

# UPORABA SUNČEVE ENERGIJE

*ZA GRIJANJE VODE, PROSTORA I PROIZVODNJU EL. ENERGIJE*

## SUNČEVO ZRAČENJE

*prof.dr.sc. Mladen Andrassy*





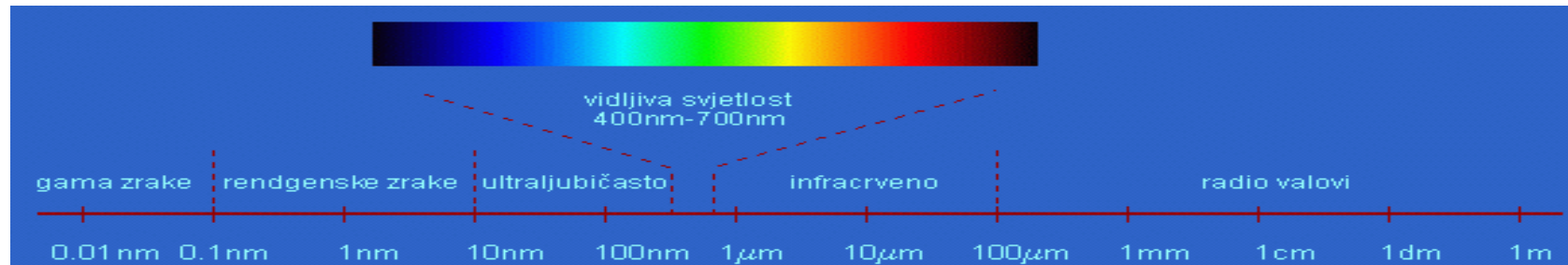
# SUNČEVO ZRAČENJE

## ■ SADRŽAJ:

- Elektromagnetsko zračenje
- Sunčevo zračenje - karakteristike
  - *energija Sunčevog zračenja*
  - *apsorpcija atmosfere*
  - *direktno i difuzno zračenje*
- Geometrijski odnos Sunce – Zemlja
- Zračenje na nagnutu plohu
- Optimalni kut nagiba kolektora
- Utjecaj stakla

# SUNČEVO ZRAČENJE

## Elektromagnetski spektar i e.m. zračenje



Sva tijela zrače!

Energija zračenja razmjerna temperaturi:

Stefan-Boltzmannov zakon:  $E = \sigma T^4$ ,  $W/m^2$

$\sigma = 5,667 \times 10^{-8} W/(m^2K^4)$  – Boltzmannova konstanta

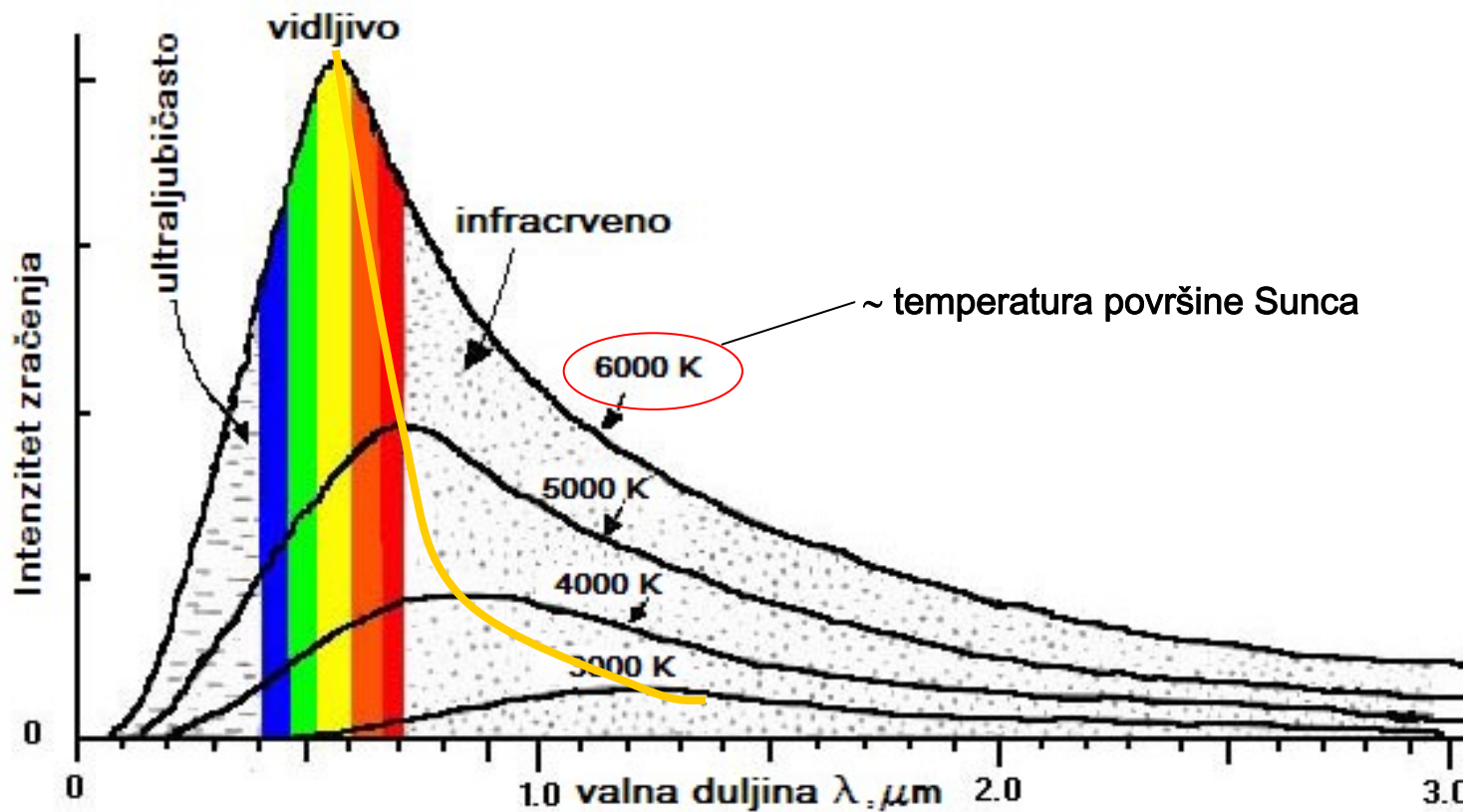
Intenzitet zračenja ovisi o valnoj duljini:

Planckov zakon razdiobe:  $E_\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5 [\exp(hc/\lambda kT) - 1]}$



# SUNČEVO ZRAČENJE

## Planckova spektralna razdioba zračenja



— Wienov zakon pomaka:  $\lambda_{\text{max}} = 2897,8 / T$  ,  $\mu\text{m}$

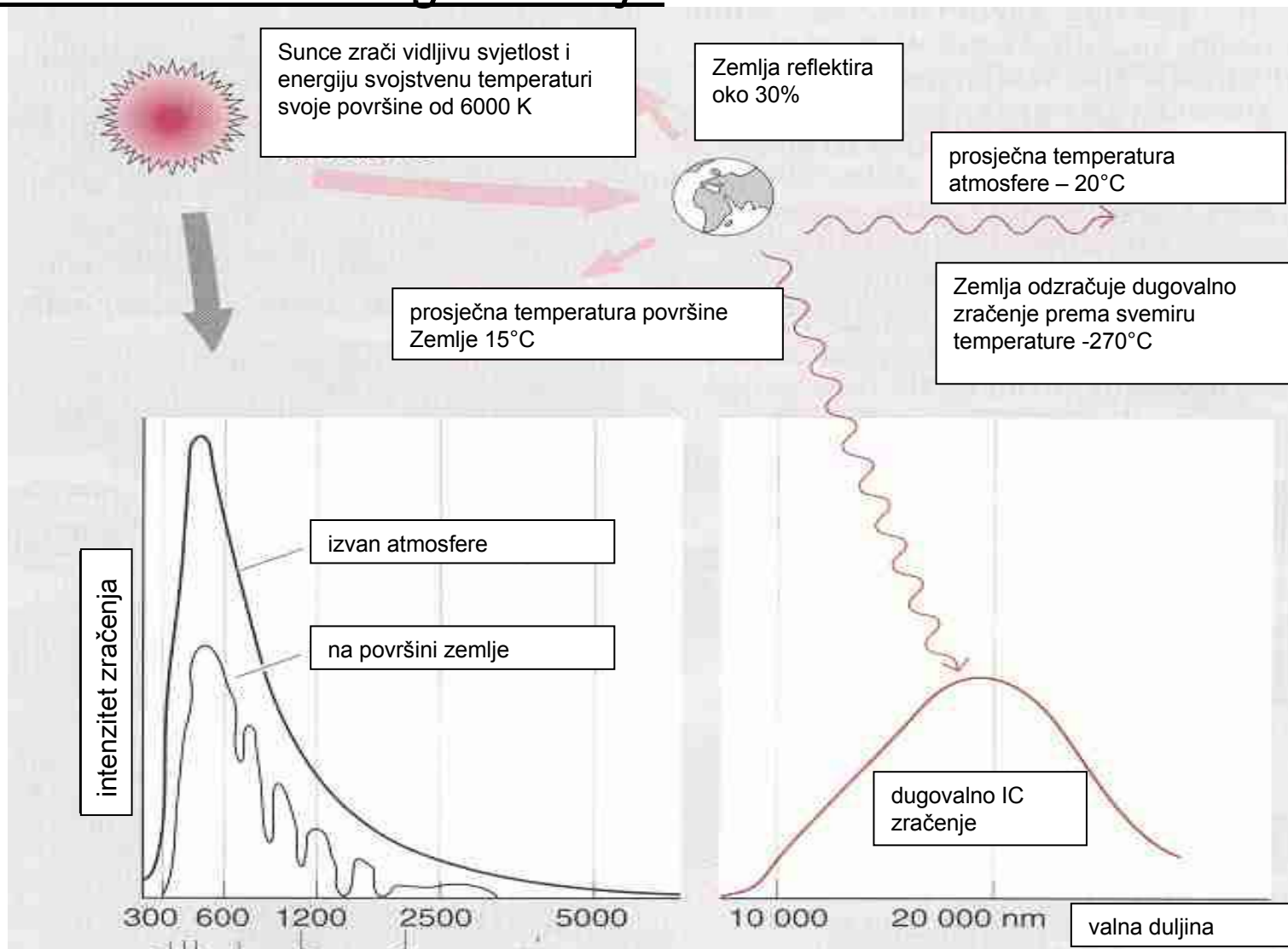
za  $T=6000$  K  $\rightarrow \lambda_{\text{max}} = 0,483$   $\mu\text{m}$





