



# Sluneční energie, fotovoltaický jev

**Ing. Pavel Hrzina, Ph.D. - Laboratoř diagnostiky fotovoltaických systémů**

**Katedra elektrotechnologie K13113**

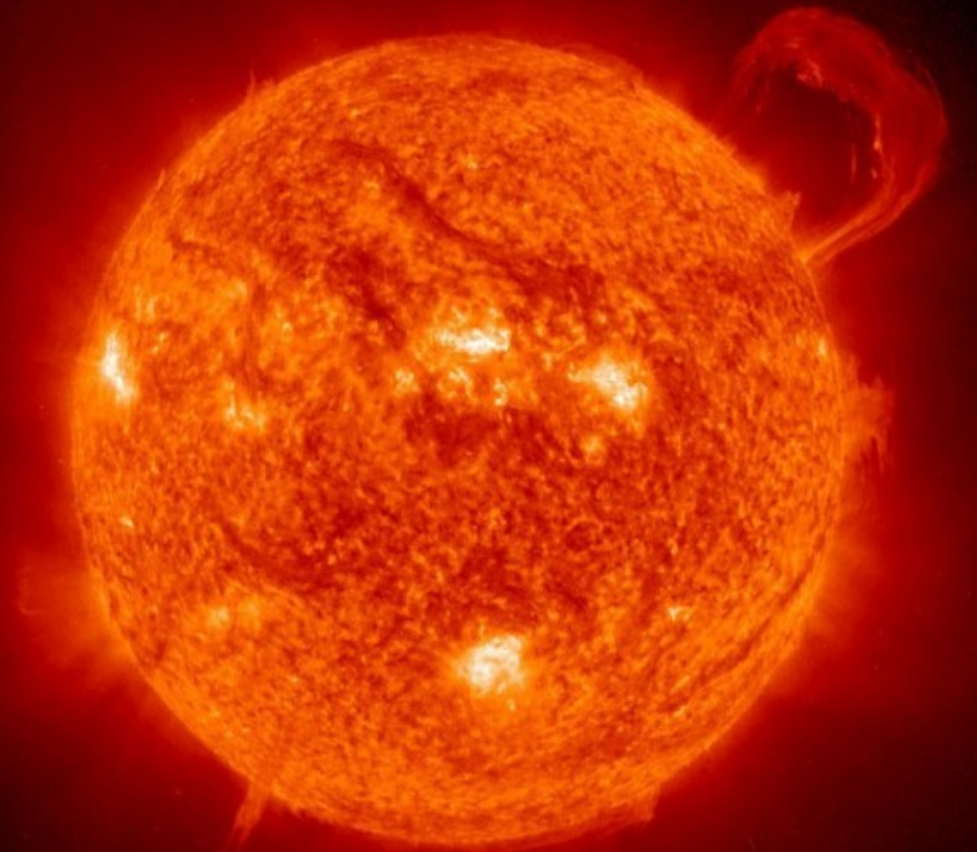


## Osnova přednášky

- Slunce jako zdroj energie
- Vlastnosti slunečního záření
- Slunce v různých zeměpisných pásmech
- Využití energie slunce
- Fotovoltaický jev



# Slunce



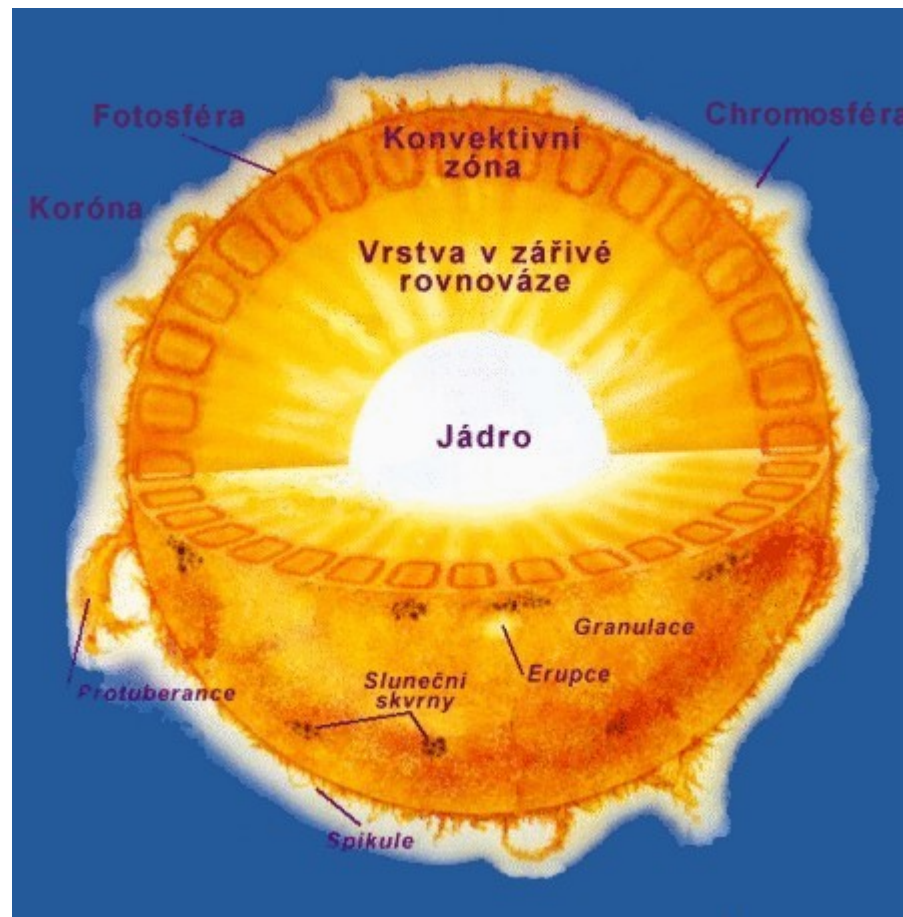
Vzdálenost  
1 AU  
= 149,597,890 km

Hmotnost  
330 tis. x Země

Povrchová teplota  
5800 K

## Zdroj energie

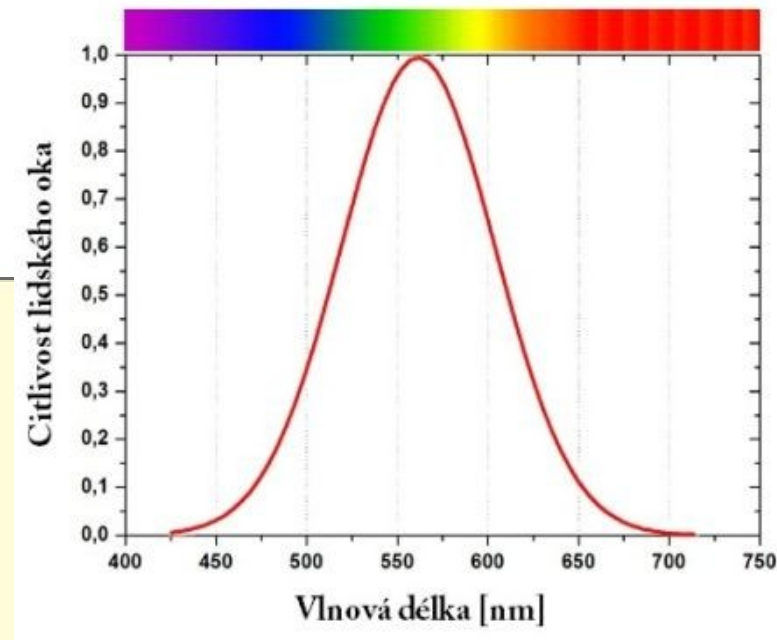
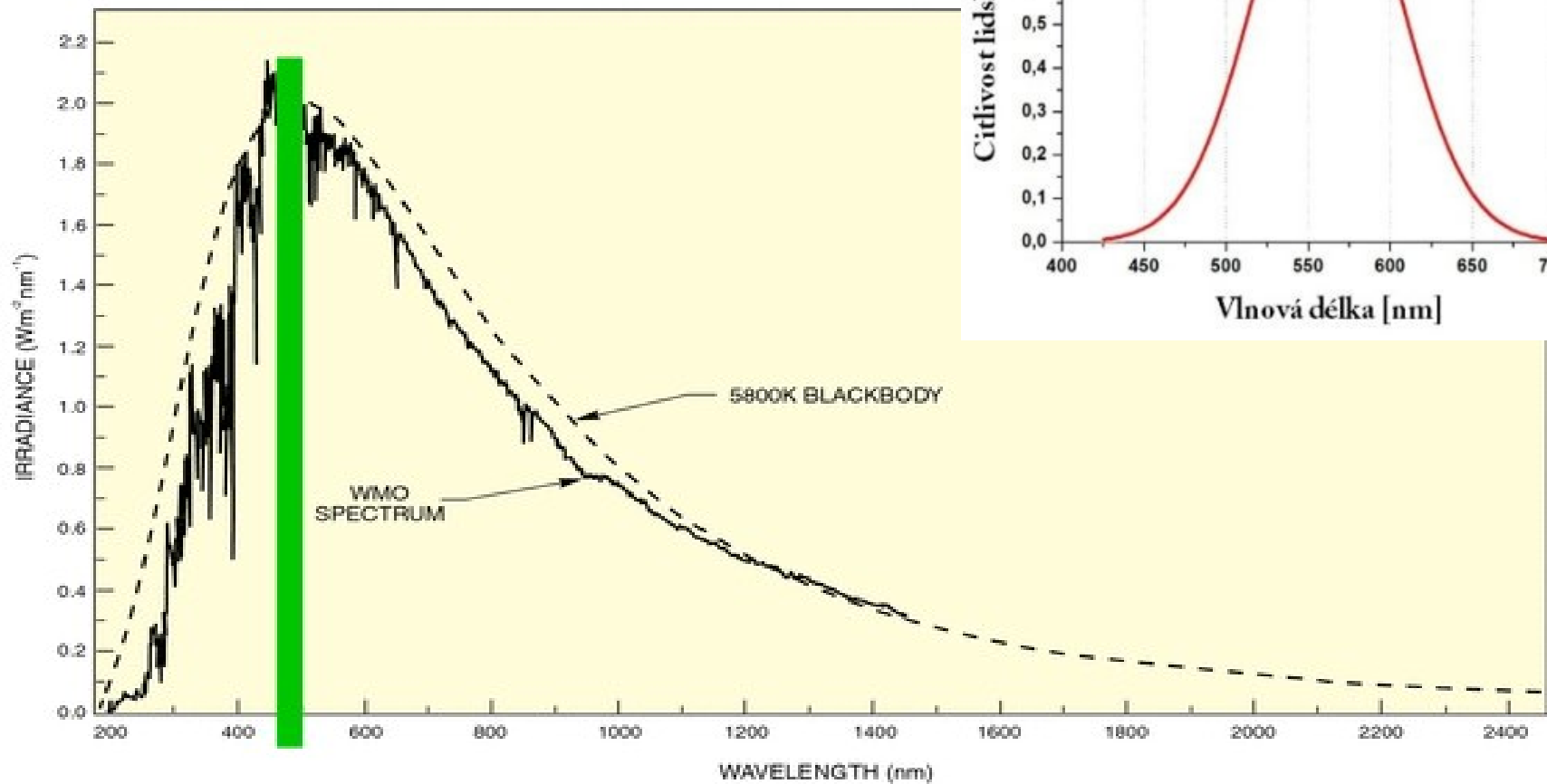
- Jediný zdroj energie na zemi\*
- Princip jaderná syntéza
- Přenos energie zářením



\*) Vyjma energie zemského jádra a jaderné energie

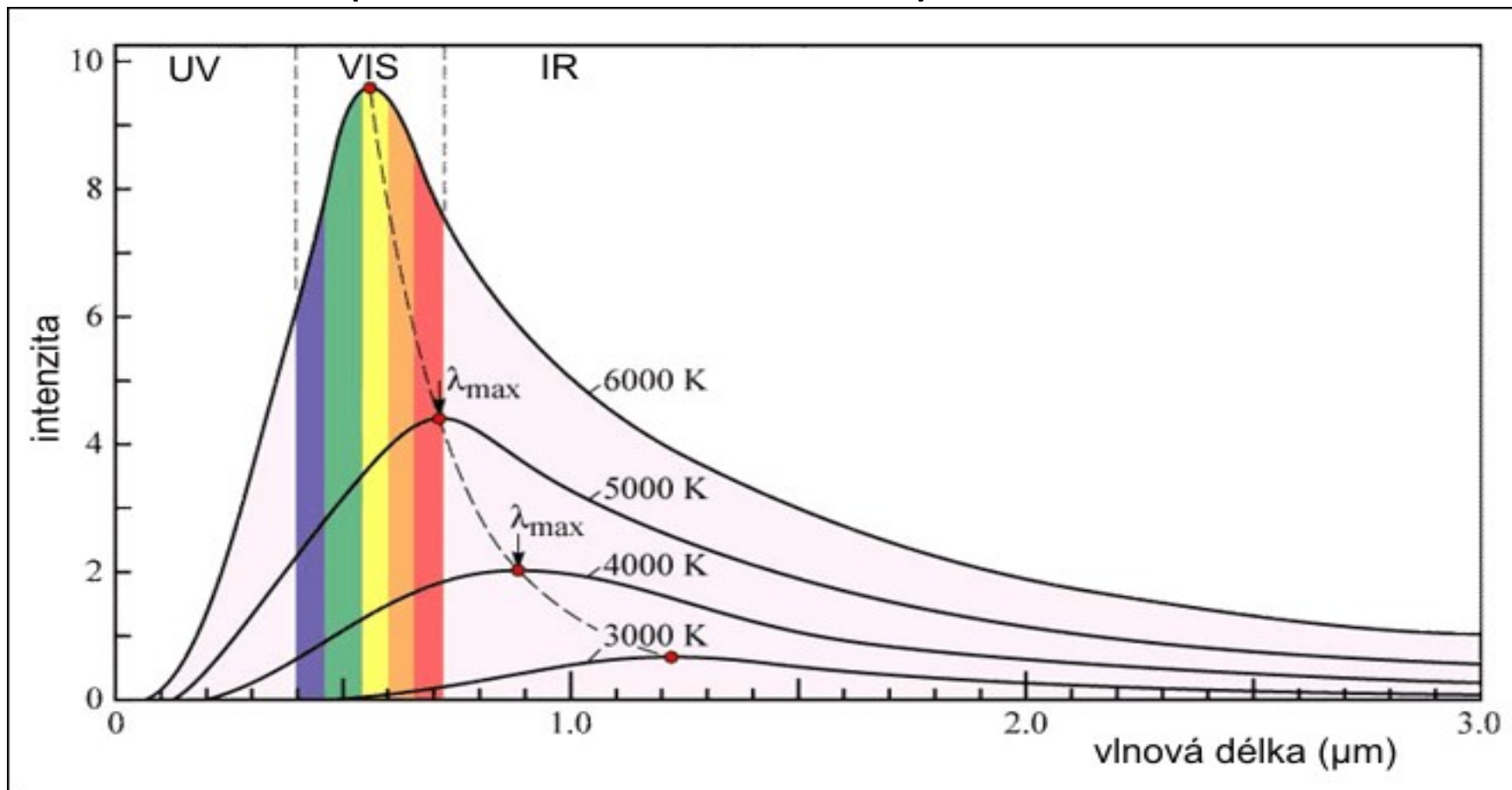


# 5800 K





Planckův vyzařovací zákon.  
Vlnová délka maxima vyzařování se s rostoucí teplotou  
posouvá ke kratším vlnovým délkám.





