

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Ohřev teplé užitkové vody solárními systémy

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vojtěch LEGÁT**
Osobní číslo: **E11B0299P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Ohřev teplé užitkové vody solárními systémy**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište princip, typy a vlastnosti solárních kolektorů a fotovoltaických panelů.
2. Navrhněte ohřev TUV pomocí solárních kolektorů a fotovoltaických panelů.
3. Porovnejte ekonomický a energetický přínos obou návrhů.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Cihelka, J.: Solární tepelná technika, 1. vyd. Praha, Tomáš Malina, 1994, 203 s. ISBN 80-900759-5-9.
2. Libra, M., Poulek, V.: Fotovoltaika, teorie i praxe využití solární energie, 1. vyd. Praha, ILSA, 2009. 160 s. ISBN 978-80-904311-0-2.
3. www.solactec.cz

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lenka Raková

Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: 14. října 2013

Termín odevzdání bakalářské práce: 9. června 2014

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan



Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.

vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na možnosti ohřevu teplé užitkové vody pomocí solárních systémů. V první části se soustředí na teoretické vysvětlení problematiky týkající se fotovoltaických panelů a slunečních kolektorů. Dále jsou navrženy systémy pro ohřev teplé užitkové vody pomocí solárních kolektorů a fotovoltaických panelů a oba postupy jsou zhodnoceny. Na závěr je provedeno energetické a ekonomické hodnocení obou návrhů.

Klíčová slova

Solární systém, solární kolektor, absorbér, fotovoltaický systém, fotovoltaický panel, ingot, sluneční záření, teplota, intenzita slunečního záření, energie, doba návratnosti.

Abstract

This bachelor work is focused on the solar systems. It shows possibilities of warming of the warm utility water. In the first item it is concentrated on a theory of photovoltaic panels and solar collectors. The next part is composed of two practical concepts – system for warming by photovoltaic panels and solar collectors. At the end of work both concepts are contrasted and evaluated by the economic and energetic point of view.

Keywords

Solar system, solar collector, absorber, photovoltaic system, photovoltaic panel, ingot, solar radiation, temperature, solar irradiance, energy, time of return.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 9.6.2014

Vojtěch Legát

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí bakalářské práce Ing. Lence Rakové, za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

Seznam symbolů a zkratk	10
Úvod	11
1 Světlo	12
1.1 Slunce	12
1.2 Světlo	14
2 Fotovoltaická přeměna energie	15
2.1 Polovodiče	16
2.2 Přechod PN	18
3 Fotovoltaické panely	20
3.1 Konstrukce a výroba	20
3.1.1 Úprava křemíku	20
3.1.2 PV články	23
3.1.3 Vývoj účinnosti	27
3.1.4 Fotovoltaické panely	28
3.2 Fotovoltaické systémy	30
3.2.1 Fotovoltaické systémy s pevným stojanem	30
3.2.2 Fotovoltaické systémy s pohyblivým stojanem	31
3.3 Navýšení množství vyrobené energie	33
3.4 Využití solárních systémů	33
4 Solární kolektory	34
4.1 Aktivní solární systémy	35
4.2 Princip a typy	35
4.3 Konstrukce	36
4.4 Teplonosné kapaliny	39
4.5 Kapalinové kolektory	41
4.6 Vzduchové kolektory	43
4.7 Hybridní kolektory	43
5 Systémy pro ohřev TUV	45
5.1 Meteorologické informace	45
6 Návrh systému se solárními kolektory	47
6.1 Výpočet spotřeby tepla	47
6.2 Výpočet plochy kolektorů	48
6.2.1 Výpočet pro teoretickou účinnost systému	48

6.2.2	Výpočet pro účinnost zadanou výrobcem.....	49
6.3	Stanovení tepelné bilance	49
6.4	Shrnutí návrhu.....	52
7	Návrh systému s fotovoltaickými panely.....	54
8	Energetické zhodnocení	56
9	Ekonomické zhodnocení.....	57
9.1	System se solárními kolektory.....	57
9.2	System s fotovoltaickými panely	58
9.3	Shrnutí	58
	Závěr	59
	Seznam použité literatury	60
	Seznam příloh.....	61

Seznam symbolů a zkratk

TUV	teplá užitková voda
λ	vlnová délka [m]
E	energie [eV]
U_D	difúzní napětí [V]
U_P	fotovoltaické napětí [V]
t	teplota [°C]
T	termodynamická teplota [K]
η	účinnost [%]
Q_w	teplo pro ohřev [kWh]
c_w	měrná tepelná kapacita vody [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]
V_w	objem teplé vody [m ³]
ρ_w	hustota vody [$kg \cdot m^{-3}$]
t_T	teplota teplé vody [°C]
t_S	teplota studené vody [°C]
Q_S	dopadající energie [$kWh \cdot m^3$]
Q_{aden}	zachycená energie za 1 den [kWh]
S	plocha [m ²]
Q_{zden}	energie zachycená systémem za 1 den [kWh]
$Q_{\text{změs}}$	energie zachycená systémem za 1 měsíc [kWh]
R	rozdíl energií [kWh]
Q	potřebná energie [kWh]
T_S	doba návratnosti [rok]
IN	investiční náklady [Kč]
CF	roční příjem [Kč]

Úvod

Obnovitelné zdroje energie jsou diskutovaným tématem nejen v laické veřejnosti, ale i ve vědecké společnosti. Lidé si pomalu začínají uvědomovat, že je potřeba veškerou energii šetřit a neplýtvat jí. Fosilní paliva, která tvoří naprostou většinu zdrojů energie, se jednoho dne vyčerpají a je otázkou, jestli na tuto situaci bude lidstvo připraveno. Určitým příslibem mohou být obnovitelné zdroje jako sluneční záření, voda, aj., i když je jasné, že nebudou schopny ani zdaleka pokrýt obrovskou spotřebu a energetickou náročnost naší populace.

Další otázkou je stav naší planety z pohledu ekologie. Je nepopiratelným faktem, že za dobu své existence člověk vyhubil mnoho biologických druhů, ovlivnil a narušil vztahy mezi jednotlivými ekosystémy a určitou měrou zřejmě podpořil i změnu klimatu na Zemi. Nadměrnou produkcí skleníkových plynů přispěl ke změnám atmosféry, k tvorbě skleníkového efektu a v neposlední řadě také k porušení vodního režimu naší planety.

Všechny tyto neduhy hospodaření člověka na Zemi může určitým způsobem zlepšit rozumné a efektivní využívání energie Slunce. Přestože v dnešní době jsme schopni využívat pouze zlomek tohoto energetického potenciálu, není zcela vyloučeno, že v budoucnu může dojít k novým a převratným objevům a že se lidstvo, dodneška tolik závislé na fosilních palivech, začne ubírat zcela novým směrem.

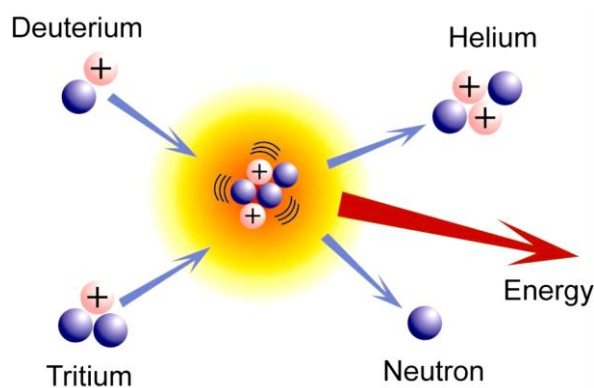
1 Světlo

1.1 Slunce

Slunce, jakožto centrum sluneční soustavy, má hlavní význam pro život na Zemi a pro většinu procesů, které na naší planetě probíhají. Je mimo jiné původcem slunečního záření, nezbytného pro fungování všech solárních systémů.

Slunce o průměru 1 400 000 km je oproti naší Zemi více než stokrát větší. Je složeno z mnoha prvků, především z lehkých plynů, vodíku a helia. Stejně jako Země má jádro, které má teplotu zhruba 15 000 000 K a je nejdůležitější z hlediska tvorby záření. Hlavní parametry Slunce jsou uvedeny v tabulce (Příloha 1).

Proces vzniku slunečního záření, termonukleární reakce, probíhá v nitru Slunce za extrémních podmínek, tj. při velmi vysokých tlacích a teplotách. Reakce spočívá ve slučování izotopů vodíku, deuteria a tritia, v helium. Protony atomů vodíku se v jádru Slunce pohybují obrovskou rychlostí několika set kilometrů za sekundu. Při srážkách se k sobě přibližují na velmi malou vzdálenost odpovídající jejich velikosti. Při takto malé vzájemné vzdálenosti protonů převládne jaderná síla nad silou elektrickou. A jelikož je jaderná síla přitažlivá, protony spolu vytvoří jádro helia, přičemž se uvolní energie (z každého protonu asi 7 MeV). Těchto reakcí probíhá v jádře obrovský počet, každou sekundu Slunce sloučí asi 620 miliónů tun vodíku, takže výsledná uvolněná energie je obrovská. Výše uvedenou reakci znázorňuje schéma na (Obr. 1). [2, 7]

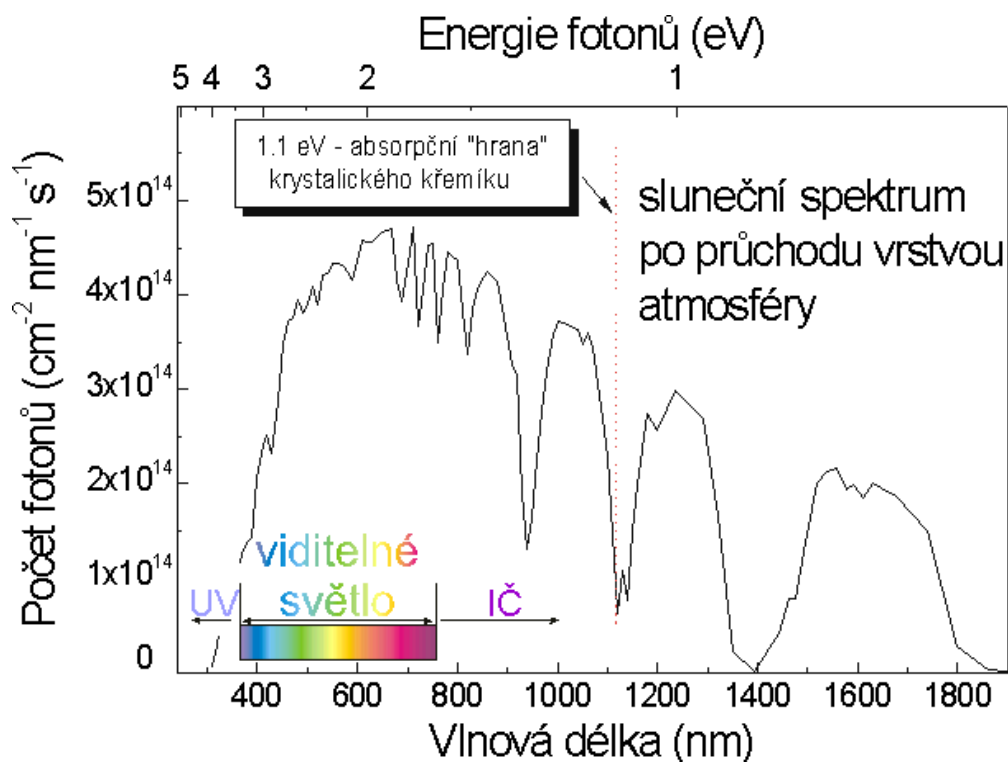


Obr. 1 Termonukleární reakce [7]

Je zjevné, že při sloučení atomu deuteria a tritia (jaderné fúzi) vznikne jeden atom hélia, uvolní se jeden neutron a určité množství energie, která se ve formě záření γ dostává na povrch Slunce. Celý proces cesty energie z jádra k povrchu Slunce trvá stovky tisíc let. Fotony se spolu neustále srážejí a narážejí i do dalších částic, čímž stále zanikají a vznikají jiné fotony s menší energií a tato energie se šíří skrz jednotlivé vrstvy až ke slunečnímu povrchu. Nejprve musí fotony projít vrstvou konduktivní, která obklopuje jádro a má tloušťku asi $3,5 \cdot 10^8$ m. V této vrstvě neustále dochází k absorpci a opětovnému vyzáření fotonů, čímž se zjednodušeně z jednoho fotonu s vysokou energií vytvoří mnoho fotonů s nižší energií. Četnými srážkami se energie předává dál k povrchu.

Obalem konduktivní vrstvy je vrstva konvektivní, která má řádově podobnou tloušťku jako vrstva konduktivní. Zde pokračuje přenos energie pomocí vzestupných a sestupných proudů plazmatu. Na povrchu konvektivní vrstvy je už samotný povrch Slunce, který ale stejně jako u některých planet není přesně ohraničený.

Kolem povrchu Slunce se už nachází sluneční atmosféra, která je dále dělena na několik vrstev (fotosféra, chromosféra a koróna). Více jak polovina celkové vyzážené energie ze Slunce je v oblasti viditelného spektra (světla), tedy o vlnové délce 380 – 760 nm (Obr. 2). A právě tato složka je základem fungování všech solárních systémů. [2, 7]



Obr. 2 Sluneční spektrum [14]

Energie na Zemi

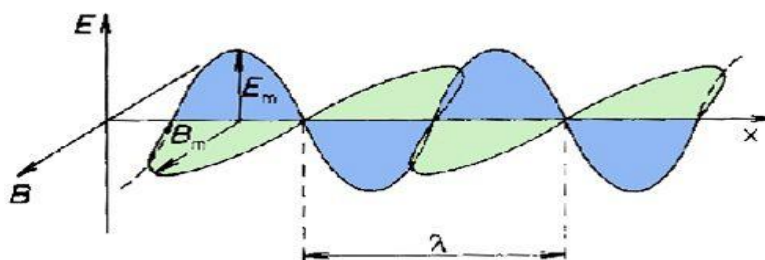
Sluneční záření dopadající na Zemi představuje energii asi 180 000 TW, je to však jen velice nepatrná část celkové vyzářené energie Slunce, i když z pohledu člověka se jedná o obrovský energetický přísun. Na povrch planety se dostane jen asi polovina slunečního záření, která projde atmosférou. Část se totiž od atmosféry odrazí zpět do vesmíru a část je atmosférou pohlcena. [2]

1.2 Světlo

Světlo, záření a všechny další související záležitosti je oblast fyziky, která byla dlouhou dobu velice nesourodá a rozporuplná. Může za to především vlastní fyzikální podstata světla, tedy jeho duální povaha. Dlouhou dobu se fyzikové nemohli shodnout, co vlastně světlo znamená z fyzikálního pohledu. Zpočátku bylo světlo vnímáno jako tok jakýchsi fiktivních částic, o což se zasloužil především jeden z nejslavnějších vědců tehdejší doby, Isaac Newton. S druhou teorií přišel jiný významný fyzik, Christian Huygens, jeho práce však nedokázala vystoupit ze stínu Isaaca Newtona, a tak bylo světlo až do 19. století vysvětlováno jako proud částic.

O mnoho let později se teorii světla začal věnovat James C. Maxwell, který navázal na práci Christiana Huygense a charakterizoval světlo jako elektromagnetické vlnění, jednalo se však pouze o teorii. Její potvrzení provedl Albert Einstein, který dokázal, že světlo je elektromagnetické záření, ale má jak vlnovou, tak i částicovou povahu.

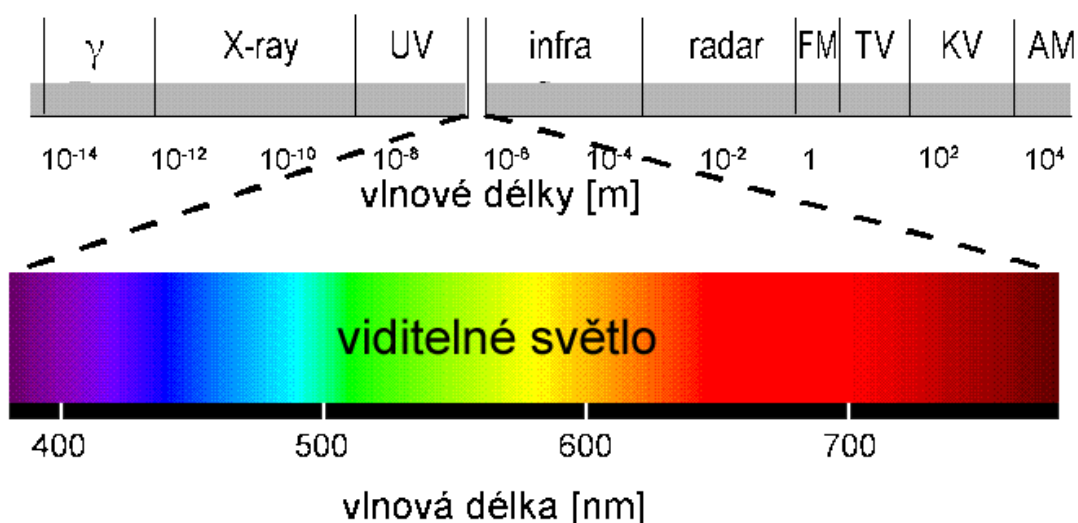
Z výše uvedeného je tedy zřejmé, že zásadním pojmem pro pochopení podstaty světla jsou elektromagnetické vlny. [2]



Obr. 3 Elektromagnetická vlna [14]

Na (Obr. 3) je znázorněn průběh elektromagnetické vlny. Vektory magnetické indukce a intenzity elektrického pole jsou na sebe kolmé a jednotlivá pole se navzájem budí. Výsledná elektromagnetická vlna se šíří ve směru kolmém k těmto vektorům.

Viditelné záření (světlo) zaujímá pouze velmi úzké rozmezí vlnových délek v intervalu od 380 do 760 nm. Každé vlnové délce z tohoto intervalu náleží určitá barva. Od nižších vlnových délek postupně přechází barvy od červené k fialové (Obr. 4), přičemž sluneční světlo se nám jeví jako bílé, neboť je složeno ze spektra všech barev. Důkazem toho je například známý pokus rozkládání světla hranolem, který prováděl už Isaac Newton. Záření však může mít i kratší nebo delší vlnové délky, než viditelné světlo. V oblasti kratších vlnových délek se nachází ultrafialové a rentgenové záření a záření gama, které má nejkratší vlnové délky ($\lambda < 10^{-11}$ m). Delší vlnové délky má infračervené, mikrovlnné a rádiové záření. Vlastnosti jednotlivých druhů záření se liší a jejich využití v technice je velice rozmanité. [2]



Obr. 4 Rozdělení barev ve slunečním spektru [14]

2 Fotovoltaická přeměna energie

Pro vysvětlení fyzikální podstaty přeměny energie pomocí fotovoltaických (PV) článků je třeba nejprve vyložit pojmy jako polovodič, vlastní a nevlastní vodivost, přechod PN, atd. Jelikož jsou nejčastěji využívané PV články na bázi krystalického křemíku je níže uvedená teorie zaměřena především na ně.

