

Simulace dynamického chování solárního kolektoru pro přípravu teplé vody

Cíl úlohy

Seznámit se základy simulace výkonu solárních kolektorů s pomocí statisticky zpracovaných meteorologických dat získaných v dané lokalitě za dlouhé období. Studium základních možností optimalizace výkonu solárního kolektoru.

Úvod

Typical Meteorological Year

Pro simulaci jsou použita meteorologická data ve formátu TMY (Typical Meteorological Year), což je jeden z oblíbených formátů používaných pro simulaci výkonu solárních soustav, pasivní solární architektury atp. V našem příkladu jsou použity první 4 dny v libovolném měsíci ze souboru `Brussels.dat`. Data vznikla statistickým zpracováním (nikoliv však zprůměrováním!) 30 let záznamů v období 1961–1990. Data TMY reprezentují „typický“ průběh roku, nehodí se proto pro vyhodnocení chování solární soustavy či budovy v extrémních podmínkách.

Datový soubor TMY je textový soubor, který obsahuje hodinové záznamy ve sloupcích, jejichž přehled je v tabulce 1. Pro nás mají význam sloupce 1–5.

Tabulka 1: Uspořádání sloupců v datovém souboru TMY

sloupec	data
1.	měsíc
2.	hodina (počítáno od začátku každého měsíce)
3.	Intenzita přímého slunečního záření $E_{n,dir}$ ($\text{kJm}^{-2} \text{h}^{-1}$), průměr za uplynulou hodinu
4.	Globální ozáření vodorovné plochy E_{hor} ($\text{kJm}^{-2} \text{h}^{-1}$), průměr za uplynulou hodinu
5.	10-teplota ($^{\circ}\text{C}$)
6.	vlhkost $\frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{m_{\text{vzduch}}} \cdot 10^4$ (kg/kg)
7.	rychlost větru (m/s)
8.	směr větru $\cdot 10$ ($^{\circ}$)

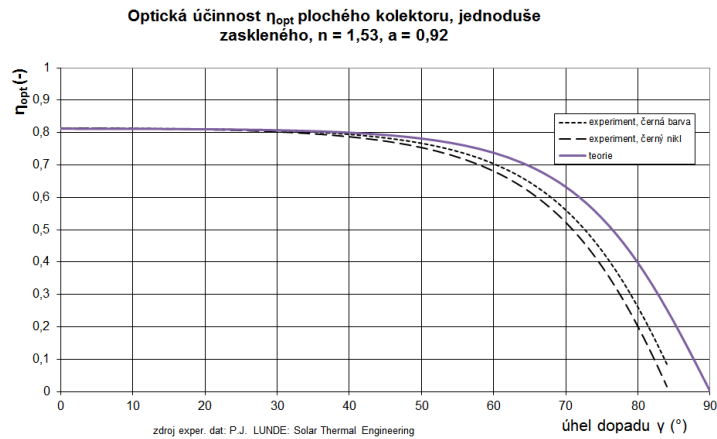
Předmětem simulace je samotný solární kolektor, nebere se do úvahy vliv zbytku solárního systému¹. Teplota vody vstupující do kolektoru se v tomto příkladu považuje za konstantní. Voda kolektorem buď protéká, nebo nikoliv – čerpadlo má tedy dva regulační stavy On a Off. Je ovšem možné předvolit výkon čerpadla a tedy průtok vody kolektorem.

