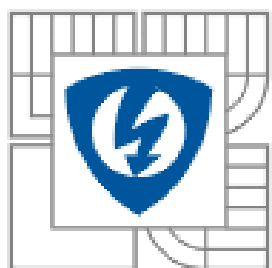


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

RŮZNÉ ZPŮSOBY VYUŽITÍ SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ PRO VÝROBU ELEKTRICKÉ ENERGIE

Different way how to use solar radiation for the electric energy production

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PETR OBADAL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

BRNO 2011

Licenční smlouva poskytovaná k výkonu práva užít školní dílo

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Petr Obadal
Bytem: Lidečko 334, Lidečko, 75615
Narozen/a (datum a místo): 15. 8. 1984, Zlín

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Technická 3058/10, 61600 Brno
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
Prof. Ing. Jiří Kazelle, CSc.
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1 Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):
- disertační práce
 - diplomová práce
 - bakalářská práce
 - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Různé způsoby využití slunečního záření pro výrobu elektrické energie
Vedoucí/ školitel VŠKP: doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.
Ústav: Ústav elektrotechnologie
Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- tištěné formě – počet exemplářů 2
- elektronické formě – počet exemplářů 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 26. 5. 2011

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Abstrakt:

Tato práce řeší problematiku využití sluneční energie konverzí na elektrickou energii. V práci je podrobnějším způsobem rozebráno několik způsobů konverze. Především jsem se zaměřil na fotovoltaickou přeměnu a také termální přeměnu sluneční energie s využitím parních turbin pro výrobu energie. V následujících částech se zaměřuji na problematiku fotovoltaiky, fotovoltaické systémy, dále pak na termální sluneční elektrárny, jejich instalace a využití.

Abstract: (EN)

The thesis deals with the problem of potential use of solar energy through the conversion into electric energy. The thesis analyses in great detail several types of conversion. My special concern included photovoltaic conversion and thermal conversion of solar energy using steam turbines for energy production. In the subsequent parts, I focus on the problem of photovoltaic, photovoltaic systems, and solar thermal power plants, their installation and use.

Klíčová slova:

Fotovoltaický jev, účinnost fotovoltaického článku, termální sluneční elektrárny, turbína, seebeckův jev, termoelektrický generátor

Keywords:

Photovoltaics effect, effectivity photovoltaics part, thermal solar power, turbine, seebeck effect, thermoelectric generator

Bibliografická citace díla:

OBADAL, P. *Různé způsoby využití slunečního záření pro výrobu elektrické energie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 54 s. Vedoucí semestrálního projektu doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla:

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 26. května 2011

.....
podpis autora

Poděkování:

Chci zde vyjádřit své poděkování za poskytnutí pomoci, cenných rad a informací při vypracování semestrálního projektu svému konzultantovi doc. Ing. Jiřímu Vaňkovi, Ph.D.

V Brně dne 26. května 2011

.....
podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	7
2	FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY	8
2.1	<i>Princip funkce fotovoltaického článku</i>	8
2.2	<i>Spektrální citlivost a účinnost fotovoltaického článku</i>	8
2.3	<i>Typy fotovoltaických článků, výroba</i>	11
3	FOTOVOLTAICKÉ PANELE A PŘÍSLUŠENSTVÍ	14
4	SYSTÉMY	15
4.1	<i>Systémy GRID-OFF – „Ostrovní systém“</i>	15
4.2	<i>Systémy GRID-ON – Připojení do elektrické rozvodné sítě</i>	17
4.3	<i>Hybridní systém</i>	18
5	ZVYŠOVÁNÍ ÚČINNOSTI FOTOVOLTAICKÝCH MODULŮ	19
6	VYUŽITÍ SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ PRO VÝROBU ELEKTRICKÉ ENERGIE – TEPELNÉ ZÁŘENÍ	21
6.1	<i>Žlabový parabolický koncentrátor</i>	22
6.2	<i>Parabolický nebo rovinný bodový koncentrátor</i>	23
6.3	<i>Komínová solární elektrárna</i>	26
7	GENERÁTORY ELEKTRICKÉ ENERGIE	28
7.1	<i>Mechanické rotační generátory</i>	28
7.2	<i>Termoelektrické generátory</i>	29
8	PRAKTICKÁ ČÁST – SESTAVENÍ PARABOLICKÉHO KONCENTRÁTORU ..	32
8.1	<i>Části parabolického koncentrátoru</i>	32
8.2	<i>Materiály a fyzikální vlastnosti</i>	34
8.3	<i>Výpočty teoretických hodnot parametrů jednotlivých typů zdrojů</i>	36
8.4	<i>Výsledky měření provedené na modelu koncentrátoru a porovnání</i>	37
9	ZÁVĚR	48
10	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	49
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	51
	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ A TABULEK	53
	MĚŘÍCÍ PŘÍPRAVKY, POMŮCKY, NÁSTROJE	54
	PŘÍLOHY	54

1 Úvod

Slunce, naše nejbližší hvězda, k nám každou sekundu vyzáří obrovské množství energie. Výkon Slunce je spočítán asi na $P_s = 3,91 \times 10^{26}$ W. Kromě širokého spektra světelného záření ve formě kvazi-částic „fotonů“ k nám slunce ve formě slunečního větru vyšle rychlostí menší, než je rychlost světla různě (kladně i záporně) nabitě částice jako jsou například vyvržené α , β částice kladně i záporně nabitě Ionty interagující s magnetickým polem Země, neutrální neutrony, neutrina a další vysokoenergetické částice (mezony, baryony, kvarky...). Nabitě částice jsou odkloněny zemským magnetickým polem, které působí jako štít proti dopadajícím částicím, spektrum světelného záření je částečně „filtrováno“ zemskou atmosférou a část jej dopadá na zemský povrch. Část elektromagnetického spektra záření je odražena, část je filtrována (například UV záření) a část prochází atmosférou a dopadá na zemský povrch.

Právě dopadají spektrum slunečního záření nás pro fotovoltaiku i pro termální sluneční elektrárny zajímá. Dopadající záření není rovnoměrné po celém povrchu země. Záleží především na roční době (tedy poloze Země při oběhu kolem Slunce), sklonu zemské osy a dalších faktorech.

Fosilní paliva a tedy i zdroje především elektrické energie pomalu, ale jistě docházejí. Proto se hledají různé formy energetických obnovitelných zdrojů, mezi něž se řadí také sluneční zdroje (fotovoltaika a sluneční termální elektrárny). Jejich význam je hlavně v tom, že Slunce je na dlouhou dobu (řádově miliardy let) nevyčerpatelným zdrojem energie, který by měl být využit, jelikož na zemský povrch dopadá několiksetkrát více energie, než kterou lidstvo využívá. Samozřejmě je pro různé typy slunečních elektráren nejvýhodnější jiná geografická poloha vzhledem ke klimatickým podmínkám, terénu, intenzitě a složení dopadajícího záření.

V této práci tedy provedu srovnání fotovoltaických elektráren, jejich výkonu, rozlohy, shrnu všechny typy instalací, výhody a nevýhody, naproti tomu totéž provedu se slunečními – termálními elektrárnami, které využívají i „tepelnou - IR“ složku slunečního záření.

2 Fotovoltaické články

Fotovoltaický článek využívá přímé přeměny elektromagnetického záření na elektrickou energii. Dochází tak díky fotoelektrickému jevu, který poprvé pospal Albert Einstein.

2.1 Princip funkce fotovoltaického článku

Fotovoltaický článek využívá fotoelektrického jevu. Tento jev vzniká při vzájemné interakci elektromagnetického záření a hmoty, při němž dochází k pohlcování kvazi-částic světla „fotonů“ hmotou a následným uvolněním elektronů (a vzniku děr) do vodivostního pásu atomu. Ty pak mohou protékat elektrickým obvodem.

Vztahy potřebné k výpočtu energie fotonu v závislosti na vlnové délce λ a frekvenci ν

$$E_f = h \times \nu \text{ [eV]}, \quad \nu = \frac{c}{\lambda} \text{ [eV]}, \quad \lambda = \frac{c}{\nu} \text{ [m]} \quad (1.1)$$

Kde:

E_f energie fotonu [eV]

h planckova konstanta $h = 6,626068 \times 10^{-34}$ [J.s], $h = 4,135667 \times 10^{-15}$ [eV.s]

ν frekvence fotonu [Hz]

c rychlost šíření světla ve vakuu $c = 2,998 \times 10^8$ [m.s⁻¹]

λ vlnová délka daného typu záření [m]

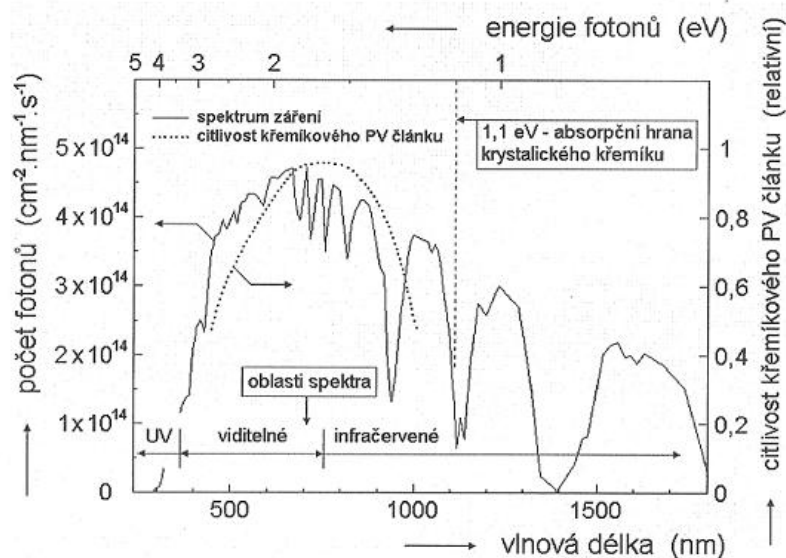
Fotovoltaický článek je v podstatě velkoplošná dioda tvořená PN přechodem. Na rozhraní typu P a N materiálu vzniká přechodová vrstva PN, ve které existuje elektrické pole určité intenzity. Toto pole způsobuje pohyb volných nosičů náboje, které vznikají při absorpci elektromagnetického záření.

Ve fotovoltaickém článku, který je vystaven působením fotonů o určité vlnové délce, jsou generovány elektricky nabitě částice (pár elektron – díra). Elektrony jsou poté separovány působením vnitřního elektrického pole PN přechodu. Zátěží připojenou mezi kladný a záporný pól fotovoltaického článku, protéká stejnosměrný elektrický proud. Protékající proud je přímo úměrný ploše fotovoltaického článku, intenzitě a vlnové délce dopadajícího světla.

2.2 Spektrální citlivost a účinnost fotovoltaického článku

Spektrální citlivost fotovoltaického článku přímo souvisí se spektrem (složením) dopadajícího elektromagnetického záření. Citlivost je přímo určena šířkou zakázaného pásu daného polovodiče, v nejčastějších případech mono, polykrystalického křemíku. Šířka zakázaného pásu křemíku (Si) je $E_g = 1,1$ eV. Fotony, které mají energii menší, než je šířka zakázaného pásu polovodiče, projdou polovodičem, fotony, které mají energii větší, než je

šířka zakázaného pásu, jsou pohlcovány. Dochází k excitaci elektronů přes zakázaný pás, vzniku volných vodivostních elektronů a děr. Pokud dojde k interakci fotonů, které mají velmi vysokou energii, dojde také k excitaci elektronů přes zakázaný pás do vyšších hladin vodivostních pásů, ovšem elektrony se snaží umístit co nejbliže k zakázanému pásu. Jejich energie je větší, než energie elektronů na nejnižším vodivostním orbitalu, proto rozdíl energie elektronu, který absorboval elektromagnetické záření s vysokou energií (modrá a UV oblast) je přeměněna na fonony (tepelné kmity) atomu nebo krystalové mříže.



Obr. 1: Spektrální citlivost fotovoltaického článku – monokrystalický křemík [1]

Barva	Vlnová délka	Frekvence
červená	~ 625 až 740 nm	~ 480 až 405 THz
oranžová	~ 590 až 625 nm	~ 510 až 480 THz
žlutá	~ 565 až 590 nm	~ 530 až 510 THz
zelená	~ 520 až 565 nm	~ 580 až 530 THz
azurová	~ 500 až 520 nm	~ 600 až 580 THz
modrá	~ 430 až 500 nm	~ 700 až 600 THz
fialová	~ 380 až 430 nm	~ 790 až 700 THz

Obr. 2: Přehled spekter záření – vlnové délky a frekvence dle citlivosti fotovoltaického článku [7]

Účinnost fotovoltaického článku je číselná srovnávací hodnota, vypočítaná jako poměr mezi intenzitou dopadajícího záření – energií fotonů dopadajících na fotovoltaický článek [W/m^2] a energií přeměněnou fotovoltaickým článkem [W]. Standartní testovací podmínky pro stanovení například VA charakteristiky jsou:

- celková energie dopadajícího elektromagnetického záření ve formě fotonů $1000[\text{W}/\text{m}^2]$
- spectrum záření AM 1,5 G (v ČR a střední Evropě)
- teplota fotovoltaického článku $25[^\circ\text{C}]$

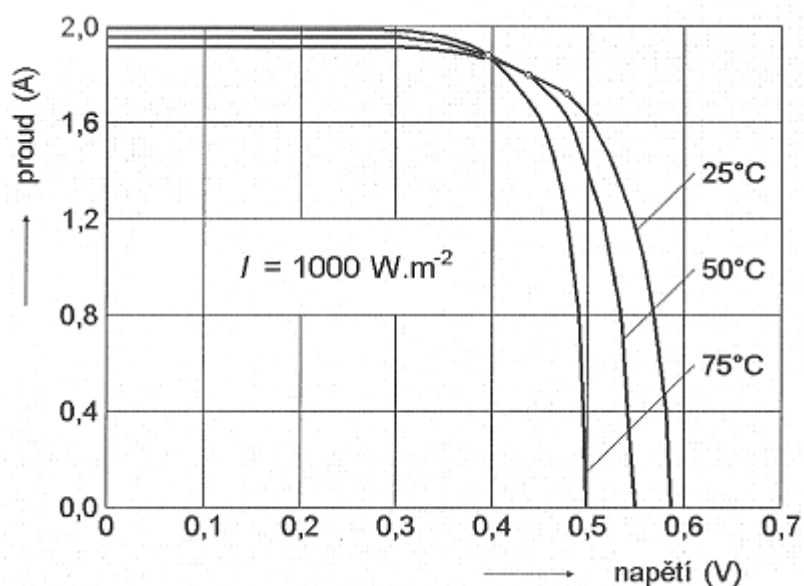
$$\eta = \frac{P'}{P} \times 100 [\%] \quad (1.2)$$

Kde:

ηúčinnost [%]

P'získaná energie (výkon) [W]

Pintenzita záření (dodaný výkon) [W]



Obr. 3: V/A charakteristika fotovoltaického článku při intenzitě záření $I = 1000 \text{ W.m}^{-2}$ a teplotě 25°C , 50°C a 75°C [4]

2.3 Typy fotovoltaických článků, výroba

Fotovoltaické články můžeme rozdělit do několika skupin například na organické a anorganické, pevné – ohebné, barvivové – polovodičové. Dnes nejvíce užívané a sériově vyráběné jsou články anorganické, kde aktivní hmotu tvoří křemík (Si).

