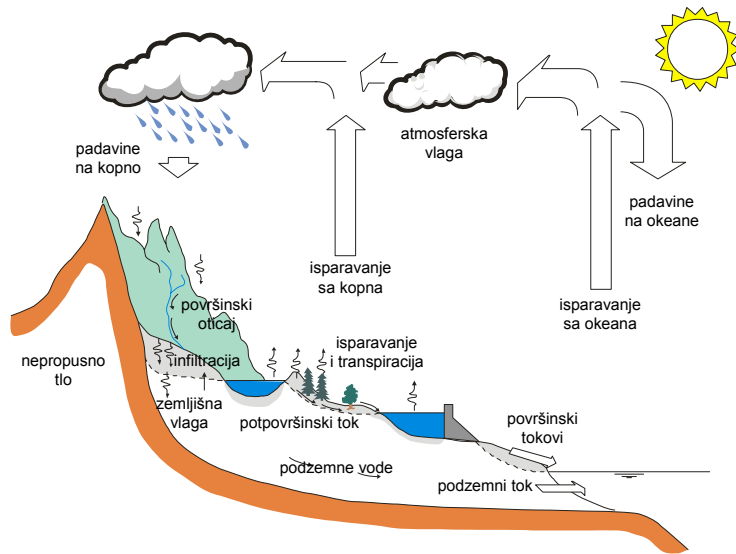
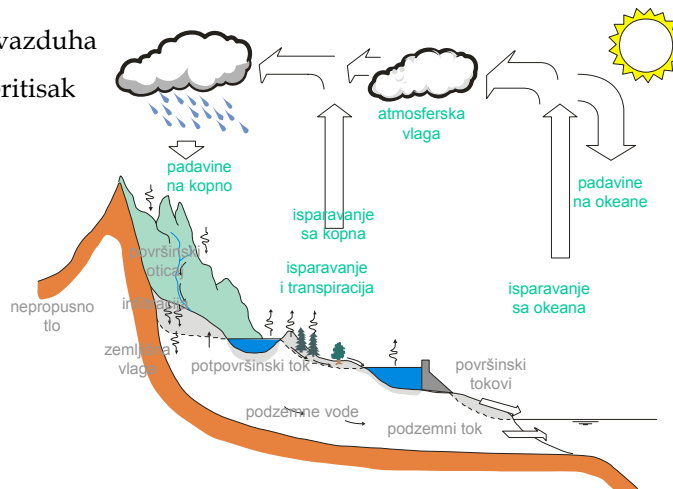


# Hidrološki ciklus



# Atmosferski procesi

- Sunčevo zračenje
- Vodena para
- Temperatura vazduha
- Atmosferski pritisak
- Vetar
- Isparavanje
- Padavine

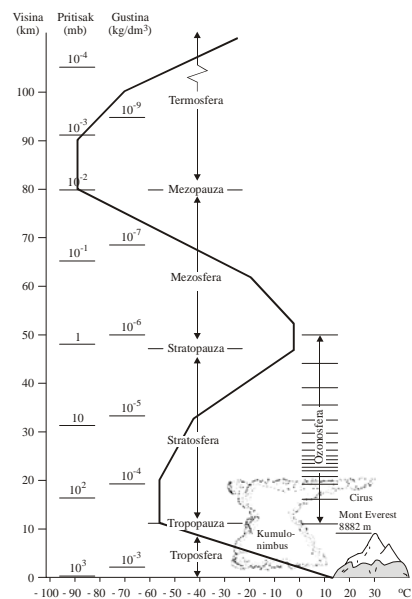


# Atmosfera

- Atmosfera – vazdušni omotač oko Zemlje
- Debljina omotača?
  - 90% mase vazduha ispod 20 km
  - 2/3 mase vazduha ispod Mont Everesta (9 km)
- Sastav atmosfere
  - glavni (nepromenljivi) sastojci: azot (75.51%), kiseonik (23.15%), argon (1.28%), inertni i drugi gasovi (0.06%)
  - ostali (promenljivi) sastojci: voda (sva tri agregatna stanja), ozon, ugljen dioksid
  - čvrste čestice – prašina, dim, soli, mikroorganizmi

