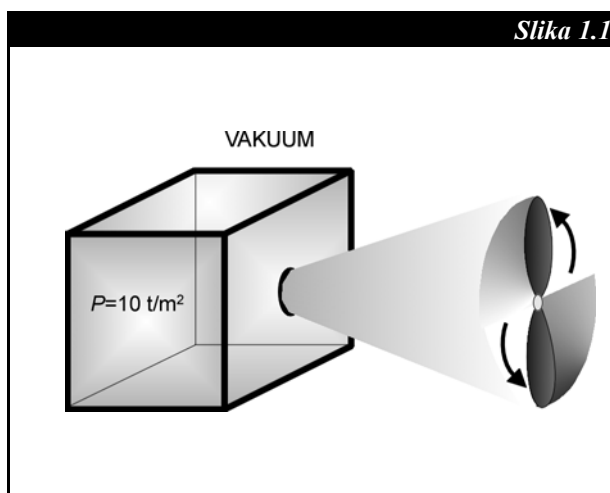


GLAVA 1

1.1. ENERGIJA SUNCA

TOPLOTNA ENERGIJA

Ako bismo atmosferski vazduh pod normalnim pritiskom od 1 013.25 hPa, ili približno od 10 t/m^2 (tona po kvadratnommetru), smestili u sud čvrstih zidova i preneli ga u bezvazdušni prostor, onda na suprotnoj strani zidova više ne bi delovala sila pritiska okolnog vazduha. Tada, na zidove suda bi delovao samo zatvoreni vazduh nepromenjenom silom. Pravljenjem otvora u zidu suda i stavljanjem elise ispred otvora, kao što to prikazuje Slika 1.1, zatvoreni vazduh bi počeo da struji, zbog čega bi se elisa pokrenula.



Unutrašnja ili toplotna energija vazduha.

Kao što je pokazamo, iako je vazduh u stanju mirovanja on sadrži neku energiju. To je **unutrašnja energija** vazduha koja sva potiče od njegove toplote. Ona je tim veća što je vazduh zagrejaniji (topliji).

TRANSFERI ENERGIJE

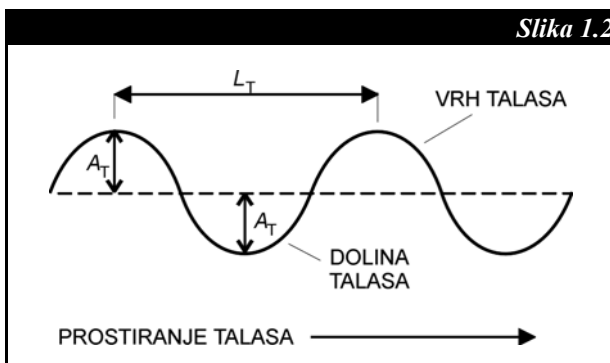
Prethodna predstava o toploti kao dominantnom obliku energije u atmosferi jeste u saglasnosti sa njenim stvarnim osobinama. Međutim, taj oblik energije nije ni početni ni finalni. Toplota predstavlja samo jednu u nizu transformacija koje energija Sunca doživljava dospevši na planetu Zemlju, produkujući na kraju vetar, oblake i padavine. Da bi se navedeni fenomeni vazduhoplovnog vremena dogodili, toplotna energija dobijena od Sunca mora biti raspoređena po atmosferi. Pri tome se ona, kao i pre toga energija Sunca, transformiše jednim od sledeća tri načina za razmenu/prenos.

1. **Zračenjem (radijacijom)**, ili prenosom putem elektromagnetnih talasa sa razdvojenih tela.
2. **Provođenjem (kondukcijom)**, ili razmenom preko molekula putem neposrednog dodira tela.
3. **Konvekcijom** i/ili **advekcijom**, odnosno vertikalnim i/ili horizontalnim kretanjem tela koje sadrži toplotu kroz drugo telo koje toplotu prima i/ili obrnuto.

Terminima konvekcija i/ili advekcija se u meteorologiji pored navedenog značenja još označavaju i vertikalno, odnosno horizontalno kretanje vazduha, a ponekad se pod njima podrazumevaju i transporti vodene pare, vazdušnih masa, delića čvrste materije različitog porekla, jezgra kondenzacije, itd.

TALASNO KRETANJE

Mnoge pojave u meteorologiji se opisuju i tumače kao talasno kretanje. Povodom pominjanja elektromagnetnih talasa u prethodnom tekstu, iskoristimo ovu priliku da generalno razmotrimo neke osobine talasnog kretanja na primeru jednostavnog talasa (**elementarni talas** i/ili **talasna komponenta**) prikazanog na Slici 1.2.



