju vode i stanju vlage u tlu



**Slika 64. Lizimetar ili evapotranspirometar**

Lizimetri-mjere stvarnu evapotranspiraciju



Postavljanje lizimetra

Funkcionalni lizimetar

Lizimetri daju najtočnije podatke o vodi isparenoj ET, jer atmometri i evaporiometri nisu toliko pouzdani zbog drugačije mase vode koje isparava, drugačijeg djelovanja vjetrova, temperature i zračenja i sl., od onih uvjeta koji vladaju u prirodi

**Računanje količine isparene vode**

Iz toplinskog obračuna za aktivni sloj (vidi 4.1.):

$B_o + P + A + F + E + Q = 0 \rightarrow E = -B_o - P - A - F - Q$ ; pošto su F i Q obično male, može se aproksimirati gustoća toka toplote za evapotranspiraciju  $E = -B_o - P - A$ ; supstitucijom da je  $E = L \Phi_v = -B_o - P - A$ , slijedi da je  $\Phi_v = (-B_o - P - A) / L$  gdje je

- $\Phi_v$  - gustoća toka vodene pare s površine S u vremenu  $\Delta h$
- $B_o$  - neto zračenje
- P - toplina razmijenjena između aktivnog sloja i unutrašnjosti podloge
- A - toplina razmijenjena između aktivnog sloja i atmosfere
- L - latentna toplina isparavanja

znajući da je 1 kg vode približno obujma 1000 cm<sup>3</sup>, L=25 kJ, te mjereći  $B_o, P$  i A, lako se dobije obujam isparene vode s površine S u vremenu  $\Delta h$

najčešće se izražava u mm vodenog stupca (**1 mm = 1 dm<sup>3</sup>/1 m<sup>2</sup> = 1 litra po m<sup>2</sup>**)

**Računanje količine isparene vode II**

Empirijske metode – temelje se na činjenici da ET ovisi o temperaturi, vlažnosti i strujanju zraka

Dalton-ova formula – za količinu vode isparenu s otvorene vodene površine, W u mm:

$$W = a(S) f(v) (p_{vs} - p_v)$$

gdje je

a(S)-koeficijent ovisan o veličini bazena

f(v)-funkcija brzine vjetrova (m/s)

$p_{vs}$ -tlak vodene pare na površini vode [hPa]

$p_v$ -tlak vodene pare na nekoj visini iznad površine vode [hPa]

**Računanje količine isparene vode III**

Thornthwaite-ova formula za količinu vode isparenu potencijalnom ET (=PET)

$$W_j = 16 k \left( \frac{10 t_j}{I} \right)^{a(I)}$$

gdje je

$W_j$  količina vode u mm isparena iz tla potencijalnom ET za mjesec j

k-faktor ovisan o zemljopisnoj širini

I-godišnji toplinski indeks ovisan o srednjim mjesečnim temperaturama zraka na bazi višegodišnjeg prosjeka

$t_j$ -srednja temperatura mjeseca t za godinu u kojoj računamo  $W_j$

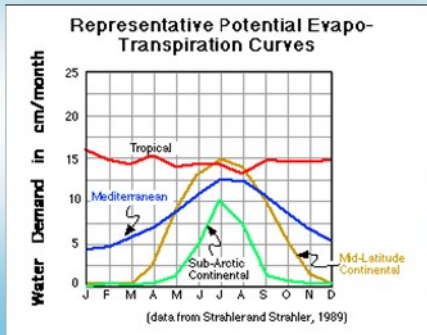
a(I)-funkcija godišnjeg toplinskog indeksa

