

3) SUNČEVO I ZEMLJINO ZRAČENJE

3.1. Sunčevo zračenje

3.1.1. Sunce kao izvor energije

Sunce

$T(\text{Fotosfera}) = 6000 \text{ K}$

$T(\text{Centar}) = 15 \times 10^6 \text{ K}$

+ visoki tlak =  
Termonuklearni procesi fuzije:  
 $H + H \rightarrow He + \text{Energija}$

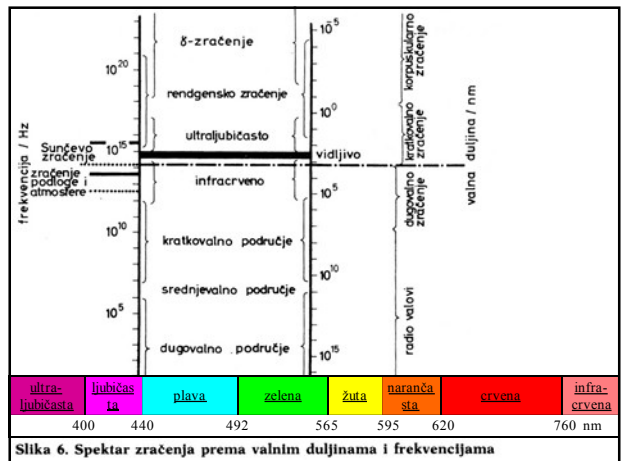
$2r = 1.4 \times 10^6 \text{ km}$

$r = 0.38 \times 10^6 \text{ km}$

$2r(\text{Zemlja}) = 12742 \text{ km}$

Sunčevo zračenje:

- 1) Korpuskularno (čestično):
  - čestice izbačene iz fotosfere brzinama ( $v_2 \text{ SUNCE} = 620 \text{ km/s} \leftarrow v_2 \text{ ZEMLJA} = 11.2 \text{ km/s}$ )
  - ovisi o Sunčevim baktjama i bljeskovima u fotosferi, te o broju Sunčevih pjega
  - nejednaka brzina i količina čestica
  - energija zanemarljivo mala u odnosu na energiju elektromagnetnog zračenja
- 2) Elektromagneto
  - posljedica titranja elektromagnetskog polja
  - neprekidno, uglavnom iste snage i stalne brzine zračenja
  - granična  $\lambda = 4 \mu\text{m}$  između kratko- i dugovalnog zračenja



3 fizikalna zakona koji opisuju zračenje crnog tijela:

I) Planck-ov zakon

$$E_{\lambda}(T) = \frac{k_1}{\lambda^5} (e^{\frac{k_2}{\lambda T}} - 1)^{-1}$$

gdje je:

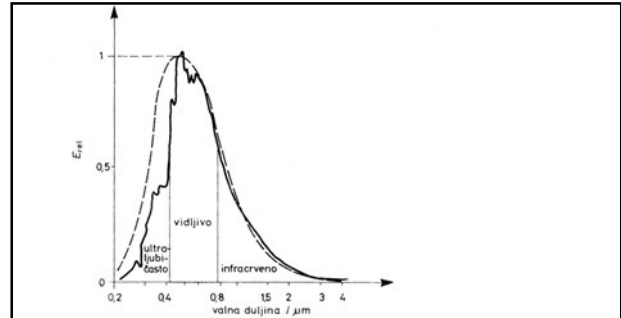
$E_{\lambda}(T)$  – gustoća toka energije zračenja tijela temperature T

$\lambda$  – valna duljina

$e$  – 2.7182818

$k_1$  – prva konstanta zračenja,  $3,74 \times 10^{-16} \text{ Wm}^2$

$k_2$  – druga konstanta zračenja,  $1,44 \times 10^{-2} \text{ mK}$



Slika 7. Spektralna raspodjela gustoće energije izlaznog zračenja crnog tijela (crkana krivulja) i Sunčeva zračenja na gornjoj granici atmosfere pri srednjoj udaljenosti Zemlje od Sunca (puna krivulja)

Važnost Planckovog zakona:

- Energije zračenja su vrlo male za vrlo male i vrlo velike valne duljine EM zračenja
- Spektar zračenja tijela je ograničen, te vezan za temperaturu kojom tijelo zrači
- Pri višoj temperaturi, zračenje se pomiče prema području kraćih valnih duljina

II) Wien-ov zakon

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{C}{T}$$

gdje je

$\lambda_{\text{max}}$  – valna duljina za koju je spektralna gustoća toka energije zračenja najveća

C – konstanta, 2897 K $\mu\text{m}$

T – temperatura, K

$$\text{za Sunce, } \lambda_{\text{max}} = 2897 \times 10^{-6} \text{ Km} / 6000 \text{ K} = 0,48 \times 10^{-6} \text{ m} = 480 \text{ nm}$$

III) Stefan-Boltzmann-ov zakon

$$\Phi = \sigma S T^4$$

gdje je:

$\Phi$  – tok ili fluks energije koji EM zračenjem odlazi s površine tijela

$\sigma$  – Stefanova konstanta,  $5,669 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$

