

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektromechaniky a výkonové
elektroniky**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Provozování fotovoltaických systémů

**vedoucí práce: Ing. Milan Bělík, Ph.D.
autor: Martin Procházka**

2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin PROCHÁZKA**
Osobní číslo: **E08B0162P**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Provozování fotovoltaických systémů**
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

1. Popište obecné zásady využívání solární energie pro energetické účely.
2. Uveďte konkrétní praktické aplikace fotovoltaických systémů.
3. Zhodnoťte prakticky provozovaný FV systém z energetického, ekologického a ekonomického hlediska.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

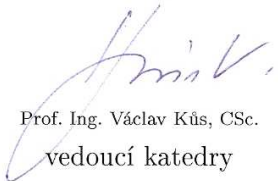
1. Libra, M., Poulek, V.: Solární energie - Fotovoltaika - perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Bělík, Ph.D.
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: 18. října 2010
Termín odevzdání bakalářské práce: 3. června 2012


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kús, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Předkládaná bakalářská práce pojednává o problematice fotovoltaických elektráren, řešení jejich konstrukce a také obsahuje konkrétní případy solárních elektráren.

Klíčová slova

Reflektor, fotovoltaický systém, solární elektrárna, účinnost, článek, polovodič, výkon, panel, pohyblivá konstrukce.

Abstract

The present thesis deals with problems of photovoltaic power plants, their design solutions and also contains the specific cases of solar power plants.

Key words

Spotlight, photovoltaic systém, solar power plant, efficiency, article, semiconductor, performance, floating structures.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

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.

V Plzni dne 7.6.2012

Martin Procházka

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Milanu Bělíkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

ÚVOD	9
1 VYUŽÍVÁNÍ SOLÁRNÍ ENERGIE	10
1.1 ENERGIE ZE SLUNCE.....	10
1.2 DRUHY SOLÁRNÍCH ELEKTRÁREN.....	11
1.2.1 Elektrárny věžového typu.....	11
1.2.2 Fotovoltaické elektrárny.....	13
1.2.3 Fotovoltaické elektrárny na oběžné dráze.....	14
1.3 PRINCIP SOLÁRNÍHO ČLÁNKU.....	15
1.4 POUŽÍVANÉ DRUHY SOLÁRNÍCH ČLÁNKŮ.....	16
2 PRAKTICKÉ APLIKACE FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ	20
2.1 FOTOVOLTAICKÉ PANELE S PEVNÝM STOJANEM.....	20
2.2 FOTOVOLTAICKÉ PANELE S POHYBLIVÝM STOJANEM.....	21
2.3 DALŠÍ MOŽNOSTI NAVÝŠENÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE.....	28
2.4 ZAJÍMAVOSTI.....	30
3 PŘÍKLAD FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN	32
3.1 FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA ČERNÝ DUB U ČESKÝCH BUDĚJOVIC.....	32
3.2 FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA HEIDENHEIM.....	36
3.3 PRAKTICKÉ ZHODNOCENÍ.....	43
ZÁVĚR	45
POUŽITÁ LITERATURA	1
SEZNAM OBRÁZKŮ	3
PŘÍLOHY	7

Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na použití solárních elektráren, jejich konstrukci a princip funkce fotovoltaické elektrárny.

Tuhle práci jsem si vybral z důvodu, že tento způsob výroby energie je jeden z nejekologičtějších. Tento způsob výroby za posledních několik let udělal obrovský krok dopředu. Došlo ke zdokonalení výrobních zařízení a i nadále se budou zařízení velkým tempem zdokonalovat. Je to dobrý způsob získávání energie i do budoucnosti. Za poslední dobu došlo také k velkému nárůstu výstavby solárních elektráren.

Jedna elektrárna byla vybudována i v místě mého bydliště. Tato elektrárna mě zaujala z důvodu použití pohyblivých konstrukcí a chtěl jsem se o nich dozvědět více. Nejvíce mě upoutal způsob, jak dochází k pohybu konstrukcí. Z tohoto důvodu jsem si zvolil bakalářskou práci o problematice fotovoltaických systémů a použití pohyblivých konstrukcí.

Moje bakalářská práce o problematice fotovoltaických systémů je rozdělena do tří částí. První se zabývá rozdělením podle způsobu přeměny sluneční energie a druhy používaných článků. V druhé části se zabývám rozdělením podle druhu konstrukce podstavce pro fotovoltaické panely. Tyto konstrukce se rozdělují na pevné a pohyblivé. Pohyblivé konstrukce se dále rozdělují podle způsobu pohybu. Dále zařadím i zajímavosti o solárních elektrárnách v České republice. V třetím bodě mám za úkol zjistit údaje o jedné konkrétní fotovoltaické elektrárně. Následně zhodnotit tento systém z energetického, ekologického a ekonomického hlediska.

1 Využívání solární energie

1.1 Energie ze Slunce

Naprostá většina energie dostávající se na naši Zemi pochází právě od Slunce. Tato energie vyzařuje z nitra Slunce, ve kterém probíhají jaderné přeměny. Časově je možnost této přeměny samozřejmě omezená, Slunce nemůže zářit do nekonečna - ovšem podle vědců se vyčerpání našeho Slunce dá očekávat v řádu miliard let. Pro naši představu o čase můžeme se Sluncem počítat takřka navždy [1].

Energie ze Slunce dopadající nepřetržitě na Zemi ve formě fotonů se z menší části (34%) přímo odráží zpět do kosmického prostoru, aniž zasáhne do dějů na naší planetě, z větší části (66%) je na Zemi zachyceno. Zachycená energie prochází na Zemi různými přeměnami, aby nakonec byla ve formě infračerveného záření také vrácena zpět do kosmu.

Tyto přeměny jsou nezbytnou podmínkou života na Zemi. Člověk však dokáže stále větší část energie dopadajícího slunečního záření usměrnit ve svůj prospěch. Moderní technika mu k tomu dává stále více prostředků. Jednou z reálných možností jak krýt stále rostoucí spotřebu energie, je zachycovat sluneční energii ještě ve formě fotonů a účelně ji přeměňovat v jiné formy energie – energii tepelnou, mechanickou, elektrickou a chemickou.

