Sluneční kolektor

Zadání

1. Určete výkon a účinnost laboratorního slunečního kolektoru při teplotě vody $\vartheta_e = 20^o$C. Solární kolektor je osvětlen halogenovou lampou a
   1.1 kolektor je kompletní,
   1.2 z kolektoru je odstraněna skleněná krycí vrstva.

2. Určete výkon a účinnost laboratorního slunečního kolektoru při teplotě vody $\vartheta_e = 50^o$C. Solární kolektor je osvětlen halogenovou lampou a
   2.1 kolektor je kompletní,
   2.2 na kolektor dopadá proud chladného vzduchu (simulace větru),
   2.3 z kolektoru je odstraněna skleněná krycí vrstva,
   2.4 z kolektoru je odstraněna skleněná krycí vrstva a na kolektor dopadá proud chladného vzduchu (simulace větru).

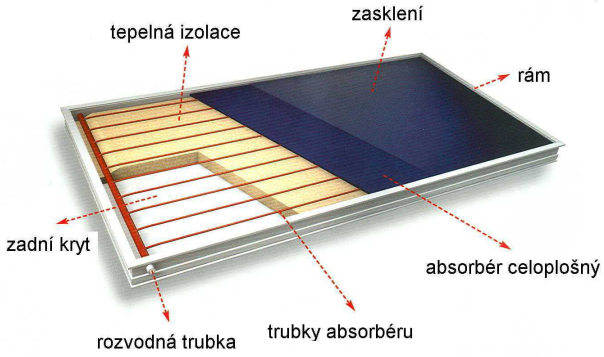
3. Z výsledků 1.1 a 1.2 a dále 2.1 a 2.2 odhadněte propustnost krycího skla kolektoru τ při různých teplotách absorbéru.

4. Odhadněte spotřebu užitkové vody ve Vaší rodině a spočítejte, jakou plochu kolektorů s podobnou účinností jako má použitý laboratorní kolektor potřebujete, aby byla kompletně zajištěna výroba TUV v období duben - září.
   Při vypracování měření se zaměřte na porovnání jednotlivých výsledků (účinnosti) a vyhodnocení celkového výkonu. Jaká velikost kolektorů by byla vhodná pro 4-člennou rodinu, aby byl schopen kolektor zajistit dostatek teplé užitkové vody (TUV) v letních měsících. Je možné využít solární kolektory k vytápění objektů v zimě?

Teoretický rozbor:

Solární kolektory se používají k zachycování energie slunečního záření. Po dopadu na tmavou plochu kolektoru se ohřívá kapalina (nejčastěji upravená voda) procházející trubicemi a proudící přes výměník tepla do akumulačního zásobníku. Zde se uchovává až do chvíle spotřeby, nejčastěji jako teplá užitková voda, v některých případech i pro přitápění objektu. Energie dopadající ze Slunce na hranici zemské atmosféry je velká a činí nejvíce 1,37 kW na 1 m^2 plochy kolmé ke slunečním paprskům. Tato hodnota se nazývá Sluneční konstanta. Energie Slunce představuje asi 99,9% veškeré energie na Zemi. Mezi ostatní energie nepocházející ze Slunce patří např. geotermální energie, energie přílivu a odlivu nebo energie jaderná a jak je patrno, jejich podíl na celkové energetické bilanci Země je velmi malý. Lidé se je přesto naučili využívat (Island, jaderné a přílivové elektrárny). U sluneční energie se na významnější využití teprve čeká (myšlena přímá transformace sluneční energie na teplo nebo elektrický proud). Odpůrci využití sluneční energie tvrdí, že bude docházet k velkému zabírání ploch pozemků fotovoltaickými panely na úkor krajiny, protože je to v současnosti díky velkým dotacím pro mnoho společností velmi výhodné. Problém s takto vyrobenou energií je však ten, že jejich výkon musí být podobně jako u větrných nebo vodních elektráren zálohován konvenčními zdroji energie (tepelné a jaderné elektrárny), neboť jejich energie není dostupná kdykoliv (v noci, když je zataženo atd.) a nedá se v takovém množství efektivně akumulovat. Z tohoto důvodu musí být např. v letních měsících odpojeny tepelné elektrárny, které však musí mít roztopené kotle pro případ, že mraky zastíní Slunce. Dalším problémem je distribuční soustava, která není na nárůst především velkých fotovoltaických elektráren připravena. Zabírání jinak nevyužitých ploch střech domů však nic nebrání. Solární kolektory jsou přes několikanásobně větší účinnost přeměny energie oproti fotovoltaickým panelům státem opomíjeny a nedostatečně dotovány a jejich rozvoj doplácí na špatnou politiku státu. Přesto však jsou v současnosti, kdy je velmi sledována spotřeba elektrické

