



# KLIMATOLOGIJA

**OBJEKT KLIMATOLOGIJE,  
ATMOSFERA**

# VRIJEME I KLIMA

**OBJEKT KLIMATOLOGIJE:** Vrijeme i klima, klimatski elementi i faktori (modifikatori)

**Vrijeme:** trenutno stanje atmosfere na određenom mjestu

**Klima:** prosječno stanje atmosfere nad određenim mjestom u određenom razdoblju (uzimajući u obzir prosječna i ekstremna odstupanja), 30-godišnji nizovi

**Klima** = skup svih klimatskih elemenata

Prostorne razlike - polarni krajevi i ekvatorijalni pojas: mala razlika između vremena i klime, najveća razlika: umjereni pojas

**Klimatologija i geografija:** klima – jedan od elemenata prirodne osnove koja čini geografski prostor

**Područja interesa:** koliko na klimu utječu klimatski modifikatori (raspored kopna i mora, ledeni pokrovi, udaljenost od obale, visina kopna, smjer toka morskih struja, biljni pokrov, jezera, rijeke, ekspozicija padina, čovjekova djelatnost)

**Osnovna pitanja:** zašto postoje razlike u klimi između raznih dijelova geografskog prostora; kolike su te razlike; kakve i kolike su posljedice utjecaja klime na geografske značajke pojedinih dijelova svijeta

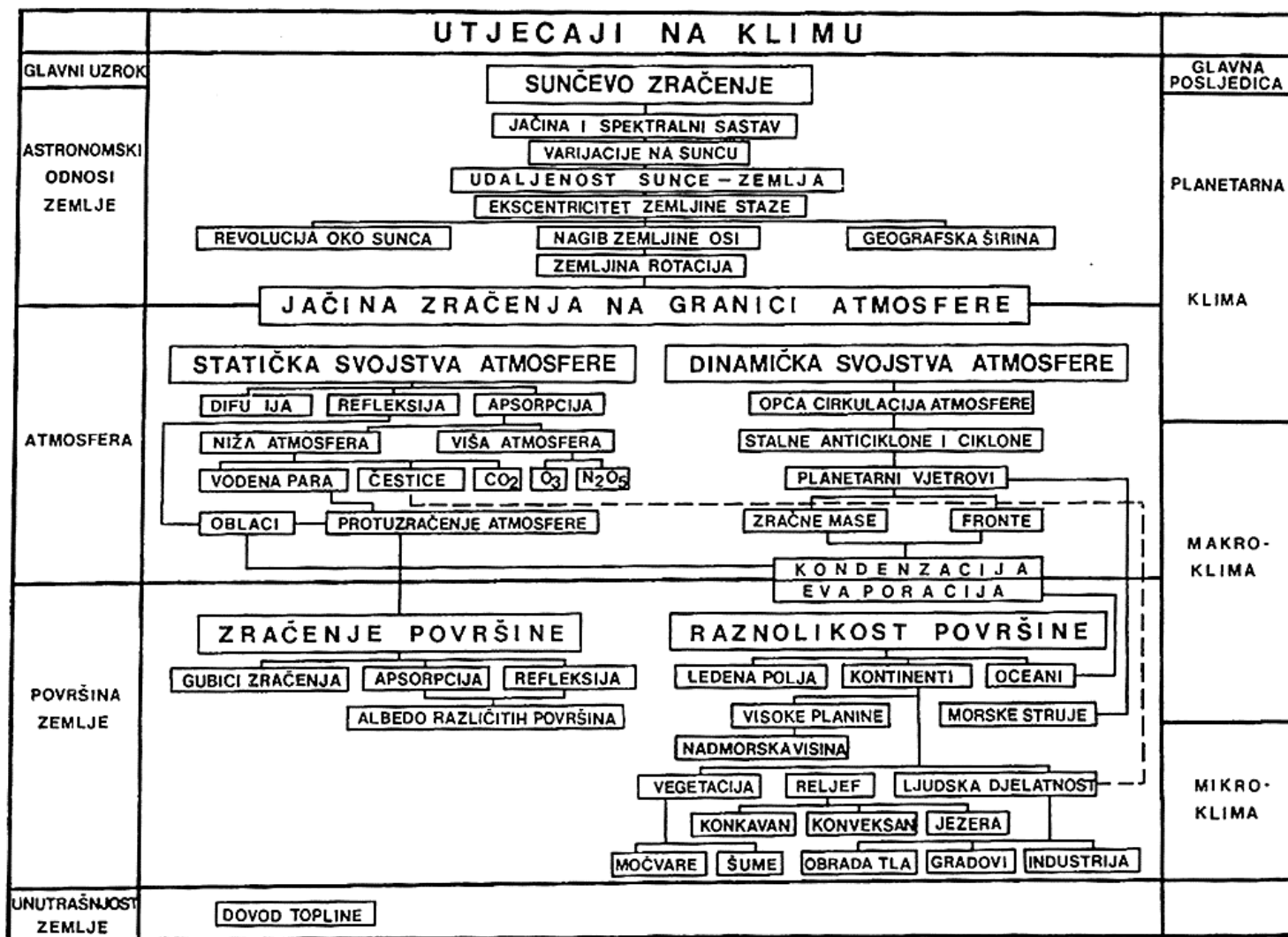
- **problem:** granica između pojedinih klima, **uzrok:** miješanje horizontalne i vertikalne dimenzije prostora, neodređenost klimatskih elemenata
- makroklima, mezoklima, mikroklima ili: planetarna klima, geoklima, topoklima, lokalna klima itd.
- **prizemni poremećeni sloj** (1,5 – 2 m) do 100 m → mikroklima – direktna motrenja u određenom vremenu zbog praktičnih potreba
- **bitni problem klimatologije:** utvrđivanje granica klimatskih regija (slično geografskim regijama)
- regionalna klima: 1: 1 000 000; subregionalna klima: 1: 100 000; lokalna klima: 1: 5000 do 1: 10 000

## **KLIMATSKI ELEMENTI I FAKTORI:**

**a) klimatski elementi:** radijacija (kratkovalna i dugovalna), temperatura (zraka i površine Zemlje), tlak zraka, smjer i brzina vjetera, vlaga zraka i evaporacija, naoblaka i trajanje sijanja Sunca, padaline, snježni pokrivač

**b) klimatski faktori:** zemljina rotacija i revolucija, geografska širina, atmosfera, nadmorska visina, raspodjela kopna i mora, morske struje, udaljenost od mora, jezera, reljef, vrste tala i biljni pokrov, rad čovjeka

- klimatski elementi mijenjaju se pod utjecajem klimatskih faktora → **klimatski faktori = modifikatori klime**



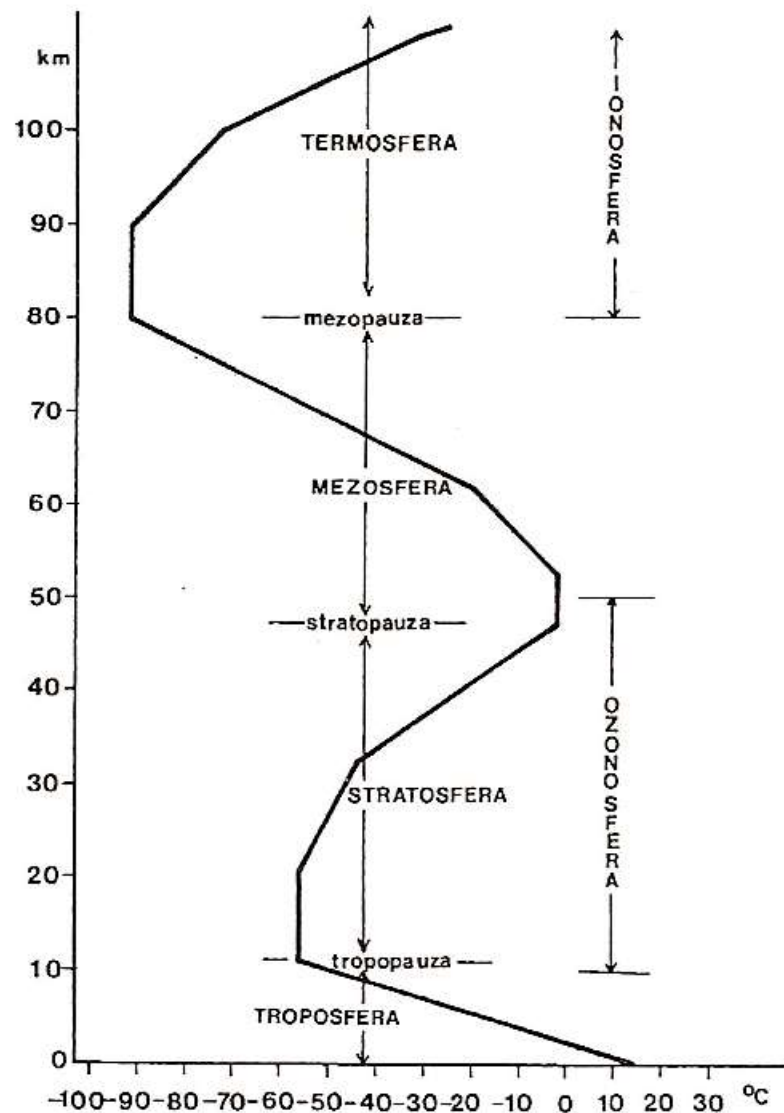
Sl. 1. Shema utjecaja na klimu (H. E. Landsberg, 1945.)

**ATMOSFERA** = plinovit zemljin omotač

- prema kriteriju vertikalne promjene temperature → troposfera, stratosfera, mezosfera, termosfera

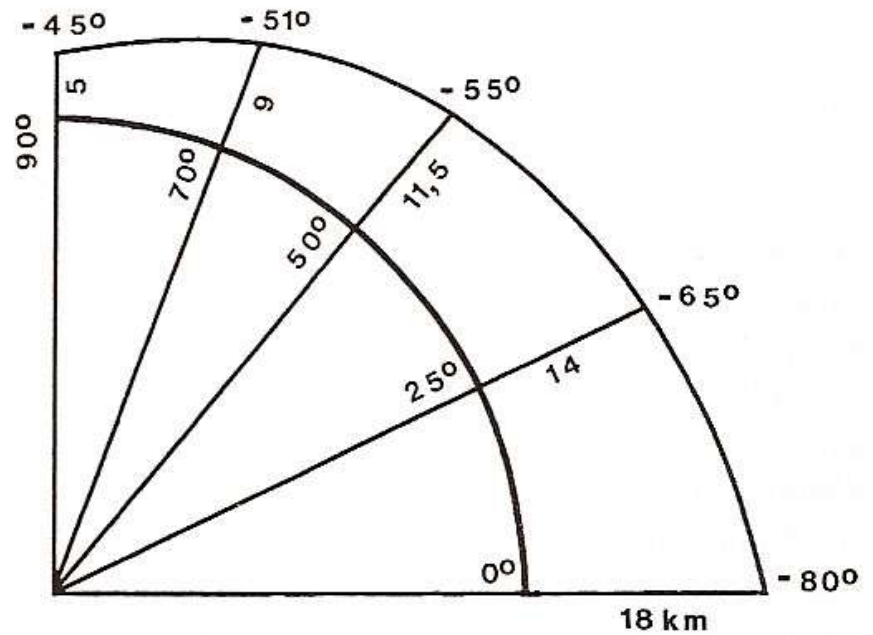
- **troposfera**: sloj između površine Zemlje i tropopauze (različita debljina), 7 - 10 km na polovima; 18 - 20 km iznad ekvatora; 11 - 14 km iznad umjerenih geogr. širina

- promjene u visinama tijekom dana, ovisno o ciklonama i anticiklonama



**Sl. 21.** Vertikalna struktura atmosfere; debela crta prikazuje temperaturu na raznim visinama. Srednja temperatura na Zemlji kao cjelini (W. L. Donn, 1975.)

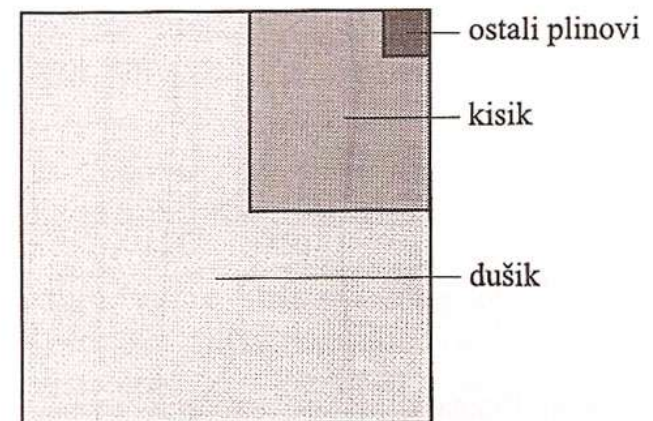
- konstantan pad temperature s porastom visine
- na razini tropopauze:  $-45^{\circ}\text{C}$  (polovi) do  $-80^{\circ}\text{C}$  (ekvator)



**Sl. 22.** Srednja visina i temperatura tropopauze; debljina troposfere prikazana je 200 puta više nego što bi odgovaralo polumjeru Zemlje (C. Péguy, 1961.)

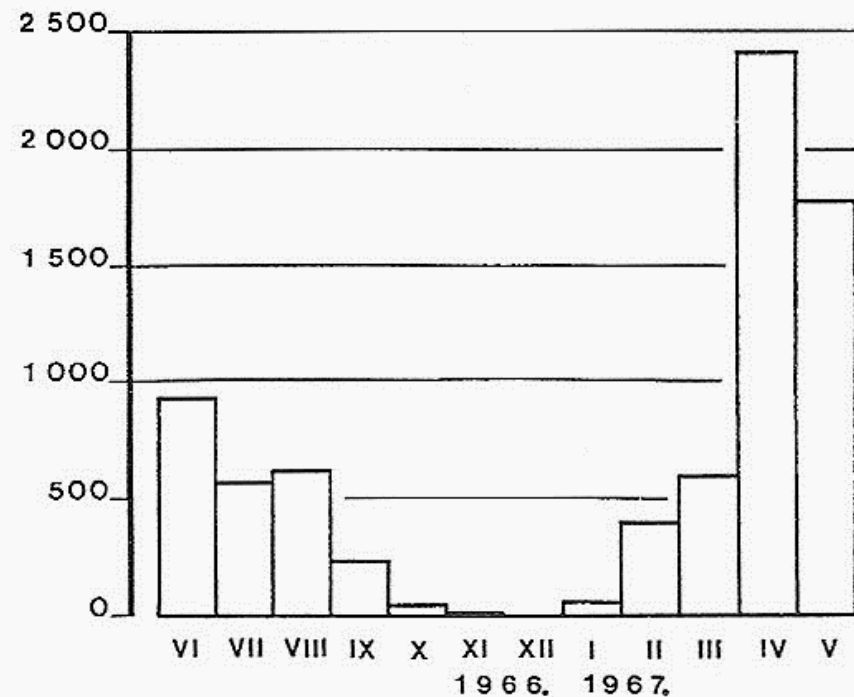
- najpovoljniji uvjeti za život: na dodiru litosfere, hidrosfere i atmosfere
- posljedice procesa u atmosferi i njihov odnos s litosferom i hidrosferom → utjecaj na prostornu raspodjelu života i ekološke uvjete na Zemlji
- kemijski sastav atmosfere = mješavina plinova + primjese
- primjese: vodena para i razne krute i tekuće čestice (često proizvodi kondenzacije i sublimacije)
- dušik – nema aktivnu ulogu u atmosferskim procesima
- kisik – slabi Sunčevu radijaciju
- CO<sub>2</sub> – važan jer apsorbira dio dugovalne radijacije → utjecaj na bilancu radijacije
- ozon - upija dio radijacije (ultraljubičasti dio spektra)

KEMIJSKI SASTAV ATMOSFERE		
Element	Volumni postoci	10 <sup>-6</sup>
dušik	78,084 ± 0,004	
kisik	20,946 ± 0,002	
argon	0,934 ± 0,001	
ugljičkov dioksid	0,033 ± 0,001	
neon		18,180 ± 0,040
helij		5,240 ± 0,004
kripton		1,140 ± 0,010
ksenon		0,087 ± 0,001
vodik		0,5
metan		1,5
dušikov suboksid N <sub>2</sub> O		0,5



Slika 3. Shematski prikaz obujmenjenih udjela sastavnih dijelova suhoga zraka

- vodena para – utjecaj na bilancu radijacije
- krute čestice: prašina, pepeo (alumosilikati), čađa (čisti ugljik), dim (proizvod organskih materija), aerosol (krute primjese koloidalno raspršene u atmosferi)
- do 100 km visine: konstantan omjer između permanentnih sastavnih dijelova atmosfere (osim CO<sub>2</sub> i ozona), zbog konvekcijskog i turbulentnog miješanja atmosfere
- primjese u atmosferi: spore i pelud
- vrlo izrazita godišnja varijacija broja zrnaca peludi u zraku
- faktori: vegetacijski period, blizina šume i ostalih biljnih formacija
- maksimum u proljeće

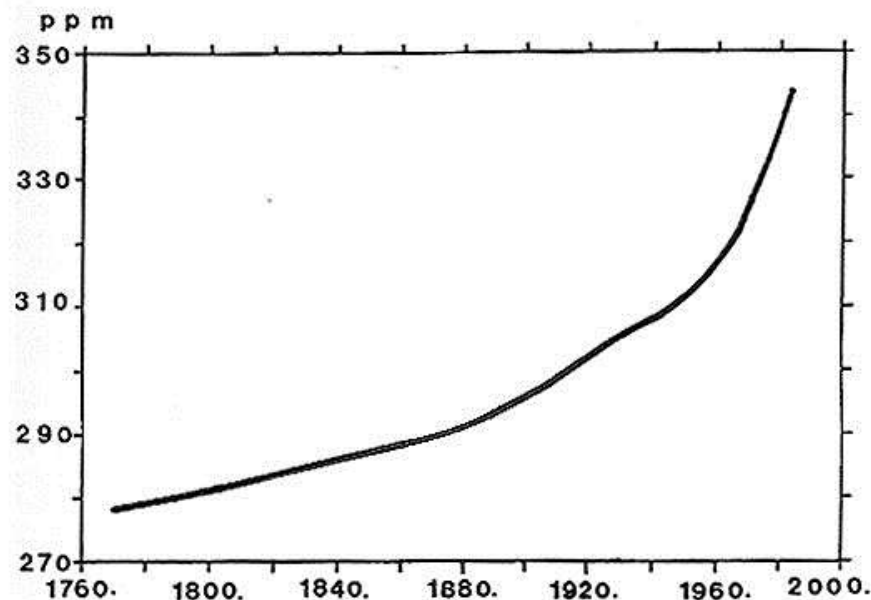


SI. 2. Ukupan broj zrnaca peludi koja su sedimentirana na izloženim stakalcima u Zagrebu od 1. VI. 1966. do 31. V. 1967. (I. Volarić-Mršić, 1970.)