Dělí se na:

- a) amorfni
- b) polykrystalické
- c) monokrystalické

Amorfni fotovoltaické články

Proces výroby je založen na rozkladu vhodných sloučenin křemíku (silanu nebo dichlorsilanu) ve vodíkové atmosféře. Tímto způsobem se dají vyrobit velmi tenké vrstvy křemíku na skleněné, kovové nebo plastové podložce. Nanesená vrstva křemíku je amorfni. To znamená, že nemá pravidelnou krystalickou strukturu a obsahuje určité množství vodíku. Skládá se z více vrstev, které jsou dopovány dopanty typu P a typu N a také obsahují sběrné elektronové kontakty pro připojení do elektrického okruhu.

Polykrystalické

Technologie výroby se liší jen výrobou základního křemíku - waferu. Ten je na rozdíl od monokrystalu vyráběn tak, že je základní materiál - křemík- roztaven přímo, naléván do formy a ochlazován. Následuje řezání Ingotu na wafery a difundování PN vrstvami. Následně jsou vytvářeny sběrné kontakty.

Monokrystalické

Jedná se zatím o nejúčinnější jedno-přechodové fotovoltaické články. Vyrábějí se z monokrystalického křemíku o různých rozměrech, typickým rozměrem o velikost cca 120×120mm.

Výroba základního materiálu: výroba tzv. Czochralskeho procesem. Základem je krystal křemíku. Ten je umístěn v nádobě, do které se přimíchá další křemík a při vysoké teplotě a tlaku se nechá růst monokrystal křemíku. Následně dochází buď k vytažení monokrystalu křemíku ve formě tyče, která je následně opracována například řezáním, nebo přímo protahováním částečně ztuhlého křemíku tenkými děrami a vytváření tak křemíkových pásků, které jsou následně také rozřezány.

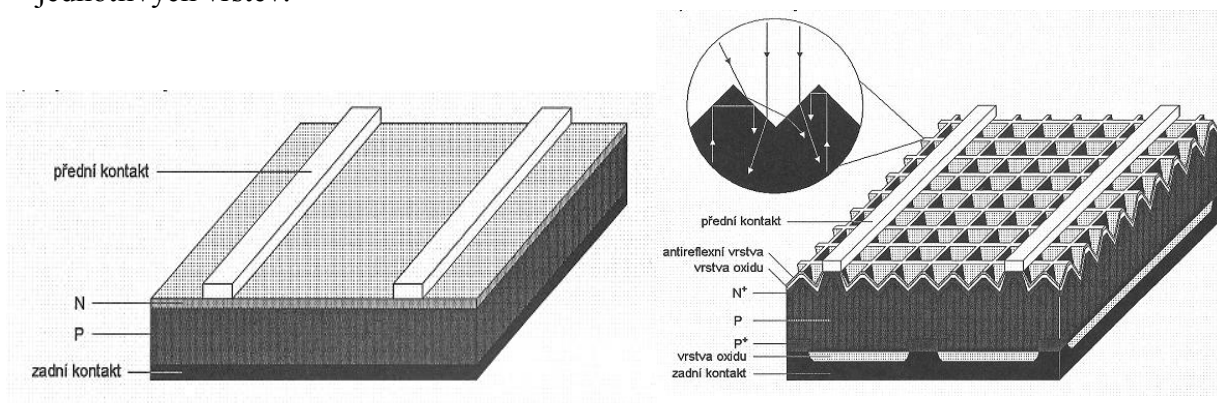
Výroba FV článků:

Na nařezaný základní materiál - křemíkový wafer- je difúzní metodou z jedné strany nanесena P-vrstva a ze strany druhé N-vrstva. Tím vzniká polovodičový PN přechod. Následně jsou metodou síťotisku nanесeny sběrné vodiče (Ag, Al, Sn)

Úpravy křemíkových waferů

Základní materiál – polykrystalický nebo monokrystalický křemíkový plátek o rozměrech 105×105 mm, 125×125 mm nebo 156×156 mm se většinou ještě upravuje.

Jedním ze základních způsobů úpravy je ponoření do leptací lázně. Tím se docílí odstranění nečistot povrchu waferu a vytváří se textura pro snížení reflexe. Zvětší se tak počet styčných ploch (aktivní plochy) fotovoltaického článku. Následuje proces nanášení (difúzí) jednotlivých vrstev.



Obr. 4: Schéma polovodičového jednoduchého (vlevo) fotovoltaického článku a článku s vysokou účinností (vpravo) [4]

Dalším procesem vedoucím k částečnému zvýšení účinnosti je napařením tenké vrstvičky oxidu titanu. Tato vrstva působí jako antireflexní a dokáže zvýšit účinnost fotovoltaického článku v řádech jednotek %. Díky ní také získá fotovoltaický článek svůj tmavo-modrý vzhled.

Další typy fotovoltaických článků:

Fotovoltaické články z vodivých polymerů

Jedná se o určitou analogii s fotovoltaickými články s PN přechodem. Jsou zde přítomny vodivé polymerní molekuly, z nichž jedna má elektron-akceptorové vlastnosti a druhá elektron-donorové vlastnosti. Za určitých podmínek dojde k pohlcení fotonu a vzniku vázaného páru elektron-díra.

Ga-As fotovoltaické články

Jedná se o tenkovrstvé články, které se dají přizpůsobit různým potřebám. Dá se u nich měnit poměr Ga/As a dají se použít doplňující prvky – Al, P, Sb, In. Mají vysokou absorpci záření. Nevýhodou je u galia to, že je vzácný a arsen je jedovatý prvek.

Fotovoltaické články s organickým barvivem

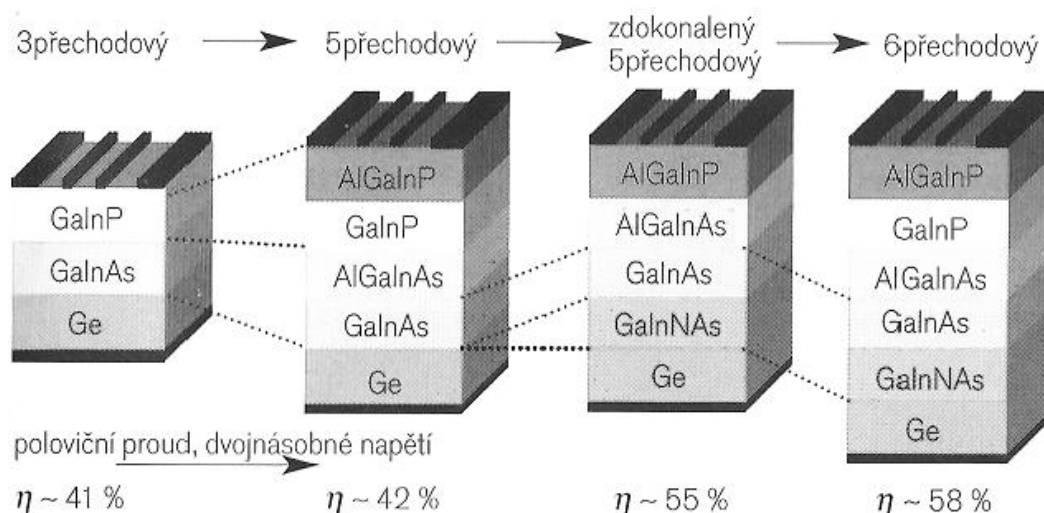
Tento typ článků se skládá z vysoce porézního a jemného TiO_2 v němž je nasáknut roztok elektrolytu obsahující například jód a vhodné barvivo. Barvivo zachycením fotonu vytvoří excitovaný stav a elektron interaguje s TiO_2 . Elektron proteče strukturu TiO_2 na průhlednou elektrodu a je odveden do vnějšího okruhu. Druhou elektrodu tvoří platina.

Tenkovrstvé fotovoltaické články

Fotoaktivní polovodič je nanesen v tenké vrstvě na libovolný podklad - většinou sklo. Nejčastěji používané polovodiče jsou amorfni křemík, CIS (cooper-indium-diselenide) nebo Cd-Te. Díky této technologii mohou být nanесeny vrstvy v řádech mikrometrů, což vede ke snížení spotřeby materiálu.

Více-přechodové fotovoltaické články (multi-junctions)

Pokud má fotovoltaický článek pouze jeden PN přechod, potom jeho účinnost závisí na tom, jakou část spektra záření může využít. Část spektra je přeměněna na elektrický proud a část na teplo. Více přechodové fotovoltaické články využívají více PN přechodů, vrstvených na sebe, přičemž každý z přechodů má jinou šíři zakázaného pásu (eV) a tudíž každý přechod je citlivý na jiné spektrum záření. Jako materiál se pro jednotlivé vrstvy používají sloučeniny prků III. a V. skupiny například InP, GaSb, GaAs.



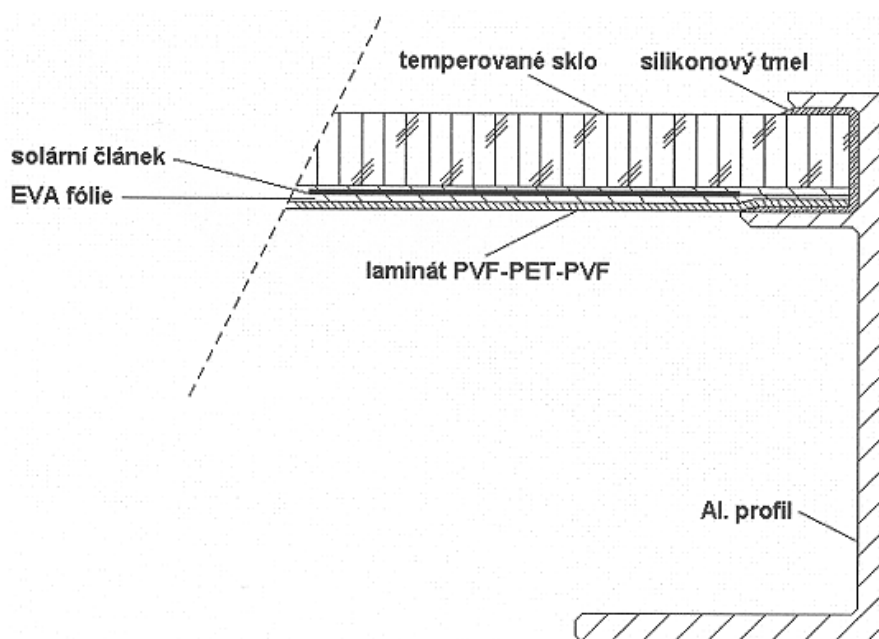
Obr. 5: Znázornění struktury více přechodových (multi-junctions) fotovoltaických článků [1]

3 Fotovoltaické panely a příslušenství

Fotovoltaické články používané v současné době jsou relativně drahé, komplikované a citlivé struktury. Proto se musí chránit účinným způsobem před povětrnostními podmínkami, korozi a mechanickým poškozením tak, aby co nejlépe plnily svoji funkci. Fotovoltaické články se v panelu zapojují sériově, paralelně, nebo serio-paralelně do tzv. fotovoltaických panelů či baterií. V panelech se používají jak monokrystalické, tak i polykrystalické fotovoltaické články, ve vakuu laminovaná EVA (Ethylen-vinyl-acetát) fólie, sklo (kalené) nebo Tedlar (fluoropolymer odolný vůči UV záření) a osazený v pevném odolném rámu z oceli nebo hliníkové slitiny.

Menší fotovoltaické panely, nebo aplikace, které využívají řezy fotovoltaických článků, se mohou zalévat do epoxidové pryskyřice. Musí se však jednat o vysoce průzračnou, UV odolnou pryskyřici, aby nedocházelo k omezení záření a taky reakci struktury pryskyřice vlivem působení UV záření po delší dobu.

Fotovoltaický panel se skládá většinou z několika vrstev. Počet vrstev je dán výrobním procesem té, či oné firmy.



Obr. 6: Řez fotovoltaickým panelem s hliníkovým profilem [4]

Temperované a strukturované sklo:

Z důvodu zlepšení dopadu slunečního záření (úhlu dopadu) se nyní začíná využívat nové technologie skel. Skla jsou strukturovaná tak, aby dopadající světlo bylo lámáno pod určitými úhly a co nejvíce dopadalo na fotovoltaické články. Tím se sice nedosáhne vyšší okamžité účinnosti fotovoltaické přeměny, nicméně dosáhneme zvýšení celodenního výkonu fotovoltaického panelu.

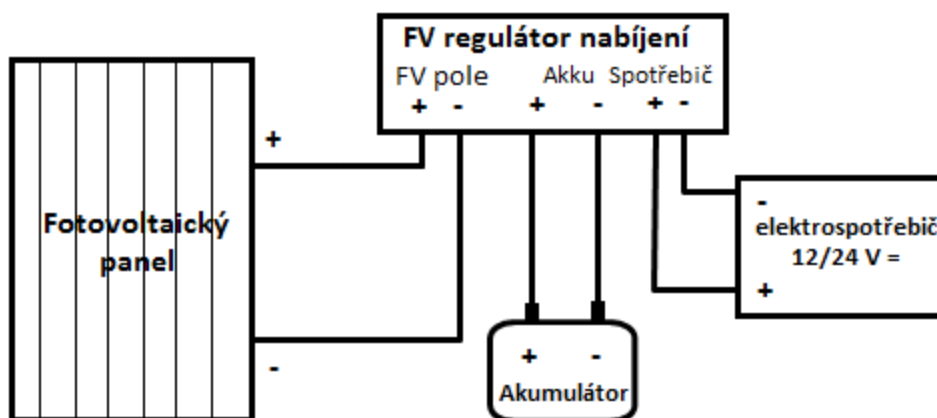
4 Systémy

Systémy se zpravidla rozdělují do 3 skupin:

- Systémy, které jsou připojeny do rozvodné sítě Grid-on
- Systémy, které nejsou připojeny do rozvodné sítě Grid-off
- Systémy hybridní

Variant těchto systémů je více. Mohou se používat systémy hybridní, které se skládají se systému Grid-off, ale obsahují ještě regulátor nabíjení a také nutné akumulátory. Také v hybridních systémech může být použit kromě fotovoltaických panelů i jiný zdroj elektrické energie (větrný zdroj, palivový – vodíkový článek).