# SUNČEVO ZRAČENJE

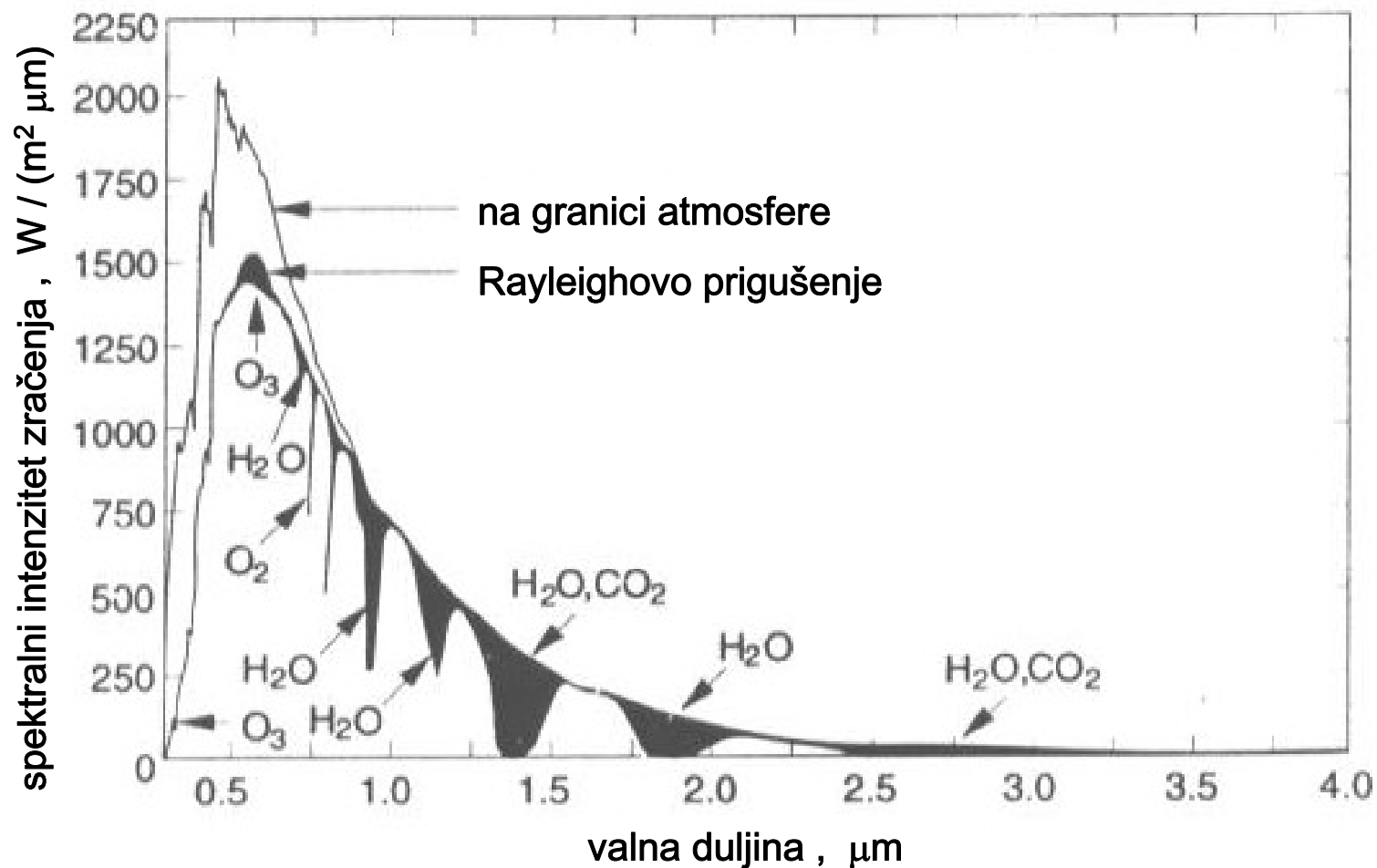
## Karakteristike sunčevog zračenja



# SUNČEVO ZRAČENJE

## Karakteristike sunčevog zračenja

Atmosferska apsorpcija na molekulama sastojaka zraka





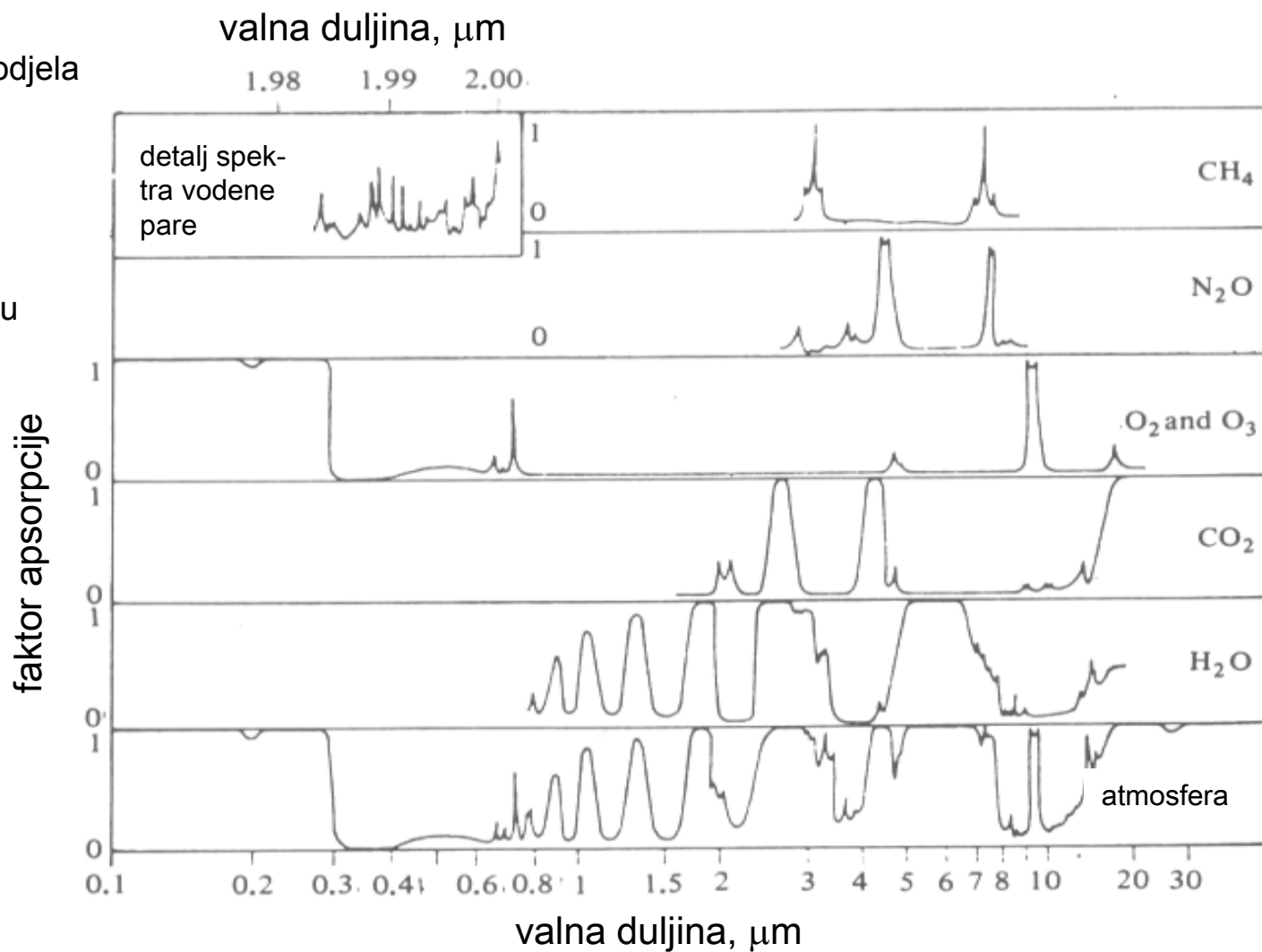
# SUNČEVO ZRAČENJE

## Karakteristike sunčevog zračenja

### Apsorpcijski “prozori” atmosfere

Spektralna raspodjela  
apsorpcije,  
karakteristični  
“pikovi”

Vrijedi za debljinu  
sloja cijele  
atmosfere



## SUNČEVO ZRAČENJE

### Energija sunčevog zračenja:

Ukupno zračenje sunca (termonuklearna energija)  $380\,000 \times 10^9$  TW

Do granice zemaljske atmosfere dopijeva 170 000 TW

Atmosfera reflektira 30% te energije

Na površinu Zemlje dopijeva 120 000 TW

9 000 puta više od proizvodnje primarne energije na Zemlji (13 TW)

Sunčeva konstanta:  $1367 \text{ W / m}^2$

Ukupno dozračena snaga na granici atmosfere

Dozračena energija se troši na:

- održavanje temperature oceana i kopna
- cirkulaciju atmosfere i vode (isparavanje)
- fotosintezu (30 TW ili 0,025%)

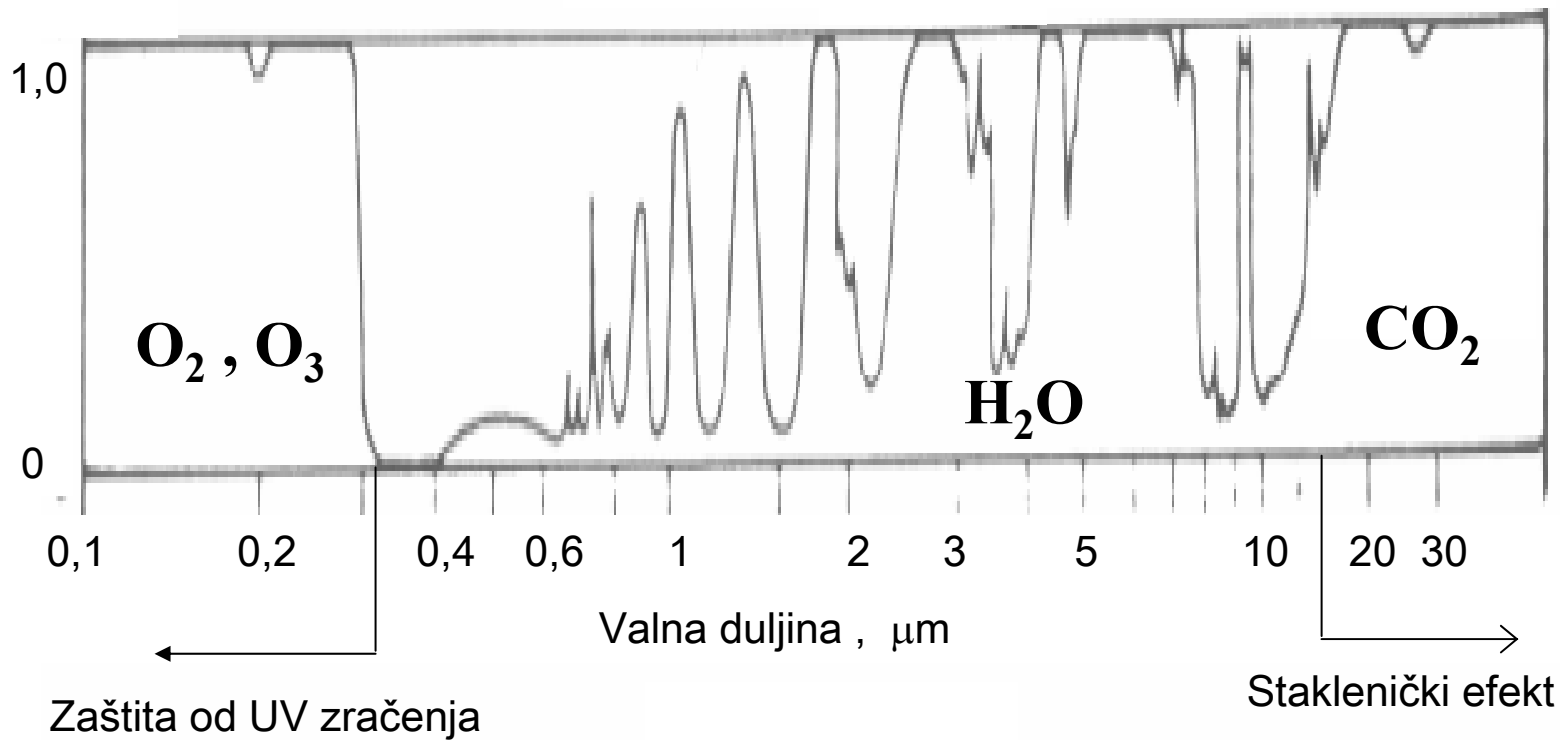
Narušena ravnoteža dozračene i odzračene energije: efekt staklenika