Prikazano je talasno kretanje duž zategnute žice. Ono se dešava učestalim menjanjem rastojanja svake tačke zategnute žice (puna linija) od njenog ravnotežnog (neporemećenog) položaja (isprekidana linija).

Za ovo kretanje je vezano nekoliko karakterističnih pojmova. Dve uzastopne najudaljenije tačke od ravnotežnog položaja smeštene su na dno **doline talasa**, odnosno na vrh **grebena talasa**. Najudaljenije rastojanje od ravnotežnog položaja u bilo kom smeru naziva se **amplituda talasa** (A_T), dok se najkraće rastojanje između dve uzastopne amplitude istog smera naziva **talasna dužina** (L_T), a vreme potrebno za prolazak kroz jednu tačku jedne cele talasne dužine naziva se **period talasa** (P_T). Veličina koja daje broj talasnih perioda u jedinici

vremena poznata je kao **frekvencija talasa** (F_T) ili samo **frekvencija (učestalost)**. Kao što smo videli, dimenzije za talasnu dužinu i talasni period su dužina i vreme, pa se zbog toga za ove veličine koriste jedinice za merenje rastojanja, odnosno vremena. Za frekvenciju je određeno da se posmatra ponavljanje talasnih perioda u jednoj sekundi. Takva jedinica se naziva **Herc (Hertz)** ili skraćeno Hz.

Fazna brzina talasa ili brzina talasa C_T je određena jednostavnim matematičkim izrazom

$$C_T = F_T \times L_T.$$

Prikazani izraz kazuje da se brzina talasa povećava, kako povećavanjem frekvence, tako i povećavanjem talasne dužine. Normalno, važi i obrnuto, da se smanjenjem frekvence i/ili talasne dužine brzina talasa smanjuje.

ENERGIJA SUNCA

Glavni izvor energije planete Zemlje, pa u vezi s tim i atmosfere, jeste Sunce. Ono se nalazi na 149 000 000 km prosečnog rastojanja od Zemlje. Procenjeno je da samo 1/500 000 000 deo energije Sunca dospeva na Zemlju;

- najvećim delom kao **solarna radijacija (sunčevo zračenje)**, putem elektomagnetnih talasa brzinom svetlosti (300 000 km/s) i
- manjim delom kao **korpuskularna radijacija** u obliku elementarnih čestica materije (joni, elektroni, protoni, itd.), pri čemu njihovo putovanje traje 10 - 20 sati.

SOLARNA RADIJACIJA

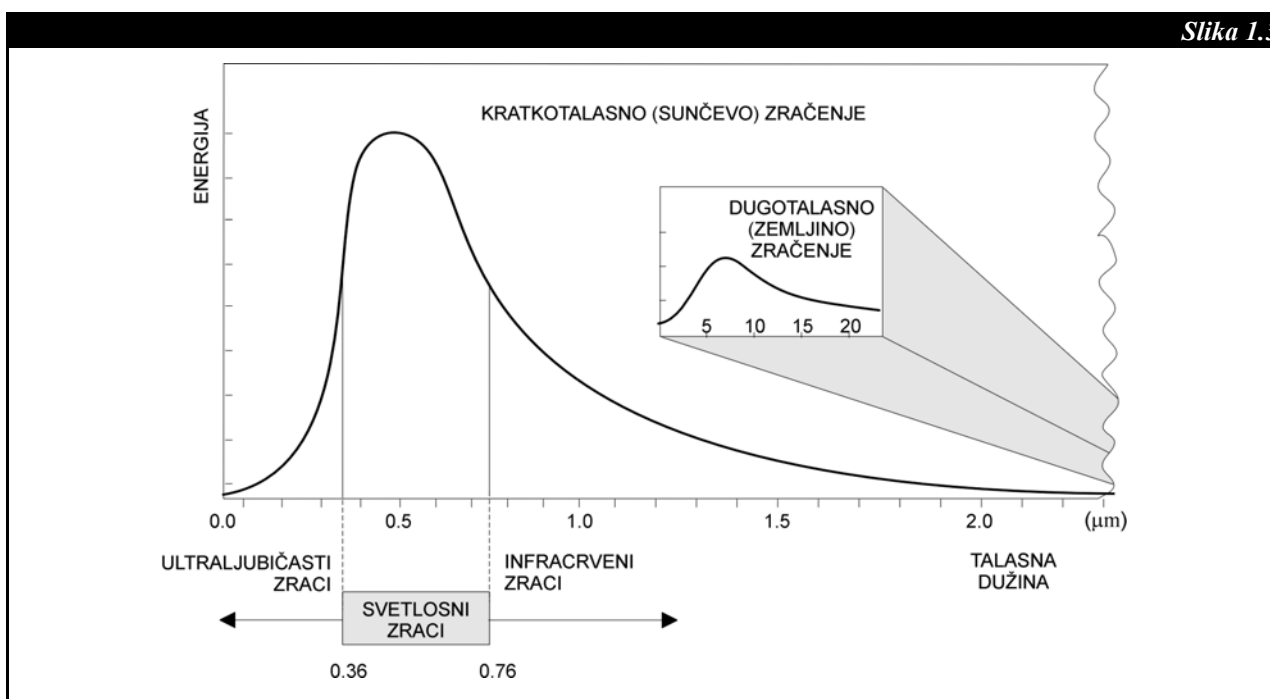
Solarna radijacija dolazi u obliku elektomagnetnih elementarnih talasa različitih talasnih dužina sakupljenih u **talasne snopove**. Razmotrimo to kroz primer talasnog kretanja površine okeana. Tamo, na talasanje površine vode imaju uticaja, pored talasa koje pravi vetar, a koji nisu svi iste talasne dužine, još i talasi koje proizvode brodovi. Tako, mi vidimo ukupno talasno kretanje (talasne snopove) kao zbir (superpoziciju) svih tih talasa istovremeno.