4.1 Systémy GRID-OFF – „Ostrovní systém“



Obr. 7: Schéma zapojení fotovoltaického systému typu Grid-OFF [10]

Ostrovní systém se nazývá systém zapojení, který není připojen do vnější elektrické rozvodné sítě. Tento systém bývá vytvářen zpravidla tam, kde není přístup k elektrické síti, nebo zavádění elektrické sítě by bylo příliš nákladné. Používá se například na chatách, domech, ostrovních obydlích, nebo jen tam, kde je potřeba elektrické energie – například pro čerpání vody v odlehlých oblastech nebo pro napájení různých elektronických zařízení.

Energie vyrobená fotovoltaickým panelem, nebo polem fotovoltaických panelů je využívána pro napájení spotřebičů 12V nebo 24V, nebo proudí do měniče, kde je transformována a jsou s ní napájeny ostatní spotřebiče. Přebytková energie je pomocí regulátoru nabíjení ukládána v akumulátoru (akumulátorech), ze kterých může být v případě potřeby znovu čerpána.

Ostrovní systém je zpravidla tvořen:

- a) Fotovoltaickými panely – ten zajišťuje ve dne přísun elektrické energie
- b) Regulátorem nabíjení - zajišťuje bezproblémové, účinné a šetrné nabíjení, má již integrovanou ochrannou diodu
- c) Akumulátorem – zajišťuje uskladňování elektrické energie, která je následně použita v noci, nebo v případě špatného počasí
- d) Měníčem napětí – používá se tam, kde je nutné změnit 12V nebo 24V na 230V $\pm 10\%$ 50Hz
- e) Spotřebiči – můžou to být 12V nebo 24V spotřebiče nebo pomocí měniče také 230V spotřebiče

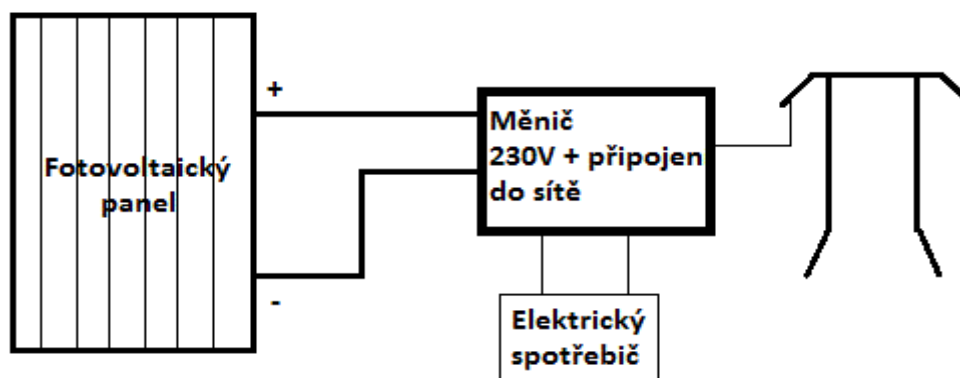
Výhody:

- Tento typ systému může být použit v odlehlých lokalitách bez přístupu k elektrické energii a zároveň je jednoduchý na provoz
- Dotace
- Životní prostředí
- Instalace zařízení na špatně dostupná místa

Nevýhody:

- Stále vysoká pořizovací cena vzhledem k účinnosti solárních panelů

4.2 Systémy GRID-ON – Připojení do elektrické rozvodné sítě



Obr. 8: Schéma zapojení fotovoltaického systému typu Grid-ON [10]

Systém nazývaný Grid-ON je systém fotovoltaických panelů a měniče elektrického napětí. Veškerá energie přeměněná ve fotovoltaických panelech je konvertovaná na 230V a následně připojena prostřednictvím měniče (1 nebo 3 fázového) do elektrické rozvodné sítě. Moderní měniče elektrického napětí mají účinnost vyšší než 90% (závisí na výkonu a aktuálních podmínkách). Také se sami „nafázují“ se sítí a při poklesu napětí se automaticky z bezpečnostních důvodů odpojí. Většina měničů obsahuje také datový výstup, díky kterému je možné na počítači nebo display sledovat různé hodnoty.

Tento typ systému je vhodný zejména pro velké fotovoltaické elektrárny například na polích, kde je vyrobená elektrická energie rozváděna do elektrické sítě a následně vykupována za výkupní ceny.

Grid-ON systém je zpravidla tvořen:

- Fotovoltaickými panely
- Měničem (střídačem) 1, nebo 3 fázovým
- Měnič s výstupem pro elektrické spotřebiče - 230V \pm 10%, 50Hz, výstup pro napájení „Sledovačů slunce“ - Traxlerů

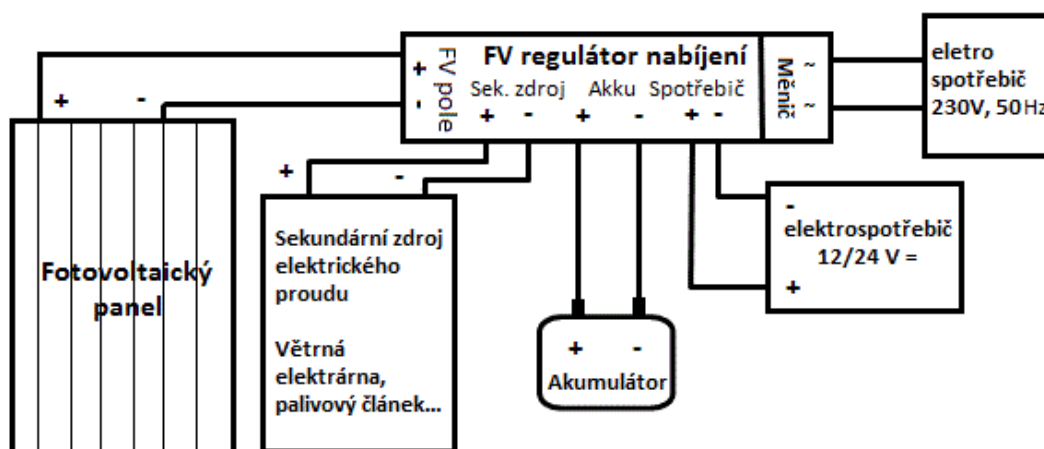
Výhody:

- Okamžitá dodávka elektrické energie do rozvodné sítě
- Výkupní ceny, životní prostředí

Nevýhody:

- Vysoká pořizovací cena, velká rozloha (souvisí s účinností)
- V době špatných klimatických podmínek – nutná dodávka elektrické energie z rozvodné sítě do domácností (black-outy)

4.3 Hybridní systém



Obr. 9: Schéma zapojení fotovoltaického hybridního systému [10]

Hybridní fotovoltaický systém využívá i dalších zdrojů elektrické energie. Může být použit libovolně s možností připojení do vnější elektrické sítě. Jeho předností je to, že prakticky nedojde k výpadku elektrické energie, protože zde použitý akumulátor obstará energii i v případě výpadku elektřiny ve vnější síti nebo v noci, kdy jsou solární panely neúčinné. Naopak pokud je vybitý akumulátor, můžeme čerpat energii z vnější sítě.

Hybridní systém je tvořen:

- Fotovoltaickým panelem - ten zajišťuje ve dne přísun elektrické energie
- Regulátorem nabíjení - zajišťuje bezproblémové, účinné a šetrné nabíjení, má již integrovanou ochrannou diodu
- Akumulátorem – zajišťuje uskladňování elektrické energie, která je následně použita v noci, nebo v případě špatného počasí
- Měníčem napětí – používá se tam, kde je nutné změnit 12V nebo 24V na 230V $\pm 10\%$ 50Hz a připojením do elektrické rozvodné sítě
- Spotřebiči – mohou to být 12V nebo 24V spotřebiče nebo pomocí měniče také 230V spotřebiče
- Může být doplněn o přídatný záložní generátor, například palivový generátor nebo například větrnou elektrárnu.

Výhody:

- Kombinuje výhody obou dvou předchozích systémů
- Pokud pracuje přesně a spolehlivě, jedná se o nejlepší variantu solárního systému

Nevýhody:

- Vysoké pořizovací náklady, které se kumulují s množstvím zapojovaných přístrojů
- Náročnější na údržbu, vyšší počet aktivních prvků – vyšší pravděpodobnost poruchy

5 Zvyšování účinnosti fotovoltaických modulů

Existuje několik způsobů, jak zvýšit účinnost, respektive výkon fotovoltaických panelů. Většina těchto řešení má své zjevné výhody, ale samozřejmě také nevýhody. Níže uvedu několik možností, jak navýšení dosáhnout.

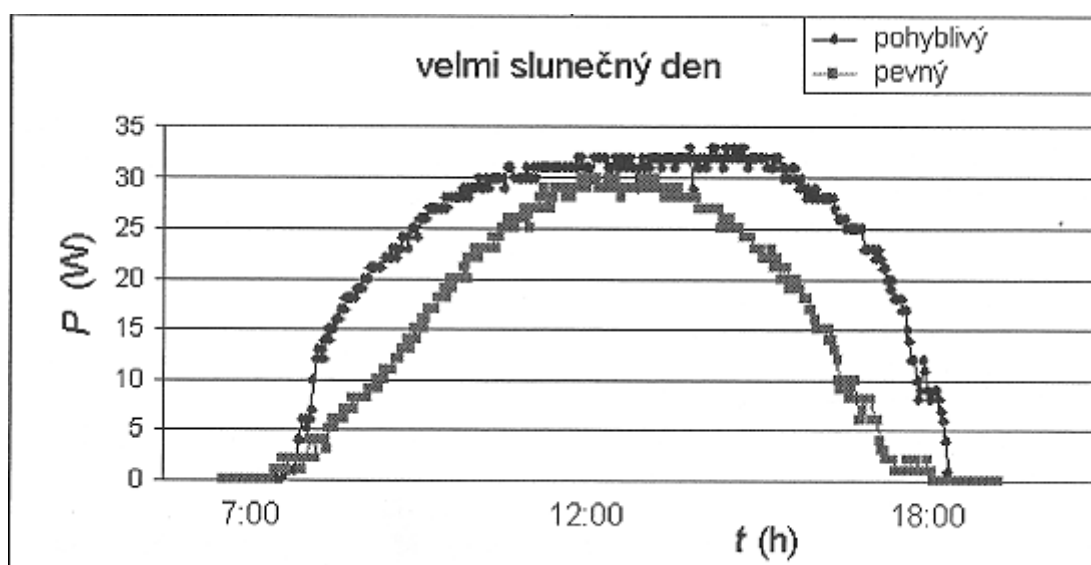
1) Fotovoltaické systémy s pohyblivým stojanem

Této problematice se v poslední době věnuje značná pozornost, jelikož lze tímto způsobem značně zvýšit efektivitu solárního systému.

Pokud je fotovoltaický panel umístěn na pevné konstrukci i v ideální zeměpisné poloze, dopadá na něj sluneční záření, jehož intenzita odpovídá ročnímu období, ale hlavně denní době. Panel není schopen kopírovat trajektorii slunce tak, aby splňoval ideální úhel dopadu slunečního záření na aktivní plochu fotovoltaických modulů.

Pokud však použijeme konstrukci, která je schopná (pomocí motorů) sledovat trajektorii slunce od rána do večera, značně zvýšíme výkon (denní) solárního systému. Sledovač natáčí panely tak, aby svíraly ideální úhel s dopadajícím zářením po dobu svitu Slunce.

Samozřejmě, jako u každého systému, z něj plynou výhody a nevýhody. Mezi výhody samozřejmě patří značné zvýšení celkové účinnosti solárního systému (viz obr. 9), Mezi nevýhody patří výdaje do pohyblivé nosné konstrukce, dodatečné náklady s umístěním a zabudováním (zabetonováním) konstrukce, rozměry (pracovní plocha konstrukce) a samozřejmě energie potřebná na provoz natáčecích motorů a elektroniky.



Obr. 10: Srovnání denního výkonu FV panelu na pohyblivém stojanu a pevném stojanu. [4]

2) Koncentrátory záření

Koncentrátory záření patří také k jednomu ze způsobů, jak zvýšit výkon fotovoltaického panelu. Základní konstrukce se může skládat ze dvou panelů a dvou hřebenově umístěných zrcadel. Osvět panelů je pak dán součtem dopadajícího přímého záření a složky odraženého záření od hřebenových zrcadel. Tento systém může být jednoduše kombinován se systémem „Traxle“, což je systém založený na natáčecím mechanismu v ose Y.

Výhodou tohoto systému je samozřejmě zvýšení účinnosti přeměny elektromagnetického záření v elektrickou energii, relativně jednoduchá konstrukce. Nevýhodou jsou samozřejmě dodatečné vstupní náklady, konstrukce (rozměry), aktivní plocha včetně zrcadel (znečištění), ale také větší zahřívání díky vyšší koncentraci záření.

Dalšími systémy na bázi koncentrátorů energie jsou například systémy s využitím různých čoček, nejčastěji Fresnelových čoček s lineárním ohniskem v řezu v kombinaci se zrcadli. Tyto systémy jsou však využívány málo – složitá konstrukce.



Obr. 11: Koncentrátory: vlevo se nachází koncentrátor typu Traxle s automatickým pohyblivým stojanem, vpravo se nachází koncentrátor záření na bázi Fresnelových čoček. [4]

6 Využití slunečního záření pro výrobu elektrické energie – tepelné záření

Jedním ze způsobů využití slunečního záření je samozřejmě fotovoltaika. Ve fotovoltaice se zatím využívá přeměny slunečního záření v elektrickou energii z fotonů o vlnové délce asi 500 nm až 1100 nm. Jedná se v největší míře o viditelné spektrum slunečního záření.

K výrobě elektrické energie ze slunečního záření však můžeme použít i jiné systémy. Zatímco ve fotovoltaice se jedná o „přímou“ přeměnu slunečního záření v elektrickou energii, u tepelných koncentrátorových systémů se jedná většinou o „nepřímou přeměnu slunečního záření“ zvláště v oblasti IR spektra záření.

