

2. SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ JAKO ZDROJ ENERGIE

Jiří Škorpík, ORCID: 0000-0002-3034-1696, skorpik.jiri@email.cz

Úvod 1

- Energie pro život 1
- Energie pro člověka – fototermika a fotovoltaika 1

O Slunci a slunečním záření 1

- Slunce 1
- Intenzita a rozptyl slunečního záření 2
- Průměrný denní úhrn energie dopadajícího slunečního záření pro oblast Brna [T.832] 5
- Průměrný měsíční a roční úhrn energie dopadajícího slunečního záření pro oblast Brna [T.1214] 5

Fototermika 5

- Zařízení pro ohřev tekutin a akumulaci tepla 6
- Solární kolektor 7
- Solární elektrárna 8
- Návrh solární soustavy pro ohřev vody 9
- výpočet potřebné plochy solárních kolektorů [U.507] 9

Fotovoltaika 9

- Princip činnosti a výkon fotovoltaického panelu 10
- Umístění fotovoltaických panelů 11

Pár slov na závěr 12

Odkazy 13

Přílohy 15

- 507 Řešení úlohy 15
- 832 Výpočet průměrných denních úhrnů energie dopadajícího slunečního záření pro oblast Brna 17



61 Slunce je zdrojem životodárné energie v tak obrovském množství, že je téměř nemožné, aby lidstvo někdy pocítilo její nedostatek. Je pouze na člověku, jak ji dokáže využít. Sluneční energie je dostupná všem.

Úvod

Energie pro život

*Teplo a světlo,
klimatické procesy*

Ohřev atmosféry a povrchu Země slunečním zářením je hlavním zdrojem energie pro klimatické procesy. Pomocí těchto procesů je na Zemi udržováno klima vhodné pro Život, protože bez Slunce by na Zemi byla teplota pouze $-263\text{ }^{\circ}\text{C}$ (bez geotermální energie⁸ $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$). Navíc značná část slunečního záření dopadá na Zemi ve formě světla, které zajišťuje fotosyntézu³ a vidění.

Energie pro člověka – fototermika a fotovoltaika

*Přímé energetické
využití tepla i světla*

Člověk přímým způsobem využívá sluneční záření především pro ohřev, například ohřev vzduchu či vody za skleněnou deskou. Lze dokonce vyrobit i páru koncentrováním slunečních paprsků do menší plochy apod. Souhrnně se využití slunečního záření pro ohřev nazývá fototermika a takové zařízení se nazývá solární, například solární elektrárna, solární ohřev apod. V 21. století se masivně rozšířilo využití slunečního záření pro přímou výrobu elektřiny využitím kvantových jevů v polovodičích. Tento typ technologie se nazývá fotovoltaika. Viz také kapitola Jak člověk začal transformovat sluneční energii přímo¹.

O Slunci a slunečním záření

Proud fotonů

Sluneční záření je proud fotonů⁴⁶. V širším smyslu dopadají, alespoň na plynný okraj Země, ještě část hmoty vyvržené Sluncem (především nabitě částice), která ale představuje jen zlomek energie. Z pohledu energetického toku, které představuje sluneční záření, lze také použít pojmu sluneční energie.

Slunce

Září jako černé těleso

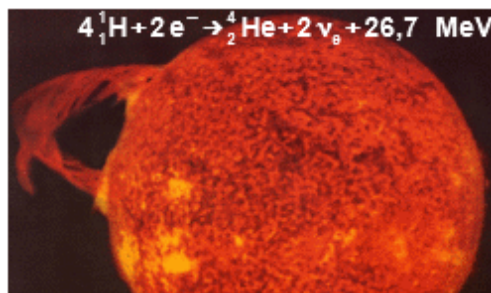
Slunce lze považovat za černé těleso⁴⁶, což podle Planckova vyzařovacího zákona⁴⁶ znamená, že září v rozsahu vlnových délek

odpovídající teplotě povrchu Slunce 5770 K. Více jak polovina veškeré vyzařované energie je v oblasti viditelného spektra, které se nazývá světlem⁴⁶, viz spektrální zářivost černého tělesa a Slunce – např. [1, s. 64].

Reakce uvnitř Slunce a putování energie z jádra na jeho povrch

Energie vyzařována z povrchu Slunce se uvolňuje v jeho jádru, ve kterém probíhá za vysokého tlaku a teploty jaderná syntéza⁴⁷ vodíku⁴⁷, respektive jeho izotopů deuteria a tritia, za vzniku jader helia. Energie se při takové syntéze neuvolňuje jen ve formě kinetické energie vzniklých částic, ale především v podobě velmi krátkovlnného záření gamma⁴⁶. Tato energie se na povrch Slunce dostává částečně vedením a v blízkosti povrchu konvekcí. Přitom dochází k rozptýlení, k pohlcení a znovu vyzáření energie tak, že na povrchu Slunce už je vyzařována energie v mnohem širším spektru záření než gamma záření. Doba, za kterou se energie z jádra dostane na povrch Slunce je přibližně 2 000 000 let (Obrázek 64).

64 Slunce

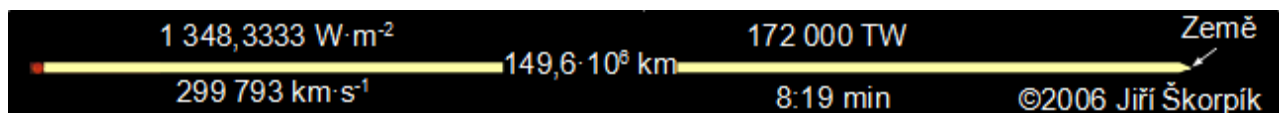


H 81,76 % objemový podíl vodíku; **He 18,17 %** objemový podíl helia; **$1,987 \cdot 10^{30}$ kg** hmotnost; **1 392 000 km** průměr; **480 000 km** průměr jádra; **15 000 000 K** teplota v jádru; **5 770 K** teplota fotosféry (viditelný povrch); **$3,826 \cdot 10^{26}$ MW** zářivost Slunce. Literatura: [1], [2], [6, s. 313] fotografie Slunce [12] – pořízena během jedné z misí na stanici Skylab v roce 1973.