Znajući da je brzina svetlosti konstanta, uočavamo da se elektomagnetni talasi solarne radijacije mogu međusobno razlikovati po talasnim dužinama ili po frekvencijama. Uobičajena je njihova podela prema talasnoj dužini na snopove:

- radio talasa,
- infracrvenih/toplotnih zraka,
- vidljive svetlosti i
- ultraljubičastog zračenja.

Kao mera zastupljenosti pojedinačnog talasa u talasnom snopu uzima se **energija talasa** koja je proporcionalna kvadratu amplitude (A_T^2). Tako, oni talasi koji nose najviše energije određuju dominantne osobine talasnih snopova. Za vuzuelnu prezentaciju zastupljenosti svih talasa koji dolaze iz nekog talasnog izvora koristi se dijagram za prikaz energije talasa (vertikalna osa) po talasnoj dužini (horizontalna osa). Ovako dobijen grafikom naziva se **spektar**.

Na većem delu Slike 1.3 prikazan je spektar sunčevog zračenja. Može se uočiti da najviše energije po talasnoj dužini nosi snop zračenja označen kao **vidljiva svetlost (svetlosni zraci)**. Ovaj snop se prostire u intervalu talasnih dužina 0.36 - 0.76 μm (mikrometar), pri čemu je 1 μm = 0.001 mm (milimetar). Od kojih se



Spektar zračenja.

sve komponenti sastoji vidljiva svetlost možemo videti posmatranjem **duge**. Setimo se, duga se vidi u sledećim bojama: ljubičasta, plava, zelena, žuta, narandžasta i crvena. Pošto zelena svetlost zauzima centralno mesto u snopu vidljive svetlosti, a ovaj snop je skoro centriran oko maksimuma sunčevog zračenja, možemo zaključiti da je elektromagnetni talas koji proizvodi zelenu boju dominantan u spektru sunčevog zračenja. Svetlosni zraci čine približno 1/3 sunčevog zračenja. Na levoj strani spektra nalaze se kraći **ultraljubičasti zraci** (0.13 - 0.36 μm), vrlo slabog intenziteta, dok su na desnoj strani smešteni **infracrveni/toplotni zraci** (0.76 - 3 000 μm) koji prenose oko 2/3 sunčevog zračenja. **Radio talasi** se prostiru u nastavku infracrvenih/toplotnih zraka u oblasti talasa vrlo velikih talasnih dužina i poseduju neznatnu energiju. U ovom delu spektralna kriva se samo približava horizontalnoj osi, ali je nikada ne dodirne na konačnim rastojanjima (**asimptotsko ponašanje**).