# SUNČEVO ZRAČENJE

Ukupna apsorpcija atmosfere



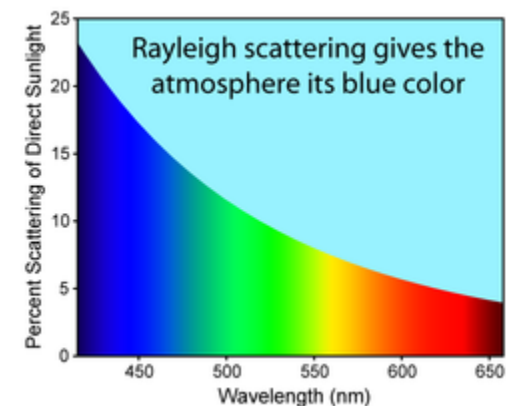
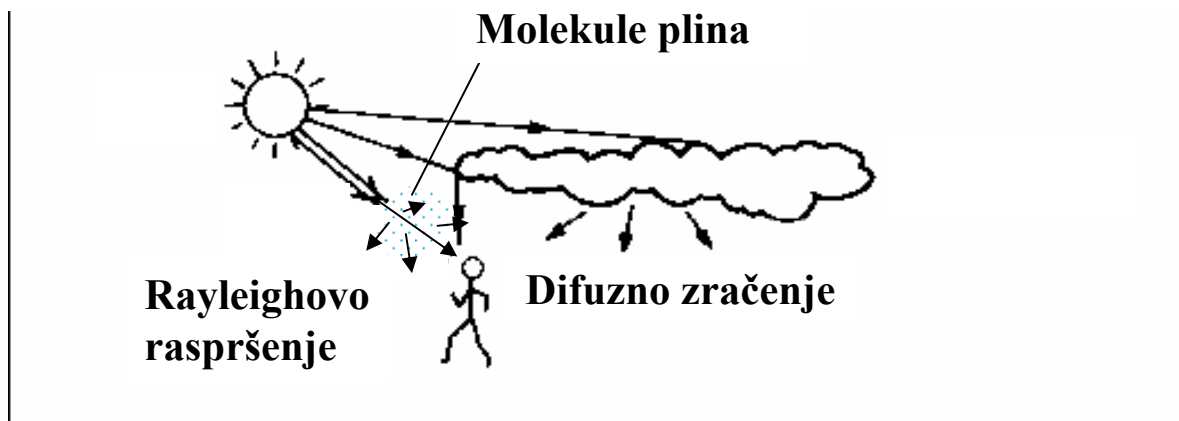
# SUNČEVO ZRAČENJE

## Direktno i difuzno zračenje

Zračenje dopire na zemlju kao izravno i difuzno (raspršeno)

Raspršenje se događa:

- na česticama vode (oblaci) i prašine
- na molekulama plinova u atmosferi (Rayleighovo raspršenje)



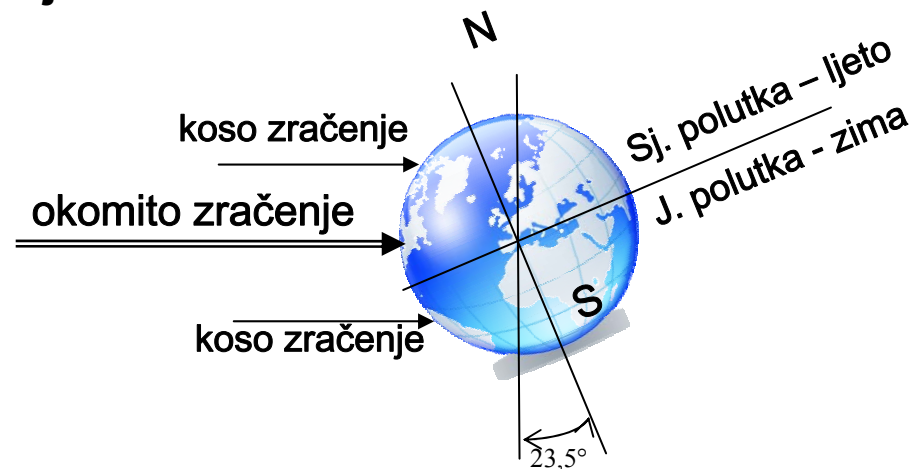
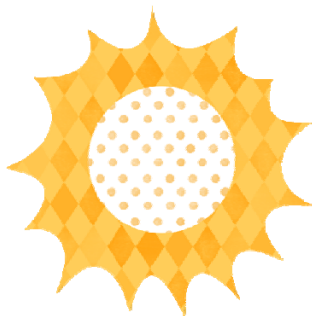
Udio difuznog zračenja je veći zimi a manji ljeti!



# SUNČEVO ZRAČENJE

## Geometrijski odnos Sunce – Zemlja

situacija na ljetni solsticij – 21. lipnja



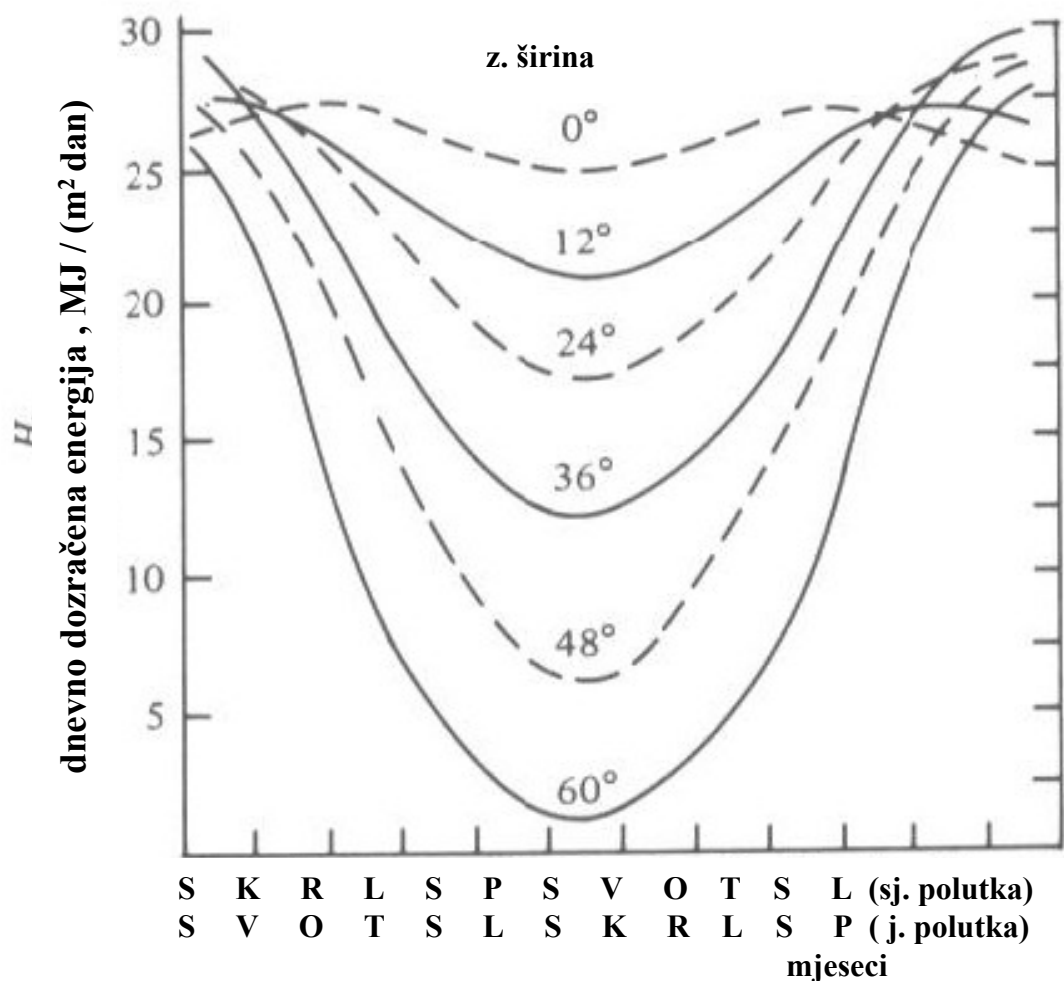
uslijed nagiba Zemljine osi prema ravnini ekliptike ( $23,5^\circ$ )  
nastupaju cikličke (godišnje) promjene dozračene energije





## SUNČEVO ZRAČENJE

Tok promjene dozračene energije na **horizontalnu plohu**

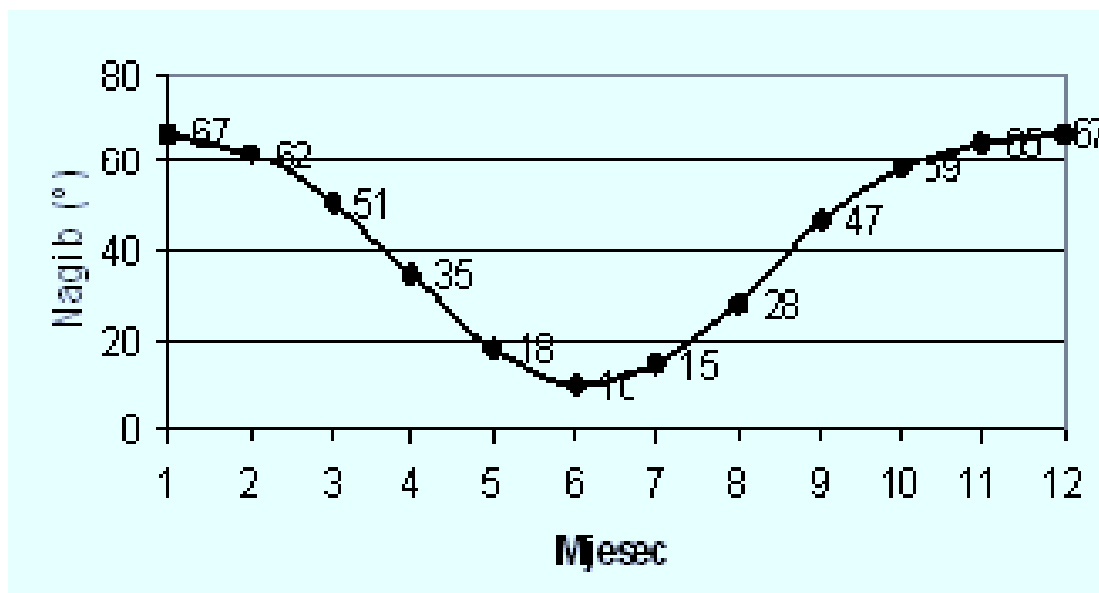


U svrhu optimalnog iskorištenja Sunčevog zračenja potrebno je uređaje za prijam nagnjati tako da uvijek primaju okomito direktno zračenje!

Za to bi bili potrebni skupi mehanički uređaji sa složenom automatikom

## SUNČEVO ZRAČENJE

Optimalni nagib kolektora  $\beta$  u stupnjevima za Zagreb ( $45^{\circ}50' N$ )