energie z důvodu její rychle rostoucí ceny, jednou z možností, jak ušetřit za náklady na bydlení. Jedná se především o ohřev teplé užitkové vody (TUV) nebo ohřev vody v bazénech, u nízkoenergetické výstavby je pak možno touto energií ve slunných dnech navíc i přitápět. Pro instalaci solárních panelů je možné s výhodou využít jižních částí střech domů, kde lze dosáhnout nejvyšších tepelných zisků. Při konkrétním návrhu systému je však nutné počítat s rozumnou ekonomickou návratností technického řešení, protože ne vždy jsou technicky špičkové, ale také často předražené sluneční kolektory ekonomicky ospravedlnitelné, protože z environmentálního pohledu je nutné počítat i s energií nutnou na jejich výrobu, údržbu a likvidaci.



Obr. 1: Řez solárním kolektorem. Převzato z [1].

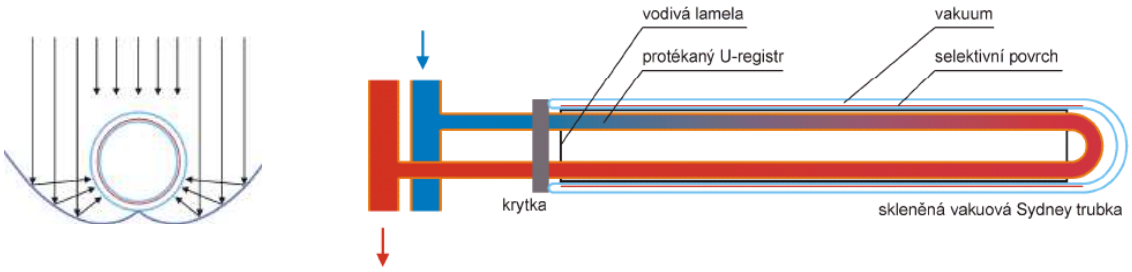
Konstrukčních řešení solárních kolektorů je celá řada. V nejjednodušším případě je kolektor tvořen absorbérem z plastu nebo plechu černé barvy, přes který protéká ohřívaná voda. Takový kolektor se hodí např. v létě k ohřevu vody v bazénu. V letních dnech je často sluneční energie přebytek a proto účinnost a tepelné ztráty nejsou tolik sledovány. Při využití solárního kolektoru k ohřevu TUV je nutná dostatečná účinnost kolektoru i v zimním období, kdy je velký rozdíl teplot mezi absorbérem a okolním vzduchem. V těchto případech se absorbér umístí do dobře tepelně izolované krabice, v přední části opatřené sklem (obr. 1). Sklo chrání absorbér, snižuje tepelné ztráty a nežádoucí vliv větrů a tím zvyšuje účinnost, přestože část světla se na skle odráží a není využita. Na kolektoru s krycím sklem se projevuje tzv. skleníkový efekt, kdy přes sklo prochází krátkovlnné elektromagnetické záření, které se absorbuje, tj. přemění na teplo a dlouhovlnné infračervené záření, které teplá tělesa vyzařují, již zpět z kolektoru sklo nepropouští. Pro vysokou účinnost kolektorů je důležitá kvalita povrchu absorbéru, na kterém dochází k přenosu tepla. Měla by být schopna maximálně pohlcovat a minimálně vyzařovat elektromagnetické záření. Tmavá barva absorbéru u kvalitních kolektorů pohlcuje přes 90% energie ze záření Slunce. Používají se buď speciální selektivní černé barvy nebo vrstvy nanášené elektrochemicky (např. oxidy hliníku nebo titanu). U plochých slunečních kolektorů je různými úpravami postupně zvyšována jejich účinnost. Kromě kvalitní tepelné izolace existují i kolektory vakuované, u kterých je vyčerpáním vzduchu v prostoru mezi absorbérem a sklem významně snížen nežádoucí odvod tepla do okolního vzduchu v kolektoru.