Intenzita a rozptyl slunečního záření

Sluneční konstanta

Celkové množství sluneční energie (ve formě slunečního záření ve všech vlnových délkách), které dopadá za jednotku času (s) na jednotku plochy (m^2) umístěnou kolmo na směr paprsků ve střední vzdálenosti Slunce – Země se nazývá sluneční konstantou, viz *Obrázek 503*.

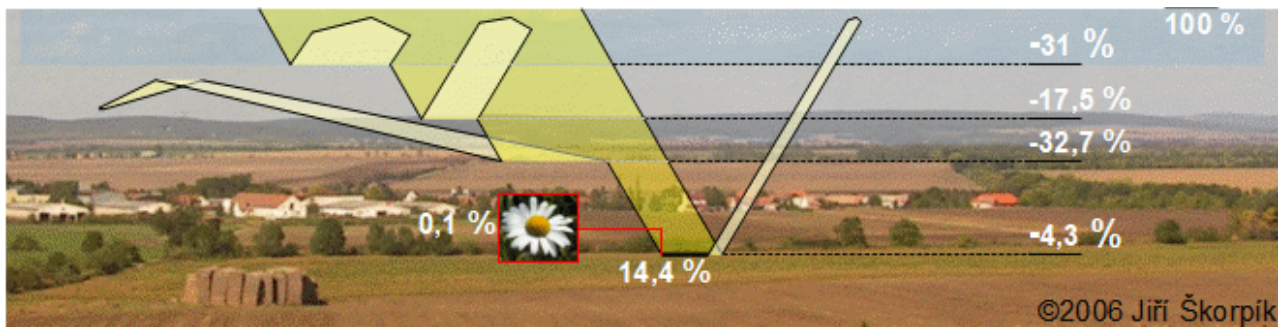


503 Střední vzdálenost Země od Slunce v měřítku

$149,6 \cdot 10^9$ km střední vzdálenost Země od Slunce; **$1\,348,333\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$** sluneční konstanta; **172 000 TW** zářivý výkon Slunce dopadající na hranici atmosféry Země (násobek sluneční konstanty a kruhového stínu Země); **$299\,793\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$** rychlost světla ve vakuu; **8:19 min** doba, za kterou urazí záření vzdálenost Slunce-Země. Na tomto obrázku má Slunce průměr 1,425 mm a Země 0,0131 mm. Zdroj dat [2].

To co Země pohltí, musí zase vyzářit a ještě něco navíc

Země nepohltí celý zářivý výkon Slunce směrem k Zemi. Ta část záření, kterou však pohltí po různých přeměnách (*Obrázek 62*) nakonec zvýší vnitřní tepelnou energii⁴³ Země a je vyzářena zpět do vesmíru, společně s geotermální energií a dalšími energiemi



62 Bilance slunečního záření při průniku atmosférou Země

100 % představuje zářivý výkon směrem k Zemi; 31 % odraz od horních vrstev atmosféry; 17,5 % pohlceno atmosférou; 32,7 % dopadá na oceány; 4,3 % odraz od souše; 14,4 % pohlceno souší; 0,1 % spotřeba na fotosyntézu.

(kinetická energie dopadající meteoritů, slapová energie, energie uvolněná z jaderných reakcí...). V opačném případě by byla narušena energetická rovnováha Země, a její teplota by se začala zvyšovat. Naopak, pokud by Země vyzařovala do okolního vesmíru více energie, došlo by k ochlazení Země

Dva druhy slunečního záření

Intenzita slunečního záření na povrchu Země je definovaná jako množství sluneční energie v W dopadající na m^2 . Intenzita je závislá na zeměpisné šířce a na oblačnosti v dané oblasti. Přitom rozlišujeme: 1. intenzitu přímého slunečního záření; 2. intenzitu difúzního slunečního záření. Výsledná intenzita dopadající na povrch Země je součtem obou uvedených intenzit, viz *Vzorec 504*.

Přímé sluneční záření

1/2. Přímé sluneční záření je to, které při průchodu atmosférou není odraženo ani pohlceno a znovu vyzářeno a přímo dopadá na povrch Země ze směru od Slunce.

Difúzní sluneční záření, aneb proč je nebe modré

2/2. Difúzní sluneční záření je to, které se odrazilo od částic obsažených v atmosféře (vodní kapky, prach...) a změnilo směr – tzv. rozptyl slunečního záření. Vlnová délka difúzního záření zůstává stejná jako před odrazem. Množství difúzního záření závisí na oblačnosti a znečištění atmosféry. Například při zatažené obloze dopadá na povrch Země pouze difúzní záření. Přítomnost difúzního záření je také příčinou toho, že obloha má modrou barvu – modrá část viditelného spektra se lépe rozptyluje a ostatní část spektra naopak hůře. Bez rozptylu (atmosférických plynů) slunečního záření by byla obloha tmavá, plná hvězd s velmi jasným slunečním diskem, naskytl by se nám tedy pohled jako kosmonautům.

504 Intenzita záření

$$I = I_p + I_d$$

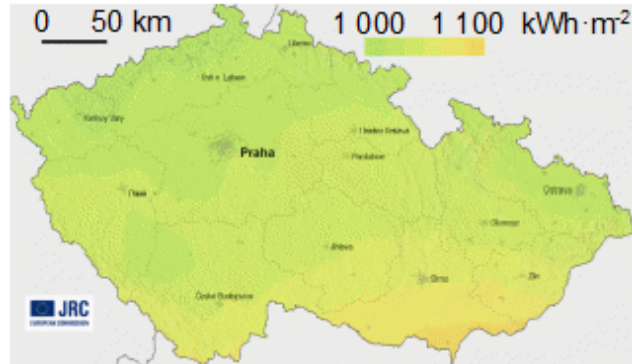
I [$W \cdot m^{-2}$] intenzita slunečního záření blízko povrchu Země; I_p [$W \cdot m^{-2}$] intenzita přímého slunečního záření; I_d [$W \cdot m^{-2}$] intenzita difúzního slunečního záření.

Úhrnné množství slunečního záření

Vedle intenzity se udává i úhrnné množství slunečního záření na jednotku plochy za určitou dobu. Pro představu je na *Obrázku 63*, s. 4 zobrazena mapa úhrnného množství dopadajícího slunečního záření za jeden kalendářní rok pro oblast České republiky. Při výpočtu úhrnné energie slunečního záření dopadající na

vyšetřovaný povrch je třeba vycházet i z údaje o skutečné době slunečního svitu v daném období, místo pro které je výpočet prováděn a z naklonění povrchu vůči přímému záření. Při výpočtu se tedy vychází z bilančního *Vzorce 505*, s. 4, přitom orientaci vyšetřované plochy lze popsat parametry uvedenými na *Obrázku 66*.