## Sluneční energie

- na 1 m<sup>2</sup> povrchu atmosféry dopadá přibližně

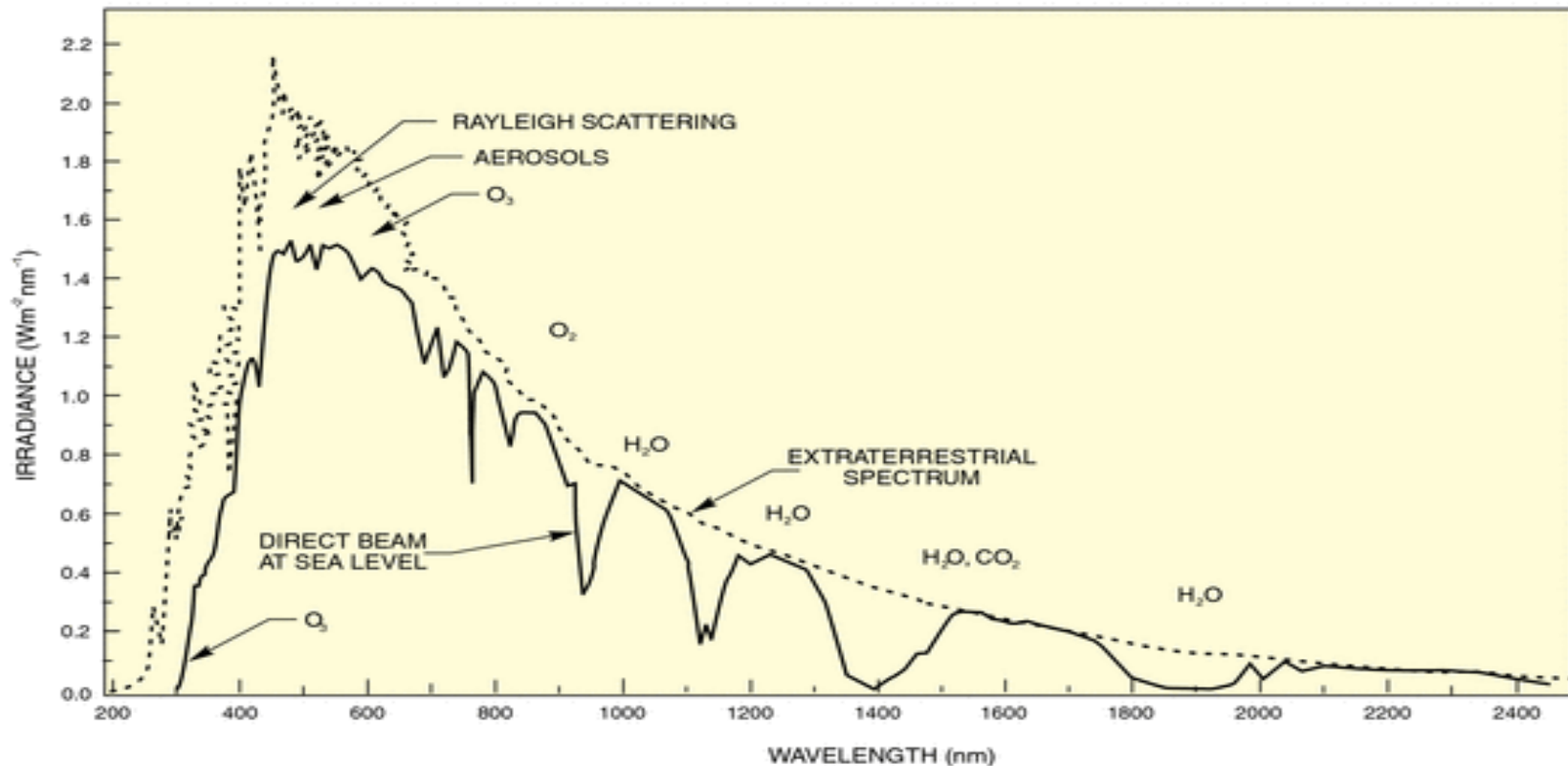
**1367 W**

- toto záření je dále pohlcováno atmosférou
  - zde začíná působení slunce na zemi
    - ohřívání atmosféry
    - ohřívání povrchu země



## Slunce na povrchu země

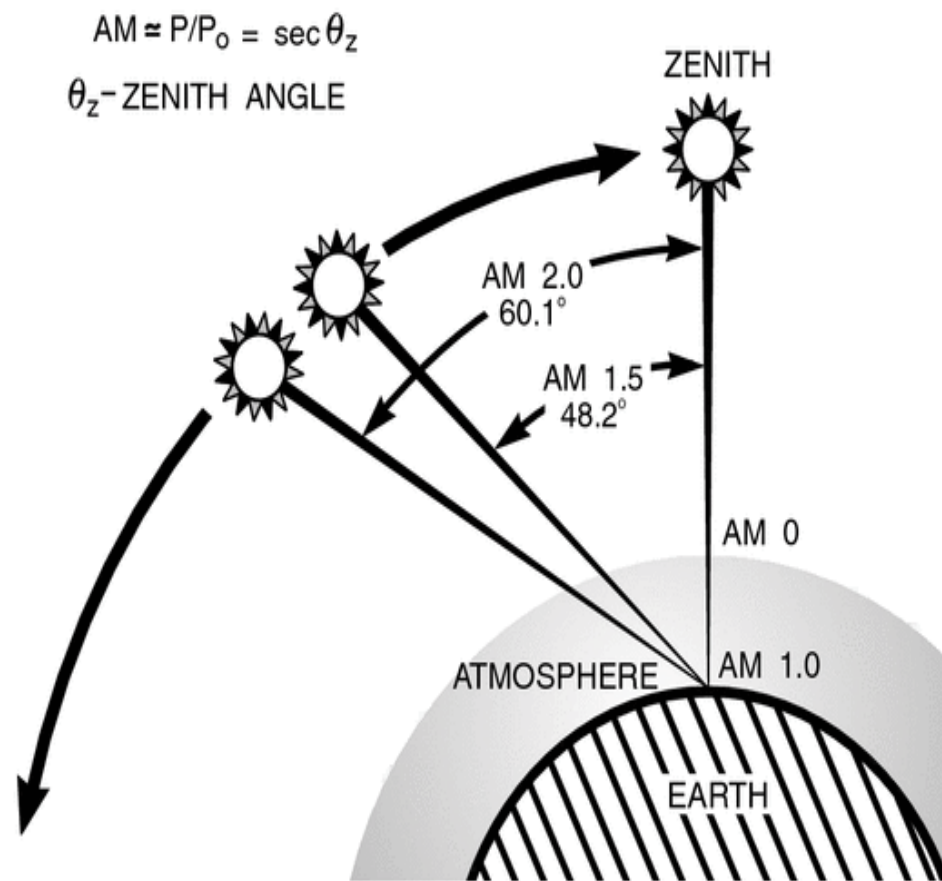
- Absorpce „krátkých“ vlnových délek (280 nm)





## AM 1,5

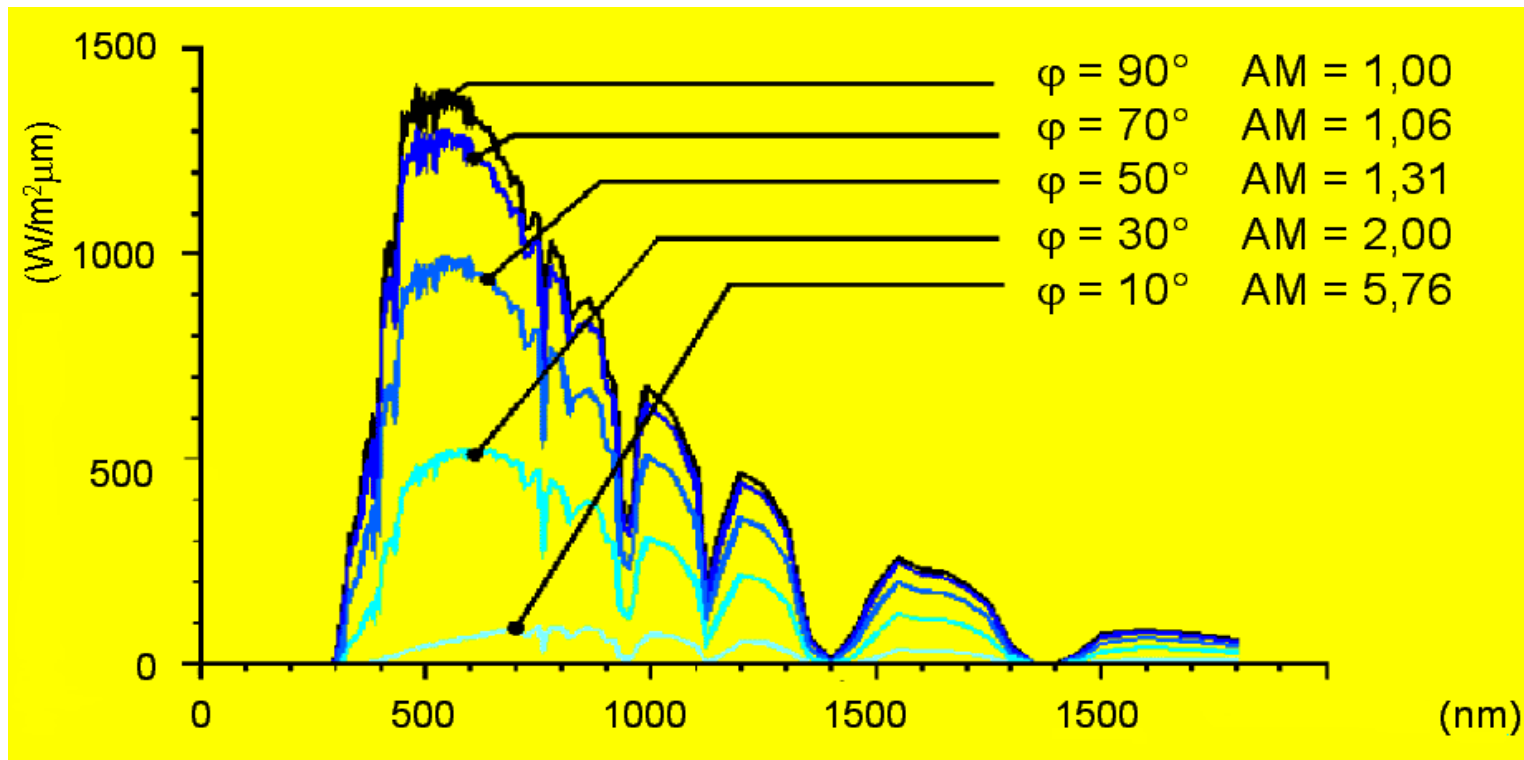
- Koeficient atmosferické masy
- Snížení intenzity záření vlivem průchodu atmosférou





## Výpočet koeficientu atmosférické masy

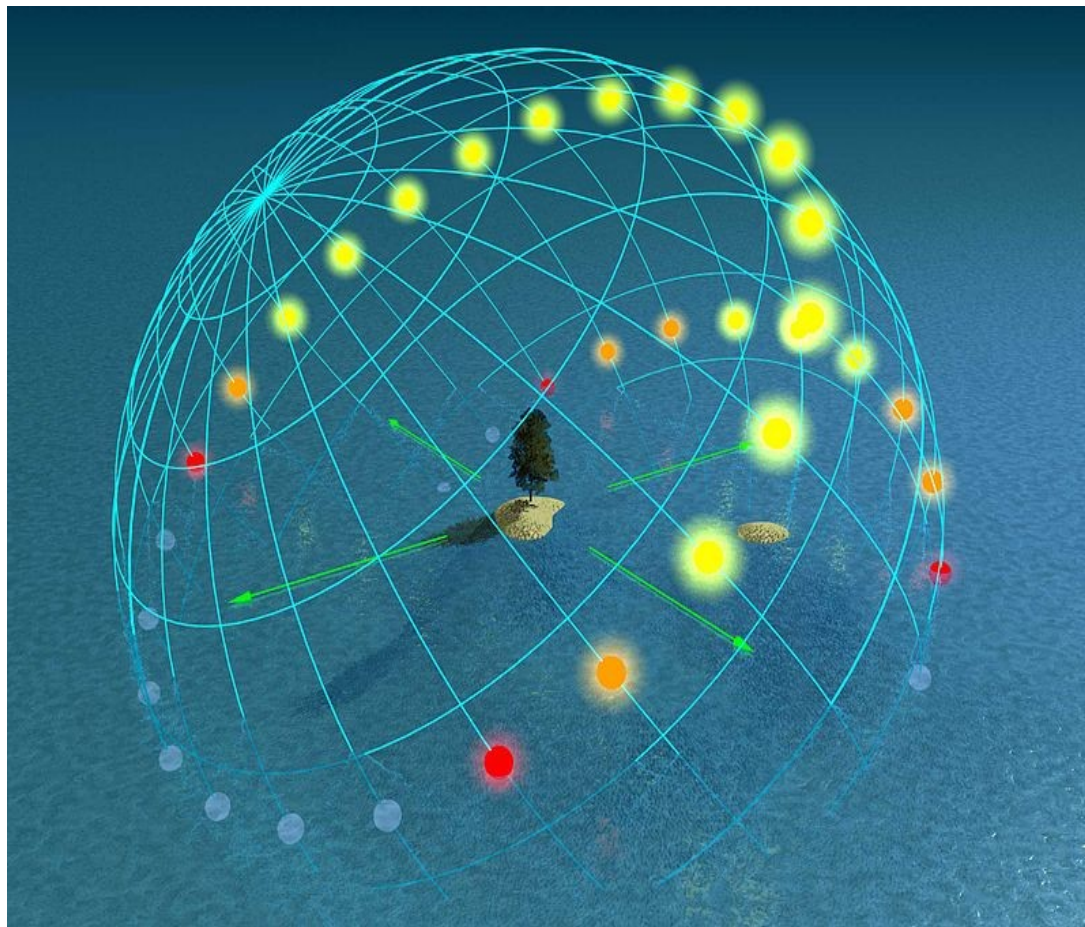
- $AM = 1/\sin\varphi$ , kde  $\varphi$  je úhel vstupu záření do atmosféry





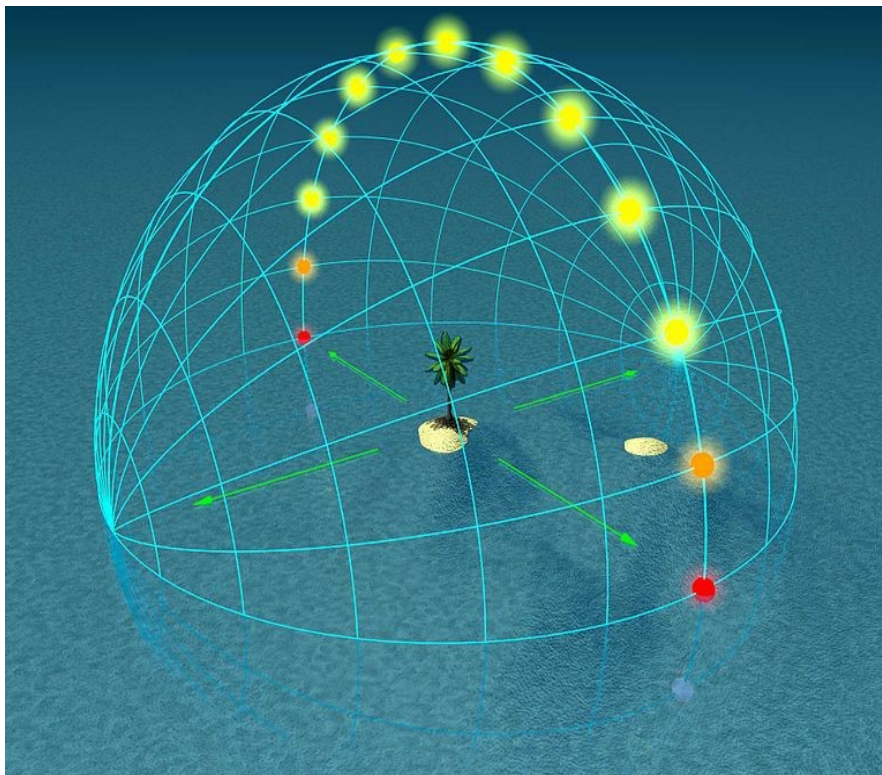
## Vliv zeměpisné polohy

Vzájemná poloha  
Země a Slunce  
určuje mimo jiné  
délku průchodu  
záření atmosférou a  
dobu slunečního  
svitu