Další variantou solárních kolektorů jsou trubicové kolektory (obr. 2). Jedná se o skleněné trubice umístěné nad tvarovanou odraznou vrstvou. Z ní jsou sluneční paprsky koncentrovány na skleněnou trubici, ze které je odčerpán vzduch. V trubici je umístěna další skleněná trubice, pokrytá na povrchu tmavou absorpční vrstvou. Přes tuto trubici protéká voda a odvádí teplo.

Provozní vlastnosti solárního kolektoru, jeho výkon a účinnost jsou silně ovlivněny podmínkami, ve kterých je provozován (způsob instalace, počasí, teplota absorbéru v kolektoru atd.). Halogenová lampa a fén simulují reálné podmínky provozu, počáteční teplota absorbéru se zajistí ohřevem vody v chladiči spirálou ještě před započetím experimentu. Krycí sklo kolektoru částečně odráží a částečně absorbuje dopadající záření. Převážná část světla však dopadá na absorbér v kolektoru. Zářivá energie pohlcená absorbérem q_a a přeměněná v teplo je dána vztahem

$$q_a = \alpha \cdot \tau \cdot q_i,$$

kde q_i je intenzita světla v místě kolektoru, pohltivost absorbéru a propustnost krycího skla kolektoru.



Obr. 2: Trubicový kolektor - příčný a podélný řez. Převzato z [1].

Pohltivost absorbéru je dána kvalitou selektivního povrchu absorbéru a udává, jaká část dopadající světelné energie zůstane v absorbéru a přemění se na teplo. τ je konstanta vyjadřující ztrátu energie ve skle.

Zářivá energie přeměněná v teplo q_a ale není dostupná celá, část se jí ztratí zářením, vedením (kondukcí) a prouděním tepla. Další část tepla vede ke zvýšení teploty absorbéru, tj. zůstává uložená v kolektoru. Celková využitelná energie je proto

$$q_N = q_a - q_I,$$

kde q_I je výše popsaná ztracená energie na $1\,\mathrm{m}^2$. Ztráty tepla v absorbéru jsou tím vyšší, čím vyšší je teplota absorbéru. Je možné je snížit kvalitní izolací zadní části kolektoru (např. polystyrenem nebo lépe křemičitou vatou). Ztráty přední částí jsou dány zářením absorbéru a konvekcí. Všechny tyto ztráty lze zjednodušeně vyjádřit vztahem

$$q_I = k{\cdot}(\vartheta_{Ab} - \vartheta_{Am}),$$

kde k je součinitel prostupu tepla, ϑ_{Ab} teplota absorbéru v kolektoru a ϑ_{Am} teplota okolí. Účinnost kolektoru lze vypočítat poměrem využitelné a zářivé energie

$$\eta = \frac{q_N}{q_i} = \alpha\tau - \frac{k(\vartheta_{Ab} - \vartheta_{Am})}{q_i}. \tag{1}$$