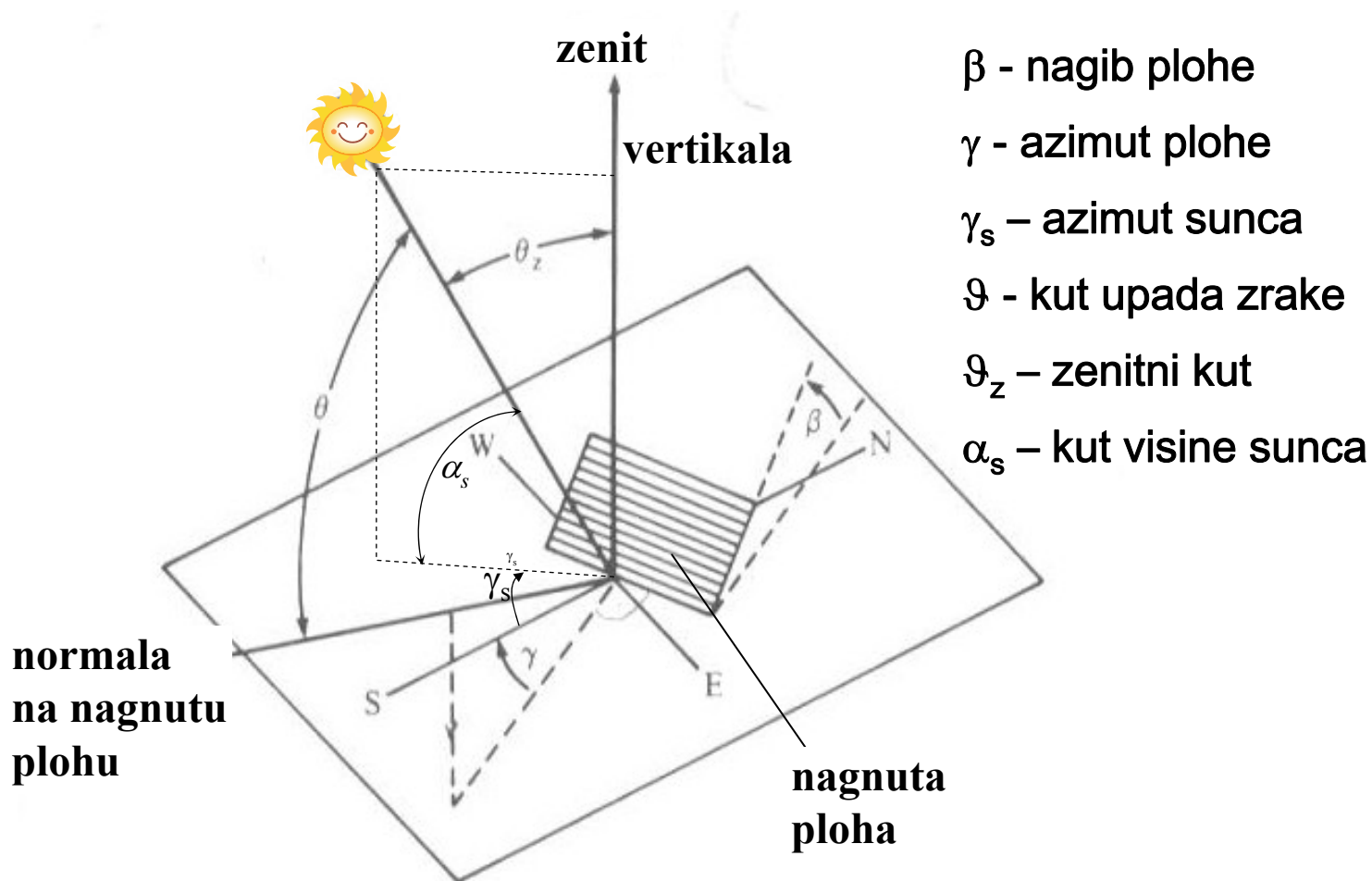


Za kolektor usmjeren prema jugu ( $\gamma = 0$ ) uz podešavanje nagiba kolektora dobiva se godišnje ukupno dozračenu energiju  $6900 \text{ MJ/m}^2$  a uz fiksni kut nagiba  $\beta = 45^{\circ}$   $6500 \text{ MJ/m}^2$  (5% manje). Podešavanje je isplativo samo za sezonsko korištenje. Npr. za lipanj – rujanj uz  $\beta = 20^{\circ}$  dobiva se 13% više nego s  $\beta = 45^{\circ}$



# SUNČEVO ZRAČENJE

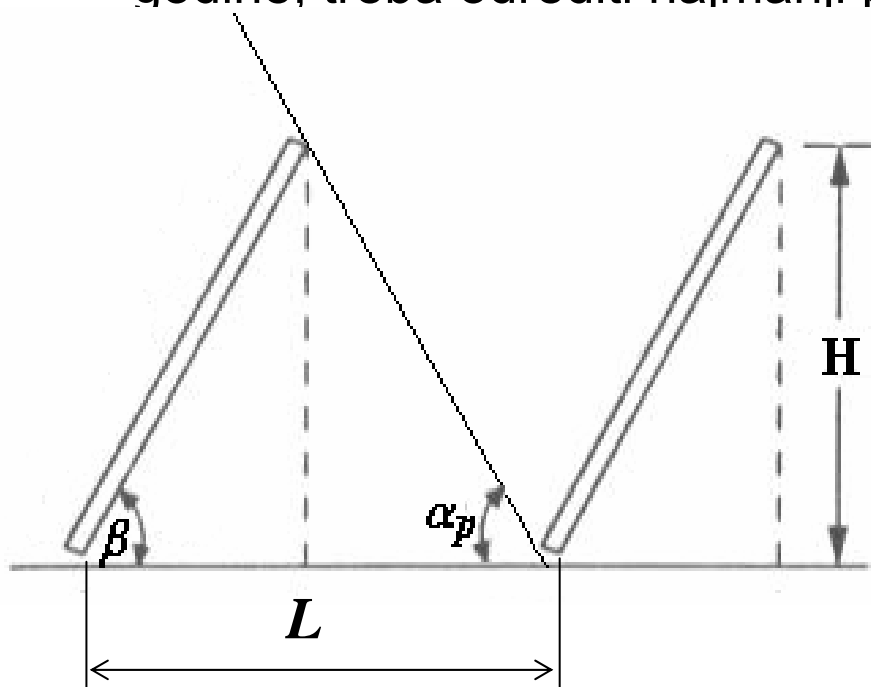
## Zračenje na nagnutu plohu



# SUNČEVO ZRAČENJE

## Zasjenjenje kolektora

Kako bi se izbjeglo međusobno zasjenjivanje kolektora tijekom godine, treba odrediti najmanji potrebni razmak redova  $L$ .



$$L = \frac{H}{\operatorname{tg} \beta} + \frac{H}{\operatorname{tg} \alpha_p} \quad \text{gdje je}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_p = \frac{\operatorname{tg} \alpha_s}{\cos(\gamma_s - \gamma)}$$

projekcija  $\alpha_s$  na ravninu okomitu na plohu kolektora.

Proračun se radi za naj-nepovoljniji  $\alpha_p$

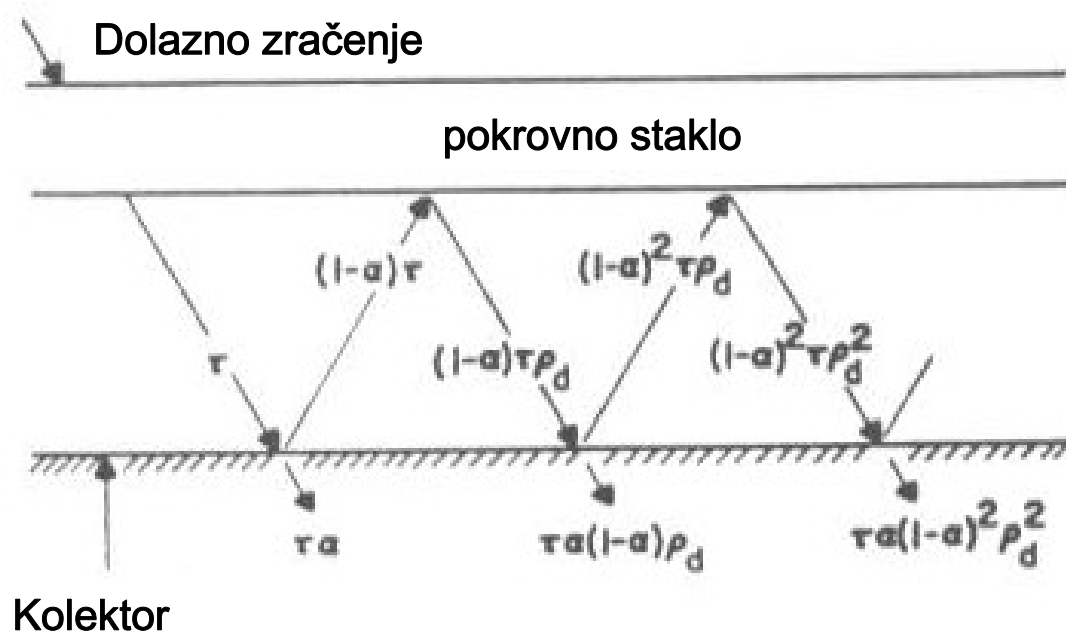


# SUNČEVO ZRAČENJE

## Utjecaj pokrovnog stakla kolektora

Pokrovno staklo štiti od gubitaka topline:

- konvektivnih
- radijacijskih



Gubici zračenja zbog stakla:

Dio zračenja ne prolazi kroz staklo (apsorpcija + refleksija).

Važno svojstvo stakla:

Faktor transmisije:

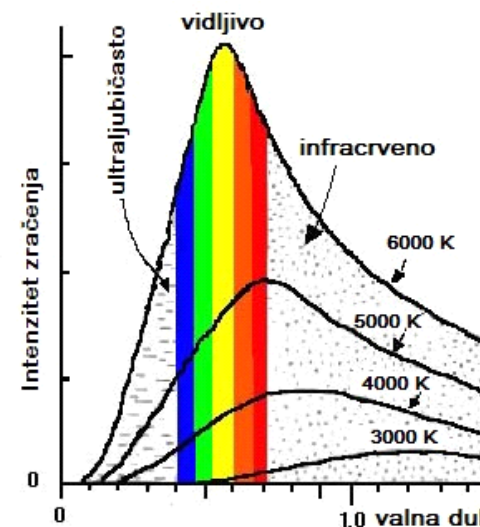
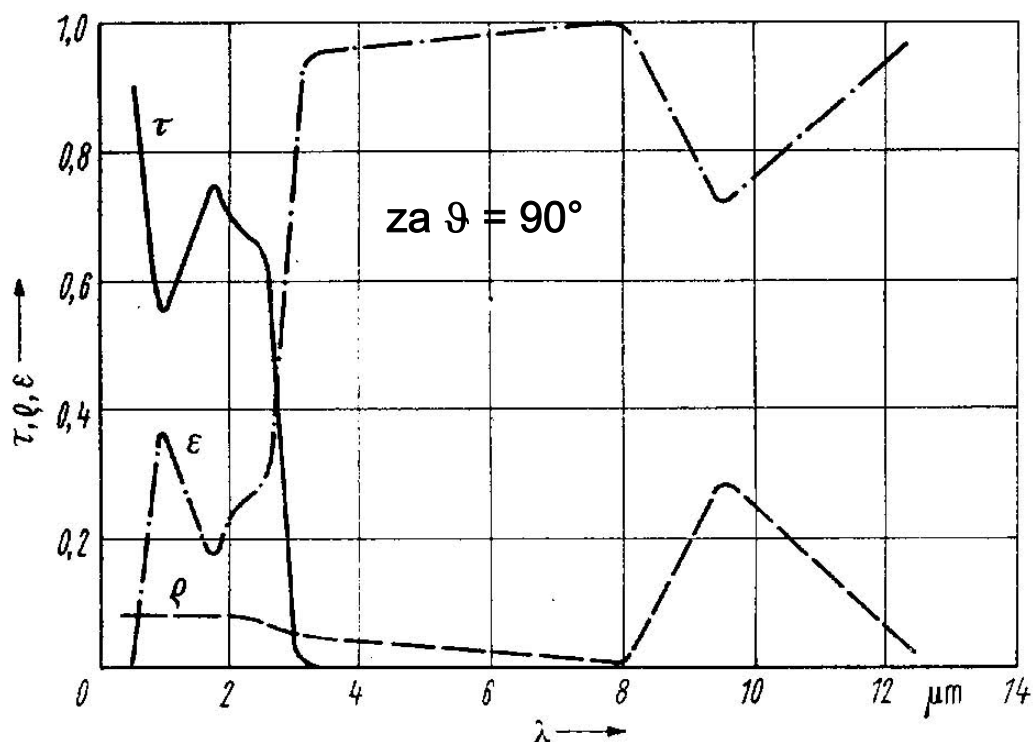
$$\tau = \frac{\text{propušteno}}{\text{upadno}}$$



# SUNČEVO ZRAČENJE

## Faktor transmisije stakla

$\tau$  ovisi o valnoj duljini  $\lambda$  i o kutu upada zračenja  $\vartheta$



Staklo propušta kratkovalno zračenje – zračenje Sunca  $T = 6000 \text{ K} - \lambda_{\text{max}} = 0,5 \mu\text{m}$

Staklo ne propušta dugovalno zračenje – zračenje kolektora  $T = 350 \text{ K} - \lambda_{\text{max}} = 8,6 \mu\text{m}$





