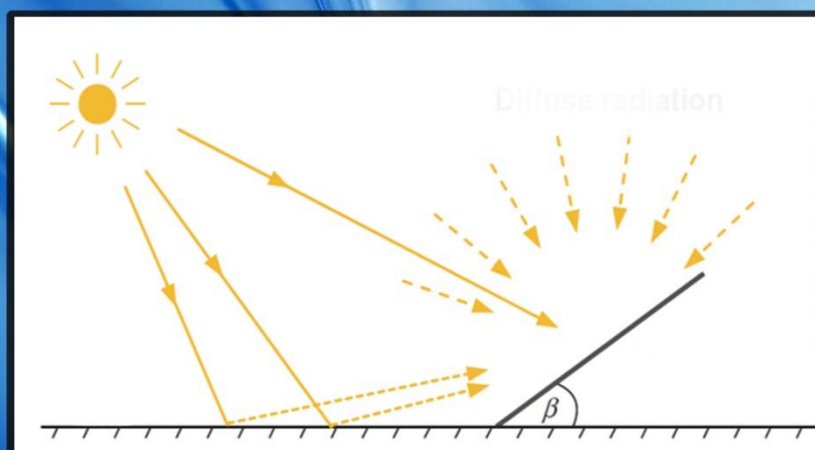
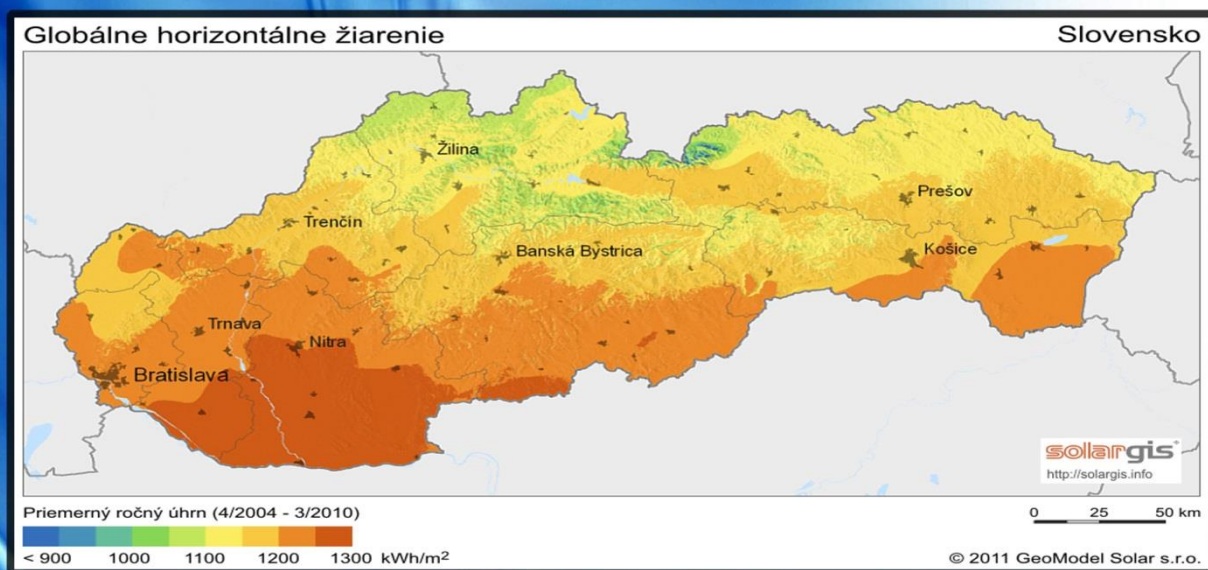
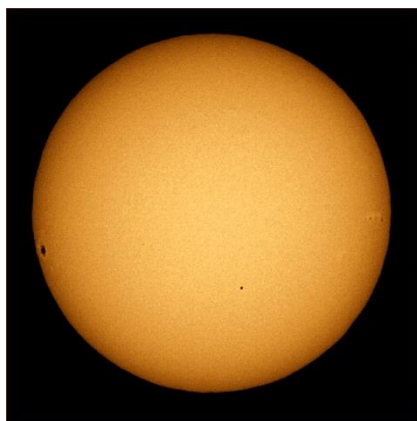
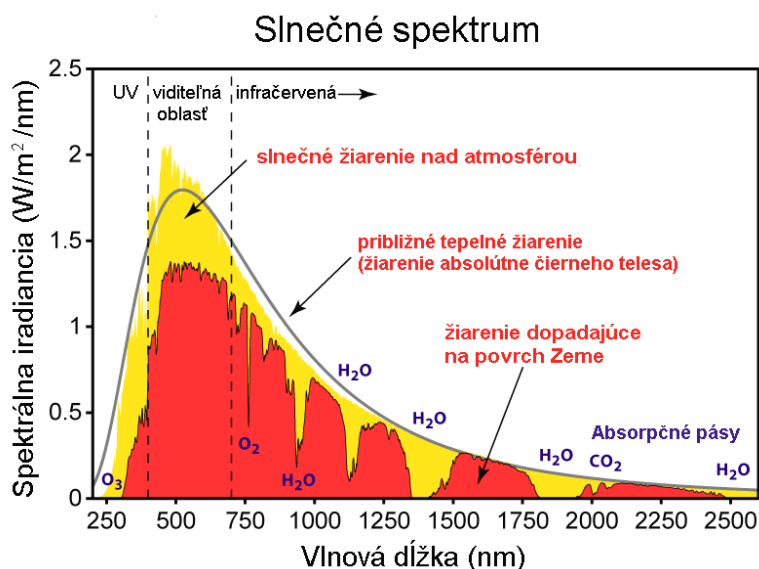