63 Množství sluneční energie dopadající na povrch České republiky [3]



Jedná se o úhrn záření dopadající kolmo na povrch země při jasné bezoblačné obloze. Jak je patrné, množství energie se zvyšuje s nižší zeměpisnou šířkou – v Alžírsku již dosahuje měrné množství dopadajícího záření úhrnu $2000 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$.

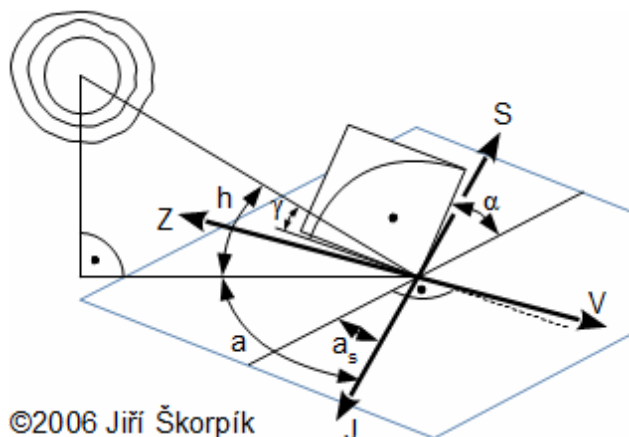
505 Denní úhrn energie slunečního záření

$$Q_s = \bar{\tau} \cdot Q_{s, \text{teor}} + (1 - \bar{\tau}) Q_D$$

$$\bar{\tau} = \frac{\tau_{\text{skut}}}{\tau_{\text{teor}}}$$

Q_s [$\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$] denní úhrn slunečního záření dopadající na m^2 plochy; $\bar{\tau}$ [-] poměrná doba slunečního svitu; τ_{skut} [hod] skutečná doba slunečního svitu; τ_{teor} [hod] teoretická doba slunečního svitu (100% bezoblačná obloha); $Q_{s, \text{teor}}$ [$\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$] úhrnná energie slunečního záření dopadající na daný povrch při daném znečištění atmosféry bez oblačnosti za celý den (bývá tabelována v závislosti na stupni znečištění atmosféry a úhlu orientaci osluněné plochy); Q_D [$\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$] úhrn energie dopadajícího difuzního záření na 1 m^2 plochy. Literatura [4, s. 39].

66 Dopad slunečního záření na obecně položenou plochu



©2006 Jiří Škorpík

α [°] azimut Slunce; a_s [°] azimut osluněné plochy; α [°] sklon plochy od vodorovné roviny; h [°] výška Slunce nad obzorem; γ [°] úhel mezi slunečním paprskem a normálou vyšetřované plochy. Literatura [4, s. 24].

Dostupnost dat ke stanovení denního úhrnu energie slunečního záření

Potřebné tabulky pro stanovení denního úhrnu energie slunečního záření vybraných lokalit v České a Slovenské republice naleznete v knize Solární tepelná technika [4]. V *Tabulce 832* jsou uvedena konkrétní data pro oblast Brna. Pro čtenáře hledající optimální stálý sklon plochy α s nejvyšším průměrem úhrnu

energie slunečního záření za rok je určena *Tabulka 1214*, ze které lze odečíst, že maximální celoroční úhrn dopadající sluneční energie dosahují plochy se sklonem 45° .

832 Průměrný denní úhrn energie dopadajícího slunečního záření pro oblast Brna

měsíc	Q_s						
	$\alpha=0$	$\alpha=15$	$\alpha=30$	$\alpha=45$	$\alpha=60$	$\alpha=75$	$\alpha=90$
1 leden	0,6972	0,8322	0,9428	1,0056	1,045	1,0546	1,049
2 únor	1,3462	1,6593	1,8787	2,0137	2,0998	2,1046	1,9916
3 březen	2,481	2,8192	3,0548	3,1474	3,0866	2,9726	2,708
4 duben	3,3506	3,6509	3,8442	3,8876	3,6463	3,2802	2,811
5 květen	4,7244	5,0848	5,3012	5,2496	4,6268	3,8556	2,9456
6 červen	5,5081	5,8308	5,9521	5,7907	5,2041	4,1464	3,0457
7 červenec	5,2868	5,7056	5,9564	5,8912	5,1596	4,2532	3,1832
8 srpen	4,1262	4,5343	4,7934	4,8452	4,5101	4,0054	3,357
9 září	2,955	3,4	3,71	3,835	3,755	3,605	3,26
10 říjen	1,4674	1,8411	2,1049	2,2699	2,3746	2,3842	2,2532
11 listopad	0,7492	0,9217	1,0658	1,1516	1,2075	1,2281	1,2265
12 prosinec	0,5004	0,5832	0,6428	0,676	0,6944	0,6776	0,6636

Denní úhrn je průměrná hodnota v daném měsíci, ve které je započítán vliv oblačnosti a znečištění atmosféry odpovídající městu (stupně znečištění atmosféry a jejich definice pro jednotlivé případy jsou uvedeny v [4, s. 22]), výpočet je proveden pro azimutový úhel $\alpha_s=0^\circ$ (plocha orientovaná na jih). α [$^\circ$]; Q_s [$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$]. Výpočet hodnot do tabulky je uveden v *Příloze 832, s. 17*.