Videlo se da su u solarnoj radijaciji zastupljeni elektromagnetni talasi svih talasnih dužina, čiji je spektar kriva "zvonastog" oblika. Sličnu osobinu i oblik spektra imaju i drugi izvori svih elektromagnetnih zračenja. Razlika se javlja samo u položaju i visini maksimuma zvonaste krive. Položaj i visina maksimuma zavise od temperature izvora. Tako, što je izvor topliji maksimum zvonaste krive je viši i bliži kraćim talasima. Istovremeni, zna se da je ukupna energija svih talasnih dužina koju emituje neki elektromagnetni izvor proporcionalna četvrtom stepenu temperature tela (T^4). Sa grafikona se ova energija dobija kao površina između spektralne krive i horizontalne ose (talasna dužina). Da bi se ova priča privela kraju, posmatrajmo i Zemlju kao elektromagnetni izvor svih talasnih dužina. Na površini Sunca je temperatura oko 6 000 K (Kelvin, vidi Odeljak B), dok je temperatura površine Zemlje oko 300 K. Ako sada stepenujemo jednu i drugu vrednost na četvrti stepen i ako posmatramo ove izvore po jedinici mase (površine) u jedinici vremena, videćemo da je Sunce neuporedivo veći izvor energije od Zemlje za naša poimanja ovih veličina. Saglasno svemu, a kao što pokazuje uokvireni deo Slike 1.3, maksimum **zemljinog zračenja** nalazi se u oblasti dugih talasa (**dugotalasno zračenje**) u odnosu na maksimum solarne radijacije (**kratotalasno zračenje**).

Kao što smo videli od Sunca na Zemlju dospevaju i elementarne čestice materije. Pošto su one neznatni nosioci energije, diskusija o njima će ovde biti izostavljena.

Izračunato je da kroz svaki kvadratni centimetar površine koja se nalazi na vrhu atmosfere i stoji normalno na sunčeve zrake, prolazi u svakom minutu približno 8.368 J (Džula - *Joule*) energije. Ova vrednost je poznata pod nazivom **solarna konstanta**.

Ostali izvori energije, kao što su zračenje Meseca, zračenje zvezda, kosmičko zračenje i toplotne struje iz unutrašnjosti Zemlje su zanemarljivo mali u odnosu na energiju Sunca. U vezi s tim, njihov je uticaj na energetske transformacije u atmosferi zanemarljiv.

GEOMETRIJA SUNCA I ZEMLJE

Intenzitet solarne radijacije u nekoj tački površine Zemlje zavisi od lokacije Sunca u odnosu na zadatu tačku. Tako, ova lokacija je određena:

1. Dobom dana. **Dan** (d) je vreme od 23 sata/časa (h), 56 minuta i 4.1 sekunde ili zaokruženo na 24 sata koje je potrebno Zemlji da se jednom obrne oko svoje ose (**rotacija Zemlje**).
2. Dobom godine. **Godina** je vreme od 365.25 dana koje je potrebno Zemlji da se jednom okrene (**revolucija Zemlje**) oko Sunca, pri čemu je osa obrtanja Zemlje nagnuta u odnosu na ravan okretanja oko Sunca za ugao u ravni od 23.5° .
3. Geografskom širinom.