1.3 Spektrum slnečného žiarenia





Obrázok 1 Slnčná fotosféra s okrajovým stmernením. Tmavá oblasť v blízkosti ľavého okraja je slnečná škvrna, tmavá škvrna v blízkosti disku je planéta Merkúr. Zdroj: (Foto: M. Zinkova, 2010, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/64/Mercury_transit_2.jpg)



Obrázok 2 Slnčné spektrum – Závislosť spektrálnej iradiácie od vlnovej dĺžky

Miesto, odkiaľ k nám prichádza väčšina žiarenia Slnka sa nazýva fotosféra. Vo viditeľnej oblasti spektra je fotosféra vlastne „povrchom“ Slnka. Jej hrúbka je len asi 700 km, čo je spôsobené mierou nepriehľadnosti (opacity) plazmy pre žiarenie. Táto hrúbka predstavuje len asi 1/1000 polomeru Slnka, v dôsledku čoho sa okraj Slnka javí ako ostrý.

Tvar krivky slnečného spektra sa dá aproximovať krivkou žiarenia absolútne čierneho telesa. Absolútne čierne teleso je hypotetické fyzikálne teleso, ktoré produkuje len tepelné žiarenie. Teplota absolútne čierneho telesa s rovnakým žiarivým výkonom ako Slnko potom udáva efektívnu teplotu T_{eff} slnečnej fotosféry, ktorá je 5778 K.

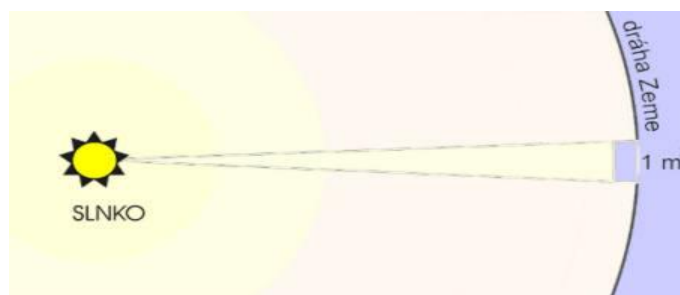
Zo slnečného žiarenia dopadajúceho na vonkajšie vrstvy atmosféry Zeme sa na Zemský povrch dostane iba časť v dôsledku odrazivosti Zemskej atmosféry (albeda) a absorpcie molekulami v atmosfére. V ultrafialovej oblasti spektra dominuje absorpcia molekulami ozónu O_3 v ozónovej vrstve, v infračervenej oblasti je časť žiarenia absorbovaná najmä molekulami vodnej pary H_2O a tiež molekulami CO_2 .

1.3.1 Pohyb Slnka po oblohe (zdanlivý)

Zem obieha okolo Slnka a zároveň rotuje okolo svojej osi. Vďaka rotácii Zeme smerom zo západu na východ sa Slnko zdanlivo pohybuje opačným smerom - z východu na západ. Azimut jeho východu a západu sa mení v závislosti od ročného obdobia. V rámci zemepisnej šírky ostáva rovnaký len uhol, pod ktorým vychádza a zapadá. Na 48° severnej zemepisnej šírky (južné časti Slovenska) Slnko vychádza aj zapadá pod uhlom 42°. Na rovníku Slnko vychádza a zapadá pod uhlom 90°. Na pólach je uhol jeho východu nulový - nad a pod obzor ho vynáša len zdanlivý pohyb Slnka po ekliptike. Uhol, pod ktorým vychádza ovplyvňuje aj dĺžku súmraku. Tá je najmenšia na rovníku a najväčšia na pólach.