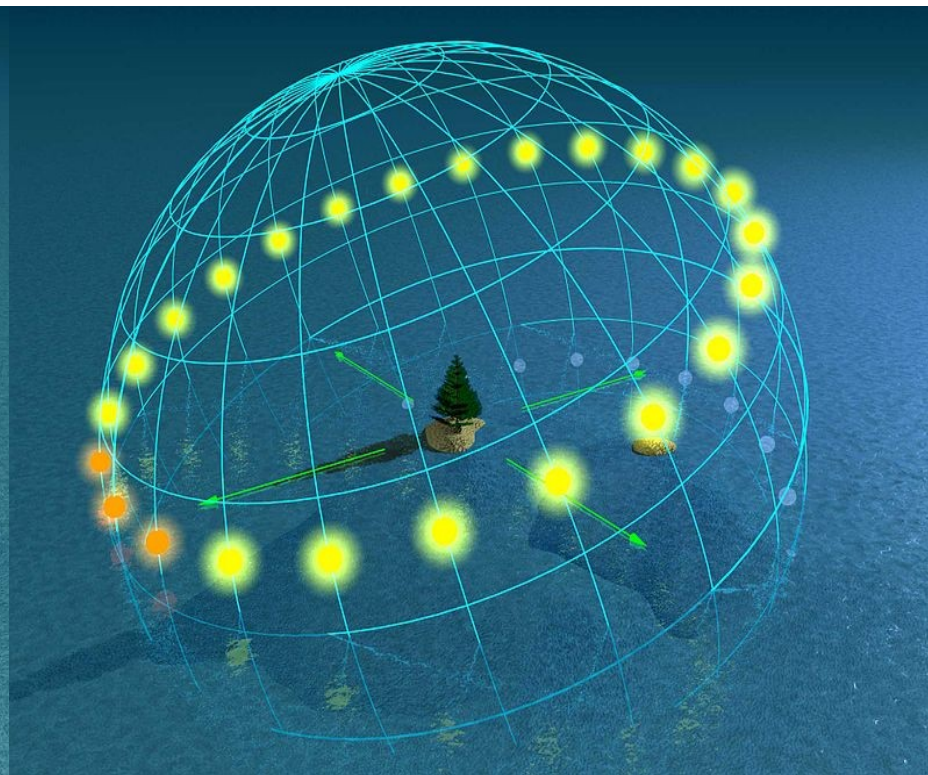




## Pól x rovník



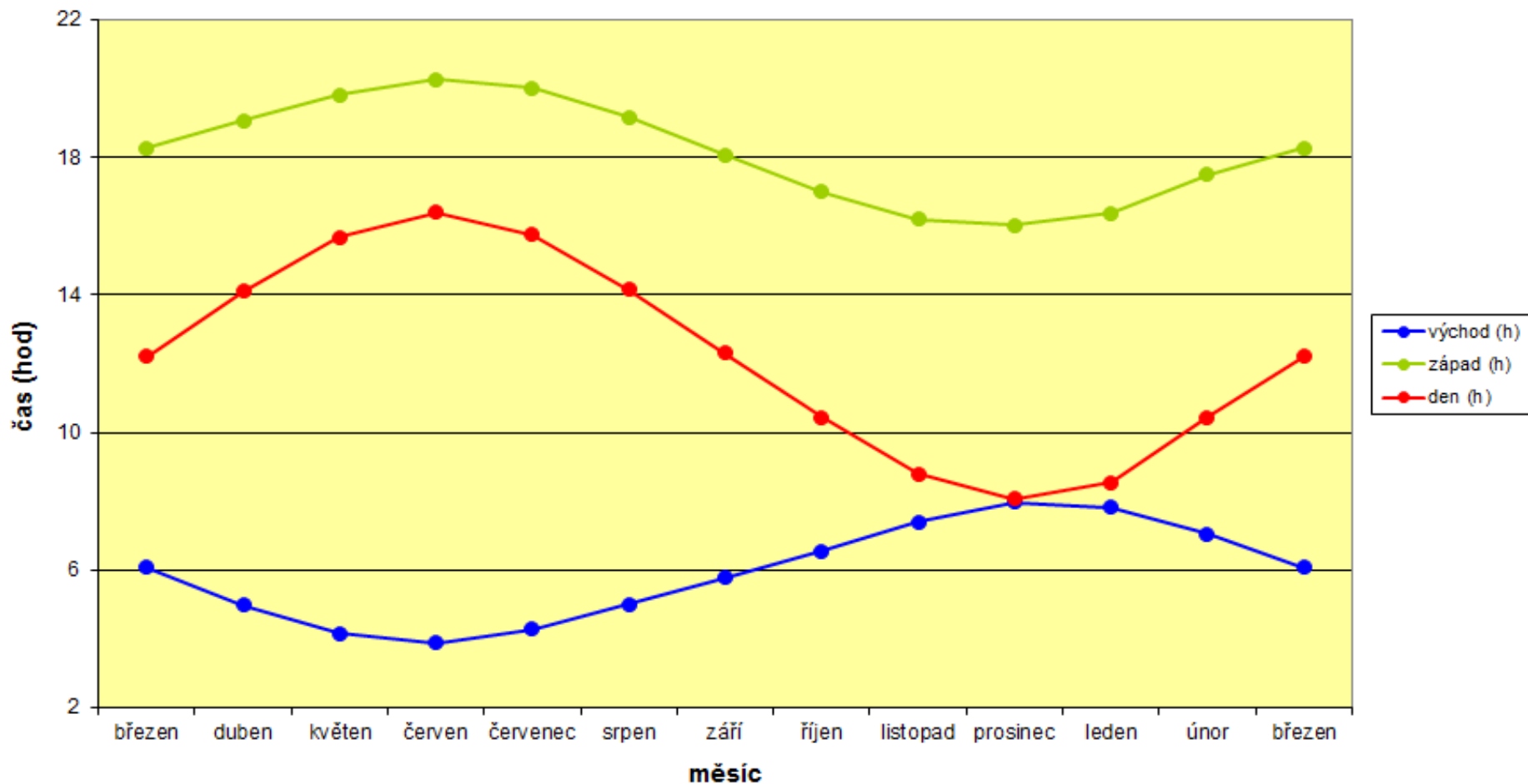
Rovník



70° (šířka)

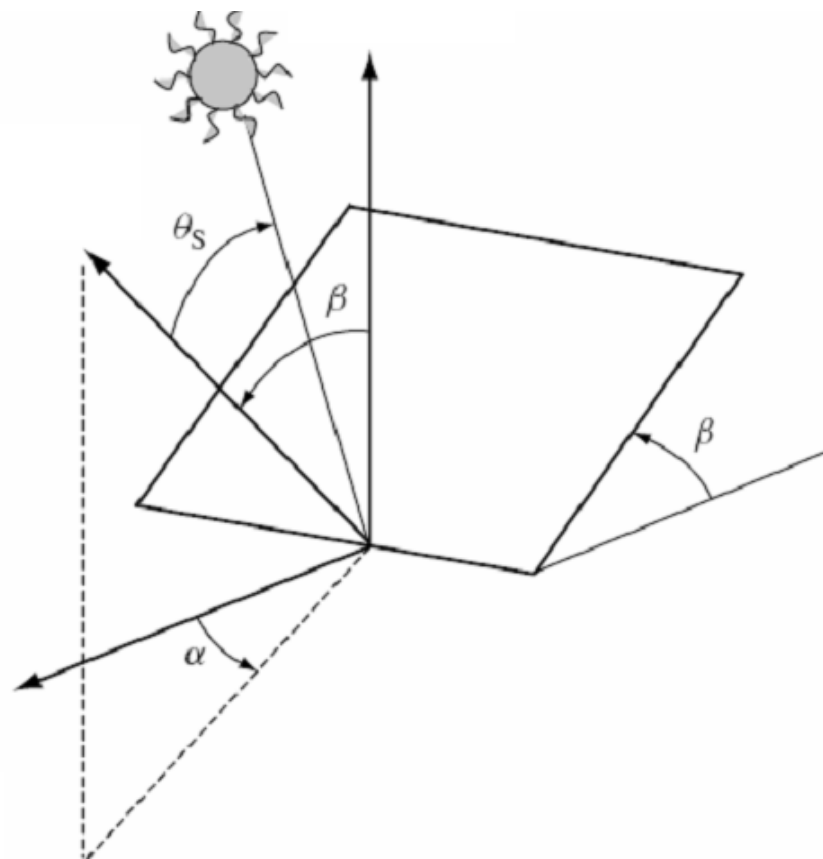


## Délka dne (Praha)



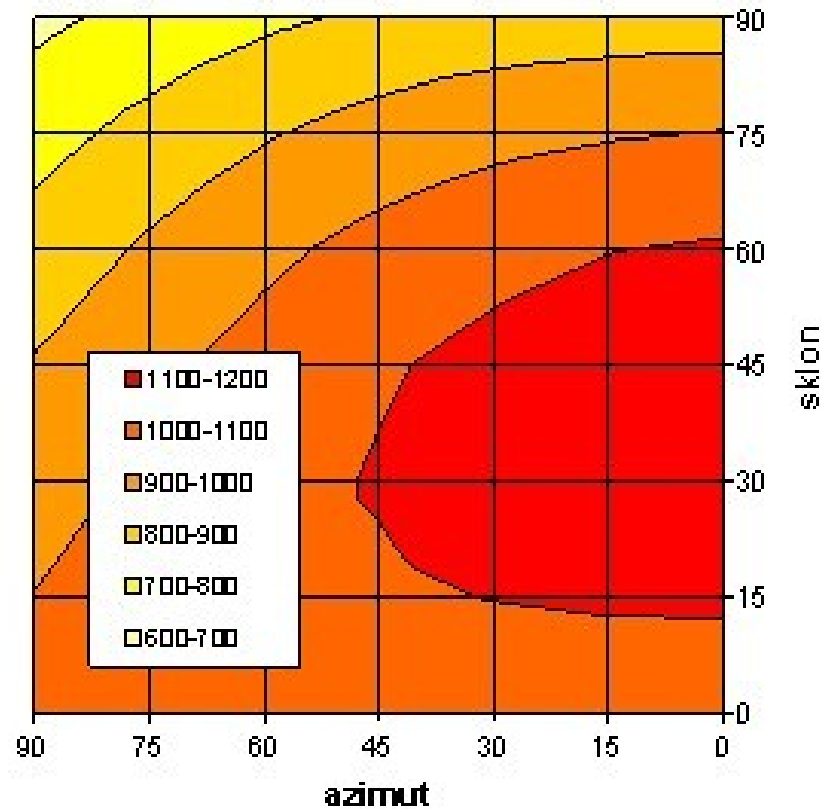
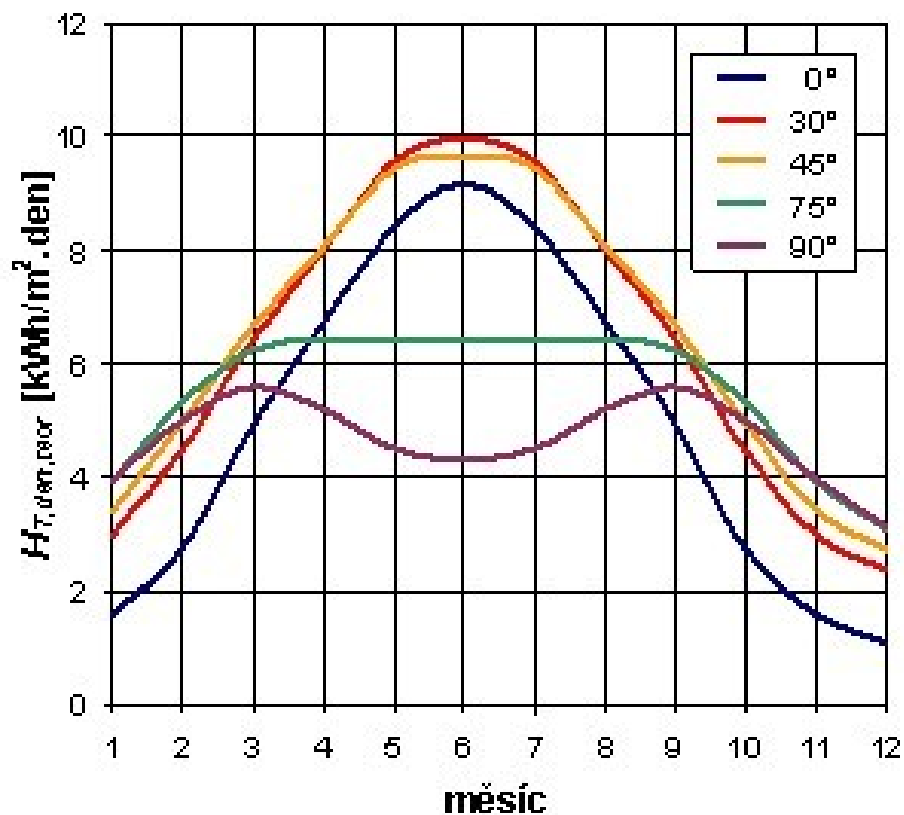
## Vliv úhlu natočení kolektoru (např. FVP)

- Důležitý je úhel mezi sluncem a rovinou kolektoru.
- Maxima výkonu je dosaženo při kolmém dopadu.



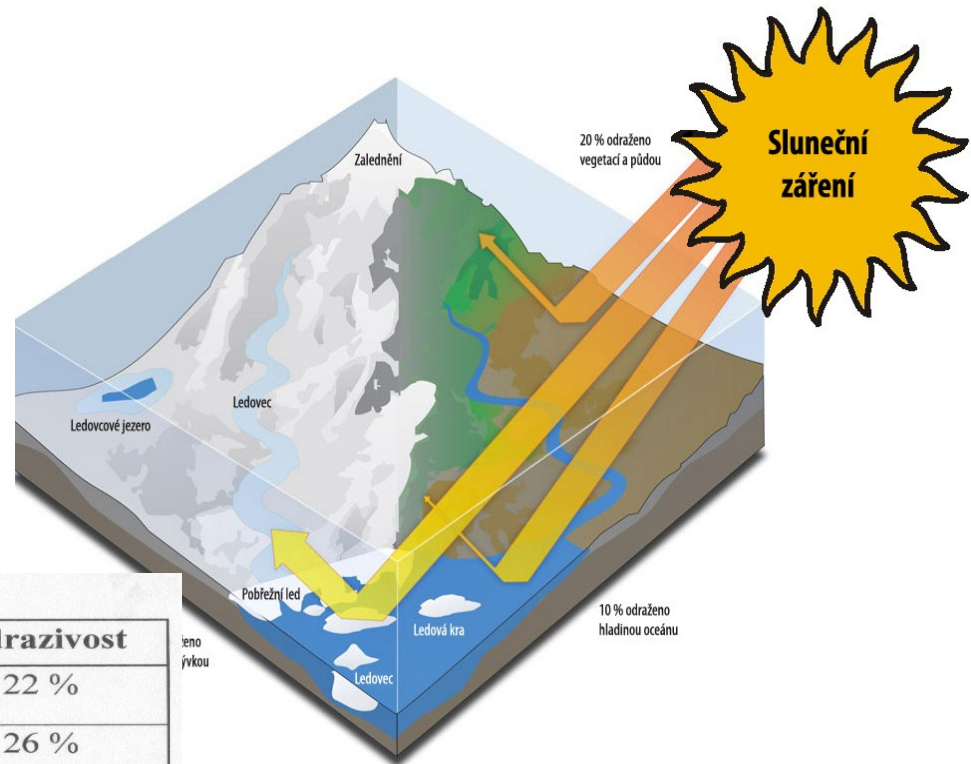


## Množství dopadlého záření



# Odras záření

- Albedo



*Odrazivost vybraných povrchů*

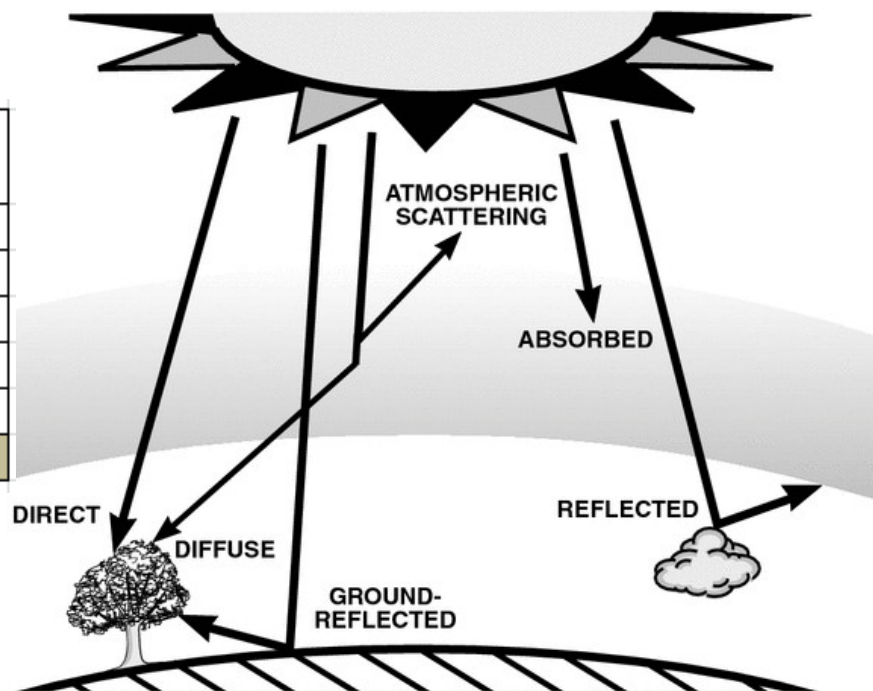
Okolní plocha	Odrazivost	Okolní plocha	Odrazivost
Polní cesta	4 %	Betonový povrch	22 %
Jehličnatý les	7 %	Zelená tráva	26 %
Asfaltová cesta	10 %	Tmavé stavební povrchy	27 %
Štěrková asfaltová střecha	13 %	Opadané listí	30 %
Pole (jíl, hlína)	14 %	Písek	40 %
Suchá tráva	20 %	Světlé stavební plochy	60 %
Kamenitý povrch	20 %	Sníh	75 %



## Intenzita záření na povrchu země

- Záleží na počasí (oblačnost, rozptylové podmínky),
- albedu, poloze slunce vůči zemi ...