Nepřímou proto, protože k výrobě elektrické energie musí být použit ještě alespoň 1 článek, médium. Nejčastěji je to voda a vodní pára, která roztáčí turbínu elektromotoru (generátoru) a dochází k výrobě elektrické energie. Dalšími používanými technologiemi jsou pak Stirlingův motor, horkovzdušné turbíny, termočlánky a další. Nyní rozeberu jednotlivé typy, jejich výhody, nevýhody, účinnost, využití.

Většina elektráren využívajících tepelných účinků slunečního záření je stavěna především v subtropických a tropických oblastech – zeměpisných šířkách. Jedna se zejména o oblasti Itálie, Francie, Španělska, v Americe a Africe popřípadě v oblastech pouští, kde sluneční záření dosahuje největší intenzity.

6.1 Žlabový parabolický koncentrátor

U tohoto typu koncentrátoru, který je složen ze soustavy parabolických zrcadel a žlabového (trubkového) rozvaděče (s černým povrchem) pracovní kapaliny (oleje) umístěného na pohyblivé konstrukci, dochází k fokusaci slunečního záření na trubice s pracovní kapalinou. Poté dochází k ohřevu pracovní kapaliny (oleje) až na několik stovek stupňů Celsia. V soustavě je umístěno několik výměníků s vodou. Horký olej prochází výměníky, zahřívá vodu a sám se ochlazuje. Vodní pára následně roztáčí parogenerátor, který vyrábí elektrickou energii a uvolňuje ji do elektrické rozvodné sítě. V soustavě je také umístěna chladicí (kondenzační) věž.

Výhodou tohoto zařízení je levnější konstrukce solární části oproti fotovoltaickému systému a výroba „zelené energie“. Naproti tomu nevýhody jsou zcela patrné. Mezi ně patří složitost systémů, cena, náklady na provoz, spolehlivost atd.



Obr. 12: Žlabový parabolický koncentrátor s maximálním výkonem $P_{\max} = 354 \text{ MW}_p$ [4]

6.2 Parabolický nebo rovinný bodový koncentrátor

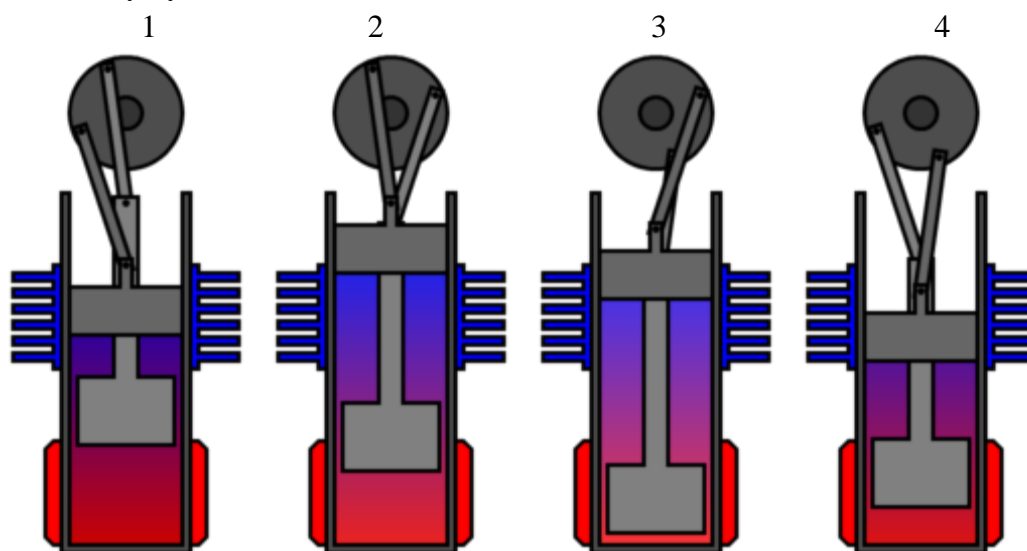
Další typ solární elektrárny využívající tepelných účinků záření je parabolický nebo rovinný bodový koncentrátor. Název parabolický, rovinný udává, jaký tvar mají zrcadla, jež odráží sluneční paprsky. V podstatě můžeme tento typ koncentrátoru rozdělit na další 2 podtypy.

- a) Parabolický bodový koncentrátor se Stirlingovým motorem
- b) Rovinný bodový koncentrátor s pracovní (aktivní) kapalinou

Parabolický bodový koncentrátor je složen s pohyblivé mechanické konstrukce, na niž je proplněno zrcadlo ve tvaru paraboly. V ohnisku je zavěšen generátor spojený se stirlingovým motorem. Při fokusaci slunečního záření dojde k činnosti stirlingova motoru, který následně roztáčí elektro-generátor a dochází tak k výrobě elektrické energie.

Stirlingův motor je druh tepelného motoru. Motor má 2 pracovní prostory, kterými může volně proudit pracovní plyn. Jeden z prostorů je studený (ochlazován) a druhý je horký (zahříván fokusovaným slunečním zářením). Mezi těmito dvěma částmi bývá zařazen ještě regenerátor, který akumuluje teplo plynu procházejícího z horké části (ohřívač) do studené části (chladič) nebo naopak. Existuje samozřejmě několik modifikací tohoto motoru. Písty mohou být v samostatných válcích, popřípadě v jednom společném válci, kdy jeden z pístů pracuje v dvojčinném režimu.

Pracovní cykly:



Obr. 13: Pracovní cykly stirlingova tepelného motoru. [7]

1. Oba písty se pohybují společně a expandující zahřátý plyn v horkém prostoru koná práci
2. Řídící píst začíná pomalu vytlačovat plyn z horkého do studeného prostoru. Celkový objem se nemění, proto tedy není konána práce. Plyn se ve studeném prostoru ochlazuje, ve válci tedy klesá tlak.
3. Pracovní píst začíná stlačovat plyn ve studeném prostoru. Tlak ochlazením klesá, proto je tedy vykonávaná práce menší, než při expanzi.
4. Stlačený studený plyn proniká do horkého prostoru, aby po zahřátí začal expandovat.

Pracovní plyn:

Dříve se jako pracovní plyn používal vzduch, dnes se kvůli vyšší tepelné vodivosti a menším turbulentním ztrátám raději používá helium.

Mezi výhody patří schopnost pracovat s nejrůznějšími zdroji tepelné energie, účinnost v rozmezí 25 až 33%, elektrická účinnost pak mezi 18 až 22%, tichý chod, vysoká životnost, minimální možnost poruchy.

Nevýhodami jsou například špatná regulovatelnost a malá pohotovost k provozu. Je také nutný docela rozměrný chladič s ventilátorem pro dosažení vysoké účinnosti.



Obr. 14: Systémy koncentrátorů slunečního záření, vlevo se nachází parabolický koncentrátor s bodovým ohniskem, vpravo se nachází věžová elektrárna s rovinnými zrcadly. [4]

Rovinný bodový koncentrátor s pracovní kapalinou soustředí pomocí soustavy rovinných zrcadel (s pohyblivou mechanickou konstrukcí) sluneční záření do jednoho bodu „sluneční věže“ (pece). Pracovním médiem je nejčastěji voda, ale mohou to být i jiné pracovní látky. Ve slunečním kotli dochází k masivnímu ohřívání kapaliny, dále k vypařování a následně vytvořená pára proudí k parogenerátoru, kde roztáčí turbínu. Dále proudí velmi horká pára ke kondenzační chladicí věži a čerpadly je přečerpávána zpět do „pece“. Součástí systému je i tepelný akumulátor.

Výhodou tohoto typu elektrárny je její účinnost, která se pohybuje přes 30%, nevýhodou je pak rozloha, velký počet aktivních i pasivních prvků – možnost poruchy, cena a umístění.



Obr. 15: Věžová elektrárna s heliostaty – Solar Two. [14]

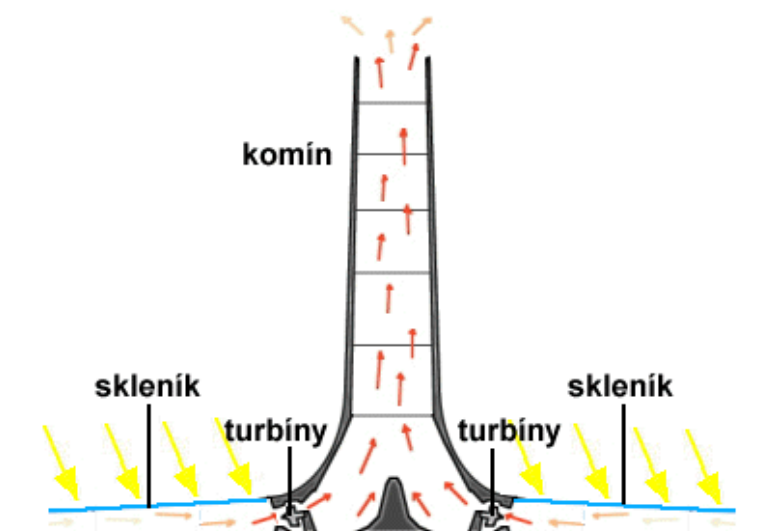
6.3 Komínová solární elektrárna

Komínová solární elektrárna je typ elektrárny založený na skleníkovém jevu. Jedná se v podstatě o velkou zaskleněnou plochu vypouklou ve tvaru obrácené paraboly, v jejímž středu je velký „komín“. Princip funkce elektrárny je relativně jednoduchý. Existuje několik modifikací hnacího mechanismu elektro-generátoru.

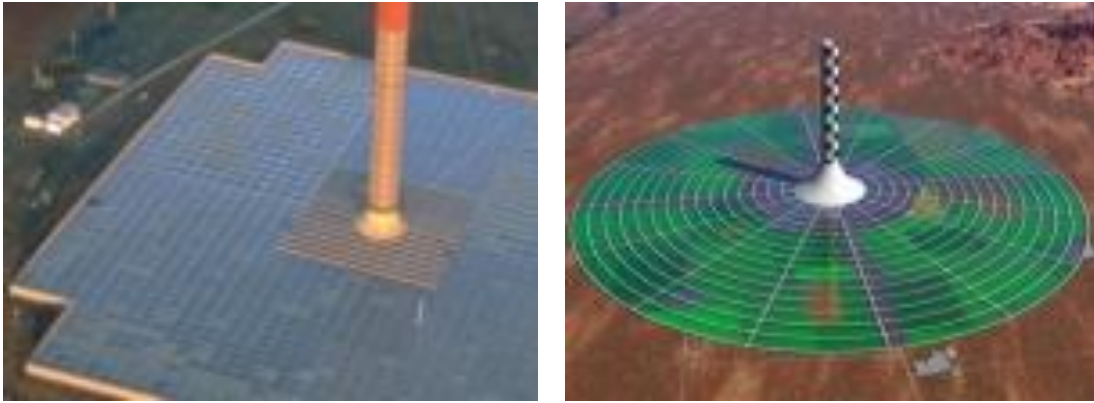
Pod vypouklou parabolou zaskleněné plochy se nachází materiál, který dobře pohlcuje sluneční záření a také se zde nachází nádrže se slanou vodou. Ve dne, když svítí slunce, dochází k absorpci slunečního záření, následnému ohřevu slané vody a okolního vzduchu. Jelikož horký, ohřátý vzduch stoupá vzhůru, dochází k vytvoření proudění, konvenci vzduchu, a protože jsou zde umístěny skleněné plochy, horký vzduch „teče“ po těchto plochách až ke komínu, kterým proudí do atmosféry (kde se následně ochlazuje). K výrobě elektrické energie dochází roztáčením turbíny, skrze kterou proudí horký vzduch. Roztáčí lopatky a následně i hřídel generátoru. Modifikace se mohou lišit dle toho, zda jsou turbíny s lopatkami umístěny v centrálním „komínu“, nebo zda jsou umístěny v dílčích konvenčních otvorech k přívodu do „komínu“.

V noci je po určitou dobu elektrárna stále aktivní, jelikož se uvolňuje teplý vzduch z nádrží se slanou vodou, které se během dne zahřívaly.

Výhodou elektrárny je to, že má docela vysokou účinnost, i díky tomu, že vyrábí elektrickou energii i v noci, ekologická. Nevýhodami jsou samozřejmě vysoké vstupní náklady, geografická poloha atd.



Obr. 16: Princip funkce komínové elektrárny [8]



Obr. 17: Komínová elektrárna v Manzanares (Španělsko) a projekt elektrárny v Austrálii [8]

7 Generátory elektrické energie

7.1 *Mechanické rotační generátory*

Generátory elektrické energie jsou elektrické stroje, které slouží k přeměně jiných druhů energií na elektrickou energii. Nejčastěji se jedná o přeměnu mechanické energie na energii elektrickou. K přeměně mechanické energie na energii elektrickou dochází působením točivého magnetického pole s cívkami, ve kterých dochází k indukci elektrického napětí a proudu.

Generátory se stejně jako elektrické motory skládají z rotoru a statoru. Pojem rotor označuje rotující část elektromotoru či generátoru, pojem stator označuje nepohyblivou část.

Můžeme je rozdělit na 3 základní skupiny. Rozdělení je provedeno z hlediska typu způsobu přeměny energie na rotační (mechanické) střídavé, rotační (mechanické) stejnosměrné a nepohyblivé stejnosměrné generátory.

- 1) Alternátory
- 2) Dynama
- 3) Termoelektrické generátory

Alternátory vytváří střídavý proud, nemají komutátor, z čehož plyne i menší poruchovost a snadnější údržba. Dynama vytváří stejnosměrný proud, přičemž usměrnění probíhá v komutátoru.

V dnešní době se však jako generátory používají jakékoliv asynchronní motory, které mají výhodu v jednoduchosti a spolehlivosti. Mají však oproti synchronnímu motoru o něco menší účinnost.



Obr. 18: Elektromotory, které se využívají jako generátory elektrické energie [15]

7.2 Termoelektrické generátory

Funkce termoelektrických generátorů je založena na Peltierově-Seebeckově jevu.