Poměrně snadno lze energii slunečního záření přeměnit na tepelnou. Zařízení se při tom zachycuje sběrači (kolektory) nebo pomocí koncentrátů s odrazovou plochou nebo soustavou několika čoček. Plochými kolektory lze zachycenou sluneční energii převést v teplo o nízkém potenciálu do (100°C). Jde o nízkoteplotní systémy, které mohou sloužit především k ohřívání užitkové vody, k vytápění budov, nebo k teplovzdušnému sušení různých materiálů.

Přímá přeměna energie slunečního záření v mechanickou energii by byla velmi málo účinná, neboť tlak fotonů je nepatrný. Jinak však má téměř všechna mechanická energie na Zemi svůj původ v energii sluneční – jde však při tom o přeměnu nepřímou. Lze uvést řada příkladů s řetězcem přeměn, na jehož začátku je vždy sluneční energie např. práce tažných zvířat živících se rostlinnou potravou, práce tepelných motorů hnaných energií uvolněnou hořením fosilních paliv, práce vodních turbín poháněných potenciální energií vody z přehradních nádrží, práce větrných motorů poháněných

kinetickou energií vzduchu atd. Každý řetězec přeměn se řídí zákonem o zachování energie a na jeho konci je vždy teplo, které se v podobě infračerveného záření Země odvede zpět do kosmického prostoru.

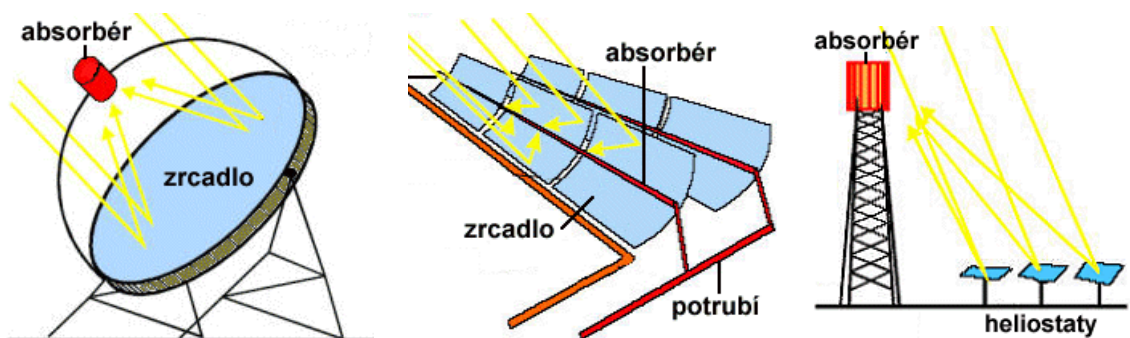
Přímá přeměna energie slunečního záření v elektrickou energii je možná na základě fotovoltaického jevu, při němž fotony přímo působí na elektrony v některých tuhých látkách (polovodičích). Princip fotovoltaických panelů byl propracován v šedesátých letech pro potřeby kosmonautiky sloužící jako zdroj elektrické energie. Jsou nezbytnou součástí všech umělých družic. Dnes se tato přeměna používá i na Zemi. Došlo k navýšení účinnosti, díky novým technologiím. Tyto fotovoltaické panely se používají v hojném množství a vznikají celé elektrárny o vysokých výkonech [2].

1.2 Druhy solárních elektráren

1.2.1 Elektrárny věžového typu

Už s dlouhodobou tradicí přeměňujeme solární energii na jiné formy energie. Většinou pomocí solární energie se ohřívaly různá média. Nejčastěji docházelo k ohřevu vody nebo oleje za pomoci koncentrace záření do ohniska zrcadla.

V roce 1883 vynalezli A. Mouchot a A. Piffr z Francie zařízení, kde docházelo k přeměně vody v páru a ta následně poháněla parní stroj.



Obr. 1.1: Princip ohřevu absorbéru koncentrovaným slunečním zářením

Úplně stejně fungují i některé pokusné elektrárny, kde je koncentrované sluneční záření využito k tvorbě páry. Kde pára následně pohání parní turbínu, která je spojena

generátorem na výrobu elektrické energie.

Parogenerátory pracují na různých druzích ohřevu media. Rozdělují se podle umístění absorbéru. Nejčastěji se používá žlabové uspořádání a věžové uspořádání viz. obr.1.1.

Několik takových elektráren pracuje s maximálními výkony $P_{\max} = 10 \div 30$ MW, nejvíce se nacházejí v Kalifornii a Novém Mexiku, kde je v průměru 320 slunečních dní v roce. Páru se daří ohřívat na teplotu 560°C a po zdokonalení a optimalizaci technologie se dostává účinnosti elektrárny až 17%. Některé věžové elektrárny používají ještě olejový či šterkový akumulátor tepelné energie, aby turbogenerátor mohl pracovat ještě nějakou dobu po západu Slunce. I když tento systém elektráren vypadal z počátku slibně, dosud zůstal ve stádiu pokusných zařízení a většího rozšíření se nedočkal. S moderní počítačovou technikou je totiž velký technický i finanční problém řízení nastavování všech zrcadel s velkou přesností. Zrcadla je třeba stále čistit a při ploše až 40 m^2 často neodolají větru. Na (obr. 1.2) je elektrárna “Solar One” s maximálním výkonem $P_{\max} = 10$ MW a věží vysokou 70 m, která byla jako první věžová elektrárna spuštěna v roce 1985 [3].



