Stanovení energie dopadající na osluněnou plochu

Cíl úlohy

Experimentálně stanovit ozáření E plochy skloněné pod různými úhly vůči vodorovné rovině a různě orientované vůči světovým stranám.

Úvod

Množství *energie* slunečního záření, které dopadá na jednotku plochy za jednotku času nazýváme ozáření E (někdy se také označuje symboly I, M či H) a udává se ve W/m^2.
Ozáření sestává z několika složek:

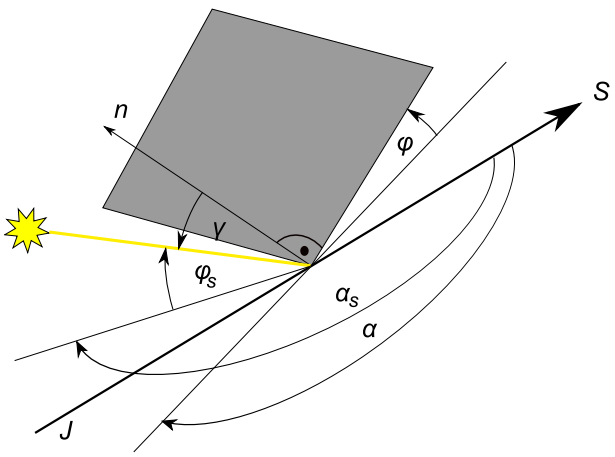
1. E_{dir} - přímé ozáření plochy sluncem
2. E_{dif} - ozáření plochy rozptýleným slunečním zářením (oblohou)
3. E_{ref} - ozáření plochy zářením odraženým od povrchu země, okolních budov atp.

Celkové ozáření E je tzv. *globální* ozáření

$$E = E_{dir} + E_{dif} + E_{ref}$$

Ozáření je ovlivňováno mnoha faktory a to především geografickou polohou, roční dobou, oblačností, sklonem φ a orientací (azimutem α) plochy na níž záření dopadá. Ozáření vodorovné plochy ($\varphi = 0$) označíme jako E_{hor}, ozáření plochy kolmé na přímé sluneční záření označíme $E_{\perp}$, ozáření obecně orientované plochy $E(\alpha, \varphi)$. Dále zavedeme symbol E_{ind} pro nepřímé záření, tedy pro *součet* difusního záření E_{dif} z oblohy a záření odraženého od povrchy země E_{ref}. Tedy $E_{ind} = E_{dif} + E_{ref} = E - E_{dir}$

Pro experimentální určení ozáření lze použít různá čidla, pro určení ozáření slunečním zářením však nejlépe vyhovují taková čidla, která mají stejnou citlivost pro všechny vlnové délky světla, které na zemský povrch ze Slunce dopadají. Tomuto požadavku nejlépe vyhovují tzv. pyranometry, které mají konstantní citlivost v rozsahu 300–2800 nm. Pyranometry jsou založeny na jednoduchém principu, na měření rozdílu teploty mezi bílými povrchy (pohltivost blízká nule) a černými povrchy (pohltivost slunečního záření blízká jedné). Důležitou vlastností dobrého pyranometru je zachování kosinové závislosti - při dopadu přímého slunečního záření s intenzitou I_0 pod úhlem γ vůči normále plochy musí platit $E_{dir} = I_0 \cos\gamma$.



Tabulka 1: Záznam napětí z čidla ozáření

(a) Měření globálního ozáření E

$\varphi\backslash\alpha$	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
0°								
30°								
60°								
90°								

(b) Měření nepřímého ozáření E_{ind}

$\varphi\backslash\alpha$	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
0°								
30°								
60°								
90°								