Teplota absorbéru není známa, ale je možné měřit vstupní a výstupní teplotu vody (ϑ_{in} a ϑ_{out}). Rovnice (1) nebere v úvahu vliv přenosu tepla z absorbéru do vody. Pro tento jev se zavádí faktor účinnosti absorbéru f vztahem

$$\eta = f\left(\alpha\tau - \frac{k(\vartheta_{Ab} - \vartheta_{Am})}{q_i}\right), \tag{2}$$

kde ϑ_W je střední teplota vody, tj. platí

$$\vartheta_W = \frac{\vartheta_{in} - \vartheta_{out}}{2}.$$

Zpracování výsledků a vyhodnocení experimentu

V laboratorní úloze je solární kolektor osvětlen halogenovou lampou o známé intenzitě světla. Teplo absorbované kolektorem lze vypočítat ze známého průtoku vody kolektorem a rozdílu teplot vody vystupující a vstupující do kolektoru za předpokladu, že teplota vstupní vody zůstává přibližně konstantní (tzn. teplo předané protékající vodě v kolektoru musí být mimo kolektor uvolněno do chladiče). Z těchto údajů je možné vypočítat účinnost kolektoru. Díky vhodnému uspořádání experimentu je možné provádět měření při různých konfiguracích solárního kolektoru a při různých teplotách.

Užitečný výkon P_U může být ve stacionárním stavu vyjádřen z průtoku vody $\dot{m}$ a z rozdílu výstupní a vstupní teploty vody

$$P_U = c{\cdot}\dot{m}(\vartheta_{in} - \vartheta_{out}).$$

Zde c je měrná tepelná kapacita vody ($c = 4{,}18{\cdot}10^3$ J/kgK) a $\dot{m} = \Delta m/\Delta t$=100g/min.

Intenzita světla v oblasti kolektoru je $q_i = 1$ kW/m^2 a plocha absorbéru je $A = 0{,}12$ m^2. Výsledná účinnost kolektoru se pak vypočítá ze vztahu

$$\eta = \frac{P_U}{q_i \cdot A}.$$

Při odhadu propustnosti skla lze využít měření provedená za pokojové teploty chladiče (1.1 a 1.2). V tomto případě jsou ztráty energie z kolektoru do okolí zanedbatelné a rovnice (1) a (2) se zjednoduší podle toho, jestli je přítomna skleněná krycí vrstva na tvar

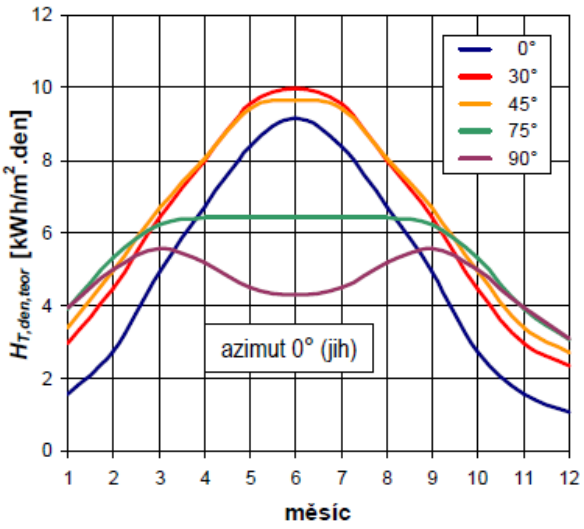
$$\eta = \alpha\tau \quad \text{(úkol č. 1.1)}$$

a

$$\eta = \alpha \quad \text{(úkol č. 1.2).}$$

Podělením obou rovnic lze vypočítat propustnost τ .

Pro výpočet minimální plochy kolektorů v domácnosti využijte graf na obr. 3.



Obr. 3: Vliv sklonu kolektoru na denní dávku slunečního ozáření pro jižní orientaci kolektoru. Převzato z [1]. Sklonem kolektoru je myšlen úhel mezi normálou plochy kolektoru a svislým směrem.

Literatura:

[1] http://www.fsid.cvut.cz/~matustom/SE_text_AZE_IB.pdf