S – površina koja zrači,  $\text{m}^2$

T – temperatura, K

za  $1 \text{ m}^2$  Sunca:

$$\Phi = 5,669 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4} \times (6000 \text{ K})^4$$

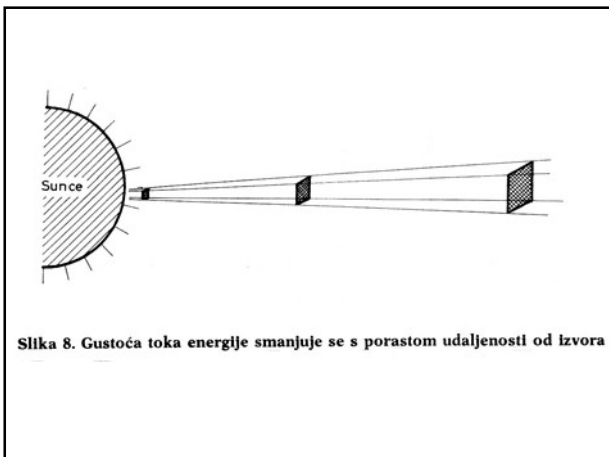
$$= 5,669 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4} \times 1296 \times 10^{12} \text{ K}^4$$

$$= 7343 \times 10^4 \text{ Wm}^{-2} = 73 \text{ MWm}^{-2} = 73 \text{ MJ s}^{-1} \text{ m}^{-2} \times 60 \text{ s} \times 1 \text{ min}^{-1} = 4,4 \text{ GJ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$$

za čovjeka:

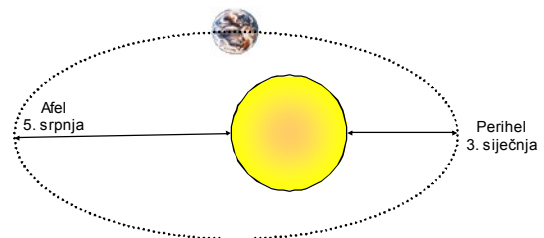
$$\Phi = 5,669 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4} \times (273,15 \text{ K} + 36 \text{ K})^4$$

$$= 520 \text{ W m}^{-2} = 31 \text{ kJ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$$



Slika 8. Gustoća toka energije smanjuje se s porastom udaljenosti od izvora

3.1.2. Sunčevo ozračenje na gornjoj granici atmosfere



putanja Zemlje oko Sunca trenutno NIJE kružnica, nego elipsa (otud i pojam ekliptika)

-točka putanje najbliža Suncu: Perihel (147 Gm ili 147 milijuna km)

-točka putanje najdalja od Sunca: Afel (152 Gm)