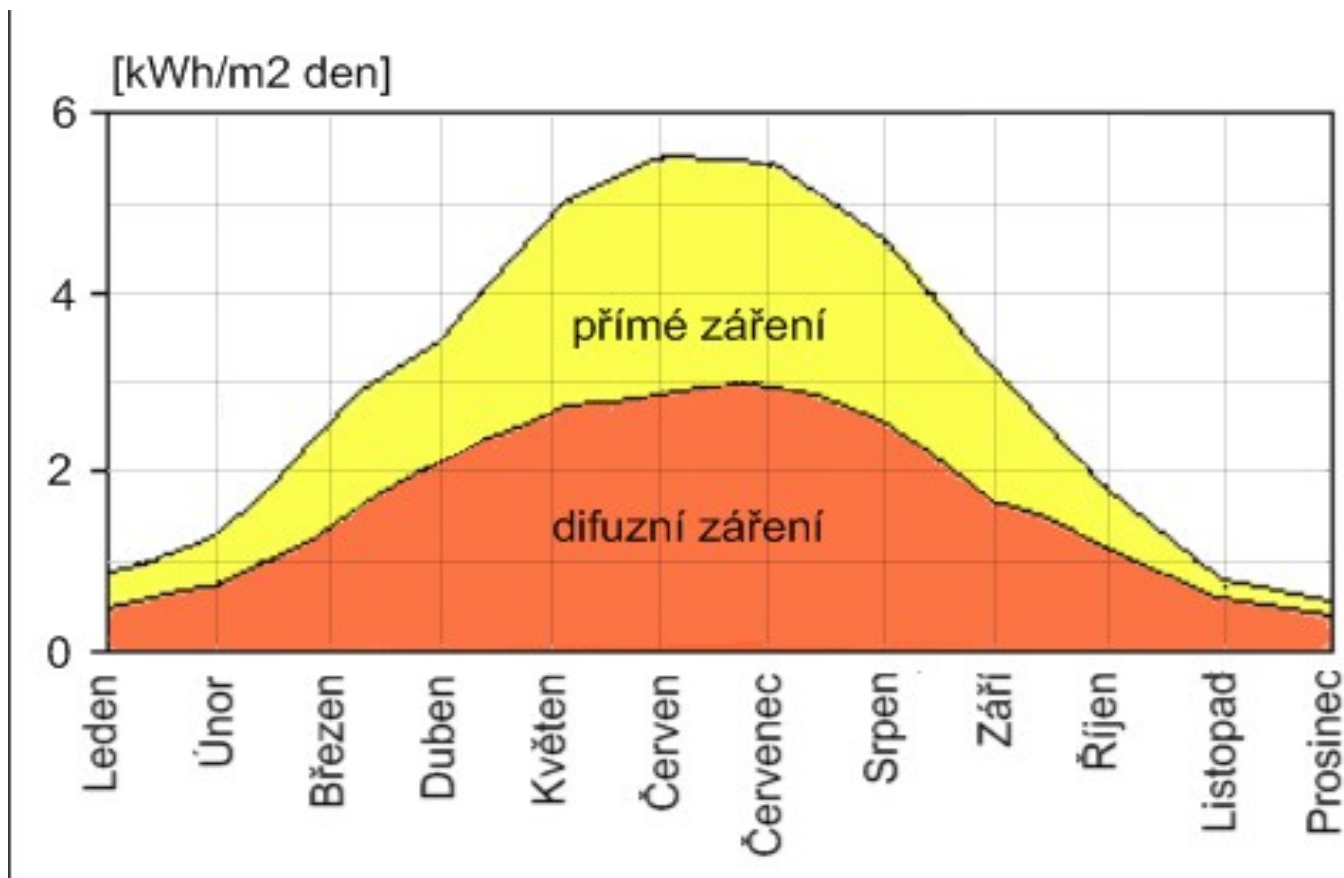
	Záření [W/m <sup>2</sup> ]	Difúzní podíl [%]
Modré nebe	800 až 1000	10
Zamlžené nebe	600 až 900	až 50
Mlhavý podzimní den	100 až 300	100
Zamračený zimní den	cca 50	100
<b>Celoroční průměr</b>	<b>600</b>	<b>50 až 60</b>





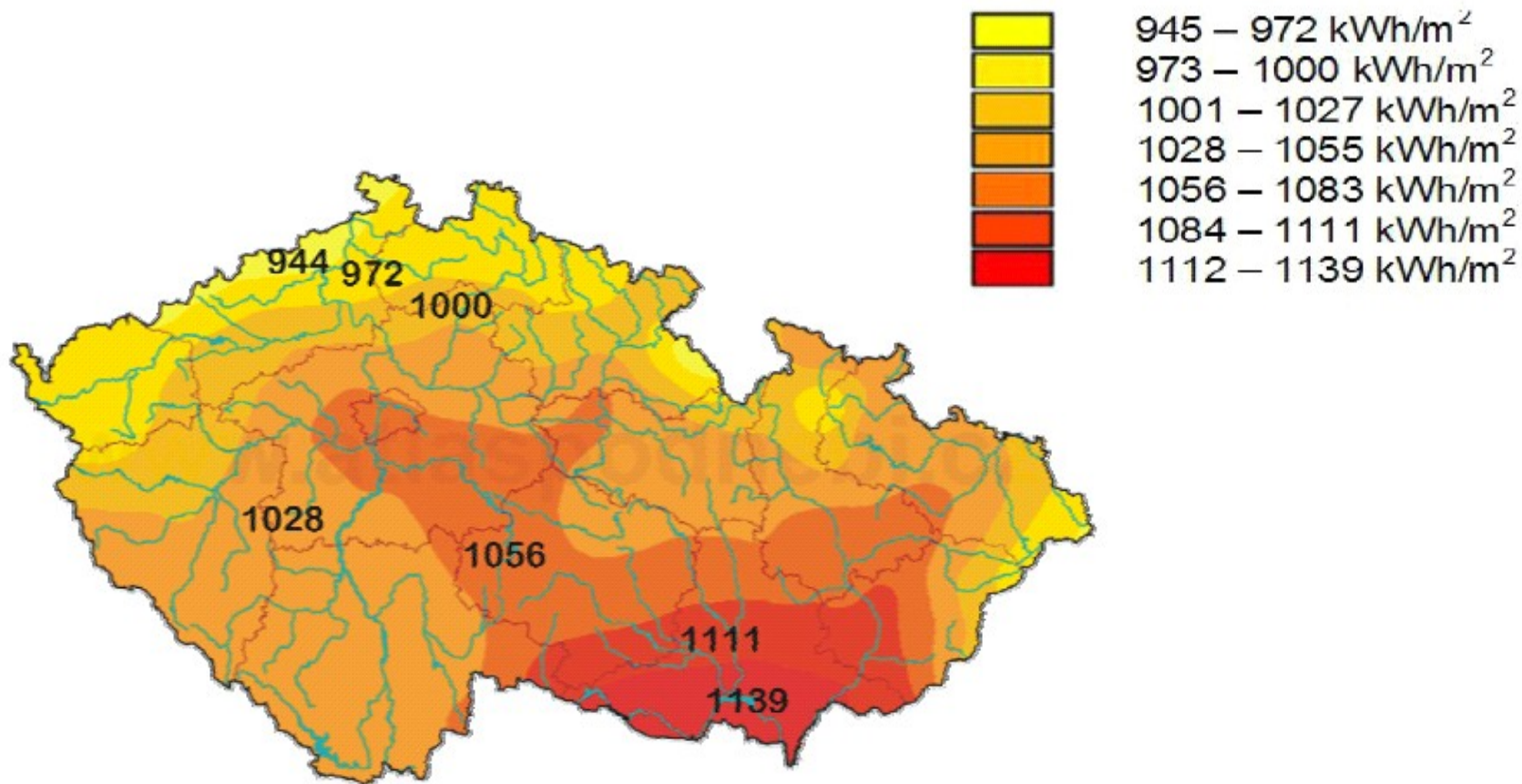
## Difuzní záření

- Podíl difuzního a přímého záření



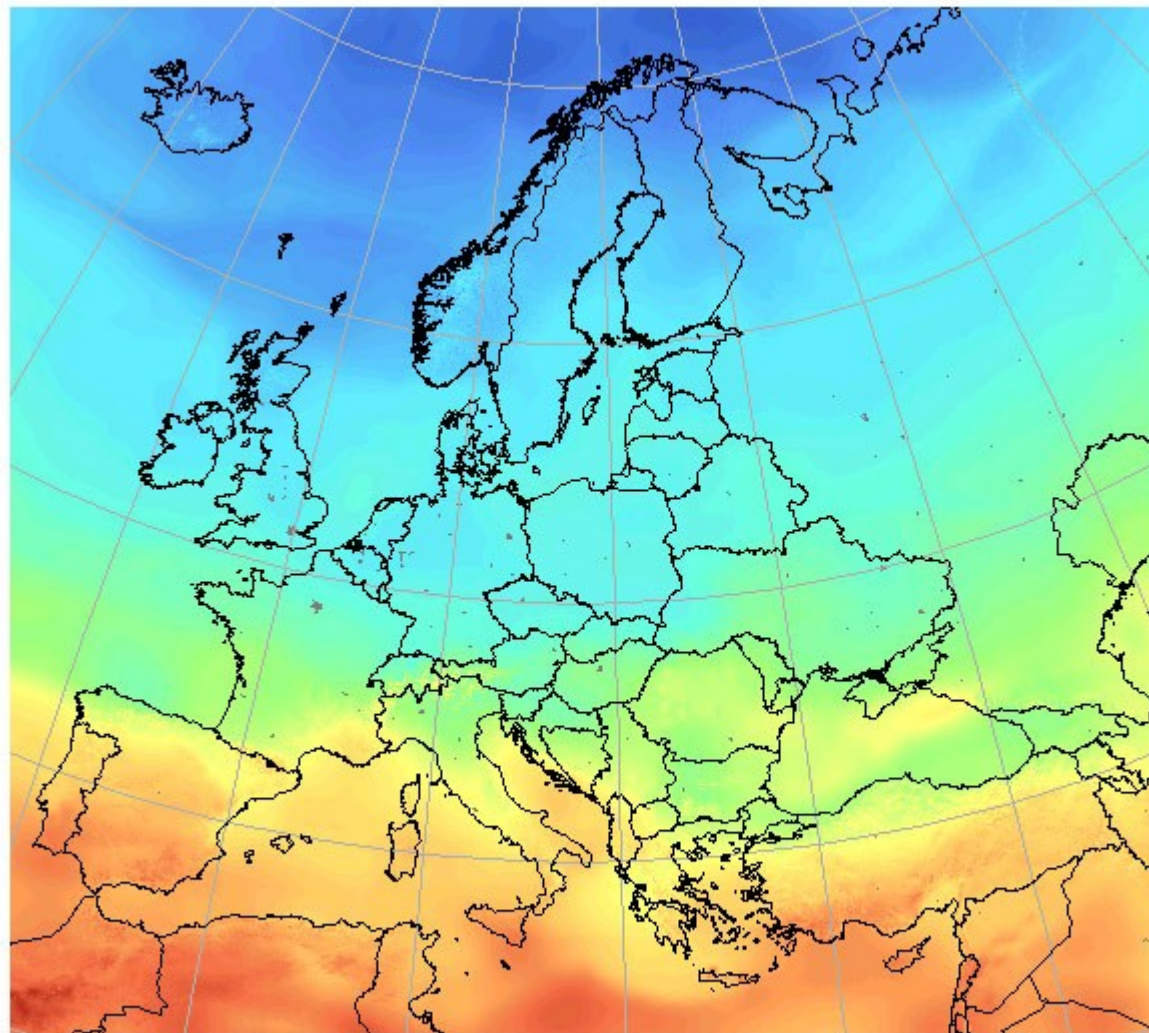


# Sluneční energie v ČR

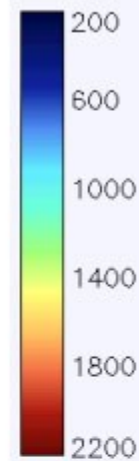




# Sluneční energie Evropa



Roční souhm  
slunečního  
záření  
[kWh/m<sup>2</sup>]



Zdroj: PVGIS Solar Irradiation Data

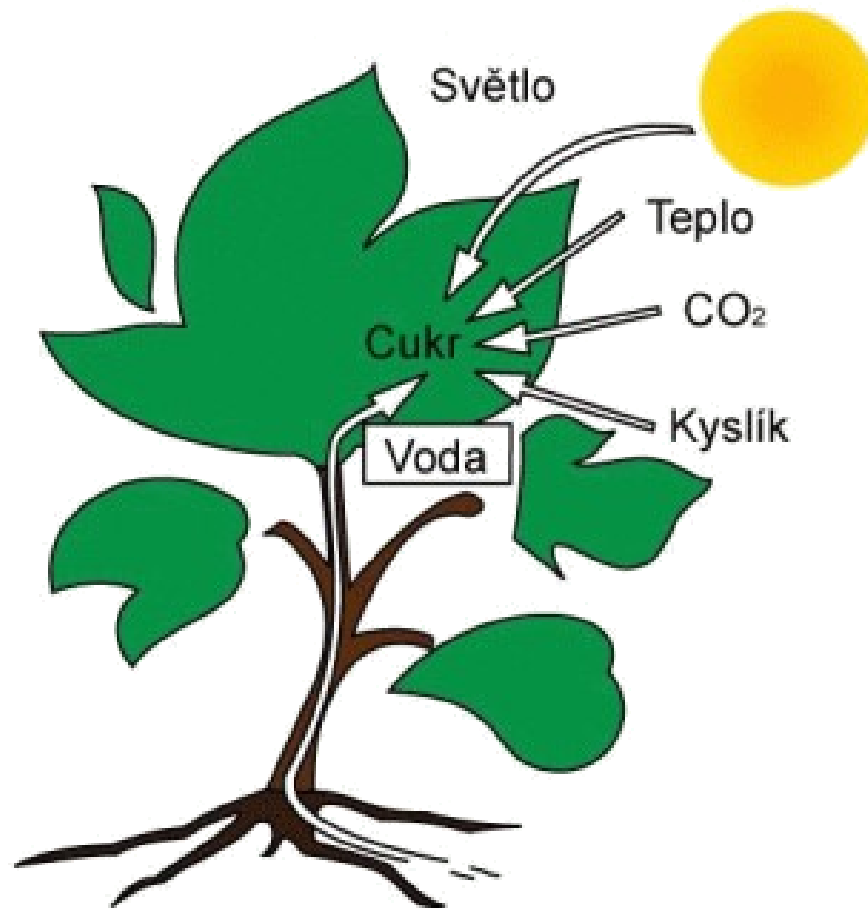


## Shrnutí (pro ČR)

- na 1m<sup>2</sup> povrchu země dopadá přibližně 600 W
- záření je ve vlnových délkách příznivých pro život na zemi (viditelné světlo a teplo)
- využití tohoto záření
  - rostliny – fotosyntéza (výsledkem ukládání uhlíku)
  - solární ohřev – využití tepelného záření
  - fotovoltaika – přeměna viditelného a blízkého IR na elektrickou energii