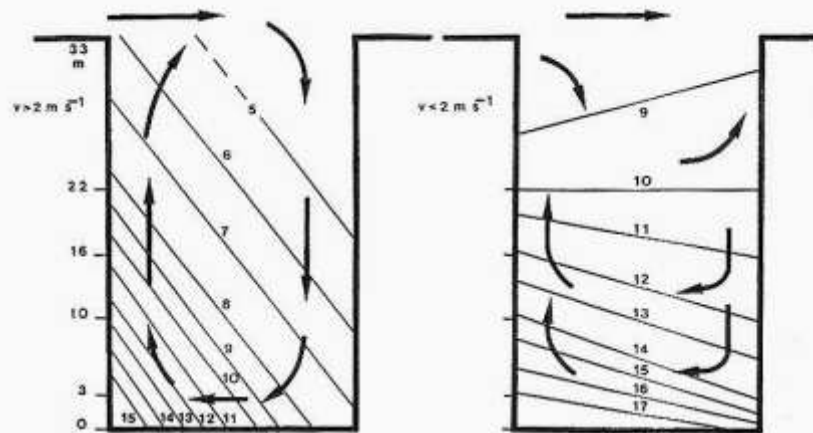
# UTJECAJ ČOVJEKA NA SASTAV ATMOSFERE

- industrija, promet i dr. → potrošnja energije
- izgaranje fosilnih goriva (ugljen, plin, nafta i derivati) → ubrzana potrošnja  $O_2$ , proizvodnja polutanata → onečišćenje atmosfere
- emisija polutanata: povremena ili kontinuirana, nejednolik raspored
- $CO_2$  - izgaranje fosilnih goriva – velike količine u atmosferi
- konstantno povećanje → poremećaj ravnoteže između proizvodnje i potrošnje  $CO_2$  u prirodi
- izgaranje fosilnih goriva bez dovoljno kisika - oksidacija → CO (glavni izvor: motori s unutrašnjim izgaranjem, gradovi)

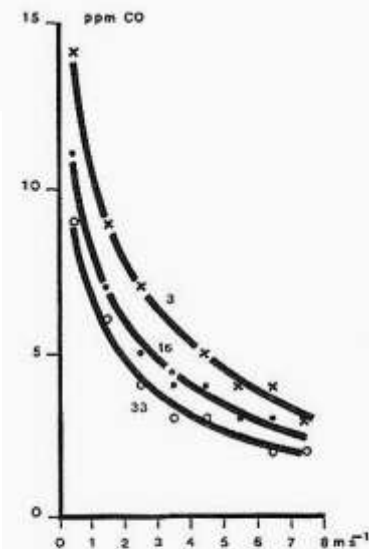


Sl. 3. Povećanje količine ugljikovog dioksida u atmosferi (dijelovi na milijun) u posljednja dva stoljeća (BUWAL Bulletin 3/89; izvor: B. Paradiž, 1989.)

- gradske ulice - visoka koncentracija CO
- ovisnost o brzini i smjeru vjetra
- manja brzina: slabija ventilacija ulica, povećanje koncentracije odozgo prema dolje, nema bitne razlike između privjetrine i zavjetrine
- nešto veća brzina: jače vrtložno strujanje, nešto bolja ventilacija, diferencijacija koncentracije CO u privjetrini i zavjetrini
- veće brzine vjetra - bolja ventilacija ulica

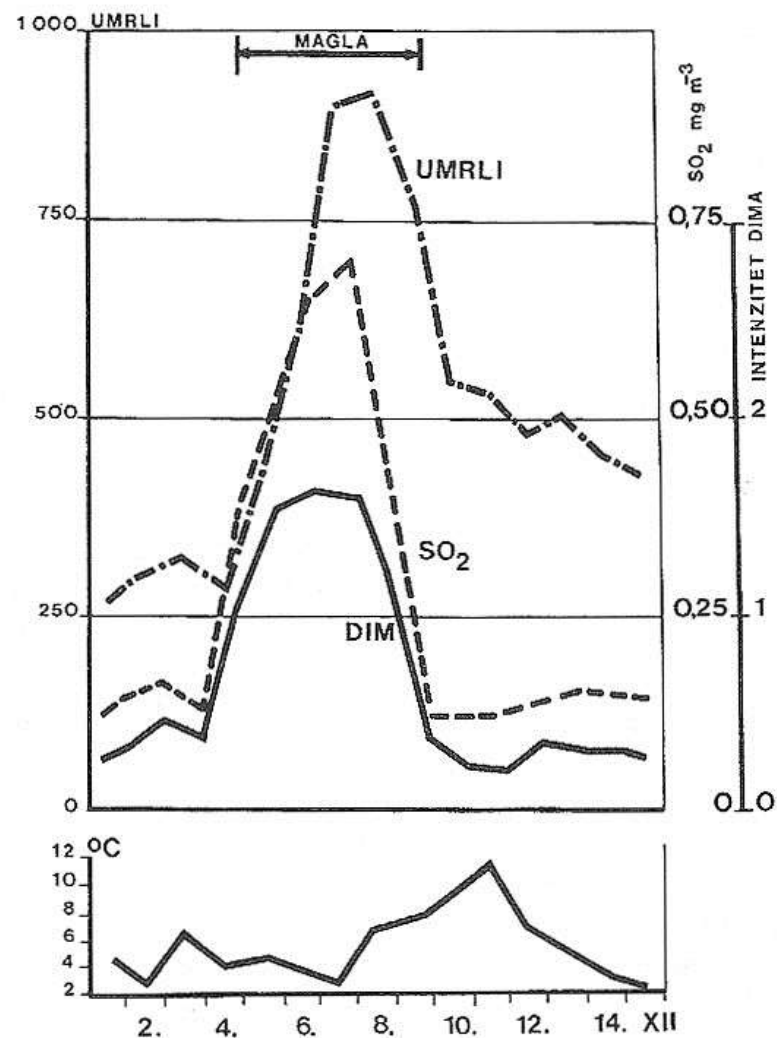


Sl. 4. Shema strujanja zraka i koncentracija plina ugljikova monoksida (ppm) u ovisnosti o brzini vjetra iznad krova; Frankfurt na Maini, Njemačka (H. W. Georgii, 1970.)



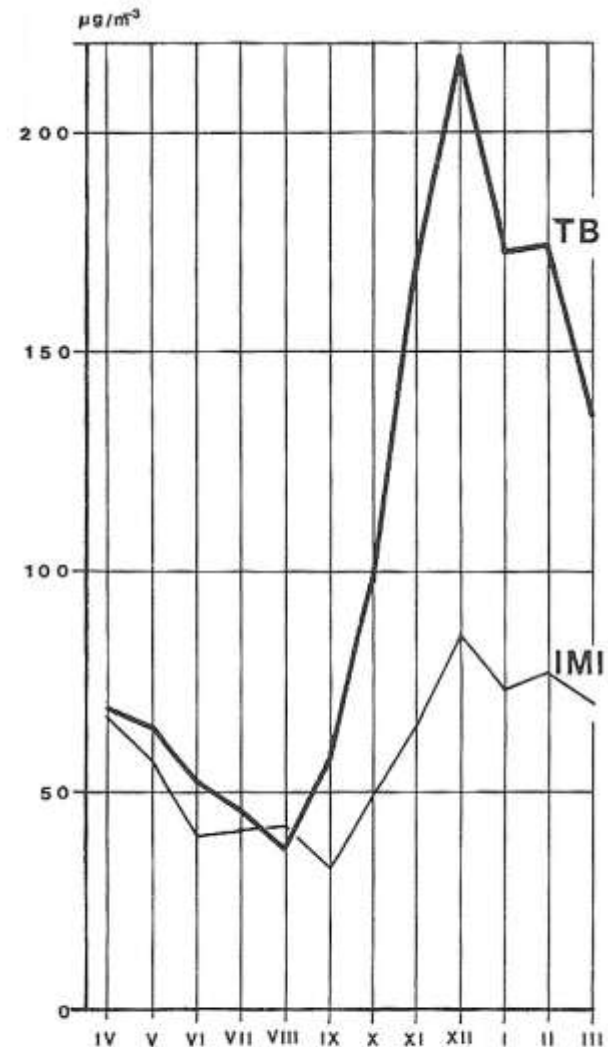
Sl. 5. Koncentracija ugljikova monoksida na 3, 16 i 33 m u ovisnosti o brzini vjetra na privjetrinskoj strani ulice (H. W. Georgii, 1970.)

- strukturne promjene u proizvodnji energije - opadanje relat. udjela ugljena, porast udjela nafte, derivata i prirodnog plina
- porast udjela  $\text{SO}_2$  - reakcija s vodom  $\rightarrow$   $\text{H}_2\text{SO}_4$  (sumporna kiselina)  $\rightarrow$  korozija površina u gradovima i u prirodi (reakcija s kalcijevim i magnezijevim karbonatom  $\rightarrow$  trošenje); štetno djelovanje na dišne organe; štete na poljoprivrednim kulturama
- optimalni uvjeti za najjače onečićenje: anticiklonske sinoptičke situacije  $\rightarrow$  pad temperature, smanjivanje brzine vjetera  $\rightarrow$  stvaranje magle i nedostatak prozračivanja  $\rightarrow$  porast koncentracije dima i  $\text{SO}_2$



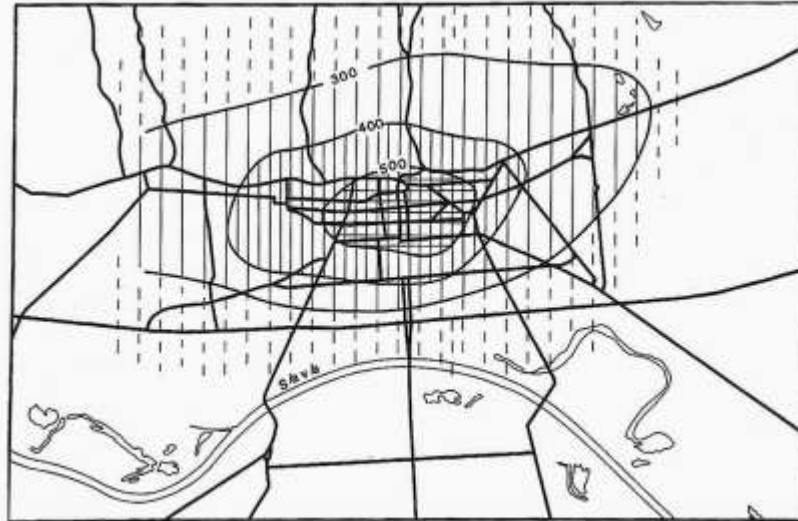
Sl. 6. Broj umrlih u Londonu u vrijeme smoga 2.–14. XII. 1952. u ovisnosti o hodu temperature, koncentraciji  $\text{SO}_2$  i intenzitetu dima (H. L. Green i W. R. Lane; izvor L. Schulz, 1963.)

- godišnja varijacija SO<sub>2</sub>: izrazit godišnji hod s maksimalnom srednjom dnevnom koncentracijom zimi, minimum u ljetnim mjesecima
- utjecaj grada na koncentraciju SO<sub>2</sub>: reljefna raznolikost, odnos prema dominantnom vjetru, lokalna strujanja zraka, trajanje i gustoća magle, blizina ulica s gustim automobilskim prometom, blizina industrijskih postrojenja, odnos centar - periferija

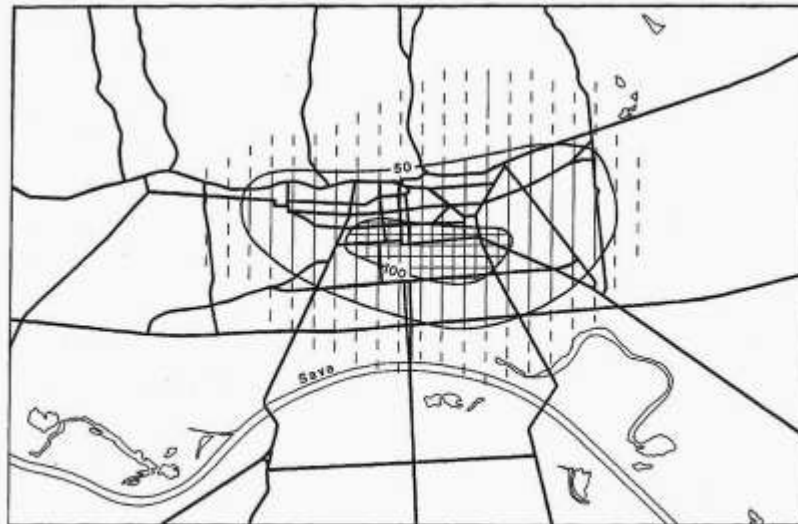


Sl. 7. Srednje dnevne koncentracije SO<sub>2</sub> po mjesecima u Zagrebu; IMI, Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Ksaverska cesta 158; TB, Traumatološka bolnica, Draškovićeve ul. 19. Srednjaci iz razdoblja 1985. – 1989. (Prema podacima IMI-ja nacrtali autori udžbenika.)

## Prostorna raspodjela koncentracije SO<sub>2</sub>:

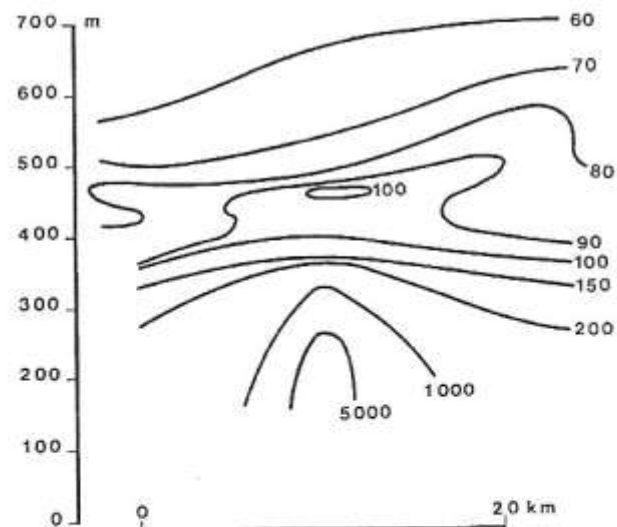
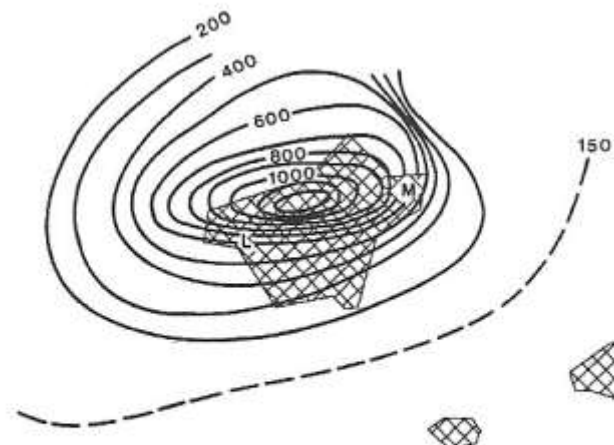


Sl. 8. Srednje koncentracije SO<sub>2</sub> (µg m<sup>-3</sup>) u Zagrebu u siječnju; prosjek za razdoblje 1966. do 1971. god. (G. Hirabak-Tumpa, 1974.)



Sl. 9. Srednje dnevne koncentracije SO<sub>2</sub> (µg m<sup>-3</sup>) u Zagrebu u srpnju; prosjek za razdoblje 1966. do 1971. god. (G. Hirabak-Tumpa, 1974.)

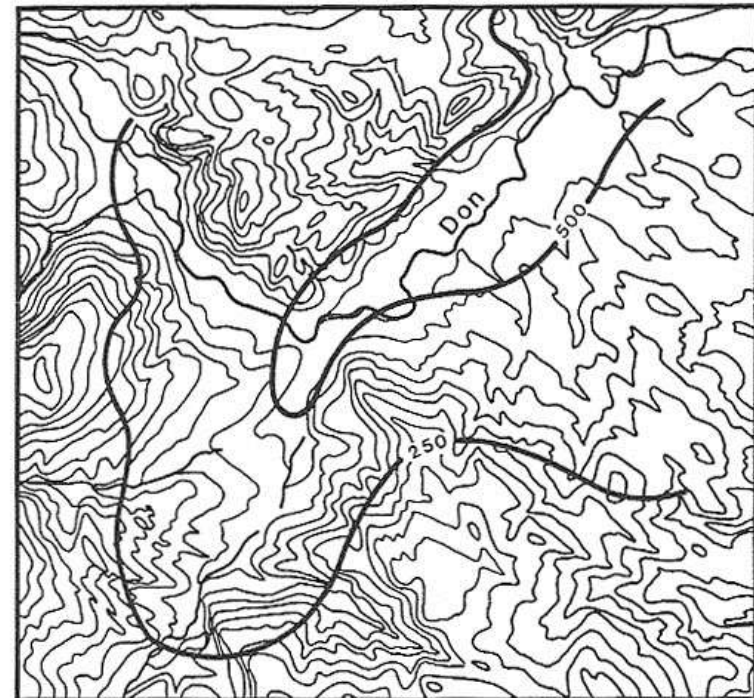
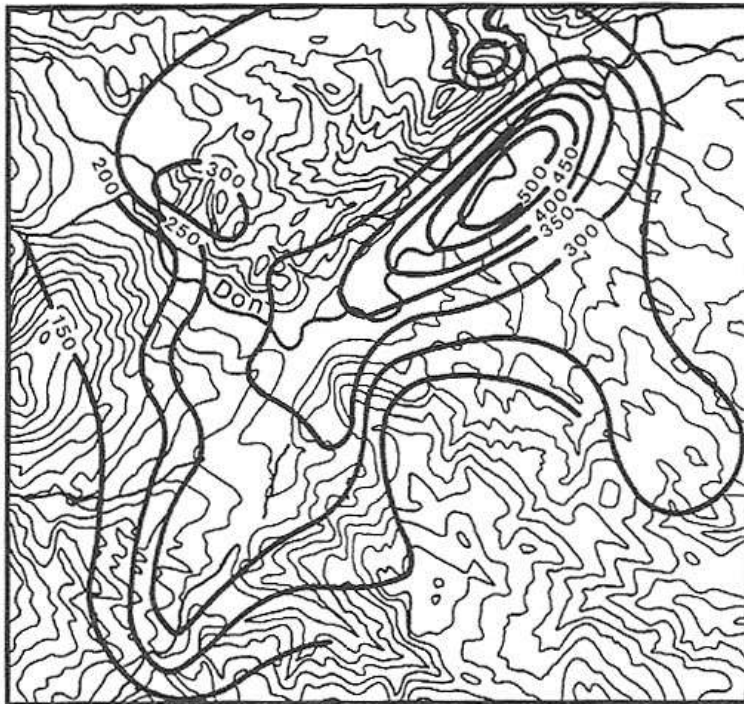
- opadanje koncentracije  $\text{SO}_2$  iznad grada od centra prema periferiji
- opadanje s porastom nadmorske visine



**Sl. 10.** Gore, horizontalna raspodjela  $\text{SO}_2$  ( $\text{mg m}^{-3}$ ) 300 m iznad Mannheima i Ludwigshafena u Njemačkoj; dolje, vertikalna raspodjela  $\text{SO}_2$  3. IV. 1965. god. (H. W. Georgii, 1970.)