PET za Zagreb u razdoblju 1862-1975

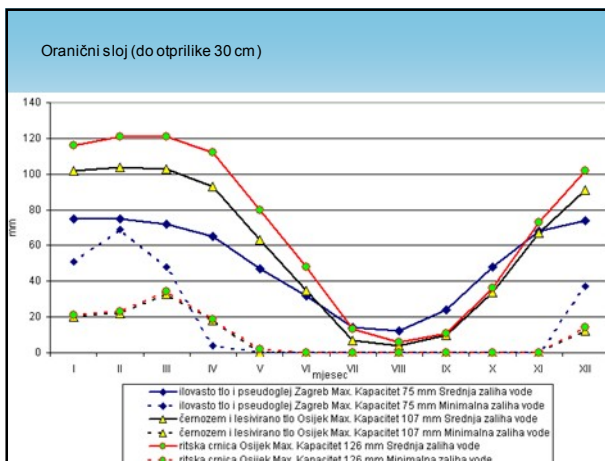
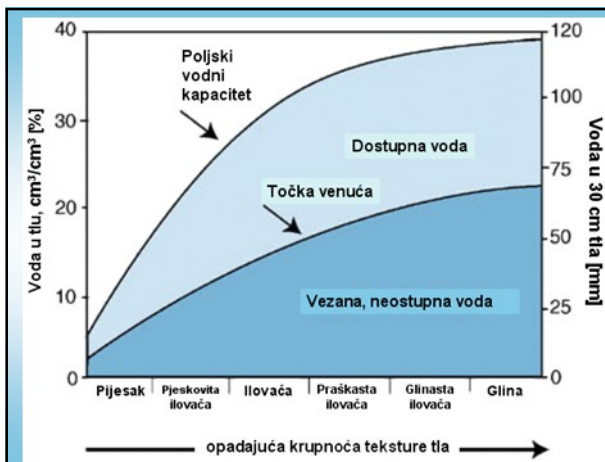
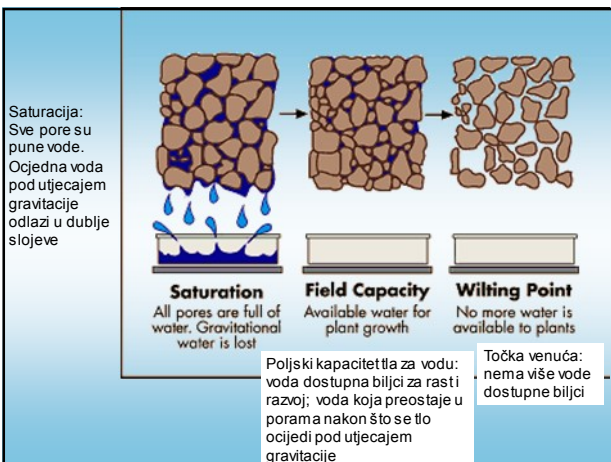
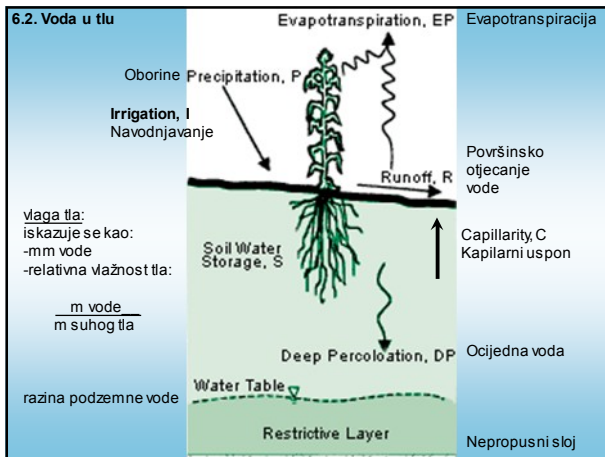
mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	god.
PET, mm	2	7	25	55	95	122	140	123	81	45	17	5	717

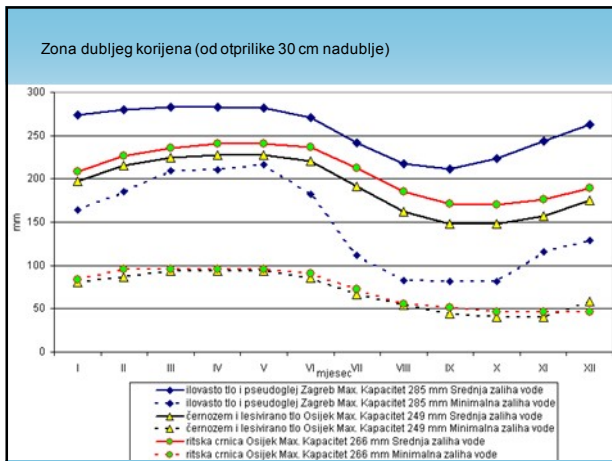
dakle PET jest visok, ali obično nema toliko oborina, pa je stvarna ET (=SET) često manja ← vodni deficit

godišnje vrijednosti PET za:  
 hladne, polarne krajeve – do 500 mm  
 kontinentalnu klimu – 1000 mm  
 mediteransku klimu – 1500 mm  
 polupustinje – 2500 mm  
 pustinje – 3500 mm