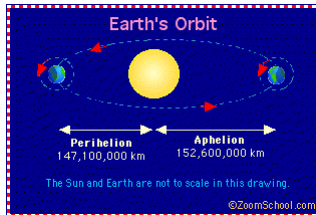
# Atmosfera

- gustina vazduha i temperatura opadaju sa visinom
- temperatura se menja na nepravilan način



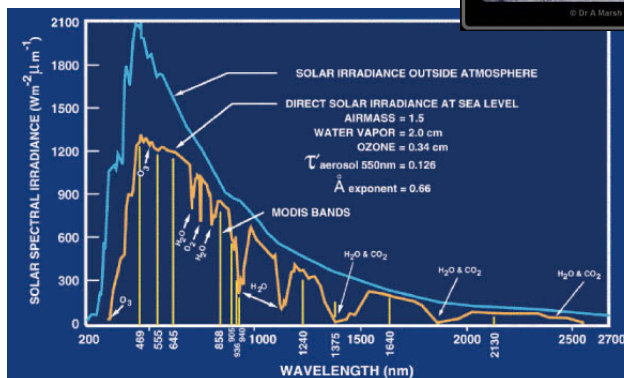
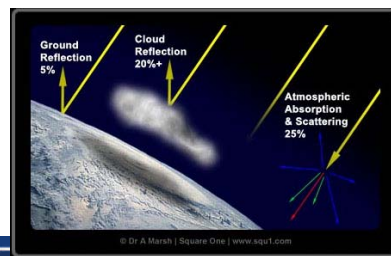
# Sunčevo zračenje

- Emitovano Sunčevo zračenje: uglavnom konstantno
- Sunčevo zračenje na granici atmosfere, zavisi od:
  - odstojanja Zemlje od Sunca (ekscentrična orbita), menja se po godišnjim dobima
  - visine Sunca iznad razmatrane tačke na zemlji, menja se po geografskoj širini, godišnjim dobima i tokom dana
  - dužine dana, menja se po geografskoj širini i godišnjim dobima



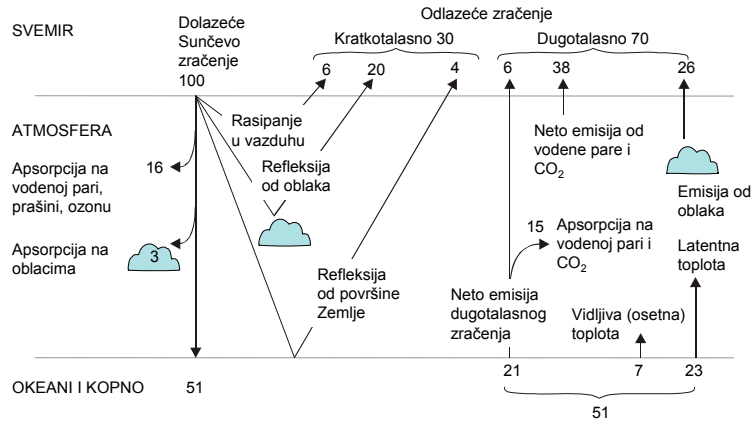
# Sunčevo zračenje

- Sunčevo zračenje kroz atmosferu:
  - gubici refleksijom, apsorpcijom i rasipanjem



# Sunčevo zračenje

## ■ Bilans Sunčevog zračenja (toplotne energije) u atmosferi



# Sunčevo zračenje

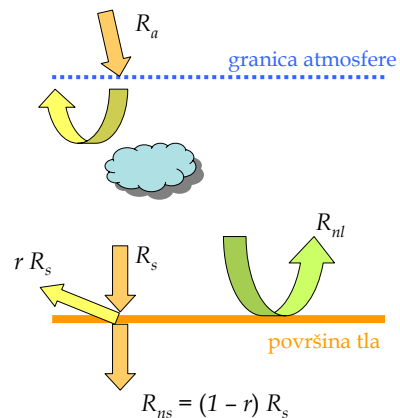
## ■ Merenje

- radiometri, aktinometri, piroheliometri
- sa zaklonom dole (Sunčevo zračenje), gore (Zemljino zračenje), bez zaklona (neto zračenje)