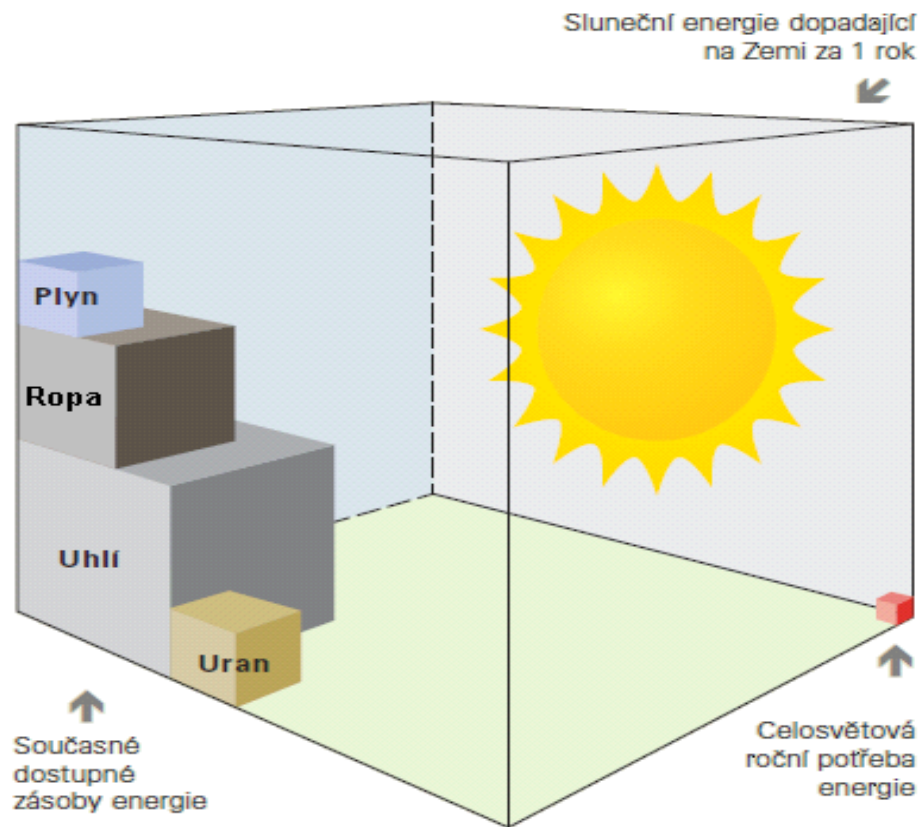
## Fotosyntéza

- Uhlíkaté sloučeniny jsou ukládány do těla rostlin. (akumulace)
- Vzniká tzv. biomasa
- Tu je možno spalovat a uvolnit tak energii vazeb uhlíkatých sloučenin.

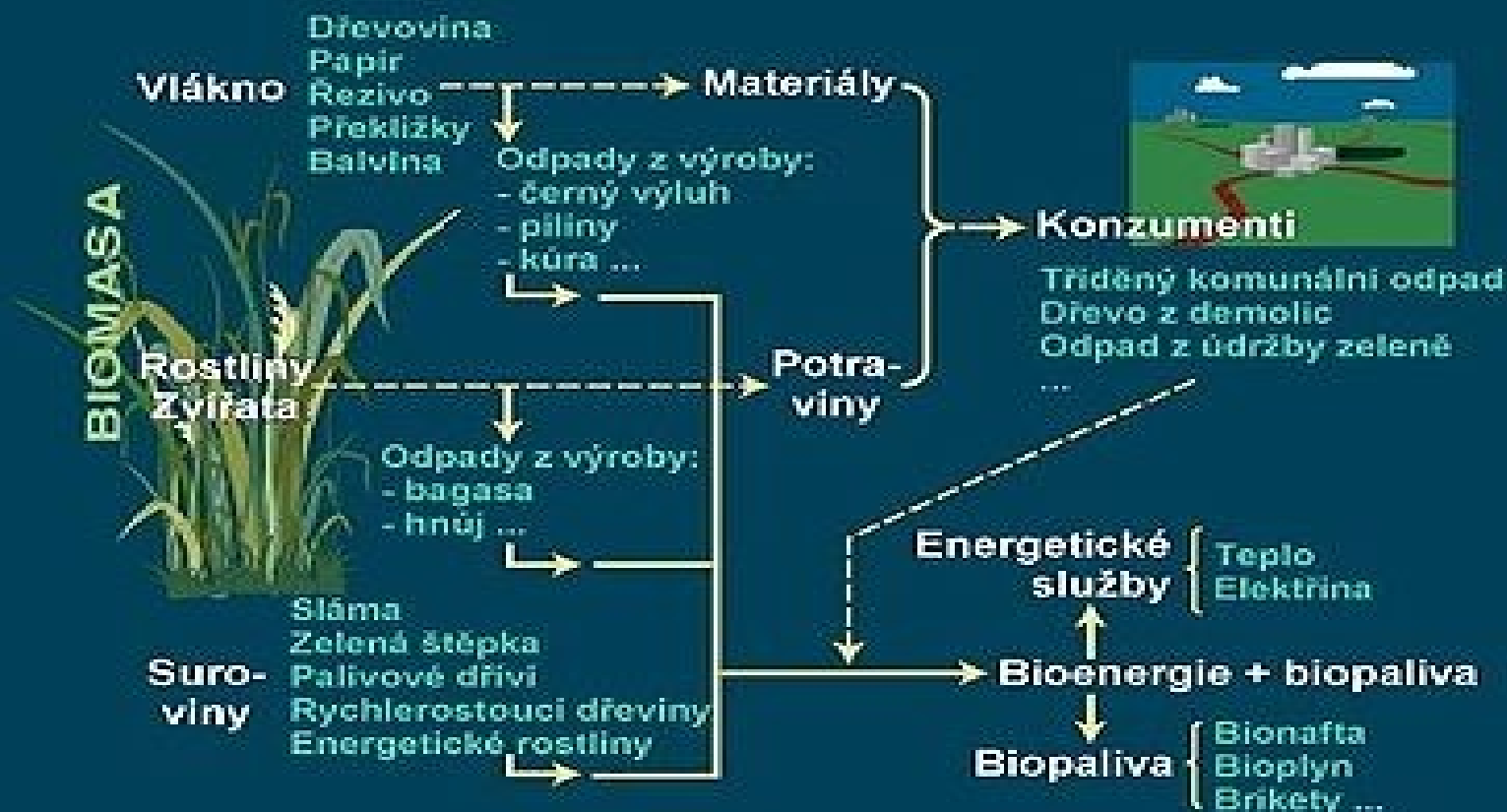


## Energie získaná fotosyntézou

- S fotosyntézou jsou svázány následující druhy zdrojů energie
- Ropa, Plyn, Uhlí
- Biomasa



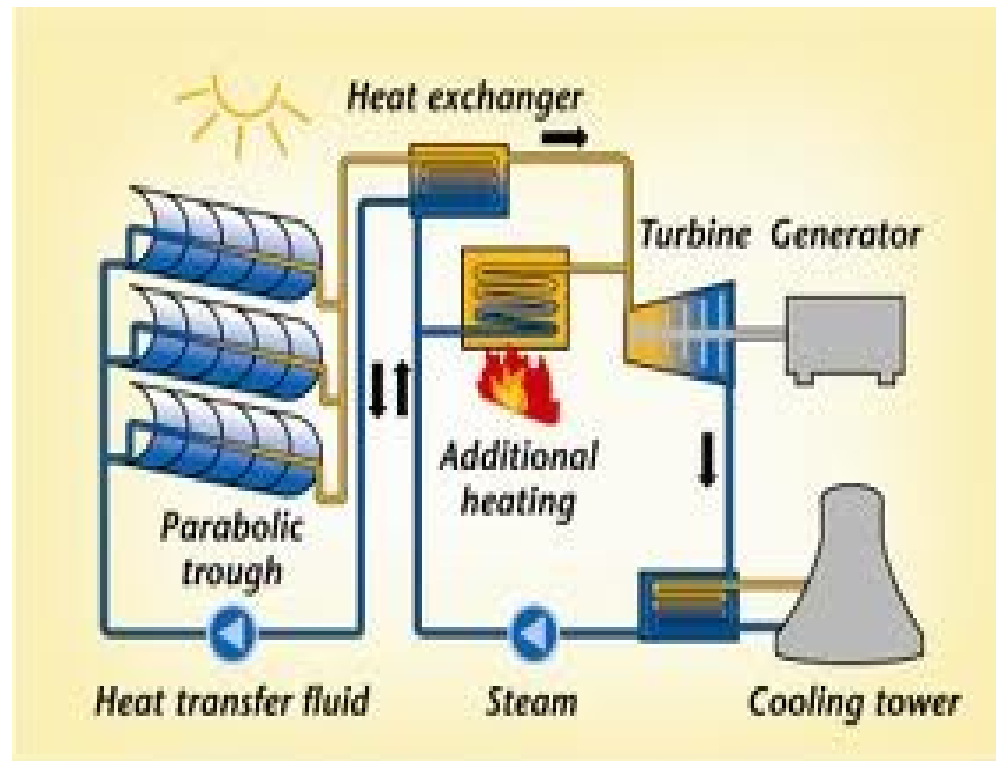
# Biomasa pro energii





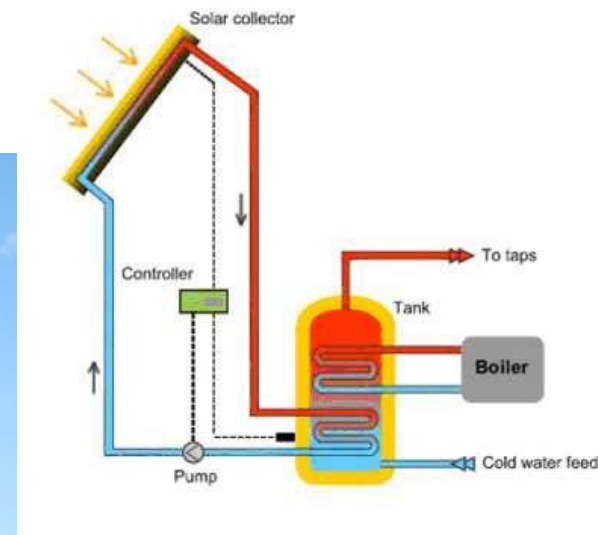
## Solární ohřev

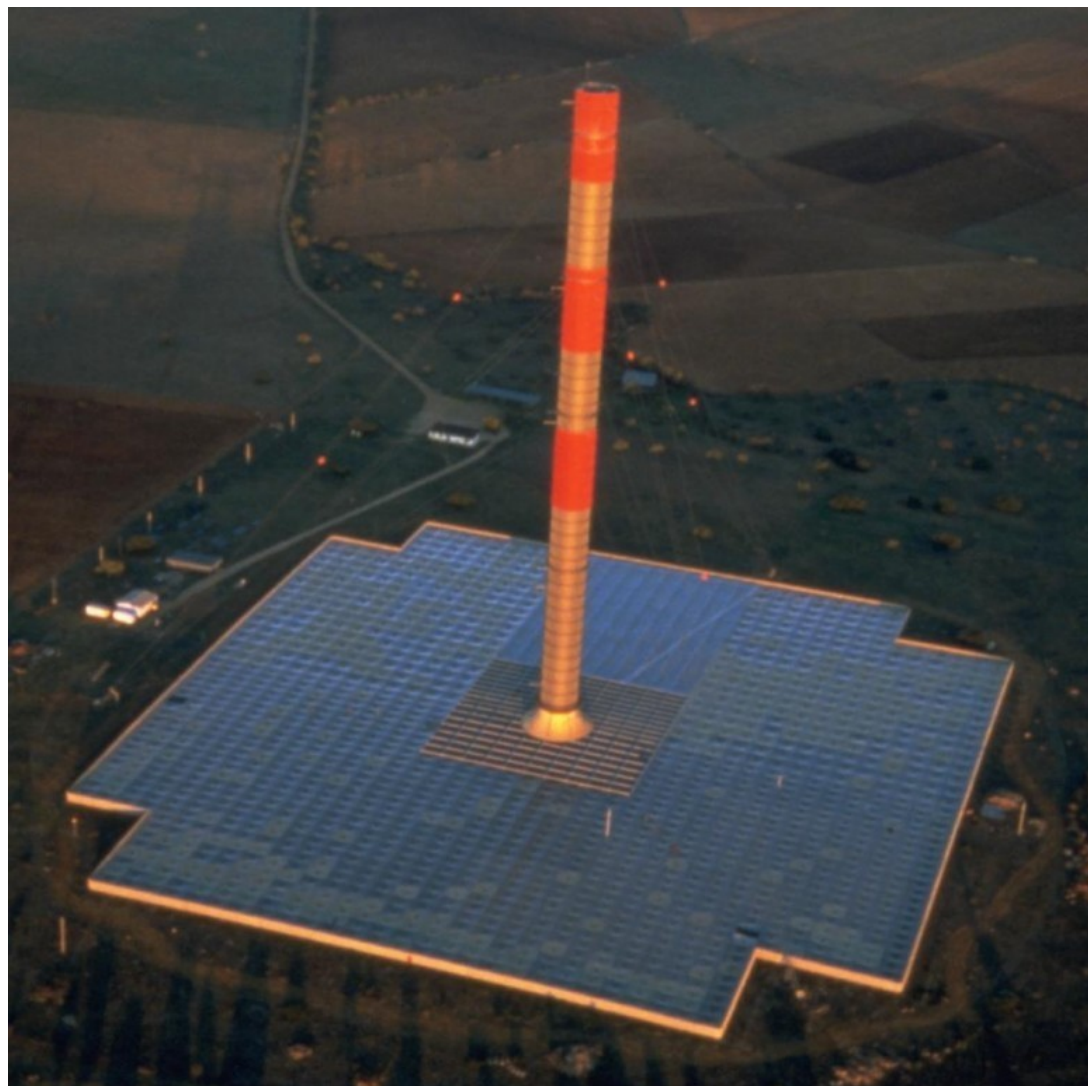
- Využití tepelné energie pro ohřev nebo pro získání jiného druhu energie, nejčastěji elektrické energie, nebo pohybové.
- Využívá se celé spektrum záření