1214 Průměrný měsíční a roční úhrn energie dopadajícího slunečního záření pro oblast Brna

měsíc	$Q_{s,m}$						
	$\alpha=0$	$\alpha=15$	$\alpha=30$	$\alpha=45$	$\alpha=60$	$\alpha=75$	$\alpha=90$
1 leden	21,613	25,798	29,227	31,174	32,395	32,693	32,519
2 únor	37,694	46,460	52,604	56,384	58,794	58,929	55,765
3 březen	76,911	87,395	94,699	97,569	95,685	92,151	83,948
4 duben	100,52	109,53	115,33	116,63	109,39	98,406	84,330
5 květen	146,46	157,63	164,34	162,74	143,43	119,52	91,314
6 červen	165,24	174,92	178,56	173,72	156,12	124,39	91,371
7 červenec	163,89	176,87	184,65	182,63	159,95	131,85	98,679
8 srpen	127,91	140,56	148,60	150,20	139,81	124,17	104,07
9 září	88,650	102,00	111,30	115,05	112,65	108,15	97,800
10 říjen	45,489	57,074	65,252	70,367	73,613	73,910	69,849
11 listopad	22,476	27,651	31,974	34,548	36,225	36,843	36,795
12 prosinec	15,512	18,079	19,927	20,956	21,526	21,006	20,572
13 $Q_{s,r}$	1012,4	1124,0	1196,5	1212,0	1139,6	1022,0	867,01

Hodnoty jsou vypočítány z *Tabulky 832*. $Q_{s,m}$ [$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$] průměrný měsíční úhrn energie dopadajícího slunečního záření; $Q_{s,r}$ [$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$] průměrný roční úhrn energie dopadajícího slunečního záření. Výpočet hodnot do tabulky je uveden v *Příloze 832, s. 17*.

Fototermika

Ohřev látek slunečním zářením, například pro vytápění, se nejčastěji uskutečňuje pomocí solárních kolektorů, které pohlcují sluneční paprsky svou plochou, *Obrázek 65a, s. 6*. Pomocí

koncentrujících kolektorů lze dokonce zvýšit teplotu ohřívané látky i na několik stovek stupňů a toto vysokopotenciální teplo využít například k výrobě páry a následně elektrické energie v tepelném oběhu⁴³.

65 Příklady fototermiky



(a) slunečním kolektorem na střeše domu protéká voda, která se v něm ohřívá pomocí zachyceného slunečního záření; (b) pasivní systém využití – vnější plášť budovy Moravské zemské knihovny v Brně je konstruován tak, aby zachytil co největší množství energie v zimě a v létě stínil.

Zařízení pro ohřev tekutin a akumulaci tepla

Využití

Pomocí solárních kolektorů lze ohřívát vodu, vzduch nebo jiné látky. Sluneční energii lze těmito způsoby využívat, jak pro vytápění, výrobu elektrické energie, tak i v chemickém průmyslu. Sluneční kolektor bývá v ČR nejčastěji spojován s ohřevem vody pro užitkové účely (teplá užitková voda) a vytápění (ústřední vytápění vodním nebo vzduchovým okruhem).

Rozhodují provozní a fyzikální vlastnosti teplonosných látek

Nejčastější teplo-nosnou kapalinou je směs vody, nemrznoucí kapaliny a antikorozi kapaliny. Nutno, při výběru teplo-nosné kapaliny, také přihlížet k její termokinetickým vlastnostem (např. příměsi ve vodě mohou výrazně měnit její viskozitu apod.) a vlivům na okolí v případě havárie. Více o požadavcích a některých nejčastějších typech teplo-nosných kapalin např. v [5, s. 102].

Akumulace i záložní zdroj tepla

Sluneční energie je neregulovatelný zdroj energie, proto solární systém bývá obvykle vybaven i malou akumulační nádrží pro zachycení a uložení nadbytečného tepla, viz *Obrázek 67*. Tím se vyrovnává nerovnoměrnost solárních zisků se spotřebou tepla, alespoň v průběhu jednoho dne. V zeměpisných šířkách ČR je velmi obtížné (především investičně a v některých případech i prostorově) realizovat zařízení s celoroční akumulací tepla pro daný objekt. Kvůli tomu je nutné zdroj tepla založený na sluneční energii doplnit dalším zdrojem (elektřina, kotel na paliva...), který zajistí dostatečný tepelný výkon i v zimních měsících.

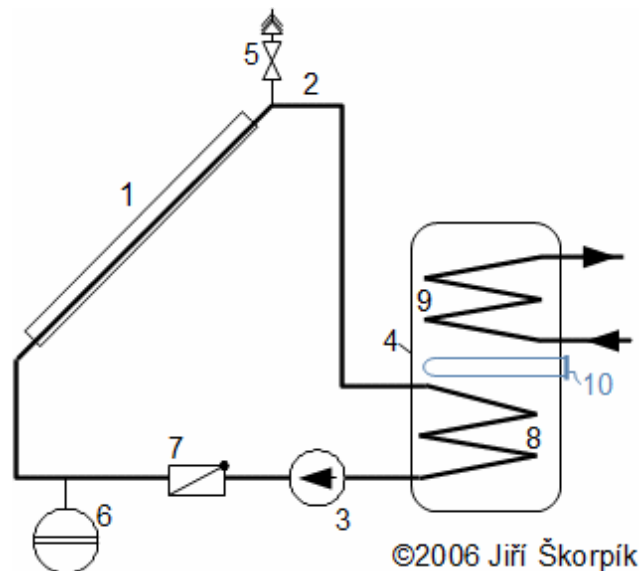
Parametry akumulace

Pro akumulaci tepla ze solárních zisků se dodávají zařízení se schopností akumulace po dobu několika hodin (základní, krátkodobá akumulace), jednoho dne (denní akumulace), po dobu týdne (týdenní akumulace), po dobu několika měsíců (sezónní akumulace). Nejčastěji se teplo akumuluje v nádobě s vodou tím, že se ohřívá s akumulační schopností 0,2 až 0,3 GJ (55,6 až 83 kWh) [13].

Akumulační nádoba

V případě krátkodobé akumulace je akumulační nádoba z ocelové izolované nádoby s přetlakem vody do 0,2 MPa o objemu kolem 600 l (princip akumulace a konstrukce těchto nádob

67 Schéma
jednoduchého zařízení
pro ohřev teplé
užitkové vody



1 solární kolektor; 2 potrubí okruhu s teplo-nosnou kapalinou; 3 cirkulační čerpadlo¹¹; 4 akumulace tepla ve formě ohřáté kapaliny; 5 pojistný ventil; 6 expanzní nádoba; 7 zpětná klapka; 8 ohřívák akumulární kapaliny solárním teplem; 9 ohřívák teplé užitkové vody nebo vody pro vytápění objektu; 10 elektrické přitápění. Celý okruh musí být vybaven pojistným ventilem proti vzrůstu tlaku vlivem přehřátí (vyvedení výfuku pojistného ventilu viz norma). Expanzní nádoba vyrovnává tlakové pulzace, aby nedocházelo ke zbytečnému otvírání pojistného ventilu.

např. v [5, s. 73]), které lze snadno umístit v bytě či domě (tepelné ztráty nádoby zůstávají uvnitř objektu).