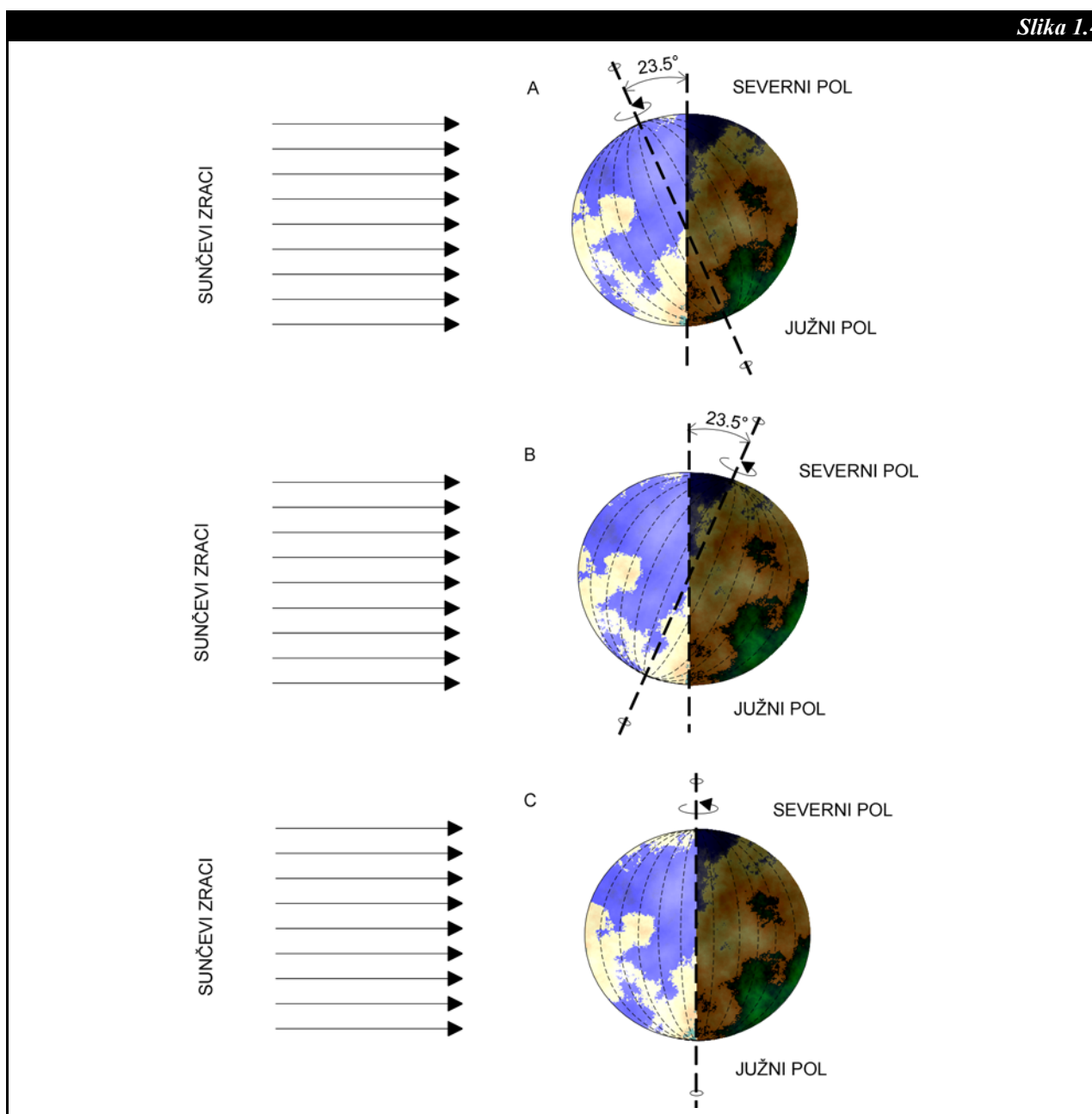
Osnovu dnevne promene u solarnoj radijaciji čini trajanje **obdanice** (deo dana tokom koga sunčevi zraci padaju na Zemlju) i **noći** (deo dana tokom koga je Zemlja zaklonjena od solarne radijacije). Tokom obdanice Zemlja prima solarnu radijaciju. To dovodi do njenog zagrevanja. Istovremeno, Zemlja emituje u Kosmos svoju dugotalasnu radijaciju, čime se hladi. Međutim, pošto je količina energije koju Zemlja solarnom radijacijom primi, veća od one koju sopstvenom radijacijom izgubi, konačan rezultat je da se Zemlja tokom obdanice zagreva. Noću se Zemlja samo hladi, jer gubi toplotu svojom dugotalasnom radijacijom. Tako, količina solarne energije koju primi Zemlja na određenom mestu raste povećavanjem trajanja obdanice.

Trajanje obdanice je u tesnoj povezanosti sa revolucijom. Ona prouzrokuje da tokom jedne polovine godine jedan pol (npr. Severni pol) bude nagnut prema Suncu (osvetljen), dok je istovremeno drugi pol udaljen od Sunca (zatamnjen), Slika 1.4, položaj A. U drugoj polovini godine revolucija stvara obrnutu situaciju, Slika 1.4, položaj B.

Dana 22. juna za vreme **dugodnevice (letnjeg solsticija)** Severna polulopta:

- ima najdužu obdanicu, jer je najviše okrenuta prema Suncu, Slika 1.4, položaj A;
- primi prosečno najviše solarne energije;
- tačke izlaska i zalaska Sunca su maksimalno pomerene prema severu; i
- na bilo kojoj geografskoj širini sunčevi zraci padaju u podne pod najvećim uglom od bilo kog drugog dana u godini.

Slika 1.4



Karakteristični položaji Zemlje prema Suncu u toku: dugodnevica (letnjeg solsticija) na Severnoj polulopti (A); kratkodnevica (zimskog solsticija) na Severnoj polulopti (B); prolećne i jesenje ravnodnevica (ekvinocija) (C).