# OSTALI NAČINI KORIŠTENJA SUNČEVE ENERGije



## OSTALI NAČINI KORIŠTENJA SUNČEVE ENERGIJE

### SADRŽAJ:

- Solarno hlađenje i grijanje dizalicom topline
  - Načelo dizalice topline
    - mehaničke
    - apsorpcijske
    - adsorpcijske
- Solarni bazeni
- Desalinizacija (morske) vode
- Fotonaponske ćelije
  - načelo rada
  - vrste i karakteristike
  - osnovni dijelovi sustava
  - primjeri primjene

# OSTALI NAČINI KORIŠTENJA SUNČEVE ENERGIJE

## SOLARNO HLAĐENJE I GRIJANJE DIZALICOM TOPLINE

**Dizalica topline:** uređaj kojim se toplina izvora topline niske temperature dovodi na višu temperaturnu razinu ponora topline

**II glavni stavak termodinamike:** za to je potrebna neka vrsta pogonske energije

**Pri solarnom hlađenju Sunčeva energija može služiti:**

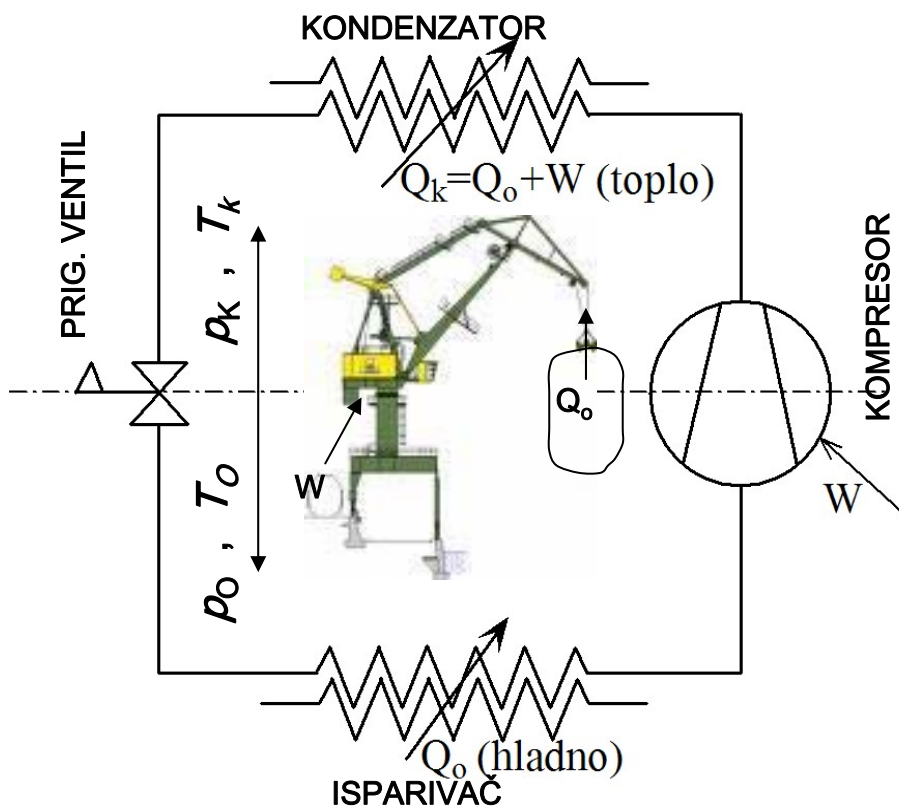
- za pogon dizalice topline
  - izravno, kod apsorpcijskih i adsorpcijskih d.t.
  - neizravno, kao izvor el. energije, kod mehaničkih d.t.
- kao izvor topline d.t.



# OSTALI NAČINI KORIŠTENJA SUNČEVE ENERGIJE

## NAČELO RADA DIZALICE TOPLINE

Mehanička dizalica topline



Radne tvari: freoni, amonijak, CO<sub>2</sub>, metil klorid, izobutan ...

Bilanca energije:

$$Q_0 + W = Q_k$$

Pokazatelji dobrote (COP):

za rashladni režim –

faktor hlađenja:

$$\varepsilon_0 = Q_0 / W$$

za ogrjevni režim –

faktor grijanja:

$$\varepsilon_g = Q_k / W = \varepsilon_0 + 1$$

Za ogrjevno-rashladni režim –

faktor pretvorbe:

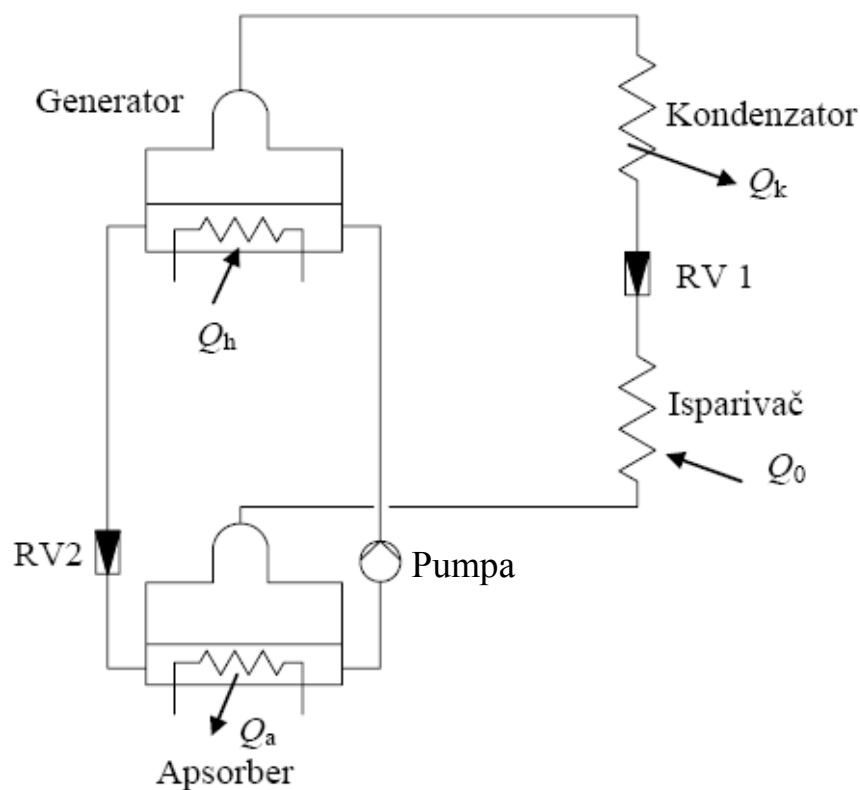
$$\xi = (Q_0 + Q_k) / W = 2\varepsilon_0 + 1$$



# OSTALI NAČINI KORIŠTENJA SUNČEVE ENERGIJE

## SOLARNO HLAĐENJE I GRIJANJE DIZALICOM TOPLINE

Apsorpcijska dizalica topline



Rad se temelji na svojstvu dvojnih smjesa da topla otopina niže koncentracije može apsorbirati hladniju paru više koncentracije!

Pogon generatora zahtijeva  $>80^\circ$

Faktori hlađenja, grijanja i pretvorbe znatno slabiji od m.d.t.

Najčešće samo za hlađenje -  $\varepsilon_\theta = 0,6 - 0,8$ .

Pri pogonu Sunčevim kolektorima  $Q_0/Q_{\text{sunca}} = 0,1 - 0,15$

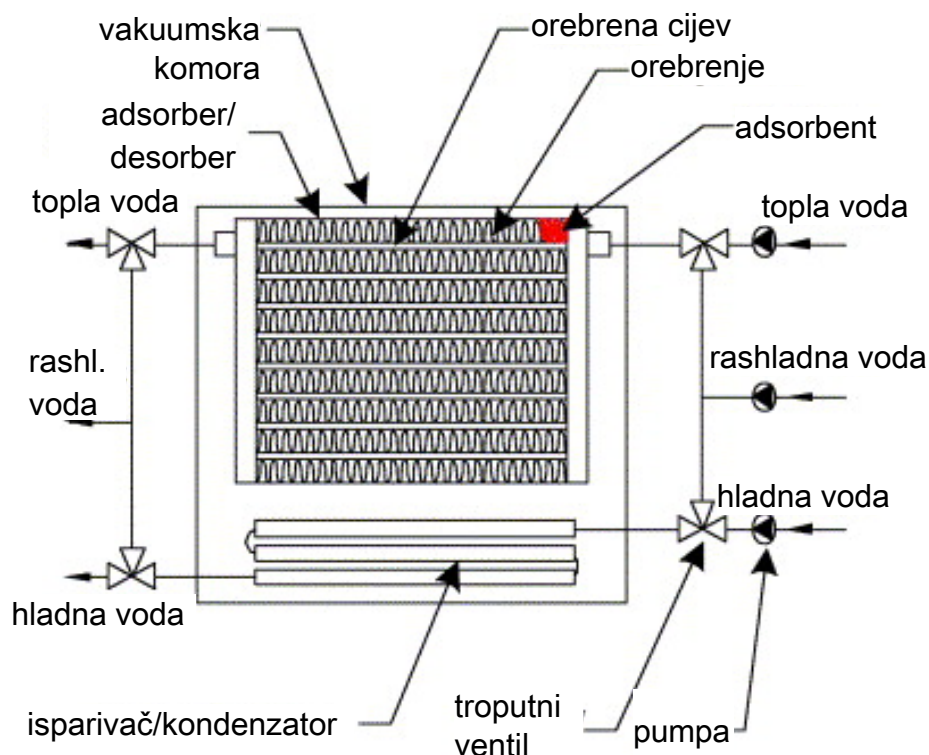
Radne tvari su dvojne smjese:  
amonijak-voda, voda-litijev bromid



# OSTALI NAČINI KORIŠTENJA SUNČEVE ENERGIJE

## SOLARNO HLAĐENJE I GRIJANJE DIZALICOM TOPLINE

### Adsorpcijska dizalica topline



Rad u dva ciklusa:

**Adsorpcija/isparivanje (hlađenje):** hlađena voda stuji kroz isparivač i predaje toplinu radnoj tvari u vakuumskoj komori. Pare se adsorbiraju u silika gelu (egzotermno – rashl. voda)

**Desorpcija/kondenzacija (regeneracija):** topla voda struji kroz desorber i regenerira silika gel. Para radne tvari kondenzira na kondenzatoru hlađenom rashl. vodom.

Za isparivanje pri 10°C potreban 99% vakuum (aps. tlak 0,012 bar)

Radna tvar: voda, Adsorbent: silika gel



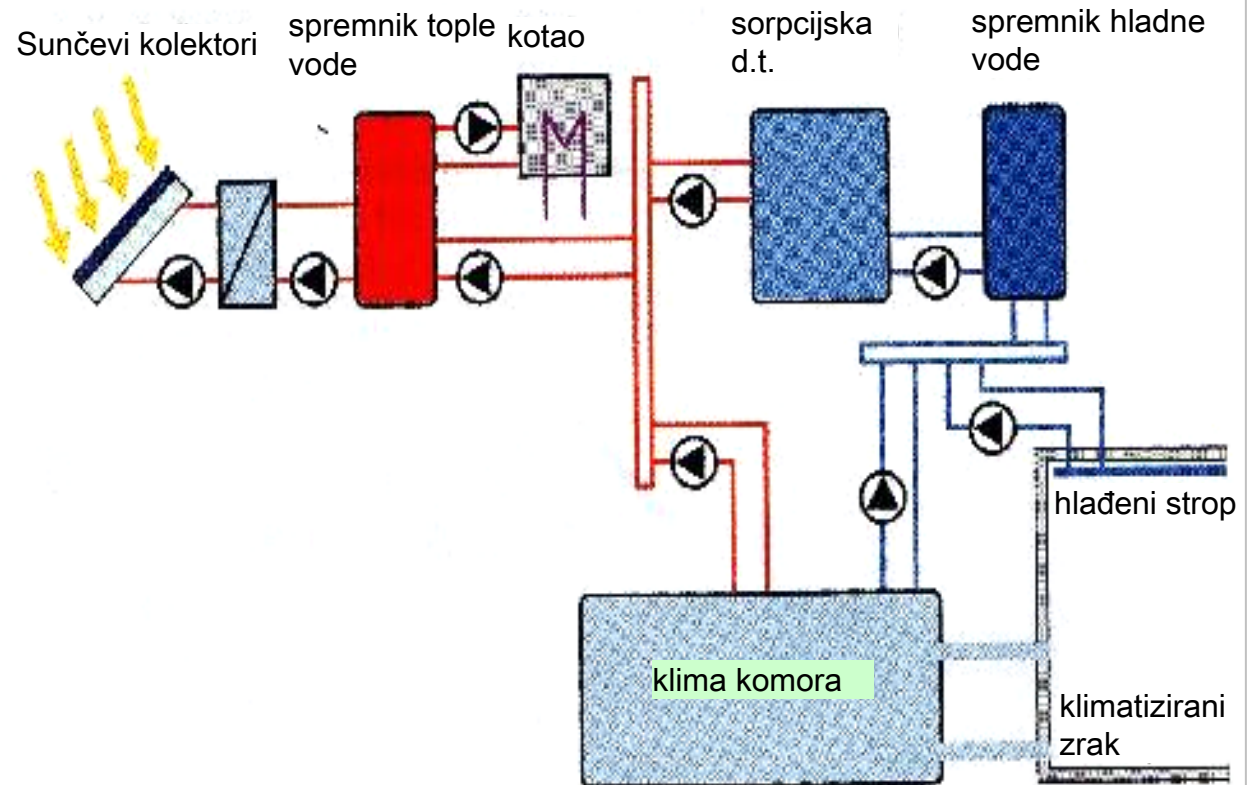
# OSTALI NAČINI KORIŠTENJA SUNČEVE ENERGIJE

