

1. Sluneční záření

1.1. Výkonová hustota slunečního záření

Slučování jader vodíku na jádra helia

hmotnostní bilance $564 \times 10^9 \text{ kg/s H}$ se přemění na $564 \times 10^9 \text{ kg/s He}$

$$E = mc^2 \quad \text{do výkonové podoby} \quad \Phi = \dot{m}c^2 \quad 3,6 \times 10^{26} \text{ W}$$

povrch koule

$$S = \pi d^2$$

průměr Slunce $1\,392\,000 \text{ km}$

hustota vyzařovaného výkonu $5,91 \times 10^7 \text{ W/m}^2$

kolik dopadá na zemi (atmosféru)

vzdálenost $R = 149\,500\,000 \text{ km}$

rozptyl na větší plochu

$$S = \pi (2 \times R)^2$$

hustota na povrchu atmosféry 1280 W/m^2

delta hmotnosti není 4×10^9 ale třeba $4,3 \dots$ pak už to vyjde ...

zkusme jiný vztah pro hustotu zářivého toku

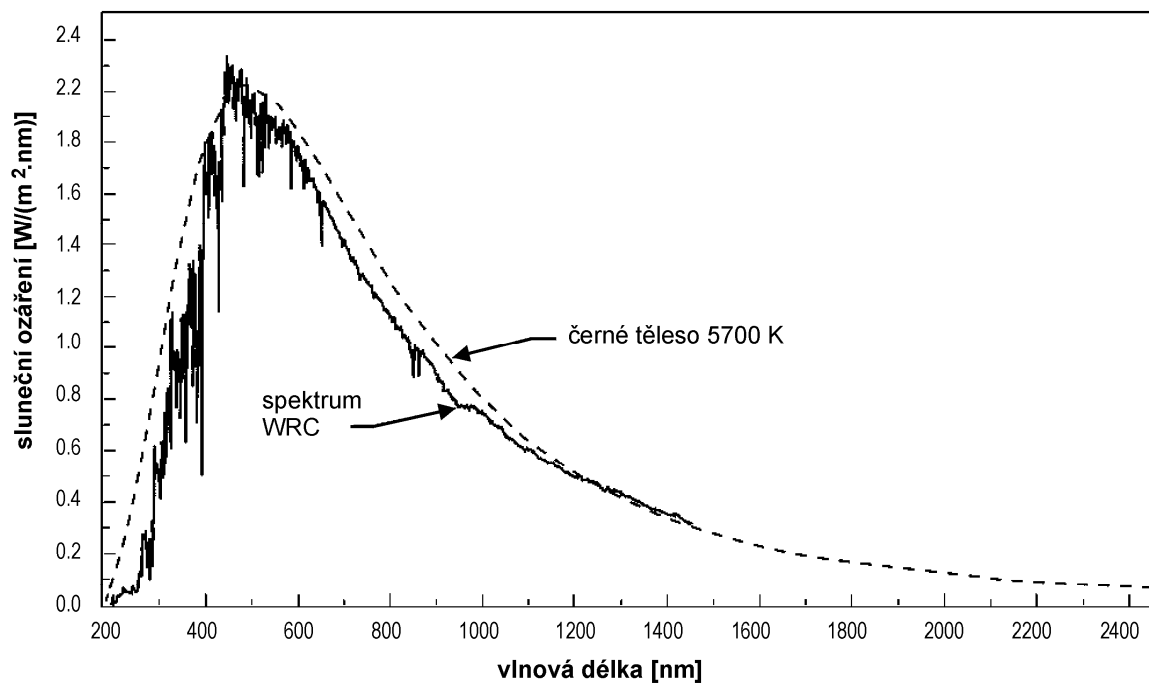
$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0,033 \cdot \cos \frac{360 \cdot n}{365} \right) = G_{sc} \left(1 + 0,033 \cdot \cos \frac{360 \cdot 51}{365} \right) = 1396 \text{ W/m}^2$$

dneska je $n = 20 + 31 = 51$.den

1.2. Spektrum slunečního záření

Planckův zákon

$$E_{\lambda}(\lambda, T) = \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5} \left[e^{\frac{h \cdot c}{k \cdot \lambda \cdot T}} - 1 \right]^{-1}$$



Wienův posouvací zákon

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2898 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

Příklad 1: Stanovte $\lambda_{\max}$ pro 5800 K a pro 100 °C

0,5

7,8

1.3. Geometrie slunečního záření

Stanovte teoretickou hodnotu slunečního ozáření G_T pro zadanou plochu 20.2. v 16h (oblast Praha, město), nadmořská výška 200 m

úhel sklonu β 90°

azimut plochy γ 15° západ

zeměpisná šířka ϕ ČR: cca 50° severní šířky

Stanovíme geometrické charakteristiky (úhly):

deklinace δ

- vztahy pro výpočet

$$\delta = 23.45^\circ \sin(0.98D + 29.7M - 109^\circ) \qquad \delta = 23.45^\circ \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right)$$

kde D ... pořadí dne v měsíci

kde n ... pořadí dne v roce

M ... pořadí měsíce v roce

$$\delta = 23.45^\circ \sin(0.98 \cdot 20 + 29.7 \cdot 2 - 109^\circ) \qquad \delta = 23.45^\circ \sin\left(360 \frac{284 + 51}{365}\right)$$