Obr. 1.2: Solární elektrárna věžového typu

1.2.2 Fotovoltaické elektrárny

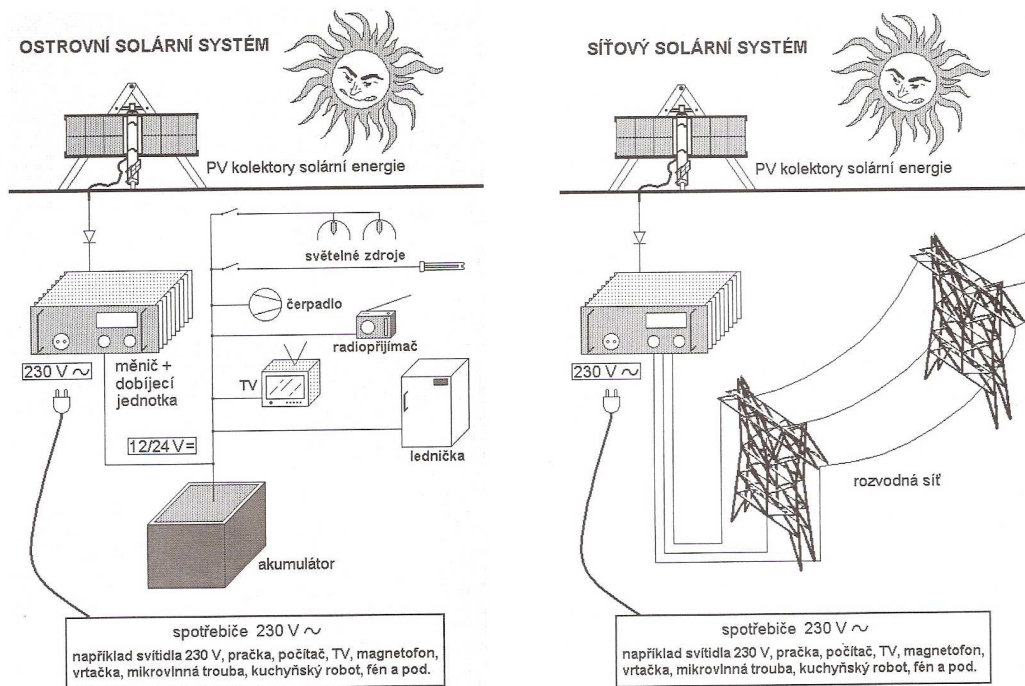
Dnes nejrozšířenější a snad i nejperspektivnější princip přeměny solární energie na elektrickou je přímá přeměna v polovodičových fotovoltaických panelech. Roční výroba a instalace PV panelů se pohybuje v řádu několika GW_p/rok a vykazuje prudký růst [3]. Po celém světě se budují solární elektrárny od malých výkonů řádově jednotek kilowatů až po obrovské elektrárny, které dosahují výkonu až několik MW. Elektrárna vyrábí stejnosměrný elektrický proud, který se pomocí měničů přemění na střídavý proud. Tyto elektrárny mohou být budovány jako ostrovní systém nebo mohou být připojeny na veřejnou rozvodnou síť.

Ostrovní fotovoltaické elektrárny

Ostrovní PV elektrárny nejsou připojeny k rozvodné síti. Tyto systémy se používají v odlehlých místech, kde není možnost připojení k síti. Taková elektrárna může napájet jen malou oblast nebo jen jeden objekt, protože je omezena vyráběným výkonem. Při plánování takovéto elektrárny je třeba počítat s hodnotami slunečního svitu v místě výstavby. Tento systém výroby je vhodný pro odlehlé chalupy nebo různé jiné spotřební zařízení. Výstavba této ostrovní elektrárny je mnohdy levnější než budování přípojky k odlehlému místu.

Síťové fotovoltaické elektrárny

Síťové elektrárny na rozdíl od ostrovních, jsou trvale připojeny na rozvodnou veřejnou síť. V době přebytku vlastního výkonu mohou dodávat energii do sítě a v době nedostatku vlastního výkonu mohou ze sítě energii odebírat. Měniče se samy automaticky sfázují se sítí a při poklesu napětí v síti se automaticky odpojí z bezpečnostních důvodů. Datové zařízení umožňuje sledovat okamžitý dodávaný výkon i celkové množství energie.



Obr. 1.3: Schéma ostrovního PV systému

Obr. 1.4: Schéma síťového PV systému

1.2.3 Fotovoltaické elektrárny na oběžné dráze

Fotovoltaické elektrárny jsou na oběžné dráze běžná záležitost. V současnosti fotovoltaické panely napájejí naprostou většinu kosmických družic na oběžných drahách Země. Proto se už v roce 1968 objevila myšlenka postavit na oběžné dráze velkou fotovoltaickou elektrárnu a zachycenou energii posílat na zemský povrch.

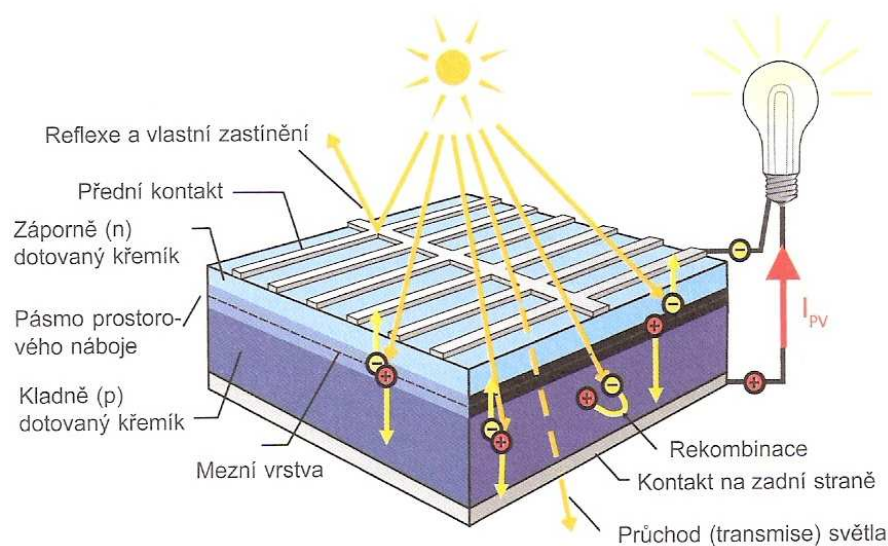
Výhodou by byla větší intenzita záření nad zemskou atmosférou a téměř trvalé vystavení fotovoltaických panelů slunečnímu záření. Panely by byly zastíněny pouze během několika dní v období rovnodennosti a to jen několik hodin denně. Elektrárna by mohla mít plochu fotovoltaických panelů cca 50 km² a hmotnost řádově tisíce tun. Nevýhody a rizika takového projektu jsou především v přenosu vyrobené energie. Přenos by byl možný pomocí vysokoenergetických laserů, ty byly bohužel zavrženy z důvodu nízké účinnosti a vysokého rizika zneužití. Obvykle se uvažuje s přenosem pomocí mikrovlnného záření o intenzitě na úrovni maximálně ¼ slunečního příkonu. Přijímací zařízení na zemském povrchu by muselo mít plochu srovnatelnou s fotovoltaickým systémem stejného výkonu, muselo by se však jednat o velkou souvislou plochu. Taková neobydlená plocha přichází v úvahu jen v pouštích, což by se

však dalo realizovat. Dálkovým vedením a dvojí přeměnou energie by docházelo k velkým ztrátám.