## Kombinirani utjecaj grada i reljefa na raspodjelu SO<sub>2</sub>:

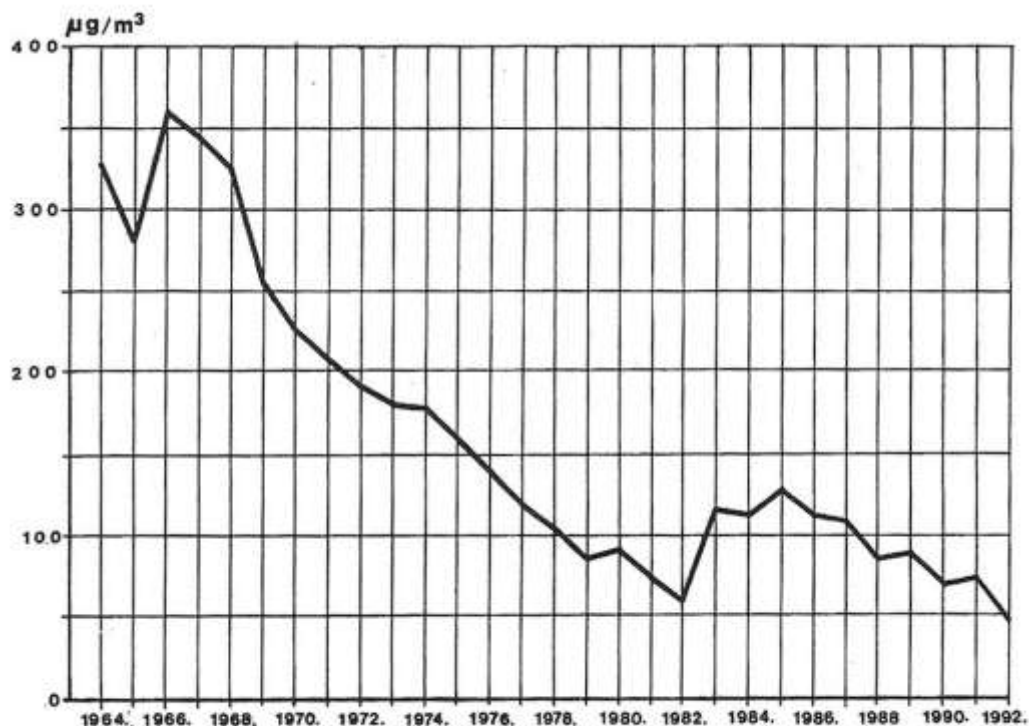
**Primjer:** konkavni reljef + anticiklonska raspodjela tlaka - optimalni uvjeti za postanak inverzije temperature jer nema dovoljne cirkulacije zraka → slabo prozračivanje polutanata → velika koncentracija SO<sub>2</sub>, osobito u dolini  
- viši reljefni oblici - pad koncentracije SO<sub>2</sub>



Sl. 11. Koncentracija SO<sub>2</sub> u Sheffieldu, Britanija, 14. (lijevo) i 15. (desno) XII. 1964. (A. Garnett, 1967.)

## Višegodišnji trend koncentracije SO<sub>2</sub>:

- većina gradova: smanjenje koncentracije od 60-tih godina
- razina iz 90.-tih je zadovoljavajuća - posljedica plinifikacije, grijanja toplom vodom iz toplana
- posljedica: povećanje trajanja sijanja Sunca i globalne radijacije
- pozitivan trend i u drugim gradovima



Sl. 16. Srednje godišnje koncentracije sumporova dioksida u Zagrebu, Traumatološka bolnica u Draškovićevoj ulici 19. (M. Fugaš, 1981.; prema podacima dobivenima od IMI-ja, niz su produžili autori udžbenika.)



Brzina vjetra - regulator koncentracije krutih čestica

- povećanje visine → opadanje količine prašine

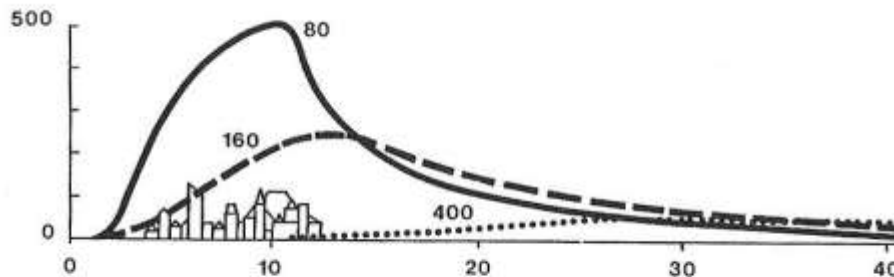
- koncentracija dima u velikim gradskim aglomeracijama - industrija, kućna ložišta, promet

**Horizontalna raspodjela:** centar - periferija

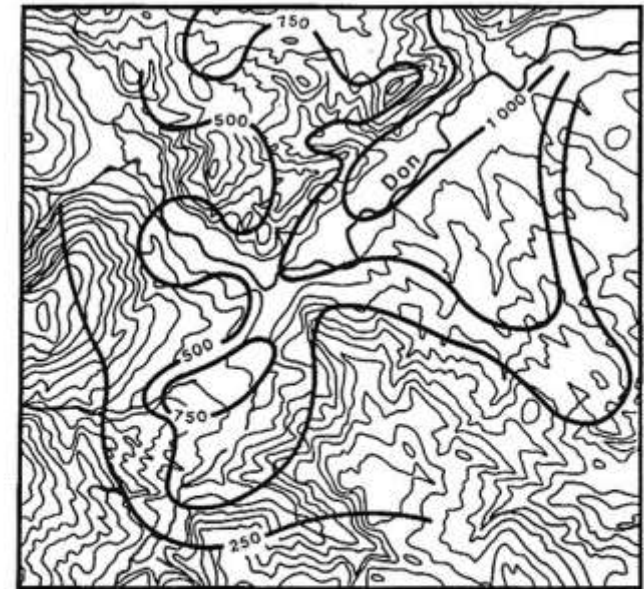
- smanjivanje prema periferiji

Utjecaj reljefa: slično kao kod  $\text{SO}_2$  -

anticiklonska situacija - zimske noći, gubitak topline dugovalnom radijacijom → inverzija temperature



Sl. 12. Koncentracija prašine (broj čestica u  $\text{cm}^3$ ) nad gradom na raznim visinama (80, 160 i 400 m) po vjetrovitu vremenu (A. H. Hrgjan, 1969.)



Sl. 15. Koncentracija dima ( $\text{mg m}^{-3}$ ) u Sheffieldu, Engleska, 14. (gore) i 15. (dolje) XII. 1964. god. (A. Garnett, 1967.)

## Godišnji hod koncentracije dima:

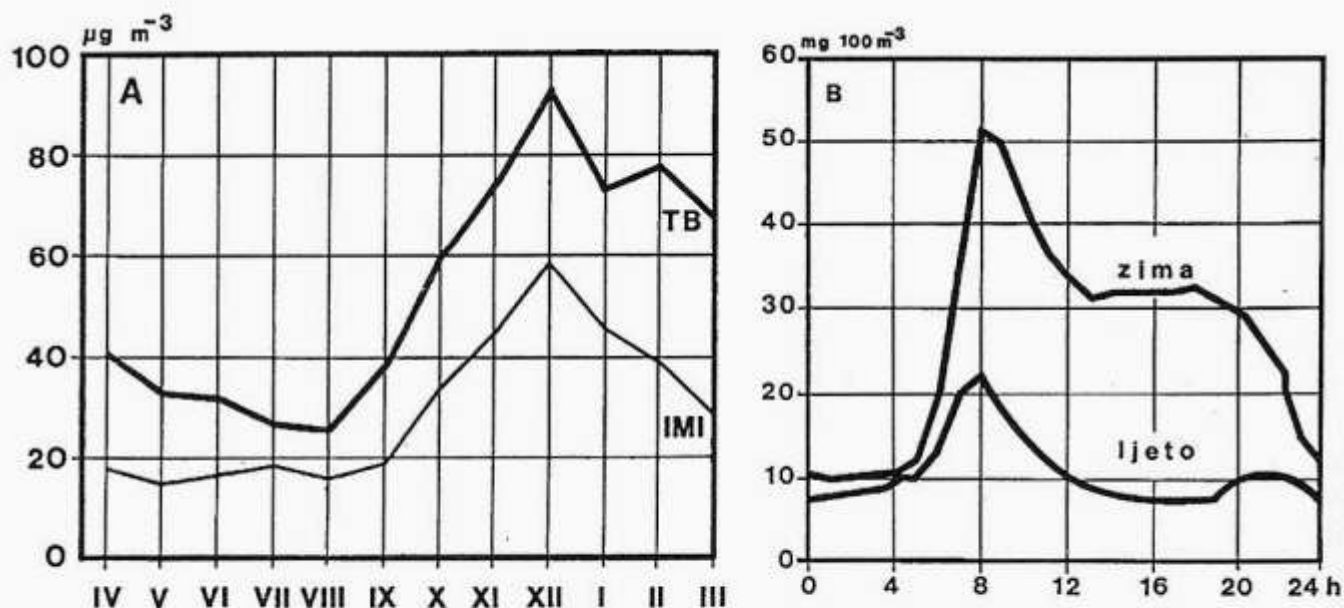
- izrazita pravilnost: koncentracija zimi veća nego ljeti i u središtu i u predgrađu

Zima: slabija vertikalna strujanja zraka, povećana emisija

Ljeto: jača difuzija dima, smanjenje emisije

Središte grada - najveća koncentracija → opadanje prema periferiji

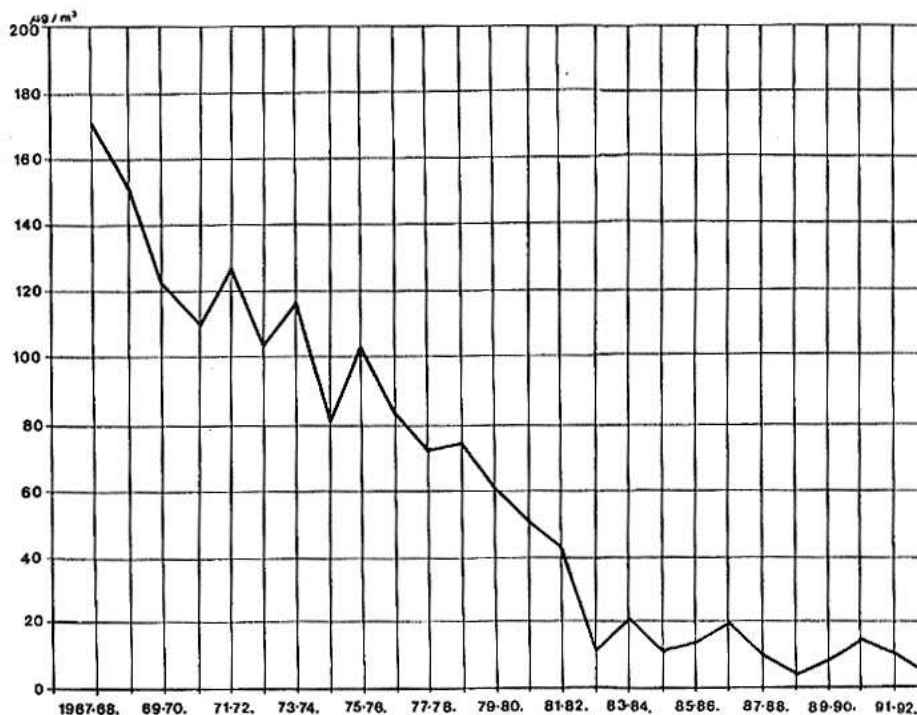
- razlika je veća zimi - glavni izvori dima su u samom gradu



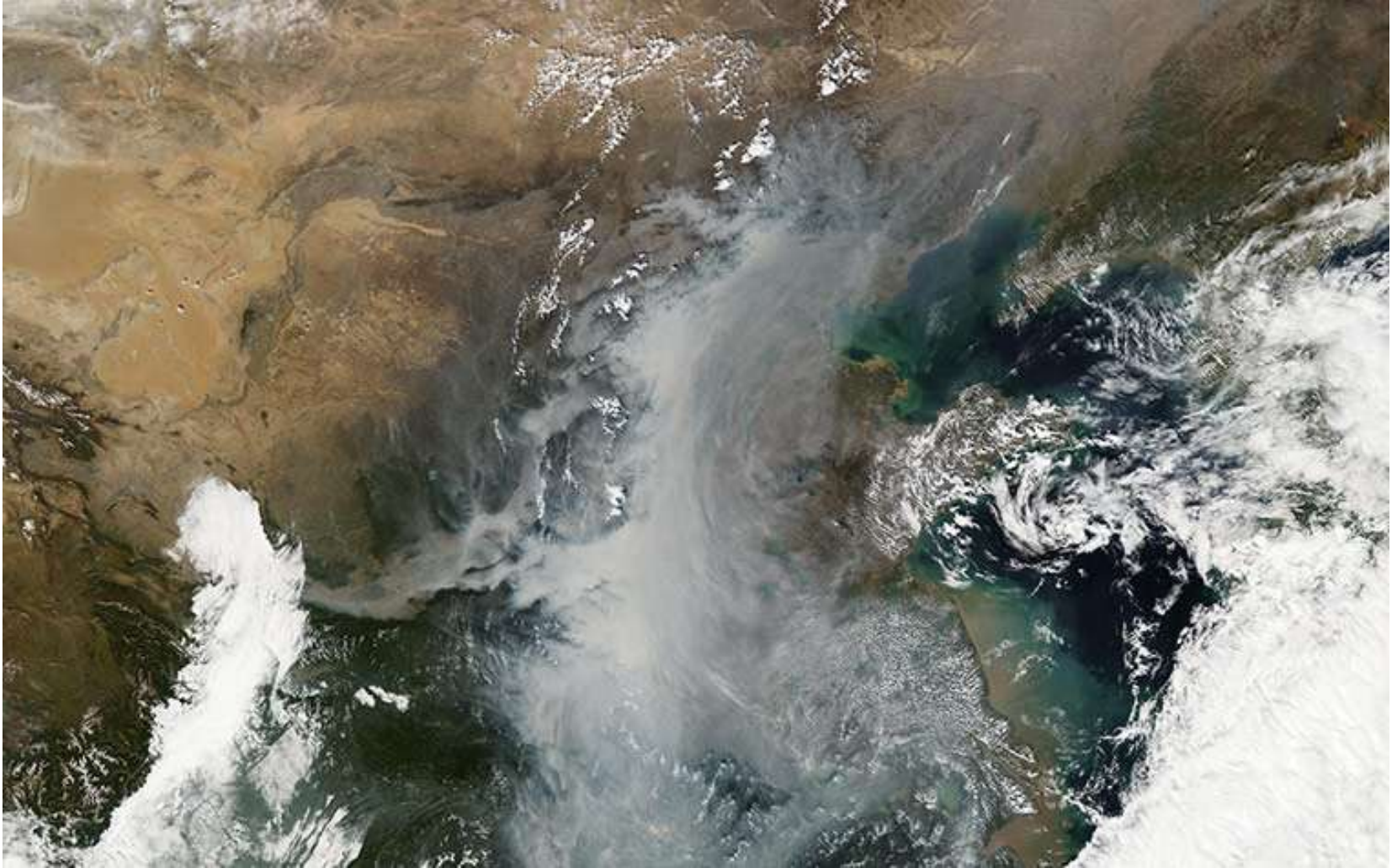
Sl. 17. A, godišnji hod koncentracije dima u Zagrebu (IMI, Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Ksaverska cesta 158; TB, Traumatološka bolnica, Draškovićeve ul. 19). Srednjaci iz razdoblja 1985/86.–1988/89. B, dnevni hod koncentracije dima u Leicesteru, Engleska, 1937.–1939. god. u središtu grada ljeti i zimi (A. R. Meetham, 1952.)