## Příklady využití solární energie

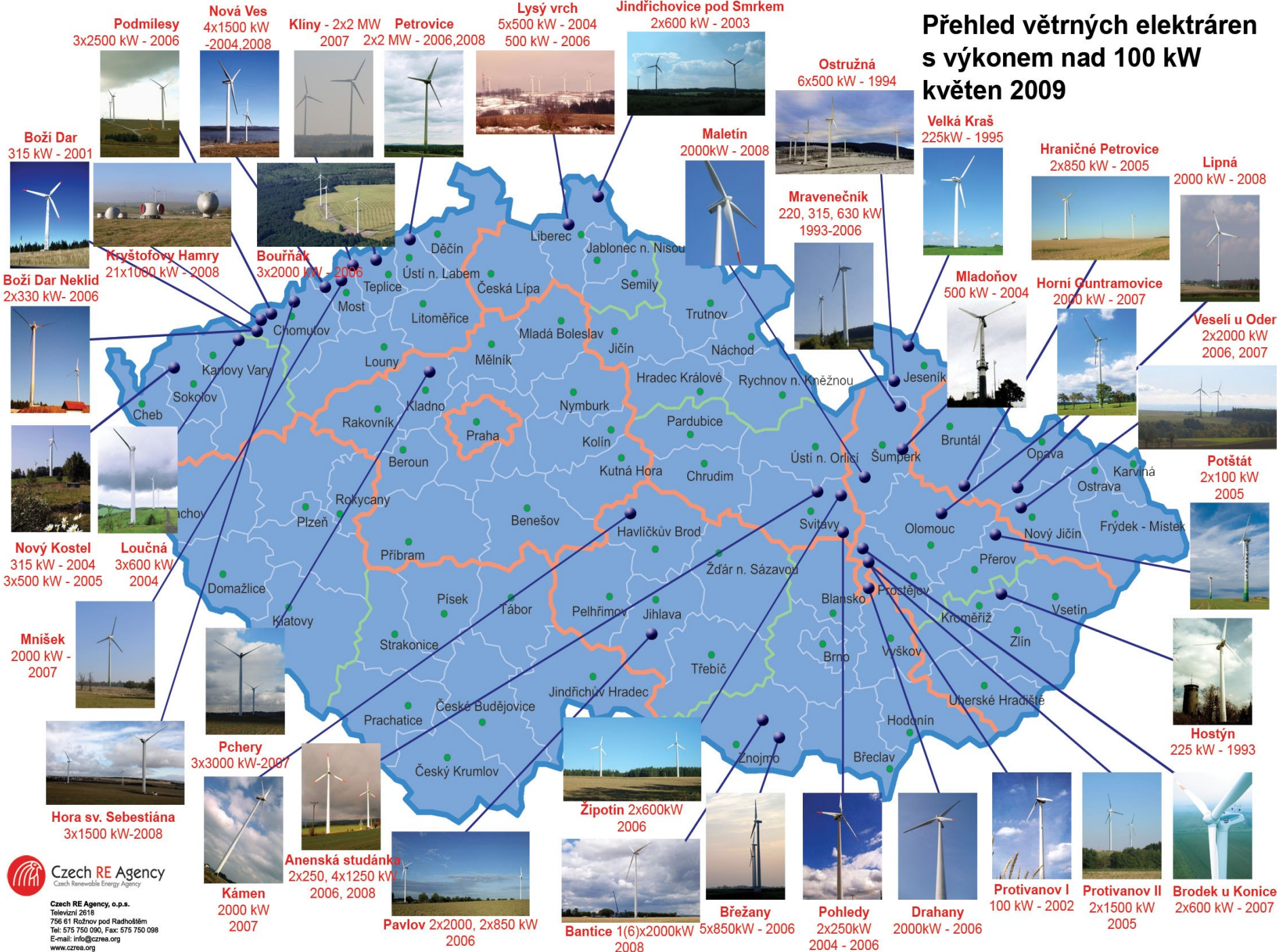






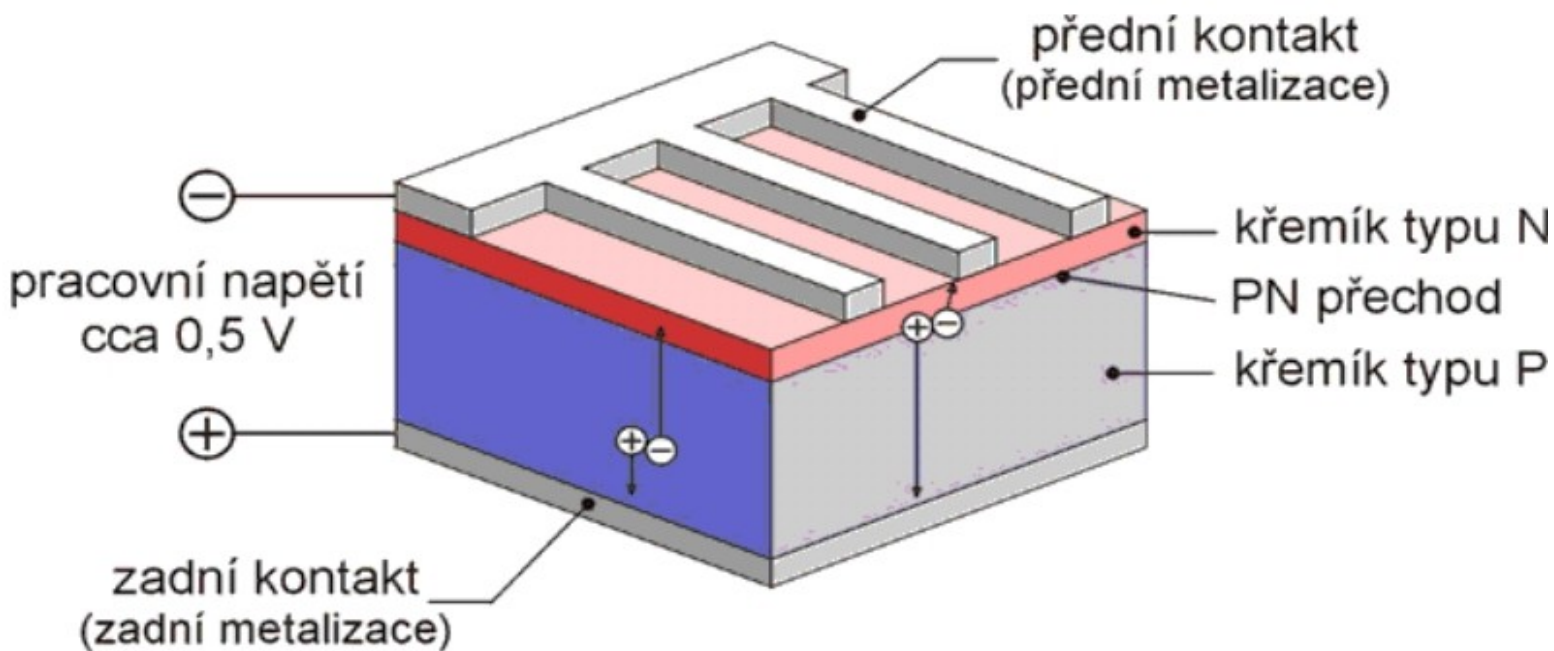
VisualLightBox.com

# Přehled větrných elektráren s výkonem nad 100 kW květen 2009



## Konstrukce FV článku

- Základní pojmy z teorie polovodičů
  - FV článek je velkoplošná polovodičová dioda

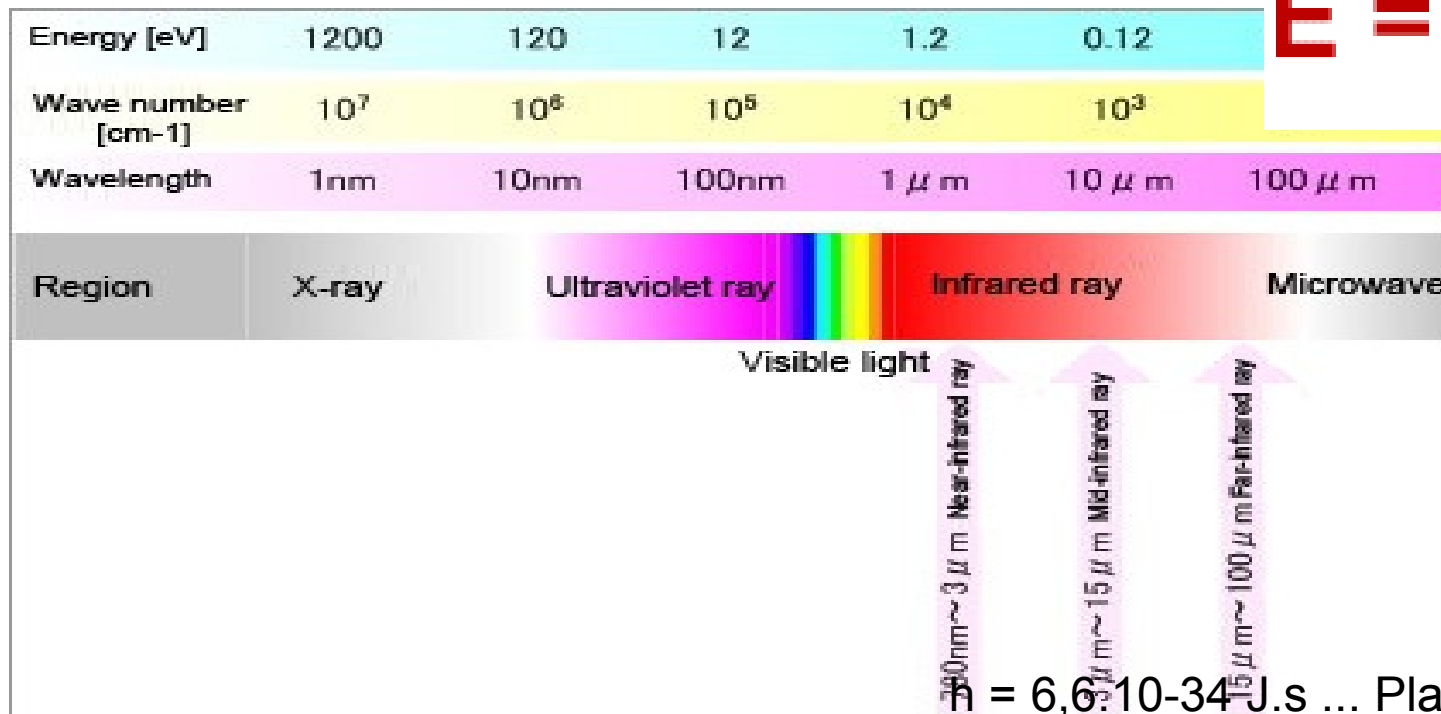




## Proč je FV článek polovodičovou diodou?

- Myšlenkový přechod z vlnové délky záření na energii

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$



$h = 6,6 \cdot 10^{-34}$  J.s ... Planckova konstanta

$c = 300\,000$  km/s ... rychlost světla

$\lambda$  ... vlnová délka záření



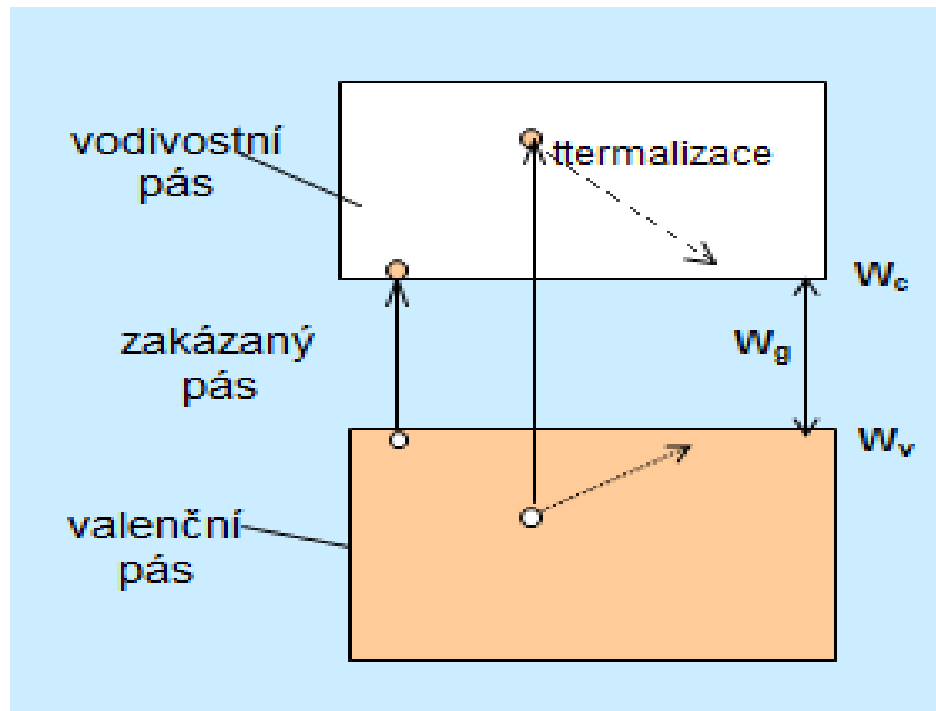
## Předání energie fotonu

- Při průchodu fotonu materiálem dochází k interakci mezi dopadajícím fotonem a materiálem
  - interakce s mřížkou materiálu → teplo
  - interakce s volnými elektrony → teplo
  - interakce s vázanými elektrony → uvolnění elektronu, vznik volného nosiče náboje



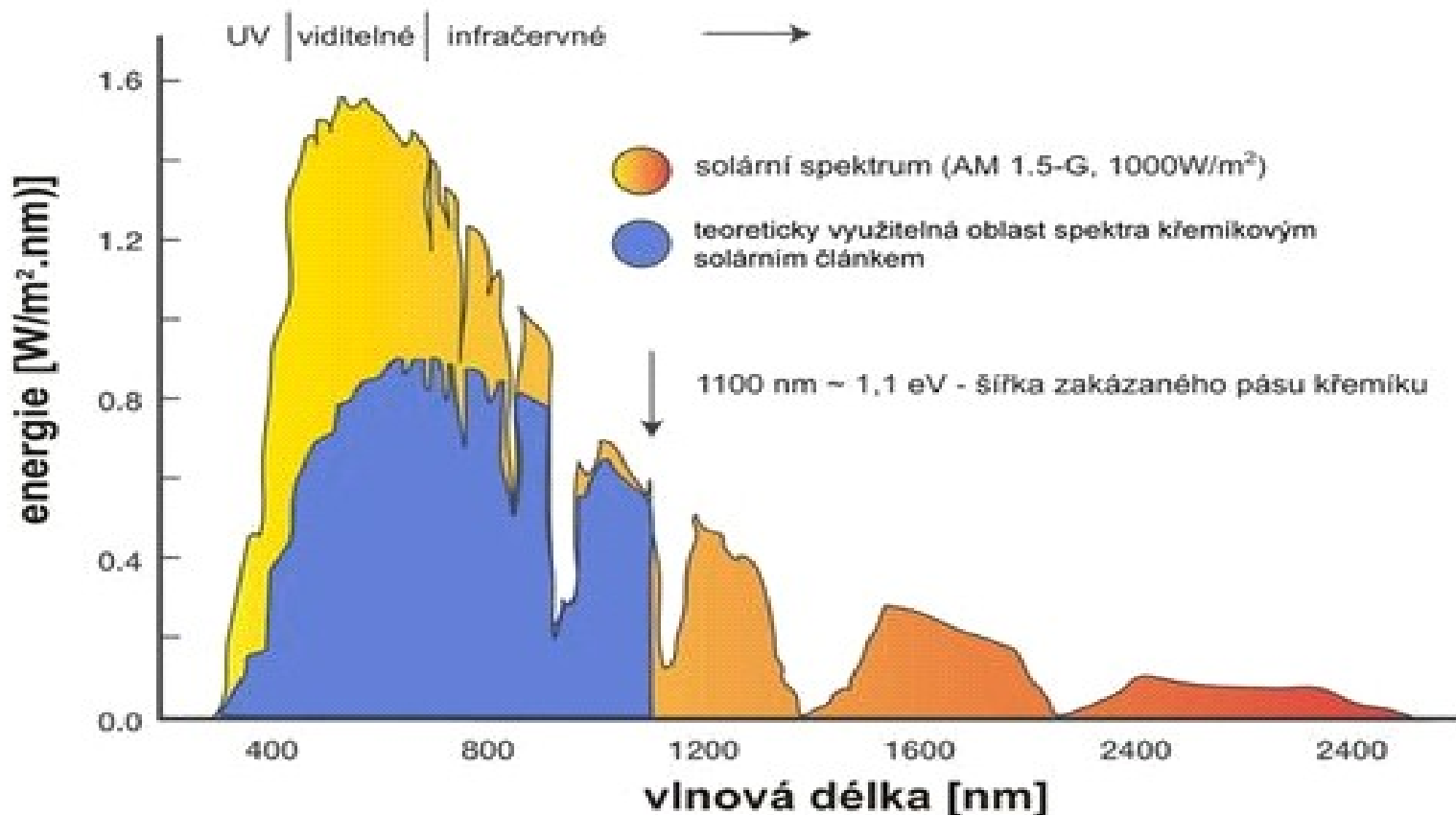
## Potřebná energie fotonu

- Pro generaci volného nosiče náboje musí dopadnout na materiál foton s minimální energií  
 $h\nu > W_g$



