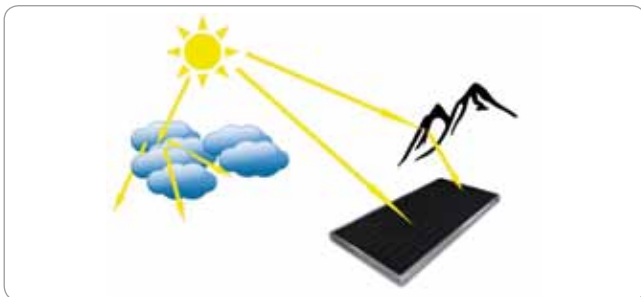


Zelená pre Slnko

V dnešnom svete sa veľa hovorí o alternatívnych zdrojoch energie, medzi ktoré zaraďujeme aj solárnu energiu. Čoraz viac uvažujeme o jej efektívnom využití. Cieľom tohto príspevku je vytvorenie modelu na výpočet dopadajúcej slnečnej energie na Zem na základe matematických vyjadrení vyplývajúcich z fyzikálnych znalostí. Návrh tak vyvodzuje jednoduchý matematický model na simulovanie podmienok v umelom prostredí. Dnešné podmienky nám núkajú nové možnosti riešenia zdroju energie s ohľadom na ekologické i ekonomické riešenie firmy. Slnko ako stály zdroj energie nám ponúka možnosť vytvárať potrebnú energiu cez solárnu techniku – solárne panely.

Jedným z riešení zdroja energie je posun k alternatívnym energetickým zdrojom. Slnko je jedným z najvýraznejších alternatívnych zdrojov energie. Solárna energia je tvorená hlboko v jadre Slnka. Intenzívnym tlakom sú vyvolávané jadrové reakcie (Hamilton, 2009). Slnko je nevyčerpatelný energetický zdroj s nulovým negatívnym vplyvom na životné prostredie.

Po prechode atmosférou sa intenzita slnečného žiarenia postupne znižuje. Na Zem dopadajú tri druhy žiarenia (priame, difúzne a odrážené – obr. 1). Priame žiarenie dosahuje nižšiu hodnotu svietivosti ako ostatné žiarenia. Difúzne žiarenie vzniká z rozptylenia a odrazu od povrchu Zeme.



Obr. 1 Druhy slnečných žiarení

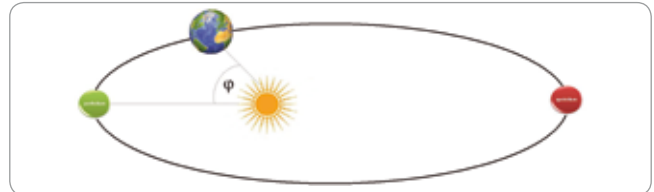
Na zachytenie žiarení slúži solárny systém. Jeho vyššie náklady pri realizácii sa vrátia za určitý čas používania – energetická amortizácia. Vzhľadom na dlhodobú životnosť solárnych panelov a ich nižšie energetické náklady pri výrobe sú solárne panely považované za zdroj s dlhou energetickou návratnosťou. Solárne systémy sa bez doplnkového zdroja nezaobídu, nakoľko nie sú schopné v stredo-európskych podmienkach zabezpečiť ekonomicky efektívnym spôsobom celú svoju spotrebu (Iliáš, Guschlbauer-Hronek, Benesch, Bayer, 2006).

Sekundárny zdroj energie sa zavádza z dôvodu zníženia intenzity svetla počas dňa v mesiacoch november až apríl. Predpokladá sa, že počas mesiacov máj až október je dostatočné množstvo slnečných hodín, a preto netreba zavádzať ďalší zdroj. Väčšinou počas týchto mesiacov dochádza k vzniku prebytku energie. Ten možno využiť, prípadne ho možno na krátky čas uchovávať. Zväčša je to neefektívne, a preto sa pri vytváraní solárneho systému (aj ostrovného) systém navrhuje iba na množstvo výroby požadovanej energie. Zníži sa tak veľkosť solárneho systému a zároveň aj cena za finálne riešenie.