2.1 Polovodiče

Dle teorie pásového modelu pevných látek obsahují atomy těchto látek několik pásů, přičemž každému pásu přísluší určitá energetická hladina. Elektronů v atomu mají totiž rozdílnou energii a podle toho, jak velká tato energie je, jsou rozvrstveny do energetických hladin – pásů. Tyto pásy se mohou navzájem překrývat, nebo mezi nimi může být mezera neobsahující žádné elektrony, tzv. *zakázaný pás*. Elektronů v každé látce zaplňují pásy od nejnižších energetických stavů směrem k vyšším, poslední obsazený pás nazýváme *valenční pás*. První pás, který není obsazen elektrony, je *pás vodivosti*. Souhrnně označujeme pásy, ve kterých se elektrony mohou vyskytovat, jako pásy dovolených energií, které jsou odděleny pásy zakázaných energií. Nejvyšší energetickou hladinu valenčního pásu obvykle označujeme E_V , nejnižší hladinu pásu vodivostního většinou E_C . Šířku zakázaného pásu pak značíme E_G a můžeme ji určit jako rozdíl E_C a E_V . [2]

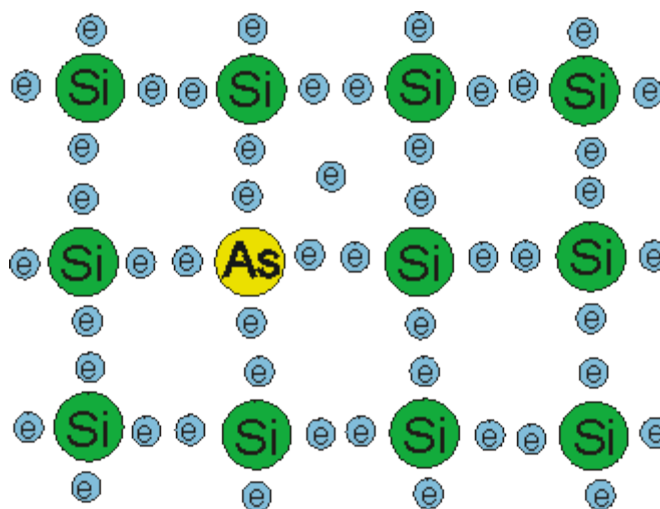


Obr. 5 Pásový model pevných látek [2]

A právě tato pásová struktura atomů je klíčová k určení, zda daná látka je elektricky vodivá (vodič), nebo zda se jedná o polovodič či izolant. Na charakter dané látky můžeme usuzovat podle šířky výše uvedeného zakázaného pásu. Pokud je šířka zakázaného pásu nižší než 1 eV, pak se jedná o vodič, je-li vyšší než 3 eV, je to izolant. A pokud je šířka v intervalu od 1 do 3 eV, potom jde o polovodič. Jak vidíme z obrázku, zakázaný pás u vodičů je velice úzký, nebo úplně chybí (Obr. 5c, d), a tak mohou elektrony volně přecházet z valenčního pásu do vodivostního a naopak. V izolantech je tomu přesně naopak (Obr. 5a). Energetická bariéra mezi valenčním a vodivostním pásem je příliš velká na to, aby ji elektrony dokázaly překonat. To je možné pouze při dodání extrémně velké energie zvnějšku. V polovodičích jsou dovolené pásy vzájemně odděleny také pásy zakázanými, avšak jejich šířka je podstatně

menší a elektrony tedy potřebují nižší energii k jejich překonání (Obr. 5b). Tato energie jim musí být rovněž nějak dodána, například v podobě tepla nebo světla. [2]

Polovodiče dělíme na vlastní (intrinsické) a nevlastní (příměsové), které dále mohou být typu P nebo N. U vlastního polovodiče se jedná o čisté krystaly bez příměsí. Ve stavu bez přivedení vnější energie jsou všechny elektrony pevně vázány ve vazbách ve valenční sféře a ve vodivostním pásu nejsou žádné volné elektrony. Nemůže tedy dojít k vedení elektrického proudu. Pokud však dodáme látce energii (aktivační energie, která je rovna nebo větší než E_G), situace se změní. Elektrony v důsledku přijetí energie přejdou na vyšší energetickou hladinu, překonávají zakázaný pás a jsou vytrhovány z vazeb. Stávají se volnými a umožňují průchod elektrického proudu. Ve vazbách, ze kterých se uvolnily elektrony, vznikají volná místa, kterým říkáme díry. Díra může být opět rychle zaplněna jiným volným elektronem, anebo elektronem, který se vytrhne ze sousední vazby. Tím se zaplní původní díra, ale v místě uvolněného elektronu z jiné vazby vznikne díra nová. Takto se celý proces velice rychle opakuje, dochází tak k neustálé rekombinaci a generaci párů elektron-díra a polovodič umožňuje průchod elektrického proudu. Počet volných elektronů a děr je stejný a krystal se navenek chová jako elektricky neutrální. [2]

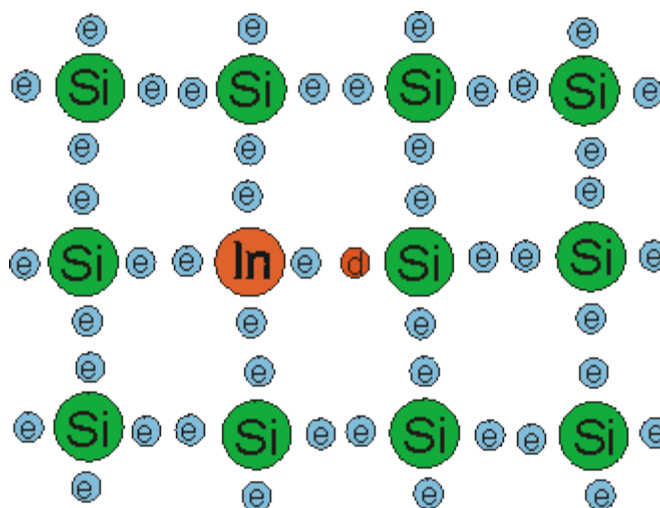


Obr. 6 Polovodič typu N [14]

U nevlastních polovodičů je tomu trochu jinak, například u krystalu křemíku (Si). Křemík je čtyřmocný prvek, má tedy čtyři valenční elektrony, které se za nízkých teplot nacházejí všechny ve valenčním pásu. Pokud nahradíme v tomto krystalu některé atomy křemíku pětímocnými atomy prvků 5. skupiny periodické tabulky prvků (P, As, Sb), dojde k následující situaci (Obr. 6). Z pěti valenčních elektronů atomu příměsí se pouze čtyři z nich

účastní kovalentní vazby se sousedními atomy Si. Pátý elektron je vázán jen velice slabě a v podstatě se chová jako volný a vzniká donorová hladina E_D . Po dodání jen velmi malé energie (řádově 0,01 eV) se tento elektron přesune do vodivostního pásu. Takto dotovaný polovodič je nazýván jako polovodič typu N, pětímocné atomy příměsí jako donory (dárci). Při běžné teplotě kolem 20 °C je tepelná energie dodaná elektronům asi 0,025 eV, tedy větší, než je minimální nutná aktivační energie, a elektrony pak mohou volně přecházet do vodivostního pásu. Majoritními nosiči náboje jsou elektrony, neboť jejich koncentrace je uvnitř krystalu větší, než koncentrace děr. Fermiho hladina je posunuta směrem k vyšším energiím. [2]

Podobná situace nastane, nahradíme-li některé atomy Si atomy prvků 3. skupiny, které jsou trojmocné a mají tedy pouze 3 valenční elektrony (Obr. 7). V jedné atomové vazbě pak chybí elektron, tato vazba není zaplněna a chová se jako díra. Po přijetí opět velmi malé energie může do této nezaplňené vazby přeskočit elektron ze sousedního atomu Si. Takto dotované polovodiče jsou typu P a příměsí nazýváme akceptory. Analogicky k předchozímu případu vznikne v atomu akceptorová hladina E_A v zakázaném pásu. Dodáním energie mohou na tuto hladinu přeskočit elektrony z valenčního pásu, kde zůstane kladně nabitá díra. V polovodiči typu P je tedy koncentrace děr vyšší, než koncentrace volných elektronů a majoritními nosiči jsou zde díry. Fermiho hladina je posunuta směrem k nižším energiím. [2]



Obr. 7 Polovodič typu P [14]

2.2 Přechod PN

Pokud v jednom krystalu dotujeme jednu oblast více a jinou méně stejným nebo opačným typem příměsí, vznikne uvnitř látky nehomogenní koncentrace těchto příměsí. Volné nosiče

náboje se snaží v krystalu rozložit rovnoměrně a vytvořit rovnováhu. Přemísťují se z oblastí s vyšší koncentrací do oblastí s nižší koncentrací. V místech, odkud volné nosiče unikly, zůstávají pevně vázané náboje, které vytváří prostorový náboj. Krystal jako celek se tak chová jako elektricky neutrální, avšak uvnitř něho jsou lokální elektrická pole. V důsledku existence těchto polí se volné nosiče nemohou už dále přemísťovat a látka je v rovnovážném stavu. [2]

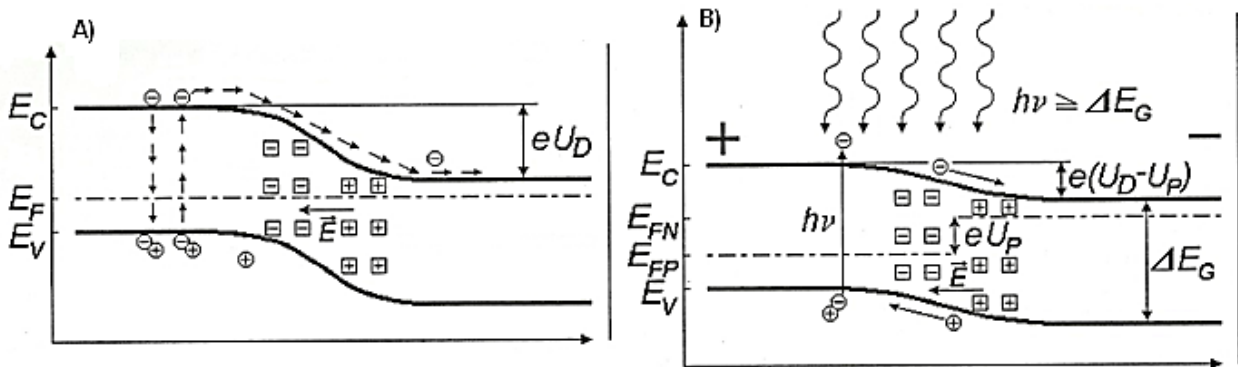
Speciálním případem takového nehomogenního rozložení je tzv. *přechod PN*. Vznikne v krystalu, kde je jedna jeho část dotována jako polovodič P, druhá jako polovodič N a obě tyto části jsou od sebe odděleny přechodem. Elektrony z oblasti typu N přecházejí do oblasti typu P a opačně, díry přecházejí z P do N. Tím se, jak je uvedeno výše, vytváří v oblasti N kladný prostorový náboj, v oblasti P záporný a mezi nimi elektrické pole, bránící dalšímu průchodu děr a elektronů. Mezi různě dotovanými oblastmi pak vzniká difúzní napětí U_D (potenciálová bariéra). V místě přechodu dojde k ohnutí valenčního a vodivostního pásu, neboť Fermiho hladina musí být v celém krystalu vyrovnaná. A jak již bylo popsáno, Fermiho hladina u polovodiče typu P leží níže, než u polovodiče typu N, takže aby po spojení obou typů polovodičů zůstala vyrovnaná, musí se ohnout ostatní pásy (Obr. 8 A). Systém je takto ve stavu dynamické rovnováhy, protože uvnitř polovodiče neustále dochází k rekombinaci a generaci párů elektron-díra (předpokládáme teplotu $T > 0K$). Po přiložení vnějšího napětí se tato rovnováha poruší a přechodem PN začnou procházet elektrony z N do P. [2]

Fotovoltaická přeměna energie

Nyní tedy mohu přejít k samotnému základu mé práce, vysvětlení principu fotovoltaické přeměny. K této přeměně se využívá polovodičových fotovoltaických článků, které mění energii dopadajícího záření (fotonů) na energii elektrickou.

Fotovoltaický článek je v podstatě jeden PN přechod - velkoplošná dioda. Na tuto diodu dopadají fotony elektromagnetického záření a pokud mají stejnou nebo větší energii, než je šířka zakázaného pásu E_G , pak se tyto fotony pohlcují a předávají svou energii, která se spotřebuje na generaci párů elektron-díra. Generované páry v oblasti PN přechodu jsou od sebe oddělovány elektrickým polem vzniklým mezi vázanými prostorovými náboji. Díry jsou polem urychlovány v jeho směru, elektrony ve směru opačném, strana typu P se tedy nabíjí kladně a strana typu N záporně. Tím dojde ke snížení potenciálové bariéry U_D a vznikne fotovoltaické napětí U_P (Obr. 8B). To bývá u klasických křemíkových článků kolem 0,6 V. Pokud dále zvyšujeme intenzitu osvětlení PV článku, fotovoltaické napětí už

se dále nezvyšuje. Pokud článek zapojíme do elektrického obvodu, začne protékat stejnosměrný elektrický proud a PV článek se stává zdrojem elektrické energie. Krystalické křemíkové PV články jsou citlivé na fotony viditelného a blízkého infračerveného záření o $\lambda \leq 1100$ nm a ve tmě se chovají jako diody. [2]



Obr. 8 Fotovoltaická přeměna energie [2]

3 Fotovoltaické panely

3.1 Konstrukce a výroba

V současné době dosahují největšího rozšíření fotovoltaické články na bázi krystalického křemíku (monokrystalické, polykrystalické a amorfni), a to zejména kvůli jeho mnoha výhodám a dostatečnému množství. V zemské kůře je dokonce druhým nejrozšířenějším prvkem, proto je snadno dostupný a tudíž poměrně levný. Podstatnou výhodou je, že se jedná o materiál, který je z hlediska polovodičů velmi dobře prozkoumán. V přírodě se vyskytuje většinou jako oxid křemičitý SiO_2 , který známe jako minerál křemen. Tato forma křemíku je velice výhodná, neboť je mechanicky odolná, pevná a chemicky stabilní. A právě z křemene, přesněji řečeno z křemenného písku, se vyrábí většina našich fotovoltaických panelů. Nejprve je však nutné z písku získat surový křemík o vysoké čistotě. [2]

3.1.1 Úprava křemíku

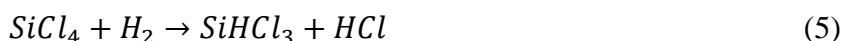
Surový křemík se vyrábí z písku v obloukových pecích. Zde dochází k redukci uhlíkem, celý proces lze vyjádřit chemickou rovnicí:



Do obloukové pece je kontinuálně vhazován křemenný písek s koksem. V peci směrem dolů stoupá teplota a v dolní zóně dosahuje až 2 000 °C. Při této teplotě se zde hromadí roztavený křemík, který je postupně pravidelně odléván. Získaný surový křemík hutní kvality o čistotě až 99 % není dostatečně čistý, proto je nutné ho dále vyčistit od nečistot (hlavní příměsi jsou železo, hliník a uhlík) a vytvořit finální polotovary pomocí několika technologií. Například se jedná o převod surového křemíku na kapalnou fázi a její následnou destilaci. Tímto způsobem se dosahuje až tzv. čistoty ppb (nečistoty 10^{-9}), která je nutná při použití v integrovaných obvodech. V PV článcích je požadována tzv. čistota ppm (nečistoty 10^{-6}), které je možné dosáhnout užitím technologie s chlórovým cyklem. Nejprve dochází k převodu křemíku na trichlórsilan, což znázorňují následující dvě rovnice [8]:



Následně destilací trichlórsilanu vodíkem dojde k opětovnému vyredukování čistého křemíku. To schematicky znázorňují následující rovnice:



Výše popsaná chlórová výrobní metoda není příliš šetrná k životnímu prostředí, neboť během procesu se spotřebovává velké množství energie a jsou velké nároky na ochranu životního prostředí. Proto probíhají pokusy výroby čistého křemíku jinými postupy a v budoucnu se možná dočkáme jejich aplikace i v průmyslové výrobě. [8]

Po vyčištění surového křemíku se z hrudek čistého křemíku vytvoří polykrystalické nebo monokrystalické ingoty (Obr. 9).



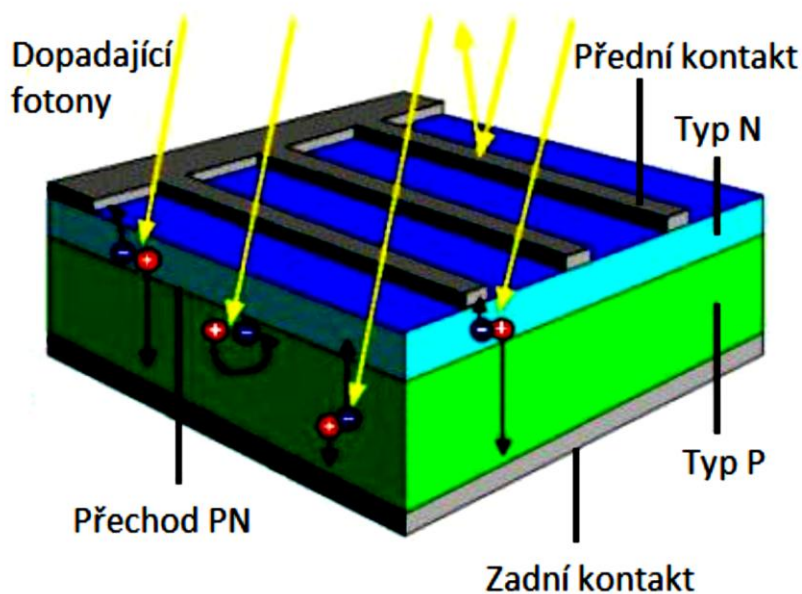
Obr. 9 Křemíkový ingot [14]

Jednodušší postup je využíván u výroby polykrystalických ingotů, kde se materiál roztaví a nalije do forem. V nich se nechává chladnout. Toto chladnutí musí být pozvolné a je nutné ho řídit, protože jedině tak vytvoříme velká zrna, ve kterých je minimum krystalových poruch (dislokace, pnutí, apod.). Ty totiž představují potenciálovou bariéru pro pohybující se elektrony a tím zhoršují polovodičové vlastnosti materiálu. [8]

U výroby monokrystalických ingotů se využívá tzv. Czochralskiho metody, kdy se do taveniny o teplotě asi 1 400 °C ponoří malý monokrystal, který tvoří jakýsi krystalový zárodek. Pak se tento monokrystal začne velmi pomalu z taveniny vytahovat a nechá se otáčet kolem osy. Tím se na něj nabalí roztavený křemík a vznikne monokrystalický ingot, schéma postupu je znázorněno v (Příloha 2). Tento postup je prováděn za sníženého tlaku v inertní atmosféře. [8]

Pak už zbývá pouze rozřezat ingot příčně na destičky o tloušťce asi 100 μm (Příloha 3). Ty se poté přeleští, aby se odstranily nerovnosti vzniklé řezem. Tyto destičky jsou pak základem PV článků. [8]

3.1.2 PV články

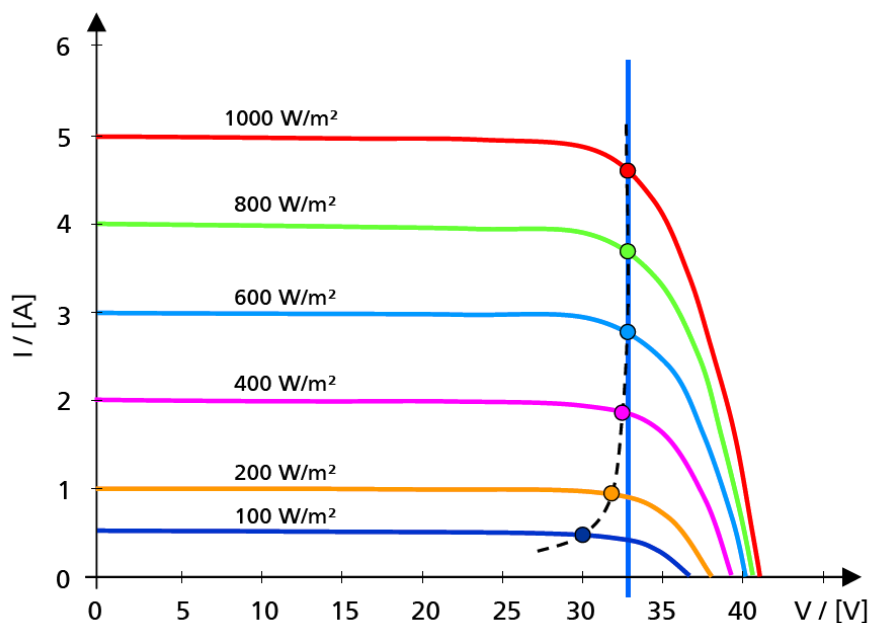


Obr. 10 Fotovoltaický článek [14]

Fotovoltaický PV článek je v podstatě velkoplošná polovodičová dioda, jejíž PN přechod je orientován kolmo k čelní ploše článku. Schéma běžného PV článku je vyobrazeno na (Obr. 10). Na přední stranu se obvykle nanáší antireflexní vrstva, aby bylo využito maximum dopadajícího záření. Pokud na článek dopadne záření, způsobí v něm vnitřní fotoelektrický jev a dojde k fotovoltické přeměně energie. Jak je vidět z obrázku, přední kontakt je většinou proveden ve tvaru mřížky či hřebínku, zatímco zadní je celoplošný. To proto, aby vpředu zaujímal co nejmenší část článku a světlo mohlo pronikat přes jeho maximální plochu. Tloušťka článků bývá asi 0,2 mm. [2]

Takovýto článek je sice funkční, ale měl by nízkou účinnost, a proto se provádí četná konstrukční zdokonalení pro navýšení účinnosti. Mezi tato vylepšení patří antireflexní vrstva na přední straně, která minimalizuje odraz, aby co nejvíce fotonů proniklo dovnitř k PN přechodu. Fotony, které projdou, ale neúčastní se fotovoltické přeměny, se odrazí od zadní elektrody. Vpředu však nemohou vystoupit z článku a totálním odrazem se vrací zpět do oblasti PN přechodu. Tím je navýšena pravděpodobnost fotovoltické přeměny. Dalším zdokonalením jsou tzv. oboustranné PV články. Ty mají na zadní straně stejné provedení jako na straně přední a světlo může tedy dopadat z obou stran, i když pro fotony dopadající na zadní stranu je účinnost přeměny menší. [2]

Na (Obr. 11) jsou uvedeny voltampérové charakteristiky osvětleného PV článku pro různé intenzity osvětlení.