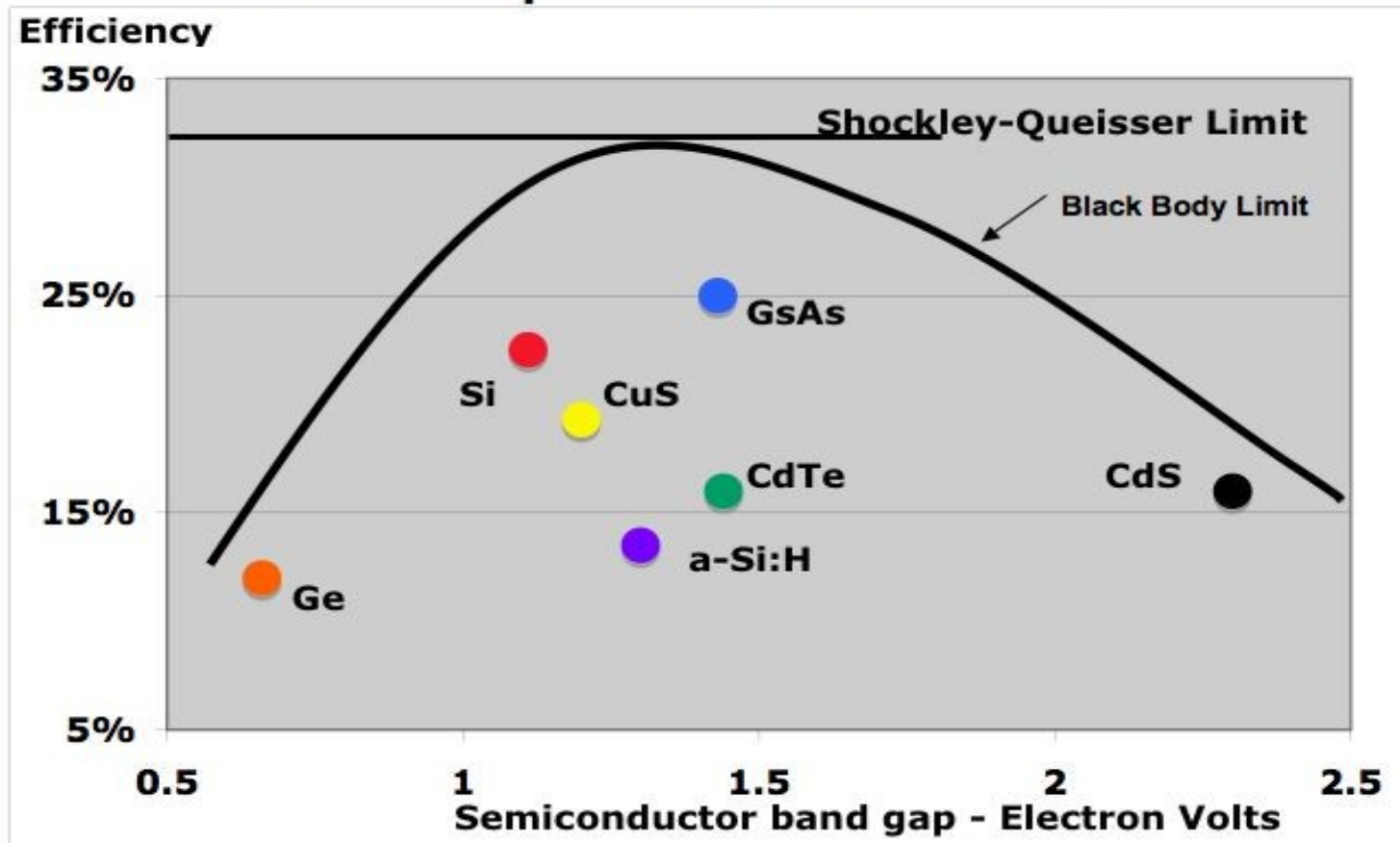
## Omezení křemíkových FVČ

- $W_g$  pro klasický křemíkový článek je 1,1 eV

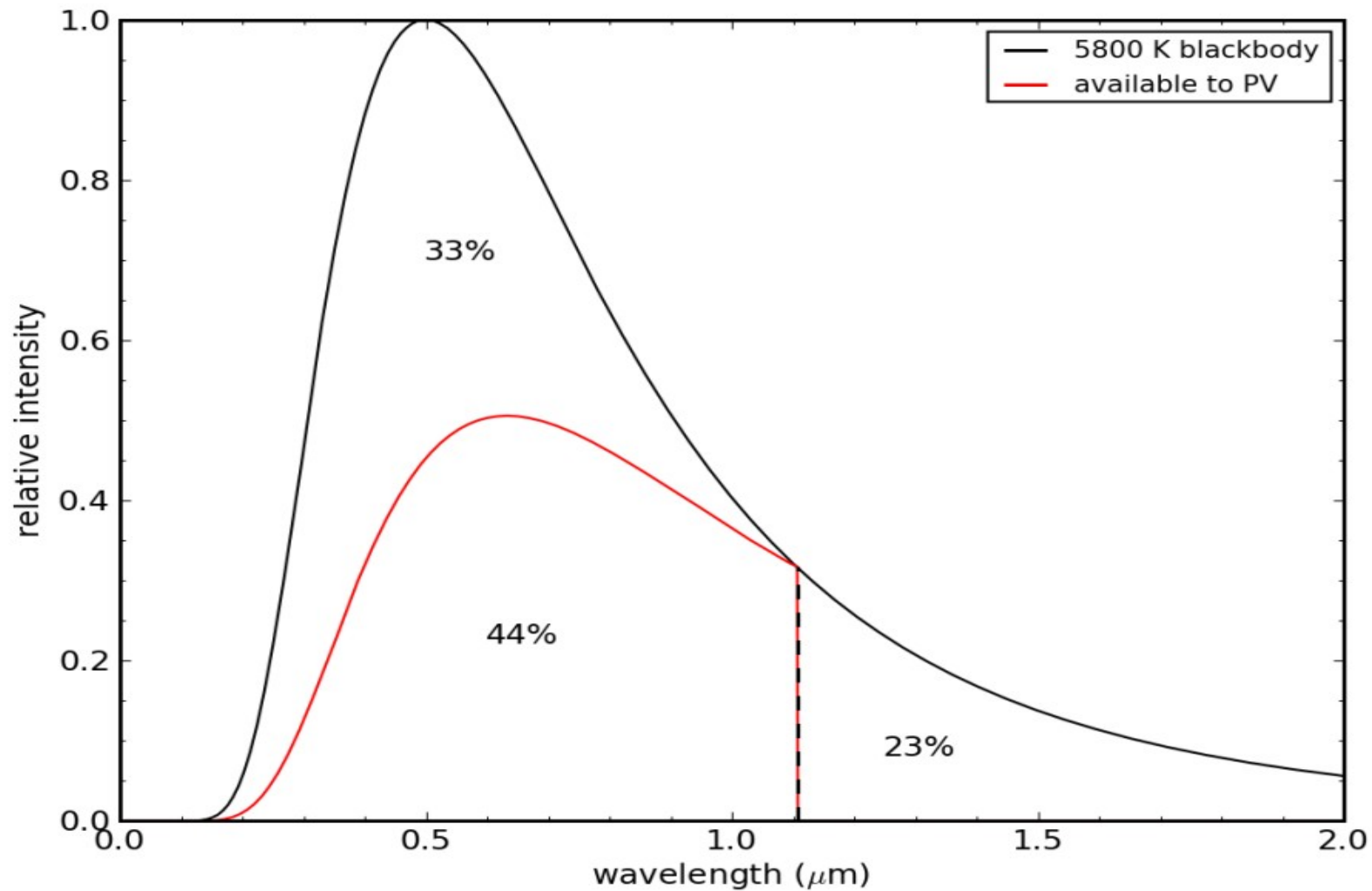




## Band Gap and Efficiencies

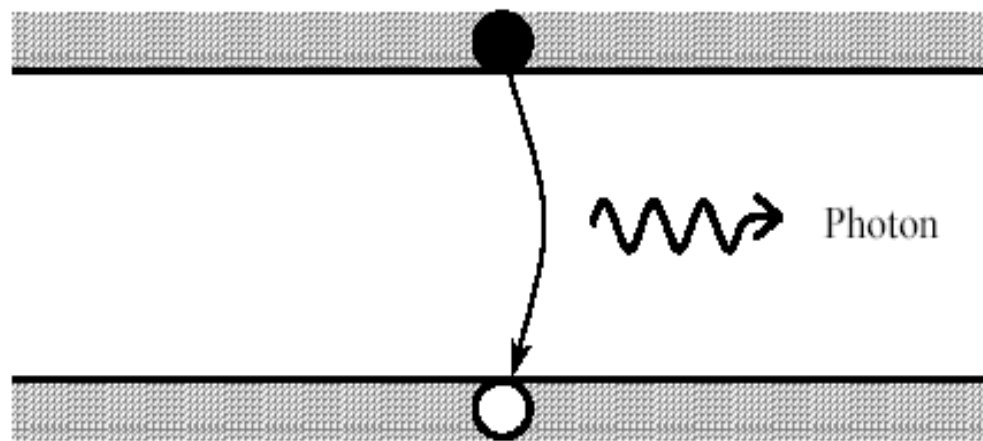


Source: DOE, Lewis Group at Caltech



## Ztráty

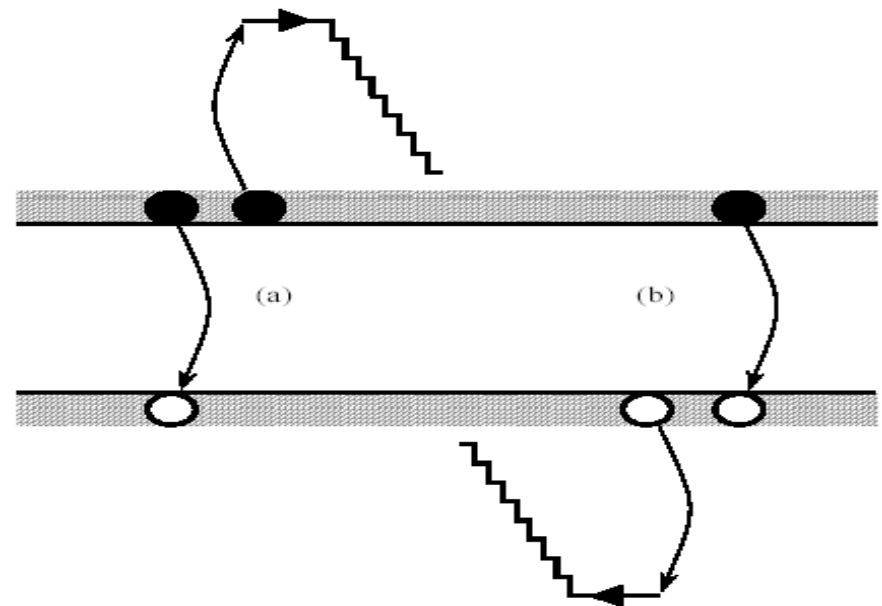
- Zářivá rekombinace
  - generovaný elektron se vrací na nižší energetickou hladinu a vyzařuje foton



## Ztráty

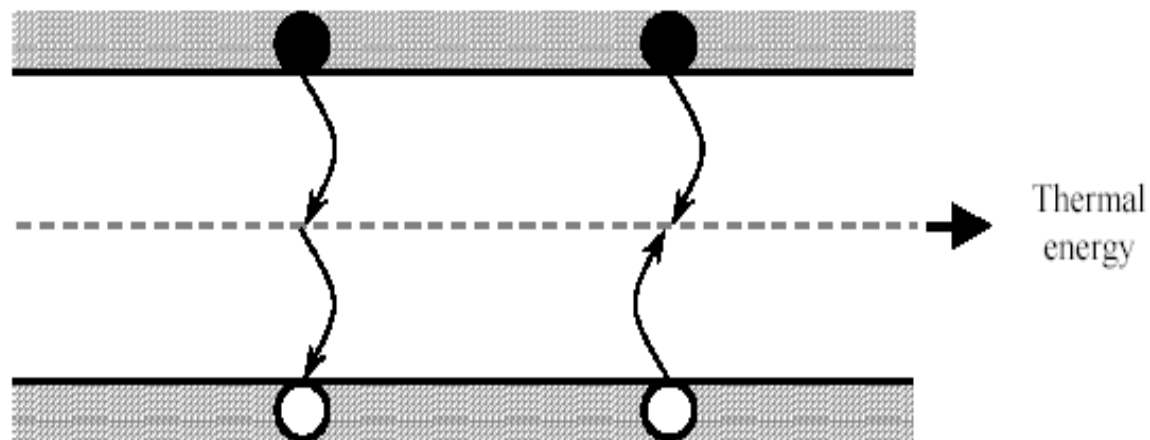
- Augerova rekombinace

- energie rekombinace je předána sousednímu nosiči náboje



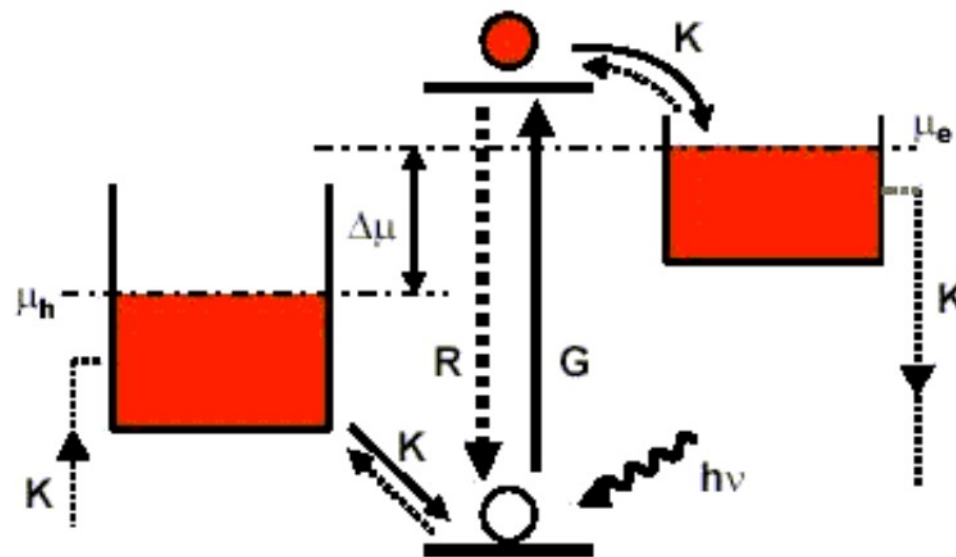
## Ztráty

- Rekombinace pomocí lokálních center
  - energie rekombinace není dostatečná pro uvolnění fotonu a tak dochází k přeměně na teplo