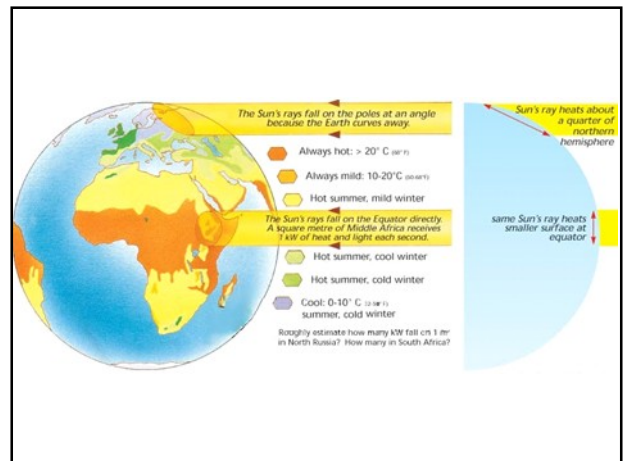
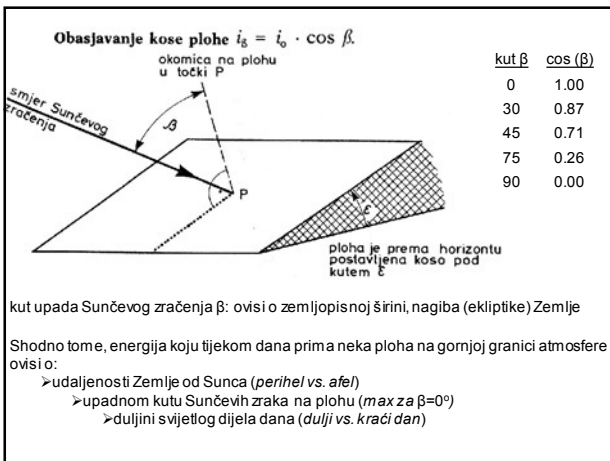
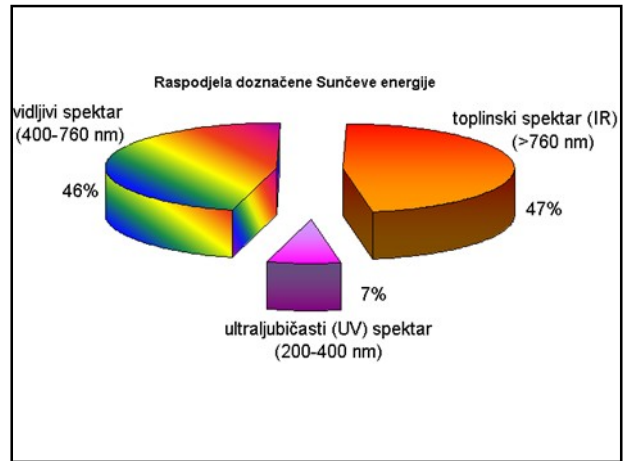
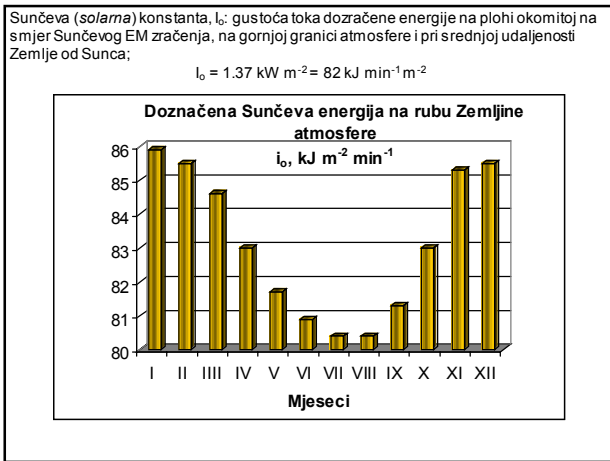
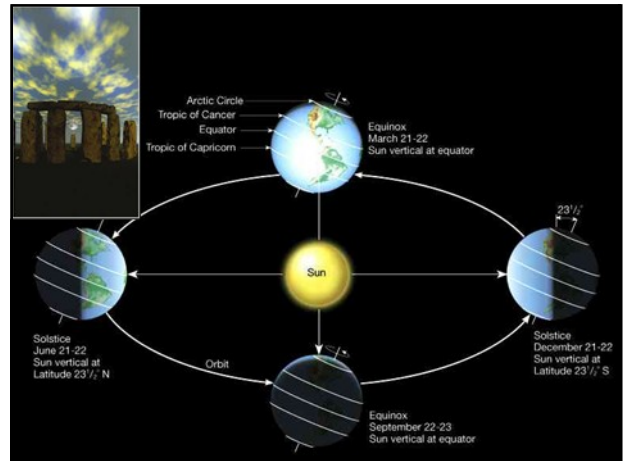
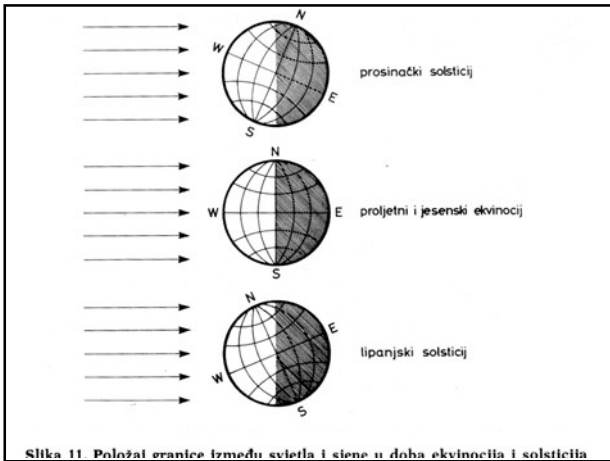
**Na sjevernoj hemisferi:**

Solsticij = suncostaj, prvi dan zime (21. prosinca) i ljeta (21. lipnja)

Ekvinocij = ravnodnevica, prvi dan proljeća (21. ožujka) i jeseni (23. rujna)

Za koliko svjetlost prevali put od Sunca do Zemlje?

$$v = s/t \rightarrow t = s/v = 150 \text{ Gm} / 0,3 \text{ Gm s}^{-1} = 500 \text{ s} = 8 \text{ minuta}$$



3.1.3. Promjene Sunčeva ozračenja u atmosferi

Atmosfera → plinovi → Raspršivanje i upijanje energije

ozračenje:  
- izravno ili direktno  
- raspršeno ili difuzno ili zračenje neba

Ovisnost veličine čestice i raspršenja dozačenog EM vala

Također, kraće valne duljine se jače raspršuju

Ryleigh-jev zakon:  
ukoliko su polumjeri čestica istog reda veličine kao i  $\lambda$  EM vala, tada vrijedi

$$b_{R, \lambda} \approx \lambda^{-4}$$

gdje je  $b_{R, \lambda}$  koeficijent raspršivanja EM vala

Dakle, u atmosferi bez većih čestica, raspršuje se bolje ljubičasta i plava boja od ostalih ← zato je čisto nebo plavo

Ryleigh-jev zakon:  
no, kada u atmosferi prevladavaju krupnije čestice (aerosol), tada vrijedi

$$b_{M, \lambda} \approx \lambda^{-1}$$

gdje je  $b_{M, \lambda}$  koeficijent raspršivanja EM vala znatno manje valne duljine od promjera čestice

Dakle, u atmosferi zagađenoj većim česticama, raspršivanje svih valnih duljina je otprilike jednako → boje do oka stižu pomiješane ← bijela svjetlost