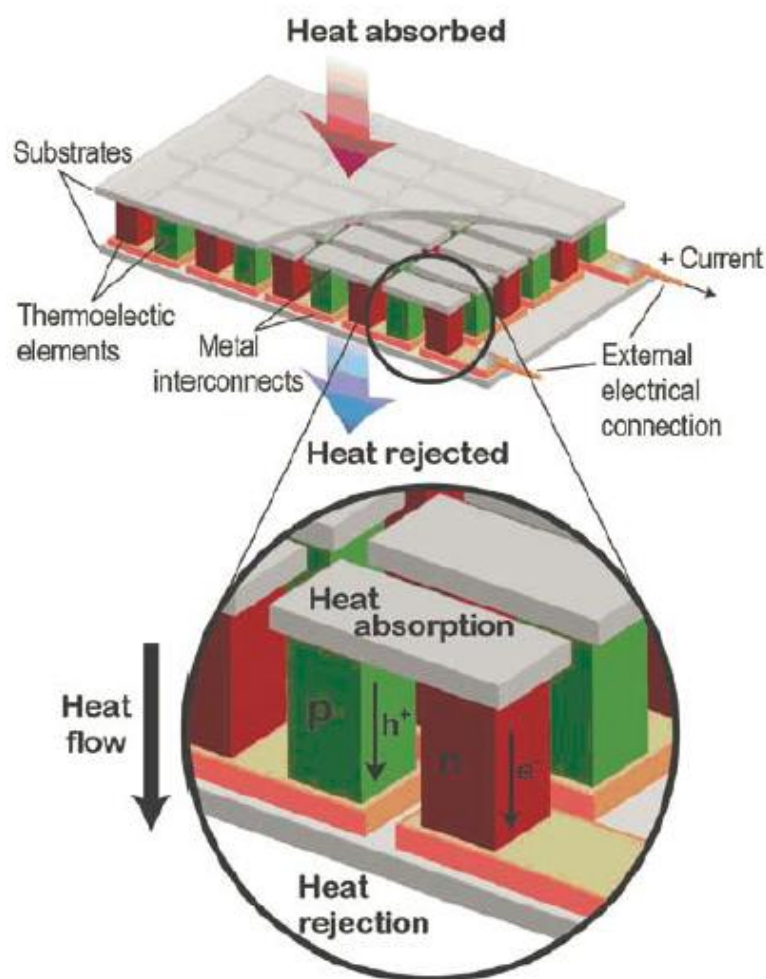
Peltierův jev: Protéká-li obvodem složeným z materiálů (polovodičů nebo kovů), které mají různou výstupní práci elektronů a různý termoelektrický koeficient, vzniká v místě jejich spojení teplotní gradient. Elektronů přecházejí z materiálů, který má větší výstupní práci W_e do materiálu s menší výstupní prací elektronů a v místě jejich styku je jejich pohyb kladen menší odpor. Elektronů mají v tomto místě přebytek kinetické energie a ta se uvolňuje v podobě tepla. Z jedné strany peltierova článku je teplo odčerpáváno na druhou stranu (peltierův článek se chová jako tepelné čerpadlo), kde musí být článek chlazen. Výsledná teplota zahřívání strany je dána množstvím odčerpávaného tepla z chladné strany a přírůstkem tepla vytvořeným průchodem elektrického proudu materiálem a jeho vlastním ohmickým odporem.

Peltierův jev je reverzní ke seebeckově jevu.

[16]

Seebeckův jev: byl objeven v roce 1821 německým fyzikem Thomasem J. Seebeckem. Thomas Seebeck zjistil, že existuje elektrické napětí mezi dvěma konci kovové tyče, pokud je mezi těmito konci teplotní gradient ΔT . Jev se vyskytuje při změně teplotních gradientů a je doprovázen přímou přeměnou na elektrické napětí a po připojení zátěže obvodem protéká elektrický proud. V podstatě se jedná o obrácený peltierův jev.

Obvod je sestaven z materiálů, které mají různou výstupní práci elektronů. Při vzniku teplotního gradientu v obvodu dochází k difuzi volných nosičů náboje a při uzavření obvodu dochází k toku nosičů a vzniká elektrický proud při určitém potenciálu. Množství volných nosičů náboje je závislé na teplotním gradientu, na druhu materiálů a seebeckovým koeficientem.



Obr. 19: Znáornění složení a funkce TEG článku [18]

Samotný termoeletrický (TEG) článek je sestaven z několika desítek i stovek můstů, které mají různou elektrickou vodivost – typ P a N. Můstky jsou uloženy mezi dvěma keramickými destičkami Al_2O_3 – slinutý korund – korundová keramika a jsou spojeny měděnými ploškami. Mezi oběma stranami vzniká teplotní gradient, který by měl být co nejvyšší, a termoelektrické napětí v řádech mikrovoltů na $^\circ\text{C}$.

Termoelektrické generátory jsou tzv. nepohyblivé generátory, které konvertují teplo (změnu teplotního gradientu) přímo na elektrickou energii a jsou konstruovány pro různé teplotní gradienty, především je důležitá maximální teplota té strany, která bude vystavena vysoké teplotě. Je to především z důvodu použití vhodné pájecí metody, jelikož pokud by byla použita například olovnatá pájka (Sn63Pb37), která má bod tavení cca 183°C a teplota zahřívání strany by byla větší než 183°C , došlo by ke zničení článku vlivem roztečení pájky a uvolněním můstků.

Účinnost termoelektrické přeměny tedy závisí na rozdílu teplot ΔT na zahřívané straně T_h a ochlazované straně T_c .

$$\Delta T = T_h - T_c \text{ [}^\circ\text{C]}, \text{ [K]}$$

Účinnost a výkon termoelektrického generátoru jsou typicky uváděny jako:

$$\eta = \frac{\Delta T}{T_h} \times \frac{\sqrt{1+zT}-1}{\sqrt{1+zT}+\frac{T_c}{T_h}} \times 100 \text{ [%]} \quad (7.1)$$

$$zT = \frac{\alpha^2 T}{\rho \kappa} \quad (7.2)$$

$$P = \eta \times Q \text{ [W]} \quad (7.3)$$

8 Praktická část – sestavení parabolického koncentrátoru

Jelikož k měření a následnému vyhodnocení vyrobené energie pomocí fotovoltaického panelu a termoelektrického článku potřebuji mít nezbytně naměřené data, sestrojil jsem k tomuto účelu pomocnou konstrukci obsahující absorbér, parabolický reflektor a termoelektrický článek s chladičem.

8.1 Části parabolického koncentrátoru

Parabolický reflektor:

Jako reflektor jsem vybral vhodnou parabolickou anténu složenou z Al-Mg slitiny. Jedná se původně o wifi anténu s průměrem 60 cm, ovšem bude modifikovaná. Nalepením fólie, která je opatřená odrazovou vrstvou, získám vhodné podmínky pro odraz slunečních paprsků, které budou následně dopadat do ohniska paraboly, kde bude umístěn termoelektrický generátor.

Účinná odrazná plocha tohoto reflektoru tedy je:

$$S_{\text{ref}} = \pi \times r^2 = 3,142 \times 0,3^2 = 0,2828 \text{ [m}^2\text{]} \quad (8.1)$$

Jako aktivní prvek, který absorbuje sluneční záření – absorbér, je mechanický díl o rozměrech

$$S_{\text{abs}} = 0,10 \times 0,10 = 0,01 \text{ [m}^2\text{]} \quad (8.2)$$

Tedy efektivní odrazná plocha je stanovena jako rozdíl účinné odrazné plochy a plochy absorbérů

$$S_{\text{ef}} = 0,2828 - 0,01 = 0,2728 \text{ [m}^2\text{]} \quad (8.3)$$



Obr. 20: Parabolická anténa – model solidworks a fotografie reálné paraboly [13]

Nosná část:

Slouží k upevnění absorberu k parabolickému reflektoru a zabezpečuje tak trvalou polohu absorberu v ohnisku paraboly.

Materiálovou podstatou to jsou 4 mosazné nosníky – trubičky s průměrem 8 mm opatřené vložkami a zapájenými mosaznými šestihrany s vnitřním závitem o průměru 2 mm z obou stran.



Obr. 21: Nosníky absorberu – model solidworks a fotografie reálných nosníků

Absorbér:

Je mechanická součást složená z několika částí. Jedná se o nejdůležitější část potřebnou k měření přeměněné energie z peltierova a termoelektrického článku.

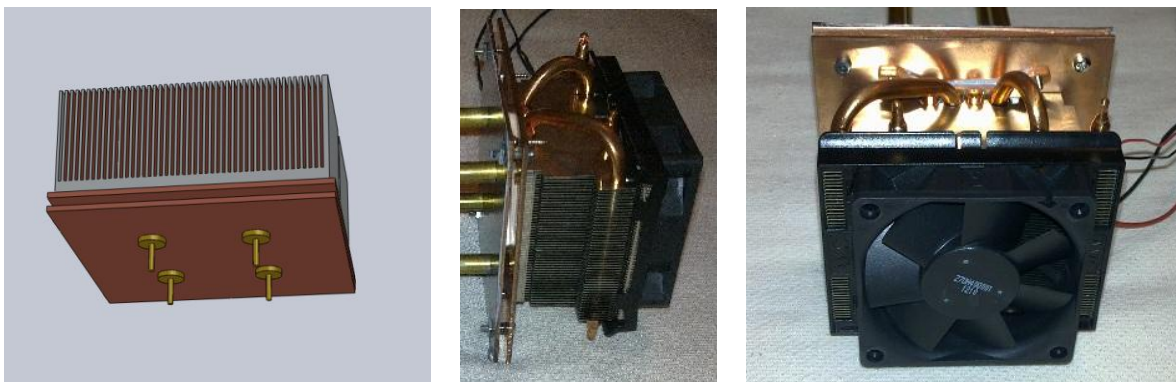
Absorbér se skládá z:

- a) Rozptylovače a zároveň akumulátoru tepelné energie
- b) Vlastní termoelektrický a peltierův článek
- c) Chladicí část – chladič s ventilátorem

Rozptylovače a akumulátory tepelné energie tvoří 2 Cu destičky, každá o rozměrech 100 × 100 mm a tloušťce 2 mm. Mezi destičkami je vložený termoelektrický článek.

Koncentrované sluneční záření je v ohnisku reflektoru absorbováno a tepelná energie je rozložena do celé plochy měděné destičky. Díky tepelné kapacitě destičky zůstává i po utlumení slunečního záření část tepelné energie v mědi a nedojde tak k velmi rychlému poklesu právě přeměňované energie v termoelektrickém článku. Následně je termoelektrickým článkem „přečerpána“ do chladicí části, kde je část této absorbované

energie rozptýlena pomocí chladiče do okolního prostředí. Část přečerpávané energie je díky seebeckově jevu a rozdílu tepelných koeficientů přeměněna na energii elektrickou.



Obr. 22: Absorbér – model solidworks a fotografie reálného absorbéru

8.2 Materiály a fyzikální vlastnosti

Konstrukční materiály a jejich vybrané fyzikální vlastnosti:

- a) Parabola
- b) Nosný systém paraboly
- c) Nosný systém absorberu
- d) Absorbér s chladičem

Parabola:

Samotná parabola, jak již bylo zmíněno, je dle výrobce vyrobena z materiálů Al-Mg, tedy jejich slitiny. Je to především kvůli mechanickým a fyzikálním vlastnostem - jejich lehkosti a velmi dobrým požadavkům a v hodnosti použití pro vybranou funkci a to jako anténa na příjem wifi signálu. Já jsem tuto parabolu použil z důvodu její lehkosti, dobré možnosti opracování a jejím vlastním rozměrům.

Nosný systém paraboly:

Nosný systém uchycení paraboly je vyroben z konstrukčních materiálů Duralu – slitiny Al-Cu (obvykle 90–96 % hliníku a 4–6 % mědi). Důvodem jsou samozřejmě mechanické vlastnosti jako lehkost, dobrá opracovatelnost a dostatečná tvrdost. Vlastní uchycení paraboly k nosníku je za pomoci výrobku určeného upevnování menších LCD displayů na zeď.

Nosný systém absorberu:

Je zhotoven z mosazných trubiček o průměru 8 mm a opatřených vloženými a zapájenými mosaznými šestihrany s vnitřním závitem o průměru 2 mm z obou stran. (viz výše uvedené)

Absorbér s chladičem:

Jedná se o konstrukčně nejsložitější část systému. Absorpční a chladicí plochy jsou vyrobené z Cu destiček o rozměrech 100×100×2 mm upevněné a spojené pomocí šroubků s pružinami tak, aby došlo k „sendvičovému“ sevření termoelektrického článku. Chladicí část obsahuje přišroubovaný výměník tepla – chladič, používaný ve výpočetní technice k chlazení procesorů. Chladič se skládá z měděné plochy, na kterou jsou připevněny (připájeny) „heatpipes“ – tepelné trubice s médiem (rychlejší výměna tepla mezi základnou a žebry chladiče), které vedou do hliníkového žebroví, kde je teplená energie „vyfukována“ ventilátorem do okolního prostředí (nucená konvence).

Od absorpce slunečního záření až po průchod tepelné energie k základně chladiče a následnému rozvodu tepelnými trubicemi dochází k přenosu tepelné energie „kondukcí“, tedy vedením tepla v pevné (i kapalné) látce.

Zde je použita měď jako výborný tepelný vodič a také jako materiál, který má tepelnou kapacitu sloužící k akumulaci tepelné energie (na krátký časový interval).