## SOLARNO HLAĐENJE I GRIJANJE DIZALICOM TOPLINE

### Shema klimatizacije sa sorpcijskom dizalicom topline

#### Karakteristike

- rashl. učinak u skladu s insolacijom
- Solarni sustav se može priključiti na postojeći sustav aparata (fan-coil, podno grijanje)

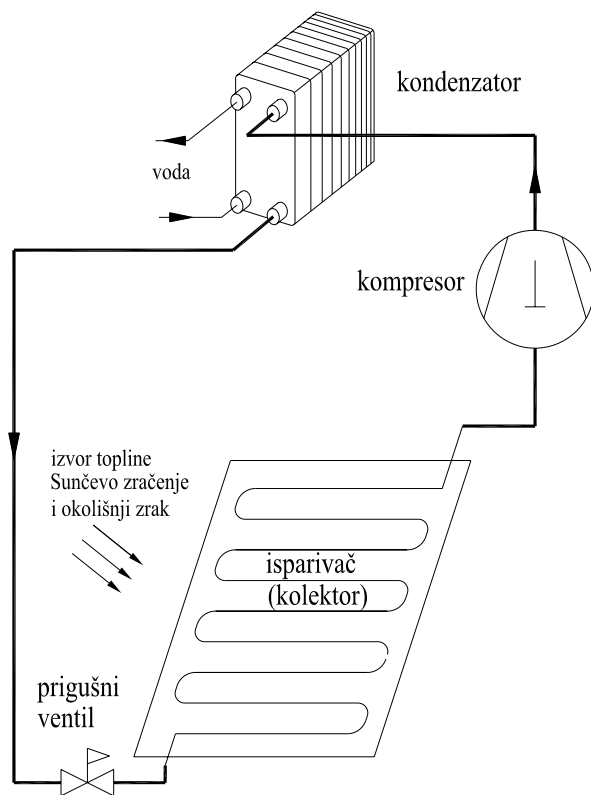


# OSTALI NAČINI KORIŠTENJA SUNČEVE ENERGIJE

## SOLARNO HLAĐENJE I GRIJANJE DIZALICOM TOPLINE

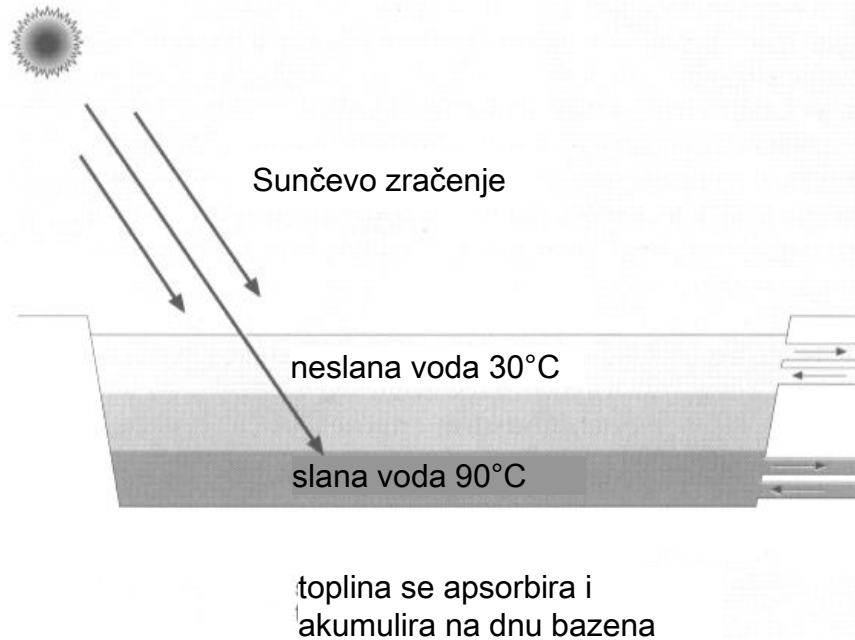
Sunčeva energija kao izvor topline za D.T.

Kompresijska D.T. (FSB) s otvorenim kolektorom kao izvorom topline



# OSTALI NAČINI KORIŠTENJA SUNČEVE ENERGIJE

## SOLARNI BAZENI – akumulatori topline



Jeftinije od kolektora sa spremnikom

Objedinjen kolektor i spremnik

Toplina se apsorbira na dnu i grije vodu

Voda zasoljena – topivost raste s temp.

Slanija voda ostaje na dnu toplija

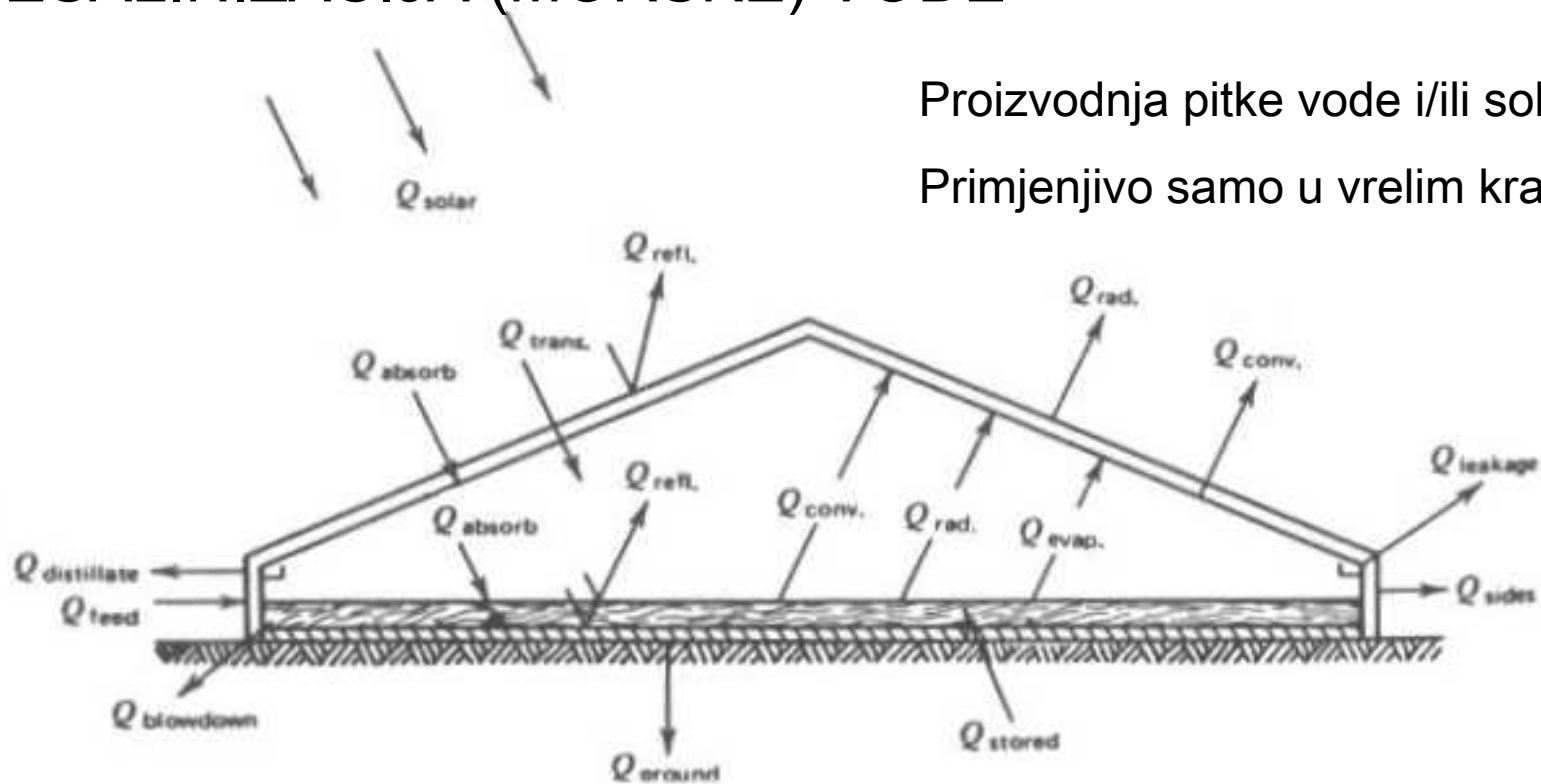
Površinska voda za hlađenje

Eksperimentalno: realizacija kružnog procesa (npr. Stirlingov motor)



# OSTALI NAČINI KORIŠTENJA SUNČEVE ENERGIJE

## DESALINIZACIJA (MORSKE) VODE



Proizvodnja pitke vode i/ili soli

Primjenjivo samo u vrelim krajevima

Dno bazena premazano apsorpcijskim premazom, kosi pokrov proziran za Sunčevo zračenje, tanki sloj slane vode isparava, para kondenzira na pokrovu i cijedi se u sabirnik



## Pasivno solarno grijanje

Tri osnovna načina pasivnog solarnog grijanja su direktno grijanje, termo-akumulacijski zid (Thombe wall) i zimski vrt.

### Direktno grijanje

Velike prozorske površine koriste se za propuštanje sunčevog zračenja u prostore zgrade gdje se sunčeva energija apsorbira i akumulira u zidovima većeg toplinskog kapaciteta (npr. beton velike gustoće, cigla).