Postup experimentu

1. Měření provádíme v exteriéru (v případě deště v atriu fakulty).
2. Při práci dbejte velké opatrnosti, aby vám čidlo globálního záření neupadlo a nepoškodilo se.
3. Vytáhněte nohy stativu na plnou délku a řádně je zajistěte proti zasunutí (jistící páčky musí být rovnoběžně s nohou). Řádně upevněte čidlo ozáření do otočného držáku na stativu, zkontrolujte vodorovné umístění stativu podle libely a orientaci k severu podle kompasu. Připojte k čidlu napájecí zdroj a voltmetr. Čidlo nastavte do vodorovné polohy ($\varphi = 0°$).
4. Zaznamenejte hodnotu napětí na voltmetru. Pokud je na čidlu krytka, měla by tato hodnota být velmi blízká 1. Připravte si stopky, kryt sejměte, po 10 s zaznamenávejte napětí na voltmetru po dobu dvou minut. Nalezněte čas od kterého se hodnota napětí již neměnila (nebo se měnila jen velmi málo). Tento čas je *reakční doba čidla.*
5. Měňte polohu čidla (úhel sklonu roviny čidla φ vůči vodorovné rovině v rozsahu 30°–90° po 30°, azimut α průmětu normály čidla do vodorovné roviny v rozsahu 0°–360° po 45 °C), zkrátka a dobře vyplňte tabulku 1a. Při měření udržujte dostatečný odstup od čidla (stůjte za čidlem). Čidlo ozáření má napěťový výstup, měřte tedy napětí pomocí voltmetru, hodnotu ozáření vypočtete později. Před odpočtem hodnoty napětí U na voltmetru vždy vyčkejte ustálení hodnoty (dodržujte reakční dobu čidla)!
6. Určete ozáření nepřímým zářením E_{ind} podobným způsobem jako v bodě 5. Tuto složku ozáření získáte jednoduše tím, že odstíníte přímé záření pomocí stínítka. Měřte ve stejném rozsahu úhlů jako v bodě 5, vyplňte tabulku 1b. Tuto část vynechejte, pokud je zcela zataženo.
7. Odhadem nastavte čidlo do pozice přímo proti slunci (tak, aby přímé záření dopadalo ve směru *normály*), změřte hodnotu globálního ozáření E_n, a po zastínění nepřímou složku $E_{n,ind}$. Zaznamenejte azimut α_n a sklon φ_n roviny kolmé na sluneční záření.
8. Čidlo zafixujte ve vodorovné poloze, pak otočný držák s čidlem vytáhněte z nohou stativu (po povolení křídlového šroubu mezi nohama stativu) a zasuňte jej do nohou ze spodní strany stativu. V tomto uspořádání změřte ozáření vodorovně umístěného čidla (φ =180°) zářením odraženým od povrchu země $E(0°, 180°)$. Jeho hodnota slouží k výpočtu *albeda* povrchu.
9. Do protokolu zakreslete umístění čidla v terénu, vyznačte polohu a vzdálenost budov ve všech směrech od čidla a jejich výšku. Slovně popište počasí (zataženo, oblačno, jasno) a zaznamenejte čas měření.

Zpracování

1. Výsledky měření napěťového výstupu čidla převeďte na W/m^2. Kalibrační křivka čidla je lineární, napětí 1 V odpovídá ozáření 0 W/m^2, napětí 5 V odpovídá ozáření 1200 W/m^2.
2. Určete přímé ozáření plochy $E_{dir} = E - E_{ind}$.
3. E, E_{ind} a E_{dir} vyneste do grafů pomocí připraveného programu `slunicko.exe`. Program je k dispozici na počítačích v laboratoři nebo je ke stažení na stejném místě jako tento návod.
4. Vypočtěte albedo a povrchu v okolí pyranometru. Zjednodušeně platí:

$$a = \frac{E\,(0°, 180°)}{E_{hor}}$$

5. Zkontrolujte polohu slunce φ_s, α_s v době měření pomocí vhodného softwaru (např. [2]). Vemte přitom v úvahu, že sklon plochy kolmé na sluníčko φ_n a výška slunce nad horizontem φ_s jsou ve vzájemném vztahu: $\varphi_s = 90° - \varphi_n$.
6. Výsledky porovnejte s teoretickými hodnotami. Existuje řada modelů, které slouží k výpočtu ozáření osluněné skloněné plochy. V českých zemích se tradičně používá model uvedený v monografii [1]:

   (a) Pro $E_{dir}\,(\alpha, \varphi)$ platí:

$$\begin{aligned} E_{dir} &= E_{n,dir} \cos\gamma \\ \cos\gamma &= \sin(90° - \varphi_n)\cos\varphi + \cos(90° - \varphi_n)\sin\varphi\cos(\alpha_n - \alpha) \end{aligned}$$

   (b) Pro $E_{ind}\,(\alpha, \varphi)$ přibližně platí:

$$E_{ind} = 0{,}5\,(1 + \cos\varphi)\,E_{hor,dif} + 0{,}5a\,(1 - \cos\varphi)\left(E_{hor,dir} + E_{hor,dif}\right)$$

   Vztah 6a platí přesně, případné odchylky mohou být dány kolísáním přímého slunečního záření v důsledku oblačnosti a samozřejmě nepřesnostmi při měření, případně ne zcela kosinovou charakteristikou pyranometru. Oproti tomu vztah 6b je jen přibližný, s dobrou přesností platí jen při měření na homogenním rovinném povrchu, při nepřítomnosti budov, stromů atp. v okolí měření.

7. Protokol po vypracování zašlete, prosím, na emajl: `mailto:vydra@fsv.cvut.cz`.

Pomůcky

Otočný a sklápěcí držák opatřený libelou, kompas, čidlo globálního záření, stínítko čidla pro měření difusní složky ozáření, stopky, voltmetr, počítač.

Reference

[1] J. Cihelka, Solární tepelná technika, Praha 1994

[2] Sun Position Calculator `http://www.volker-quaschning.de/datserv/sunpos/index_e.php`

Tento návod byl aktualizován dne: 6. března 2010