Cena samotné elektrárny by byla obrovská a navíc k postupnému vynesení na geostacionární dráhu by bylo třeba cca 100 startů nejvýkonnějších raket. Lidé na geostacionární dráze mohou pracovat jen několik dní, neboť se nacházejí mimo ochranu magnetického pole Země. Bylo by tedy nutné často střídat posádky nebo vyvinout roboty schopné elektrárnu smontovat a obsluhovat. A také je tu velké riziko možnosti vymknutí elektrárny kontrole. Proto není moc pravděpodobné, že by se taková elektrárna v dohledné době vybuďovala, zvláště když lidstvo dosud má alternativu zejména ve zdrojích jaderných a ve vývoji zařízení pro jadernou fúzi [3].

1.3 Princip solárního článku

Klasický krystalický solární článek se skládá ze dvou rozdílně dotovaných křemíkových vrstev. Strana obrácená ke slunečnímu světlu je záporně dotována fosforem, vrstva ležící pod ní je kladně dotována bórem. Aby bylo možné ze solárního článku odebírat proud, jsou na přední a zadní straně umístěny kovové elektrody jako kontakty. Na zadní straně je to většinou provedeno jako celoplošná elektroda. Naproti tomu přední strana musí co nejlépe propouštět světlo. Kontakty se zde většinou skládají z tenké mřížky, která zakrývá jen velmi malou část plochy povrchu článku. Na zadní straně je možné umístění celoplošné kontaktní vrstvy pomocí hliníkové nebo stříbrné pasty. Umístění elektrod se většinou provádí sítotiskovou technikou. Na povrchu článku by se světlo mělo co nejméně odrážet, aby se co nejvíce fotonů absorbovalo. Proto se na povrch článků umisťují antireflexní vrstvy.



Obr. 1.5: Konstrukce a přeměna v krystalickém křemíkovém článku

Dopadá-li na solární článek světlo, dochází k oddělení nábojů, jak už bylo výše popsáno. Na solárním článku dochází ke ztrátám rekombinací, odrazem (reflexí) a také zastíněním předními kontakty. Největší podíl energie se ztrácí ve formě dlouhovlnného nebo krátkovlnného záření, které nemůže být využito. Např. dlouhovlnné záření článkem prochází (transmise) a nepřispívá k vytváření nosičů náboje. Solární články mohou v důsledku materiálně technických vlastností využívat jen část spektra slunečního záření. Další část nevyužitě energie se absorbuje a mění na teplo. [5].

1.4 Používané druhy solárních článků

Pro výrobu solárních článků se používá řada materiálů a postupů výroby. Nejvíce používaným materiálem pro výrobu je křemík. Solární články se liší podle struktury, tvaru a výkonnými parametry. Solární články na bázi krystalického křemíku se na trhu podílejí 86 %. Křemík není jedovatý, v elektronice je dobře známý a už dlouho používaný materiál. Křemík je jedním z nejrozšířenějších prvků na Zemi, proto není problém tento materiál získávat. Bohužel se ale nevyskytuje v čisté formě. V přírodě se vyskytuje většinou ve formě křemene. Křemík získáme roztavením křemenného písku a následně dochází k čištění v chemických procesech. Dokud křemík nedosáhne téměř 100 % čistoty. Ve fotovoltaice se především používají křemíkové odpady elektronického průmyslu. Dále se odborníci snaží vymyslet postup výroby jak dosáhnout levnějšího křemíku. Odpadní křemík pro rychle se rozvíjející výrobu PV

panelů nestačí. Až se začne s výrobou křemíku pro PV průmysl, tak už nebude závislý na výrobě klasické elektroniky. Vysoce čistý křemík je možno různými způsoby zpracovat na různé typy solárních článků.

Monokrystalické články

Monokrystalické křemíkové články se skládají z jediného krystalu. Tvar křemíkových článků je většinou čtvercového nebo čtvercového se zaoblenými rohy. Délka hrany čtvercových článků je 10, 12,5 a 15 centimetrů. Novější polo čtvercové články mají délku hrany 15,2 cm a jsou často vybaveny třemi sběrnými. Také jsou nabízeny i monokrystalické moduly se zaoblenými články. Tento způsob provedení je spíše vzácný. Protože tato konstrukce článku vede k menšímu využití plochy a následně menšímu výkonu jednoho panelu. Někdy ale také bývá požadavek na vzhledové působení panelů. Pro tento požadavek je vhodné využít články s oblými rohy. Dále se také používají články šestihranné. Při výrobě šestihranných článků nedochází k tak velké spotřebě materiálu a dále dochází i k lepšímu krytí plochy panelů.



Obr. 1.6: Monokrystalický článek

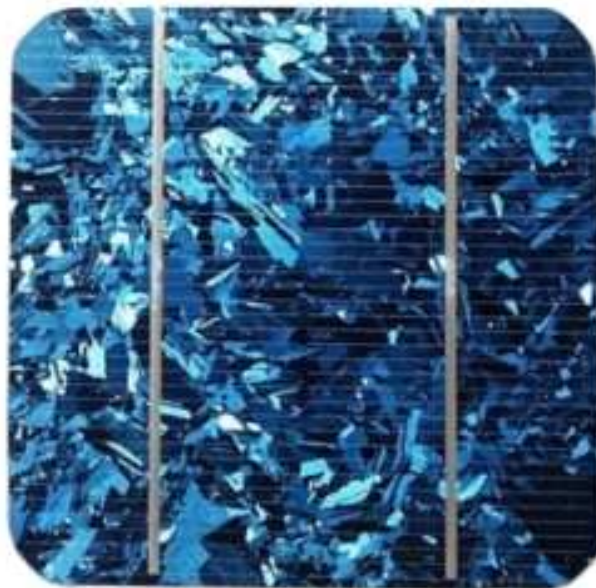
Jelikož se materiál článku skládá z jediného krystalu, je povrch článku většinou tmavomodrý až černý. Elektrická kvalita monokrystalických solárních článků je velmi vysoká. Dosahují účinnosti přes 21% průměrná, účinnost monokrystalických článků je 15 až 17%. Tvar článků je určen procesem výroby. Při výrobě monokrystalického