*Nádoby a prostory pro
dlouhodobější
akumulaci*

Pro delší akumulaci se používají větší beztlakové izolované nádoby umístěné dále od spotřeby tepla např. ve sklepě nebo zakopaně u objektu. Pro dlouhodobou sezónní akumulaci tepla se používají nadzemní nebo podzemní nádrže s teplou vodou, solární akumulární rybníky naplněné směsí vody a soli, podzemní kaverny naplněné teplou až horkou vodou, zemní horninové akumulátory a akumulátory Aquifer [13]. Příklad schématu zařízení s dlouhodobou akumulací tepla je uveden v [4, s. 67].

Solární kolektor

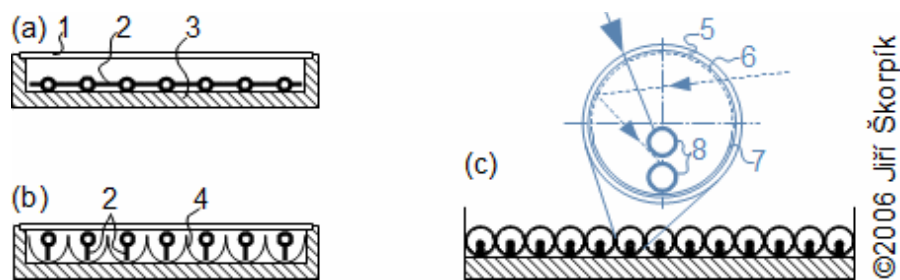
*Zachycení i
transformace v teplo*

Je to sběrač slunečního záření, jehož prostřednictvím je ohřívána teplo-nosná kapalina, nebo je solární energie koncentrována do určitého místa. Dokonalý sluneční kolektor transformuje energii slunečního záření na entalpii⁴³ beze zbytku. Tato transformace se děje při dopadu slunečního paprsku na plochu absorbéru, kterým je pohlcen, viz *Obrázek 68, s. 8*.

Vlastnosti absorbéru

Reálný absorbér vyzařuje zpět do prostoru elektromagnetické záření, přičemž intenzita vyzařování⁴⁶ odpovídá teplotě jeho povrchu. Toto záření představuje ztrátu na výkonu kolektoru, proto dokonalý povrch absorbéru by měl mít součinitel relativní absorpce⁴⁶ roven 1 a emisivitu⁴⁶ rovnu 0. V reálných podmínkách lze pomocí selektivní vrstvy (například tenká vrstva tmavého kovu, jako je nikl či chrom, nanesená na vrstvu lesklého leštěného kovu –

68 Základní typy a části slunečních kolektorů



(a) plochý kolektor; (b) žlabový (koncentrující) kolektor; (c) vakuový kolektor s odrazovou plochou; 1 transparentní vrstva; 2 absorpční plocha; 3 izolace a skříň kolektoru; 4 odrazná plocha (reflektor); 5 skleněná trubice; 6 lesklý povlak na vnitřním povrchu trubice; 7 odrazový povlak pro tepelné záření⁴⁶; 8 absorpční trubky. Více o konstrukci [4, s. 96], [5, s. 29].

obvykle hliník) dosáhnout poměru součinitele relativní absorpce a emisivity mezi 5 až 10.

Uložení absorbéru

Celý absorbér bývá uložen v izolované skříni a ve směru slunečního záření zakryt transparentní vrstvou (tj. průhledná) s co nejmenší poměrnou tepelnou odrazivostí⁴⁶ (pokud možno nulovou) průchodnou pro sluneční paprsky (sklo). Tato vrstva uzavírá kolektor proti odvodu tepla prouděním okolního vzduchu a chrání absorbér před atmosférickými vlivy (sníh, déšť, prach...).

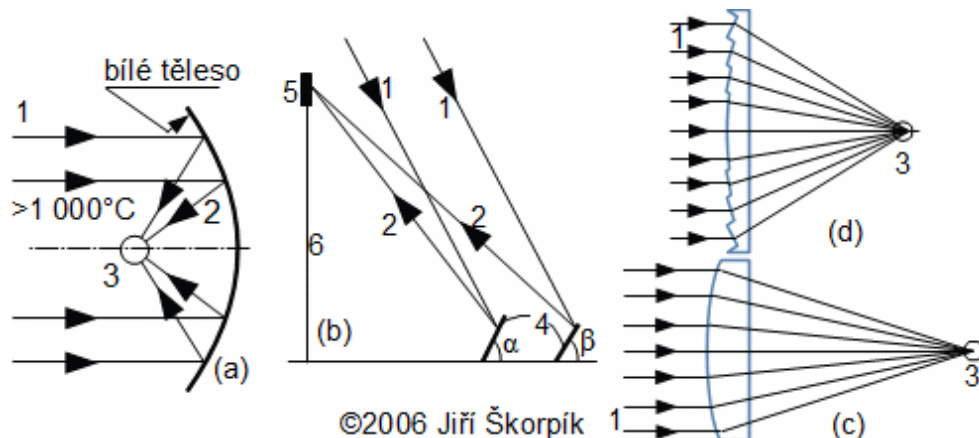
Absorbční matrace

Pro sezónní provoz jsou určeny absorbční matrace, které nejsou umístěné v izolované skříni a chráněné transparentní vrstvou. Využívají se například pro ohřev vody v bazénech v létě.

Limity a koncentrující kolektory

Kolektory z Obrázku 68 jsou určeny především pro ohřev vody do 100 °C, výjimečně 200 °C. Existují ale i aplikace pracující s teplotami až 2000 °C pomocí koncentrace slunečních paprsků do ohniska, viz Obrázek 508. Takovým kolektorům se říká koncentrující kolektory. Nevýhodou těchto kolektorů je, že dokážou využít pouze přímé sluneční záření nikoliv difuzní.