## ■ Proračun: neto zračenje na površinu Zemlje $R_n$ :

- bilans neto kratkotalasnog i dugotalasnog zračenja:

$$R_n = R_{n,s} - R_{n,l}$$



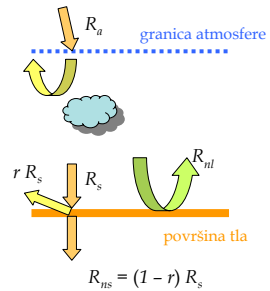
## Sunčevo zračenje: proračun

- neto kratkotalasno Sunčevo (dolazeće) zračenje  $R_{ns}$

$$R_{ns} = (1 - r)R_s$$

- albedo  $r$  – odnos reflektovanog i dolazećeg zračenja

Vrsta površine	Albedo $r$
Gusta i tamna šuma	0.05
Trava	0.23
Golo zemljište	0.10 – 0.20
Sneg	0.46 – 0.81
Vodena površina	0.04 – 0.39

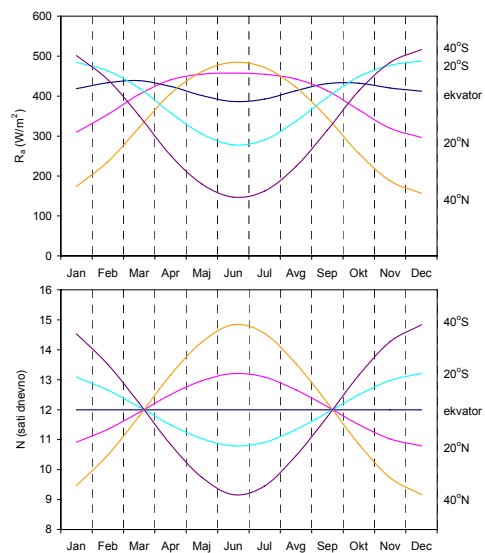


## Sunčevo zračenje: proračun

- kratkotalasno Sunčevo zračenje  $R_s$ :

$$R_s = \left( a + b \frac{n}{N} \right) R_a$$

- Sunčevo zračenje na granici atmosfere  $R_a$
- relativna insolacija (osunčanost)  $n/N$   
 $n$  – stvarno trajanje Sunčevog sjaja,  
 $N$  – maksimalno moguće trajanje Sunčevog sjaja (dužina dana)
- $a = 0.25$ ,  $b = 0.5$



## Sunčevo zračenje: proračun

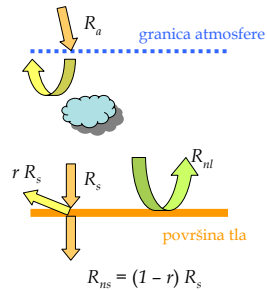
- neto dugotalasno Zemljino (odlazeće) zračenje  $R_{nl}$

$$R_{nl} = \sigma T_a^4 \left( 0.34 - 0.044 \sqrt{e_a} \right) \left( 0.1 + 0.9 \frac{n}{N} \right)$$

- Štefan-Bolcmanova konstanta  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$
- absolutna temperatura  $T_a$  (K)
- vlažnost vazduha tj. stvarni pritisak vodene pare  $e_a$  (mb)
- relativna insolacija  $n/N$

### Rekapitulacija:

$$\begin{aligned} R_n &= R_{ns} - R_{nl} = \\ &= (1-r) \left( a + b \frac{n}{N} \right) R_a - R_{nl} \end{aligned}$$