Účinnost kolektoru

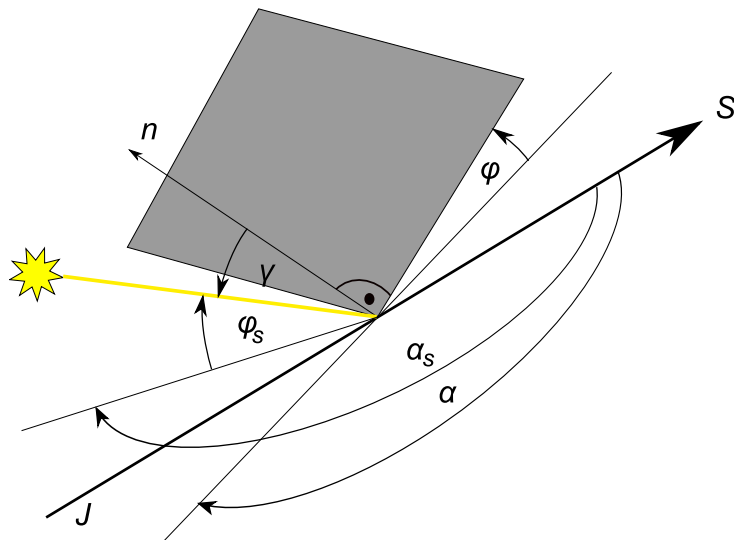
Účinnost kolektoru lze vyjádřit přibližným vztahem:

$$\eta = \eta_{opt} - \frac{U \cdot (t_k - t_e)}{E} \quad (1)$$

¹Samozřejmě sama o sobě taková simulace nemá valný smysl – ale lze k ní připojit podobně koncipovaný model zbytku soustavy, tj. především zásobníku TUV.



Obrázek 1: Závislost optické účinnosti kolektoru na úhlu dopadu paprsků γ



Obrázek 2: Poloha slunce (výška φ_s , azimut α_s) a orientace kolektoru (sklon φ , azimut α). Úhel γ je úhel dopadu slunečních paprsků na kolektor (počítá se od kolmice).

kde E je ozáření kolektoru. Optická účinnost η_{opt} závisí na úhlu dopadu slunečního záření na kolektor γ (čím větší úhel dopadu, tím větší část záření se odráží od zasklení – viz obr. 1). Zlomek v rovnici 1 představuje tepelné ztráty. Tepelné ztráty záleží na kvalitě izolace kolektoru (zejména na přední, zasklené straně) a na rozdílu teplot mezi kolektorem (t_k) a exteriérem (t_e).

Energetická bilance kolektoru

Bilance je provedena v aplikaci MS excel, soubor se jmenuje *BilanceKolektoru.xls*. Meteorologická data jsou uvedena v souboru *Brussels.dat*.

Bilance probíhá zhruba v těchto krocích:

- TMY data udávají pouze intenzitu přímého slunečního záření a ozáření vodorovné plochy. My potřebujeme z těchto údajů vypočítat ozáření kolektoru, který může mít libovolnou orientaci (danou úhly α, φ symboly viz obr. 2). To je alespoň přibližně možné, pokud známe pozici slunce (azimut α_s a výšku nad obzorem φ_s) v daném okamžiku a albedo σ povrchu země v okolí kolektoru. Vliv budov a nerovností terénu nezbývá než zanedbat.

Nejprve vypočteme $\cos \gamma$, kde γ je úhel dopadu slunečního záření na kolektor (úhel mezi paprskem a normálou kolektoru):

$$\cos \gamma = \sin \varphi_s \cos \varphi + \cos \varphi_s \sin \varphi \cos (\alpha_s - \alpha)$$

Dále přibližně platí:

$$\begin{aligned} E_{dir}(\varphi, \alpha) &= E_{n,dir} \cos \gamma, \\ E_{ind}(\varphi, \alpha) &= \frac{1}{2} (1 + \cos \varphi) E_{hor,dif} + \frac{1}{2} a (1 - \cos \varphi) E_{hor}, \text{ kde} \\ E_{hor,dif} &= E_{hor} - E_{n,dir} \sin(\varphi_s) \end{aligned}$$