křemíku se většinou používá tzv. Czochralského proces. Pomocí ponořeného zárodku krystalu se z vysoce čisté křemíkové taveniny při pomalém otáčení vytahuje kulatá monokrystalická tyč až do průměru 30 cm a několika metrů délky. Předtím se křemík musí roztavit v kotli při teplotě 1420 °C. Krystalizace je energeticky nejnáročnější proces ve fotovoltaice. Kulatá tyč se seřízne na čtvercový průřez a poté se řeže na destičky o tloušťce 0,3 mm. Při úpravě tvaru tyčí a řezání na destičky přijde velká část křemíku nazmar jako odpad při řezání. Podle toho, co všechno se z plátkové destičky všechno odřeže, vzniknou později kruhové, polo čtvercové nebo čtvercové články. Na destičky, které jsou již dotovány příměsí typu p, se napaří tenká vrstva dotovaná difuzí fosforu. Po umístění zadní kontaktní vrstvy a také kontaktního palce a antireflexní vrstvy jsou solární články kompletní. Antireflexní vrstva zajišťuje, že se od povrchu článku odráží co nejméně světla. Čím méně světla se od povrchu solárního článku odráží, tím více světla lze využít k získávání energie. Během roků vývoje se osvědčily různé antireflexní vrstvy (u solárních článků) a různá antireflexní skla (u solárních modulů). Stále více jsou povrchy článků opatřovány mikroskopicky malými strukturami. Byly k tomu vyvinuty různé metody: pomocí laseru nebo mechanickým či chemickým zpracováním jsou vytvářeny malé pyramidní nebo rýhované struktury, které fungují jako pohlcovače světla a tak ještě jednou značně snižují reflexi ve srovnání s dielektrickými antireflexními vrstvami [5].

Polykrystalické články

Polykrystalické články se skládají z více krystalů. Snadno je lze rozpoznat podle třpytící se krystalické struktury. Jsou čtvercové s délkou hrany 4, 5, 6 nebo 8 palců. Obvyklé účinnosti leží mezi 13 a 16 procenty.

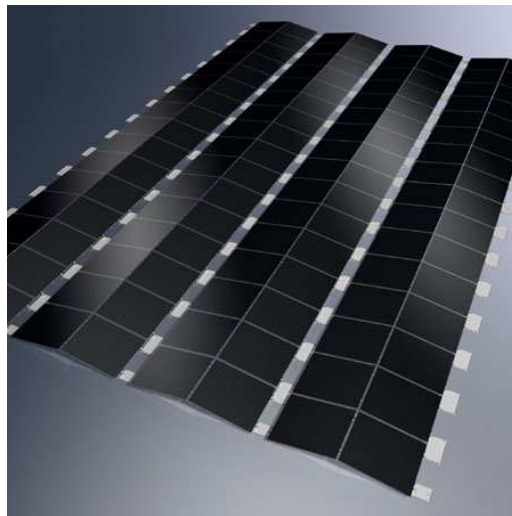
Polykrystalický křemík lze vyrábět jednodušeji a levněji než monokrystalický křemík. Většinou se zde používá metoda blokového lití. Křemík se ve vakuu zahřeje na 1500°C a v grafitovém kelímku se regulovaně ochlazuje až do blízkosti bodu tání. Tak vzniknou polykrystalické křemíkové bloky 40 × 40 cm o výšce 30 cm. Bloky se nejprve rozřežou na tyče a ty pak na destičky. Odpad z řezání je menší než u řezání monokrystalických válců. Následující výrobní kroky až po hotové solární články probíhají stejně jako u monokrystalických článků. Metodou blokového lití se tvoří krystaly s rozdílnou orientací. Podle rozdílných odrazů světla lze dobře rozpoznat jednotlivé krystaly [5].



Obr. 1.7: Polykrystalický článek

Tenkvrstvé články

Tyto články se vyrábějí technologií nanášení slabé vrstvy amorfního křemíku na podklad. Většinou se jako podklad používá fólie nebo sklo. Nevýhodou těchto panelů je zatím jejich malá účinnost, která dosahuje jenom 8% a je potřeba dvojnásobné plochy proti polykrystalickému nebo monokrystalickému panelu. Do budoucna ale můžeme počítat s tím, že po zdokonalení této technologie dojde k nárůstu použití těchto článků. Tyto články jsou vhodné k instalaci na střechy budov, protože není potřeba složité upevňovací konstrukce.



Obr. 1.8: Tenkovrstvý solární panel

2 Praktické aplikace fotovoltaických systémů

Možnosti navýšení vyrobené energie

Fotovoltaické panely se montují na různé druhy podkladů – fasády, střechy, či různé konstrukce umístěné na vhodných místech. Dále si rozebereme, jaká konstrukce je nejúčinnější.

2.1 Fotovoltaické panely s pevným stojanem

Snahou každého konstruktéra je maximální efektivita konstruovaného zařízení. Máme-li možnost volit orientaci a sklon PV panelů, volíme zpravidla azimutální orientaci přední stranou k jihu a sklon podle zeměpisné šířky takový, aby v poledne dopadalo sluneční záření kolmo k přední ploše panelů, neboli aby v poledne byl nulový úhel dopadu. Zvýšení výroby energie můžeme docílit tím, že přidáme panely ještě na zadní stranu panelů [3]. Tyto panely využívají i záření odraženého od terénu, nebo budovy. Hodně záleží na odrazivosti materiálů, např. dobře křemenný písek a beton, hůře odráží tráva či hlína a minimálně odráží například černá čedičová skála. Odrazivost materiálu někdy způsobuje, že poloha kolmá ke směru slunečního záření nemusí být optimální, zvláště když je Slunce nízko nad obzorem.