Vybrané fyzikální charakteristiky vybraných materiálů:

Měď - Cu

Hustota mědi = $8960 \text{ Kg} \times \text{m}^{-3}$

Měrná tepelná kapacita mědi = $384,5 \text{ J} \times \text{K}^{-1} \times \text{kg}^{-1}$

Tepelná vodivost při 25°C = $395 \text{ W} \times \text{m}^{-1} \times \text{K}^{-1}$

Hliník – Al

Hustota hliníku = $2700 \text{ Kg} \times \text{m}^{-3}$

Měrná tepelná kapacita hliníku = $896 \text{ J} \times \text{K}^{-1} \times \text{kg}^{-1}$

Tepelná vodivost při 25°C = $273 \text{ W} \times \text{m}^{-1} \times \text{K}^{-1}$

Mosaz – slitina (Cu a Zn) Ms

Hustota mosazi = $8400 - 8750 \text{ Kg} \times \text{m}^{-3}$

Měrná tepelná kapacita mosazi = $394 \text{ J} \times \text{K}^{-1} \times \text{kg}^{-1}$

Tepelná vodivost při 25°C = $120 \text{ W} \times \text{m}^{-1} \times \text{K}^{-1}$

8.3 Výpočty teoretických hodnot parametrů jednotlivých typů zdrojů

a) Efektivní plocha paraboly:

$$S_{\text{ef}} = 0,2828 - 0,01 = 0,2728 \text{ [m}^2\text{]} \quad (8.4)$$

b) Efektivní plocha a udávaný výkon fotovoltaického panelu:

$$S_{\text{efFV}} = 1 \times 0,5 = 0,5 \text{ [m}^2\text{]} \quad (8.5)$$

$$P_{\text{fvp}} = 75 \text{ [W]} \quad (8.6)$$

$$P_{\text{fvp}} = 75 \times 2 = 150 \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (8.7)$$

- Monokrystalické fotovoltaické články s účinností 15 % (36 ks v sériovém zapojení)

c) Intenzita záření v ohnisku paraboly:

$$\Phi_e = S_{\text{ef}} \times \Phi_s = 0,2728 \times 1000 = 272,8 \text{ [W} \times \text{m}^2\text{]} \quad (8.8)$$

Φ_s = solární konstanta 1360 [W × m⁻²] v zeměpisných šířkách ČR cca 1000 [W × m⁻²]

d) Výkon fotovoltaického panelu přepočítaný na plochu $S_{\text{ef}} = 0,2728 \text{ [m}^2\text{]}$

$$P_{\text{sefp}} = 0,2728 \times 150 = 40,920 \text{ [W]} \quad (8.9)$$

e) Výkon a účinnost uváděné v datasheetu výrobce termoelektrického článku

$$P_{\text{tegp}} = 28,89 \text{ [W]}, U_{\text{max}} = 8,6 \text{ [V]}, I_{\text{max}} = 3,359 \text{ [A]} \quad (8.10)$$

$$\eta = \frac{\Delta T}{T_h} \times \frac{\sqrt{1+zT}-1}{\sqrt{1+zT}+\frac{T_c}{T_h}} \times 100 \text{ [%]} = 5 \text{ [%]} \quad (8.11)$$

kde:

$\Delta T = T_h - T_c$ [°C], T_h (hot) = teplota zahřívání strany článku – maximálně 250 [°C], T_c (cold) = teplota ochlazování části článku

$zT = \frac{\alpha^2 T}{\rho \kappa}$, α = seebeckův koeficient [$\mu\text{V/K}$], ρ = měrný elektrický odpor [Ω/m^2], κ = tepelná vodivost [$\text{W} \times \text{m}^{-1} \times \text{K}^{-1}$], T = teplota [°C], [K], rozměry 50×50×3,1 [mm]

8.4 Výsledky měření provedené na modelu koncentrátoru a porovnání

Pro správně měření je nutné dodržení několika základních podmínek. Snažil jsem se tedy tyto podmínky dodržovat, eliminovat vlivy, které by mohly ovlivnit samotné měření a výsledky měření a následně také porovnání a vyhodnocení údajů. Jelikož nebylo měření prováděno v laboratoři, nebo ve specializovaných zařízeních, ale v reálných podmínkách (které jsou dle mého názoru nejvíce vypovídající), bylo dodržení těchto podmínek docela náročné.

Mým úkolem tedy bylo porovnání účinnosti a vyrobené energie fotovoltaického panelu a termoelektrického generátoru umístěného na koncentrátoru, následný přepočítání na stanovenou plochu, výchozí plochou je tedy efektivní plocha paraboly koncentrátoru S_{ef} a vyhodnocení výsledků.

Faktorů, které mohly ovlivnit výsledky měření je hned několik:

a) Jedním z velmi důležitých faktorů je intenzita slunečního záření:

- snažil jsem se tedy provádět měření vždy, když byla jasná obloha a tak byla intenzita slunečního záření co nejvyšší.

b) Druhým faktorem je rychlost vzduchu:

- proto jsem se snažil provádět několik typů měření ve stejný časový interval, abych částečně eliminoval tuto chybu, popřípadě ideální bylo úplně bezvětří.

c) Dalšími faktory, které mohou ovlivnit měření, jsou například: chyby odečtu daných hodnot, nepřesnost měřících zařízení a také chyby operátora a metody.

Nejprve jsem tedy provedl měření hodnot a stanovení charakteristik fotovoltaického panelu, následně měření a stanovení charakteristik termoelektrického generátoru a ještě pro srovnání jsem změřil hodnoty a stanovil charakteristiky peltierova článku (neznámý výrobce ani hodnoty uváděné výrobcem – prodejce firma GM electronic, spol. s r.o.).

1) Tabulky a grafy naměřených hodnot fotovoltaického panelu

- Prodejce firma Prosolar, s. r. o. (již se neprodává), udávaný maximální výkon 75 [W] při 25 [°C], spektrum AM 1,5 při intenzitě slunečního záření $\Phi_s = 1000 [W/m^2]$, sklon 35° JV.

I [A]	U [V]	P [W]	T _{vzduch} [°C]	U ₀ [V]	I _{sc} [A]	P _{max} [W]	43,63
0	19,62	0	24,3	19,62	3,14	U _{max} [V]	16,34
0,08	19,61	1,57				I _{max} [A]	2,67
0,17	19,5	3,32					
0,25	19,43	4,86					
0,34	19,32	6,57					
0,45	19,25	8,66					
0,53	19,17	10,16					
0,61	19,12	11,66					
0,66	19,05	12,57					
0,82	18,87	15,47					
0,97	18,78	18,22					
1,01	18,73	18,92					
1,07	18,55	19,85					
2,05	17,04	34,93					
2,23	17,01	37,93					
2,45	16,89	41,38					
2,53	16,87	42,68					
2,67	16,34	43,63					
2,71	15,22	41,25					
2,78	15,05	41,84					
2,83	14,98	42,39					
2,92	14,85	43,36					
2,94	13,21	38,84					
2,96	12,53	37,09					
2,98	11,97	35,67					
3,03	10,23	31					
3,04	9,19	27,94					
3,06	8,57	26,22					
3,06	7,78	23,81					
3,07	6,25	19,19					
3,08	4,96	15,28					
3,09	3,81	11,77					
3,1	2,24	6,94					
3,12	1,84	5,74					
3,14	0	0					

Tab. 1: Naměřené relevantní hodnoty fotovoltaického modulu (panelu) a výpočty hodnot na plochu 0,5 [m²]

Výpočty parametrů z naměřených a hodnot

$$FF = \left(\frac{U_{\max} \times I_{\max}}{U_0 \times I_{sc}} \right) \times 100 = \left(\frac{P_{\max}}{U_0 \times I_{sc}} \right) \times 100 = \left(\frac{16,34 \times 2,67}{19,62 \times 3,14} \right) \times 100 = 70,81\% \quad (8.12)$$

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P'} \times 100 = \frac{43,63}{1000/2} \times 100 = 8,726\% \quad (8.13)$$

$$\eta = \frac{P}{P'} \times 100 = \frac{19,62 \times 3,14}{1000/2} \times 100 = \frac{61,61}{500} \times 100 = 12,32\% \quad (8.14)$$

Tabulka přepočítaných hodnot

I [A]	U [V]	P [W]	T _{vzduch} [°C]	U ₀ [V]	I _{sc} [A]	P _{max} [W]	12,99
0	10,7	0	24,3	10,7	1,71	U _{max} [V]	8,92
0,04	10,7	0,47				I _{max} [A]	1,46
0,09	10,64	0,99					
0,14	10,6	1,45					
0,19	10,54	1,96					
0,25	10,5	2,58					
0,29	10,46	3,02					
0,33	10,43	3,47					
0,36	10,39	3,74					
0,45	10,3	4,61					
0,53	10,25	5,42					
0,55	10,22	5,63					
0,58	10,12	5,91					
1,12	9,3	10,4					
1,22	9,28	11,29					
1,34	9,22	12,32					
1,38	9,2	12,71					
1,46	8,92	12,99					
1,48	8,3	12,28					
1,52	8,21	12,45					
1,54	8,17	12,62					
1,59	8,1	12,91					
1,6	7,21	11,56					
1,61	6,84	11,04					
1,63	6,53	10,62					
1,65	5,58	9,23					
1,66	5,01	8,32					
1,67	4,68	7,81					
1,67	4,24	7,09					
1,67	3,41	5,71					
1,68	2,71	4,55					
1,69	2,08	3,5					
1,69	1,22	2,07					
1,7	1	1,71					
1,71	0	0					

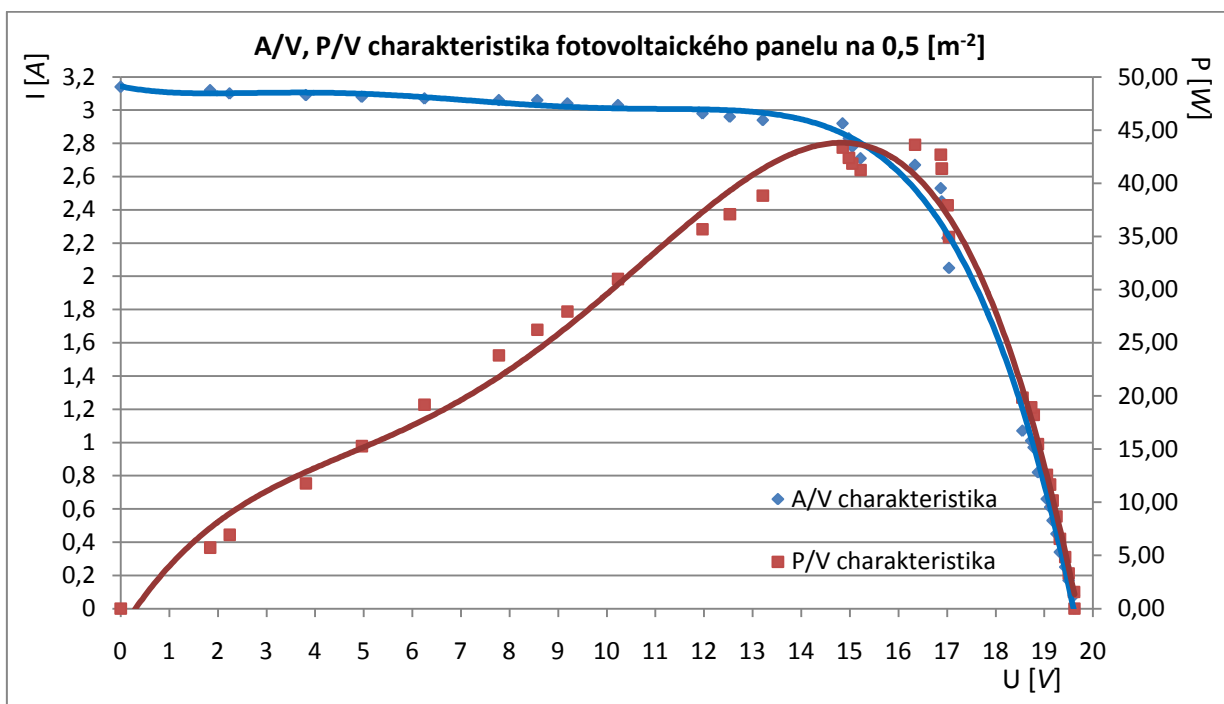
Tab. 2: Přepočítané hodnoty fotovoltaického modulu na plochu 0,2728 [m²]

Výpočty parametrů z naměřených a hodnot

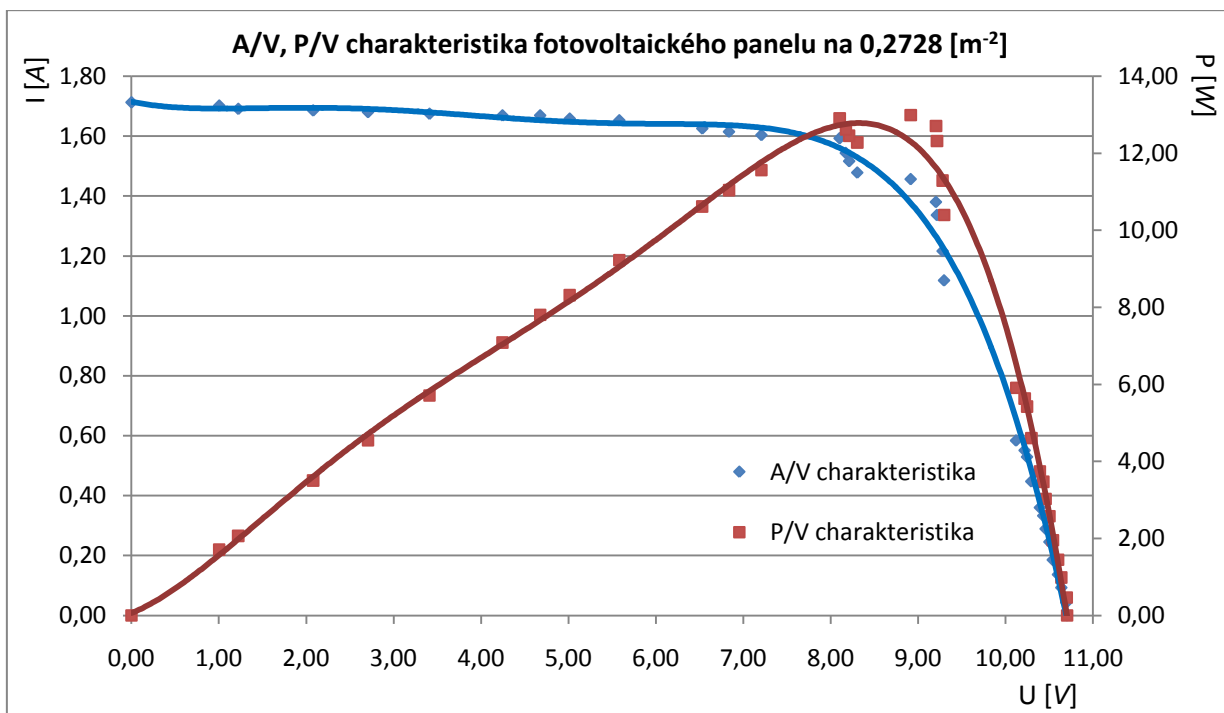
$$\eta = \frac{P_{\max}}{P'} \times 100 = \frac{12,99}{1000 \times 0,2728} \times 100 = 4,76\% \quad (8.15)$$

$$\eta = \frac{P}{P'} \times 100 = \frac{10,70 \times 1,71}{1000 \times 0,2728} \times 100 = \frac{18,23}{272,8} \times 100 = 6,68\% \quad (8.16)$$

$$FF = \left(\frac{U_{\max} \times I_{\max}}{U_0 \times I_{sc}} \right) \times 100 = \left(\frac{P_{\max}}{U_0 \times I_{sc}} \right) \times 100 = \left(\frac{8,92 \times 1,46}{10,70 \times 1,71} \right) \times 100 = 71,50\% \quad (8.17)$$



Obr. 23: A/V, P/V charakteristika fotovoltaičkého panelu vytvorená z naměřených a vypočítaných hodnot



Obr. 24: A/V, P/V charakteristika fotovoltaičkého panelu vytvorená z vypočítaných hodnot

2) Tabulky a grafy naměřených hodnot peltierova článku a termoelektrického článku

- Peltierův článek: [19]
prodejce firma GM electronic, spol. s r.o., udávaný výkon $P_{\max} = 89$ [W], maximální teplota $T_{\max} = 225$ [°C], označení M-TEC1-12710 225°C, $U_{\max} = 15,8$ [V], $I_{\max} = 10$ [A].
- Termoelektrický článek: [17]
Prodejce Thermalforce.de, materiál mŕstvků - Bi_2Te_3 , udávaný výkon $P_{\max} = 28,9$ [W] při $\Delta T = 200$ [°C], $U_{\max} = 8,6$ [V], $I_{\max} = 3,36$ [A], maximální teplota $T_{\max} = 250$ [°C].