- Celkové ozáření kolektoru získáme sečtením nepřímého a přímého záření $E(\varphi, \alpha) = E_{dir}(\varphi, \alpha) + E_{ind}(\varphi, \alpha)$. Přenásobením plochou kolektoru získáme celkový solární příkon kolektoru.
- Přenásobením optickou účinností získáme množství tepla, které kolektor zachytí za 1 s.
- Vypočteme tepelné ztráty kolektoru jako součin součinitele prostupu tepla U udávaného výrobcem a rozdílu teploty kolektoru a vnější teploty: $U \cdot (t_k - t_e)$.
- Vypočteme rozdíl tepelného příkonu a tepelných ztrát.
- Dále vypočteme množství tepla, které z kolektoru odchází v teplé vodě. To je průtok vody kolektorem krát tepelná kapacita vody krát rozdíl výstupní a vstupní teploty vody.
- Celková bilance tepla je: tepelný příkon za slunečního záření mínus tepelné ztráty mínus teplo odcházející ve formě teplé vody.
- Z této bilance vypočteme změnu teploty kolektoru za nějaký krátký časový interval (Δt , v našem příkladu je to 1 minuta). Pokud je bilance tepla kladná, teplota kolektoru se zvyšuje, pokud je bilance záporná, kolektor se ochlazuje.
- Z vypočtené změny teploty kolektoru se vypočte nová teplota (v následující minutě) a výpočet se opakuje.
- Použitá zjednodušení:
 - Předpokládá se, že teplota kolektoru (absorpční plochy, je stejná jako teploty vody v kolektoru: výměna tepla mezi nimi se tedy považuje za nekonečně rychlou.
 - Předpokládá se, že teplota vody i absorberu je všude stejná (tedy nikoliv chladnější u vstupu a teplejší u výstupu) a že je stejná po celou dobu Δt .

Úlohy

- Otevřete soubor `BilanceKolektoru.xls`. Soubor je jen pro čtení, uložte jej proto pod svým názvem. *Povolte použití maker!*
- Vyberte některý kolektor na listu 'Přehled kolektorů' a jeho číslo (z řádku 1) napište do buňky D1 na listu 'Kolektor'.
- Na listu 'Kolektor' je třeba vyplnit další hodnoty. Hodnoty, které lze měnit jsou označeny žlutě.
 - Nejprve vyberte měsíc (buňka D17) výpočtu (ten se provede pro první 4 dny zvoleného měsíce). Stiskněte tlačítko Vložit².
 - V rámečku 'Údaje o soustavě' nastavte teplotu vstupní vody na 20 °C a průtok kapaliny na 30-ti násobek vodního objemu kolektoru, do řádku 'kolektor sleduje slunce' napište 'NEPRAVDA'.

²Vkládání dat trvá docela dlouho, na starších počítačích proto raději na tlačítko Vložit neklikajte!

1. Určení vlivu spínací teploty čerpadla (teploty, při které začíná pracovat oběhové čerpadlo).
Spínací teplotu volte postupně 20 °C, 40 °C a 60 °C. Po každé změně stiskněte tlačítko Přepočítat!
 - (a) Jak se mění účinnost kolektoru?
 - i. Může být účinnost větší než 100 %?
 - ii. Může být účinnost záporná?
 - (b) Jaký je vliv na celkové množství energie získané kolektorem?
 - (c) Jaký je vliv na distribuci energie ve vodě o různé teplotě?
2. Určení vlivu výkonu čerpadla (průtoku vody kolektorem).
Nastavte spínací teplotu na 40 °C nebo 60 °C a průtok vody nastavujte jako násobek vodního objemu kolektoru postupně na 1, 10, 30 a 60. Po každé změně stiskněte tlačítko Přepočítat! Postupně odpovzte na stejné otázky jako v předchozím bodě.
3. Vyzkoušejte vliv teploty vstupní vody (20 °C, 40 °C, 60 °C). Po každé změně stiskněte tlačítko Přepočítat!
4. Pokuste se nastavit spínací teplotu čerpadla, průtok vody i teplotu vstupní vody tak, aby celkový energetický zisk byl maximální. Poté naleznete optimální sklon kolektoru pro dané období. V této poloze kolektoru do řádku 'kolektor sleduje slunce' napište 'PRAVDA'. Jaký je efekt umístění kolektoru na sledovači?
5. Je energeticky výhodnější připravit málo horké vody nebo hodně vody vlažné???
6. Protokol po vypracování zašlete, prosím, na email: <mailto:vydra@fsv.cvut.cz> s předmětem „EZ1“.

Pomůcky

soubor `BilanceKolektoru.xls`, 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: 14. listopadu 2010