## Silazni trend smanjenja koncentracije dima

- posljedica strukturnih promjena u potrošnji izvora energije → prirodni plin, nafta i električna energija umjesto ugljena
- sve veća upotreba centralnog grijanja umjesto peći i kamina (manja emisija polutanata)

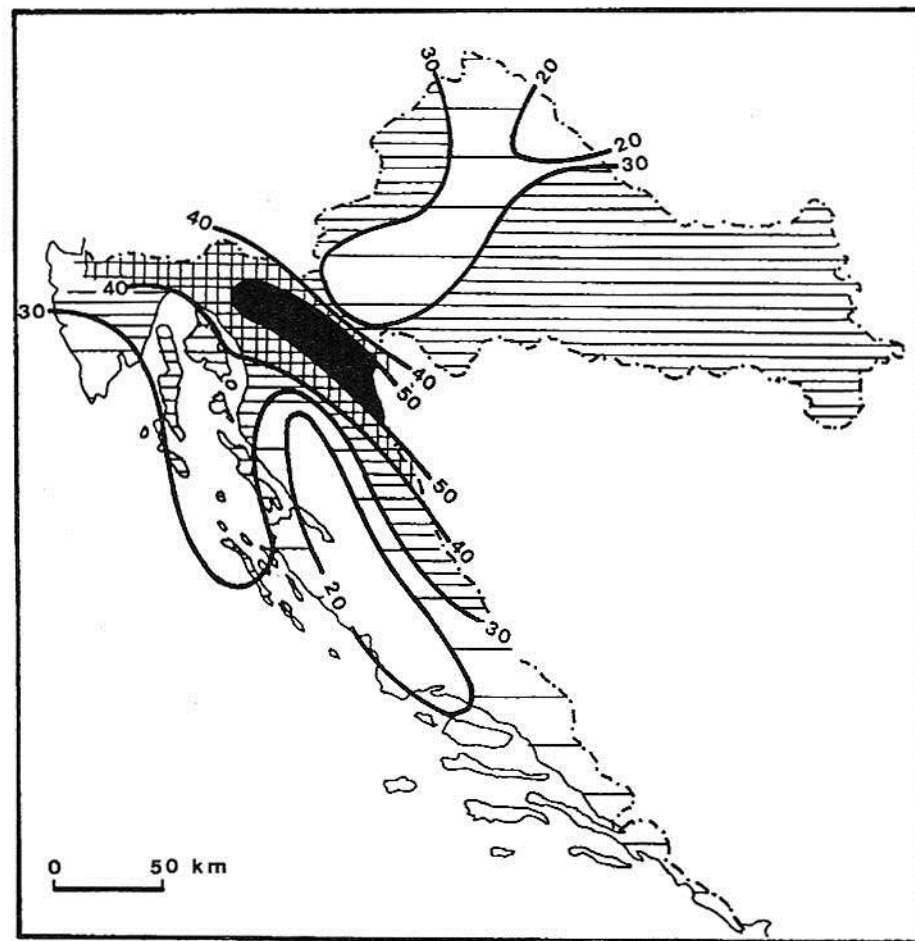


Sl. 18. Srednje godišnje koncentracije dima u Zagreb-Griču od 1967.-1968. do 1991.-1992. god. (M. Krstić, 1983.; niz su produžili autori udžbenika prema podacima Državnoga hidrometeorološkog zavoda)



In early October 2010, a high-pressure weather system settled over eastern China, and air pollution began to build up for nearly a week. By 9 October, China's National Environmental Monitoring Centre declared air quality 'poor' to 'hazardous' around Beijing and in 11 eastern provinces. Visibility was reduced to 100m in some areas, and at least 32 people died in traffic accidents caused by the poor visibility, and many more suffered with asthma and other respiratory problems. The Ozone Monitoring Instrument on Nasa's Aura satellite detected extremely high levels of aerosol particles (visible in the lower left of image) and sulphur dioxide, from coal-fired power plants (lower right) on 8 October. Peak concentrations were six to eight times the norm for China, and 20 times the norm for the US

**Kisele kiše** = otopljeni  
sumporovi i dušikovi oksidi →  
sumporna i dušična kiselina  
- jedan od uzroka “umiranja”  
(sušenja) šuma - kontinentalni  
razmjeri, osobito zapadna, južna  
i srednja Europa  
- Hrvatska: najugroženije šume  
u gorskoj Hrvatskoj →  
prenošenje onečišćivača  
vjetrovima iz industrijskih  
područja sj. Italije, Slovenije i  
Hrvatske  
- najviše je pogođena crnogorica



**Sl. 20.** Postotni udio kiselih kiša (kiselih padalina) u Hrvatskoj; godišnji prosjek iz razdoblja 1981.–1985. godine (G. Hrabak-Tumpa, V. Šojat, 1986.)

# **ENERGETIKA ATMOSFERSKIH PROCESA**

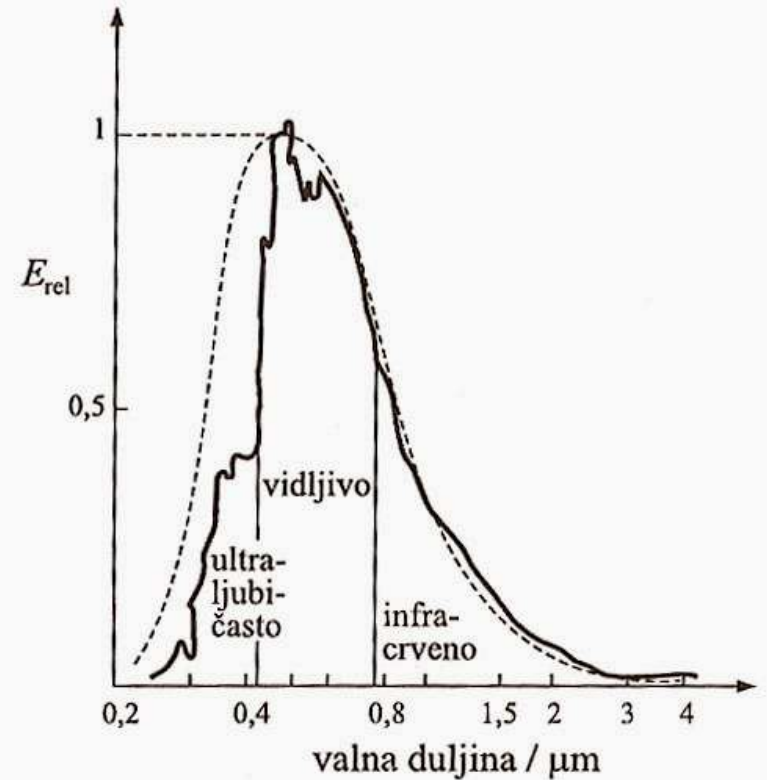
**RADIJACIJA**

# RADIJACIJA

- promjene vremena: posljedica izmjene energije u atmosferi, hidrosferi i litosferi
- pitanja:
  1. Kolika je količina te energije?
  2. Koje su manifestacije energetske promjene u atmosferi?
  3. Kako i koliko se energije gubi?
  4. Kakva je njezina geografska raspodjela?

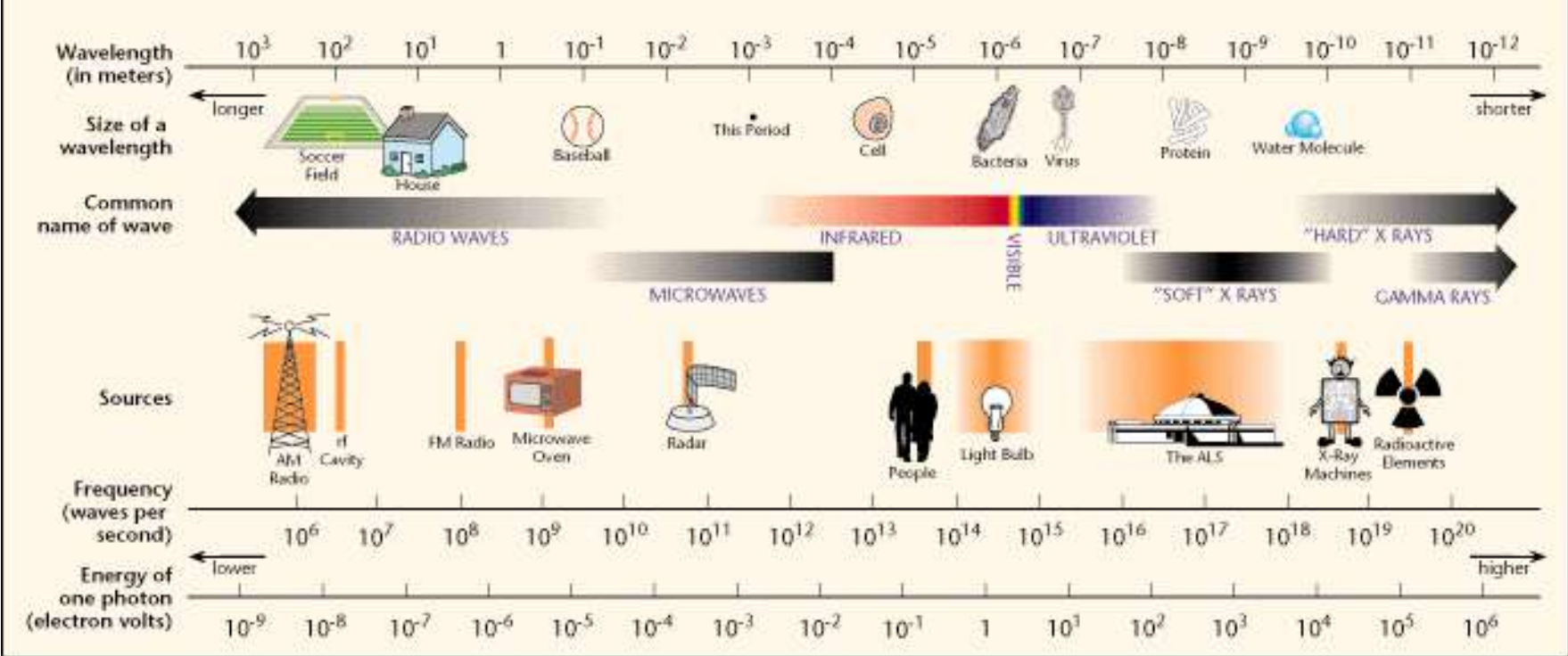
**Sunčeva energija** - glavni uzrok svih energetske promjene u atmosferi

- temperatura površine Sunca: 6000 K
- emisija širokog spektra zračenja:
  - od 0,2 - 4  $\mu\text{m}$
  - 99% otpada na spektar 0,275 - 4  $\mu\text{m}$
  - ultraljubičasti dio spektra: 7% radijacije koja dolazi do zemljine površine
  - vidljiva radijacija (0,4 - 0,7  $\mu\text{m}$ ): 46%
  - infracrvene zrake: 47%



**Slika 6.** Spektralna raspodjela gustoće izračene energije crnoga tijela (crtkana krivulja) i Sunca na gornjoj granici atmosfere pri srednjoj udaljenosti Zemlje od Sunca (puna krivulja). Sunce i crno tijelo imaju jednaku temperaturu.

# THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM





## **Problem količine Sunčeve radijacije koja dolazi do Zemlje**

- da bi se odredila količina energije koja sudjeluje u atmosferskim procesima potrebno je najprije odrediti veličinu Sunčeve radijacije koja stiže do Zemlje
- utjecaj atmosfere → određivanje te veličine na gornjoj granici atmosfere (ili na površini Zemlje ali bez atmosfere)

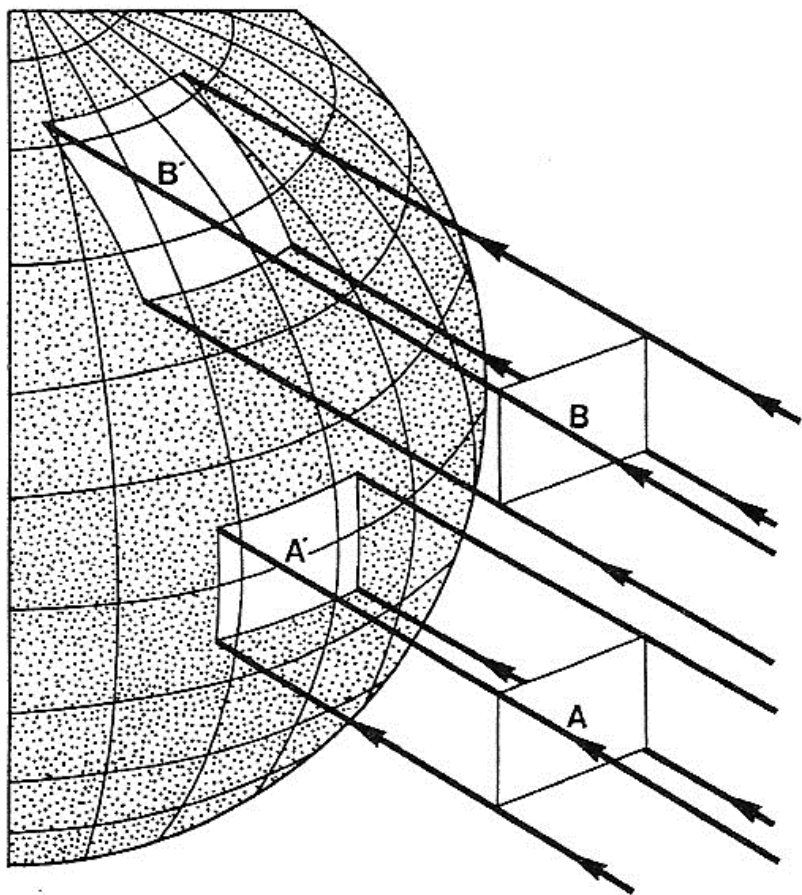
**Solarna konstanta** ( $I_0$ ) = količina radijacijske energije koju Zemlja primi u jednoj minuti na  $1 \text{ cm}^2$  površine, na gornjoj granici atmosfere, pri srednjoj udaljenosti od Sunca i okomito na Sunčeve zrake

$$I_0 = 81,7 \text{ kJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$$

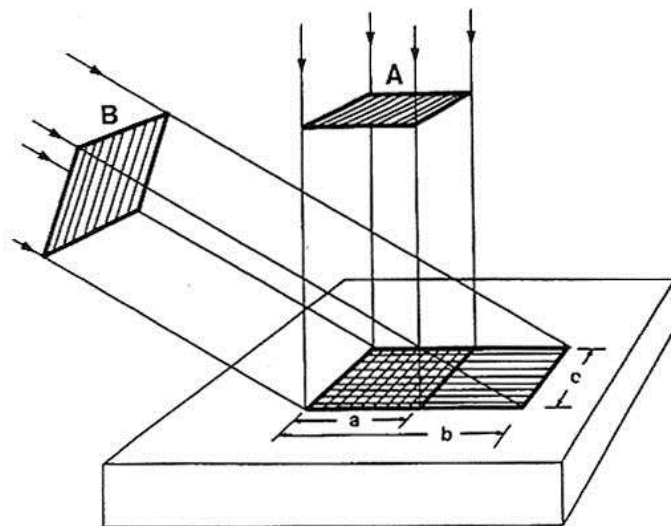
- donekle promjenjiva veličina: ovisi o perihelu (Zemlja najbliže Suncu) i afelu (Z. najdalje od Sunca)

### **Raspodjela Sunčeve radijacije na površini Zemlje bez atmosfere:**

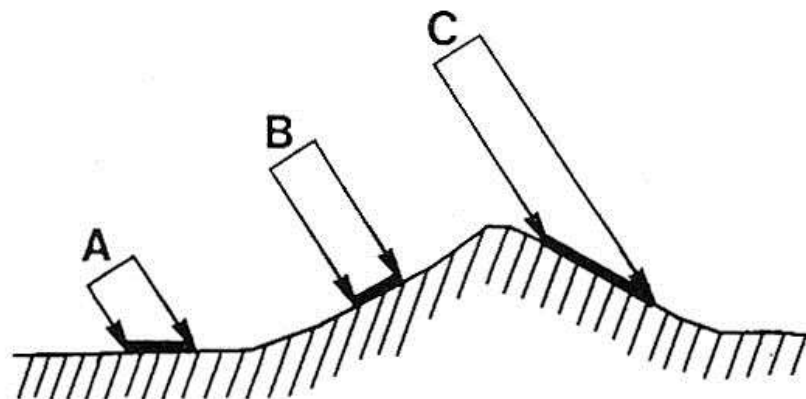
- sfernost Zemlje → Sunčeve zrake padaju okomito na površinu samo između obratnica i to dva dana u godini (na obratnicama jedan dan) → smanjenje količine radijacijske energije na samo  $\frac{1}{4}$  od teorijski moguće
- razne geografske širine - različit kut upada Sunčevih zraka
- ekspozicija padina = orijentacija prema Suncu → različita insolacija



Sl. 23. Utjecaj sfernosti Zemlje na intenzitet insolacije (J. E. van Ripper, 1962.)

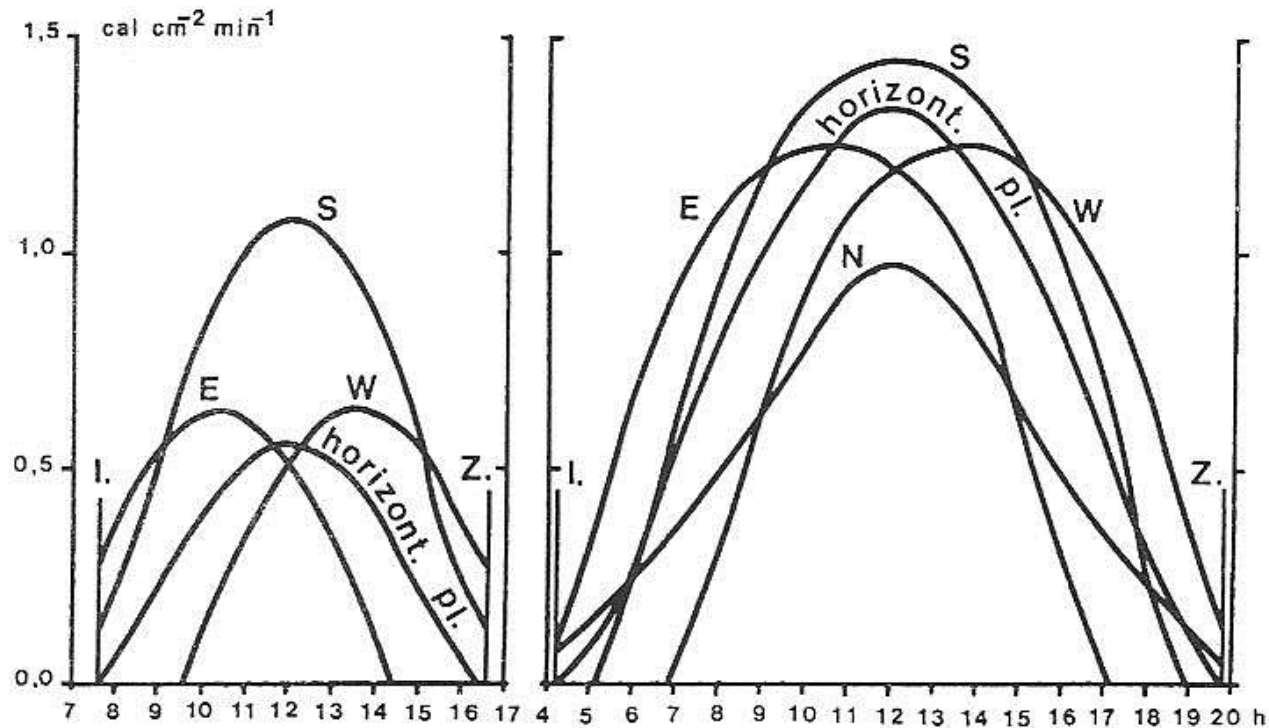


Sl. 24. Utjecaj visine Sunca na intenzitet insolacije na horizontalnoj plohi (A. N. Strahler, 1951.)