## Zachycení generovaných nosičů náboje

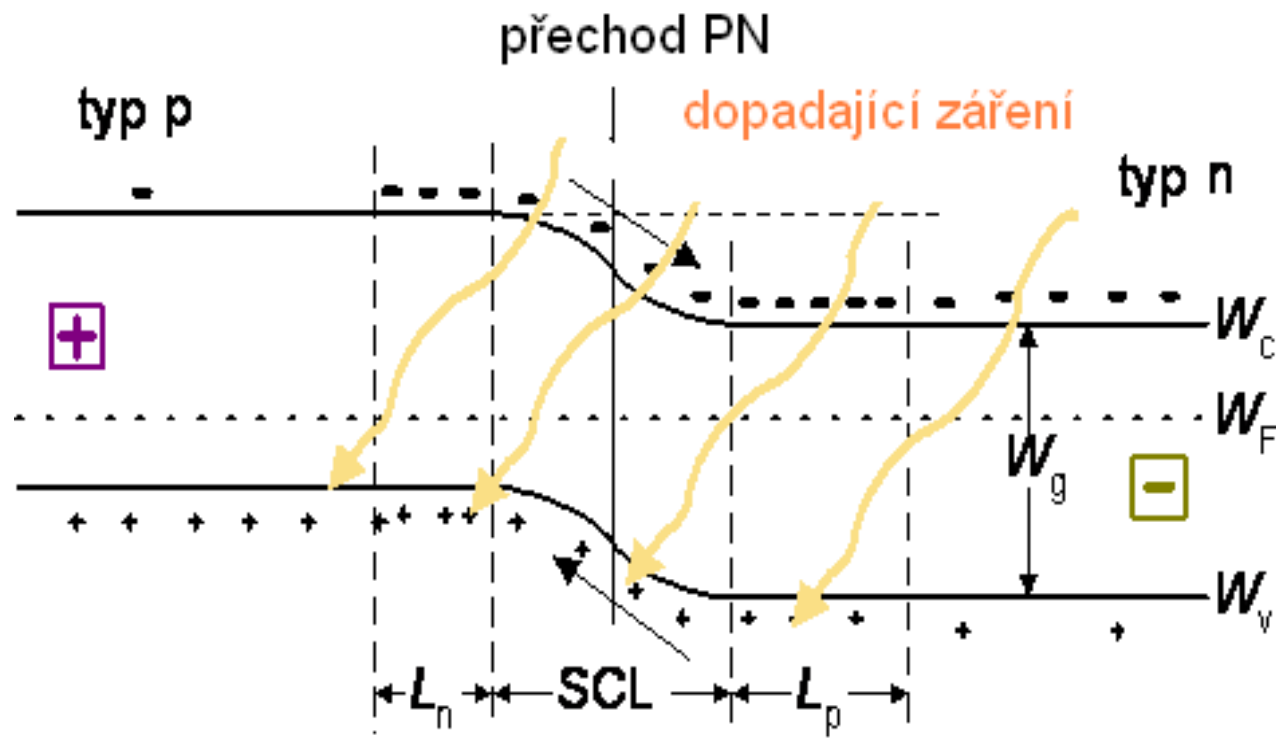
- Pro separaci generovaných nosičů náboje je nutné silné „vestavěné“ elektrické pole.
- Struktura s vestavěným elektrickým polem je např. PN přechod uvnitř polovodiče





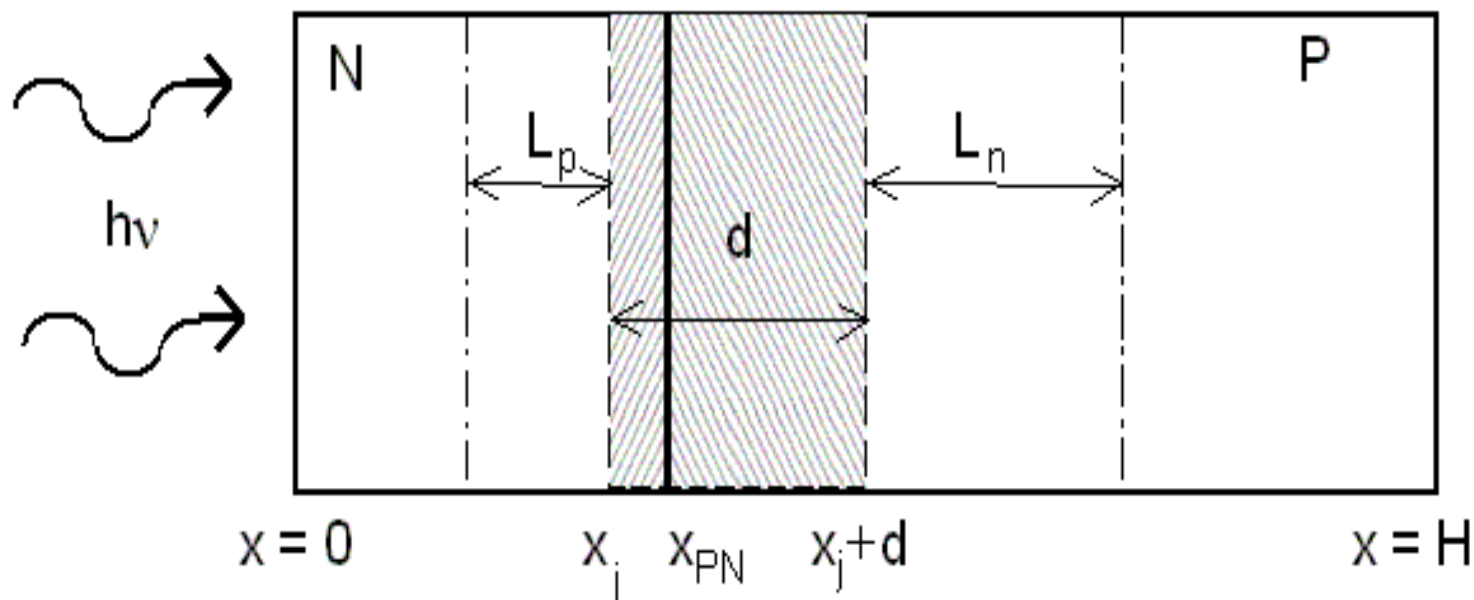
# Polovodičové fotovoltaické články

- PN přechod



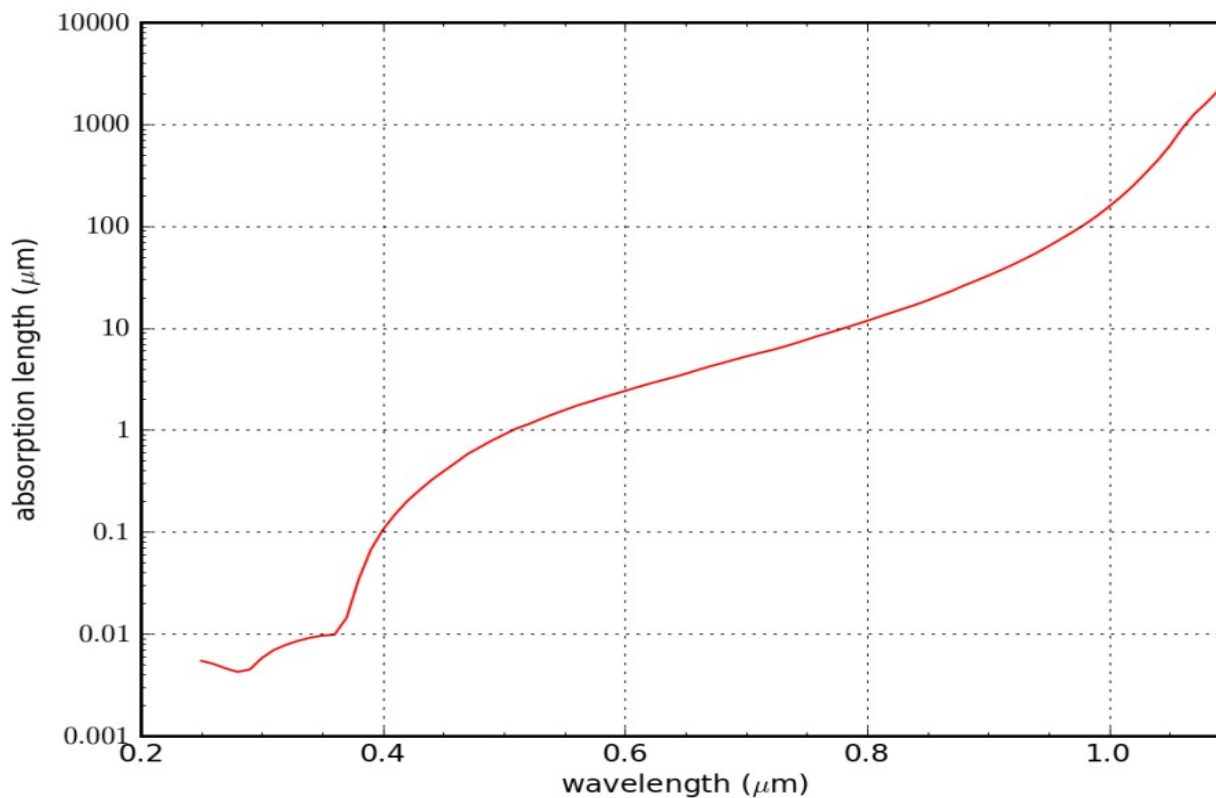
## Poloha PN přechodu v rámci FV článku

- Fyzická struktura FVČ

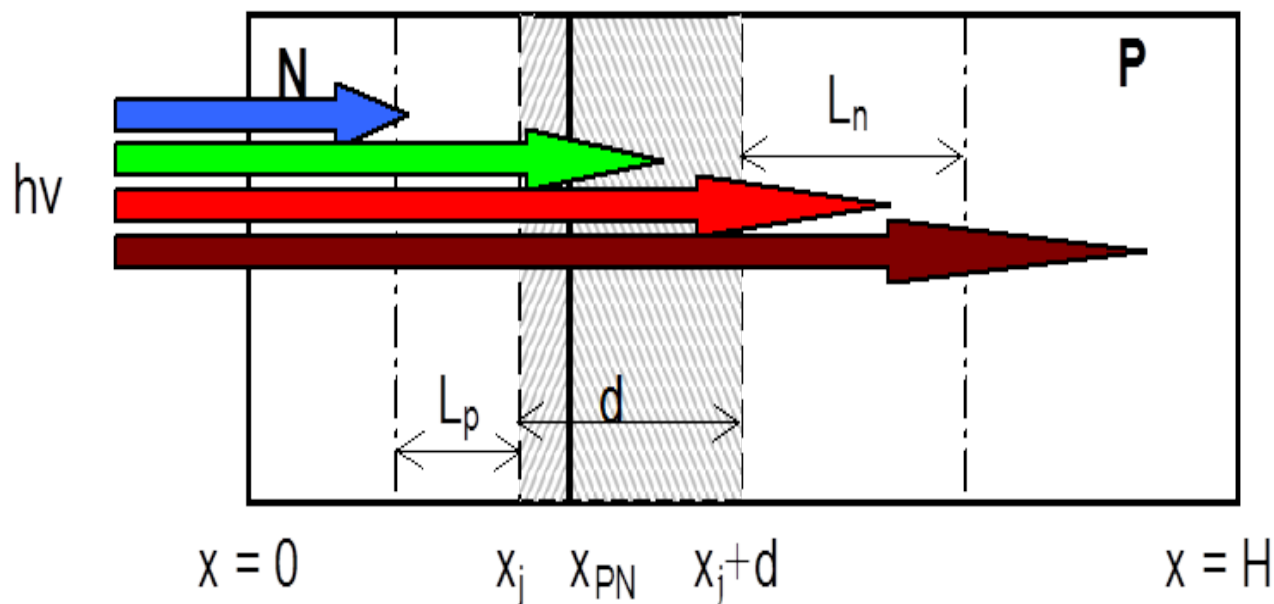




## Absorpční délka – pro Si článek



## Důsledek – optimální poloha přechodu PN

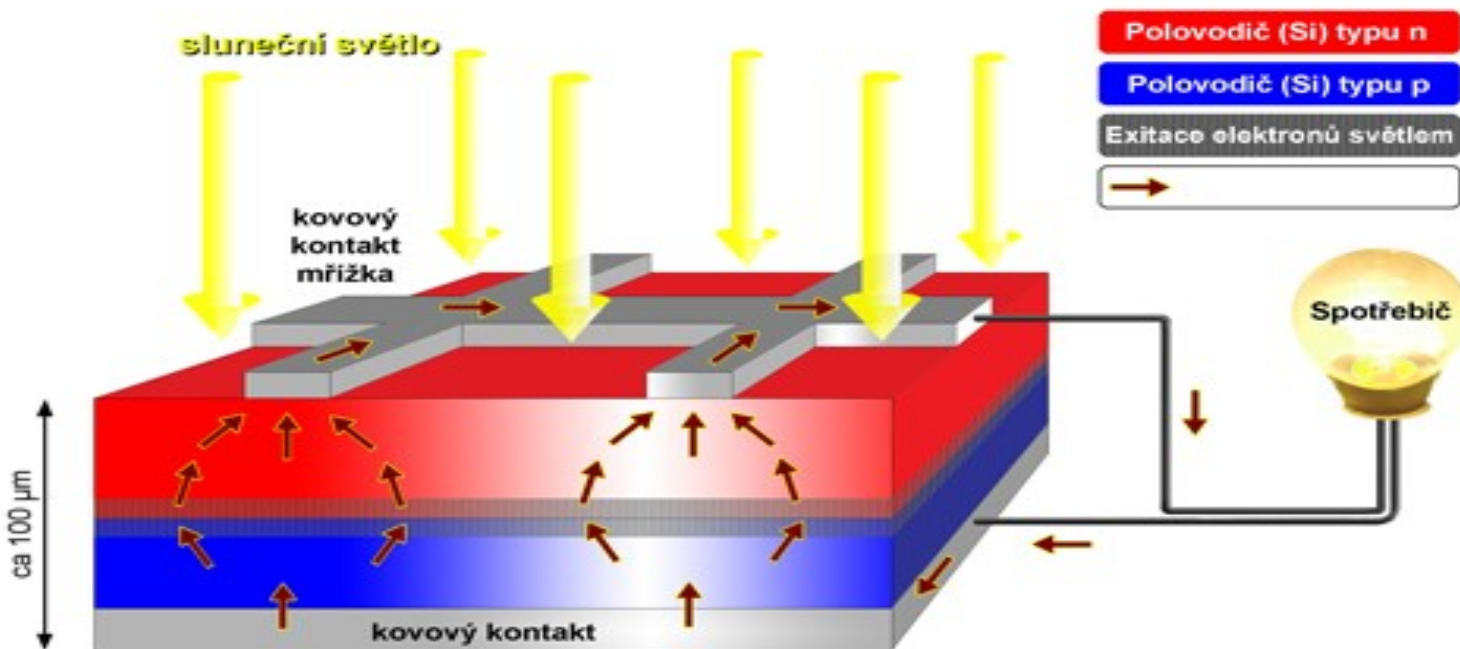


optimum je méně než  $0,5 \mu\text{m}$

## Závěr

- Nepřesná představa, už víte proč...

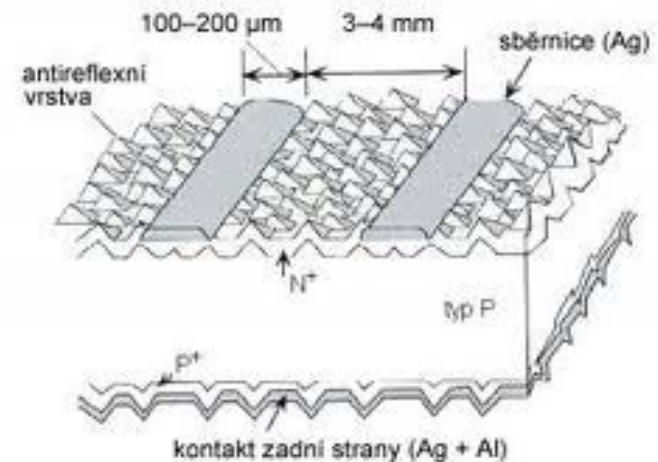
Princip činnosti fotovoltaického článku





Příště...

- Konstrukce FV článků
- Podklady
  - [pasan.feld.cvut.cz/lfsez](http://pasan.feld.cvut.cz/lfsez)



**Děkuji za pozornost a prosím o vaše dotazy.**