Aspekty slnečného žiarenia

Aby sme mohli vytvoriť model, ktorý bude simulovať výpočet celkovej slnečnej energie dopadajúcej na Zem, treba do modelu zahrnúť aj vzťah medzi Zemou a Slnkom. Zem obieha okolo Slnka po eliptickej trajektórii. Ohniskom dráhy obehu Zeme je práve Slnko. Keďže trajektória obehu Zeme má tvar elipsy, treba rátať so zmenou vzdialenosti Zeme a Slnka. Pri prechode atmosférou slnečné lúče uberajú na svojej intenzite. Celkový svietivý výkon Slnka je označovaný termínom luminozita – L_0 . Na základe vzťahu medzi luminozitou a vzdialenosťou Zeme od ohniska vieme vypočítať intenzitu žiarenia. Je dôležité poznamenať, že Zem sa môže nachádzať v dvoch polohách v rámci vzťahu so Slnkom. Apohélium (A) je poloha Zeme, keď je najviac vzdialená od Slnka (červená farba), najkratšia vzdialenosť je označovaná ako perihélium (P) (zelená farba). Meniacu sa vzdialenosť vzhľadom na trajektóriu je vhodné

vyjadriť výpočtom excentricity (e) na základe dosiaľ uvedených konštánt. Pre prispôbenie modelu reálnym podmienkam treba rátať aj s uhlom, ktorý dostaneme spojením ľubovoľného bodu na trajektórii Zeme so Slnkom a spojením Slnka a Zeme, keď sa nachádza v perihélium. Tento uhol je označovaný gréckym znakom φ (obr. 2).



Obr. 2 Trajektória Zeme okolo Slnka

Zatiaľ čo priame slnečné žiarenie úzko súvisí s polohou Zeme pri obehu trajektórie okolo Slnka, difúzne žiarenie ovplyvňuje difúzny faktor vonkajšieho prostredia. Priamy slnečný lúč pri dopade na zemský povrch prechádza cez atmosféru. Jednotlivé oblaky lámu slnečné žiarenie, a tak dochádza k rozptylovaniu lúču. Pri lome svetla sa uplatňuje Snellow zákon. Pri dvoch odlišných prostrediach sa pomer sínusu uhla dopadu a sínusu uhla lomu nazýva relatívny index lomu. Poznáme dva typy lomu svetla v závislosti od hustoty prostredia. Ak svetelný lúč prechádza z opticky redšieho prostredia do opticky hustejšieho, dochádza k lomu od kolmice. V opačnom prípade je tento lom ku kolmici. Ďalším aspektom pri výpočte difúzneho žiarenia je dopad slnečných lúčov na nerovnomerný zemský povrch. Zem je tvorená súšou a vodnými plochami. Pri styku so súšou sa lúče odrážajú od pohorí. Vzniká takto jedna z častí difúzneho žiarenia. Vodné plochy sú sprevádzané vyparovaním vody, čím sa tvorí vodná para. S týmto javom súvisí difúzny odpor vzhľadom na prostredie. Vzduch má najnižší difúzny odpor.

Pri pôsobení difúzneho žiarenia je dôležité zohľadniť aj uhol sklonu solárneho kolektora. Pri vertikálnej polohe sa kolektor nachádza v sklone. Žiarenie, ktoré dopadá na jeho plochu, je iba čiastočné. Najvyšší energetický zisk dostávame pri horizontálnom umiestnení kolektora. Jeho uhol sklonu je nulový, teda plocha slnečného panela je plne dostupná prijímaniu difúzneho žiarenia

Model na výpočet celkovej energie

Základ výpočtov sa opiera o hodnotu luminozity Slnka, $L_0 = 3,842 \times 10^{26}$ W. Intenzita slnečného žiarenia sa označuje I_0 . Pre jej matematické vyjadrenie treba do rovnice zahrnúť aj vzťah polohy Zeme a Slnka označovanej ako vzdialenosť r . Hodnota intenzity slnečného žiarenia je priamo úmerná luminozite Slnka a nepriamo úmerná zmene vzdialenosti medzi Slnkom a Zemou.

$$I_0(r) = \frac{L}{4\pi r^2}$$

V tomto vyjadrení berieme vzdialenosť ako konštantnú hodnotu, čo však nie je správne. Zem sa pohybuje po elipsovitej dráhe. Zem v ponímaní tejto elipsy prechádza do rovnodennosti a vytvára dve ohniská. Vzdialenosť ohniska od stredu elipsy určuje hodnota excentricity elipsy ε . Môžeme ju vyjadriť jednoduchou rovnicou: $\varepsilon = \sqrt{a^2 - b^2}$. Keď máme vyjadrenú zmenu vzdialenosti Slnka od stredu trajektórie Zeme, môžeme vyjadriť vzdialenosť medzi Zemou a Slnkom. Pri tomto vyjadrení je dôležité zohľadniť aj vzdialenosť pri rovnodennosti, označenú ako r_0 . Táto vzdialenosť je priamo úmerná vzdialenosti Zeme od Slnka s ohľadom na uhol φ . O uhle φ môžeme povedať, že je nepriamo úmerný siderickému roku. Pod týmto termínom chápeme dobu, ktorá uplynie medzi dvoma dňami