Sl. 25. Utjecaj reljefa na upadni kut Sunčevih zraka, odnosno na intenzitet Sunčeve radijacije

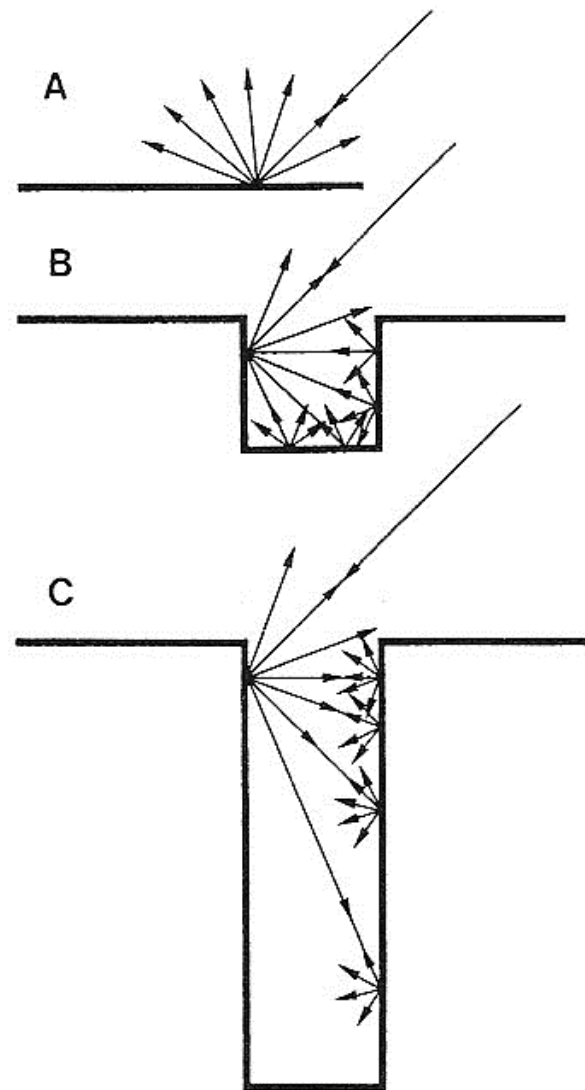
- raspodjela Sunčeve radijacije u planinskim krajevima je složena - ovisnost o ekspoziciji padina



**Sl. 27.** Dnevni hod Sunčeve radijacije na horizontalnoj plohi te na južnoj, istočnoj, zapadnoj i sjevernoj padini (nagib padina  $25^\circ$ ) 16. I. i 15. VI. na  $46^\circ 30' \text{ N}$  i na 1 600 m visine. I., izlaz sunca, Z., zalaz sunca (E. Hoeck; izvor: H. Böhm, 1966.)

## Utjecaj zgrada na raspodjelu insolacije:

- višestruko reflektiranje i apsorpiranje Sunčevih zraka
- visina i raspored zgrada
- visoke zgrade: smanjivanje prirodnog ventiliranja, ulice su veći dio dana u sjeni

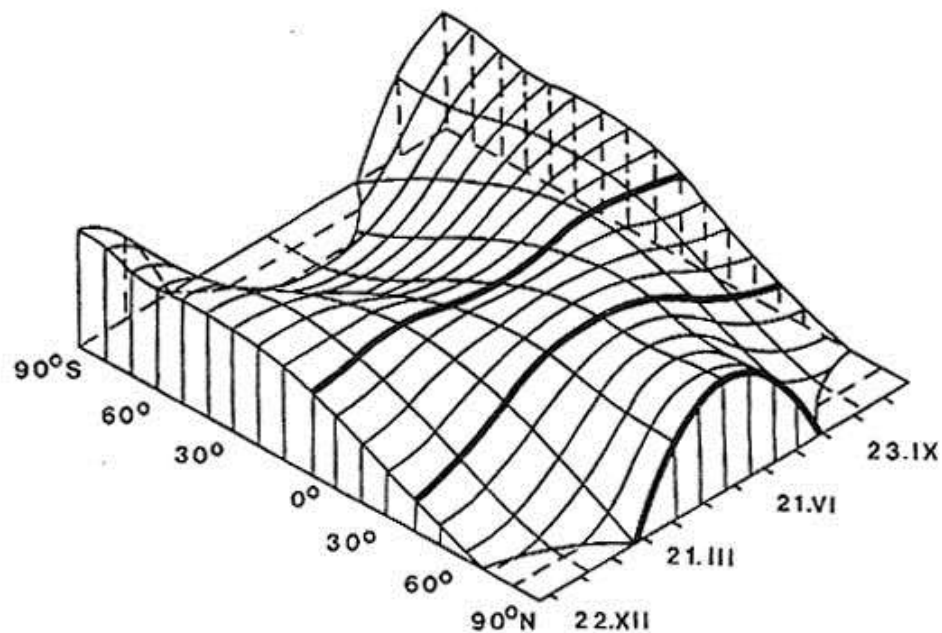


**Sl. 28.** Shema raspodjele insolacije između različito visokih zgrada (B i C) i refleksija s ravne plohe (A); uzeta je u obzir samo jedna zraka (F. L. Ludwig, 1970.)

## Trajanje insolacije na Zemlji - ovisnost o duljini dana

- utjecaj **astronomskih faktora**:
- rotacija Zemlje oko osi → smjena dana i noći
- nagib Zemljine osi = kut Zemljine osi i ekliptike ( $66^{\circ} 33'$ )  
→ revolucija → utjecaj na duljinu dana i insolaciju

TRAJANJE NAJDUŽEG DANA I NAJKRAĆE NOĆI (U SATIMA, ODNOSNO DANIMA) FUNKCIJA JE GEOGRAFSKE ŠIRINE		
Geografska širina	Najduži dan	Najkraći dan
0°	12 00	12 00
10°	12 35	11 25
20°	13 13	10 47
30°	13 56	10 04
40°	14 51	9 09
50°	16 09	7 51
60°	18 30	5 30
65°	21 09	2 51
66,5°	24 00	0 00
	Polarni dan	Polarna noć
70°	65	60
75°	103	97
80°	134	127
85°	161	153
90°	186	179



Sl. 29. Odnos geografske širine i godišnjega hoda insolacije (W. M. Davis; izvor: A. N. Strahler, 1951.)

# UTJECAJ ATMOSFERE NA SUNČEVU RADIJACIJU

- modifikacija Sunčeve radijacije pod utjecajem atmosfere
- propustljivost atmosfere - ovisi o fizičkim svojstvima plinova i broju suspendiranih čestica
- **srednji transmisijski koeficijent** = 0,78 (vedro vrijeme, suhi zrak, zenitni položaj Sunca)
- slabljenje (ekstinkcija) Sunčeve radijacije: ovisnost o apsorpciji i raspršivanju

**Intenzitet radijacije na površini Zemlje:**  $I = I_0 e^{-am}$

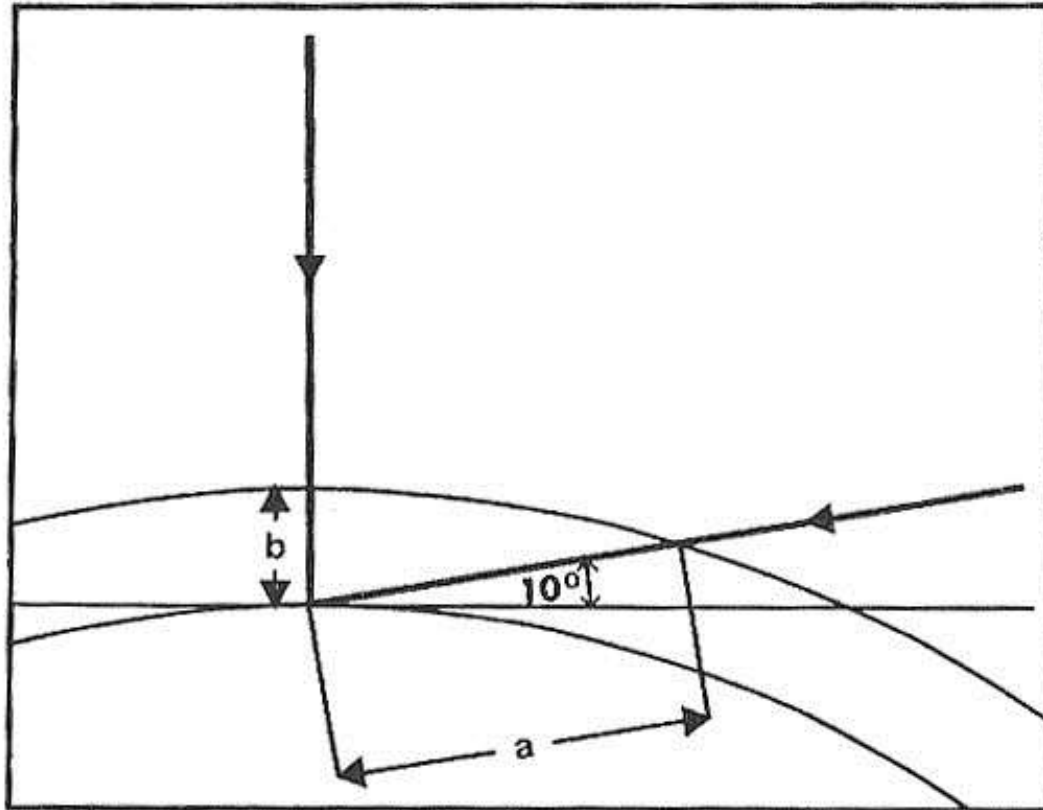
$I$  = intenzitet radijacije na površini Zemlje

$I_0$  = intenzitet radijacije na gornjoj granici atmosfere

$e$  = baza prirodnih logaritama

$a$  = koeficijent ekstinkcije

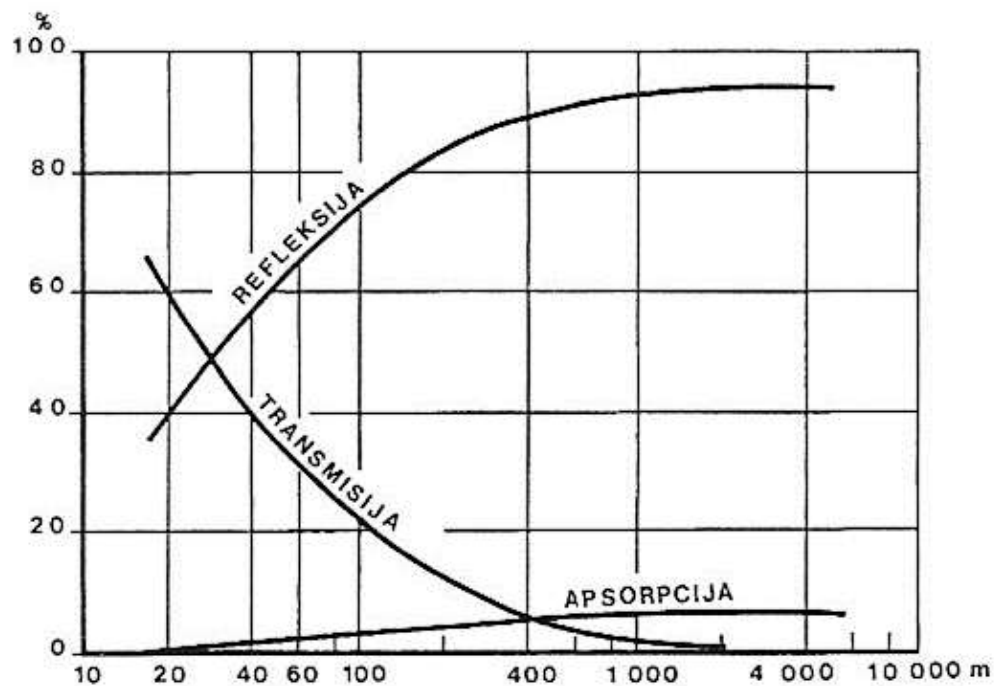
$m$  = optička masa atmosfere (broj koji pokazuje kroz koliko puta veću debljinu atmosfere moraju proći sunčeve zrake kad padaju koso nego kad padaju vertikalno na površinu Zemlje)



**SI. 30.** Duljina putanje Sunčevih zraka kroz atmosferu u ovisnosti o visini sunca (G. R. Rumney, 1968.)

## Direktna sunčeva radijacija

- dio radijacije koji se uspije netaknut probiti kroz atmosferu do Zemljine površine
- najveći udio: kratkovalna radijacija (valna duljina 0,2 – 0,7  $\mu\text{m}$ )
- apsorpcija Sunčeve radijacije  
→ vodena para, oblaci - utjecaj na radijaciju → refleksija, transmisija i apsorpcija
- ovisnost apsorpcije o debljini i gustoći oblaka



SI. 31. Refleksija, transmisija i apsorpcija Sunčeve radijacije (%) u ovisnosti o debljini oblaka (m) (Hewson i Longley; izvor: R. G. Barry i R. J. Chorley, 1968.)



## Difuzna radijacija

= Sunčeva radijacija koja do nas ne dolazi direktno nego difuznom refleksijom ili raspršivanjem

= interakcija Sunčevih zraka s molekulama i česticama u atmosferi →

a) promjena smjera

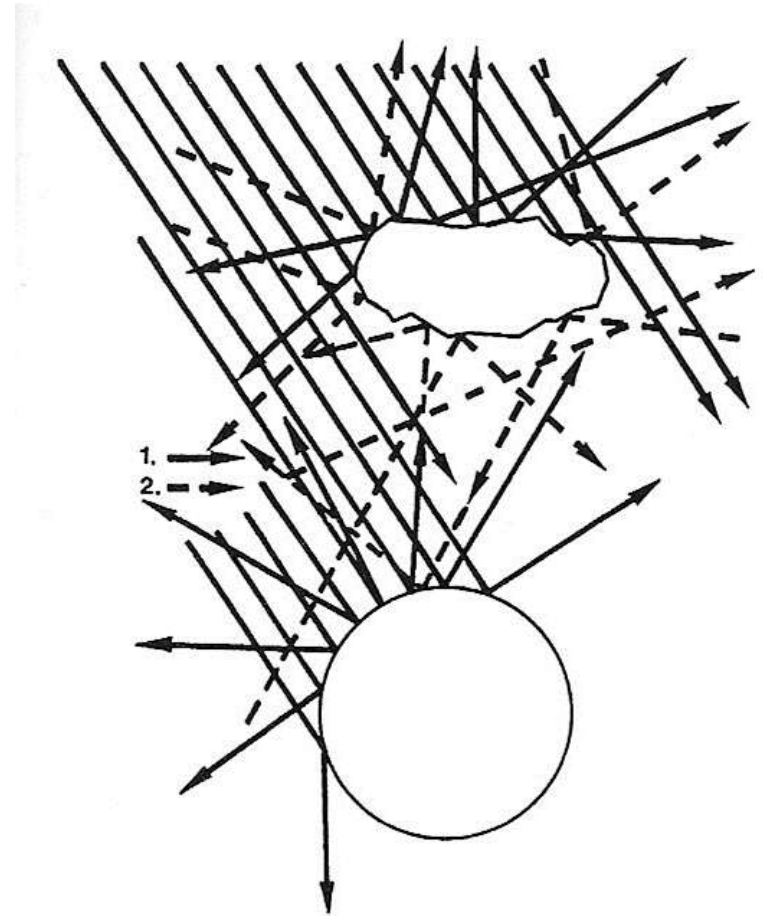
b) promjena smjera i valne duljine

Sunčevih zraka

- difuzna refleksija:

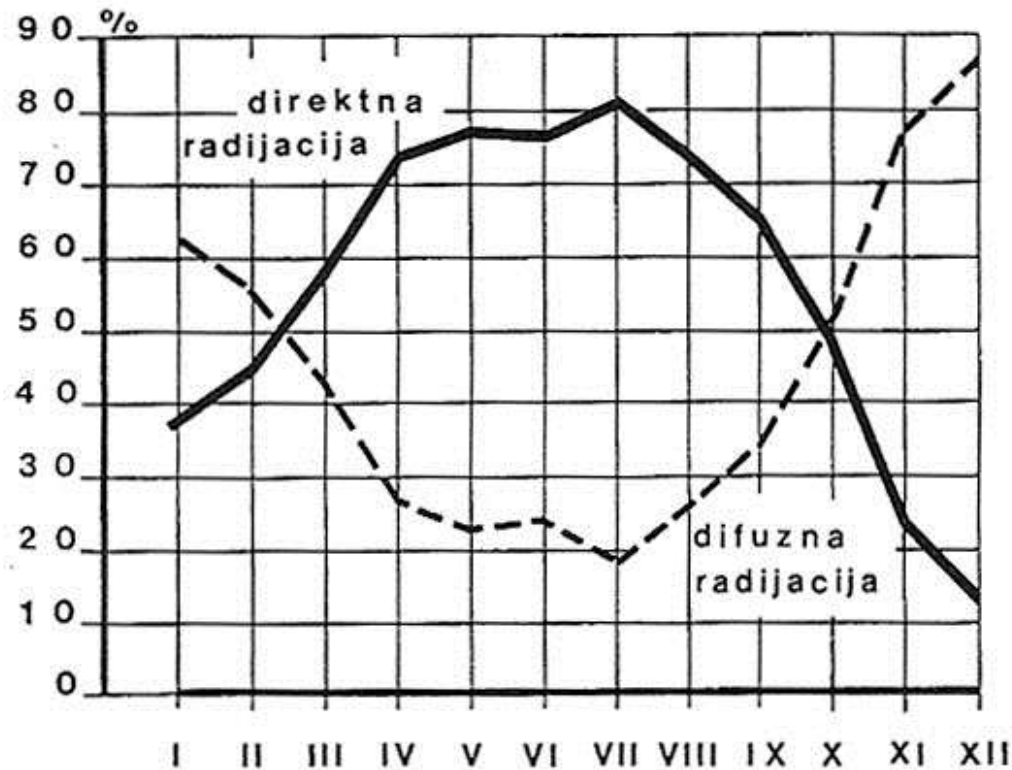
a) čestice koje su veće od valne duljine Sunčevih zraka (sitne vodene kapljice, kristali leda, prašina itd.): zrake svih valnih duljina podjednako se reflektiraju na sve strane (kut odraza jednak je kutu upada); valna duljina reflektiranih zraka se ne mijenja

b) sitne čestice primjesa ili molekule plinova - pobuđivanje - postaju izvor elektromagnetske emisije - difuzno i selektivno raspršivanje (promjena valne duljine)