Naměřené hodnoty peltierova článku

I [A]	U [V]	P [W]	U_0 [V]	I_{sc} [A]	T_h [°C]	T_c [°C]	P_{\max} [W]	2,09
0	4,2	0	4,2	1,51	196,3	29,1	U_{\max} [V]	2,37
0,05	4,06	0,2			$\Delta T (T_h - T_c)$ [°C]	T_{vzduch} [°C]	I_{\max} [A]	0,88
0,06	3,87	0,23			167,2	24,3		
0,07	3,75	0,26						
0,21	3,68	0,77						
0,31	3,64	1,13						
0,41	3,27	1,34						
0,46	3,03	1,39						
0,57	2,95	1,68						
0,78	2,52	1,97						
0,88	2,37	2,09						
1,01	1,9	1,92						
1,04	1,56	1,62						
1,13	1,55	1,75						
1,22	1,15	1,4						
1,4	0,6	0,84						
1,43	0,35	0,5						
1,51	0	0						

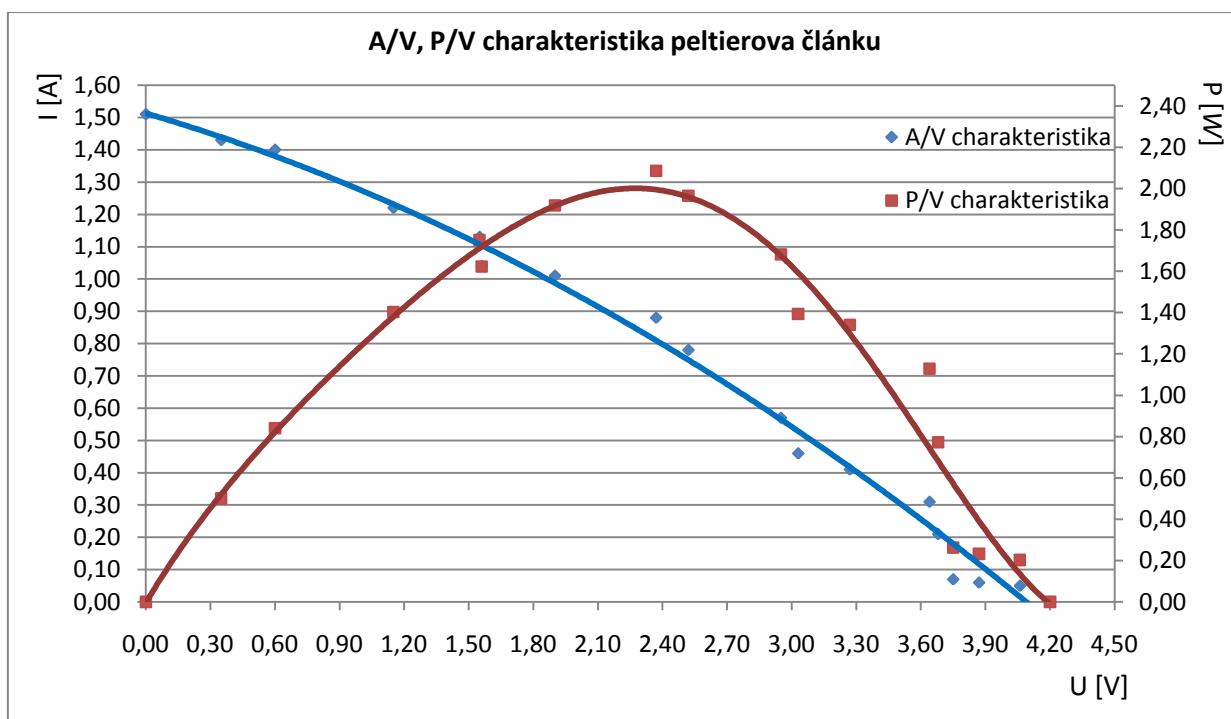
Tab. 3: Naměřené hodnoty peltierova článku na ploše $0,2728$ [m²]

Výpočty parametrů z naměřených a hodnot

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P'} \times 100 = \frac{2,09}{1000 \times 0,2728} \times 100 = 0,76\% \quad (8.18)$$

$$\eta = \frac{P}{P'} \times 100 = \frac{4,2 \times 1,51}{1000 \times 0,2728} \times 100 = \frac{6,342}{272,8} \times 100 = 2,32\% \quad (8.19)$$

$$FF = \left(\frac{U_{\max} \times I_{\max}}{U_0 \times I_{sc}} \right) \times 100 = \left(\frac{P_{\max}}{U_0 \times I_{sc}} \right) \times 100 = \left(\frac{2,37 \times 0,88}{1,51 \times 4,2} \right) \times 100 = 32,95\% \quad (8.20)$$



Obr. 25: A/V, P/V charakteristika peltierova článku vytvořená z naměřených hodnot

Naměřené hodnoty termoelektrického článku

I [A]	U [V]	P [W]	U_o [V]	I_{sc} [A]	T_h [°C]	T_c [°C]	P_{max} [W]	1,81
0,01	4,39	0,04	4,45	1,61	154	26	U_{max} [V]	2,38
0,02	4,35	0,09			ΔT (T_h-T_c) [°C]	T_{vzduch} [°C]	I_{max} [A]	0,76
0,04	4,3	0,17			128	24,2		
0,08	4,17	0,33						
0,13	4,08	0,53						
0,14	4,01	0,56						
0,2	3,86	0,77						
0,31	3,48	1,08						
0,34	3,29	1,12						
0,58	2,63	1,53						
0,76	2,38	1,81						
0,89	1,97	1,75						
1,02	1,4	1,43						
1,11	1,28	1,42						
1,18	0,98	1,16						
1,24	0,63	0,78						
1,27	0,52	0,66						
1,28	0,45	0,58						
1,3	0,33	0,43						
1,38	0,31	0,43						
1,41	0,22	0,31						

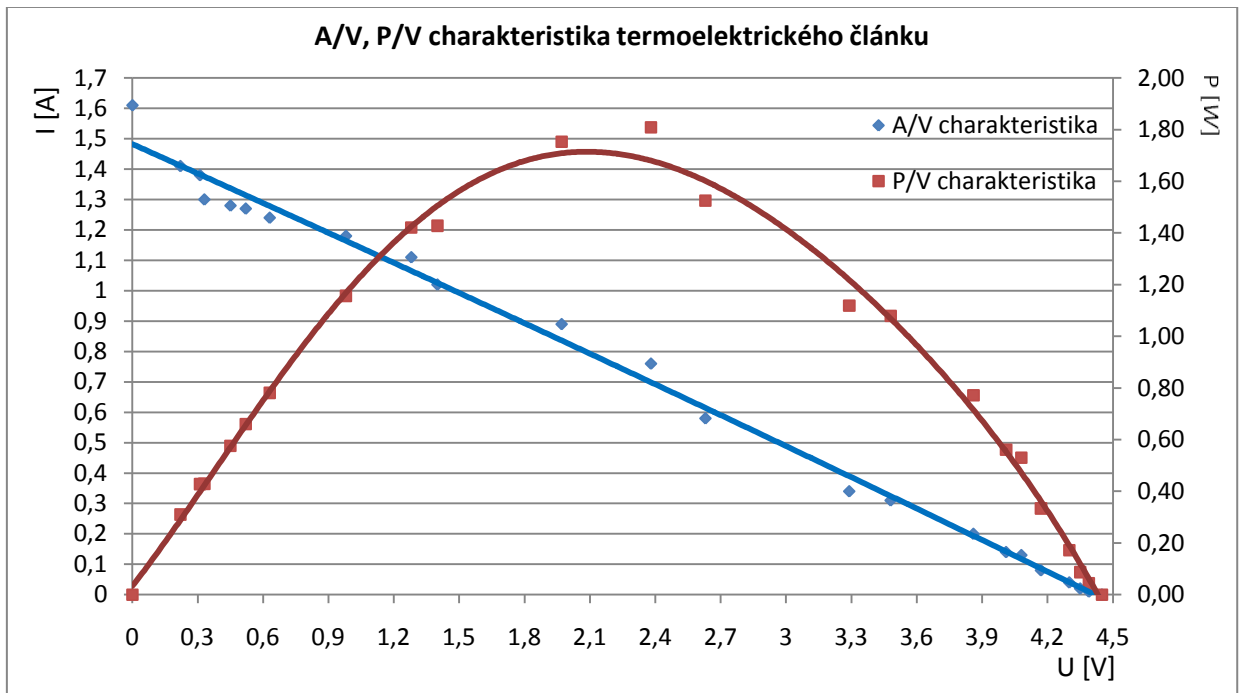
Tab. 4: Naměřené hodnoty termoelektrického článku na ploše 0,2728 [m²]

Výpočty parametrů z naměřených a hodnot

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P'} \times 100 = \frac{1,81}{1000 \times 0,2728} \times 100 = 0,66\% \quad (8.21)$$

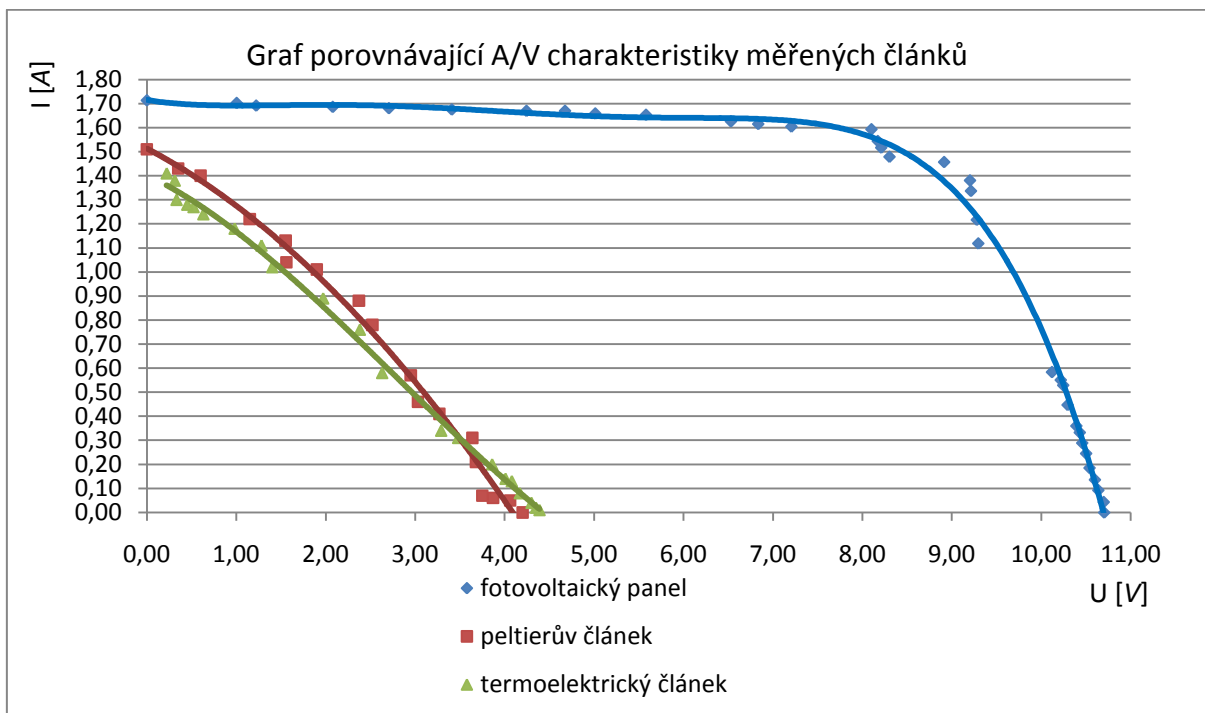
$$\eta = \frac{P}{P'} \times 100 = \frac{4,45 \times 1,61}{1000 \times 0,2728} \times 100 = \frac{7,1645}{272,8} \times 100 = 2,63\% \quad (8.22)$$

$$FF = \left(\frac{U_{\max} \times I_{\max}}{U_0 \times I_{sc}} \right) \times 100 = \left(\frac{P_{\max}}{U_0 \times I_{sc}} \right) \times 100 = \left(\frac{2,38 \times 0,76}{4,45 \times 1,61} \right) \times 100 = 25,25\% \quad (8.23)$$

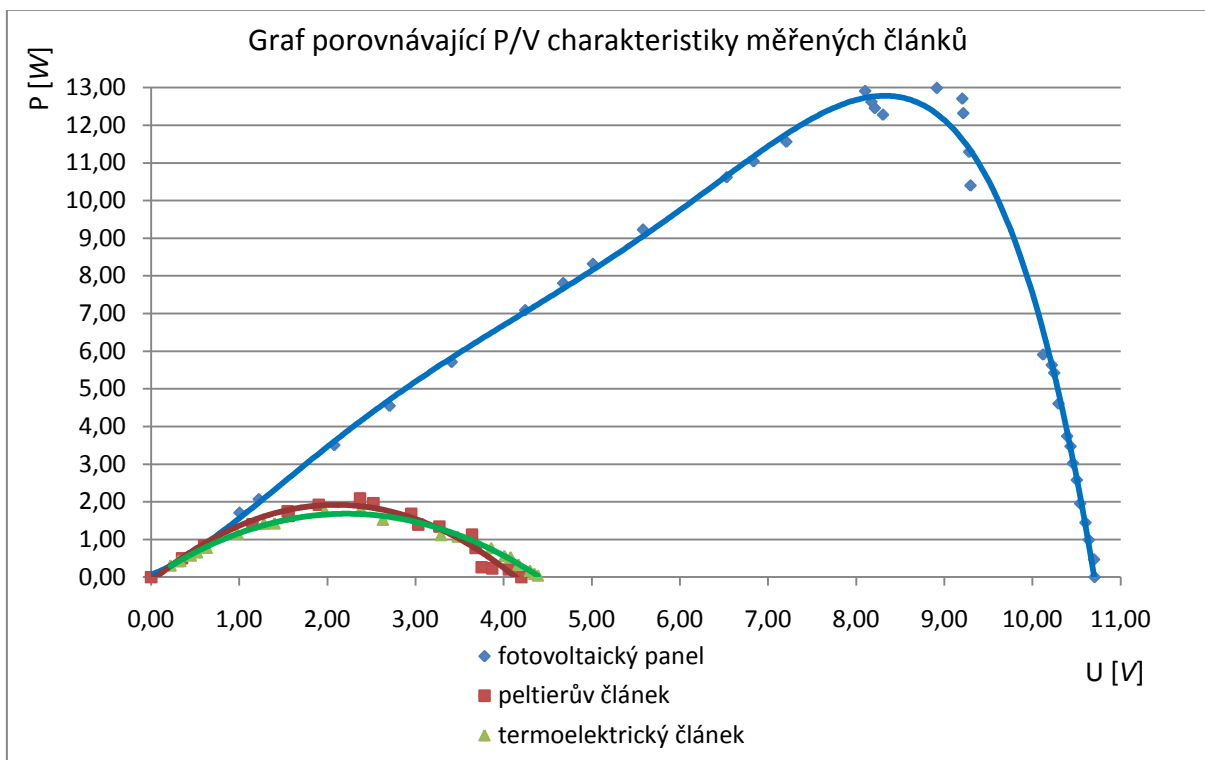


Obr. 26: A/V, P/V charakteristika termoelektrického článku vytvořená z naměřených hodnot

3) Grafy porovnávající naměřené a vypočítané hodnoty měřených typů článků



Obr. 27: Graf A/V charakteristiky článků vytvořený z naměřených a vypočítaných hodnot



Obr. 28: Graf P/V charakteristiky článků vytvořený z naměřených a vypočítaných hodnot

9 Závěr

Úkolem mé diplomové práce bylo zpracování rešerše na téma „různé možnosti využití slunečního záření a zaměření se na konverzi slunečního záření na elektrickou energii. Také jsem měl zrealizovat model solární elektrárny a stanovit její výrobní vlastnosti.