$$\delta = -11.7^\circ$$

$$\delta = -11.6^\circ$$

Uvažujme dále průměrnou hodnotu -11.7°

sluneční časový úhel τ

- sluneční časový úhel se tedy stanoví ze slunečního času ST jako

$$\tau = 15^\circ \cdot (ST - 12) = 15^\circ \cdot (16 - 12) = 60^\circ$$

teoretická doba slunečního svitu

Časový úhel západu (nebo východu) slunce $\tau_{1,2}$ lze stanovit z podmínky nulové výšky Slunce h z rovnice (2.10) jako

$$\tau_{1,2} = \arccos(-\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta) = \arccos(-\operatorname{tg} 50^\circ \cdot \operatorname{tg}(-11.7^\circ)) = 75.8^\circ$$

a z něj potom určit dobu mezi východem a západem Slunce, tzv. teoretickou dobu slunečního svitu jako

$$\tau_{\text{teor}} = \frac{2 \cdot \tau_{1,2}}{15^\circ} = \frac{2 \cdot 75.8}{15^\circ} = 10.1 \text{ hodin}$$

kdy zapadne Slunce?

17,05 ... 17:03

výška Slunce h

$$\sin h = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \tau = \sin(-11.7^\circ) \cdot \sin 50^\circ + \cos(-11.7^\circ) \cdot \cos 50^\circ \cdot \cos 60^\circ$$

$$h = 9.1^\circ$$

a zenitový úhel θ_z je potom

$$\theta_z = 90^\circ - h = 90 - 9 = 81^\circ$$

azimut Slunce γ_s

$$\sin \gamma_s = \frac{\cos \delta}{\cos h} \sin \tau = \frac{\cos(-11.7^\circ)}{\cos(9.1^\circ)} \sin(60^\circ) = 59.2^\circ$$

úhel dopadu slunečního záření θ

$$\cos \theta = \sin h \cdot \cos \beta + \cos h \cdot \sin \beta \cdot \cos(\gamma_s - \gamma)$$

$$\theta = \arccos(\sin 9.1^\circ \cdot \cos 90^\circ + \cos 9.1^\circ \cdot \sin 90^\circ \cdot \cos(59.8^\circ - 15^\circ)) = 45^\circ$$

1.4. Sluneční ozáření

Hustota slunečního zářivého toku dopadající dne 7.2. na vnější obal atmosféry Země ve směru normály

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0,033 \cdot \cos \frac{360 \cdot n}{365} \right) = G_{sc} \left(1 + 0,033 \cdot \cos \frac{360 \cdot 48}{365} \right) = 1398 \text{ W/m}^2$$

po průchodu atmosférou jako přímé normálové (ve směru normály) sluneční ozáření

$$G_{bn} = G_{on} \cdot \exp\left(-\frac{Z}{\varepsilon}\right)$$

Zjednodušeně lze aplikovat charakteristické hodnoty součinitele znečištění následovně:

- horské oblasti $Z = 2$
- venkov $Z = 3$
- města $Z = 4$
- průmyslové oblasti $Z = 5$ a více

$$\varepsilon = \frac{9,38076 \cdot [\sin h + (0,003 + \sin^2 h)^{0,5}]}{2,0015 \cdot (1 - L_v \cdot 10^{-4})} + 0,91018$$

kde

L_v ... nadmořská výška daného místa [m]

h výška Slunce

$$\varepsilon = \frac{9,38076 \cdot [\sin 9.1^\circ + (0,003 + \sin^2 9.1^\circ)^{0,5}]}{2,0015 \cdot (1 - 200 \cdot 10^{-4})} + 0,91018 = 2.48$$

$$G_{bn} = 1398 \cdot \exp\left(-\frac{4}{2.48}\right) = 279 \text{ W/m}^2$$

Sluneční ozáření obecné plochy G_T – hustota zářivého toku dopadající na 1 m^2 obecně skloněné a orientované plochy

b (přímé), d (difúzní), T (na obecně skloněnou plochu), n (na plochu kolmou ke směru paprsku), bez indexu (na horizontální – vodorovnou plochu)

$$G_T = G_{bT} + G_{dT} + G_{rT}$$

nejprve je nutné stanovit přímé a difúzní ozáření horizontální plochy (neindexované) G_b a G_d

přímé sluneční ozáření na vodorovnou rovinu

$$G_b = G_{bn} \sin h = 279 \cdot \sin(9.1^\circ) = 44 \text{ W/m}^2$$

difúzní sluneční ozáření na vodorovnou rovinu

$$G_d = 0,33 \cdot (G_{on} - G_{bn}) \sin h = 0,33 \cdot (1396 - 279) \cdot \sin(9.1^\circ) = 59 \text{ W/m}^2$$

přímé $G_{bT} = G_{bn} \cos \theta = 279 \cdot \cos(45^\circ) = 197 \text{ W/m}^2$

difúzní $G_{dT} = \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) G_d = \left(\frac{1 + \cos 90}{2} \right) 59 = 50 \text{ W/m}^2$

odražené $G_{rT} = \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) (G_b + G_d) = 0,2 \left(\frac{1 - \cos 90}{2} \right) (44 + 59) = 3 \text{ W/m}^2$

celkové teoretické sluneční ozáření na zadanou plochu dne 20.2. v 16 h

$$G_T = G_{bT} + G_{dT} + G_{rT} = 197 + 50 + 3 = 250 \text{ W/m}^2$$

Tímto způsobem je možné stanovit teoretické sluneční ozáření (celkové, difúzní) v každém minutě roku a vytvořit tabulky typických denních úhrnů (integrace), které jsou dále používány v úlohách.