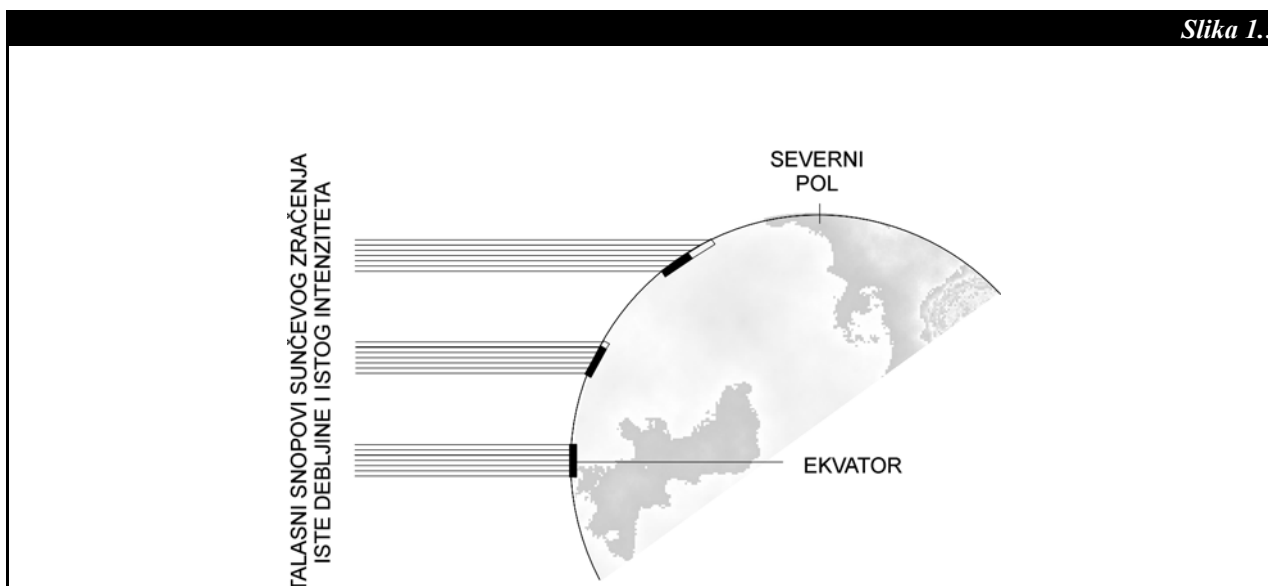
Obrnuto, 22. decembra za vreme **kratkodnevica (zimskog solsticija)** Severna polulopta:

- ima najkraću obdanicu;
- primi prosečno najmanje solarne energije;
- tačke izlaska i zalaska Sunca su maksimalno pomerene prema jugu; i
- na bilo kojoj geografskoj širini sunčevi zraci padaju u podne pod najmanjim uglom od bilo kog drugog dana u godini, Slika 1.4, položaj B.

U oba slučaja situacija je obrnuta na Južnoj polulopti.

U podne, prvog dana proleća na dan 21. marta (**prolećna ravnodnevica**) i prvog dana jeseni 23. septembra (**jesenja ravnodnevica**) sunčevi zraci padaju pod normalnim uglom na Ekvator (**ekvinocija**). Ta dva dana je:

- trajanje obdanice i noći isto (po 12 sati) na obe polulopte, a
- količina solarne energije koja pada na polulopte je takođe ista, Slika 1.4, položaj C.



Raspodela solarne radijacije po geografskim širinama.

Kao što smo videli, prethodno opisane pojave prouzrokuje razlike u dužini trajanja obdanice i noći u zavisnosti od godišnjeg doba. Na primer, na istoj geografskoj širini je tokom leta trajanje obdanice duže, nego tokom zime. Zbog toga je i količina toplote koju Zemlja primi od Sunca u toku leta veća nego u toku zime.

Geografska širina je treći važan faktor u određivanju intenziteta solarne radijacije. Kao što se može videti na Slici 1.5, porastom geografske širine smanjuje se broj elektromagnetnih talasa koji dospevaju na neku jediničnu površinu paralelnu horizontalnom tlu. U vezi s tim, povećavanjem geografske širine smanjuje se i količina energije (toplote) koju primi neka jedinična površina na Zemlji.

ENERGIJA ATMOSFERE

Iako je solarna radijacija glavni snabdevač planete Zemlje energijom, atmosfera ovim putem dobija samo jedan deo te energije direktno. Ostatak energije dobija iz drugih izvora, uglavnom onih koje poseduju čvrsti (kontinenti) ili tečni (okeani) delovi planete Zemlje. Treba znati, da pomenuti ostatak energije, takođe potiče od Sunca, ali se on prethodnom transformacijom već pretvorio u oblike pogodne za nove transformacije ka atmosferi. Upravo dobro razumevanje energetskih transformacija na Zemlji, a posebno u vezi sa atmosferom, može vrlo mnogo doprineti jasnijem razumevanju vazduhoplovnog vremena. Zato ćemo u ovom delu pažnju posvetiti izvorima koji snabdevaju energijom samo atmosferu.