## Sunčevo zračenje: Primer proračuna

- Palić: GŠ = 46° 06', oktobar 1974

- podaci:
  - zračenje na granici atmosfere  $R_a = 217.6 \text{ W/m}^2$ ,
  - dužina dana  $N = 10.58 \text{ h}$
  - mesečna insolacija 79.5 h (pros. dnevna  $n = 79.5/31 = 2.56 \text{ h}$ )
  - sr. mes. temperatura vazduha  $T = 7.5^\circ\text{C} = 7.5 + 273 \text{ K} = 280.5 \text{ K}$
  - sr. mes. vlažnost vazduha  $e_a = 6.7 \text{ mm Hg} = 6.7 \cdot 1.3332 \text{ mb} = 8.93 \text{ mb}$

- kratkotalasno zračenje na površini zemlje:

$$R_s = \left( a + b \frac{n}{N} \right) R_a = \left( 0.25 + 0.5 \frac{2.56}{10.58} \right) \cdot 217.6 = 80.7 \text{ W/m}^2$$

- neto kratkotalasno zračenje, za  $r = 0.05$  (vodena površina):

$$R_{ns} = (1-r) R_s = (1-0.05) \cdot 80.7 = 76.7 \text{ W/m}^2$$

## Sunčevo zračenje: Primer proračuna

- Palić: GŠ = 46° 06', oktobar 1974

- neto dugotalasno zračenje:

- Štefan-Bolcmanova konstanta  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$

$$R_{nl} = 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot 280.5^4 \left( 0.34 - 0.044\sqrt{8.93} \right) \left( 0.1 + 0.9 \frac{2.56}{10.58} \right) = 23.3 \text{ W/m}^2$$

- neto zračenje na površini jezera:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} = 76.7 - 23.3 = 53.4 \text{ W/m}^2$$

- Palić, juni 1974:  $R_n = 167.5 \text{ W/m}^2$

## Vodena para

- Preovlađujući oblik vode u atmosferi
- Sadržaj vodene pare u vazduhu = **vlažnost vazduha**
- Pokazatelji

- **apsolutna vlažnost vazduha**

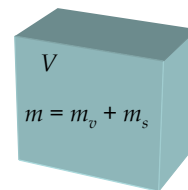
- masa vodene pare u jedinici zapremine vazduha =  
= gustina vodene pare  $\rho_v$

$$\rho_v = \frac{m_v}{V}$$

- **pritisak vodene pare  $e$**

- zakon idealnog gasa (veza pritiska  $e$ , gustine  $\rho$ , temperature  $T$ , gasne konstante  $R$ )

$$e = \rho_v R_v T$$



# Vodena para

## ■ Zasićen (saturisan) vazduh

- pritisak vodene pare pri zasićenju  $e_s$ 
  - zavisnost  $e_s$  od temperature – kriva saturacije

$$e_s = 6.11 \exp\left\{\frac{17.27 T}{237.3 + T}\right\}$$

$$\Delta = \frac{de_s}{dT} = \frac{4098e_s}{(237.3 + T)^2}$$

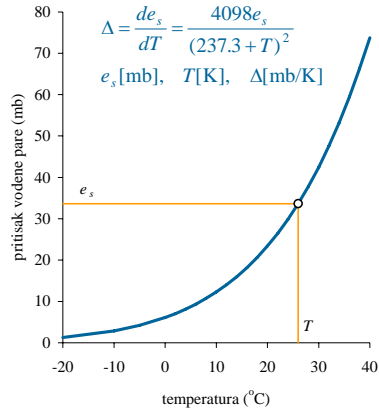
$$e_s[\text{mb}], \quad T[\text{K}], \quad \Delta[\text{mb/K}]$$