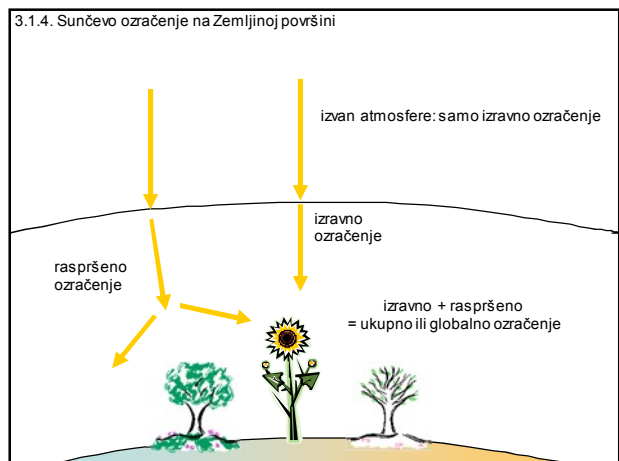
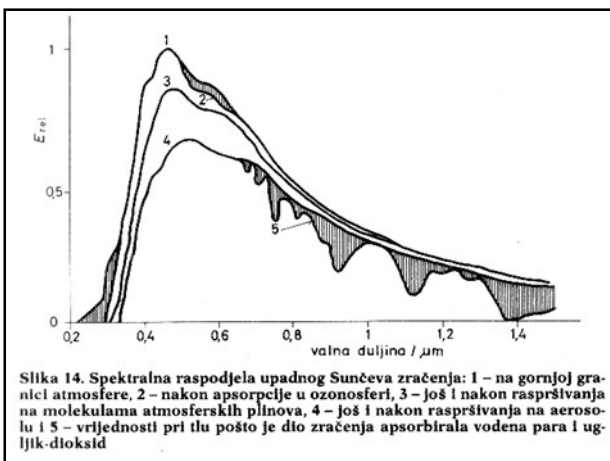
Upijanje EM zračenja od plinova i čestica u atmosferi:  
- UV zrake ← ionosfera, ozonosfera  
- 430-750 nm ← ozon  
- 760-800 nm ← kisik  
- IR (3000 nm i više) ← vodena para, CO<sub>2</sub>