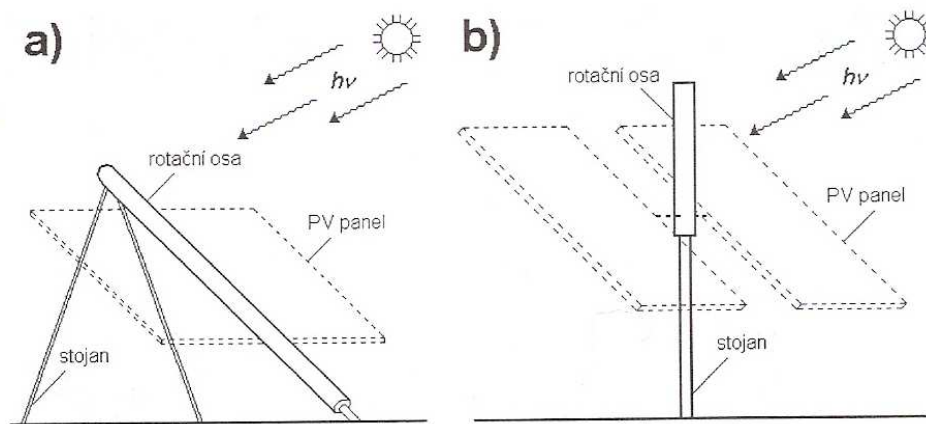
Pro lepší využití je vhodné dvakrát do roka změnit nastavení sklonu PV panelů na zimní a letní provoz. Řada aplikací však potřebuje trvalý stejnosměrný celoroční příkon. Pokud není možnost měnit sklon během roku, bývá pak celý PV systém optimalizován na provoz v zimních měsících, kdy je sluneční energie nejméně. V letních měsících dodávají solární systémy více než dvojnásobek energie v podmínkách střední Evropy na 50°sš. Zaměříme-li se pouze na měsíc prosinec, kdy je v podmínkách střední Evropy nejméně slunečního záření ukazuje porovnání závislost množství vyrobené energie na úhlu naklonění panelů pro standartní a oboustranné panely. V případě oboustranných panelů je maximum posunuto více směrem ke svislé poloze panelů. Oboustranné panely dodávají v zimě až o 25% více energie než panely standartní. Je tomu tak, proto, že ve svislé poloze dopadá nejvíce odraženého záření na zadní stranu panelů a současně pokles množství energie dopadající na přední stranu není příliš velký oproti optimální orientaci [3]. Vertikální poloha panelů je také výhodná proto, že se sníh či jiné nečistoty neusazují na svislém povrchu.

2.2 Fotovoltaické panely s pohyblivým stojanem

Pomocí pohyblivých stojanů lze dosáhnout výroby většího množství vyrobené energie. Proto se v poslední době začaly více využívat. Na povrchu Země dopadá na rovinu kolmou ke směru přímého slunečního záření maximální intenzita záření zhruba $I=1100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Při účinnosti kvalitních kolektorů na bázi krystalického křemíku cca 18÷20% lze z plochy kolektoru $S=1\text{m}^2$ získat maximální výkon $P_{\text{max}}=200 \text{ W}$. Při šikmém dopadu tato hodnota klesá. Pokud máme u kolektoru instalováno zařízení schopné sledovat pohyb Slunce po obloze a natáčet kolektor po celý den kolmo ke směru slunečního záření, může kolektor vyrobit více energie v porovnání s kolektorem pevným.

Porovnáme-li pevné a pohyblivé konstrukce pro solární panely za podmínek, že Slunce bude svítit 12 hodin a bude mít stálou intenzitu záření. Tak panely s pohyblivou konstrukcí budou vykazovat více vyrobené energie až o 57 %. Tohle navýšení vyrobené energie je dosaženo tím, že panely směřují kolmo ke Slunci. Například na povrchu Měsíce by takového čísla bylo možno dosáhnout ale v pozemských podmínkách nikoli. Protože musíme počítat s tím, že po východu a před západem intenzita záření mnohem nižší než v poledne. Slunce však může svítit ve vyšších zeměpisných šířkách i déle než 12 hodin denně. Na povrchu Země tedy navýšení množství vyrobené energie může činit

maximálně 40% a v podmínkách České republiky cca 30%, což bylo i experimentálně naměřeno.



Obr. 2.1: Provedení pohyblivých stojanů a) s polární osou, b) se svislou osou

Existuje řada principů, na kterých sledovače Slunce pracují, většina z nich je chráněna patenty. Spousty principů bylo vymyšleno v laboratořích, kde i bez problémů fungovaly. Když se ale zatížily PV panely, tak už nefungovaly tak jak by měly. Jiné špatně odolávaly přírodním podmínkám. Největší nápor na konstrukce představují povětrnostní podmínky. Dále se podíváme na několik nejdůležitějších principů, které se v praxi nejvíce používají.

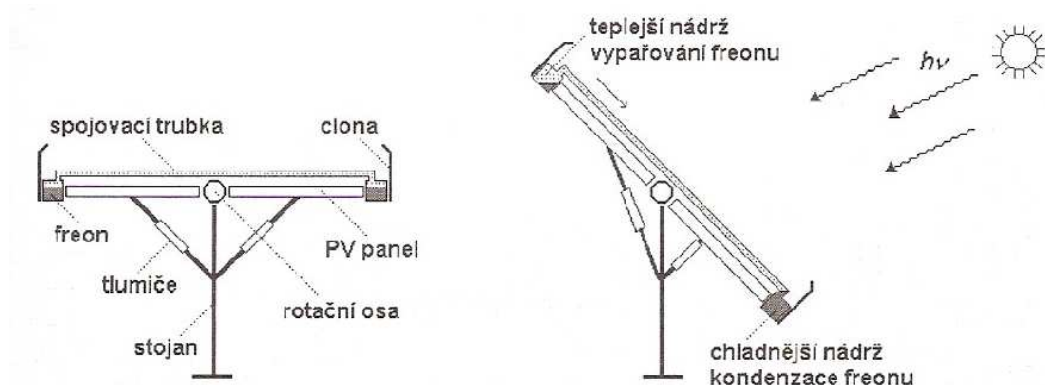
Sledovače na principu hodinových strojků

Tento systém je založený na principu hodinových strojků nebo na principu krokových motorků s převodovkou, kteří jsou řízeny počítačem. Tyto sledovače jsou velmi přesné, mohou pracovat za každého počasí, nevdí jim ani tma. Jeden počítač může řídit i více pohyblivých stojanů a může mít naprogramován pohyb jednotlivých stojanů na celý rok. Nevýhodou tohoto systému je jeho složitost, která může vést k zbytečným poruchám. Další jeho nevýhoda je jeho velká pořizovací cena.