Obr. 11 V-A charakteristiky osvětleného článku [14]

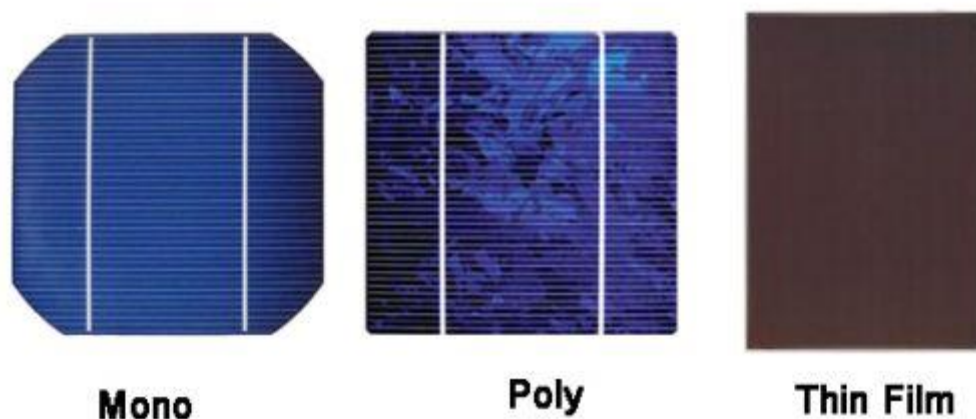
PV články se vyrábí v mnoha provedeních a dají se rozdělit podle svých vlastností a funkce do čtyř skupin [5]:

- články 1. generace – křemíkové monokrystalické
- články 2. generace – tenkovrstvé polykrystalické a amorfní
- články 3. generace – nevyužívají PN přechodu
- články 4. generace – tandemové články

Monokrystalické články

Monokrystalické články jsou vyráběny výše popsanou Czochralskiho metodou. Obsahují jen velmi málo příměsí a díky tomu také dosahují nejvyšší účinnosti až 25 %, u sériové výroby kolem 20 %. Jejich nevýhodou jsou však vysoké nároky na spotřebu polovodičových materiálů. V případě křemíku se nejedná o až tak závažný problém, neboť jak již bylo řečeno, jedná se o hojně rozšířený prvek a jediná nevýhoda u něj může být pouze z hlediska spotřeby

energie na výrobu. Dotující prvky (gallium, germanium,...) by se v budoucnu mohly stát nedostatkovými při masivním rozšíření fotovoltaiky. [5]



Obr. 12 Monokrystalický, polykrystalický a tenkovrstvý článek [14]

Polykrystalické články

O něco horší účinnost než monokrystalické články mají články polykrystalické (kolem 16 %). Je to dáno zejména tím, že materiál sestává z mnoha zrn a hranice mezi těmito zrny působí jako potenciálová bariéra pro elektrony. Výhodou takových článků je jejich nižší cena v důsledku levnější výroby. Vyrábí se odléváním křemíku do forem, jak bylo popsáno dříve. [5]

Tenkovrstvé články

Tyto články, spadající stejně jako předchozí polykrystalické do skupiny druhé generace, byly reakcí na nevýhody generace první. Cílem bylo snížení množství potřebných materiálů i energie potřebné k jejich vytvoření. Kromě křemíku mohou být na bázi jiných prvků, např. CuInSe, CdTe nebo na bázi heteropřechodů mezi různými druhy polovodičů. Kromě nich jsou v dnešní době vyvíjeny i další druhy – články se světlocitnými barvami a články s organickými polymery. Tenkovrstvé články jsou sice poměrně levné, naproti tomu je zde ovšem problém s účinností. Účinnost takovýchto komerčně dostupných článku je totiž výrazně nižší, do 10 %. Výroba spočívá v nanášení článků na tabule skla nebo na plastové či kovové fólie. Spotřeba polovodičových materiálů může být až o dva řády menší než je tomu

u krystalických článků, avšak i zde se některé prvky mohou stát nedostatkovými (indium, tellur,...). Navíc degradace tenkovrstvých článků je rychlejší než je tomu u článků krystalických. [5]

Amorfní články

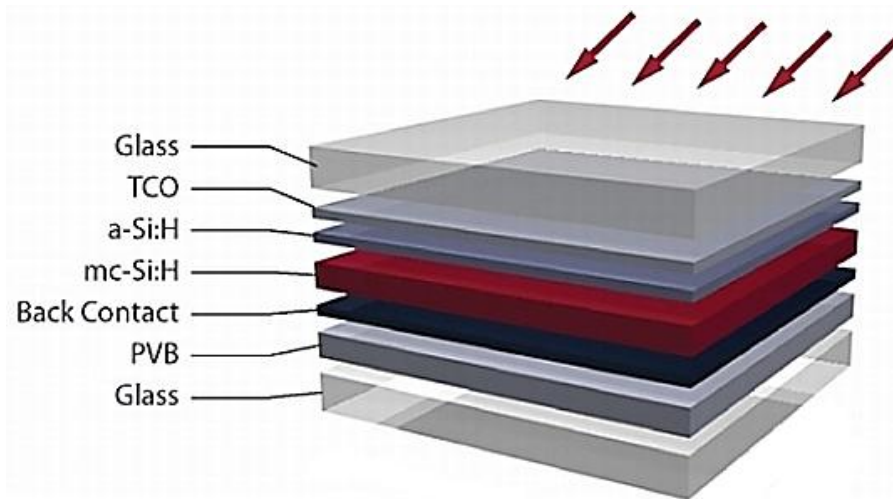
Z důvodu větší úspory křemíku patří amorfní články k velmi perspektivní alternativě. Mají sice nízkou účinnost (kolem 6 %), která je ale převážena několika výhodami. K těm největším patří výrazně menší spotřeba polovodičových materiálů, nižší spotřeba výrobní energie a s tím spojené výrobní náklady. Dále mají tyto články vyšší účinnost při vyšších teplotách i nižší intenzitě slunečního záření. [5]



Obr. 13 Amorfní PV modul [14]

Vícevrstvé články

Vyšší účinnosti článku je možné dosáhnout použitím tzv. tandemového uspořádání, kdy je článek složen z více vrstev „subčlánků“ a každá z těchto vrstev využívá pouze určitou oblast spektra slunečního záření a zbylé složky propouští do nižších vrstev. Příkladem takového článku je tenkovrstvý křemíkový tandemový článek (Obr. 14). Jedna vrstva je tvořena amorfním křemíkem, druhá mikrokrystalickým. Protože amorfní křemík má větší šířku zakázaného pásu než krystalický, jedná se o heteropřechod. Účinnost takového tandemového článku však není nijak závratná, dnes se blíží 10 %. [5]



Obr. 14 Křemíkový tandemový článek [14]

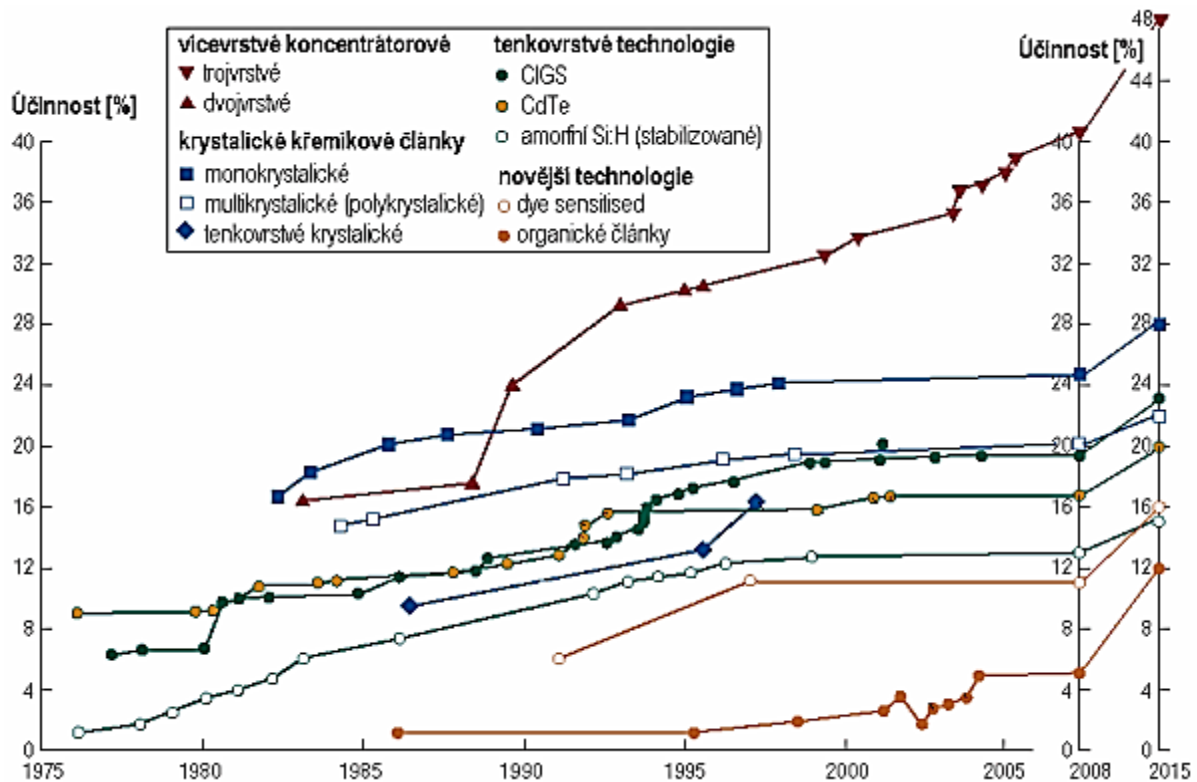
Nejnovější koncepty

V současné době probíhá výzkum v oblasti nových konceptů, které mohou v budoucnu zajistit výrazné zvýšení účinnosti. Pro přehled je uvedeno jen několik z nich [15]:

- nanostruktury – „supermřížky“, které umožňují řídit šířku zakázaného pásu
- luminofory – konvertují široké spektrum slunečního záření do užší oblasti tak, aby lépe vyhovovala šířce zakázaného pásu příslušného polovodiče
- termo-fotovoltaické články – absorbér vyzařuje záření úzkém pásmu, které odpovídá šířce zakázaného pásu použitého článku

3.1.3 Vývoj účinnosti

Účinnost vůbec prvních fotovoltaických článků nedosahovala ani 1 % a jejich využití v elektronice bylo nemyslitelné. Tyto články byly vyrobeny na bázi selenu. Výrazného pokroku bylo dosaženo roku 1954, kdy byl vyroben první prakticky použitelný solární článek. Jeho účinnost byla kolem 6 % a na svou dobu to byl velmi významný objev. Na (Obr. 15) jsou uvedeny účinnosti jednotlivých typů solárních článků tak, jak jich bylo dosaženo v laboratořích. [14]

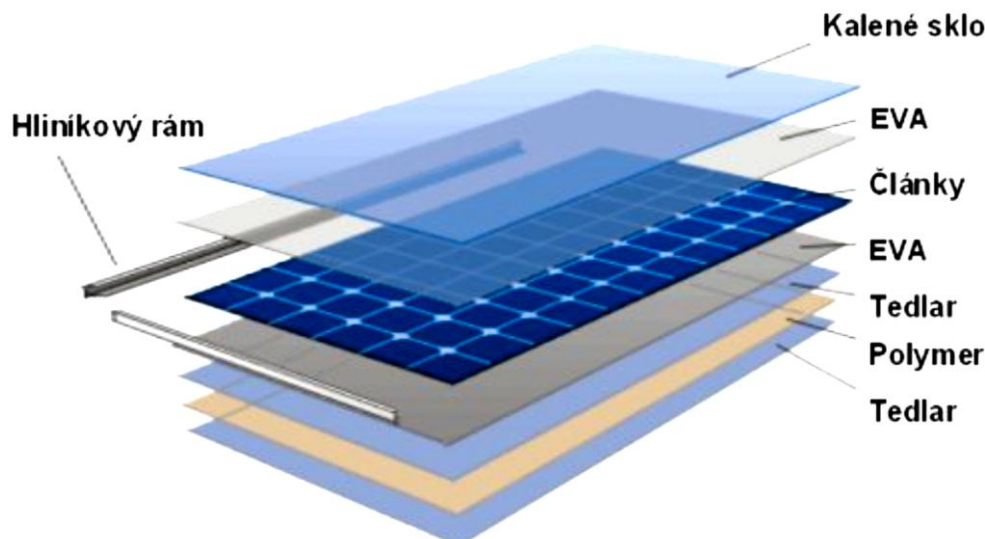


Obr. 15 Nejlepší účinnosti experimentálních článků, cíle do roku 2015 [14]

Účinnost PV článků na bázi monokrystalického křemíku je kolem 20 %, v laboratořích bylo dosaženo účinnosti až 30 %. PV články na bázi jiných polovodičů (GaAs, InP) je až kolem 25 %, ale cena takovýchto článků je velmi vysoká, proto v běžném životě nemají velké využití. Jedním z mála oborů, kde jsou bohatě rozšířeny, jsou kosmické aplikace, kde cena není hlavním faktorem. Tenkovrstvé články např. na bázi CdTe nebo CuInSe jsou sice levné, ale mají nízkou účinnost kolem 10 %, a proto se v praxi příliš nepoužívají. [14]

3.1.4 Fotovoltaické panely

Jednotlivé PV články se skládají do panelů v sérioparalelní kombinaci, aby dávaly požadované napětí a výkon. Maximální možný výkon pak závisí hlavně na celkové ploše panelů. To, jak jsou fotovoltaické panely konstruovány, je znázorněno na (Obr. 16). [2]



Obr. 16 Řez fotovoltaickým panelem [14]

Jak vidíme z obrázku, na přední stranu panelu se dává kalené sklo, které je odolné vůči nárazu a meteorologickým vlivům, jako je déšť, kroupy, apod. Pod vrstvu skla se nanáší EVA fólie (chemicky etylvynilacetát), pod kterou se spojují jednotlivé PV články. Pod články se znovu vloží EVA fólie a jako strana se použije většinou laminátová kompozice tedlar-polymer-tedlar (chemicky se jedná o látky polyvynilidenfluorid a polyetyléntereftalát). Po složení jednotlivých částí se z mezer mezi nimi vysaje vzduch a celá soustava zahřeje nad teplotu tání EVA fólie. Ta se vlivem zvýšené teploty rozteče a zalije PV články mezi sklem a laminátovou stěnou. Na závěr se panely zatmelí a zarámují do hliníkových profilů. Vznikne tak hotový PV panel (Příloha 4, 5), jehož životnost se pohybuje mezi 20 a 30 lety. [2, 8]

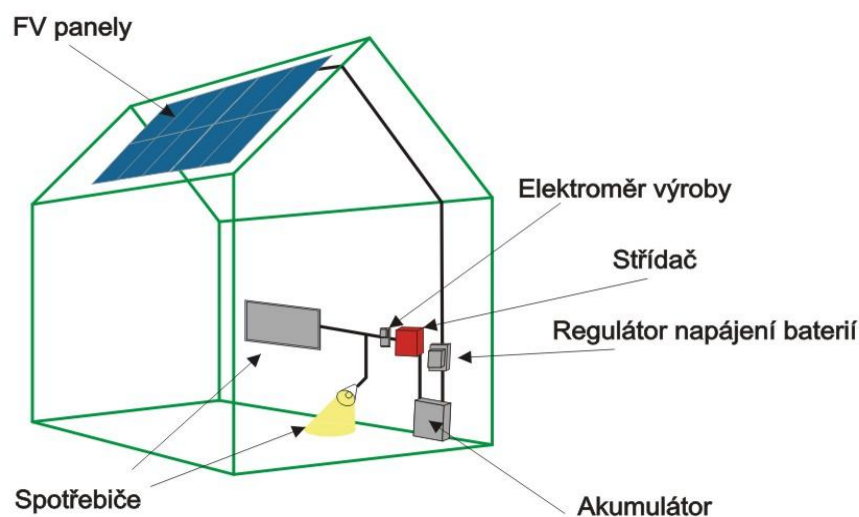
Pro zvýšení účinnosti se stále více užívá oboustranných fotovoltaických panelů, které se skládají z oboustranných PV článků. Jsou výhodnější než panely standardní, mají vyšší účinnost, ale rozdíl v ceně je malý, někdy téměř žádný. Ani rozdíl ve výrobě není příliš podstatný, na zadní stranu se pouze nanese průhledný laminát a účinnost fotovoltaické přeměny při dopadu záření zezadu je tak jen o málo nižší než zepředu. [2]

V posledních zhruba 10 letech dochází k rozšiřování pozoruhodného typu PV panelů, které jsou nazývány flexibilní (Příloha 6). Jak napovídá jejich název, jedná se o panely, které je možné srolovat a přenést z místa na místo. Obsahují monokrystalické křemíkové kuličky o průměru zhruba 0,5 mm, které mají na povrchu polovodič typu N a uvnitř typ P. Obsahují

tedy sférický PN přechod. V každé kuličce je část typu N odleptána, aby do oblasti typu P mohl být zaveden kontakt, tvořící jednu elektrodu. Druhou elektrodu tvoří hliníková fólie, do které jsou kuličky umístěny. Výhodou těchto flexibilních PV panelů je nízká hmotnost, skladnost a jednoduchá manipulace. [2]

3.2 Fotovoltaické systémy

Fotovoltaické systémy a elektrárny, které využívají solárních panelů, mohou být konstruovány jako ostrovní, kombinované nebo síťové. Ostrovní PV systémy (obr. 17) nejsou napojeny na rozvodnou síť a zásobují jednotlivé objekty, např. rodinné domy. Spotřebovat můžeme pak tedy jedině takové množství energie, které tento systém vyrobí. Další část práce bude zaměřena právě na tyto systémy. Jinak je tomu u síťových PV systémů, které na rozdíl od ostrovních jsou napojeny na veřejnou rozvodnou síť a pokud jejich vlastní výkon klesne, mohou energii z této sítě odebírat, nebo naopak. Společným jevem těchto velkých PV systémů je skutečnost, že pro jejich velikost a potřebné množství je někdy velmi obtížné začlenit je do přírody či zástavby. Při vytváření takových solárních konstrukcí je tak potřeba vedle hlediska spojeného s fungováním systému uvážit i hledisko estetické. [2]



Obr. 17 Schéma fotovoltického systému v ostrovním režimu [14]

3.2.1 Fotovoltaické systémy s pevným stojanem

Aby byly solární panely maximálně využity, tedy aby bylo dosaženo co největší účinnosti, musí být vhodně orientovány a musí mít optimální sklon. Pokud je možné orientaci zvolit,

umistujeme panely zpravidla tak, aby byly natočeny svou přední stranou k jihu. Sklon volíme takový, aby v poledne dopadalo sluneční záření kolmo na plochu panelů, tedy požadujeme nulový úhel dopadu. V České Republice je optimální pevný úhel sklonu stojanu 30 až 35°. Pokud panely nepřipevňujeme k neprůhledné stěně, je možné navýšit výkon použitím oboustranných PV panelů, které poskytují v zimě až o 25 % více energie, než panely standardní. Jejich přínosem je to, že využijí i část záření odraženého od budovy či terénu. Účinnost fotovoltaické přeměny zde pak není vždy stejná, ale závisí na druhu odrazného materiálu. Příkladem materiálu s dobrou odrazivostí může být sníh nebo beton, naopak hůře odráží tráva a hlína. Odrazivost materiálu v místě instalace je někdy důvodem, proč nemusí být vždy optimální poloha panelů kolmo ke směru záření. Zvláště v době, kdy je Slunce nízko nad obzorem, se může vyplatit poloha PV panelů postavených blíže ke svislé ose.

Protože sluneční aktivita není stále stejná, ale mění se s ročním obdobím, je pro maximální účinnost instalovaného solárního systému vhodná změna sklonu panelů alespoň dvakrát za rok (zimní a letní provoz). V tomto případě je nejvýhodnější úhel sklonu stojanu asi 45° v zimě a 35° v létě a změna sklonu se provádí zpravidla v době rovnodennosti. Během léta dodávají solární systémy asi dvakrát více energie oproti létu, nejméně pak v prosinci. Mnoho zařízení však vyžaduje trvalý příkon během celého roku, a pokud tedy není možnost měnit sklon, optimalizuje se celý systém na provoz v zimě, kdy Slunce svítí nejméně.