508 Koncentrující kolektory



(a) parabolické zrcadlo; (b) solární věž; (c) koncentrace paprsků pomocí čočky; (d) koncentrace paprsků pomocí Fresnelovy čočky. 1 přímé sluneční paprsky; 2 odražené sluneční paprsky; 3 ohnisko (sběrač, kaverna); 4 natáčivá zrcadla; 5 kaverna; 6 sloup.

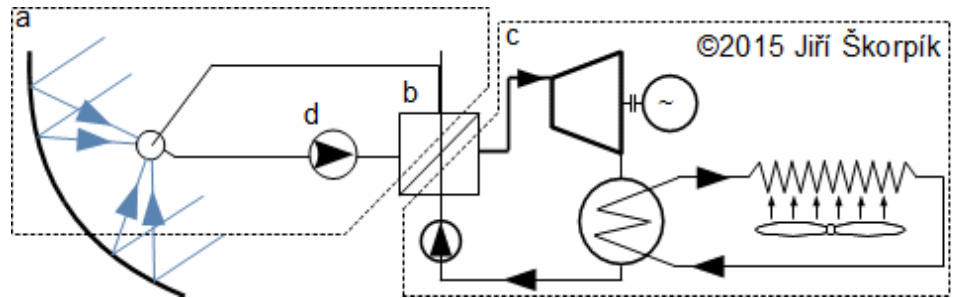
Solární elektrárna

Užitečné spojení s tepelným motorem

V solárních elektrárnách se používají koncentrující kolektory, kde ohřívají pracovní média tepelných motorů s vnějším přestupem

tepla (Stirlingův motor³³ [20], výroba páry pro parní turbínu¹¹ (Obrázek 359), pístový parní motor²⁸..).

359 Schéma zařízení solární elektrárny s parním oběhem



a primární okruh s koncentrujícím kolektorem pro ohřev oleje; **b** parogenerátor; **c** sekundární okruh – parní oběh⁶ s parní turbínou; **d** cirkulační čerpadlo.

Proč se snažíme dosáhnout co nejvyšší teploty

Účinnost přeměny (tedy i velikost motoru vzhledem k jeho výkonu) tepla v práci je tím větší, čím větší je poměr mezi teplotou přívodu a odvodu tepla, viz kapitola Carnotizace tepelného oběhu⁶. Obecně je střední teplota odvodu tepla dána teplotou okolí, kterou nelze ovlivnit, a proto je snaha, aby alespoň střední teplota přívodu tepla do oběhu byla co největší. A to lze uskutečnit právě pomocí koncentrujících kolektorů.

Návrh solární soustavy pro ohřev vody

Základem je kvalitní výpočet energetických zisků

Návrh solárního systému představuje především rozhodnutí o velikosti a sklonu plochy solárních kolektorů na základě výpočtu, který vychází ze spotřeby tepla daného objektu pro jednotlivá období roku a předpokládaných energetických zisků v těchto obdobích. Lze očekávat velký rozdíl energetických zisků mezi zimou a létem i mezi různě skloněnými solárními kolektory, viz *Tabulka 1214, s. 5*.

Odkaz na rady

Rady na co si dát pozor při projektování solární soustavy, pořizování solárních kolektorů a další doporučení s tím související naleznete v článku Chyby v instalacích solárních soustav: solární kolektory od Doc. Matušky [14].

507 Úloha

Navrhněte velikost plochy solárního plochého kolektoru pro ohřev vody pro období prosinec. Teplo je určeno pro ohřev teplé užitkové vody v oblasti Brna. Denní spotřeba 120 l a voda se v kolektoru ohřívá z teploty 10 °C na teplotu 50 °C. Kolektor je otočený na jih se sklonem 90°. Výsledek porovnejte s velikostí solárního kolektoru pro měsíc červenec a sklon kolektoru 30°. Řešení úlohy je uvedeno v *Příloze 507, s. 15*.

Fotovoltaika

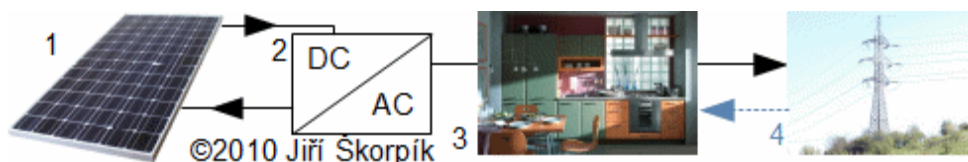
Fotoelektrický jev

Ze slunečního záření lze vyrábět elektrickou energii přímou transformací energie fotonů na elektrický proud pomocí fotoelektrického jevu⁴⁷, který probíhá na povrchu fotovoltaického panelu (deska), jestliže je vystaven slunečnímu záření, viz následující podkapitola *Princip činnosti a výkon foto...*

Sklaba fotovoltaické elektrárny

Soustava pro výrobu elektrické energie pomocí fotovoltaiky se skládá z fotovoltaických panelů, nezbytné řídicí elektroniky a napojení na spotřebič, případně je soustava napojená na distribuční soustavu¹ pro sdílení přebytku/nedostatku elektřiny nebo na akumulátory elektrické energie, *Obrázek 506*. Elektrické akumulátory jsou používány zejména, pokud je nutné, nebo jinak výhodné, nějakým způsobem kompenzovat nerovnoměrnost výroby elektrické energie v průběhu dne z fotovoltaických panelů, více o této možnosti v článku 10. Principy výroby elektřiny a tepla v domácnostech¹⁰.

506 Schéma fotovoltaické soustavy pro výrobu elektrické energie v domácnosti



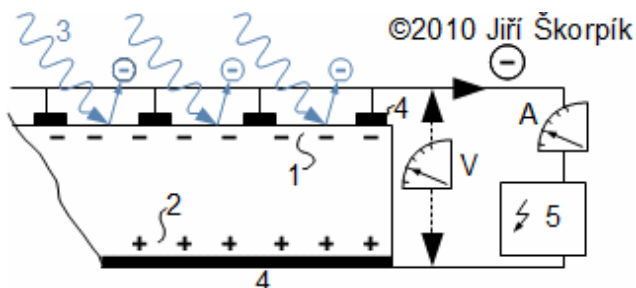
1 fotovoltaický panel (obrázek z [9]); 2 střídač (převádí stejnosměrný proud z fotovoltaického panelu na střídavý); 3 domácnost; 4 distribuční soustava.