Sledovače na principu kondenzace a vypařování freonu

Princip sledovače na kondenzaci a vypařování freonu je velmi jednoduchý, ale přesnost tohoto způsobu sledování Slunce není nejlepší. Na obou krajích solárního systému jsou nádržky s freonem. Tyto nádržky jsou propojeny trubkou a také clonami,

které z vnější strany chrání proti dopadu slunečního záření. Přímé záření dopadá jenom na nádržku, která je vzdálenější od Slunce. Dochází k ohřívání freonu a ten se začne vypařovat, následně se trubkou přemístí do spodní nádrže, kde začne kondenzovat. Strana blíže ke Slunci je díky kondenzaci těžší, proto dojde k náklonu konstrukce. Celý PV systém se tedy natáčí směrem ke Slunci tak, že se zmenšuje úhel dopadu slunečního záření na PV panely [3].

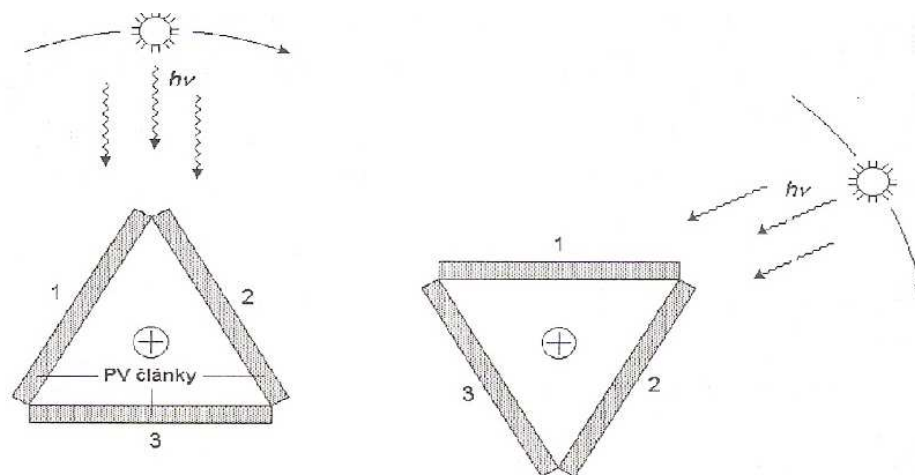


Obr. 2.2: Schéma sledovače Slunce na principu vypařování a kondenzace freonu

Sledovače na principu diferenciálního porovnání intenzity

Tento typ sledovače je založen na principu porovnávání signálů. Signály se získávají z malých PV panelů, které jsou umístěny na stranách sledovače. Strany jsou vůči sobě pootočený o určitý úhel. Počítač následně vyhodnocuje všechny signály z PV panelů. Na základě údajů o velikosti signálu dojde k pootočení sledovače. Počítač vyhodnocuje směr natočení tak, že když signály z článků 1 a 2 jsou stejné, tedy aby intenzita záření dopadající na oba články byla shodná a aby signál z článku 3 byl menší. Jehlan se natočí tak, že hrana mezi články 1 a 2 směřuje ke Slunci, viz obr. 2.3. V případě použití dvou takových jehlanů lze řídit natáčení systému ve dvou osách a nastavovat PV panely přesně kolmo ke směru slunečního záření.

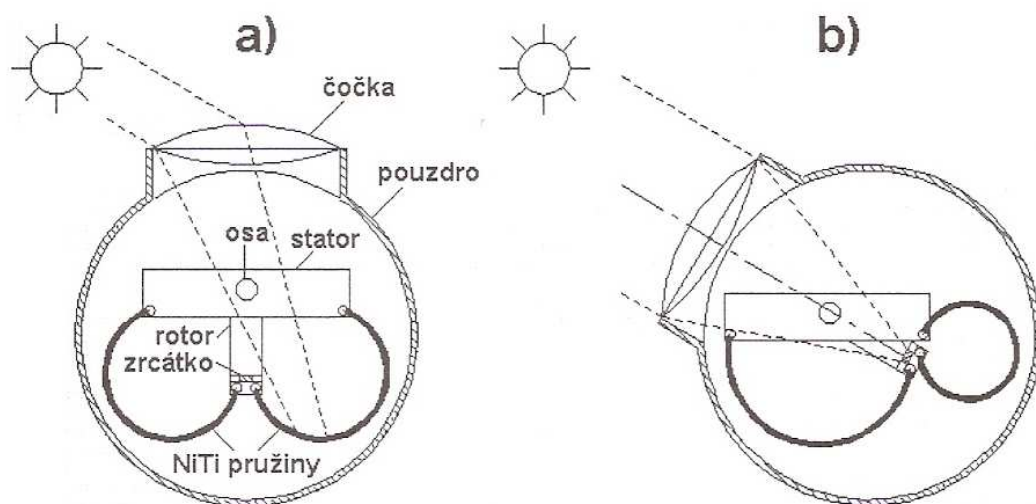
Výhodou takových sledovačů je možnost poměrně vysoké přesnosti sledování, ale nevýhoda je značná složitost zejména elektronického vyhodnocování signálu z PV článků a s tím související vysoká cena [3].



Obr. 2.3: Sledovač na principu diferenciálního porovnávání intenzity slunečního záření

Sledovače na principu pružin z paměťových slitin

Sledovače na principu paměťových slitin využívají speciální materiály. Takovým materiálem je například NiTi. Když dojde k deformaci tohoto materiálu, tak po odeznění tzv. transformační teploty je schopen vrátit se do původního tvaru. Existují i slitiny s obousměrnou tvarovou pamětí, které po snížení teploty pod transformační vrátí zpět do deformovaného tvaru. U jednosměrných slitin musí být ještě dále namontovány pružiny, které slouží k návratu zpět do deformovaného tvaru.