Orientace oboustranných PV panelů ovlivňuje jejich produkci energie mnohem méně, což je rozdíl oproti standardním panelům. Toho je úspěšně využíváno v aplikacích, kde je předem daná orientace panelů, takže je nemůžeme umístit libovolně. Při použití oboustranných panelů nám to však nevadí, neboť množství produkované energie se u nich příliš nesníží ani tehdy, pokud je orientujeme přední stranou k severu. Těchto aplikací stále přibývá, a proto je potřeba oboustranných panelů stále vyšší. V (Příloha 7) je pak znázorněno srovnání standardních a oboustranných solárních panelů s pevným a pohyblivým stojanem. [2, 8]

3.2.2 Fotovoltaické systémy s pohyblivým stojanem

Fotovoltaické systémy s pohyblivým stojanem nabývají stále větší důležitosti než panely pevné, protože jsou schopny vyrobit větší množství energie, která tím pádem může být levnější. Při srovnání systému s pevným a pohyblivým stojanem se jeví jednoznačně výhodněji druhá možnost s pohyblivým stojanem. Ta totiž dokáže díky otáčení za Sluncem absorbovat během dne více energie, asi $W = 13,2$ kWh oproti panelu s pevným stojanem,

na který může dopadat energie zhruba $W = 8,41$ kWh. Výše uvedené tvrzení platí při zanedbání vlivu atmosféry. Na Zemi však Slunce svítí přes silnou vrstvu atmosféry, zejména ráno a večer, tedy intenzita záření dopadajícího kolmo na plochu záření je nižší a navýšení množství vyrobené energie při použití pohyblivých panelů nepřesahuje 40 %. Na území České republiky je to dokonce pouze 30 %. Dalším problémem je maximální úhel natočení systému. Jak bylo již řečeno, ráno a večer září Slunce přes vrstvu atmosféry a není tedy nutné sledovat jeho pohyb v plném rozsahu $\pm 90^\circ$, ale postačí otáčení v intervalu $\pm 60^\circ$, neboť ve větším rozmezí se navýšení energie už neprojeví. [2]



Obr. 18 PV systém TRAXLE s hřebenovým koncentrátorem [14]

Sledovače Slunce pracují na mnoha principech, některé jsou efektivní, jiné se v praxi ukázaly jako méně výhodné. Mezi nejpoužívanější patří:

- *Sledovače na principu hodinových strojků* – velice přesné, fungují i za tmy, ovšem jejich konstrukce v případě řízení počítačem může být složitá a drahá, s čímž souvisí i jejich vyšší poruchovost.
- *Sledovače na principu vypařování a kondenzace freonu* – konstrukce je velmi jednoduchá, tedy i levná, avšak přesnost sledování Slunce je nejhorší.

- *Sledovače na principu jehlanu z PV článků* - jsou založeny na porovnávání signálů z malých PV článků, výhodou je vysoká přesnost, nevýhodou složitost a vysoká cena.
- *Sledovače na principu pružin z paměťových slitin* – princip tvarové paměti některých slitin, například NiTi.
- *Sledovače typu TRAXLETM* – odstraňují nedostatky všech předchozích typů sledovačů, jsou přesné, automatické, dnes nejefektivnější (Obr. 18) [2].

3.3 Navýšení množství vyrobené energie

U fotovoltaických panelů se používá četných konstrukčních vylepšení pro zvýšení efektivity výroby energie. Vedle použití oboustranných panelů a sledovačů Slunce jsou další výhodou *koncentrátory* záření. Tyto konstrukce využívají koncentrace slunečního záření pomocí zrcadel a jsou v několika provedeních. Rovinných zrcadel využívají koncentrátory žlabové a hřebenové, vysoce efektivními jsou pak koncentrátory s parabolickými zrcadly a Fresnelovými čočkami. Nevýhodou ovšem je velká složitost systémů a tedy vysoká cena a nižší spolehlivost. [2]

3.4 Využití solárních systémů

Fotovoltaické panely mají v dnešní době rozmanité využití jak v ostrovním režimu, tak i v síťových systémech. Pole panelů se umísťuje do terénu (Příloha 5 a 8), nebo, pokud je panelů menší množství, začleňují se přímo do zástavby na střechy domů (obr. 19), zdi staveb, aj. Výhodné je i použití mobilních PV systémů například tam, kde není možnost připojení k rozvodné síti.



Obr. 19 Umístění PV panelů na střeše domu [14]

Efektivní aplikací ostrovních systémů je jejich užití k osvětlování a ohřevu vody na chalupách a samotách, kde není zavedena elektřina a rozvodná síť je vzdálená. Nejrozšířenější jsou ovšem solární čerpací systémy, které mohou čerpat pitnou či užitkovou vodu. V případě použití pohyblivého stojanu se jedná o neefektivnější využití fotovoltaických panelů. Dále je možno sluneční energii využívat v družicích a kosmických lodích blízko Slunci i k výrobě vodíku elektrolýzou vody. Perspektivní může být také aplikace na sterilizaci vody tvrdým UV zářením hlavně v afrických zemích, kde je velký problém s pitnou vodou. Hlubou budoucnosti jsou zatím solární automobily (Obr. 20) a kosmické elektrárny.

V oblasti solární energie stále probíhá vědecký výzkum a v blízké době možná dojde k novým objevům ať už v použití PV panelů nebo v jejich konstrukci či výrobě. [2, 8, 15]



Obr. 20 Solární automobil od firmy HONDA [14]

4 Solární kolektory

Další možností, jak využít sluneční záření, je tzv. fototermální přeměna. Jde o případ, kdy se dopadem fotonů na povrch tuhých látek a kapalin mění jejich energie v teplo (pohyb molekul). Je-li tepelná energie odváděna z povrchu pomocí teplotnosného média na jiné místo, pak se jedná o aktivní systém. Jako médium pro přenos tepla se užívá vody, nemrznoucích směsí nebo vzduchu a použití těchto látek určuje druh slunečního kolektoru. Pak mluvíme o kolektorech kapalinových nebo vzduchových. Jestliže je využívána tepelná energie v místě její výroby a není-li tato energie dále transportována, potom jde o pasivní systém. [1]

4.1 Aktivní solární systémy

V rámci předložené práce se uvažuje využití aktivních slunečních systémů, jejichž primární okruh je složen z následujících částí [1]:

- kolektor
- zásobník tepla a výměníky
- oběhové čerpadlo nebo ventilátor
- spojovací potrubí
- zabezpečovací zařízení
- zařízení pro automatickou regulaci



Obr. 21 Solární kolektor na střeše domu [14]

4.2 Princip a typy

Solární kolektory se běžně používají pro ohřev teplé užitkové vody (TUV), k přitápění nebo k ohřevu vody v bazénu. Fyzikálním principem jejich funkce je tzv. „skleníkový efekt“. Na kolektor dopadá sluneční záření, které je zde pohlcováno a přeměňováno na teplo. Toto teplo je pak odváděno teplotnosnou látkou na jiné místo. Podle tvaru, konstrukce a typu transportní látky je můžeme rozdělit do několika skupin [3]:

- *Vzduchové kolektory* – jako teplotnosná látka je používán vzduch
- *Kapalinové kolektory* – teplotnosným médiem je kapalina
- *Soustředující kolektory*

Dále je možné dělit tyto systémy na *nízkoteplotní* (nejvyšší teplota teplotnosné kapaliny většinou 70 °C) a *vysokoteplotní*, využívající kromě absorberu i zrcadla. Dle celkové konstrukce mohou být aktivní sluneční systémy monovalentní (pro sezónní ohřev teplé užitkové vody), bivalentní nebo trivalentní (celoroční provoz).

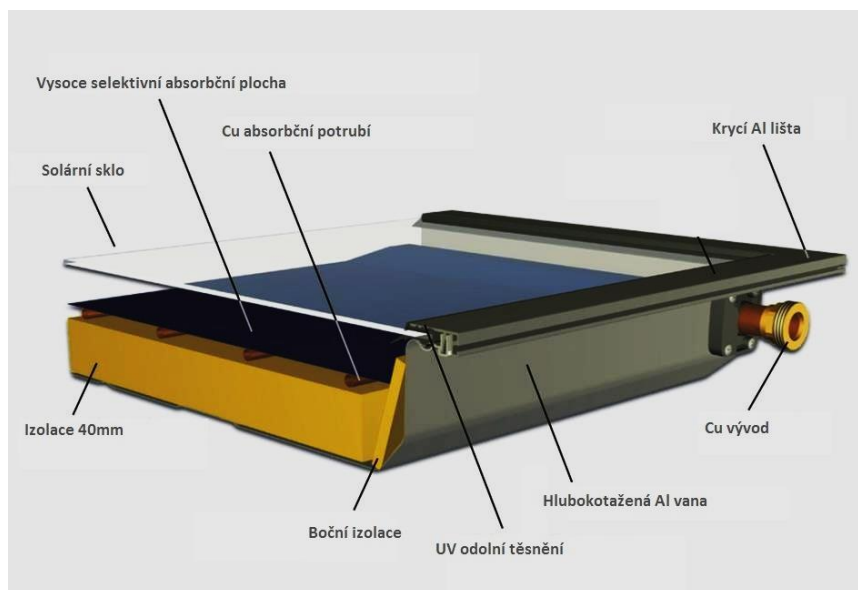
Energie v podobě slunečního záření je zachycována absorpční plochou kolektoru. Dále je ve formě tepla v teplotnosné látce odvedena ke spotřebičům, nebo do akumulátoru tepla. Zde je uchovávána pro dobu kdy se výrazně omezí přívod energie (v noci, při hustých mracích, atd.). Teplotnosným médiem v okruhu kolektorů může být kapalina – voda, nemrznoucí směs nebo syntetická kapalina a takovéto systémy mají pak malý průměr potrubí v okruhu kolektorů. Nebo může být teplotnosnou látkou vzduch a zde má pak rozváděcí potrubí velký průřez. Nejčastěji je teplo akumulováno ve vodě, která je zároveň užívána jako teplá užitková voda, nebo proudí v okruhu spotřebičů, kde odevzdává teplo. V některých případech je též možné akumulovat teplo v tuhé hmotě (u vzduchových kolektorů), nebo na principu latentního tepla při skupenské přeměně. Existují také systémy bez akumulace tepla.

Okruh kolektorů tvoří primární okruh systému a skládá se ze slunečních kolektorů, zásobníku tepla a potrubního rozvodu. Kolektorový okruh může být buď uzavřený s tepelným výměníkem, kde se teplotnosná kapalina nesmíchává s vodou v zásobníku, nebo otevřený bez výměníku, kdy se voda v zásobníku smísí s vodou v kolektorech.

V jednoduchém solárním systému je jediným zdrojem tepla sluneční kolektor, tudíž je ho používáno tehdy, pokud stačí sezónní odběr tepla v době dostatečného slunečního svitu. Pokud chceme spotřebovávat teplo i během zimního období, pak je nutné solární kolektory doplnit jedním nebo dvěma zdroji tepla. Tím lze vytvořit *bivalentní* systém, který obsahuje buď kotel nebo tepelné čerpadlo. *Trivalentní* systém je doplněn jak tepelným čerpadlem, které se využívá při teplotách do -5 °C, tak i kotlem, který se uplatňuje při teplotách nižších, než -5 °C. [1, 4]

4.3 Konstrukce

Jako příklad je zde uvedena konstrukce plochého kapalinového kolektoru, který je dnes nejběžnější a nejpoužívanější (Obr. 22). Základními prvky jsou absorber, izolace, rám (skříň) a krycí sklo.

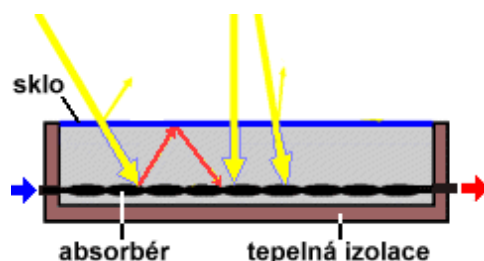


Obr. 22 Řez plochým kapalinovým kolektorem [14]

Jedním z nejdůležitějších prvků v konstrukci kolektoru je absorbér, vyrobený z měděného nebo hliníkového plechu a na své zadní straně má nalisovány nebo připájeny měděné nebo ocelové trubky. Protože požadujeme, aby absorbér pohlcovал co nejvíce slunečního záření, je jeho povrch různě upraven. U levnějších kolektorů, které jsou využívány výhradně v létě, stačí nátěr matnou černou barvou. Kvalitnější druhy mají na povrchu *selektivní vrstvy*, které pohlcují až 96 % záření a přitom minimálně vyzařují. Mají tedy vysokou absorptivitu α (0,86 – 0,96) pro krátkovlnné sluneční záření a zároveň velmi malou emisní schopnost ε (0,08 – 0,12) pro dlouhovlnné záření. Cílem při konstruování absorbérů je vytvoření vrstvy s co největším selektivním poměrem α/ε . Materiálem vrstvy může být nanesení tenké vrstvičky černého kovu (nikl, chrom) na lesklý kovový podklad (leštěný hliník), nebo tenkou vrstvou oxidu na povrchu kovu s nízkou emisní a absorpční schopností. Tyto vrstvy umožňují využití jak přímého, tak i rozptýleného slunečního světla a využívají se u kolektorů pro celoroční provoz. Vytvořené teplo je pak odváděno vodou nebo nemrznoucí kapalinou proudící v měděných trubicích. Další variantou úpravy povrchu absorbérů je *neselektivní nátěr*. Ten má vysokou absorpční i emisní schopnost v celém spektru slunečního záření a způsobuje tedy zvýšení pohlcovací schopnosti pro krátkovlnné záření, naproti tomu ale i velké ztráty dlouhovlnným sáláním. Je tedy zřejmé, že účinnost absorbérů se selektivní vrstvou je podstatně větší než účinnost kolektorů s neselektivním povrchem.

Celý absorbér je pokryt krycím sklem, které omezuje tepelné ztráty přední stranou kolektoru. Jedná se obvykle o tabulkové bezpečnostní sklo, kterým snadno prochází sluneční světlo dopadající na absorbér, kde se mění v teplo. Odražené dlouhovlnné záření není však sklem

propuštěno ven, čímž uvnitř kolektoru vzniká výše zmíněný skleníkový efekt (Obr. 23), zvyšující teplotu kapaliny proudící v trubkách. U kolektorů pro sezónní ohřev stačí jedna vrstva skla, kolektory pro celoroční provoz by měly mít vrstvy dvě. Je vhodné, aby krycí sklo mělo dlouhou životnost. [1, 6]



Obr. 23 Pohlcování světla kolektorem [14]

Další důležitou součástí kolektorů je tepelná izolace, neboť potřebujeme, aby se teplo z kolektoru neztrácelo. Izolace tak omezuje tepelné ztráty. Musí být odolná vůči teplotám až 200 °C a nesmí přijímat z okolního prostředí vlhkost. Často se používá izolace z minerální vaty nebo z polyuretanu.

Celá konstrukce tvoří celek, který může být zhotoven vcelku a potom jde o kolektor skříňového typu, nebo se sestavuje z jednotlivých prvků a potom mluvíme o kolektoru rámového typu. V případě skříňového typu jsou všechny prvky zapouzdřeny do skříně, nejčastěji plechové, může však být i plastová nebo dřevěná. Tento druh kolektoru má tu výhodu, že celá konstrukce je dostatečně robustní a odolná. Nevýhodou je možnost kondenzace vodní páry uvnitř kolektoru, neboť ta nemá kudy unikat. To může snižovat celkovou účinnost systému nebo způsobit korozi. U rámového typu je výhodou nižší cena a skutečnost, že vodní páry mohou snáze unikat skrz zadní stěnu. Jednotlivé části jsou totiž pouze orámovány kolem dokola, aniž by byla přikryta zadní stěna.

Hotové kolektory se instalují v libovolné poloze na střeche nebo i volně na nosnou konstrukci. V případě připevnění na střeche se umísťují nad střešní krytinu a ukotvují se do trámů konstrukce střechy. Připojení kolektoru prochází větracími otvory a vede ke sběrnému potrubí pod střechem.

Aby bylo množství zachyceného záření co největší, sestavují se jednotlivé kolektory do tzv. kolektorových polí. Mohou být řazeny buď paralelně či sériově. Rovněž mohou být všechny kolektory umístěny v jedné rovině (šikmá střecha), nebo v řadách za sebou (v terénu nebo

na vodorovné střeše). Ploché kapalinové kolektory jsou dnes vyráběny v mnoha rozmanitých druzích a provedeních. [1, 6]

4.4 Teplonosné kapaliny

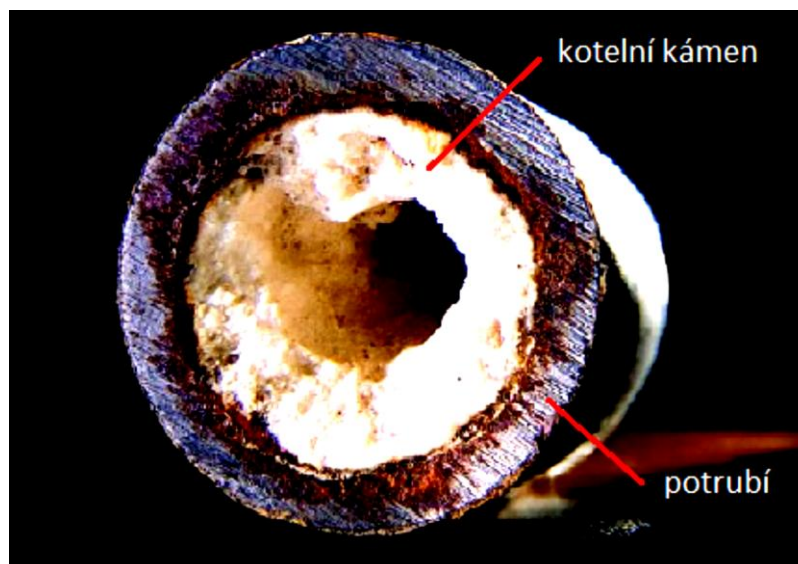
Při návrhu systému se slunečními kolektory je také velmi důležité správně vybrat druh teplonosné kapaliny. Je totiž rozdíl, jestli budeme kolektory používat pouze pro sezónní nebo celoroční provoz a dle toho musíme uvážit, čím náš systém naplníme.

Nejpoužívanější teplonosným médiem je u nízkoteplotních systémů čistá voda. Má totiž celou řadu výhod: je dobře dostupná a tudíž i levná, je chemicky stálá a hygienicky nezávadná, má velkou tepelnou vodivost a nízkou viskozitu. Její největší předností je pak velká měrná tepelná kapacita $c = 4\,187 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Nevýhodou může být riziko přehřátí nad provozní teplotu během teplých letních měsíců, potom je nutné systém chránit zabezpečovacím zařízením.

Voda se jako teplonosná kapalina používá jen u systémů s letním provozem, neboť v zimě by voda v kolektorech zmrzla a došlo by k nenávratnému poškození. Z toho důvodu se kolektory odstavují nejpozději začátkem listopadu před příchodem zimních mrazů a znovu se uvedou do provozu zpravidla začátkem dubna. Během odstávky se voda z kolektorů vypustí. Při návrhu a výpočtu systému je nutno počítat se změnami fyzikálních vlastností s teplotou. Níže je uvedeno, jak se mění vlastnosti vody při teplotách 20 °C až 100 °C. [1]

- Hustota se zmenší o 1 %
- Měrná tepelná kapacita se zvětší o 1 %
- Měrná tepelná vodivost se zvětší o 14 %
- Kinematická viskozita se zmenší o 70 %
- Objemová roztažnost se zvětší o 260 %

Důležitým parametrem vody je také chemická čistota. Technická voda totiž obsahuje nejrůznější soli (chloridy, karbonáty, sulfáty) způsobující tvrdost vody. Pokud kolektory pracují v létě při vyšších teplotách, může dojít k vylučování těchto solí a jejich usazování na stěnách potrubí – vzniká tzv. kotelní kámen. Jeho vrstva snižuje průtok vody a zhoršuje prostupování tepla potrubím. Následně může dojít k uvolnění kamene a jeho zanesení do jiných částí okruhu. Pro omezení uvedených potíží nemá tvrdost vody přesahovat 6° něm (německý stupeň tvrdosti). [1]



Obr. 24 Usazený kotelní kámen v potrubí [14]

V souvislosti se solemi obsaženými ve vodě může dojít ještě k dalším problémům. Pokud je zařízení sestaveno z více druhů kovů, mohou uvedené soli způsobit, že se voda začne chovat jako elektrolyt a vznikne elektrolytická (kontaktní) koroze. Na tento jev je nejvíce náchylný hliník a ocel, odolnější je pak například měď. Při konstrukci systému je proto nutné vyhnout se kombinaci dvou a více kovů, zejména dvojici hliník-měď.