Sl. 32. Difuzna refleksija s velike čestice i s kapljice vode; 1. direktne zrake i reflektirane direktne zrake s prikazane čestice, 2. već reflektirane ili pak raspršene zrake s drugih čestica i molekula

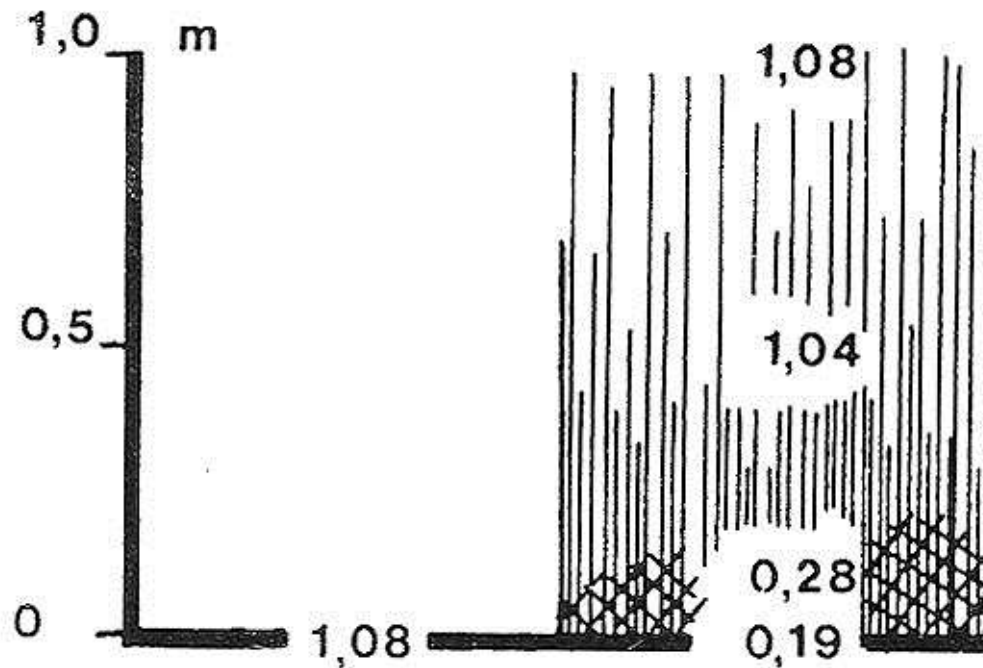
- važnost difuzne radijacija: dolazi sa svih strana
  - danju nije mrak ni kad je nebo potpuno pokriveno oblacima;
- važan izvor svjetlosti u visokim geografskim širinama (gdje je direktna radijacija slaba)



Sl. 33. Odnos direktne i difuzne radijacije (%) u Stockholmu 1905.–1926. (A. Ångström; izvor: V. Conrad, 1936.)

## Utjecaj biljnog pokrova na insolaciju

- biljni pokrov slabi radijaciju na njezinom putu do tla
- apsorbiranje i reflektiranje (lišće, krošnje, trava itd.)
- gusta vegetacija propušta vrlo mali dio radijacije



Sl. 35. Utjecaj trave na slabljenje kratkovalne radijacije ( $\text{cal cm}^{-2} \text{min}^{-1}$ ) (A. Ångström, 1925.)

## TRAJANJE SIJANJA SUNCA

= trajanje obasjavanja Zemlje direktnom Sunčevom radijacijom

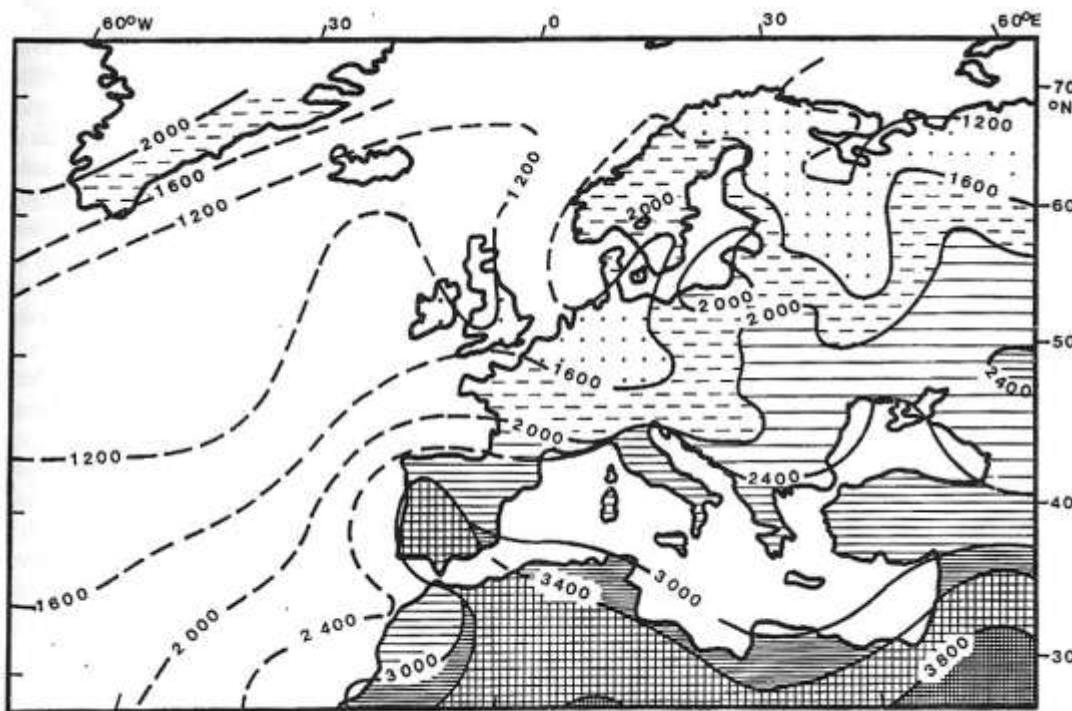
- izražava se u satima sijanja Sunca (dan, mjesec, godina)

- mjerenje: heliograf

- geografska karta: izohele

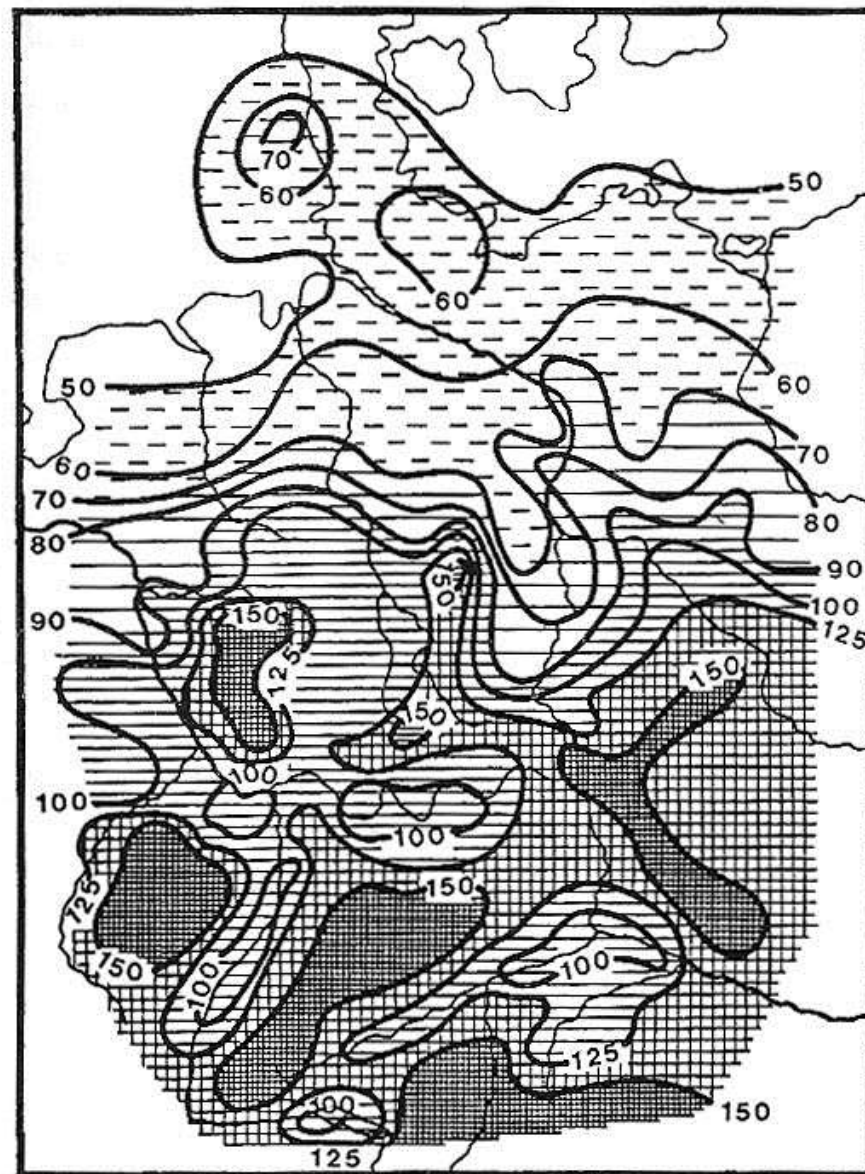
- faktori utjecaja: astronomski (trajanje dana, godišnja doba), stanje atmosfere, reljef

- prosječno trajanje sijanja Sunca: duže u unutrašnjosti nego nad morem → posljedica raspodjele naoblake (ciklone, anticiklone)



Sl. 36. Prosječno godišnje trajanje sijanja sunca (u satima) u Europi i sjevernom Atlantiku. Isprekidane izohele izračunate su pomoću poznate naoblake (H. E. Landsberg i dr., 1963.)

- **Primjer:** trajanje sisanja Sunca u srednjoj Europi u zimskim mjesecima - ovisnost o magli, geografskoj širini (razlika između sjevera i juga) i reljefu
- dugotrajne magle - opadanje trajanja sisanja Sunca
- trajanje sisanja Sunca - porast u brdskim i planinskim krajevima, opadanje u riječnim i jezerskim dolinama (veća čestina magle u konkavnim oblicima reljefa)



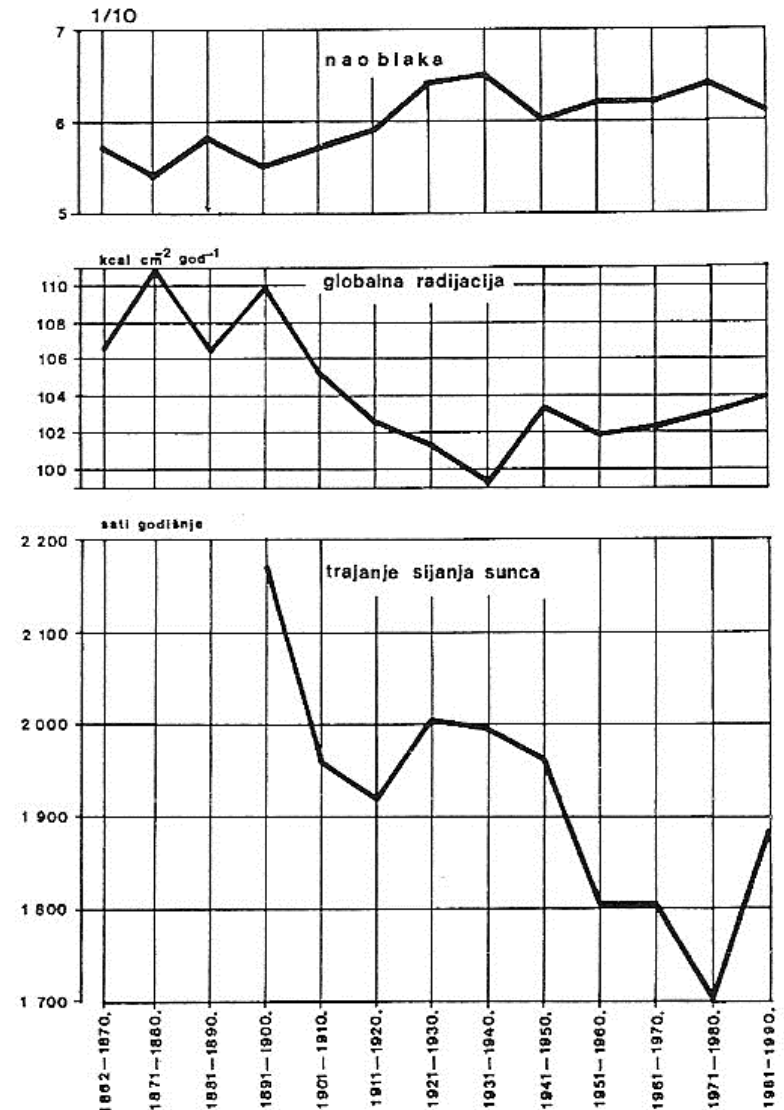
SI. 37. Trajanje insolacije (u satima), u srednjoj Europi u veljači 1959. god. (L. Schulz, 1963.)

- **Gradovi** - utjecaj polutanata na smanjenje trajanja sijanja Sunca (industrija, promet, kućna ložišta i dr.)

→ češća maglovitost, naoblaka

→ smanjivanje globalne radijacije

- u zadnje vrijeme (od 80.-tih) - pozitivan trend



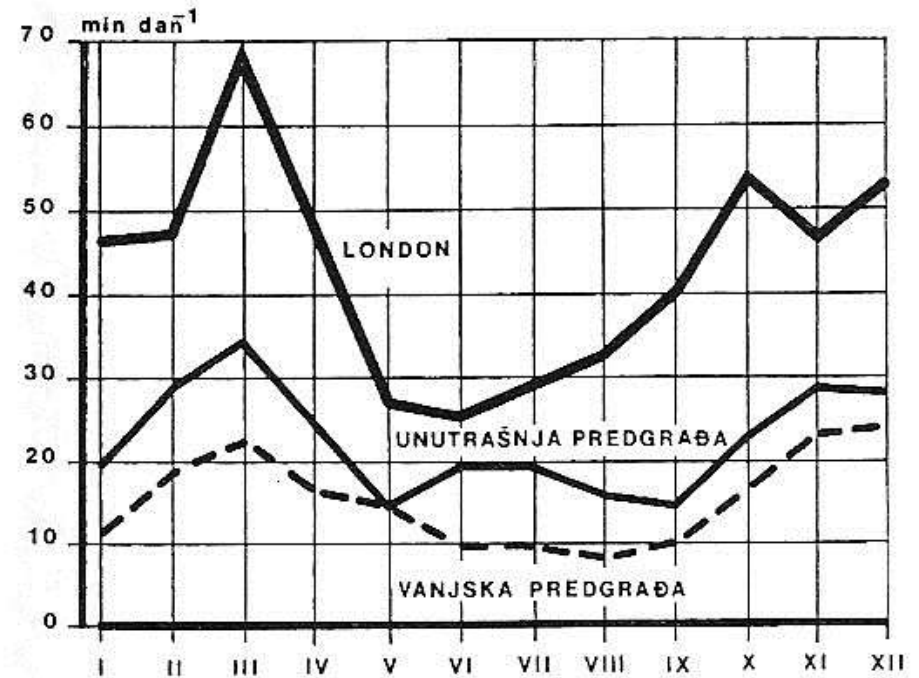
Sl. 38. Naoblaka (desetine), globalna radijacija i trajanje sijanja sunca u Zagreb-Griču; desetogodišnji srednjaci 1862.-1990. god. (I. Penzar, 1969.; I. Penzar, 1977.; T. Šegota, 1987a; T. Š. i A. F.)

## Diferencijacija grada i okolice:

- trajanje sijanja Sunca kraće je u gradu nego u okolici,
- diferencijacija pojedinih dijelova grada (središte - predgrađa)
  - onečišćenost se smanjuje prema periferiji

## Godišnji hod:

- trajanje sijanja Sunca najkraće je u zimskoj polovici godine
  - manji kut upadnih zraka,
  - povećana emisija onečišćivača i vodene pare → češća magla i naoblaka
- topli dio godine: svi faktori djeluju u suprotnom smjeru



**Sl. 39.** Srednje skraćivanje trajanja sijanja sunca (minute dnevno) u Londonu, unutrašnjim predgrađima i vanjskim predgrađima; od 1921. do 1950. god. (T. J. Chandler; izvor: W. P. Lowry, 1967.)