Princip činnosti a výkon fotovoltaického panelu

Polovodičové destičky s přechodem P/N

Standardní fotovoltaický panel se skládá z fotovoltaických (solárních) článků o velikosti okolo 10×10 cm. Fotovoltaický článek je tvořen křemíkovou (velice čistý křemík) destičkou tloušťky 0,3 až 0,5 mm. Na vrchní a spodní straně destičky je obohacen křemík rozdílnými příměsmi tak, aby tyto rozdíly vytvářely na horní vrstvě záporný náboj a na spodní kladný – horní vrstva (natočená ke slunci) je polovodič typu $N(-)$, dolní polovodič je typu $P(+)$. Potřebných vlastností polovodiče typu N se dosahuje například příměsí fosforu, u polovodiče typu P příměsí boru. Rozdíl el. nábojů obou desek vytvoří mezi nimi napětí o velikosti přibližně 0,5 V, viz *Obrázek 509*. Při dopadu slunečního záření o určité vlnové délce na horní vrstvu dojde v důsledku fotoelektrického jevu k uvolnění elektronů ve vrchní vrstvě křemíku, které jsou v důsledku napětí odváděny přes spotřebič ke spodní vrstvě pomocí sběrných vodičů na vrchní vrstvě a vodivé destičky na spodní vrstvě. Tímto způsobem vznikne elektrický obvod.

509 Schéma fotovoltaického článku



1 polovodič typu N ; 2 polovodič typu P ; 3 směr ozáření článku; 4 sběrné vodiče; 5 el. spotřebič. Aby docházelo k efektivnějšímu pohlcování slunečního záření je vrchní vrstva článků potažena antireflexní vrstvou. Více o funkci a charakteristice například v [10].

Obvyklé energetické
parametry
fotovoltaických článků

Velikost proudu, respektive výkon jednoho článku závisí na jeho ploše a pohybuje se okolo 2...3 až 6 A max. Výkon panelu závisí na počtu destiček, které jsou na něm umístěny. Pro zvýšení napětí se jednotlivé články zapojují sériově. Teoretický limit účinnosti fotovoltaického článku (množství vyrobené el. energie ku množství dopadající sluneční energie na článek) na bázi křemíku je 31 % (přičemž nejlepší laboratorní články dosahují účinnosti 26 %) [8, s. 24], viz také Shockley-Queisserův limit.

Snižování účinnosti
během provozu

Většina výrobců garantuje, že účinnost fotovoltaických panelů za 25 let poklesne maximálně o 20 %. Realita je však taková, že za 25 let provozu se snižuje účinnost pouze o 6 až 8 % [7, s. 12]. Nutno podotknout, že před 25 lety účinnost fotovoltaických panelů byla velmi nízká (10 %) a prostor pro opotřebení nebyl u těchto panelů velký.

Co je W_p ?

Protože výkon fotovoltaického panelu je odvozen od množství energie slunečního záření na jeho plochu dopadající, uvádějí výrobci maximální výkon panelů v jednotkách W_p , kde p znamená peak [10].

Umístění fotovoltaických panelů

Pro sklon lze využít
pravidla, která jsme si
uvedli ve Fototermice

Co se týká orientace fotovoltaických panelů, lze využít vše z kapitoly *Fototermika*, s. 5. Fotovoltaický panel má navíc tu výhodu, že je kompaktní a propojen se zbytkem soustavy pouze dráty, takže není problém umístit fotovoltaický panel i na otáčivé stojany, které mění azimut a sklon panelu podle roční a denní doby. Mnohem častější jsou ale aplikace pevně nastaveného azimutu i sklonu podobně jako u fototermiky.

Umístění, kdekoliv svítí
slunce –
agrofotovoltaika

Fotovoltaické panely se instalují na střechy, volné plochy a dokonce i zemědělské plochy v symbióze s pěstovanými plodinami tzv. agrofotovoltaika, viz *Obrázek 565*. Agrofotovoltaické systémy se podle hlavní orientace fotovoltaických panelů dělí: **1.** horizontální systémy; **2.** vertikální systémy;

565 Příklady
agrovoltaiky



Obrázky z [18], [16].

Výhody horizontálních
systémů pro plodiny

1/2. Agrofotovoltaické horizontální systémy jsou navrženy tak, aby v době přebytku slunečního svitu stínily rostliny a zabráňovaly nadbytečnému vysušování půdy. Naopak, při ochlazení zabráňují rychlé změně přízemní teploty.

Výhoda vertikálních systémů pro plodiny

2/2. Agrofotovoltaické vertikální systémy jsou orientovány jih-sever, takže plodiny nejvíce zastíňují po východu slunce a před západem slunce. Na druhou stranu dodávají nejvíce elektřiny právě v době, kdy jiné fotovoltaické panely jsou orientovány na jih, a tím částečně vyrovnávají nerovnoměrnost dodávky elektřiny do sítě z fotovoltaiky během dne [17].

Solární tašky

Stavební problémy s instalací fotovoltaických panelů na střechy budov řeší tzv. solární taška. Solární taška je tvořena speciálně tvarovanou pálenou taškou s plochou pro instalaci (i dodatečnou) solárního panelu, viz *Obrázek 1215*. Celkový instalovaný výkon na střechě budovy se pak odvíjí od počtu takto vybavených tašek.

1215 Solární taška
PAN 29



Tuto solární tašku vyrábí švýcarská společnost Gasser ceramic a jedna taková taška má výkon $25 W_p$, takže na $1 m^2$ střechy lze instalovat solární tašky s celkovým výkonem $87 W_p$. Obrázek z [19].