Pro zabránění koroze na vnitřku potrubí se přidávají hlavně do měkké vody inhibitory, které korozi zabraňují. Dalším parametrem, který se u vody sleduje, je pH tj. kyselost.

U systémů s celoročním provozem je důležité zajistit, aby voda v zimě nezmrzla. Toho docílíme použitím nemrznoucích směsí, syntetických kapalin s nízkým bodem tuhnutí nebo teplonosných olejů. Nejrozšířenější jsou glykolové nemrznoucí kapaliny, které se smíchávají v určitém poměru s vodou. U nás se používají hlavně nemrznoucí kapaliny Fridex a Friterm. Jedná se kapaliny, které byly původně určeny pro spalovací motory, následně ale našly uplatnění i ve vodních otopných soustavách. Při smíchání s vodou se podle stupně ředění mění teplota bodu varu i tuhnutí. Nevýhodou těchto směsí je jejich jedovatost a proto je nutné zejména u ohřevu TUV zabránit, aby se kapalina z kolektorového okruhu smíchala s vodou v zásobníku. Z toho důvodu se v solárních zařízeních využívá hygienicky nezávadných kapalin – Solarenu a Solaru. [1]

Friterm

Chemicky se jedná o roztok monopropylenu s vodou, do kterého jsou přidány inhibitory koroze. Má žlutohnědou barvu, charakteristicky zapáchá a je slabě zásaditý (pH od 7,2 do 8,2). U nás je výrobcem Spolana Neratovice. Určen je zejména pro topné systémy, nevýhodami jsou vyšší cena a klesající životnost s rostoucí teplotou provozu. Je vhodná jeho výměna zhruba po třech letech provozu. [3]

Fridex

Je to roztok etylenglykolu, obsahuje inhibitory koroze a přísady pro ovlivnění povrchového napětí. Má nažloutlou barvu a výhodou je možnost smíchání s vodou v libovolném poměru. Značnou nevýhodou je jeho jedovatost – dráždí pokožku a je jí vstřebáván, taktéž je jedovatý při požití. Původně je určen pro chlazení motorů v automobilech, tudíž při použití v solárních systémech má kratší životnost, asi dva roky. [3]

Solaren 30

Chemická látka vytvořená směsí vody a 1,2 propandiolu. Opět jsou přidávány inhibitory koroze. Má modrou barvu a byl vyvinut přímo pro použití v solárních systémech s celoročním provozem. Používá se v rozmezí teplot -28 °C až 108 °C. Jeho hlavní výhodou je zdravotní nezávadnost. Životnost této látky v solárních systémech je kolem 6 let, hodnota pH je podobná jako u Fritermu. Platí zákaz jeho vypuštění do vodních toků. [3]

4.5 Kapalinové kolektory

Vakuové trubicové kolektory

Tyto kolektory obsahují jako tepelnou izolaci vakuum mezi dvěma skleněnými trubicemi. Tím jsou téměř úplně eliminovány tepelné ztráty konvekcí, což je jejich velká výhoda. Vakuum uvnitř trubic se ovšem nedá obnovit, což představuje určitou nevýhodu. Nejvyšší účinnosti dosahují při teplotách pracovní kapaliny nad 100 °C. Jedná se tedy o vysokoteplotní kolektory. Další výhodou přímo protékavých trubicových kolektorů je, že mohou být upevněny i ve vodorovné poloze – optimální orientace se dosáhne natočením trubic. [3]



Obr. 25 Vakuový trubkový kolektor [14]

Ploché vakuové kolektory

Jedná se o jeden z nejmodernějších druhů kolektorů, který představuje jakýsi kompromis mezi vakuovými a plochými kolektory. Zachovává výhody trubkových vakuových kolektorů (nízké tepelné ztráty) a přejímá i přednosti plochých zasklených kolektorů (nižší náklady při zachování vysoké účinnosti). Velkou výhodou oproti trubkovým kolektorům je možnost obnovení vakua připojením na vývěvu. Tento typ je tedy velice perspektivní a v budoucnu je očekáváno jeho masové využití. Příklad takového kolektoru je v (Příloha 9).

Ploché kolektory pro celoroční provoz

V současné době jde o nejpoužívanější typ solárních kolektorů zejména pro ohřev TUV, celoroční bazénové vody, či na přitápění. Nevýhodou je jejich nižší účinnost v důsledku větších tepelných ztrát oproti vakuovým plochým kolektorům a také možnost kondenzace vodní páry uvnitř zařízení.

Nezakryté kolektory

Tyto kolektory jsou vhodné pouze pro sezónní ohřev vody. Absorbér není zakryt, tudíž je vystaven vnějším vlivům a systém má tak nižší životnost. Dále kolem absorbéru proudí

vzduch, čímž se zvyšují tepelné ztráty a současně snižuje účinnost. Výhodou je nižší cena. Nezakryté kolektory se nejčastěji používají v malých přenosových sestavách a pro ohřev vody v malých bazénech. [3]

4.6 Vzduchové kolektory

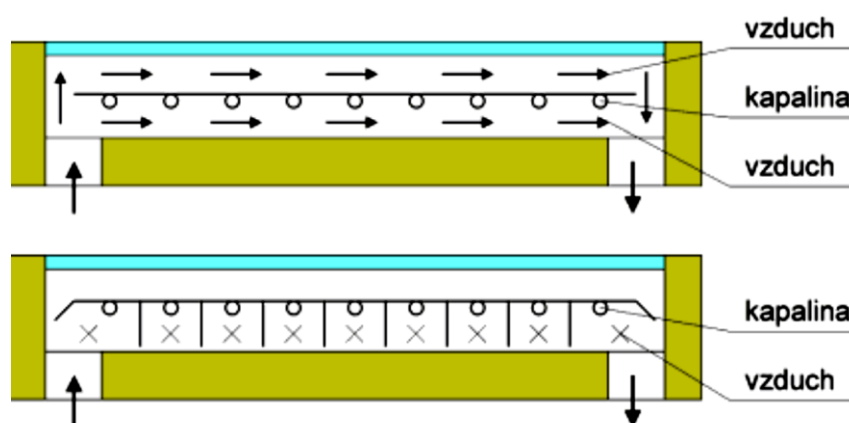
Vzduchové kolektory sestávají ze stejných částí jako kolektory kapalinové. Mezi absorpční plochou a krycí vrstvou může být vzduchová mezera. Ohřivaný vzduch pak proudí za absorpční plochou, v mezeře je vzduch v klidu a neproudí. Absorpční plochu tvoří deska z černěného plechu a je obvykle zvlněná nebo žebrovaná.

Pokud je kolektor v provedení bez vzduchové mezery, pak proudí ohřátý vzduch kanálem přímo za krycí vrstvou. Tento druh vzduchových kolektorů má však o něco menší účinnost, než předchozí typ s vzduchovou mezerou.

Krycí vrstvou může být buď sklo, nebo v některých případech průhledná fólie. Ta se uplatňuje zejména v systémech velkých rozměrů, například při sušení. Vzduchové kolektory jsou obvykle mnohem větší, než kapalinové, mají zadní stranu zakrytou plechem a samonosnou konstrukci. Nejčastěji se používají pro sušení zemědělských produktů. [1]

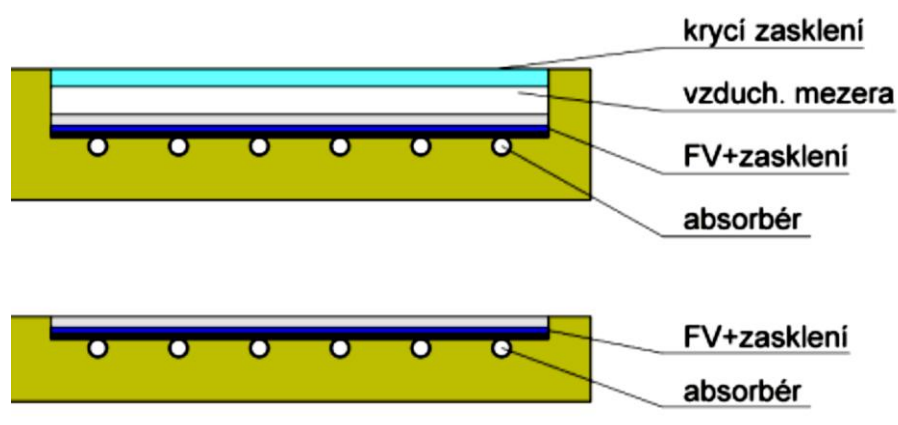
4.7 Hybridní kolektory

Na závěr teorie ještě stojí za to zmínit zajímavý typ kolektorů, jenž v sobě spojuje více výše uvedených prvků. Byly vyvinuty pro dosažení maximální účinnosti systémů a navýšení energetických zisků během roku. Prvním typem hybridních kolektorů je systém s použitím dvou teplotnosných látek, a to vzduch/voda, nebo vzduch/glykol-voda. Příklad takového provedení kolektoru je na (Obr. 26). [13]



Obr. 26 Různé konfigurace kolektorů se dvěma teplotnosnými látkami [14]

Druhým typem hybridních kolektorů jsou fotovoltaicko-tepelné kolektory. Tento systém používá kombinaci aktivního chlazení FV článku a solárního kolektoru. Výhodou je „solární kogenerace“ (současná výroba elektrické energie a tepla), při níž se získá více energie, než kdyby se oba systémy používaly odděleně. Zařízení tak poskytuje nízkopotenciální teplo a elektrickou energii, přičemž produkce tepla může být mnohonásobně vyšší, než výroba elektrické energie. Tyto fotovoltaicko-tepelné kolektory mohou být konstruovány v několika variantách jako zasklené či nezasklené, nebo dle typu teplonosné látky jako kapalinové a vzduchové. Příklad takového kapalinového kolektoru je na (Obr. 27). [13]



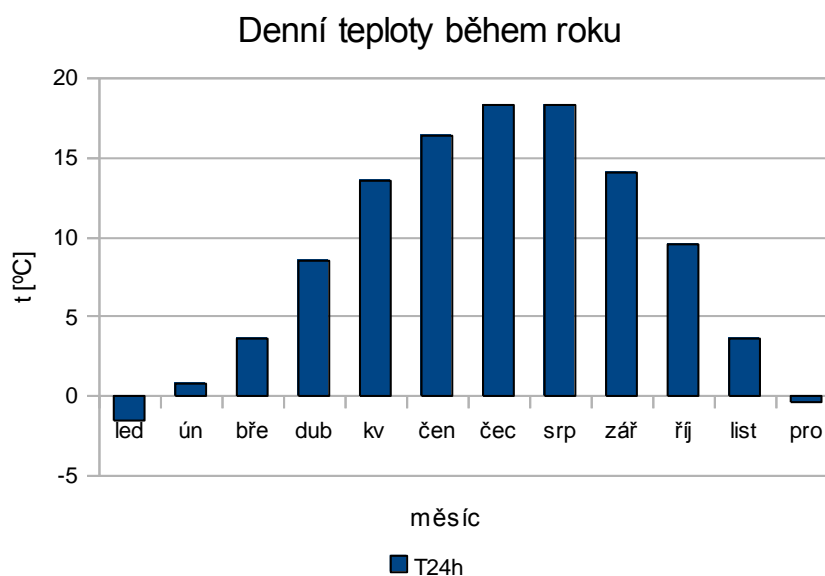
Obr. 27 Konfigurace fotovoltaicko-tepelného kolektoru (zasklený-nezasklený) [14]

5 Systémy pro ohřev TUV

5.1 Meteorologické informace

Pro návrh systému pro ohřev teplé užitkové vody je vybrán vlastní dům (Příloha 12), který se nachází v obci Mladotice asi 35 km severně od Plzně, jak je znázorněno na obrázku (Příloha 11).

Zeměpisné souřadnice této lokality jsou 49°58' severní šířky a 13°21' východní délky. Nadmořská výška Mladotic je 365 m. n. m. Simulace navrženého systému je provedena v počítačovém programu PVGIS. Z tohoto programu byly získány meteorologické hodnoty teplot a intenzity

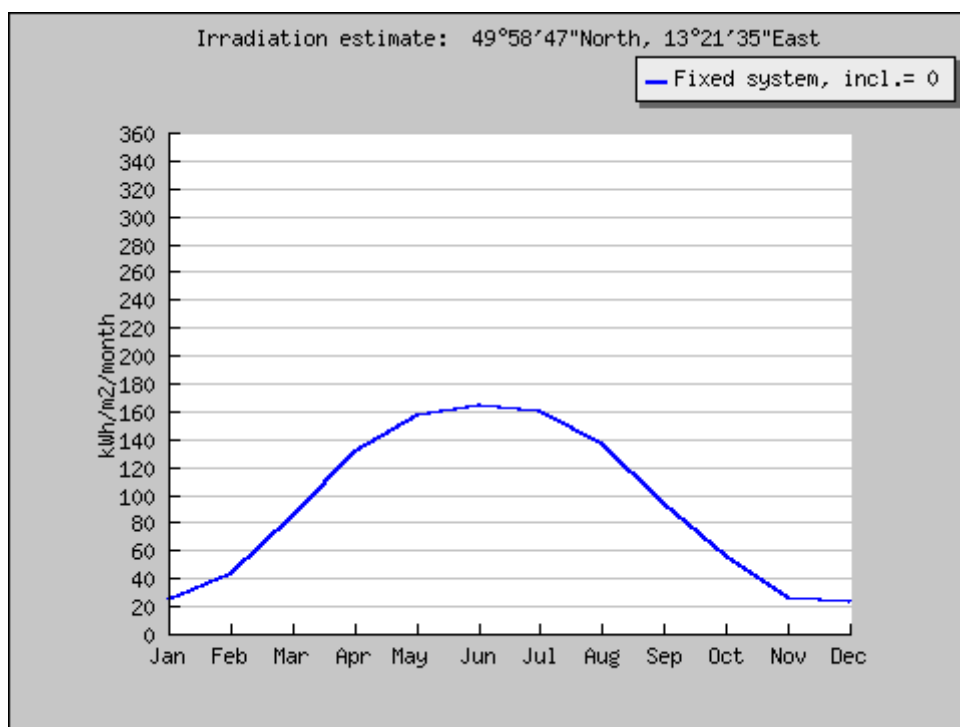


Obr. 28 Průměrné teploty v jednotlivých měsících

dopadajícího záření kolmo na zemský povrch, které jsou znázorněny v grafech na obrázcích (Obr. 28, 29). V programu je počítáno s daty z databáze CM-SAF. Jedná se o novější databázi, která poskytuje přesnější údaje o intenzitě dopadajícího záření, než předchozí starší databáze PVGIS-3. Odchylka mezi hodnotami je pro naši zeměpisnou šířku 6 až 7 % a proto jsem se rozhodl použít novější data. [9]

Shrnutí údajů o lokalitě:

- Oblast: Mladotice
- GPS souřadnice: 49°58'N a 13°21'E
- Nadmořská výška: 365 m. n. m.
- Orientace: JZ – azimut 40°
- Průměrná roční teplota: 8,8 °C
- Množství intenzity dopadajícího záření za rok: 1 100 kWh/m²
- Optimalizační úhel dle programu PVGIS - 34°



Obr. 29 Průběh intenzity záření dopadajícího kolmo na zemský povrch během roku [9]

6 Návrh systému se solárními kolektory

Pro návrh systému se solárními kolektory je nejprve potřeba stanovit spotřebu tepla, potřebného na ohřátí daného množství vody.

6.1 Výpočet spotřeby tepla

Je předpokládáno, že dům je obýván čtyřmi lidmi. Spotřeba vody přepočtená na jednu osobu a jeden den činí asi 120 l pro rodinný dům (je počítáno i s určitou rezervou). Pro čtyřčlennou rodinu tak vychází potřeba 480 l vody na den, což je 0,48 m³/osobu a den. Z toho vychází výběr zásobníku TUV, je použita nádrž od firmy Veelman, typ VSTS500L2 o objemu 500 l (Příloha 14). Spotřebu tepla spočteme pomocí kalorimetrické rovnice:

$$Q_W = c_W \cdot V_W \cdot \rho_W \cdot (t_T - t_S) = 4182 \cdot 0,5 \cdot 993,936 \cdot (60 - 10) = 103,9 \text{ MJ/den} \quad (7)$$

Q_W ... teplo potřebné pro přípravu teplé vody [MJ]

c_W měrná tepelná kapacita vody (4 182 J·kg⁻¹·K⁻¹)

V_W ... denní spotřeba teplé vody (0,5 m³/den)

ρ_W ... hustota vody při střední teplotě $t = 0,5 \cdot (t_T + t_S) = 35 \text{ }^\circ\text{C}$

t_T teplota teplé vody – teplota vody proudící absorbérem, (většinou se požaduje $t_T = 60 \text{ }^\circ\text{C}$)

t_S teplota přiváděné studené vody (uvažuje se $t_S = 10 \text{ }^\circ\text{C}$)

$$\frac{103,9 \text{ MJ/den}}{3,6} = 29 \text{ kWh/den} \quad (8)$$

Teplo, které je potřeba na ohřátí 500 l vody denně, je 103,9 MJ/den, což po přepočtu na kilowathodiny představuje výkon 29 kWh/den. [1]

6.2 Výpočet plochy kolektorů

Při vypočítání potřebné plochy kolektorů jsou použity hodnoty teplot a intenzity záření získané z programu PVGIS (Tab. 1). Vychází se z energie zachycené kolektory za určitou dobu, v tomto případě za 1 den.

Plocha kolektorů se vypočítává pro měsíc s nejnepříznivějšími slunečními podmínkami během letního období (od dubna do září), neboť během zimních měsíců je příspěvek slunečních kolektorů zanedbatelný a většina potřebného tepla se pokrývá sekundárním zdrojem. Jak je vidět z tabulky, nejhorší sluneční podmínky jsou v září, a proto je v níže uvedeném výpočtu počítáno s hodnotami z tohoto měsíce. [1, 9]

měsíc	t [°C]	Q _s [kWh/m ²]
leden	-1,5	1,07
únor	0,8	2,04
březen	3,7	3,24
duben	8,5	4,78
květen	13,6	5,09
červen	16,4	5,34
červenec	18,3	5,07
srpen	18,3	4,66
září	14,0	3,60
říjen	9,6	2,28
listopad	3,6	1,20
prosinec	-0,3	0,95

Tab. 1 Hodnoty teplot a intenzity záření v roce

6.2.1 Výpočet pro teoretickou účinnost systému

Nejprve je třeba určit účinnost kolektorů. To je možné buď obecně výpočtem anebo použít přímo hodnotu účinnosti udávanou výrobcem pro zvolený typ kolektorů. V prvním případě se užije teoretický vzorec pro kolektor s jedním krycím sklem [1]

$$\eta = 0,85 - \frac{6 \cdot (t_A - t_V)}{Q_S} = 0,85 - \frac{6 \cdot (60 - 14)}{3,60 \cdot 10^3} = 0,773 \quad (9)$$

η ... účinnost kolektoru (zde pro září)

t_T ... teplota tekutiny proudící absorbérem ($t_T = 60$ °C, viz předchozí výpočet)

t_V ... teplota okolního vzduchu (pro září je $t_V = 14$ °C, viz Tab. 1)

Q_S ... energie dopadající na kolektory (pro září je $Q_S = 3,6$ kWh/m², viz Tab. 1)

Pokud je známa účinnost, je možno jejím vynásobením dopadající energií získat celkovou zachycenou energii kolektorem za jeden den $Q_{A\text{den}}$ a odtud pak potřebnou plochu kolektorů S . [1]

$$Q_{A\text{den}} = \eta \cdot Q_S = 0,773 \cdot 3,6 \cdot 10^3 = 2783 \text{ W/m}^2 \quad (10)$$

$$S = \frac{Q_W}{Q_{A\text{den}}} = \frac{29 \cdot 10^3}{2783} = 10,42 \text{ m}^2 \quad (11)$$

6.2.2 Výpočet pro účinnost zadanou výrobcem

V systému jsou použity kolektory od firmy Hewalex, typ KS 2000TLP (Příloha 12). Jedná se o klasický plochý kolektor s jedním krycím sklem o účinnosti 80,2 %. Ostatní technická data jsou uvedena v (Příloha 13). Plochu kolektorů je tak možné počítat přímo pro daný typ s uvedenou účinností pomocí identických vzorců jako v předchozím případě. [1]

$$Q_{A\text{den}} = \eta \cdot Q_S = 0,802 \cdot 3,6 \cdot 10^3 = 2888 \text{ W/m}^2$$

$$S = \frac{Q_W}{Q_{A\text{den}}} = \frac{29 \cdot 10^3}{2888} = 10,04 \text{ m}^2$$