ZRAČENJE

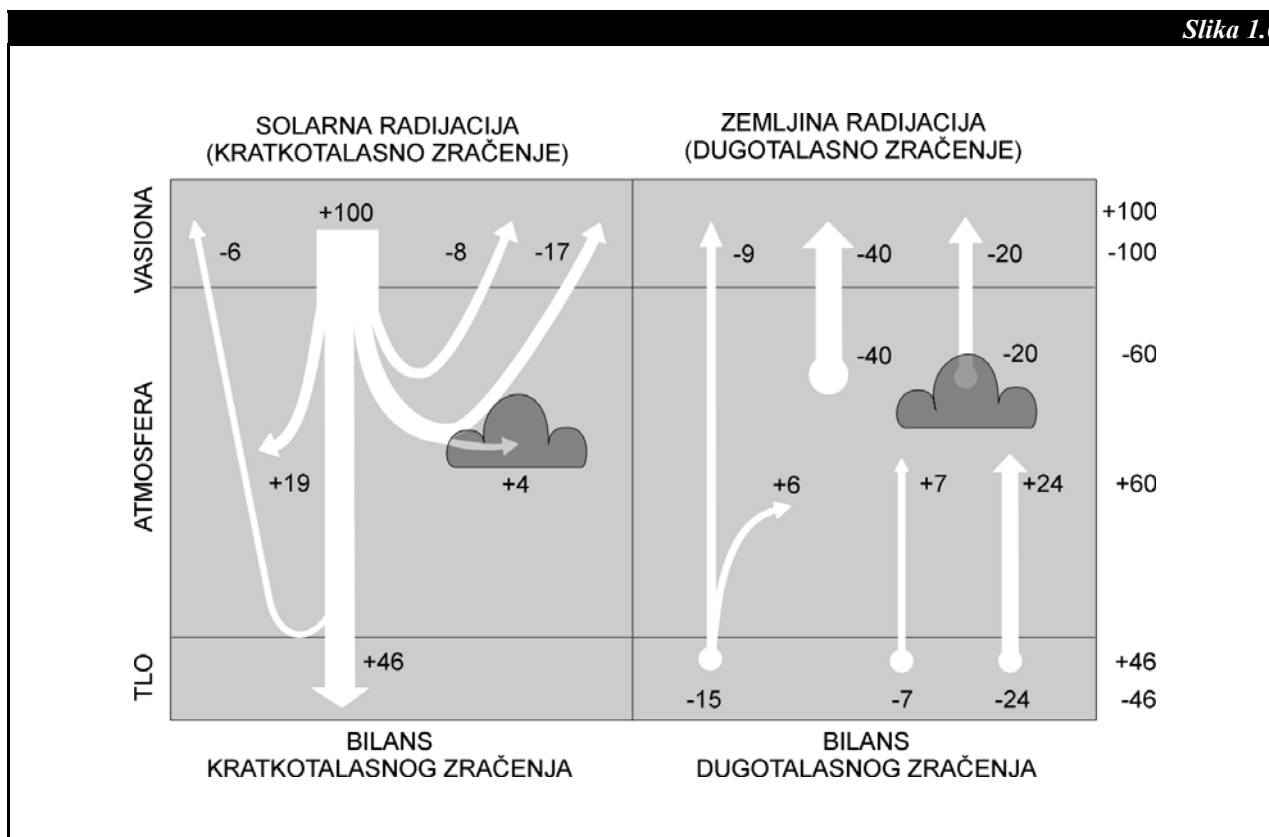
Od energije upućene od Sunca na Zemlju (solarna radijacija), 31 % biva odbijeno u Vasionu od oblaka, tla i atmosfere. To se zove **albedo Zemlje**.

Od preostalih 69 % energije Sunca (**insolacija**), 46 % dolazi na površinu Zemlje (direktno, indirektno putem difuzne refleksije (odbijanja) od atmosferskih čimilaca i oblaka), dok ostatak od 23 % apsorbuje (primi) atmosfera (19 % vazduh i 4 % oblaci). Prethodno navedena raspodela naziva se **bilans kratkotalasnog zračenja**. On je šematski prikazana na levoj strani Slike 1.6.