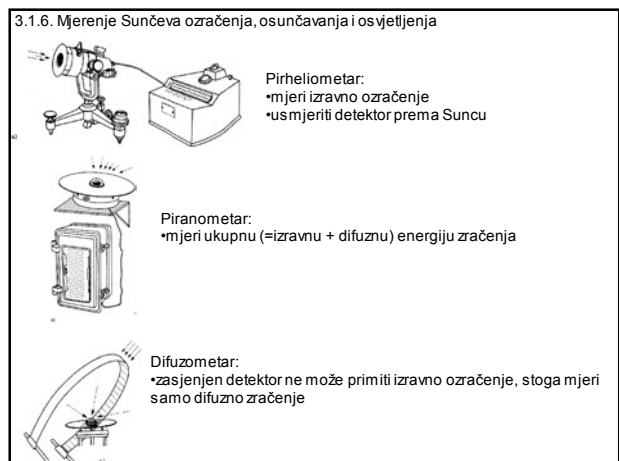
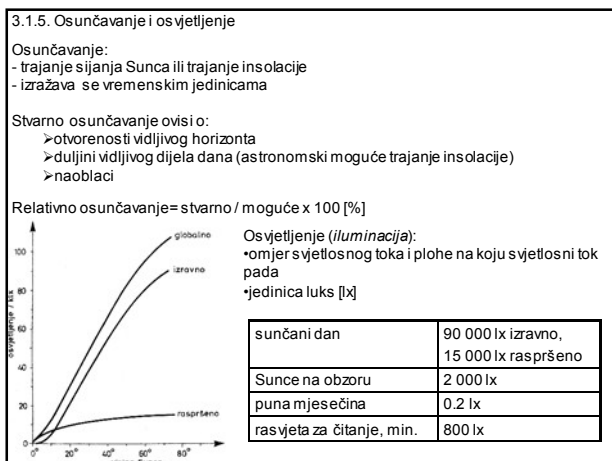
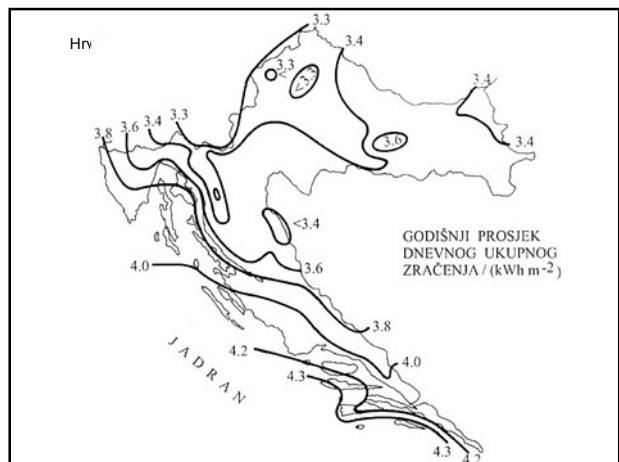
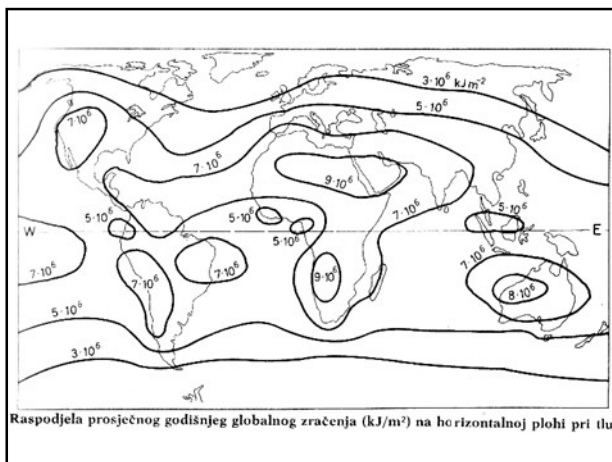
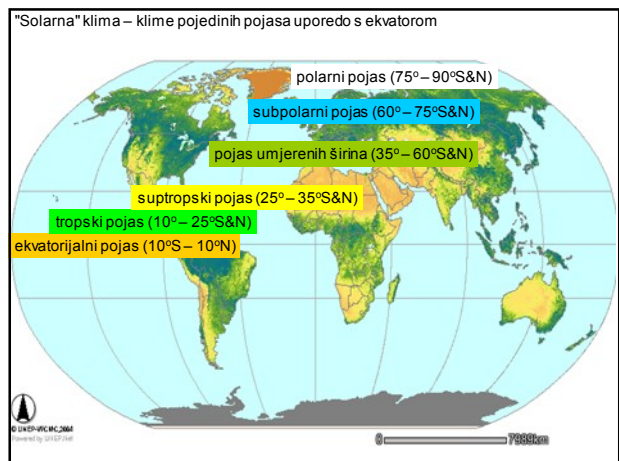
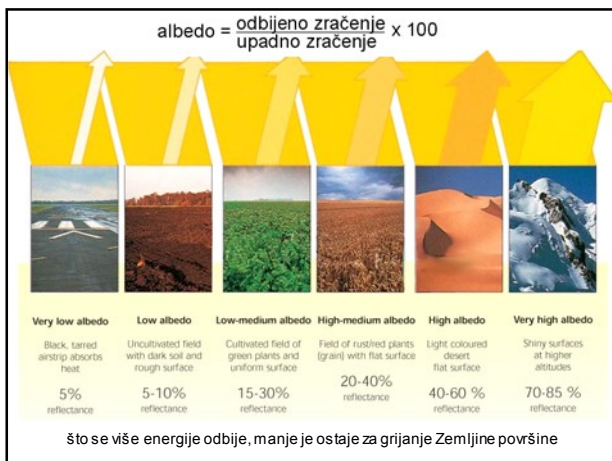
do tla dopire praktički samo kratkovalno zračenje

Bouguer-Lambert-ov zakon:

$$i_{\lambda} = i_{0, \lambda} \exp(-a_{\lambda} m_r)$$

gdje je  
 $i_{0, \lambda}$  - doznačena energija EM vala na vrhu atmosfere  
 $a_{\lambda}$  - koeficijent ekstinkcije EM vala zbog raspršivanja i apsorpcije  
 $m_r$  - relativna optička masa zraka, 1 za mjesto nadmorske visine 0 kad je Sunce u zenitu, 2 za onu količinu zraka u kojoj zrake putuju 2x duže nego kad je Sunce u zenitu, itd., pa do 40 kad je Sunce na zalazu





3.1.6. Mjerenje Sunčeva ozračenja, osunčavanja i osvjjetljenja

Albedometar:  
za mjerenje albeda

Heliograf:  
za mjerenje trajanja insolacije

Luksmetar:  
mjeri osvjjetljenje (ukupno globalno)

Slika 19. Campbell-Stokesov heliograf

3.1.7. Utjecaj reljefa na ukupno Sunčevo ozračenje i osunčavanje pri tlu

Ravni tereni: razlika samo zbog godišnjeg doba:  
- ljeti, Sunce visoko iznad obzora, jako ozračenje  
- zimi, Sunce nisko, slabo ozračenje

Neravni tereni:

- 1) strmija ekspozicija prema jugu → obasjavanje počinje kasnije ujutro i prestaje ranije navečer ← više energije nego u ravnici zbog boljeg upadnog kuta; Najoptimalnije: južne ekspozicije terena koje su okomite na podnevne ulazne zrake u proljeće i jesen
- 2) istočne ekspozicije → maksimum ozračivanja priepodne; zapadne ekspozicije → maksimum ozračivanja popodne, sveukupno, zbog kraće insolacije, dnevni primitak energije ipak manji od ravnih plohe
- 3) sjeverna ekspozicija → najnepovoljnija; obasjavanje samo u toplom dijelu godine, i to samo nakratko nakon izlaska i prije zalaska Sunca

3.1.8. Primjena sunčane energije

Neposredno: solarni kolektori i paneli

Pretvaranje solarne energije u toplinsku

Pretvaranje solarne energije u električnu

Posredno, preko zagrijavanja tla

**GEOTHERMAL HEAT PUMPS (GHP)**  
a.k.a. Ground Source Heat Pumps (GSHP)

**Ground Coupled Heat Pumps (GCHP)**  
a.k.a. Closed loop heat pumps

**Groundwater Heat Pumps (GWHP)**  
a.k.a. open loop heat pumps

**Surface Water Heat Pumps (SWHP)**  
a.k.a. lake or pond loop heat pumps

Problem: kompeticija s poljoprivredom!!!