Jak je vidět, obě hodnoty jsou si velmi podobné, v prvním případě vychází potřebná plocha kolektorů 10,42 m², což znamená, že na 1 m² připadá asi 48 l ohříváné vody. V případě konkrétního typu kolektorů a stanovené účinnosti to je 10,04 m², tedy na 1 m² připadá zhruba 50 l vody. [1]

6.3 Stanovení tepelné bilance

Stanovení tepelné bilance je důležité pro porovnání spotřeby energie s energií zachycenou kolektory. Její pomocí se zjistí, jaký podíl energie se získá ze slunečního záření a jakou část je nutné hradit z jiného zdroje. Z energie zachycené kolektorem $Q_{A\text{den}}$ se vypočítá celková energie zachycená všemi kolektory za průměrný den v měsíci a poté za celý měsíc. Tato

energie je pak porovnána se spotřebou energie. Výpočet je proveden pro teoretickou hodnotu účinnosti:

$$Q_{Zden} = S \cdot Q_{Azen} = 10,42 \cdot 2783 = 29 \text{ kWh} \quad (12)$$

$$Q_{Zmēs} = n \cdot Q_{Zden} = 30 \cdot 29 = 870 \text{ kWh} \quad (13)$$

$$R = Q_{Zmēs} - (n \cdot Q_W) = 870 - (30 \cdot 29) = 0 \text{ kWh} \quad (14)$$

Q_{aden} ... celková zachycená energie kolektorem za jeden den [W/m^2]

S ... potřebná plocha kolektorů [m^2]

Q_{Zden} ... energie zachycená systémem za jeden den [kWh]

$Q_{Zmēs}$... energie zachycená systémem za jeden měsíc [kWh]

n ... počet dnů v měsíci

R ... rozdíl potřebné a zachycené energie [kWh]

Výše uvedený výpočet je proveden pro měsíc září, pro přehlednost jsou v tabulce (Tab. 2) hodnoty pro všechny měsíce období březen až říjen. [1]

			pro průměrný den měsíce		pro celý měsíc	
Měsíc	η	Q_a [W/m^2]	Q_z [kWh]	R [kWh]	Q_z [kWh]	R_1 [kWh]
Březen	0,75	2 417	25,2	-3,8	781	-118
Duben	0,79	3 752	39,1	10,1	1 170	303
Květen	0,8	4 047	42,2	13,2	1 302	409
Červen	0,8	4 277	44,6	15,6	1 350	468
Červenec	0,8	4 061	42,3	13,3	1 311	412
Srpen	0,8	3 709	38,7	9,7	1 200	301
Září	0,77	2 783	29,0	0	870	0
Říjen	0,72	1 635	17,0	-12	527	-372

Tab. 2 Tepelná bilance

Jak je patrné z tabulky, systém se solárními kolektory je schopen pokrýt spotřebu tepla pouze v měsících od dubna do září. V březnu a říjnu se část spotřeby tepla musí získat ze sekundárního zdroje. V období od listopadu do února je již intenzita slunečního záření tak

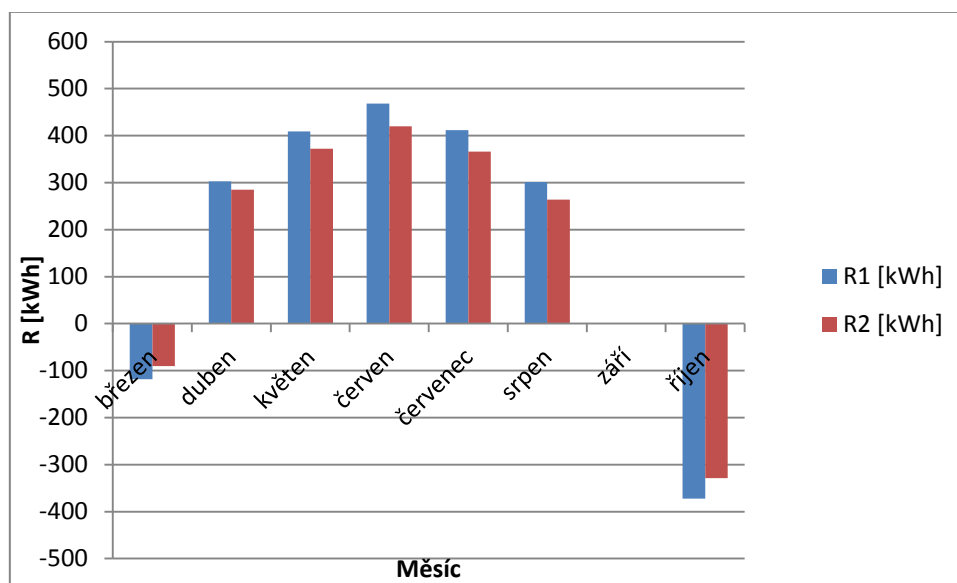
nížká (Tab. 1), že příspěvek solárního systému představuje pouze zlomek celkové spotřeby energie. Naprostá většina tepla tak musí být dodána jiným zdrojem.

Dále je ještě sestavena tepelná bilance pro účinnost vybraného typu kolektoru udanou výrobcem. Postup výpočtu je totožný s předchozím, a proto zde není uváděn. Níže (Tab. 3) je pouze souhrn vypočtených hodnot.

měsíc	Q_a [W/m ²]	pro průměrný den měsíce		pro celý měsíc		potřeba energie Q [kWh]
		Q_z [kWh]	R [kWh]	Q_z [kWh]	R_2	
březen	2 598	26,1	-2,9	809	-90	899
duben	3 834	38,5	9,5	1 155	285	870
květen	4 082	41,0	12,0	1 271	372	899
červen	4 283	43,0	14,0	1 290	420	870
červenec	4 066	40,8	8,5	1 265	366	899
srpen	3 737	37,5	8,5	1 163	264	899
září	2 887	29,0	0	870	0	870
říjen	1 829	18,4	-10,6	570	-329	870

Tab. 3 Tepelná bilance pro zvolený typ kolektorů

Z obou tabulek je vidět, že při návrhu systému je možné použít oba způsoby výpočtu, neboť jednotlivé hodnoty se liší v řádu jednotek, až desítek. První způsob se použije, pokud není znám konkrétní typ kolektorů a tím pádem ani jejich účinnost. Pokud ovšem víme, jaký druh a typ kolektorů chceme použít, je vhodnější systém dimenzovat přímo na účinnost stanovenou výrobcem. Potom má totiž systém menší nedostatek energie v okrajových měsících letního období a zároveň menší přebytky během léta. To je nejlépe vidět v grafu (Obr. 30), kde veličina R_1 označuje přebytek energie u systému, navrženého pro teoretickou účinnost, a veličina R_2 vyjadřuje přebytek energie u systému pro konkrétní účinnost zadanou výrobcem.

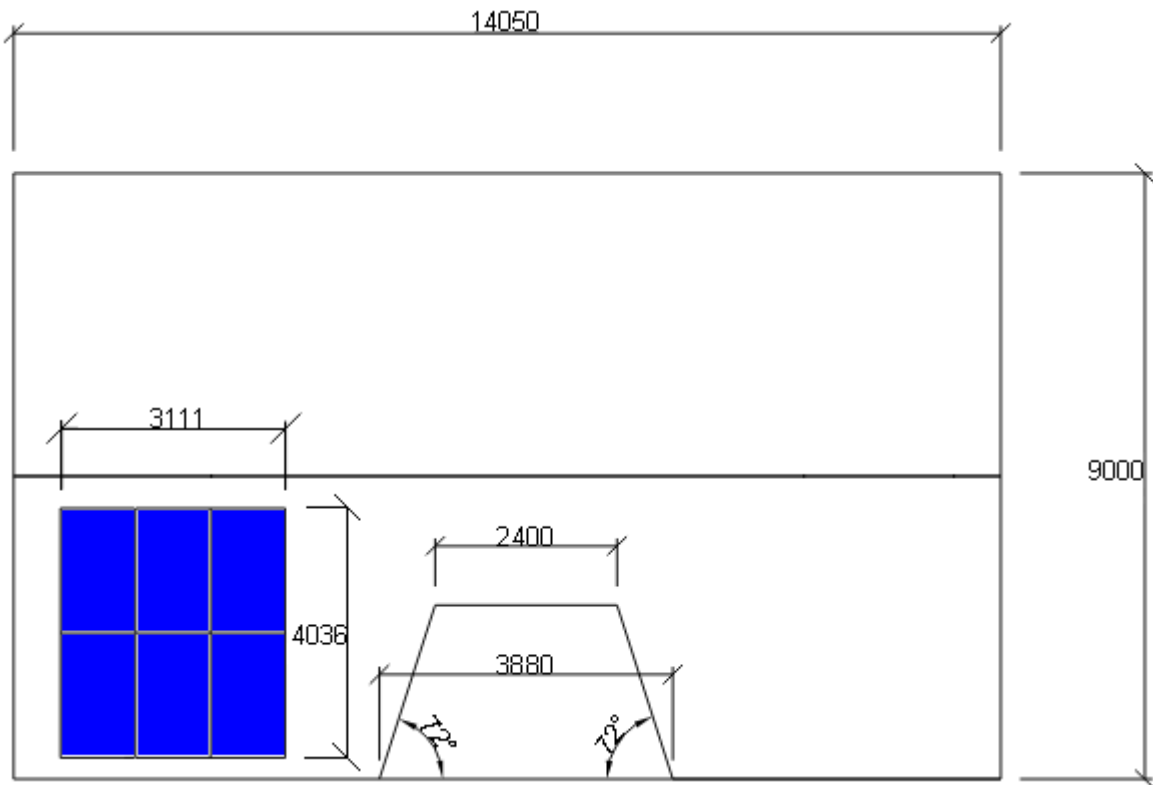


Obr. 30 Srovnání tepelných bilancí pro oba postupy

6.4 Shrnutí návrhu

Navržený systém pro ohřev TUV pomocí solárních kolektorů vyžaduje plochu kolektorů 10,04 m² pro mnou vybraný typ KS 2000TLP. Absorpční plocha těchto kolektorů je 1,82 m². Z toho vychází dle vzorce níže potřeba 6 kolektorů, které jsou umístěny na střeše domu pouze na jižní straně (Obr. 31). Střecha má sklon 35°, a proto i sklon kolektorů bude je stejný.

$$\text{počet kolektorů} = \frac{\text{potřebná plocha kolektorů}}{\text{plocha jednoho kolektoru}} = 5,52 = 6 \text{ kolektorů}$$



Obr. 31 Umístění kolektorů na střeše domu

Takto navržený systém bude dodávat potřebné množství tepla od dubna do září, ve zbylých měsících je potřeba naprostou většinu energie, potřebné pro ohřátí TUV, hradit z jiného zdroje.

7 Návrh systému s fotovoltaickými panely

Navržený fotovoltaický systém je řešen pro provoz v ostrovním režimu z důvodu možného srovnání s návrhem se solárními kolektory. Systém tedy nedodává ani neodebírá elektrický proud ze sítě a veškerá energie je využita na ohřev teplé užitkové vody. Umístění PV panelů je uvažováno na střechu objektu pod úhlem 35° s orientací na jihozápad stejně jako v předchozím případě.

Spotřeba vody je stejná jako u systému s kolektory, tj. 480 l/den – je použita nádrž od firmy Tatramat, typ VTS 500 s objemem 500 l (Příloha 15). Dále jsou v systému použity fotovoltaické polykrystalické panely od firmy Canadian Solar, typ CS6P-250 Wp. Jmenovitý výkon jednoho panelu je 250 Wp, ostatní technické údaje panelů jsou uvedeny v katalogu (Příloha 16). Jak vyplynulo z návrhu se solárními kolektory, měsíční potřeba energie pro ohřátí daného množství vody je 870 kWh. Aby byla tato spotřeba pokryta, je potřebný dle PVGIS výkon asi 8,2 kW. Tato hodnota představuje instalovaný výkon, který je třeba pokrýt PV panely. Pro vypočítání potřebného počtu fotovoltaických panelů se užije jednoduchý vzorec:

$$\text{počet PV panelů} = \frac{\text{požadovaný výkon [W]}}{\text{výkon jednoho PV panelu [W]}} = \frac{8200}{250} = 33 \text{ panelů}$$

Jak je vidět z uvedeného vztahu, pro pokrytí přibližného instalovaného výkonu 8 200 W je potřeba nainstalovat 33 PV panelů. Ty jsou umístěny na střeše domu obdobně jako v předchozím případě. Množství záření, dopadajícího na takto nakloněnou konstrukci během roku je pak 1 200 kWh/m². Průběh intenzity dopadajícího záření je i s jednotlivými hodnotami zobrazen na obrázcích (Příloha 18, 19). [9]

Poslední věcí, nezbytnou pro správné fungování systému, je použití vhodného typu měniče, který vyrobené stejnosměrné napětí převede na napětí střídavé. V navrženém systému je použit střídač od firmy Studer Innotec, typ XTH 8000-48. Kompletní charakteristika uvedeného střídače je v katalogu (Příloha 17). Do tohoto invertoru je přiváděno stejnosměrné napětí ze všech panelů. Celkové množství vyrobené elektrické energie za jeden rok je asi 7 670 kWh. Souhrn informací o návrhu je v příloze (Příloha 18, 20). [9]

Výše uvedený postup je nejlepší pro správné dimenzování systému, kdy je počítáno s reálným slunečním svitem a ztrátami. Pokud by byl systém navržen pro příkon dané akumulární nádrže 2 000 W udávaný výrobcem, bylo by mnohem menší i potřebné množství PV panelů (asi 8 panelů). S takovýmto instalovaným výkonem by však trvalo ohřátí celého množství vody podstatně delší dobu (ideální sluneční podmínky jsou kolem poledne, v ostatních denních dobách pracuje fotovoltaika s nižším výkonem). Mohlo by se tak stát, že by se veškerá voda během jednoho dne neohřála. V tomto případě by tedy bylo nutné doohřívat vodu z jiného zdroje po celý rok. [9]

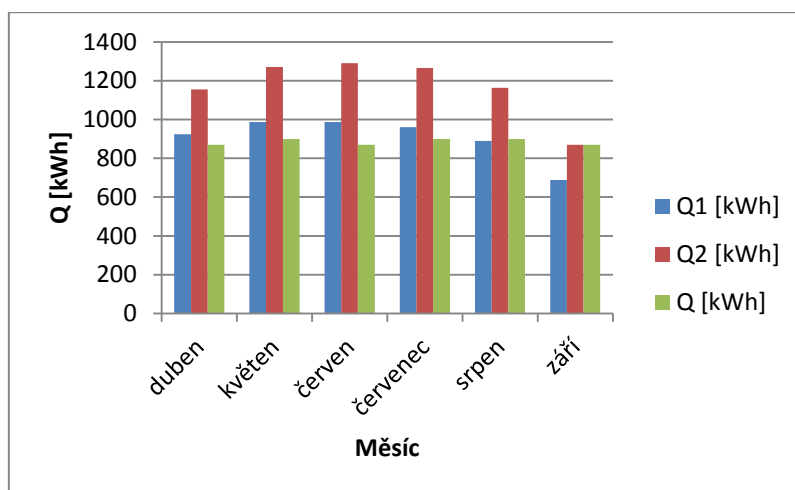
8 Energetické zhodnocení

Energetické zhodnocení je provedeno pouze pro letní období od dubna do září, kdy jsou oba systémy schopny pokrýt veškerou potřebu energie. Pro srovnání jsou použity hodnoty vyrobené elektrické energie pro fotovoltaické panely, získané z programu PVGIS, a hodnoty Q_z pro solární systém z (Tab. 2). Pro přehlednost jsou všechny hodnoty uvedeny tabulce i s hodnotami měsíční potřeby energie (Tab. 4). [9]

	PV panely	Kolektory	Celková spotřeba
Měsíc	Q_1 [kWh]	Q_2 [kWh]	Q [kWh]
duben	924	1155	870
květen	986	1271	899
červen	987	1290	870
červenec	961	1265	899
srpen	889	1163	899
září	688	870	870

Tab. 4 Hodnoty vyrobené energie v letním období

Jak je dobře vidět z (Obr. 32), solární kolektory jsou schopny poskytnout v letním období větší množství energie než fotovoltaické panely. Zatímco PV panely už v září nepokryjí zcela spotřebu tepla, kolektory vyrobí během celého období více energie, než je potřeba. Z energetického hlediska se tedy pro ohřev TUV jeví jako výhodnější použití solárních kolektorů.



Obr. 32 Energetické zisky v jednotlivých měsících

9 Ekonomické zhodnocení

Pro ekonomické zhodnocení je nejčastěji využívaným parametrem doba návratnosti. Pro vyhodnocení návrhů v této práci postačuje tzv. prostá doba návratnosti T_S , vhodná pro hodnocení menších projektů [17]:

$$T_S = \frac{IN}{CF} \quad (15)$$

IN... náklady na investici (investiční výdaje)

CF... roční příjem (úspora nákladů v důsledku investice)

9.1 Systém se solárními kolektory

Investiční výdaje představují sumu finančních prostředků, potřebných pro pořízení daného systému (Tab. 4), není počítáno s náklady na přídatný materiál, jako je rozvod potrubí, kabely, montáž, aj.

Zařízení	Výdaje [Kč]
Zásobník TUV	41 675,40
Solární kolektory 6x	47 100
Celkem	88 775,40

Tab. 4 Investiční náklady

Roční příjem představuje částka, kterou by bylo nutné zaplatit za energii, pokud by nebyl využíván fotovoltaický systém. Množství vyrobené energie za rok pomocí kolektorů je asi 8 393 kWh (hodnota získána sečtením Q_Z pro jednotlivé měsíce z Tab. 2). Částka je vypočítána dle ceny za 1 kWh, tj. 4,69 Kč dle aktuálního ceníku (Příloha 21), platného od 1.1.2014 (vyšší tarif D25d pro domácnosti).

$$CF = Q_C \cdot 4,69 = 8\,393 \cdot 4,69 = 39\,363,2 \text{ Kč} \quad (16)$$

Q_C ... množství vyrobené energie za rok (8 393 kWh)

Dosazením do vzorce (15) získáme prostou dobu návratnosti T_S

$$T_S = \frac{IN}{CF} = \frac{88\,775,4}{39\,363,2} = 2,26 \text{ roku}$$

Jak je patrné z výše uvedených výpočtů, doba návratnosti u návrhu se solárními kolektory je přibližně 2,26 roku, po uplynutí této doby jsou splaceny pořizovací náklady a systém začíná vydělávat.

9.2 Systém s fotovoltaickými panely

Investiční náklady jsou určeny obdobným způsobem jako v předchozím případě, přehledně jsou uvedeny v (Tab. 5).

zařízení	výdaje [Kč]
akumulační nádrž	26 900
PV panely 33x	210 639
Střídač	157 539
celkem	395 078

Tab. 5 Investiční výdaje

Podobně jako v prvním případě se i zde vyjádří roční příjem částkou, kterou by bylo potřeba zaplatit za energii vyrobenou PV panely. Množství vyrobené energie za rok pomocí panelů je asi 7 670 kWh. Po dosazení do vztahu (16) zjistíme, že roční příjem je $CF = 35\,972$ Kč. Opět po dosazení do vztahu (15) získáme prostou dobu návratnosti zhruba $T_S = 11$ let.

9.3 Shrnutí

Porovnáme-li doby návratnosti u obou návrhů, je zjevné, že z ekonomického hlediska se jednoznačně vyplatí více systém se solárními kolektory. U systému s fotovoltaickými panely se jeho instalace začne vyplácet až po uplynutí 11 let, kdy už ale panely ztratí část své účinnosti (výrobce garantuje 10 let výkon 90 % jmenovitého výkonu a 25 let výkon 80 % jmenovitého výkonu). Z ekonomického pohledu je tedy efektivnější systém se solárními kolektory.

Závěr

Po teoretickém výkladu problematiky jsou v práci navrženy dva systémy pro ohřev teplé užitkové vody. Oba návrhy jsou pouze teoretické, nejsou zohledněny ztráty tepla v potrubních rozvodech, ani ztráty jednotlivých zařízení.

Na základě těchto teoretických předpokladů a výpočtů jsem došel k následujícím závěrům. Během letního období je systém se solárními kolektory schopen poskytnout více energie než fotovoltaické panely, k čemuž mu stačí podstatně menší plocha. Na druhou stranu je fotovoltaika schopna produkovat elektrickou energii i během zimy. Tento energetický přísun sice není velký, je ale vyšší, než v případě kolektorů, které v zimě neprodukují v podstatě nic. Naproti tomu jsou solární kolektory výhodné díky menším pořizovacím nákladům celého systému a kratší době návratnosti.