## GLOBALNA RADIJACIJA

= zbroj direktne  $R_{dir\downarrow}$  i difuzne radijacije  $R_{dif\downarrow}$

$$R_{gl} = R_{dir\downarrow} + R_{dif\downarrow}$$

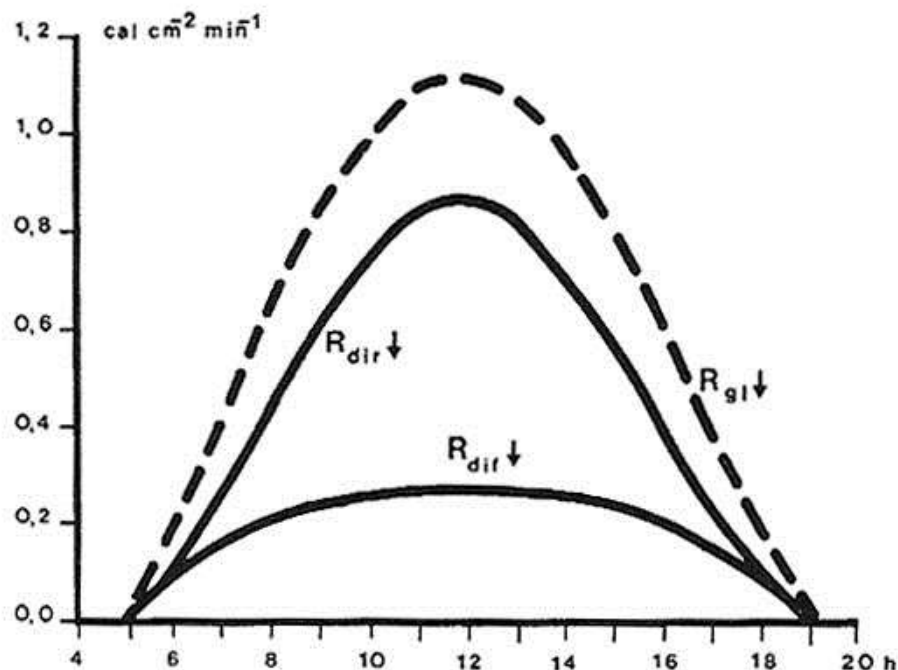
- mjerenje: piranometar

## Dnevni hod globalne radijacije:

- krivulje kretanja  $R_{gl}$  i  $R_{dir\downarrow}$  su slične
- znatna promjena tijekom dana (jutro - podne - večer)
- najveća razlika  $R_{dir\downarrow}$  i  $R_{dif\downarrow}$  - u podne



Piranometar

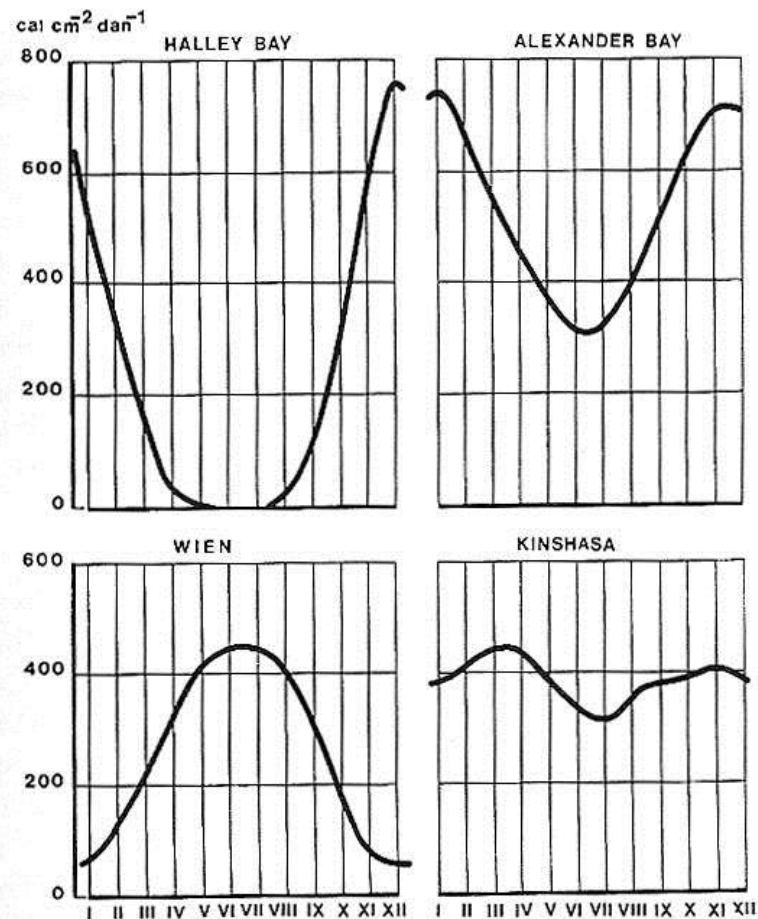


Sl. 41. Srednji dnevni hod intenziteta direktne radijacije na horizontalnu plohu, difuzne radijacije i globalne radijacije u vedrim ljetnim danima u Zagrebu 1958.–1963. god. (I. Penzar, 1965.).



## Godišnji hod globalne radijacije:

- razlike: posljedica utjecaja geografske širine
- godišnji hodovi globalne radijacije: sličnost s godišnjim hodovima insolacije
- **ekvatorska zona:** mala amplituda → dva maksimuma i dva minimuma
- **aridni subtropski predjeli:** veća godišnja amplituda
- **umjerena zona:** velika amplituda (zima – ljeta)
- **polarni krajevi:** velika globalna radijacija u ljetnim mjesecima (Sunce je neprekidno iznad horizonta)



Sl. 42. Srednji godišnji hod globalne radijacije (E. Flach, 1966.)

## ALBEDO

= koeficijent refleksije Sunčeve radijacije s podloge

- odnos reflektirane radijacije  $R_r$  prema ukupnoj radijaciji  $R_i$  koja pada na podlogu:

$$a = R_r/R_i$$

- praksa: izražava se u postotku koji pokazuje koliki je dio radijacije reflektiran od nekog tijela (npr. potpuno bijelo tijelo: 100%, crno: 0%)

- u prirodi: varijacije albeda između 0% i 100%

- ovisnost o vlažnosti podloge: vlažnija podloga, manji albedo

ALBEDO NEKIH PODLOGA I TIJELA U PRIRODI (PREMA RAZNIM AUTORIMA)	
Površina	Albedo
svježi snijeg	70 – 90
stariji snijeg	40 – 70
snijeg koji kopni	30 – 65
riječni kvarcni pijesak	29
granit	12 – 18
oblaci	5 – 81
suho neorano polje	12 – 20
vlažno neorano polje	5 – 14
zeleno travno	16 – 27
suha trava	16 – 19
žitarice	10 – 25
grad kao cjelina	10 – 20
pustinja i savana u suhom dobu godine	25
stepa i savana u vlažnom razdoblju	18
crnogorična šuma	6 – 19
bjelogorična šuma	16 – 27
livada	17 – 32
krš na Velebitu	29
asfalt	15

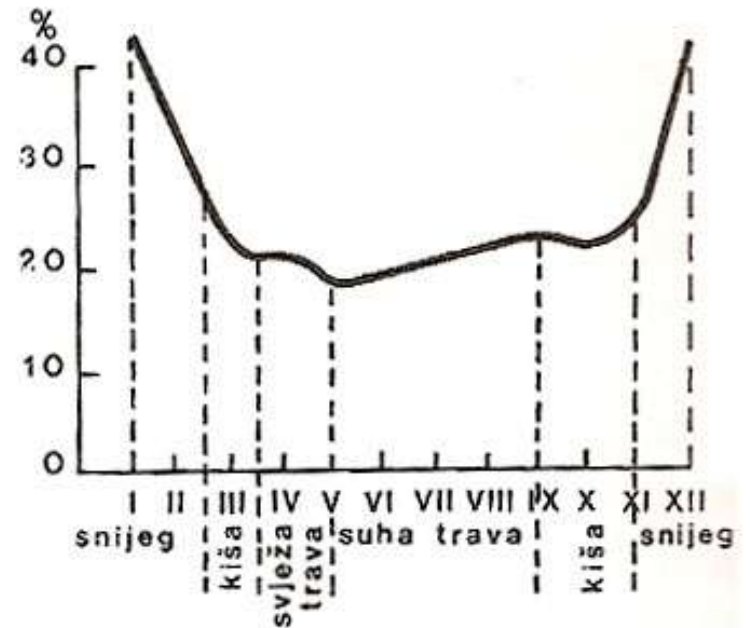
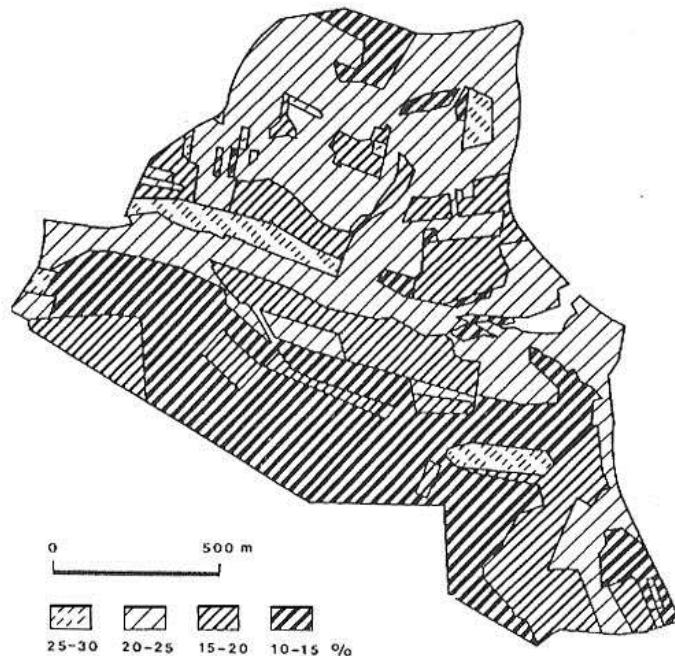
## Godišnji hod albeda:

- razlika između ljeta i zime

## Prostorna raspodjela albeda:

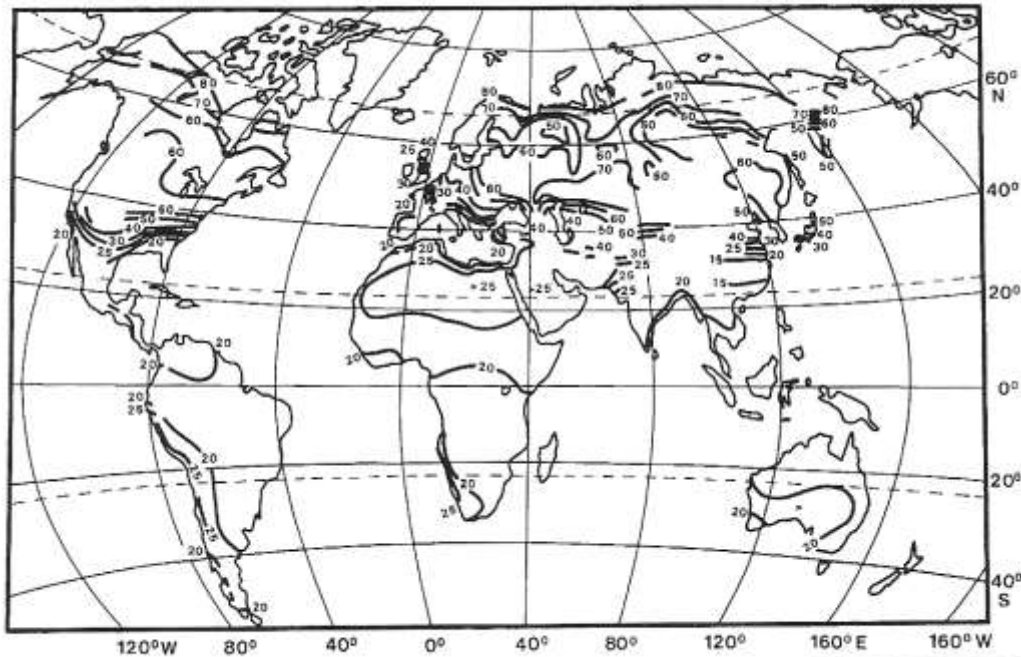
- nehomogenost Zemljine površine

→ varijacije albeda → velika kompleksnost



Godišnji hod albeda u Taškentu  
(N. Jaroslavcev, 1952.)

Sl. 47. Prostorna raspodjela albeda na eksperimentalnoj postaji Wojcieszów Górny kod Wrocławu u Poljskoj (J. Paszyński, 1964.; M. Kluge i B. Krawczyk, 1964.)

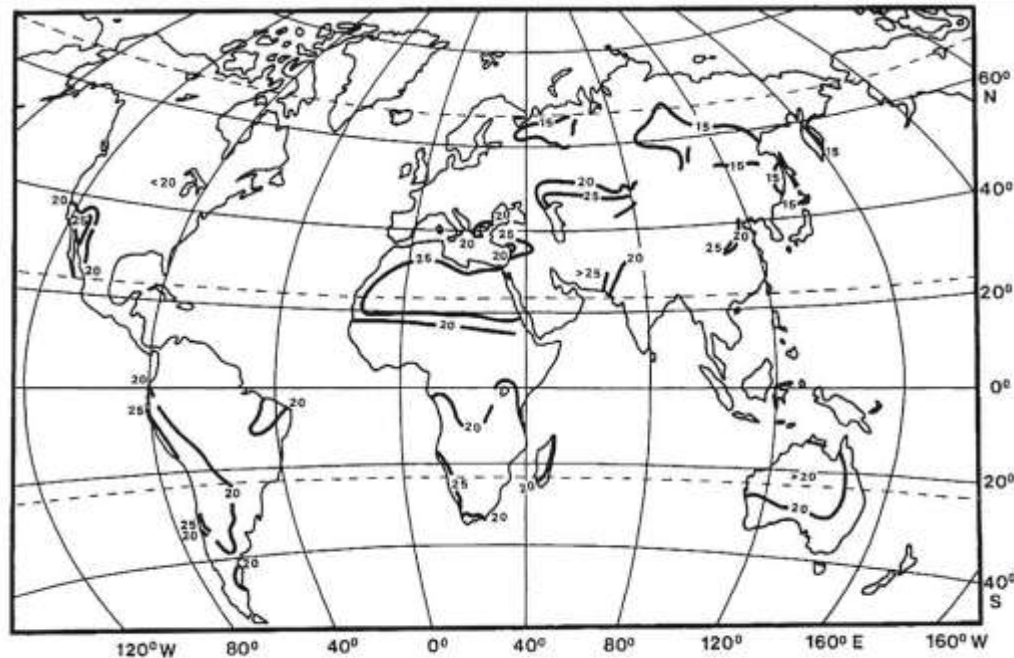


Sl. 48. Albedo kopna (%) u siječnju (V. V. Muhenberg, 1967.)

- najveće razlike: umjerene geografske širine na sjevernoj hemisferi → snježni pokrivač → porast zimskog albeda

## Raspodjela albeda na kopnu na cijeloj Zemlji

- velike razlike između sjeverne i južne hemisfere
- južna hemisfera: albedo kopna varira između 20 i 25%, nema velike razlike između ljeta i zime; slično i u tropima na sjevernoj hemisferi

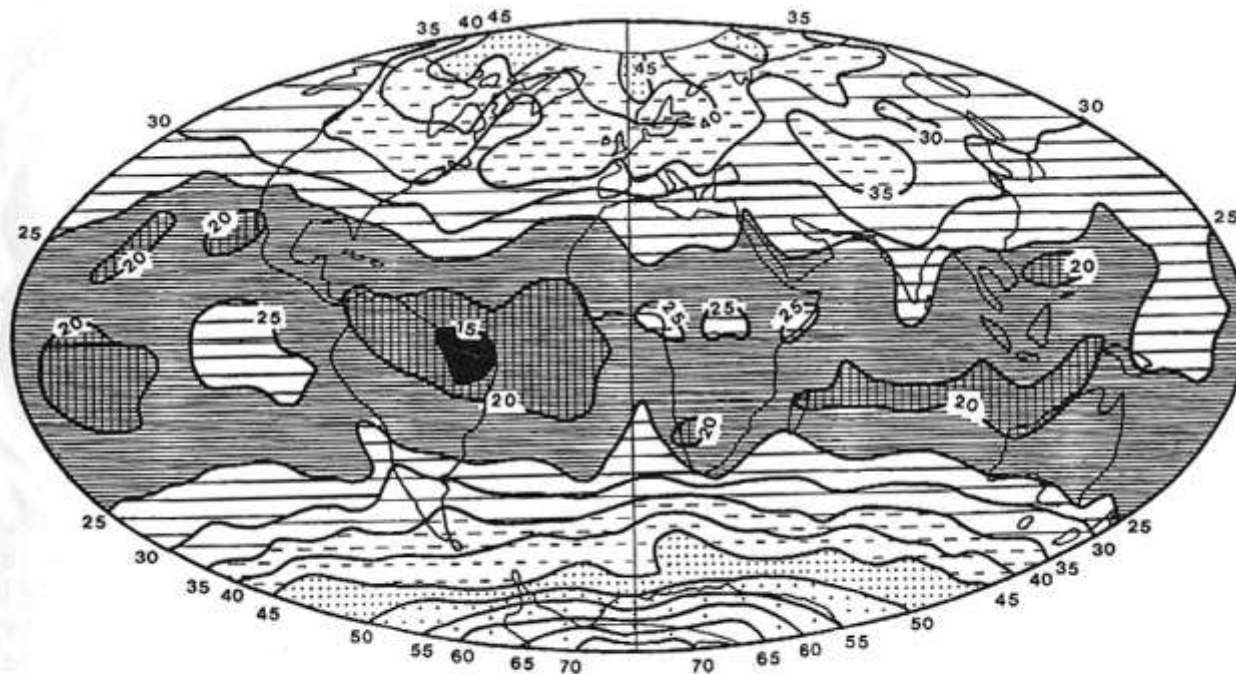


Sl. 49. Albedo kopna (%) u srpnju (V. V. Muhenberg, 1967.)