rovnodennosti. S uhlom ϕ súvisí aj doba, ktorá uplynie od prechodu cez deň rovnodennosti, označená písmenom t . Dostávame vzťah:

$$r(\phi) = \frac{r_0}{1 + \varepsilon \cos \phi}$$

V tomto vzťahu vidíme aj závislosť excentricity od vzdialenosti. Rozviňme vzorec pre excentricitu tak, že aplikujeme znalosti o dvoch ohniskách elipsy. Pri závislosti Zeme a Slnka sú tieto ohniská označené ako perihélium a apohélium. Po úprave rovnice vzniknú dve rovnice na výpočet vzdialenosti v oboch ohniskách elipsy.

$$r_{\text{apohélium}} = \frac{r_0}{1 - \varepsilon}, r_{\text{perihélium}} = \frac{r_0}{1 + \varepsilon}$$

Vráťme sa teraz na začiatok a aplikujme uvedené vzorce do základného vzorca na výpočet slnečnej intenzity.

$$I_0(r) = \frac{L_{\odot}}{4\pi r^2} = \frac{L_{\odot}}{4\pi r_0^2} (1 + \varepsilon \cos \phi)^2 = \frac{L_{\odot}}{4\pi r_0^2} (1 + 2\varepsilon \cos \phi)$$

Uvedený vzťah platí pre umiestnenie solárneho kolektora v horizontálnej rovine, nakoľko ide o najefektívnejšie spracovanie solárneho žiarenia.

Na solárny kolektor okrem priameho žiarenia pôsobí aj difúzne žiarenie. Pri horizontálnej rovine kolektora je toto žiarenie priamo úmerné priamemu žiareniu. Do vzorca treba zahrnúť aj vonkajšie vplyvy rozptylu, a preto zavedieme konštantu difúzneho faktora μ .

$$I_d = I_0 \mu$$

Konštantu difúzneho faktora môžeme vypočítať z nasledujúceho vzťahu:

$$\mu = 0,095 + 0,04 \sin \left[(360/365) \cdot (t - 100) \right]$$

Aplikovaním týchto druhov žiarení dostávame vzťah na výpočet celkového slnečného žiarenia počas jasného dňa v jednotkách W/m^2 .

$$I = I_0 + I_d$$

Uvedený výpočet je nasimulovaný na nasledujúcej schéme v prostredí MATLAB Simulink. Výsledok výpočtu je znázornený v bloku Display. Pri výpočte sme použili nasledujúce nastavenie konštánt:

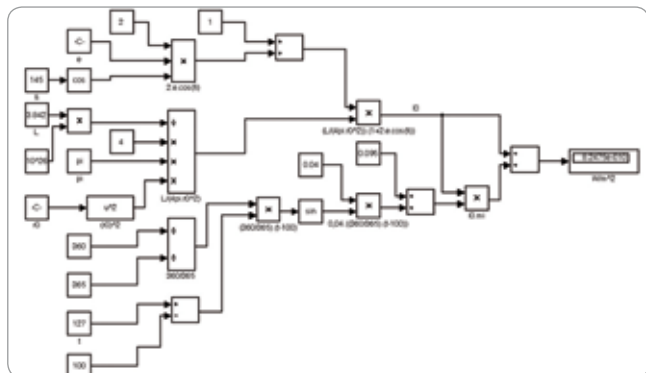
$$\varepsilon = 0,01671123$$

$$r_0 = 149\,556\,484 \text{ km}$$

$$\phi = 145$$

$$t = 127$$

Uvedené hodnoty uhla a času sú len ukážkové, neodzrkadľujú skutočnosť.