Určitá nevýhoda solárních panelů tkví v tom, že teplonosná kapalina má omezenou životnost a po uplynutí 2 až 3 let je nutné ji vyměnit. Dalšími nevýhodami je potřeba potrubních rozvodů a dalších komponent, kdy je systém složitější a je tím i vyšší pravděpodobnost poruchy. Navíc zde vznikají vyšší ztráty při přenosu energie z kolektorů do akumulární nádoby než je tomu u fotovoltaických systémů mezi panely a nádobou na ohřev TUV.

V případě přebytku energie během léta je možno tento přebytek využít na ohřev bazénové vody, naopak v době nedostatku v zimních měsících je nutno zajistit ohřev vody například pomocí kotle na plyn, či tuhá paliva. V případě fotovoltaických panelů je možné v době přebytku akumulovat energii v bateriích, nebo ji prodávat do sítě, čímž by už ale systém nepracoval v ostrovním režimu. Pomocí připojení na síť se také dá hradit energetický deficit v období nedostatku elektrické energie.

Po zvážení všech výše uvedených skutečností usuzuji, že pro daný objekt a lokalitu je o něco výhodnější systém se solárními kolektory, pokud budu uvažovat o ohřevu v letním období duben až září a zbylou energii v zimě uhradím sekundárním zdrojem. Znovu bych chtěl ale zdůraznit, že se jedná pouze o teorii, v praxi se zapojuje mnoho dalších faktorů, které zde nejsou uvažovány, a není tedy zcela jisté, jak by se skutečně oba systémy chovaly.

Seznam použité literatury

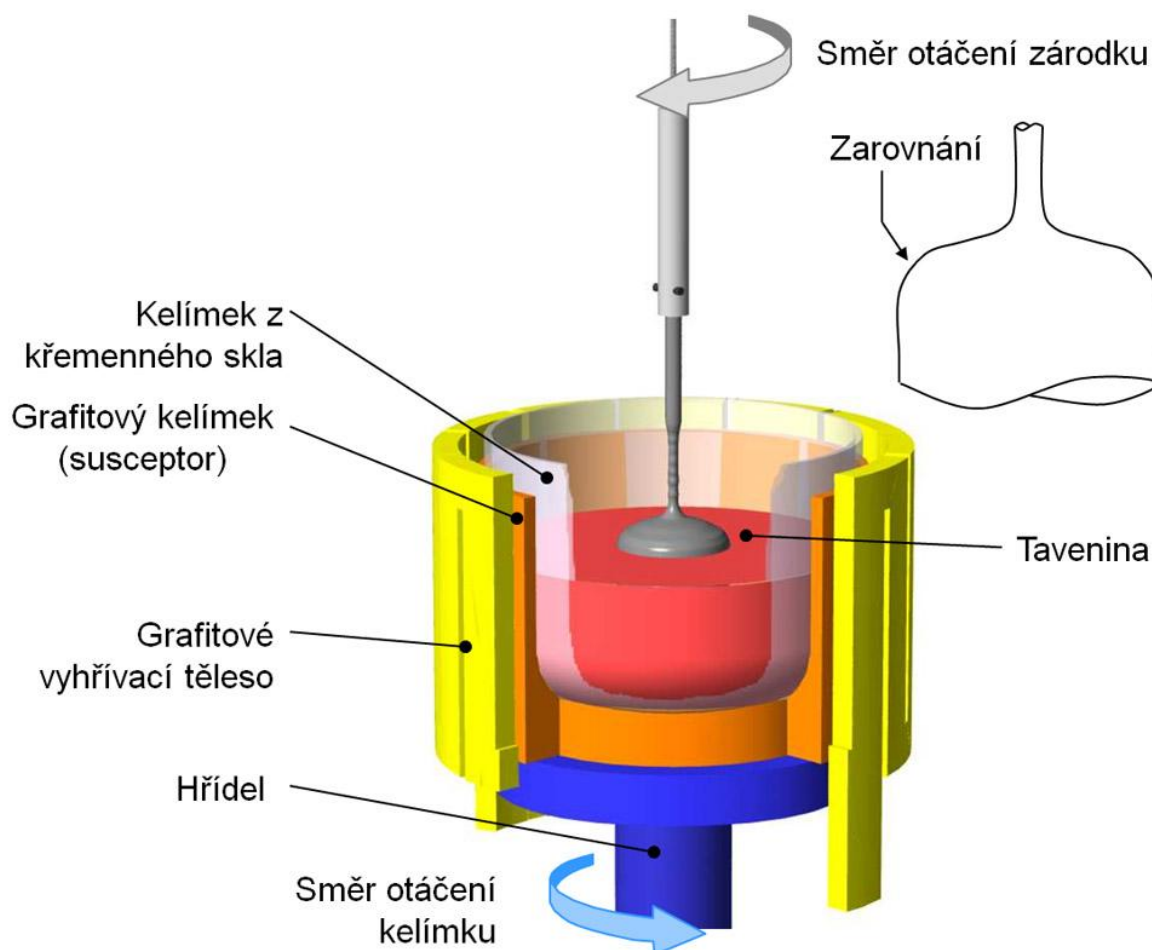
- [1] CIHELKA, Jaromír. *Solární tepelná technika*. 1. Vyd. Praha: T. Malina, 1994
- [2] LIBRA, Martin, POULEK Vladislav. *Solární energie*. 2. Vyd. Praha: ČZU, 2005
- [3] BROŽ, Karel, ŠOUREK, Bořivoj. *Alternativní zdroje energie*. 1. Vyd. Praha: ČVUT, 2003
- [4] KAMINSKÝ, Jaroslav, VRTEK Mojmír. *Obnovitelné zdroje energie*. 1. Vyd. Ostrava: VŠB, 1999
- [5] MURTINGER, Karel, BERANOVSKÝ, Jiří, TOMEŠ, Milan. *Fotovoltaika, elektrina ze slunce*. 2. Vyd. Brno: ERA, 2008
- [6] *Technická zařízení budov* [online]. [cit. 28. 3. 2014]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz>
- [7] ŠKORPÍK, Jiří. *Sluneční záření jako zdroj energie* [online]. [cit. 3. 3. 2014] Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/sluncni-zareni-jako-zdroj-energie.html>. [cit. 3. 3. 2014]
- [8] *Odborné časopisy* [online]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/>. [cit. 10. 4. 2014]
- [9] *PVGIS* [online]. [cit. 5. 5. 2014]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>
- [10] *AVEA* [online]. [cit. 15. 5. 2014]. Dostupné z: <http://www.avea.cz>
- [11] *Energie123* [online]. [cit. 15. 5. 2014]. Dostupné z: <http://www.energie123.cz>
- [12] *Sun Pi* [online]. [cit. 15. 5. 2014]. Dostupné z: <http://www.obchodsolar.cz>
- [13] *NAZELENO* [online]. [cit. 15. 5. 2014]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz>
- [14] *GOOGLE* [online]. [cit. 20. 4. 2014]. Dostupné z: www.google.com
- [15] *SEZNAM.CZ* [online]. [cit. 2. 3. 2014]. Dostupné z: www.seznam.cz
- [16] *HEUREKA* [online]. [cit. 3. 5. 2014]. Dostupné z: <http://ohrivace-vody.heureka.cz>
- [17] *123TOPENÍ* [online]. [cit. 29. 5. 2014]. Dostupné z: <http://www.123topeni.cz>

Seznam příloh

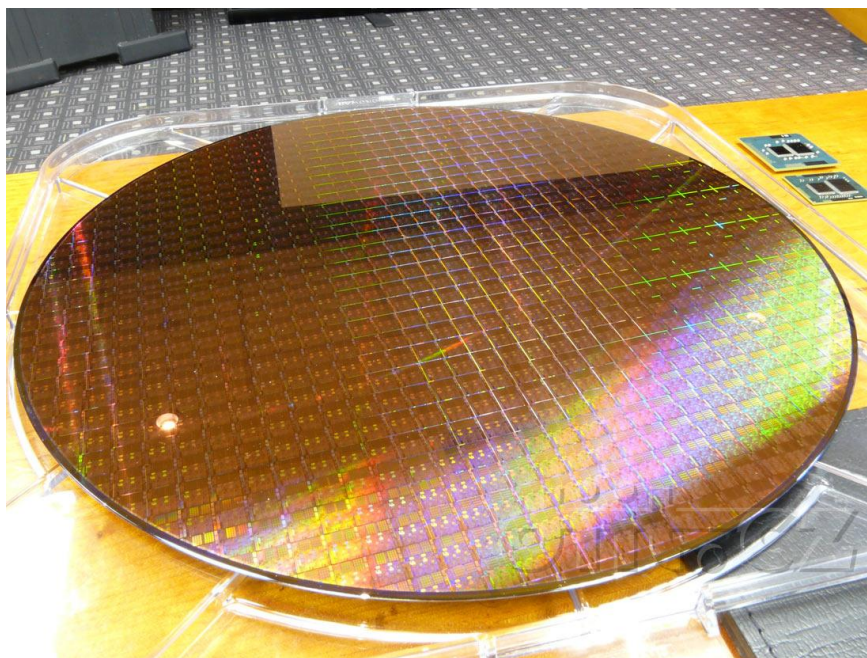
Příloha 1 Parametry Slunce.....	12
Příloha 2 Postup při výrobě monokrystalického ingotu.....	22
Příloha 3 Křemíková destička.....	22
Příloha 4 Fotovoltaický panel.....	29
Příloha 5 Soustava PV panelů.....	29
Příloha 6 Flexibilní PV panel.....	29
Příloha 7 Srovnání jednotlivých typů PV panelů.....	31
Příloha 8 Umístění PV panelů v terénu.....	33
Příloha 9 Plochý vakuový kolektor.....	43
Příloha 10 Mapa slunečního svitu.....	45
Příloha 11 Vybraný objekt pro návrh systémů.....	45
Příloha 12 Solární kolektor KS 2000TLP.....	49
Příloha 13 Charakteristika kolektoru KS 2000TLP.....	49
Příloha 14 Charakteristika zásobníku VSTS 500L2.....	47
Příloha 15 Charakteristika nádrže VTS 500.....	54
Příloha 16 Charakteristika panelu CS6P 250 Wp.....	54
Příloha 17 Charakteristika střídače Studer Innotec XTH 8000-48.....	54
Příloha 18 Charakteristické hodnoty návrhu systému.....	54
Příloha 19 Graf dopadající energie na nakloněnou rovinu panelů.....	54
Příloha 20 Graf vyrobené elektrické energie v jednotlivých měsících.....	54
Příloha 21 Ceník elektrické energie pro domácnosti.....	57

veličina	střední hodnota
poloměr Slunce	$r_s = 6,96 \cdot 10^8 \text{ m}$
hmotnost Slunce	$m_s = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
výkon Slunce	$P_s = 3,91 \cdot 10^{26} \text{ W}$
efektivní teplota fotosféry	$T_s = 5\,800 \text{ K}$
tíhové zrychlení na povrchu	$g_s = 274 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$
vzdálenost Země od Slunce	$R_{sz} = 1,49 \cdot 10^{11} \text{ m}$
solární konstanta	$I = 1367 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$

Příloha 1 Parametry Slunce [2]



Příloha 2 Postup při výrobě monokrystalického ingotu [14]



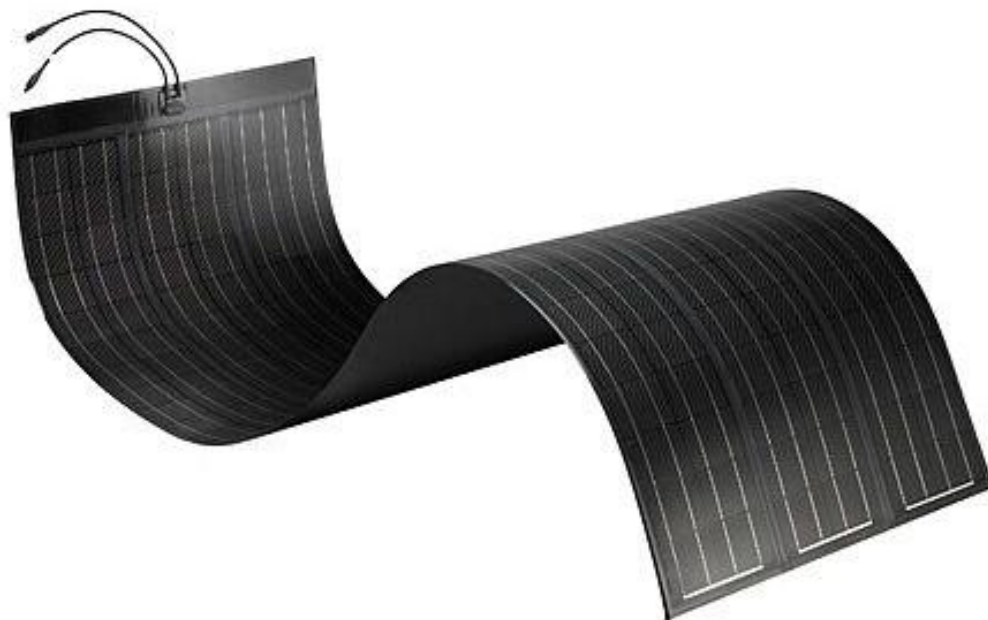
Příloha 3 Křemíková destička [14]



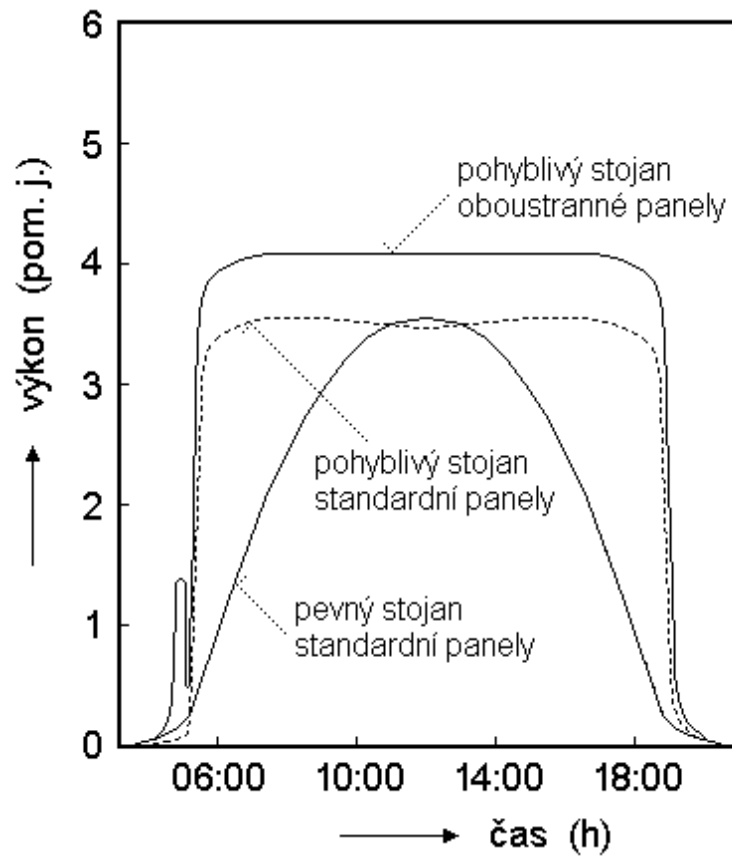
Příloha 4 Fotovoltaický panel [14]



Příloha 5 Soustava PV panelů [14]



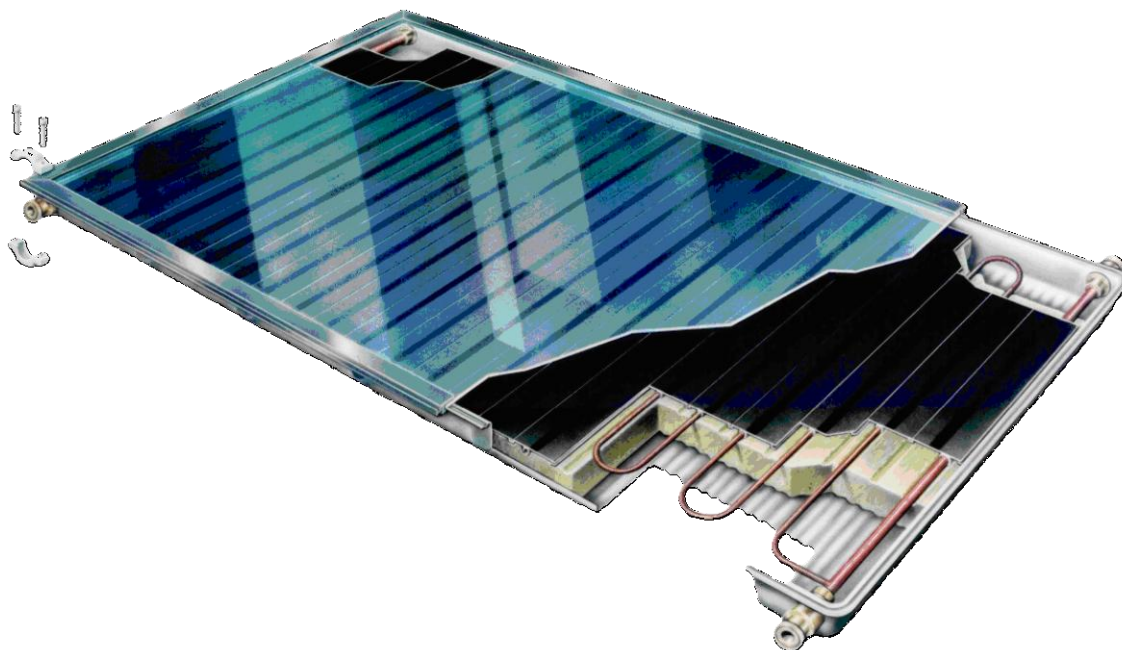
Příloha 6 Flexibilní PV panel [14]



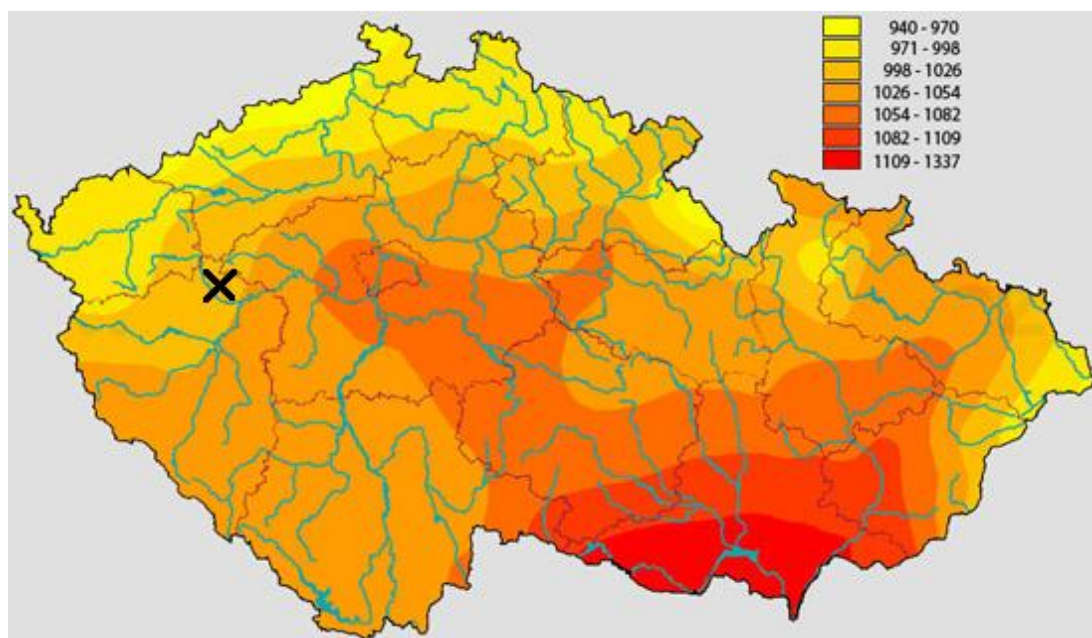
Příloha 7 Srovnání jednotlivých typů PV panelů [14]



Příloha 8 Umístění PV panelu v terénu [14]



Obr. 9: Plochý vakuový kolektor [14]



Příloha 10 Mapa slunečního svitu s vyznačenou lokalitou Mladotice [14]



Příloha 11 Vybraný objekt pro návrh systémů



Příloha 12 Solární kolektor KS 2000TLP [17]

Délka:	2018 mm
Šířka:	1037 mm
Výška:	89 mm
Hmotnost:	40 kg
Kapacita kapaliny:	1.1 l
Hrubá plocha kolektoru:	2.09 m ²
Absorbční plocha:	1.82 m ²
Optická účinnosť:	80,2%
Ztrátový činitel A1	3,8 W / (m ² K)
Ztrátový faktor závisí na teplotě A2	0,01 W / (m ² K ²)
Záruka:	10 roků