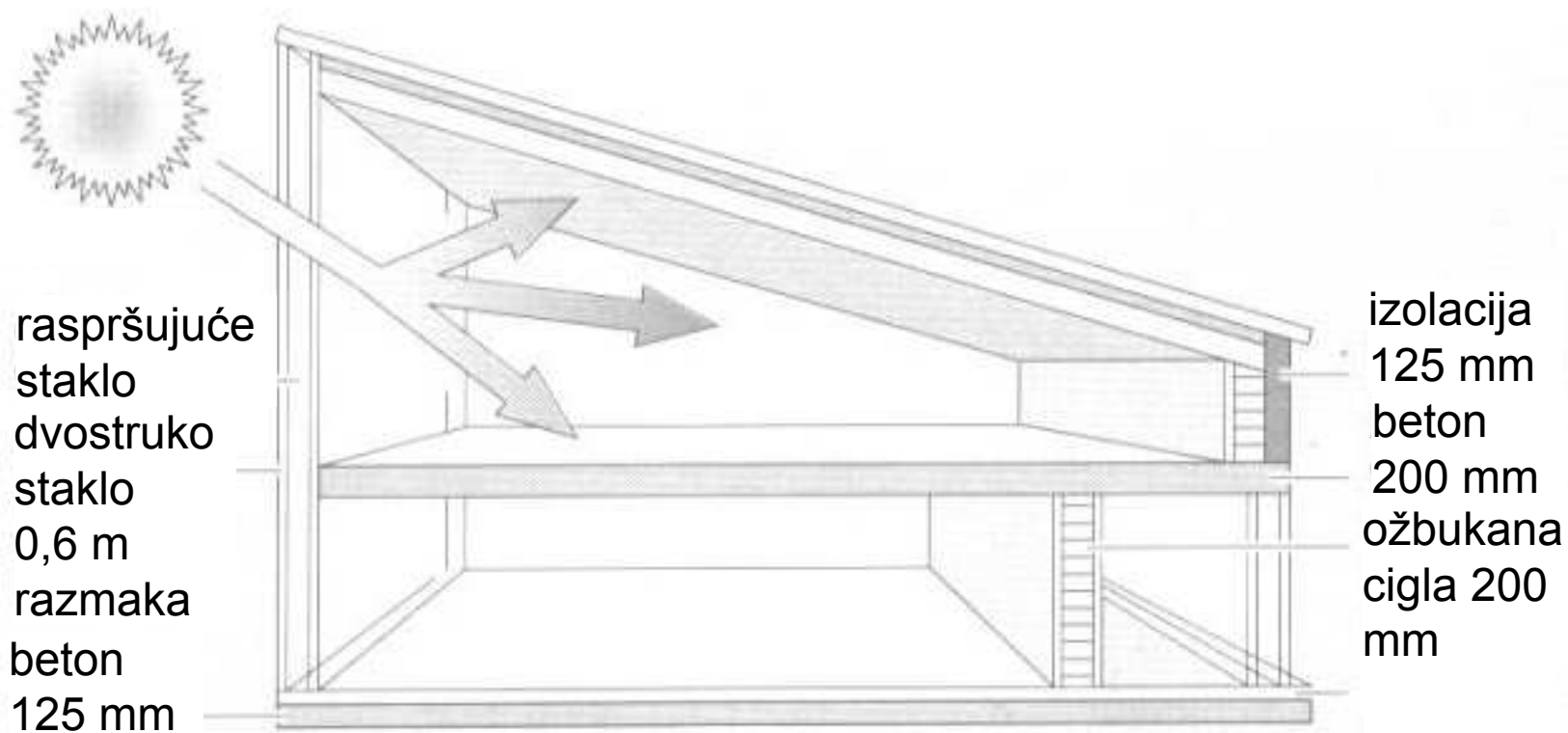
Prozore je najbolje smjestiti na južnim fasadama, pri čemu bi dnevne i spavaće sobe trebale biti smještene na toj strani kuće, dok se ostale prostorije poput kuhinje, kupaonice itd. smještaju u sjevernim dijelovima kuće.





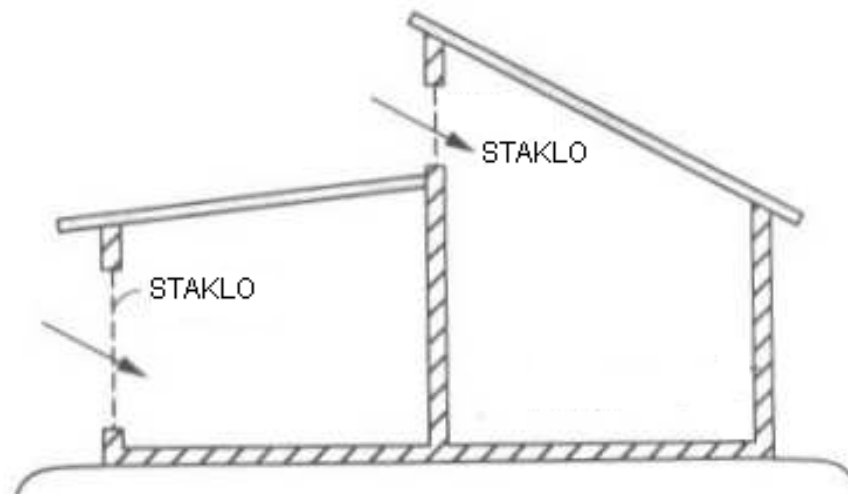
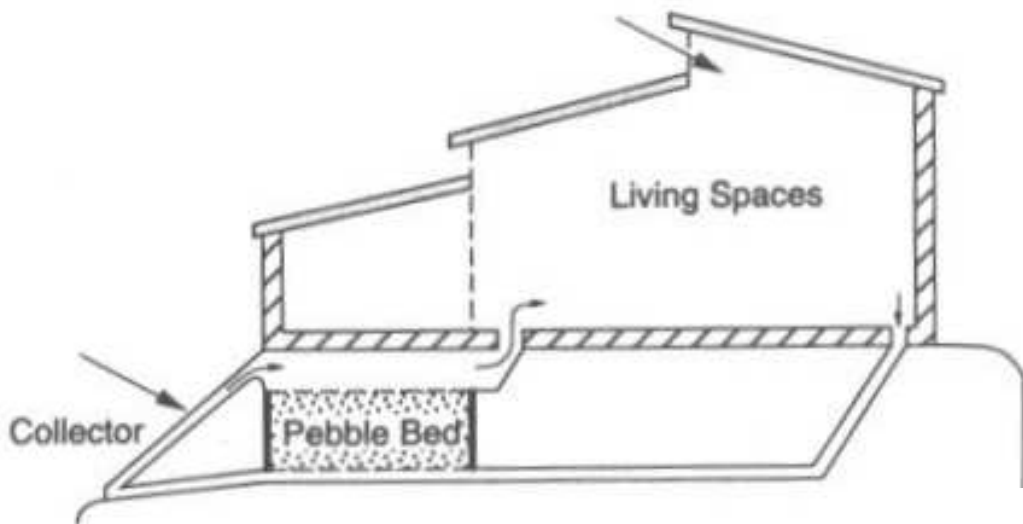
# Pasivno solarno grijanje

## Direktno solarno grijanje



# Pasivno solarno grijanje

## Direktno solarno grijanje



## Pasivno solarno grijanje

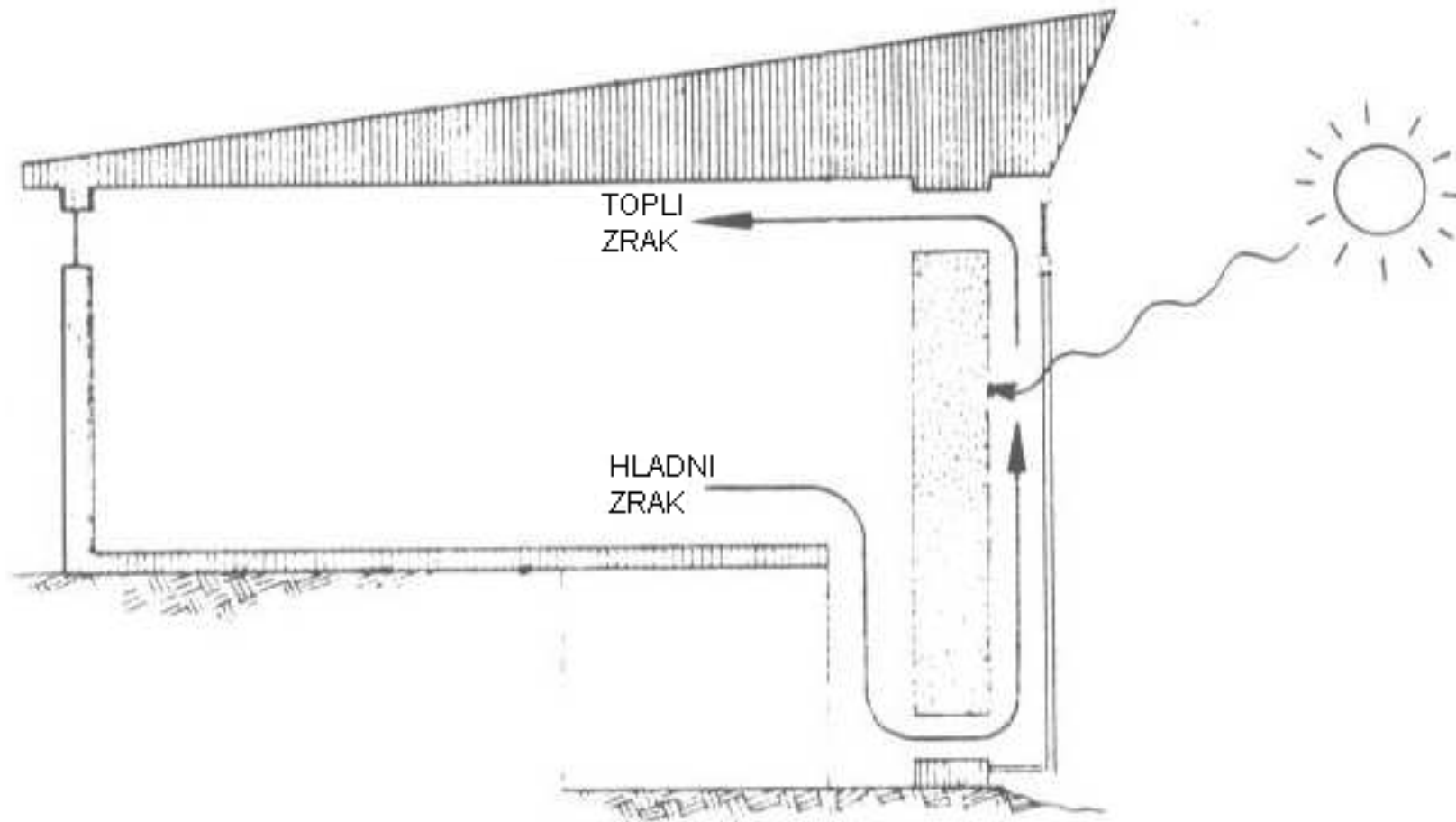
### Termo-akumulacijski zid (Thombe wall)

Veće količine sunčeve energije mogu se na kontrolirani način prikupiti uz pomoć termo-akumulacijskog zida-solarnog kolektora poznatog još kao Thombe wall. Isti se sastoji od betonske ploče (debljine 30-tak cm) pokrivena staklom izvana. Zrak cirkulira slobodnom konvekcijom (ili iznimno uz pomoć ventilatora) između stakla i apsorbera-betonske ploče. Pokretna izolacija se može koristiti za smanjivanje toplinskih gubitaka u dane s niskom insolacijom, dok se ljeti njome sprječava pregrijavanje zida odnosno prostora.



# Pasivno solarno grijanje

## Thombe wall



## Pasivno solarno grijanje

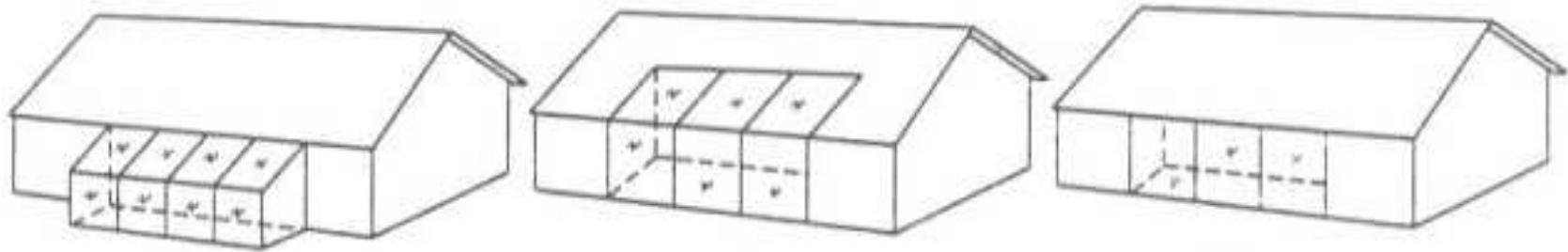
### Zimski vrt (staklenik)

Zimski vrt djeluje poput solarnog kolektora gdje ulogu apsorbera imaju zidovi (velikog toplinskog kapaciteta) i pod. Istovremeno time se osigurava i dodatni prostor boravka čime se jedino mogu opravdati visoki troškovi ugradnje. Zagrijani zrak iz zimskog vrta se distribuira u ostatak kuće kroz otvore slobodnom konvekcijom ili pak ventilatorom.