### 3.2.1. Zračenje Zemljane površine

Zemlja: zrači mnogo manje energije nego Sunce, uglavnom u IR spektru: 3-80 μm (=3 000 – 80 000 nm)

Zračenje Zemljane površine = izžaravanje, oznaka  $L_o \uparrow$

Stefan-Boltzmann-ov zakon, prilagođen tijelu koje nije savršeno crno

$$L_o \uparrow = k \sigma T_o^4$$

gdje je:

$\sigma$  – Stefanova konstanta,  $5,669 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$

$T_o$  – temperatura na površini tijela, K

$k$  – koeficijent: za crno tijelo,  $k=1$ , za tlo  $k=0,95$ , svjež snijeg  $k=0,99$

kako se mijenja temperatura i inzolacija, tako se mijenja i izžaravanje

### 3.2.2. Protuzračenje atmosfere

Zagrijavanje atmosfere odozgora (kratkovalno, Sunce) i odozdo (dugovalno, Zemlja)

Troposfera:

-kratkovalno uglavnom prolazi bez većeg upijanja

-dugovalno:

vodena para i  $\text{CO}_2$  – upijanje IR 5-7 μm, sve  $\lambda > 14$  μm ne upija se za  $\lambda$ : 8.5-11 μm ← gubi se u svemir

Atmosfersko protuzračenje, oznaka  $L_o \downarrow$

Stefan-Boltzmann-ov zakon za protuzračenje

$$L_o \downarrow = k' \sigma T_A^4$$

gdje je:

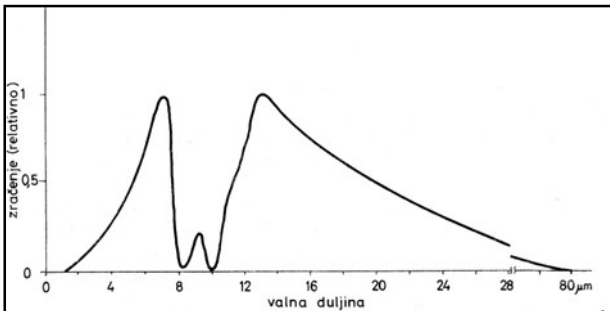
$\sigma$  – Stefanova konstanta,  $5,669 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$

$T_A$  – temperatura zraka, K

$k'$  – emisivnost ili koeficijent sivoće atmosfere

Protuzračenje veće danju nego noću; najmanje vrijednosti ujutro, najveće popodne, nekoliko sati nakon podneva.

Oblaci i vlaga zraka povećavaju protuzračenje!!!



Spektralna raspodjela gustoće energije koju atmosfera protuzrača prema tlu

mjerni uređaji za dugovalno zračenje: pirgeometar



razlika izžaravanja i protuzračenja: **efektivno izžaravanje podloge (Zemlje)**

### 3.3. Energijski obračun

neto-ozračenje,  $B_o$

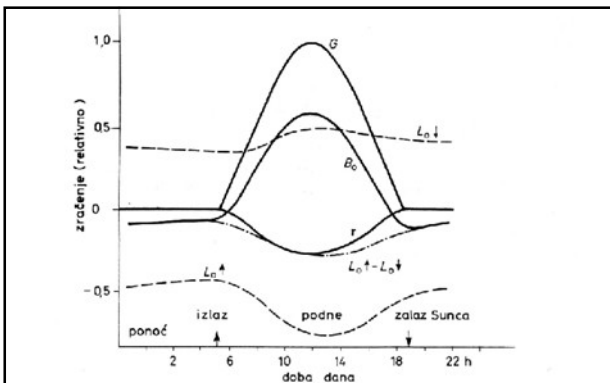
$$B_o = G(1-\alpha) + L_o \downarrow - L_o \uparrow$$