Příloha 13 Charakteristika kolektoru KS 2000TLP [17]

Typ	VSTS500L2
Objem	500 l
Materiál	nerez ocel
Počet výměníků	2
Max. Teplota TUV	95 °C
Izolace	polyuretan

Příloha 14 Charakteristika zásobníku VSTS 500L2 [10]

Souhrn

Výrobce	Tatramat
Typ ohřivače	akumulační nádrže
Objem	500 l
Hmotnost	229.000 kg
Materiál ohřivače	tlačový, úsporný
Umístění ohřivače	vertikálně na zeď
Doba ohřevu z 10°C na 60°C	13
Pojistka proti zamrznutí	ano
Pojistka proti přehřátí	ano
Šířka	75 cm

Příloha 15 Charakteristika nádrže VTS 500 [16]

CS6P-230/235/240/245/250P

Electrical Data

STC	CS6P-230P	CS6P-235P	CS6P-240P	CS6P-245P	CS6P-250P
Nominal Maximum Power (Pmax)	230W	235W	240W	245W	250W
Optimum Operating Voltage (Vmp)	29.6V	29.8V	29.9V	30.0V	30.1V
Optimum Operating Current (Imp)	7.78A	7.90A	8.03A	8.17A	8.30A
Open Circuit Voltage (Voc)	36.8V	36.9V	37.0V	37.1V	37.2V
Short Circuit Current (Isc)	8.34A	8.46A	8.59A	8.74A	8.87A
Module Efficiency	14.30%	14.61%	14.92%	15.23%	15.54%
Operating Temperature	-40°C~+85°C				
Maximum System Voltage	1000V (IEC) /600V(UL)				
Maximum Series Fuse Rating	15A				
Application Classification	Class A				
Power Tolerance	0 ~ +5W				

Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C

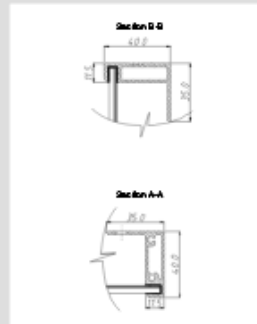
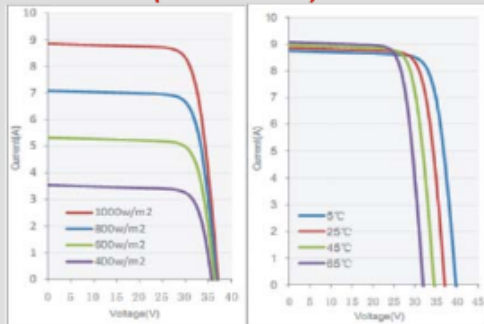
NOCT	CS6P-230P	CS6P-235P	CS6P-240P	CS6P-245P	CS6P-250P
Nominal Maximum Power (Pmax)	167W	170W	174W	178W	181W
Optimum Operating Voltage (Vmp)	27.0V	27.2V	27.3V	27.4V	27.5V
Optimum Operating Current (Imp)	6.18A	6.27A	6.38A	6.49A	6.60A
Open Circuit Voltage (Voc)	33.8V	33.9V	34.0V	34.1V	34.2V
Short Circuit Current (Isc)	6.76A	6.86A	6.96A	7.08A	7.19A

Under Normal Operating Cell Temperature, Irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s

Mechanical Data

Cell Type	Poly-crystalline 156 x 156mm, 2 or 3 Busbars
Cell Arrangement	60 (6 x 10)
Dimensions	1638 x 982 x 40mm (64.5 x 38.7 x 1.57in)
Weight	20kg (44.1 lbs)
Front Cover	3.2mm Tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-BOX	IP65, 3 diodes
Cable	4mm ² (IEC)/12AWG(UL), 1100mm
Connectors	MC4 or MC4 Comparable
Standard Packaging (Modules per Pallet)	24pcs
Module Pieces per container (40 ft. Container)	672pcs (40'HQ)

I-V Curves (CS6P-250P)



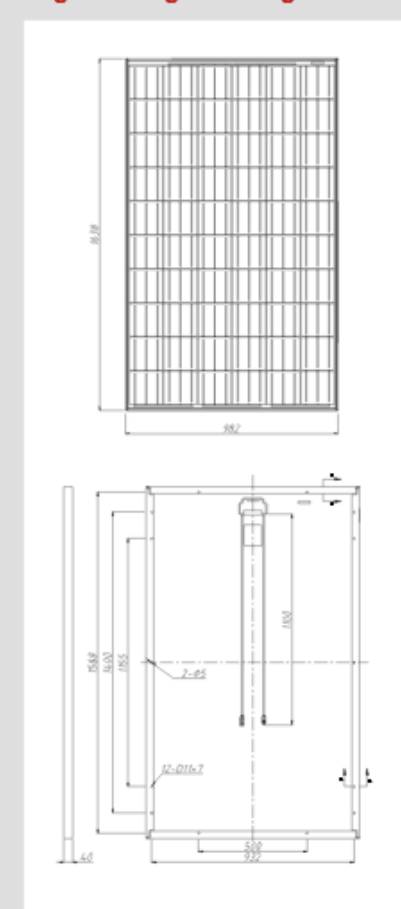
Temperature Characteristics

Temperature Coefficient	Pmax	-0.43%/°C
	Voc	-0.34%/°C
	Isc	0.065%/°C
Normal Operating Cell Temperature	45±2°C	

Performance at Low Irradiance

Industry leading performance at low irradiance environment, +95.5% module efficiency from irradiance of 1000w/m² to 200w/m² (AM 1.5, 25°C)

Engineering Drawings



*Specifications included in this datasheet are subject to change without prior notice.

About Canadian Solar

Canadian Solar Inc. is one of the world's largest solar companies. As a leading vertically-integrated manufacturer of ingots, wafers, cells, solar modules and solar systems. Canadian Solar delivers solar power products of uncompromising quality to worldwide customers. Canadian Solar's world class team of professionals works closely with our customers to provide them with solutions for all their solar needs.

Canadian Solar was founded in Canada in 2001 and was successfully listed on NASDAQ Exchange (symbol: CSIQ) in November 2006. Canadian Solar has already expanded its module manufacturing capacity to 2.05GW and cell manufacturing capacity to 1.3GW in 2011.

Headquarters | 650 Riverbend Drive, Suite B

Xtender series



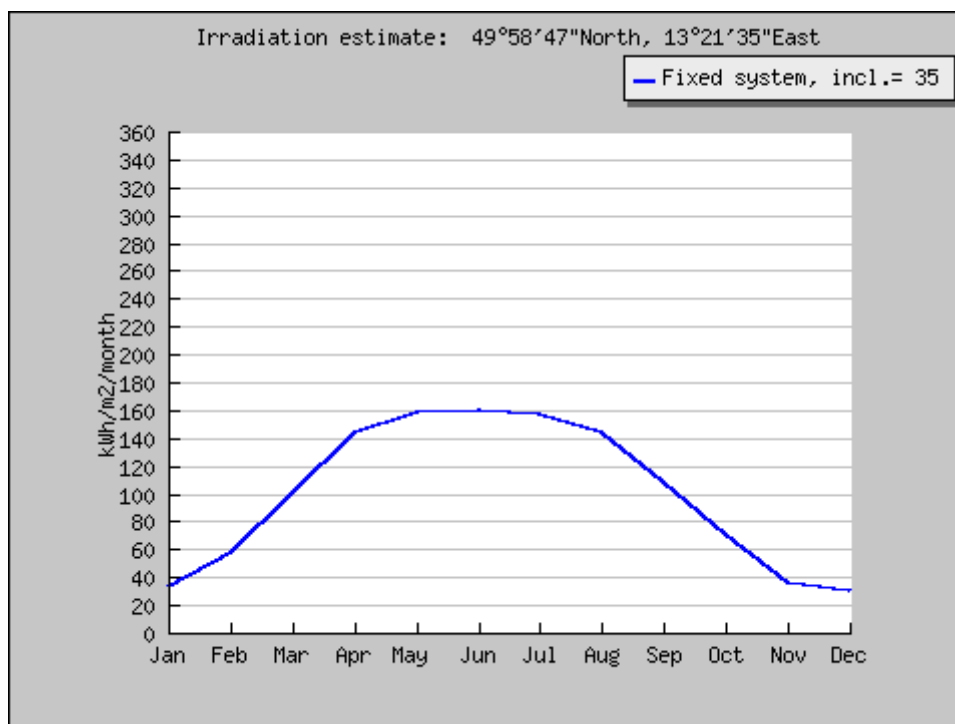
Model	XTS 900-12	XTS 1200-24	XTS 1400-48	XTM 1500-12	XTM 2000-12	XTM 2400-24	XTM 2800-48	XTM 3500-24	XTM 4000-48	XTH 3000-12	XTH 5000-24	XTH 6000-48	XTH 8000-48	
Inverter														
Nominal battery voltage	12V	24V	48V	12V			24V	48V	24V	48V	12V	24V	48V	
Input voltage range	9.5 - 17V	19 - 34V	38 - 68V	9.5 - 17V			19 - 34V	38 - 68V	19 - 34V	38 - 68V	9.5 - 17V	19 - 34V	38 - 68V	
Continuous power @ 25°C	650**/500VA	800**/650VA	900**/750VA	1500VA	2000VA			3000VA	3500VA	2500VA	4500VA	5000VA	7000VA	
Power 30 min. @ 25°C	900**/700VA	1200**/1000VA	1400**/1200VA	1500VA	2000VA	2400VA	2600VA	3500VA	4000VA	3000VA	5000VA	6000VA	8000VA	
Power 5 sec. @ 25°C	2.3kVA	2.5kVA	2.8kVA	3.4kVA	4.8kVA	6kVA	6.5kVA	9kVA	10.5kVA	7.5kVA	12kVA	15kVA	21kVA	
Maximum load	Up to short-circuit													
Maximum asymmetric load	Up to Pcont.													
Load detection (stand-by)	2 to 25 W													
Cos φ	0.14													
Maximum efficiency	93%	93%	93%	93%			94%	95%	94%	96%	93%	94%	96%	
Consumption OFF/Stand-by/ON	1.1W/1.4W/7W	1.2W/1.5W/8W	1.3W/1.6W/8W	1.2W/1.4W/8W	1.2W/1.4W/10W	1.4W/1.6W/9W	1.8W/2W/10W	1.4W/1.6W/12W	1.8W/2.1W/14W	1.2W/1.4W/14W	1.4W/1.8W/18W	1.8W/2.2W/22W	1.9W/2.4W/30W	
Output voltage	Pure sine wave 230Vac (+/- 2%) / 120Vac ⁽¹⁾													
Output frequency	50Hz / 60Hz ⁽¹⁾ +/- 0.05% (crystal controlled)													
Harmonic distortion	<2%													
Overload and short-circuit protection	Automatic disconnection with 3 time restart attempt													
Overheat protection	Warning before shut-off - with automatic restart													
Battery charger														
Charge Characteristic	6 steps: Bulk-Absorption-Floating-Equalization-reduced floating-periodic absorption Number of steps, thresholds, end current and times completely adjustable with the RCC-02/03													
Maximum charging current	35A	25A	12A	70A	100A	55A	30A	90A	50A	160A	140A	100A	120A	
Temperature compensation	With BTS-01 or BSP 500/1200													
Power Factor Correction (PFC)	EN 61000-3-2													
General data														
Input voltage range	XTS 900-12	XTS 1200-24	XTS 1400-48	XTM 1500-12	XTM 2000-12	XTM 2400-24	XTM 2800-48	XTM 3500-24	XTM 4000-48	XTH 3000-12	XTH 5000-24	XTH 6000-48	XTH 8000-48	
Input frequency	150 to 265Vac / 50 to 140VAc (1)													
Input current max. (transfer relay) / Output current max.	16A/20A						50A/6A				50A/8A			
Transfer time	<15ms													
Multifunction contacts	Module ARM-02 with 2 contacts, in option			2 independent contacts (potential free 3 points, 16Aac/5Aac)										
Weight	8.2 kg	9 kg	9.3 kg	15 kg	18.5 kg	162 kg	21.2 kg	22.9 kg	34 kg		40 kg	42 kg	46 kg	
Dimension haxwl [mm]	110x210x310	110x210x310	110x210x310	133x322x466			133x322x466			230x300x500	230x300x500	230x300x500	230x300x500	
Protection index	IP54			IP20										
Conformity	Directive EMC 2004/108/EC : EN 61000-6-1, EN 61000-6-3, EN 55014, EN 55022, EN 61000-3-2, 62040-2 Low voltage directive 2006/95/EC : EN 62040-1-1, EN 50091-2, EN 60950-1													
Operating temperature range	-20 à 55°C													
Relative humidity in operation	100%						95% without condensation							
Ventilation	Optional cooling module ECF-01						Forced from 55°C							
Acoustic level	<40dB / <45dB (without/with ventilation)													
Warranty	5 years													
Accessories														
Remote control RCC-02 or RCC-03	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Module XCOM-23/2i	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Bridge XCOM-MS	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Remote Control Module RCM-10 (3 m)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Communication module TCM-01	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
2 aux. contacts module ARM-02	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Cooling Module ECF-01	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Battery temp. sensor BTS-01 (3 m)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Communication cable for 3 phase / CABRM5-82	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Mounting frame X-Connect	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	

* Adjustable with the RCC-02/03
 ** These features are valid only when using the cooling module ECF-01.
⁽¹⁾ With -01 at the end of the reference, means 120W/60Hz. Available for all Xtenders except XTH 8000-48

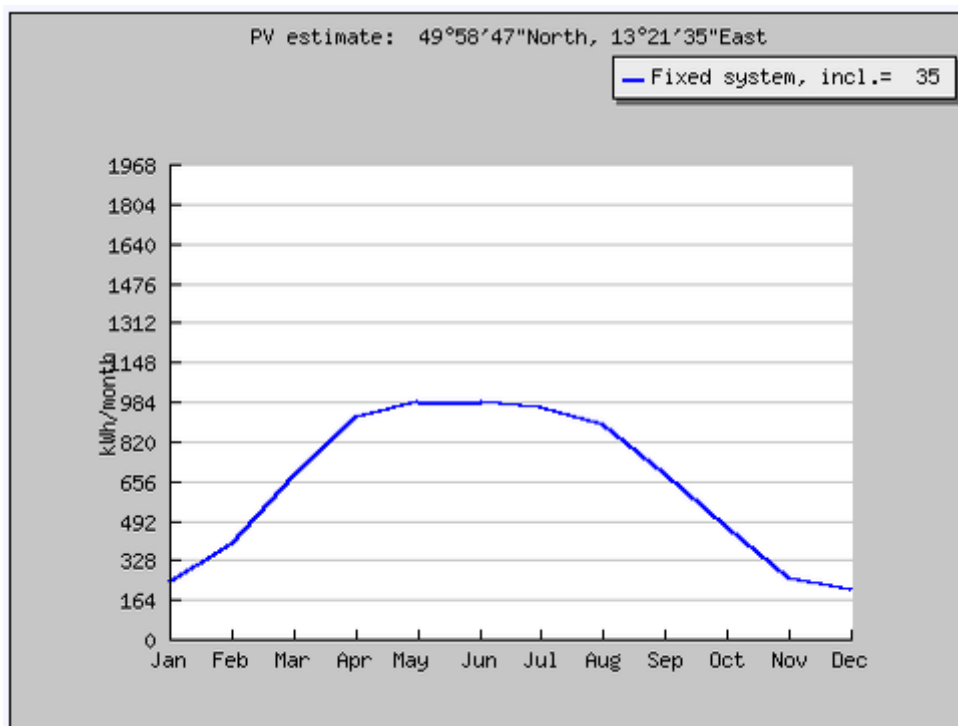
Příloha 17 Charakteristika střídače Studer Innotec XTH 8000-48 [14]

Fixed system: inclination=35°, orientation=40°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	7.61	236	1.07	33.2
Feb	14.10	396	2.04	57.2
Mar	21.80	677	3.24	101
Apr	30.80	924	4.78	143
May	31.80	986	5.09	158
Jun	32.90	987	5.34	160
Jul	31.00	961	5.07	157
Aug	28.70	889	4.66	144
Sep	22.90	688	3.60	108
Oct	15.10	468	2.28	70.7
Nov	8.29	249	1.20	36.1
Dec	6.68	207	0.95	29.6
Yearly average	21.0	639	3.28	99.8
Total for year		7670		1200

Příloha 18 Charakteristické hodnoty návrhu systému [9]



Příloha 19 Graf dopadající energie na nakloněnou rovinu panelů [9]



Příloha 20 Graf vyrobené elektrické energie v jednotlivých měsících [9]

Název produktu		EASY 24		EASY Aku 8		
Cena silové elektřiny						
Vysoký tarif	Kč/kWh	1,392 (1,150)		1,815 (1,500)		
Nízký tarif	Kč/kWh	-		0,992 (0,820)		
Pevná cena za odběrné místo*	Kč/měsíc	27,83 (23,00)		27,83 (23,00)		
Daň z elektřiny						
Cena za daň z elektřiny	Kč/kWh	0,034 (0,028300)	0,034 (0,028300)	0,034 (0,028300)	0,034 (0,028300)	0,034 (0,028300)
Regulované platby za distribuci elektřiny**						
Distribuční sazba		D01d	D02d	D25d	D26d	D27d
Cena za odběr VT	Kč/kWh	2,6853288 (2,219280)	2,009527 (1,660870)	2,096353 (1,731930)	0,7020783 (0,580230)	2,096353 (1,731930)
Cena za odběr NT	Kč/kWh	-	-	0,0440198 (0,036380)	0,0440198 (0,036380)	0,0440198 (0,036380)
Ostatní služby						
Cena za systémové služby	Kč/kWh	0,144293 (0,119250)	0,144293 (0,119250)	0,144293 (0,119250)	0,144293 (0,119250)	0,144293 (0,119250)
Cena na podporu elektřiny z OZE a KVET	Kč/kWh	0,598950 (0,495000)	0,598950 (0,495000)	0,598950 (0,495000)	0,598950 (0,495000)	0,598950 (0,495000)
Cena za činnost zúčtování OTE	Kč/kWh	0,009136 (0,007550)	0,009136 (0,007550)	0,009136 (0,007550)	0,009136 (0,007550)	0,009136 (0,007550)
Měsíční plat za přiklon podle velikosti hlavního jističe před elektron						
Jistič do 3x10 A nebo do 1x25 A včetně	Kč/měsíc	7,26 (6,00)	32,67 (27,00)	50,82 (42,00)	98,01 (81,00)	50,82 (42,00)
Jistič nad 3x10 A do 3x16 A včetně	Kč/měsíc	12,10 (10,00)	52,03 (43,00)	81,07 (67,00)	157,30 (130,00)	81,07 (67,00)
Jistič nad 3x16 A do 3x20 A včetně	Kč/měsíc	14,52 (12,00)	65,34 (54,00)	101,64 (84,00)	195,02 (162,00)	101,64 (84,00)
Jistič nad 3x20 A do 3x25 A včetně	Kč/měsíc	18,15 (15,00)	82,28 (68,00)	127,05 (105,00)	245,63 (203,00)	127,05 (105,00)
Jistič nad 3x25 A do 3x32 A včetně	Kč/měsíc	22,99 (19,00)	104,06 (86,00)	162,14 (134,00)	313,39 (259,00)	162,14 (134,00)
Jistič nad 3x32 A do 3x40 A včetně	Kč/měsíc	29,04 (24,00)	130,68 (108,00)	203,28 (168,00)	392,04 (324,00)	203,28 (168,00)
Jistič nad 3x40 A do 3x50 A včetně	Kč/měsíc	36,30 (30,00)	163,35 (135,00)	254,10 (210,00)	490,05 (405,00)	254,10 (210,00)
Jistič nad 3x50 A do 3x63 A včetně	Kč/měsíc	45,98 (38,00)	205,70 (170,00)	320,65 (265,00)	617,10 (510,00)	320,65 (265,00)
Jistič nad 3x63 A za každou 1 A	Kč/měsíc	0,73 (0,60)	3,27 (2,70)	5,08 (4,20)	9,80 (8,10)	5,08 (4,20)
Jistič nad 1x25 A za každou 1 A	Kč/měsíc	0,24 (0,20)	1,09 (0,90)	1,69 (1,40)	3,27 (2,70)	1,69 (1,40)
Souhrnná cena elektřiny						
Cena ve vysokém tarifu	Kč/kWh	4,6634498 (3,919380)	4,1877737 (3,460970)	4,6972563 (3,882030)	3,3036993 (2,730330)	4,6972563 (3,882030)
Cena v nízkém tarifu	Kč/kWh	-	-	1,8228408 (1,506480)	1,8228408 (1,506480)	1,8228408 (1,506480)

Příloha 21 Ceník elektrické energie pro domácnosti [14]