Pár slov na závěr

Solární komín

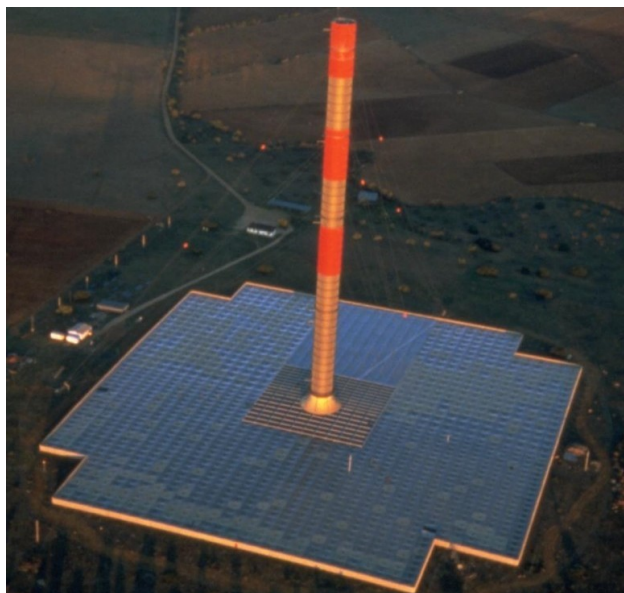
Existují i jiné způsoby využití sluneční energie např. solární komín. Solární komín je uprostřed rozsáhlého skleníku, ve kterém sluneční záření ohřívá vzduch, *Obrázek 510*. Horký vzduch je lehčí než okolní a pomocí komínového efektu proudí od okraje skleníku směrem ke komínu. Na vstupu do komína, kde dosahuje vzduch nejvyšší rychlosti, je turbína (větrná turbína⁴), která transformuje kinetickou energii proudu vzduchu na práci.

Souvislosti en. toků

Celková primární energie spotřebovaná lidstvem v roce 2000 byla $10\,400\,Mtoe$. Což průměrně představuje cca $14\,TW$ výkonu. Toto číslo představuje méně jak $9\,\%$ energie, kterou příroda spotřebuje na fotosyntézu.

Dostupné plochy v ČR pro fotovoltaiku

Sluneční záření dopadající na povrch České republiky poskytuje ročně asi $90\,000\,TWh$ energie, přičemž ploch použitelných pro fotovoltaické systémy je $50\,200\,000\,m^2$, což potenciálně představuje ročně asi $50\,500\,GWh$.



Postavený v roce 1986 v Manzanares ve Španělsku, který dosahuje výkonu až 50 kW. Přičemž 75 % plochy skleníku je využito pro pěstování zemědělských plodin. Fotografie: Benoit Michel, 2007 [11].

Odkazy

- [1] KADRNOŽKA, Jaroslav. *Energie a globální oteplování – Země v proměnách při opatřování energie*, 2006. 1. vydání. Brno: VUTIUM, ISBN 80-214-2919-4.
- [2] HLAD, Oldřich, PAVLOUSEK, Jaroslav. *Přehled astronomie*, 1984. 1. vydání. Praha: SNTL.
- [3] ŠÚRI, M., CEBECAUER, T., HULD, T., DUNLOP, D. *Global irradiation and solar electricity potential – Czech Republic*, 2010. European Commission Joint Research Centre. Dostupné z <http://re.jrc.ec.europa.eu>.
- [4] CIHELKA, Jaromír. *Solární tepelná technika*, 1994. 1. vydání. Praha: T. Malina.
- [5] HEINZ, Ladener, SPÄTE, Frank. *Solární zařízení*, 2003. 1. vydání. Praha: Grada Publishing a.s., ISBN 80-247-0362-9.
- [6] MACHÁČEK, Martin. *Encyklopedie fyziky*, 1995. 1. vydání. Praha: Mladá fronta, ISBN 80-204-0237-3.
- [7] BECHNÍK, Bronislav. Fotovoltaika: Recyklace panelů na konci životnosti, *Alternativní energie*, 2011, č. 4.
- [8] MINKEL, Jr., COLLINS, Graham, BIELLO, David, TRIVEDI, Bijal, ASHLEY, Steven, CHOI, Charles, LEMONICK, Michael. 7 radikálních energetických řešení, *Scientific American*, 2011, srpen. České vydání. Praha: Espero publishing, s.r.o., ISSN 1213-7723.
- [9] *Czech Renewable Energy Agency*, 2010. Dostupné z <http://czrea.org>.
- [10] HENZE, Andreas, HILLEBRAND, Werner. *Elektrický proud ze Slunce*, 2000. 1. české vydání. Brno: HEL, ISBN 80-86167-12-7.
- [11] *Panoramio.com*, 2010. [on-line] úložiště fotografií. Dostupné z <http://www.panoramio.com>.

- [12] *National Aeronautics and Space Administration – NASA*. Dostupné z <http://www.nasa.gov>, 2010.
- [13] KADRNOŽKA, Jaroslav. Sezónní akumulace sluneční energie, *3T. Teplo, technika, teplárenství*, 2007, č. 6. Pardubice: Teplárenské sdružení České republiky, 1996-2010, ISSN 1210 – 6003.
- [14] MATUŠKA, Tomáš. Chyby v instalacích solárních soustav: solární kolektory, *TZB-info*, 2015, 13. duben. Praha: Topinfo s.r.o., ISSN 1801-4399. Dostupné z <http://www.tzb-info.cz>, [cit. 2020-27-05].
- [15] RAŽNJEVIĆ, Kuzman. *Termodynamické tabuľky*, 1984. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 2 sv. Edícia energetickej literatúry (Alfa).
- [16] Sun'R. Framcouská společnost dodávající řešení pro agrovoltaiku. 7 rue de Clichy, 75009 Paříž. Web: <https://sunagri.fr> [Cit. 2020-05-28].
- [17] ZILVAR, Jiří. Agrivoltaika – řešení pro nová solární pole, *TZB-info*, 2019, 11. květen. Praha: Topinfo s.r.o., ISSN 1801-4399. Dostupné z <http://www.tzb-info.cz>, [cit. 2020-28-05].
- [18] Next2Sun. Německá společnost dodávající řešení pro agrovoltaiku. GmbH Burgsdorfstraße 8, 13353 Berlin. Web: <https://www.next2sun.de/> [Cit. 2020-05-28].
- [19] Gasser ceramic. Švýcarská společnost vyrábějící solární tašky. Ziegelei 8 CH-3255 Rapperswil BE. Web: <https://gasserceramic.ch/> [Cit. 2020-05-28].
- [20] Strojírny Bohdalice, a.s. Výrobce Koncentrační solární elektrárny CSP Dish Stirling. Strojírny Bohdalice, a.s., CZ683 41 Bohdalice 63 . Web: <https://strobo.cz/> [Cit. 2020-05-28].

Bibliografická citace článku

ŠKORPÍK, Jiří. Sluneční záření jako zdroj energie, *Transformační technologie*, 2006-09, [last updated 2020-10-22]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <https://www.transformacni-technologie.cz/02.html>.