$\alpha$  – albedo površine

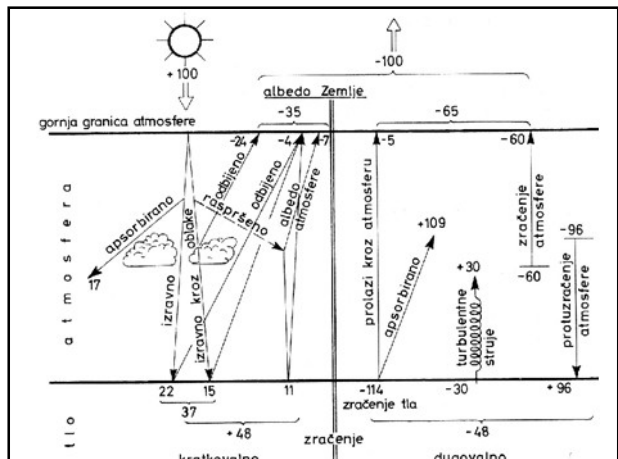
$G$  – globalno Sunčevo ozračenje

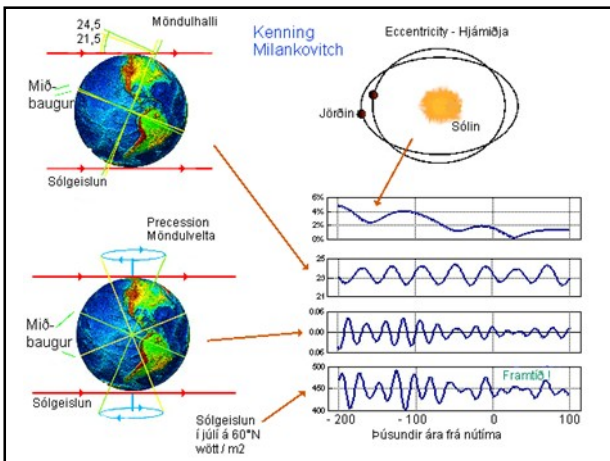
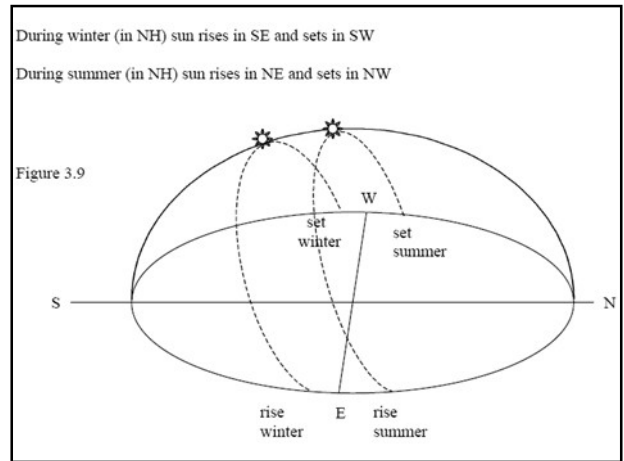
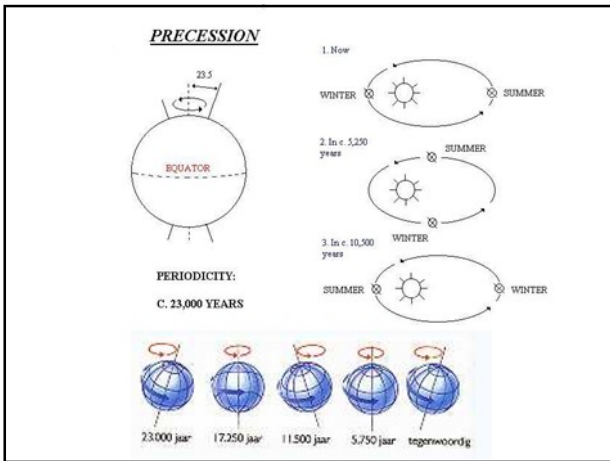
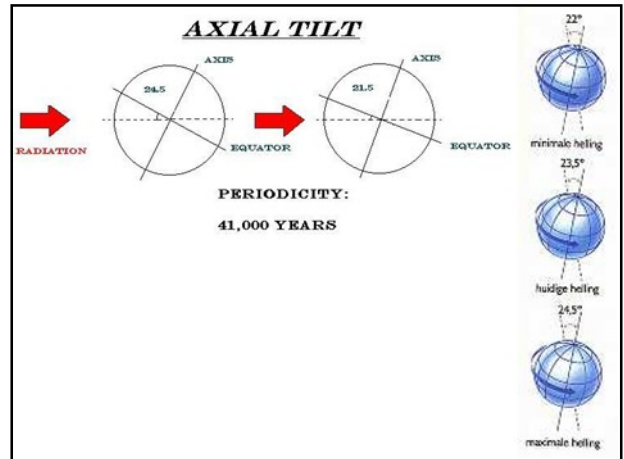
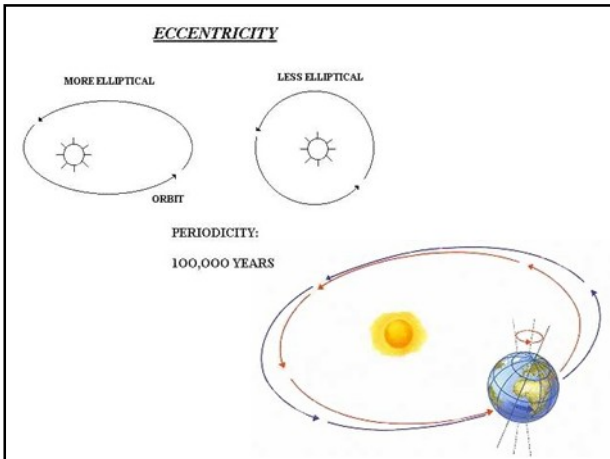
$L_o \downarrow$  - protuzračenje atmosfere