Pošto je celina planete Zemlje (čvrsti, tečni i gasoviti delovi) u statističkom smislu u temperaturnoj ravnoteži, mora istovremeno da emituje (dugotalasno zračenje) u Vasionu isto toliko energije koliko i prima (69 %). Raspodela ove energije naziva se **bilans dugotalasnog zračenja**. Ova raspodela je šematski prikazana na desnoj strani Slike 1.6.

Od ukupne energije koju tlo primi od Sunca (46 %), putem dugotalasnog zračenja ono izgubi 15 %, od čega atmosfera primi 6 %, a u Vasionu ode 9 %. Kada ne bi postojali drugi načini odavanja toplote, ova razlika toplote (31 %) bi dovođila do porasta temperature na površini Zemlje. Međutim, do toga ne dolazi, jer površina Zemlje odaje još 24 % energije u obliku latentne toplote koja se prenosi u atmosferu isparavanjem vode, a ostatak toplote od 7 % se prenosi putem turbulencije. Pored tla, dugotalasnim zračenjem energiju gubi i atmosfera. Ona dugotalasnom radijacijom izgubi 60 % ukupnog gubitka celine planete Zemlje, od čega na vazduh otpada 40 %, a na oblake 20 %.

Važno je znati da se energija zračenja pretvara u unutrašnju energiju vazduha i tla samo putem apsorpcije. Procesom refleksije unutrašnja energija vazduha i tla se ne menja.



Bilans zračenja.

PROVOĐENJE

U našem iskustvu ima dosta primera provođenja toplote. Posmatrajmo jedan vrlo jednostavan slučaj zagrevanja vode u metalnom sudu za kafu ili čaj na zagrejanom šporetu. Stavljanjem suda sa vodom sobnih temperatura na zagrejanu ringlu šporeta, posle izvesnog vremena voda će proključati. Njena temperatura se povećala provođenjem toplote od toplijeg šporeta preko hladnijeg suda ka vodi.

Ovako izrazitih primera provođenja toplote u atmosferi teško da ćemo naći, jer je vazduh jako slab provodnik toplote. Međutim, ni jedno telo nije potpuno nesposobno da provodi toplotu, jedino što to može da radi sporije (**izolator toplote**), kao što to čini vazduh, ili brže, kao što to na primer čine metali (**provodnici toplote**). U atmosferi se najznačajnije provođenje energije dešava na njenom dnu, odnosno na površini Zemlje. Tokom noći, kada se podloga ohladi usled dugotalasne radijacije, ona provođenjem uzima toplotu od toplijeg vazduha. Tokom obdanice, solarna radijacija zagreje podlogu. Kada ona postane toplija od vazduha, počinje da ga zagreva provođenjem. Ovi procesi su veoma važni u stvaranju različitih vremenskih fenomena, kao što su vetar, magla, niska oblačnost i konvekcija.

ADVEKCIJA I KONVEKCIJA

Ako bi se sve energetske transformacije na Zemlji dešavali samo putem kratkotalasne (solarne) i dugotalasne (zemljine) radijacije, Zemlja i njena atmosfera bi postali ekstremno hladni u oblasti polova, a ekstremno topli u oblastima blizu Ekvatora. Na sreću, advekcija i konvekcija (uključujući transporte vodene pare i latentne toplote, itd.) zajedno sa toplotom okeana kompenzuju nejednaku raspodelu radijacione energije. Advekcija omogućava razmenu toplih i hladnih vazdušnih masa duž severa i juga, obostrano. Konvekcija, kao proces usponog i nisponog strujanja vazduha, obezbeđuje razmenu vazdušnih masa kako malih, tako i velikih razmera po vertikalni. Detalji ovih procesa biće predmet kasnijih diskusija.

1.2. KORIŠĆENJE ENERGIJE SUNCA

- 1.2.1. Kolektori (toplotni) bez koncentracije energije Sunca
- 1.2.2. Kolektori (toplotni) sa koncentracijom energije Sunca
- 1.2.3. Kolektori za direktno pretvaranje sunčeve u električnu energije

(Literatura: po izboru studenata)

1.3. ENERGIJA SUNCA U SRBIJI

- 1.3.1. Raspodela energije Sunca u Srbiji

Literatura:

Gburčik P., V. Gburčik, M. B. Gavrilov, V. Srdanović and S. Mastilović,
Complementary Regimes of Solar and Wind
Energy in Serbia
Geographica Pannonica, **10**, 22-25, (2006).

- 1.3.2. Korišćenje energije Sunca u Srbiji

(Literatura: po izboru studenata)