- relativna vlažnost vazduha

$$RV = \frac{e}{e_s}$$

- deficit saturacije

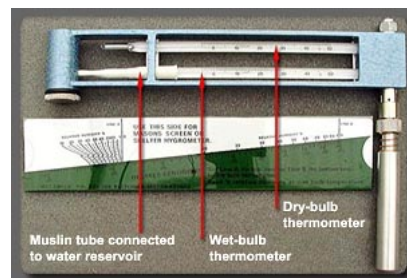
$$e_s - e$$



# Vodena para

## ■ Merenje:

- *higrometar*
  - klasičan: princip promene dužine vlasi kose pri različitoj vlažnosti vazduha (vlas se izdužuje pri većoj vlažnosti)
  - električni, infracrveni...
- *psihrometar* ili suvi i vlažni termometar
  - suvi meri temp. vazduha; vlažni obavijen mokrom krpicom, ventiliranjem se krpica suši i snižava se temp. na termometru; empirijske zavisnosti između razlike temperatura i vlažnosti





## Temperatura vazduha

- Utiče na vrstu padavina, isparavanje, transpiraciju, topljenje snega
- Dnevne i sezonske varijacije – posledica pozicije Zemlje u odnosu na Sunce
- Prostorne varijacije
  - geografski položaj
  - nadmorska visina
    - temperatura opada za 0.65°C na 100 m visine
- Merenje: u met. zaklonima na 2 m visine
  - termometri (živini i alkoholni)
  - termografi (kontinualno)
  - maksimalni i minimalni termometar



## Temperatura vazduha

- Srednje dnevne temperature

$$T_{sr,dn} = \frac{T_7 + T_{14} + 2T_{21}}{4}$$

$$T_{sr,dn} = \frac{T_{\min} + T_{\max}}{2}$$

## Atmosferski pritisak

- Definicija: težina stuba vazduha od nivoa merenja do vrha atmosfere na jedinicu površine
- Prosečni pritisak vazduha na nivou mora
  - 1 bar =  $10^5$  Pa = 100 kN/m<sup>2</sup>
  - 1 mbar = 100 Pa = 0.1 kN/m<sup>2</sup>
- Pritisak opada sa visinom:

$$\frac{dp}{dz} = -\rho_a g \approx -\frac{1 \text{ mb}}{8 \text{ m}}$$

- Beograd-Vračar:  $Z = 132 \text{ m}$ ,  $p = 990 \div 1010 \text{ mb}$
- Merenje: *barometar*

## Vetar

- Horizontalno strujanje vazduha usled neravnomernog zagrevanja i hlađenja površine zemlje
  - Vetar prenosi toplotu i vodu paru kroz atmosferu, ima ulogu u procesu isparavanja
  - Važan vid opterećenja za visoke objekte
- Vetar – vektorska veličina
  - pravac vetra = pravac iz koga vetar duva
    - merenje: *vetrokaz*
    - u 8 ili 16 standardnih pravaca
  - jačina (brzina) vetra
    - merenje: *anemometar*, obično na 10 m visine
    - jedinice: m/s, km/h, čvor, Boforova skala
- Ruža vetrova = zavisnost pravac-brzina-učestalost



# Vetar

## ■ Boforova skala

Boforov broj	opis	m/s	km/h	čvorova
0	tišina	0	0	0
1	lahor	0.9	3	0.5
2	povetarac	2.4	9	1.2
3	slab vetar	4.4	16	2.3
4	umereni vetar	6.7	24	3.4
5	jak vetar	9.3	34	4.8
6	žestok vetar	12.3	44	6.3
7	olujni vetar	15.5	55	8.0
8	oluja	18.9	68	9.7
9	jaka oluja	22.6	82	11.6
10	žestoka oluja	26.4	96	13.6
11	vihor	30.5	110	15.7
12 (-17)	orkan (uragan)	34.8	125	17.9

# Vetar

## ■ Strujanje vetra podleže zakonima mehanike fluida

- uticaj oblika i hrapavosti površina - formiranje graničnog sloja
- raspored brzina u graničnom sloju:

$$u(z) = az^b$$

$$u(z) = a \log z + b$$

- određivanje brzine vetra na visini na kojoj se ne meri:

$$\frac{u(z)}{u(10)} = \left(\frac{z}{10}\right)^b, \quad b = 1/7 \div 1/5$$