$L_o \uparrow$  - izžaravanje Zemlje



Slika 21. Dnevni hod globalnog zračenja ( $G$ ), odbijenog Sunčeva zračenja ( $r$ ), dugovalnog zračenja tla ( $L_o \uparrow$ ), protuzračenja atmosfere ( $L_o \downarrow$ ), efektivnog zračenja tla ( $L_o \uparrow - L_o \downarrow$ ) i neto - zračenja ( $B_o$ ) za vedrog vremena

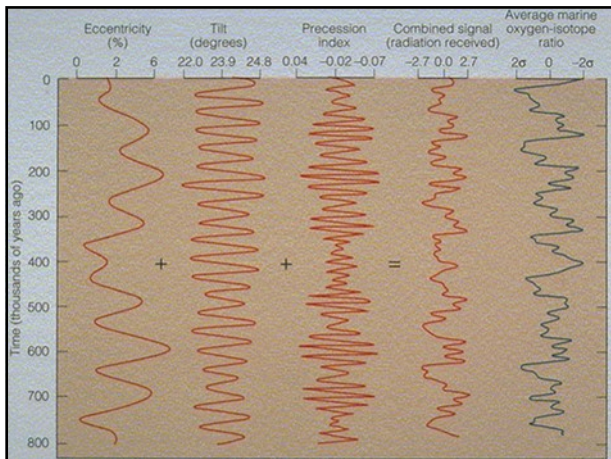




K V A R T A R (Q)			ZÍVOT
P O D J E L A			
H O L O C E N	SUBATLANTIK	VIKING	DENKERK (Dunkelzeit)
	SUBBOREAL		
	ATLANTIK		FLANDRIJ (Flandrian)
	BOREAL		
P L E I S T O C E N	VIRM (Warm - Viscerain)	glacjál	
	interglacjál		(Tyrrhesian I)
	RIS (Rio - Seicé = Illinois)	glacjál	TIRENIJ
	interglacjál		(Tyrrhesian I)
	MINDEL (Mindel - Elster - Kansau)	glacjál	
	interglacjál		KROMERIJ (Cromerian)
	GINC (Günz - Nebrascan)	glacjál	SICILIJ (Sicilian)
	interglacjál		TIGLJ (Tiglian)
	DOMAU (?)		KALABRIJ (Calabrian)
			VIJAFRAKK (Vistulfranchian)
P L I O C E N	BIBER (?)		donji

\* m.b. þessi skilgreining er byggð á samræmi milli þessara menga og stafræna löngun.





### 3.4. Biološko djelovanje energije Sunčeva i Zemljina zračenja

Utjecaj zračenja na organizme:

- ❖ toplina
- ❖ podražaji
- ❖ promjene u tkivu
- ❖ izgradnja tkiva

najkraće valne duljine: 255-305 nm (UV)

- opasne po život → razaraju staničje, ali i viruse i bakterije
- $\lambda < 300$  nm prodire u ljudsku kožu;
- potiče se stvaranje vitamina D – sprječava se rahitis (270-310 nm)
- zgrušavanje bjelancevina (260-285 nm)
- opekline ( $\lambda < 315$  nm)
- rak kože, dugoročno (280-285 nm)
- oči naročito osjetljive
- biljke -  $\lambda < 320$  nm uglavnom štetne

valne duljine od 320 – 400 nm utječu na oblik biljke (visina, debljina tkiva, itd.)

vidljivi dio spektra: 400-760 nm

- produljenje dužine dana u proljeće → poticaj nagona za parenjem mačke – veljača, kokoši – intenzivno nešenje jaja u ožujak, gniježđenje, povratak ptica selica

- fotoperiodizam – zahtjev pojedinih biljnih vrsta za određenom dužinom i kvalitetom primljenog svjetla

**Biljke kratkog dana:** konoplja, pamuk, soja, kukuruz  
**Biljke dugog dana:** zob, repa, lan, raž, pšenica, crv. djetelina  
**Neutralne biljke:** heljda, suncokret, neki duhan, riža, repica

Praktično:

biljke kratkog dana prenijete u područje dugog dana forsiraju vegetativnu masu, produžena je vegetacija, pa čak ne mogu prijeći iz vegetativne u generativnu fazu.

biljke dugog dana prenijete u još duži dan skraćuju vegetaciju.

- Fotosinteza:

$\lambda$  od 610-710 nm pokreće fotosintezu, od 400-510 nm sudjeluje u procesu fotosinteze  
 EM zračenje između ta dva spektra: 510-610 nm = zelena boja ← biljke ju reflektiraju i zato su zelene

IR spektar

$\lambda$  od 710 - 1000 nm

- > pokreće razvoj generativnih organa bilje
- > djeluje na boju biljke
- > izaziva fotonastaju – okretanje biljke prema Suncu (Suncokret)



$\lambda > 1000$  nm IR zrake  
 toplina

- > sunčanica
- > očni problemi
- > crvenilo kože