1.3.2 Slnčná konštanta

Slnčná konštanta I_o (obr. č. 3) je energia zo Slnka za jednotku času, dopadajúca na jednotku plochy kolmo k smeru šírenia žiarenia, pri priemernej vzdialenosti Slnka od Zemi, mimo zemskú atmosféru. Pri rozvoji kozmických programov bola táto hodnota neustále spresňovaná a v roku 1981 prijala WMO (World Meteorological Organization - Svetová meteorologická organizácia) hodnotu $I_o = 1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ s nepresnosťou rádovo 1 %. Z toho vyplýva, že nie možné získať viacej slnečnej energie na štvorcový meter ako 1367 W. Z energetického hľadiska ide o mimoriadne zaujímavú možnosť získavania energie. Jej obmedzené využívanie je spôsobené technologickými a ekonomickými problémami.



Obrázok 3 Slnčná konštanta – definícia, Zdroj: (<http://www.slnečnaenergia.sk/energia.htm>)

1.3.3 Druhy slnečného žiarenia dopadajúceho na oslnenú plochu

Slnečné žiarenie dopadajúce na určitú plochu môžeme rozdeliť na tri zložky:

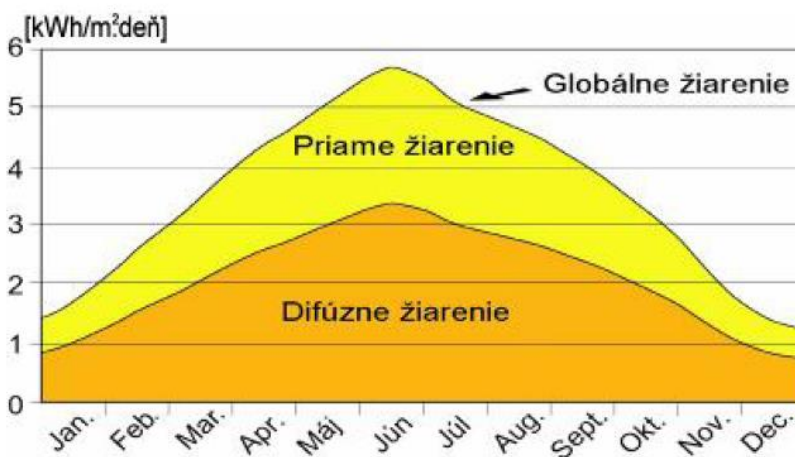
- **priame slnečné žiarenie** - slnečné žiarenie dopadajúce na plochu bez akéhokoľvek rozptylu v atmosfére
- **difúzne slnečné žiarenie** - slnečné žiarenie dopadajúce na plochu po zmene smeru žiarenia vplyvom rozptylu v atmosfére.
- **odrazené slnečné žiarenie** - slnečné žiarenie odrazené od okolitých objektov

Priame slnečné žiarenie má mnohonásobne vyššiu intenzitu v jednom smere než v ostatných, zatiaľ čo difúzne slnečné žiarenie má intenzitu vo všetkých smeroch rovnakú. Prakticky to znamená, že priame slnečné žiarenie je oproti difúznemu značne závislé od uhla dopadu lúčov.



Obrázok 4 Zložky slnečného žiarenia pri povrchu Zeme

Zdroj: (http://www.slnečnaenergia.sk/ECB_Moznostivyuzivaniaslnecejenergie.pdf)



Obrázok 5 Zastúpenie jednotlivých druhov žiarenia v SR

1.3.4 Vybrané definície a pojmy súvisiace so slnečným žiarením

Pre porozumenie je potrebné uviesť vybrané definície a pojmy súvisiace so slnečným žiarením.

- **hemisferické slnečné žiarenie:** slnečné žiarenie na rovinný povrch, prijímané v priestorom uhle 2π sr zhora príľahlého polopriestoru
- **globálne slnečné žiarenie:** hemisférické slnečné žiarenie prijímané vodorovnou plochou

- **ožiarenie G** : hustota žiarivej energie dopadajúca na povrch, t. j. podiel žiarivého toku dopadajúceho na určitý povrch a veľkosť tohto povrchu ($W \cdot m^{-2}$).
- **dávka ožiarenia H** : žiarivá energia dopadajúca na jednotku plochy za určitú dobu, ktorá sa zistí integráciou ožiarenia v určitom časovom intervale, často za hodinu alebo deň ($MJ \cdot m^{-2}$).
- **exitancia žiarenia M** : žiarivý tok, vychádzajúci z určitého povrchu prvku, delený plochou tohto prvku.
- **slniečny čas**: denný čas určený zo zdanlivého uhlového pohybu Slnka po oblohe, so slnečným poludníom ako vzťažným bodom, kedy slnko pretína poludník pozorovateľa.

$$\text{Slniečny čas} = \text{štandardný čas} + 4 (L_{st} - L_{loc}) + E$$

kde L_s - je štandardný poludník pre miestnu časovú zónu

L_{loc} - skutočná zemepisná dĺžka stanoviska pozorovateľa

E - čas, zahrňujúci vplyv nerovnomernosti rotácie Zeme pri obehu okolo Slnka, ktoré opäť ovplyvňuje čas, kedy Slnko prebieha pozorovateľov poludník.