**Planetarni albedo** = kratkovalna radijacija koja se sa Zemljine površine, s oblaka i ostalih dijelova atmosfere reflektira u svemir i ne sudjeluje u energetske procesima

- važnost za energetske bilancu atmosfere i Zemljine površine

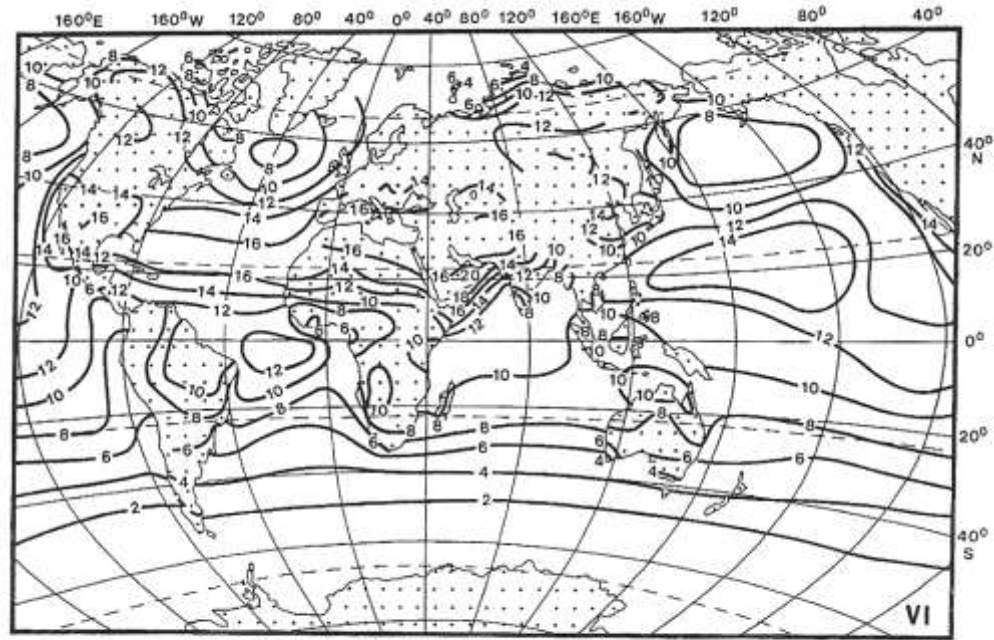
- faktori utjecaja: raspodjela kopna i mora (ako je vedro, albedo kopna je veći nego albedo mora); naoblaka (oblačna područja - veći albedo); snježni pokrivač, ledeni pokrovi i zaleđeno more - veći albedo



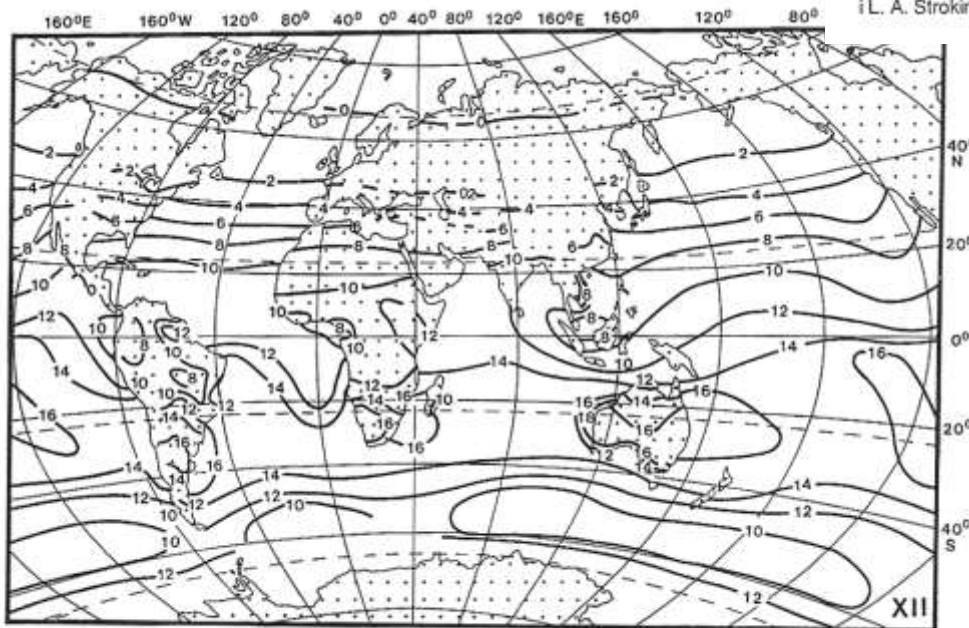
Sl. 50. Raspodjela planetarnog albeda; godišnji srednjaci iz razdoblja 1962.-1965. god. (T. H. Vonder Haar i V. E. Suomi, 1969.)

# APSORBIRANA GLOBALNA RADIJACIJA NA POVRŠINI ZEMLJE

= dio globalne radijacije koji se apsorpira u podlozi (efektivna kratkovalna radijacija), ovisnost o albedu



Sl. 52. Raspodjela apsorbirane globalne radijacije na Zemljinoj površini u lipnju ( $\text{kcal cm}^{-2} \text{mjesec}^{-1}$ ) (V. V. Muhenberg i L. A. Strokina, 1967.)



Sl. 51. Raspodjela apsorbirane globalne radijacije na Zemljinoj površini u prosincu ( $\text{kcal cm}^{-2} \text{mjesec}^{-1}$ ) (V. V. Muhenberg i L. A. Strokina, 1967.)

- veća na moru nego na kopnu
- more: manji albedo (osobito područja maksimuma tlaka - vedrina)
- veća u tropima i subtropima: manji albedo (suptropski maksimumi)
- manja u umjerenim i visokim geografskim širinama: veći albedo (oblačna područja, snijeg, led)

## DUGOVALNA RADIJACIJA ZEMLJINE POVRŠINE

- apsorpcija Sunčeve radijacije - kopno: tanki sloj na površini; voda: deblji sloj
- apsorpcija radijacije nekog objekta → povećanje energije → povišenje temperature → dugovalno zračenje (infracrvena ili terestrička radijacija)
- intenzitet dugovalne radijacije: Stefan-Boltzmannov zakon:  $E = s \sigma T^4$   
s = emisijska konstanta podloge  
 $\sigma = \text{konstanta} = 8,2 \times 10^{-11} \text{ gcal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$   
T - apsolutna temperatura tijela koje zrači

## DUGOVALNA RADIJACIJA ATMOSFERE

- atmosfera: najvećim dijelom nepropusna za dugovalnu radijaciju podloge
- ozon, vodena para - selektivna apsorpcija više spektralnih polja
- vodena para apsorbira najveći dio infracrvene, dugovalne radijacije sa Zemlje
- ugrižani dijelovi atmosfere i sami zrače infracrvene zrake; dio se gubi u svemiru a dio se vraća na Zemlju → **protuzračenje atmosfere**
- protuzračenje: danju i noću, ljeti i zimi
- **efekt staklenika** → srednja temperatura Zemlje je za 38°C veća nego što bi bila bez atmosfere

# RADIJACIJSKA I ENERGETSKA BILANCA ZEMLJE

= odnos između primljene i odane radijacije

→ količina energije koju Zemlja prima od Sunca treba biti jednaka količini energije koju gubi dugovalnom radijacijom

**Bilanca ukupne radijacije ( $B_u$ ) na površini Zemlje:**  $B_u = R_{gl\downarrow} (1 - a) - B_d$

$R_{gl\downarrow}$  = globalna radijacija

$a$  = albedo podloge

$B_d$  = efektivna radijacija (bilanca dugovalne radijacije) = odnos između radijacije površine Zemlje i apsorbiranog protuzračenja atmosfere

- vrijednosti faktora koji utječu na bilancu neprestano se mijenjaju: bilanca u nekim dijelovima svijeta je pozitivna a u nekim negativna

**Energetska bilanca Zemljine površine:**  $B_u + P + LE + B = 0$

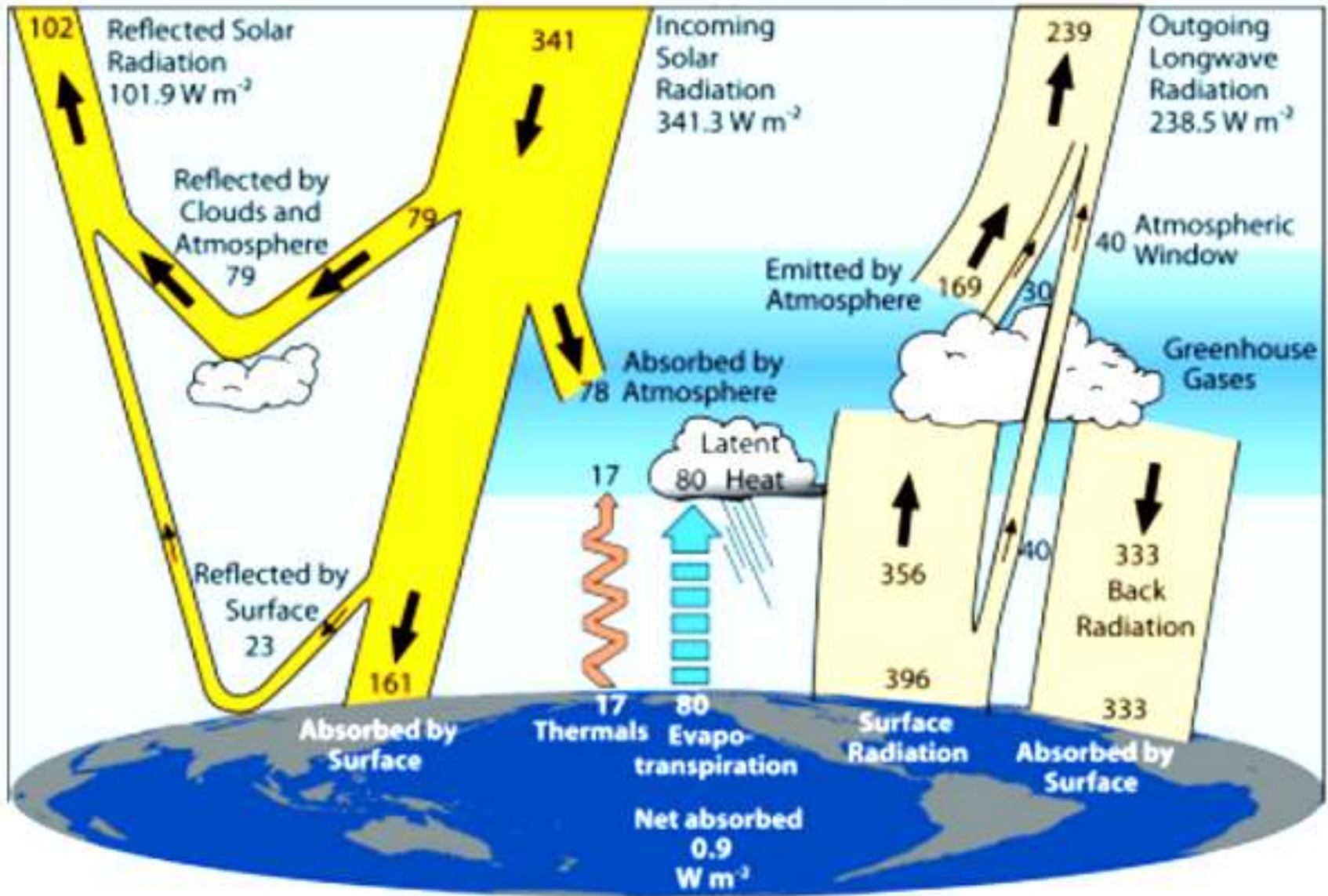
$B_u$  = bilanca ukupne radijacije (kratkovalne i dugovalne)

$P$  = turbulentni i konvekcijski prijenos topline

$LE$  = toplina oslobođena kondenzacijom ili je utrošena na evaporaciju

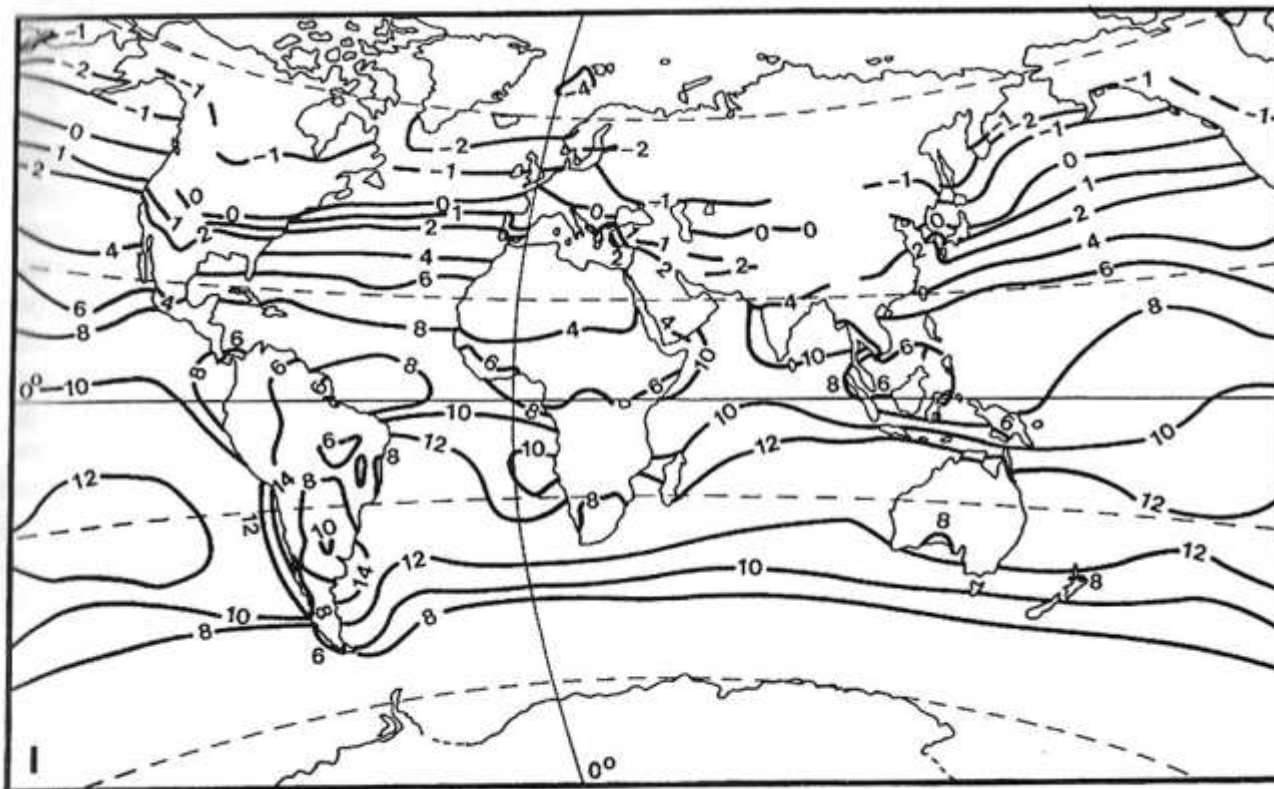
$B$  = vođenje topline iz tla (podloge); u moru i horizontalno prenošenje topline





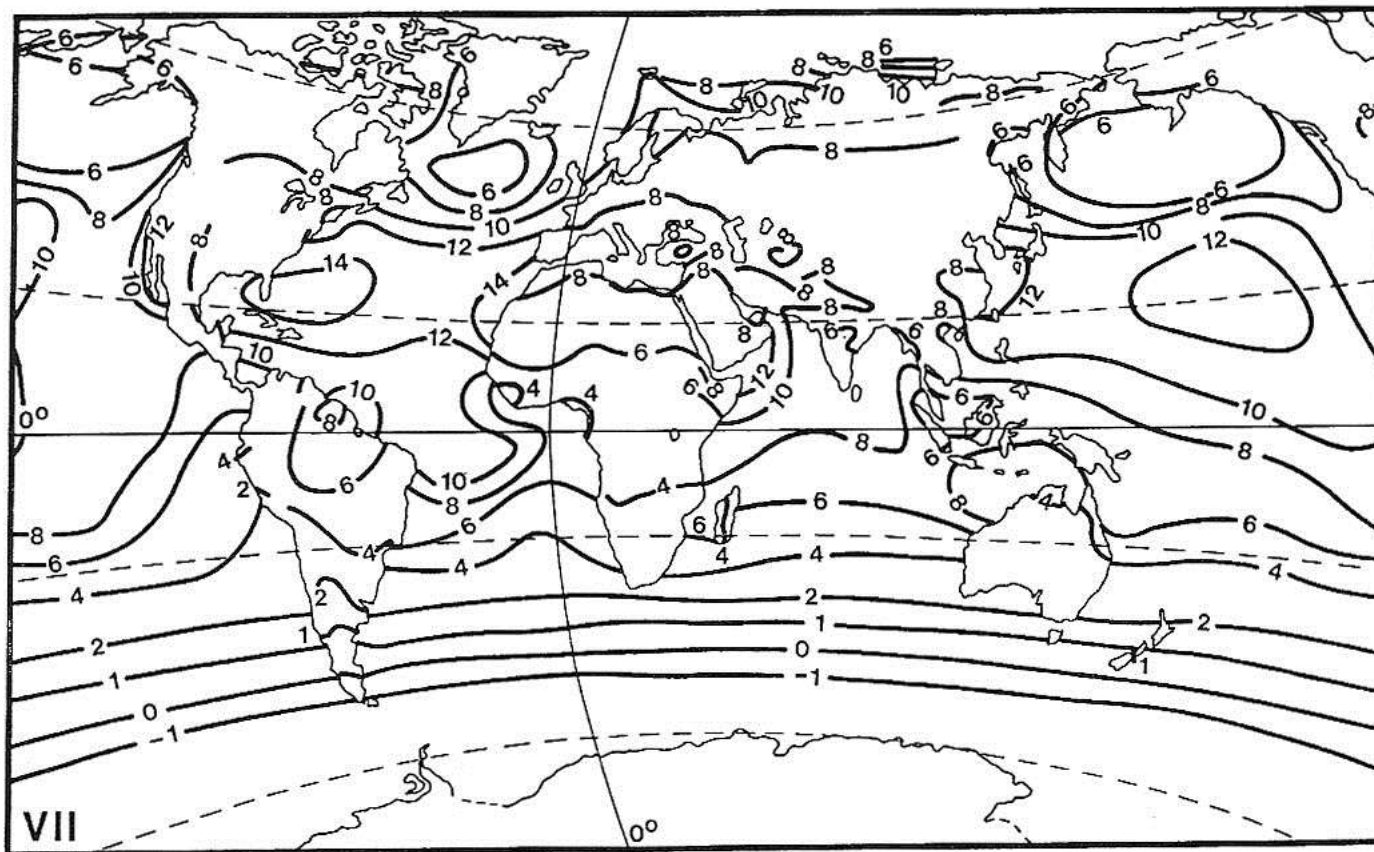
## Prostorna raspodjela na Zemlji:

- **siječanj**: najveća bilanca na južnoj hemisferi; veća nad oceanima nego nad kontinentima na istim geogr. širinama
- pojas najveće bilance: s obje strane južne obratnice → vedrine
- velik utjecaj albeda: manji albedo → veća bilanca



Sl. 55. Bilanca ukupne radijacije u siječnju ( $\text{kcal cm}^{-2} \text{mjesec}^{-1}$ ) (Fiziko-geografičeskij atlas mira, Moskva, 1964.)

- **srpanj**: kompliciranija raspodjela
- pojas najveće bilance pomiče se na sjever, subtropske anticiklone → maksimum radijacije, manji albedo
- rubni arktički krajevi - dugo trajanje sijanja sunca → velika bilanca



SI. 56. Bilanca ukupne radijacije u srpnju ( $\text{kcal cm}^{-2} \text{ mjesec}^{-1}$ ) (Fiziko-geografičeskij atlas mira, Moskva 1964.)