Obr. 3 Výpočet celkového slnečného žiarenia dopadajúceho na povrch Zeme

Z uvedeného vzorca dokážeme vypočítať celkové slnečné žiarenie dopadajúce na 1 m^2 , avšak nevieme určiť, akú potrebnú plochu by mal mať slnečný kolektor v horizontálnej polohe daného energeticky závislého prístroja (prípadne domu), aby vytvoril množstvo energie potrebné na dennú spotrebu. V prípade horizontálneho polozenia kolektora je dôležité si uvedomiť, že sklon je nulový. Slnečné lúče dopadajú priamo na plochu. Výpočet rozmerov plochy je ovplyvnený konkrétnym druhom slnečného kolektora. Dôležitými parametrami je účinná plocha absorbéra označovaná ako S_a a užitočný výkon kolektora Q_u . Konštantu S_a udáva výrobca. Užitočný výkon kolektora je niekedy uvádzaný, ale môžeme ho vyjadriť aj pomocou energetickej účinnosti η a množstva energie dopadajúcej na kolektor, teda I .

$$Q_u = I \cdot \eta$$

Celkovú plochu kolektorov S vypočítame ako pomer dennej záťaže a užitočného výkonu kolektora.

$$S = \frac{Q_z}{Q_u}$$

Okrem plochy kolektorov treba vypočítať aj ich počet označený písmenom n .

$$n = \frac{S}{S_a}$$

Dôležitým faktorom zavedenia solárnych kolektorov je ich nefunkčnosť počas zimných dní, nočných hodín a dní so slabou intenzitou svetivosti Slnka. Možné odstránenie tohto problému by bolo v použití solárnej elektrárne s akumulátorovými článkami, ktoré by sa počas dňa dobíjali. Je však polemické, či by toto riešenie bolo vhodné v rámci akéhokoľvek miesta na Zemi. Druhou možnosťou je prepojenie energeticky závislého prístroja aj s elektrickým prúdom. Pri tomto riešení by bolo potrebné zabezpečiť automatické prepnutie zo zdroja solárnej energie na zdroj elektrického prúdu.

Záver

Solárna energia sa považuje za jedno z najekologickejších riešení. Zdrojom tejto nevyčerpaceľnej energie je Slnko. Naša Zem obieha okolo Slnka po elipsovitej trajektórii. Poloha Zeme vzhľadom na Slnko má dva najzaujímavejšie body – perihélium a apohélium. Ide o najbližší a najvzdialenejší bod Zeme od Slnka. Vzdialenosť Zeme a Slnka ovplyvňuje intenzitu slnečného žiarenia, ktorá sa dostáva na zemský povrch. Pred jej dopadom prechádzajú slnečné lúče atmosférou, a tak sa znižuje ich intenzita. Okrem priamych slnečných lúčov na Zem dopadajú aj difúzne lúče. Ide o slnečné lúče odrazené od povrchu Zeme, oblakov či vodnej pary nad vodnými plochami Zeme. Rozptyl slnečných lúčov prebieha na základe lomu svetla, Snellovho zákona. Pri výpočte intenzity slnečných lúčov dopadajúcich na Zem je dôležité vziať do úvahy aj uhol medzi Zemou a Slnkom. Sčítaním všetkých druhov slnečných žiarení dostávame celkové slnečné žiarenie dopadajúce na Zem. Na zužitkovanie slnečného žiarenia slúžia slnečné kolektory. Ich cieľom je zachytiť čo najviac slnečných lúčov a transformovať ich na slnečnú energiu. Najefektívnejšie zachytávanie slnečnej energie je práve v horizontálnej polohe slnečného kolektora. Lúče dopadajú priamo na absorpčnú plochu počas každej slnečnej hodiny dňa.

Na základe užitočného výkonu kolektora a účinnej absorpčnej plochy môžeme vypočítať celkovú plochu kolektorov a z nej určiť počet. Pri väčšom počte použití slnečných kolektorov hovoríme už o ostrovnom solárnom systéme. Pred realizáciou si treba uvedomiť nielen výdavky na solárnu techniku, ale aj licencie, projekt a potvrdenia možnosti fungovania solárnej elektrárne. Náročné vstupné náklady sa po niekoľkých rokoch vrátia a vzhľadom na dlhodobú životnosť solárnej elektrárne sa stáva toto riešenie finančne výhodné pre stredné firmy.

Literatúra

- [1] Hamilton, C. J. (2009). Views of the solar system. [online.] Citované 5. októbra 2012. Dostupné na: <http://www.solarviews.com/eng/sun.htm>.
- [2] Iliáš, I. – Guschlbauer-Hronek, K. – Benesch, B. – Bayer, G. (2006). Slnko k službám: Možnosti využívania slnečnej energie. Bratislava Energetické centrum Phare.

Mgr. Zuzana Priščáková

Mendelova univerzita v Brně
Provozná ekonomická fakulta