Korekcia $4 (L_s - L_{loc}) + E$ je vyjadrená v minútach. Táto dodatočná korekcia je potrebná, pretože štandardný čas nezodpovedá štandardnému poludníku (napr. u nás tzv. letný čas).

$$E = 222,9 (0,000075 + 0,001868 \cos B - 0,032077 \sin B - 0,014615 \cos 2B - 0,04089 \sin 2B) \quad (8)$$

$$B = (n - 1) \frac{360}{365} \quad (9)$$

kde n je deň v roku. Dolné indexy použitých veličín vyjadrujú nasledujúce súvislosti :

o - označuje žiarenie nad zemskou atmosférou

b - označuje priame žiarenie,

d - označuje difúzne žiarenie,

T - označuje žiarenie na naklonenú plochu,

n - označuje žiarenie na plochu kolmú k smeru žiarenia, ožiarenie označené bez indexu T alebo n označuje ožiarenie na horizontálnu rovinu.

V ďalšom texte sú uvedené definície pojmov a veličín, ktoré sa používajú pri hodnotení slnečných pomerov konkrétneho miesta.

- **zemepisná šírka φ** , uhlové umiestnenie severne (+) alebo južne (-) od rovníka $-90^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$;

- **slnečná deklinácia δ** , uhol, ktorý zvierajú spojnice stredu Zeme na juh a Slnka s rovinou zemského rovníka (odchýlka od rovníka na sever sa označuje znamienkom +) $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$,
- **uhol sklonu β** , :uhol medzi vodorovnou rovinou a rovinou sledovaného povrchu- $180^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$, ($\beta > 90^\circ$),
- **uhol orientácie plochy γ** (azimut Slnka): uhlová odchýlka priemetov normály plochy do horizontálnej roviny od lokálneho poludníka, pričom 0° zodpovedá orientácii na juh, (-) východ. (+) západ, $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$,
- **slnečný časový uhol ω** (azimut Slnka): uhol medzi priemetom spojnice pozorovateľa a Slnka v určitom čase na rovinu preloženú zemským rovníkom a medzi priemetom tejto spojnice prislnečnom poludní. Slnečný časový uhol ω sa mení približne o 360° za 24 hodín (približne 15° za hodinu). Tento uhol je záporný dopoludnia a kladný poobede, t. j. (v stupňoch) $\omega \approx 15 (\text{Hr} - 12)$, kde Hr je slnečný čas v hodinách,
- **uhol dopadu ϑ** (len pre priame slnečné žiarenie) uhol medzi spojnicou stredu Slnka a ožiarenej plochy a vonkajšia kolmica vztýčená nad ožiarenou plochou,
- **uhol slnečného zenitu ϑ_z** : uhol zovretý spojnicou pozorovateľa a Slnka a zvislicou nad pozorovateľom (tiež uhol dopadu priameho slnečného žiarenia na vodorovnú plochu).
- **výška Slnka nad obzorom h** : doplnkový uhol slnečného zenitu $h = 90^\circ - \vartheta_z$
- **slnečný azimut γ_s** : uhol, ktorý zvierajú zvislý priemet spojnice miesta pozorovateľa a momentálnej polohy Slnka do vodorovnej roviny v mieste pozorovateľa s priamkou smerujúcou od miesta pozorovateľa k juhu (na severnej pologuli) alebo k severu (na južnej pologuli). Uhol sa meria v zmysle smeru hodinových ručičiek na severnej pologuli a proti smeru na južnej pologuli. Slnečný azimut je negatívne dopoludnie (Slnko je na východ od juhu), 0° lebo 180° dopoludnia (záleží na pomernej hodnote slnečnej deklinácie a na mieste zemepisnej šírke) a kladný je popoludní (západné polohy Slnka) na celej zemegule. Odlišuje sa od zemepisného azimutu, ktorý sa meria od severu v smere hodinových ručičiek na celej zemeguli.