Rešerše o různých možnostech využití solárního záření pro výrobu elektrické energie byla zpracována v rozsahu 25 stran textu a obrázků, popřípadě vzorců doplněných výpočtem. Zaměřil jsem se především na konverzi slunečního záření na elektrickou energii pomocí fotovoltaických systémů, koncentrátorových fotovoltaických systémů, systému Traxle, ale také na koncentrátorové systémy využívající média – vody nebo oleje a turbín s elektromotorem jako generátoru elektrické energie.

V druhé části práce jsem měl za cíl realizovat model elektrárny, respektive zařízení sloužícího ke konverzi solárního záření na elektrickou energii jiným, než fotovoltaickým způsobem. Vybral jsem si tedy termo-elektrický princip (jev). Cíle, kterého jsem chtěl dosáhnout, bylo porovnání výstupního výkonu konverzovaného solárního záření vzhledem k fotovoltaike. Srovnání je provedeno pomocí naměřených dat, zaneseno do tabulek výše a graficky znázorněno v přehledných grafech.

Nejprve jsem tedy měřil charakteristiky fotovoltaického panelu dle údajů vypsanych výše, poté jsem měřil charakteristiky peltierova článku a také článku termoelektrického. V závěru tedy shrnu důležité parametry, které vycházejí z měření a také výpočtů. Veškeré relevantní údaje a výpočty jsou stanovené vzhledem k efektivní ploše paraboly tak, aby mohly být lehce porovnány.

Maximální výkon fotovoltaického panelu k efektivní ploše je 12,99 [W], FF = 71,50 [%]

Maximální výkon peltierova článku k efektivní ploše je 2,09 [W], FF = 32,95 [%]

Maximální výkon termoelektrického článku k efektivní ploše je 1,81 [W], FF = 25,25 [%]

Z vypočítaných a naměřených výsledků jasně vyplývá rozdíl mezi výkony fotovoltaického panelu a termoelektrického a peltierova článku. Tento rozdíl je podstatný a nevýhodou těchto článků je také jejich chlazení, které samo o sobě spotřebovává množství energie. Pokud bych se měl zaměřit na výstavbu elektrárny na principu termoelektrického jevu, muselo by dojít k radikálnímu zlepšení účinnosti těchto článků, respektive článků založených na získávání energie pomocí seebeckova jevu. Jejich účinnost se ukázala jako velmi malá s hodnotou kolem 2,32 – 2,63 %.

I když účinnost fotovoltaických systémů dosahuje při běžném použití hodnot kolem 15 – 18% a dochází ke stálému zvyšování této hodnoty, ve prospěch mluví i fakt, že nemusí být ničím chlazeny a také pracují i při zatažené obloze, kdežto termoelektrické články vyžadují přímý zdroj slunečního světla, respektive zdroje tepelné energie.

10 Seznam použité literatury

- [1] Murtinger, Beranovský, Tomeš. Fotovoltaika. Elektřina ze slunce, ERA group spol. s.r.o. 2007, 124 stran, vydavatelství Praha 7, ISBN 978-80-7366-100-7
- [2] VANĚK, J., KŘIVÍK, P., NOVÁK, V., Alternativní zdroje energie – elektronický text, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2006
- [3] LIBRA, M., POULEK, V., Zdroje a využití energie, Praha, ČZU v Praze, Technická fakulta, 2007, ISBN 978-80-213-1647-8
- [4] LIBRA, M., POULEK, V., Fotovoltaika, Praha, ČZU v Praze, Technická fakulta, 2007, ISBN 978-80-904311-0-2
- [5] Solartec s.r.o., *Solartec*, [online]. Dostupný z WWW: www.solartec.cz
- [6] Czech RE Agency o.p.s., česká agentura pro obnovitelné zdroje energie, [online]. 2009 [obr. 2009-12-14]. Dostupný z WWW: <http://www.czrea.org>
- [7] Wikipedia, [online]. [obr. 2009-12-14]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Barva>, http://en.wikipedia.org/wiki/Stirling_engine
- [8] Solární energie, [online]. [obr. 2009-12-14]. Dostupný z WWW: <http://www.cez.cz/ede/content/microsites/solarni/k23.htm>
- [9] ČEZ, a. s., [online]. [obr. 2009-12-14]. Dostupný z WWW: <http://www.cez.cz>
- [10] VANĚK, J., OBADAL, P., Simulace použití solárních článků v elektromobilech – elektronický text, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009
- [11] RC shop [online]. [obr. 2010-04-29]. Dostupný z WWW: http://www.elva-elektro.cz/eshop/product_info.php/cPath/322_321/products_id/3523
- [12] Solar Expert [online]. [Obr. 2010-04-29]. Dostupný z WWW: <http://www.solar-expert.cz/detailfoto.php?id=213&ii=1>
- [13] I4WIFI [online]. [Obr. 2010-04-29]. Dostupný z WWW: [http://www.i4wifi.cz/img-click.asp?title=WA19-24P 19 dBi parab. anténa \(2,4 GHz\)&attid=222](http://www.i4wifi.cz/img-click.asp?title=WA19-24P%2019%20dBi%20parab.%20ant%C4%99na%20(2,4%20GHz)&attid=222)

- [14] Aldebaran [online]. [Obr. 2010-04-29]. Dostupný z WWW:
http://aldebaran.cz/bulletin/2004_22/sone1.jpg
- [15] Wikipedia [online]. [Obr. 2010-04-29]. Dostupný z WWW:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Asynchronn%C3%AD_motor
- [16] Wikipedia [online]. Dostupný z WWW:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Termoelektrick%C3%BD_jev
- [17] Thermal electrical generator [online]. Dostupný z WWW:
<http://www.thermalforce.de/de/product/thermogenerator/TG263-250-36h.pdf>
- [18] G. Jeffrey Snyder, Small Thermoelectric Generators, elektronický text, Electrochemical Society Interface, 2008, Dostupný z WWW:
http://www.electrochem.org/dl/interface/fal/fal08/fal08_p54-56.pdf
- [19] GM electronic, spol. s r.o., prodejna elektronických součástek a zařízení. Dostupný z WWW: <http://www.gme.cz/cz/m-tec1-12710-225-c-p601-019.html>

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotka	Název
E_f	eV	Energie fotonu
h	J.s	Planckova konstanta
ν	Hz	frekvence (fotonu)
c	$m.s^{-1}$	konstanta-rychlost světla
λ	m	Vlnová délka
η	%	Účinnost
P'	W	Získaná energie
P	W	Dodaná energie - intenzita záření
U_o	V	Napětí naprázdno
I_{sc}	A	Zkratový proud
P_m	W	Výkon článku
P^*	W	Příkon elektrických spotřebičů
ΔT	$^{\circ}C, K$	Rozdíl teplot
T_h	$^{\circ}C, K$	Teplota absorpční strany
T_c	$^{\circ}C, K$	Teplota chlazené strany
S_{ref}	m^{-2}	Odrazná plocha reflektoru
S_{abs}	m^{-2}	Plocha absorbéru
S_{ef}	m^{-2}	Plocha efektivní
ρ	$g \times cm^{-3}$	Hustota látky
c	$J \times K^{-1} \times kg^{-1}$	Měrná tepelná kapacita
λ_t	$W \times m^{-1} \times K^{-1}$	Tepelná vodivost - konduktivita
S_{efFV}	m^{-2}	Efektivní plocha fotovoltaického panelu
P_{fvp}	W	Výkon fotovoltaického panelu

Φ_e	$W \times m^{-2}$	Intenzita záření
P_{sefp}	W	Výkon fotovoltaického panelu na efektivní plochu - peak
P_{tegp}	W	Výkon termoelektrického článku - peak
α	$\mu V/K$	Seebeckův koeficient
κ	$W \times m^{-1} \times K^{-1}$	Tepelná konduktivita
FF	%	Fill factor, faktor kvality, plnění
P_{max}	W	Maximální výkon
U_{max}	V	Maximální proud při maximálním výkonu
I_{max}	A	Maximální proud při maximálním výkonu
T_{max}	$^{\circ}C, K$	Maximální teplota

Seznam použitých obrázků a tabulek

Seznam obrázků:

Obr. 1: Spektrální citlivost fotovoltaického článku – monokrystalický křemík	9
Obr. 2: Přehled spekter záření – vlnové délky a frekvence dle citlivosti fotovoltaického článku	9
Obr. 3: V/A charakteristika fotovoltaického článku při intenzitě záření $I = 1000 \text{ Wm}^{-2}$ a teplotě 25°C a 50°C a 75°C	10
Obr. 4: Schéma polovodičového jednoduchého (vlevo) fotovoltaického článku a článku s vysokou účinností (vpravo)	12
Obr. 5: Znárodnění struktury více přechodových (multi-junctions) fotovoltaických článků	13
Obr. 6: Řez fotovoltaickým panelem s hliníkovým profilem	14
Obr. 7: Schéma zapojení fotovoltaického systému typu Grid-OFF	15
Obr. 8: Schéma zapojení fotovoltaického systému typu Grid-ON	17
Obr. 9: Schéma zapojení fotovoltaického hybridního systému	18
Obr. 10: Srovnání denního výkonu FV panelu na pohyblivém stojanu a pevném stojanu	19
Obr. 11: Koncentrátory: vlevo se nachází koncentrátor typu Traxle s automatickým pohyblivým stojanem, vpravo se nachází koncentrátor záření na bázi Fresnelových čoček	20
Obr. 12: Žlabový parabolický koncentrátor s maximálním výkonem $P_{\text{max}} = 354 \text{ MWp}$	22
Obr. 13: Pracovní cykly stirlingova tepelného motoru	23
Obr. 14: Systémy koncentrátů slunečního záření, vlevo se nachází parabolický koncentrátor s bodovým ohniskem, vpravo se nachází věťová elektrárna s rovinnými zrcadly	24
Obr. 15: Věžová elektrárna s heliostaty – Solar Two	25
Obr. 16: Princip funkce komínové elektrárny	26
Obr. 17: Komínová elektrárna v Manzanares (Španělsko) a projekt elektrárny v Austrálii	27
Obr. 18: Elektromotory, které se využívají jako generátory elektrické energie	28
Obr. 19: Znárodnění složení a funkce TEG článku	30
Obr. 20: Parabolická anténa – model solidworks a fotografie reálné paraboly	32
Obr. 21: Nosníky absorbérů – model solidworks a fotografie reálných nosníků	33
Obr. 22: Absorbér – model solidworks a fotografie reálného absorbérů	34
Obr. 23: A/V, P/V charakteristika fotovoltaického panelu vytvořená z naměřených a vypočítaných hodnot	42
Obr. 24: A/V, P/V charakteristika fotovoltaického panelu vytvořená z vypočítaných hodnot	42
Obr. 25: A/V, P/V charakteristika peltierova článku vytvořená z naměřených hodnot	44
Obr. 26: A/V, P/V charakteristika termoelektrického článku vytvořená z naměřených hodnot	46
Obr. 27: Graf A/V charakteristiky článků vytvořený z naměřených a vypočítaných hodnot	47
Obr. 28: Graf P/V charakteristiky článků vytvořený z naměřených a vypočítaných hodnot	47

Seznam tabulek:

Tab. 1: Naměřené relevantní hodnoty fotovoltaického modulu (panelu) a výpočty hodnot na plochu $0,5 \text{ [m}^{-2}\text{]}$	38
Tab. 2: Přepočítané hodnoty fotovoltaického modulu na plochu $0,2728 \text{ [m}^{-2}\text{]}$	40
Tab. 3: Naměřené hodnoty peltierova článku na ploše $0,2728 \text{ [m}^{-2}\text{]}$	43
Tab. 4: Naměřené hodnoty termoelektrického článku na ploše $0,2728 \text{ [m}^{-2}\text{]}$	45

Měřicí přípravky, pomůcky, nástroje

- a) Multimetr Range RE330F PN:10413 zapojený jako voltmetr, DC napětí 200mv-1000v \pm (0.5%+1dgt), DC proud 200 μ A-10A \pm (0.8%+1dgt)
- b) Multimetr Ben electronic M92A zapojený jako ampérmetr, DC napětí 200mv-1000v \pm (0.5%+1dgt), DC proud 200 μ A-10A \pm (0.8%+1dgt)
- c) Infračervený teploměr CEM DT-812 rozsah teplot -50 °C až 500 °C \pm 2 %, PN:11023596
- d) Potenciometr PC4WK001, výkon P = 5 [W], drátový, výrobce AB elektronik, 1k Ω lineární mono
- e) Kaskáda ventilátorů 120 mm, U = 12 [V], I = 0,3-0,6 [A]
- f) Sestavená parabola s absorbérem a chladičem
- g) Autobaterie 12 [V], 65 [Ah], Banner - trakční (jako pohon chladičího ventilátoru)
- h) Notebook Ibm/Lenovo T510i

Přílohy