# Pasivno solarno grijanje

## Zimski vrt (staklenik)- načini ugradnje



# OSTALI NAČINI KORIŠTENJA SUNČEVE ENERGIJE

## FOTONAPONSKE ČELIJE

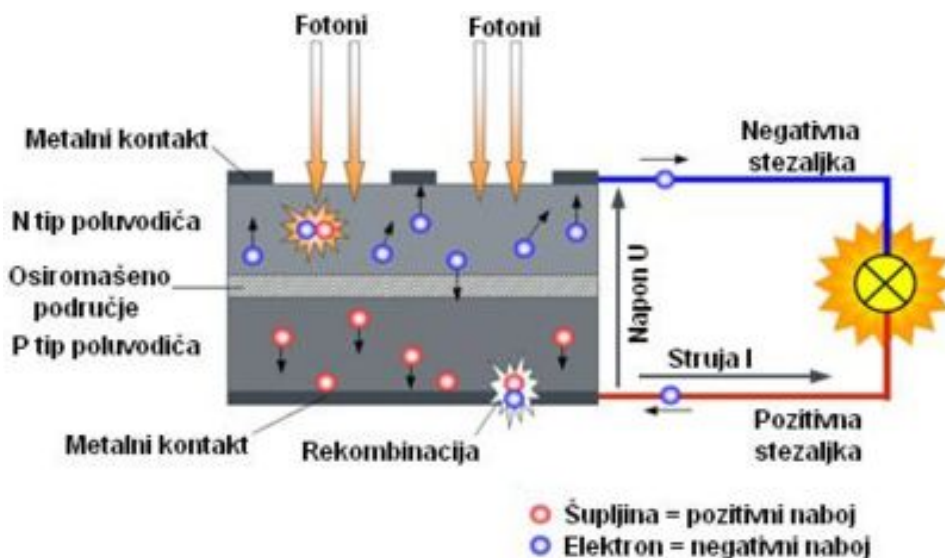
pretvaraju energiju sunčevog zračenja u električnu.



# OSTALI NAČINI KORIŠTENJA SUNČEVE ENERGIJE

## FOTONAPONSKE ČELIJE

Otkrio Becquerel 1839., objasnio Einstein 1905. – Nobelova nagrada 1921.



Princip rada: fotoelektrični efekt

Pod djelovanjem fotona izbijaju se elektroni iz osiromašenog područja PNspoja (obično silicij) i putuju prema neg. sabirniku a pozitivne čestice (šupljine) poz. sabirniku – EM sila (napon). Strujni krug kroz trošilo.

Napon jedinične ćelije: 0,5 V

Gustoća struje: od 50 A/m<sup>2</sup> na više  
 ovisno o: vrsti materijala ćelije i  
 intenzitetu zračenja

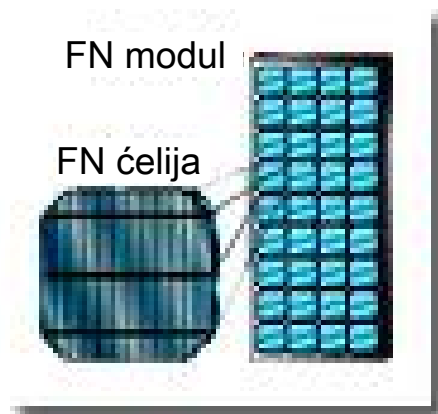
Vrste:

- amorfne,  $\eta = 4$  do 6 %
- polikristalne,  $\eta = 10\%$
- monokristalne,  $\eta = 15\%$



# OSTALI NAČINI KORIŠTENJA SUNČEVE ENERGIJE

## FOTONAPONSKE ČELIJE



### Fotonaponski moduli

- serijski spoj ćelija za potreban napon, npr. 24 za 12 V
- paralelni spoj za snagu: npr. oko 1,5 m<sup>2</sup> za 100 W (pri 1000 W/m<sup>2</sup> insolacije)

### Primjena fotonaponskih modula:

- za autonomiju napajanja: npr. svjetionici, parking automati, autoceste, elektronički uređaji, svemirske letjelice
- u nedostatku komunalnog električnog napajanja: kuće za odmor i sl.
- komercijalna proizvodnja el.energije: EU do 2010 – 3000 MW



# OSTALI NAČINI KORIŠTENJA SUNČEVE ENERGIJE

## FOTONAPONSKE ČELIJE

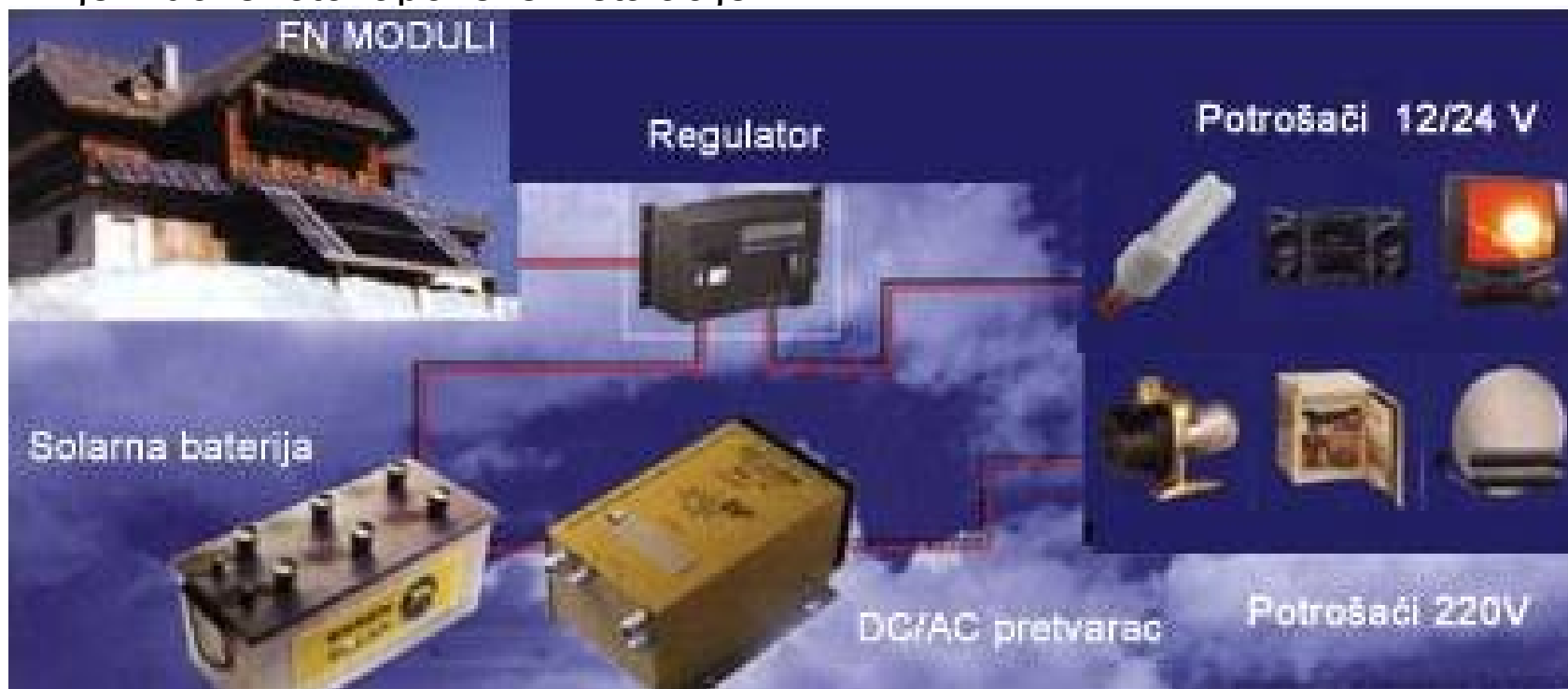
Primjeri uporabe za autonomiju napajanja



# OSTALI NAČINI KORIŠTENJA SUNČEVE ENERGIJE

## FOTONAPONSKE ČELIJE

Primjer kućne fotonaponske instalacije



Potreban akumulator za pohranu energije i izjednačavanje opterećenja

Za pogon potrošača izmjenične struje potreban inverter – DC/AC pretvarač

Gubici u pretvorbi smanjuju stupanj djelovanja sustava

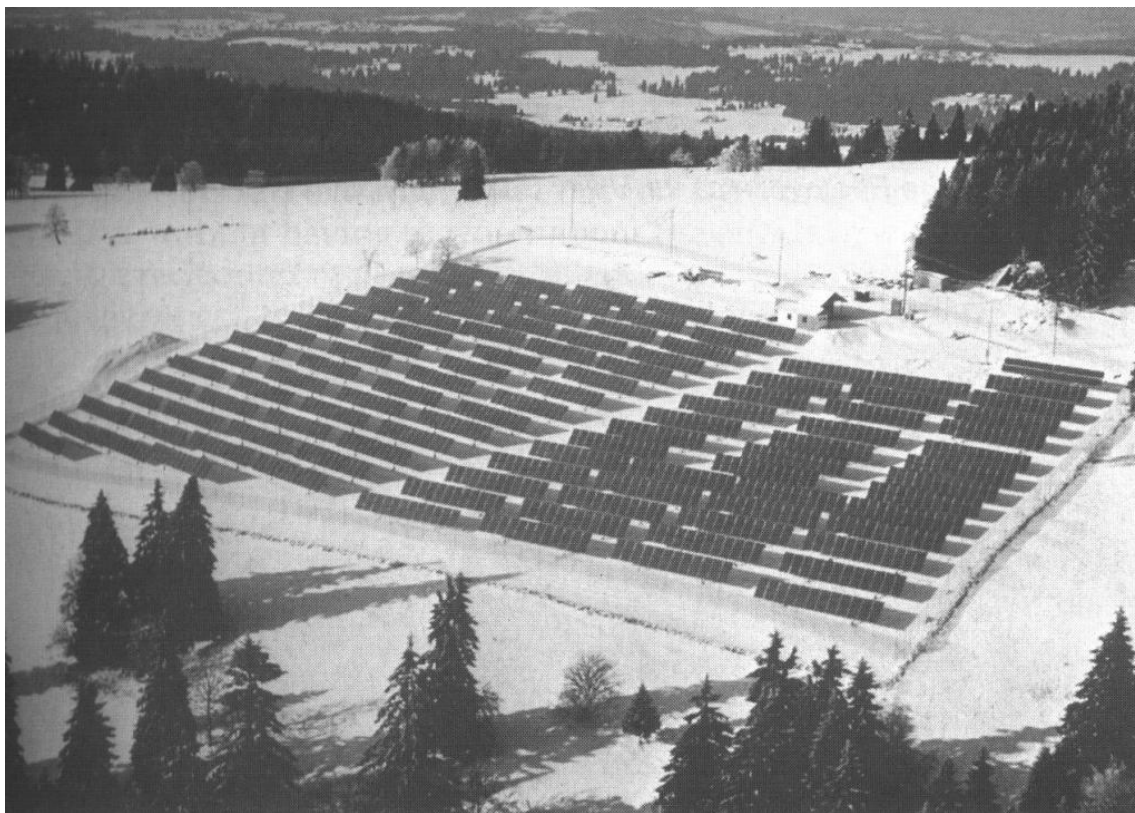


# OSTALI NAČINI KORIŠTENJA SUNČEVE ENERGIJE

## FOTONAPONSKE ČELIJE

Primjeri korištenja

Phalk Mont Soleil, Švic. (Bern), 0,02 km<sup>2</sup>, 500 kW, 700 MWh/god, 5 mil. EUR (1992.), monokristal Si



Problemi:

globalno:

-slaba iskoristivost

-visoka cijena:

8 – 10 Eur/W

Hrvatska:

-izostanak poticaja

-poteškoće pri  
ishođenju suglasnosti  
za priključak na mrežu





## SUNČEVO ZRAČENJE

Hvala na pozornosti