Smer dopadu slnečných lúčov je daný vzájomnou polohou Slnka nad obzorom a oslnenej plochy. Zatiaľ čo u oslnenej plochy sa spravidla jedná o stálu polohu danú orientáciou k svetovým stranám a uhlom sklonu (okrem systému s rotáciou za slnkom), poloha Slnka sa mení v závislosti na dennej a ročnej dobe. Poloha Slnka je daná jeho výškou nad obzorom h a jeho azimutom γ_s .

Pre tieto dva uhly platia vzťahy

$$\sin h = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega \quad (10)$$

$$\sin \gamma_s = \frac{\cos \delta}{\cos h \cdot \sin \omega} \quad (11)$$

Tabuľka 4 Pomerná doba slnečného svitu τ_r

Miesto	Pomerná doba slnečného svitu τ_r											
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Bratislava	0,25	0,35	0,46	0,50	0,56	0,59	0,66	0,66	0,63	0,47	0,25	0,20
Košice	0,26	0,31	0,42	0,46	0,53	0,54	0,58	0,59	0,57	0,47	0,27	0,23

1.3.5 Množstvo dopadajúceho slnečného žiarenia

Množstvo slnečného žiarenia dopadajúceho na Zem (118 000 TW), čo niekoľko tisícnásobne prevyšuje súčasnú spotrebu energie. Vrchná vrstva atmosféry prijme ročne (152 424 x 1013) kWh slnečnej energie. Aj napriek tomu, že so zvyšovaním energetickej spotreby sa rozdiel medzi touto „slnečnou ponukou“ a konečnou spotrebou energie každoročne znižuje, je tento rozdiel stále ohromujúci a z pohľadu existencie ľudskej spoločnosti, ide o energiu takmer nevyčerpatelnú.

Slnečné žiarenie je vlastne elektromagnetické vlnenie. Z tohto žiarenia približne 47% pripadá na viditeľnú oblasť spektra s vlnovými dĺžkami od 380 nm - 400 nm do 750 -800 nm, cca 7% tvorí ľudské oko neviditeľné ultrafialové žiarenie (vlnové dĺžky pod 380 nm) a zvyšná časť (cca 46 %) pripadá na infračervené žiarenie s vlnovými dĺžkami nad 800 nm.

Pri kolmom dopade slnečných lúčov na zemskú atmosféru, dopadne na 1m² približne 1 367,13 W energie. Jedná sa o tzv. „slnečnú konštantu“. Časť tohto priameho slnečného žiarenia je pohltaná a rozptýlená v zemskej atmosfére plynmi a aerosólmi a časť je odrazená späť do vesmíru, takže na zemský povrch sa nedostane jeho celá časť. Rozptýlené slnečné žiarenie a žiarenie odrazené od zemského povrchu sa označuje ako žiarenie difúzne. Súčet priameho a difúzneho žiarenia sa označuje ako globálne žiarenie. Výhodou slnečného žiarenia je jeho homogénnejšie rozloženie v porovnaní so svetovými zásobami konvenčných energetických palív, nevýhodou je mnohonásobne nižšia hustota slnečného žiarenia než v prípade fosílnych zdrojov. V Európe intenzita slnečného žiarenia dopadajúceho kolmo na zemský povrch kolíše od približne (400 – 600) kWh.m².a⁻¹ na severe Škandinávie a Ruskej federácie až po približne 2 000 kWh.m².a⁻¹ v oblasti Stredozemného mora (juh Pyrenejského

a Apeninského polostrova, juh Turecka). Na Slovensku sa intenzita slnečného žiarenia dopadajúceho na horizontálny povrch pohybuje v rozpätí (1 000 – 1 205) kWh.m².a⁻¹ . Je to približne 200 krát viac, ako je súčasná spotreba primárnych energetických zdrojov. Bohužiaľ prekážkou široko plošného využitia tohto žiarenia je nielen neexistencia stopercentnej účinnosti energetického zariadenia, ale aj spomínaná energetická hustota žiarenia a odchýlky v jeho množstve počas celého roka (približne 800 kWh.m² je získaných v období od apríla do septembra).

Z celkového pohľadu predstavuje slnečná energia v rámci všetkých OZE na Slovensku najväčší potenciál (54 038 TWh / 194 537 PJ). Technicky využiteľný potenciál slnečnej energie bol oficiálne stanovený Ministerstvom hospodárstva na 9 450 GWh / 34 000 TJ ročne, čo predstavuje po biomase druhý najväčší technický potenciál v rámci Slovenska. Technicky využiteľný potenciál, v súvislosti s výrobou elektrickej energie, bol stanovený na úrovni 1 540 GWh .a⁻¹.