## 6.2. Voda u tlu





Vlaga u tlu također utječe na temperaturu tla: suho tlo ima manji specifični toplinski kapacitet i koeficijent toplinske vodljivosti nego mokro tlo  
 → suho tlo se na površini prije zagrije, ali i prije ohladi → veći rasponi temperatura tla

6.3. Vlaga u zraku

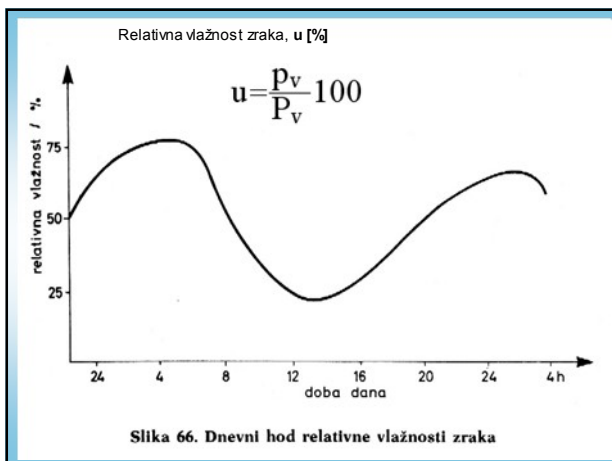
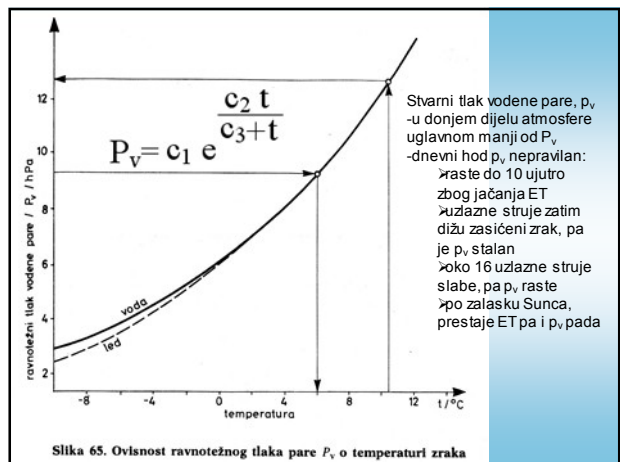
Najviše vlage u prizemnim dijelovima atmosfere (ET)

Maksimalna količina vodene pare u zraku ovisi o temperaturi zraka  
 Ukoliko je maksimalna količina vodene pare u zraku dostignuta, zrak je zasićen parom, a nova para, isparena iz tla, kondenzira se ← ravnotežni tlak vodene pare je prijedem

Magnus-Tetensova formula

$$P_v = c_1 e^{\frac{c_2 t}{c_3 + t}}$$

gdje je  
 $P_v$  - ravnotežni tlak pare [hPa]  
 $t$  - temperatura [°C]  
 $e$  - baza prirodnog logaritma (=2.7182818...)  
 $c_1$  - ravnotežni tlak vodene pare pri 0 °C = 6.11 hPa  
 $c_2, c_3$  - empirijske konstante ovisne o agregatnom stanju vodene površine  
 za vodu temperature  $\geq 0$  °C,  $c_2=17.1, c_3=234.4$   
 za led,  $c_2=22.4, c_3=272.4, t_e$   
 za vodu pri temperaturama zraka  $< 0$  °C,  $c_2=17.1, c_3=245.4$



Manjak (*deficit*) zasićenosti – razlika između ravnotežnog i stvarnog tlaka:  
 $\Delta = P_v - p_v$

Apsolutna vlažnost – omjer mase vode i volumena zraka:  
 $a_v = 217 p_v / T$ , gdje je  $T$  temp. u K,  $a_v$  u  $g/m^3$

Specifična vlažnost – omjer mase vodene pare [g] i mase vlažnog zraka [kg]:

$$s_v = 622 \frac{p_v}{p - 0.387 p_v}$$

Omjer miješanja – omjer mase vodene pare [g] i mase suhog zraka [kg]

$$o = 622 \frac{p_v}{p - p_v}$$

Rosište – temperatura  $\tau$  pri kojoj se vodena para počinje kondenzirati

$$\tau = \frac{c_3 (\ln p_v - \ln c_1)}{c_2 - (\ln p_v - \ln c_1)}$$