Obr. 2.4: Schéma sledovače Slunce na principu pružin z paměťových slitin

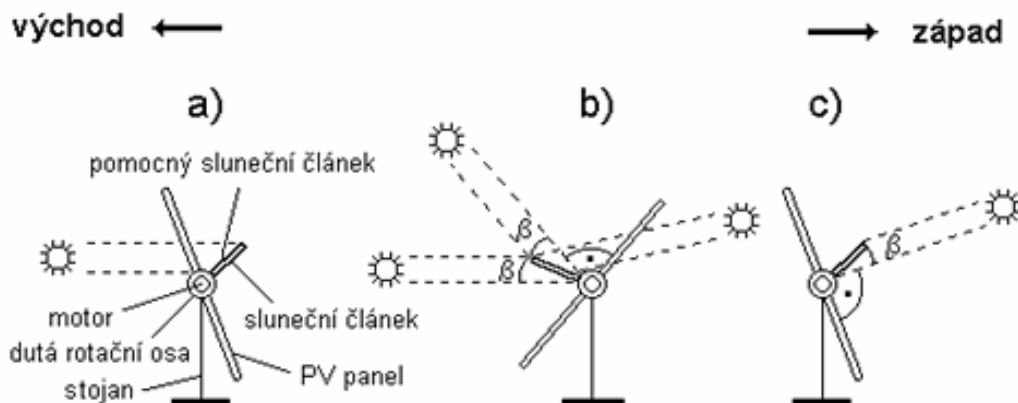
Tato konstrukce má některé nevýhody. Největší nevýhodou je, že tato konstrukce pracuje s příliš malou účinností. Další nevýhoda je ta, že v zimním období při nízkých teplotách zařízení selhávají, nebo dochází ráno k špatné orientaci polohy systému. K natočení systému k východu dochází až v pozdních dopoledních hodinách. To vede k zbytečným ztrátám ve výrobě energie. Tato závada by mohla být odstraněna použitím slitiny s nižší transformační teplotou. To by ale zase vedlo ještě k větším ztrátám v letním období. Protože teplota by nikdy neklesla pod transformační hodnotu a funkčnost systému by selhávala.

Sledovače typu TRAXLE™

Nedostatky už popisovaných zařízení pro automatickou orientaci kolektorů solární energie odstraňuje zařízení nové konstrukce nazvaného TRAXLE™ (zkr. tracking axle). Podstata spočívá v tom, že řídicí panel se solárními články pro přeměnu solární energie na energii elektrickou je připevněn k rotační ose zařízení a je složen ze dvou sekcí otočných vůči sobě o 180° (hlavní sekce k západu a pomocná sekce k východu). Rovina řídicího panelu je od roviny kolmá ke kolektorům solární energie a rovněž s rotační osou zařízení odchýlená o určitý úhel (cca $\beta = 15^\circ\div 20^\circ$) k východu a obě sekce jsou antiparalelně připojeny přímo k elektromotoru spojenému s rotační osou zařízení. Úhel β by měl být právě takový, aby při dopadu slunečního záření pod úhlem dopadu větším než $\varphi \geq 90^\circ - \beta$ byla síla motoru menší než síla potřebná k orientaci zařízení, ale aby při dopadu slunečního záření pod úhlem dopadu menším než $\varphi \leq 90^\circ - \beta$ byla síla motoru větší než síla potřebná k orientaci zařízení. Když na řídicí panel posvítí přímé sluneční záření z kterékoliv strany bod úhlem dopadu menším než $\varphi \leq 90^\circ - \beta$, signál z této strany je větší než signál z opačné strany a energie vyrobená řídicím panelem pohybuje motorem tak, že systém se orientuje tím směrem, aby se úhel dopadu na řídicí panel zvětšil. Pohyb se zastaví, právě když úhel dopadu je $\varphi = 90^\circ - \beta$, neboť tehdy se síla motoru zmenší pod hodnotu potřebnou k orientaci systému. Když v důsledku pohybu Slunce po obloze dojde ke zmenšení úhlu dopadu na řídicí panel, systém se opět pohne směrem ke zvětšení úhlu dopadu. Za jasného dne se tak systém pohybuje postupně (nikoliv spojitě) od východu k západu, přičemž podle měření je přesnost orientace celého systému do polohy kolmé ke směru slunečního záření lepší než $\Delta\varphi \leq 5^\circ$. Když uvážíme, že průmět plochy PV panelu do roviny kolmé ke směru slunečního záření je dán cosinem úhlu dopadu, rozdíl těchto ploch je menší než 4

promile, což se na množství vyrobené energie vůbec neprojeví. Zařízení využívá záporné zpětné vazby. V zařízení působí výkon dodávaný řídicím panelem připojeným k motoru proti mechanickému odporu v konstrukci zařízení a proti odporu prostředí [3].

Během jasného dne je funkce zařízení s touto konfigurací následující. Ráno před východem Slunce je zařízení obvykle orientováno k západu, kde večer předcházejícího dne ukončilo činnost. Po východu slunce (obr.2.5a) dopadá sluneční záření na pomocnou sekci řídicího panelu připojeného k motoru. Motor otáčí zařízením za Sluncem k východu, dokud síla nepoklesne pod sílu potřebnou pro orientaci zařízení. Zařízení je po té orientováno přibližně k východu, úhel dopadu záření na řídicí panel je přibližně roven $\varphi = 90^\circ - \beta$, Slunce poté postoupí na obloze o úhel 2β směrem k západu. V tomto úhlu kolektory solární energie nesledují Slunce, neboť síla motoru je menší než síla potřebná k jejich orientaci. Při dalším postupu Slunce směrem k západu dopadá sluneční záření na hlavní sekci řídicího panelu připojeného k motoru. Motor napájený energií z řídicího panelu otáčí zařízením postupně za Sluncem k západu. Kolektor je takto skokově orientován za postupujícím Sluncem (obr.2.5b, c). Obr. 2.5b ukazuje, že ať posvítí Slunce z kterékoliv strany, řídicí panel je vždy v dosahu slunečního záření. To je důležité pro případ, že by během dne bylo delší dobu zataženo [3].



Obr. 2.5: Sledovače Slunce typu TRAXLE™

Uložení elektromotoru do duté rotační osy zařízení zjednodušuje montáž a je kompaktnější než stávající uspořádání s lineárními elektrickými pohony. Motor je opatřen samosvorným převodem, který chrání motor před poškozením vnějšími silami, například poryvy větru.

Připojení elektromotoru přímo k slunečním článkům bez dalších elektronických obvodů zjednodušuje zařízení a zvyšuje jeho spolehlivost. Toto uspořádání má tedy celkově výraznější nižší výrobní náklady, jednodušší a kompaktnější konstrukci a vyšší účinnost než výše popsaná zařízení pro orientaci plochých konektorů solární energie. Kromě toho pracuje bez dalšího zdroje sekundární energie, neboť solární energie je použita i k jeho vlastnímu pohonu [3].

Existují i automatické pohyblivé systémy sledující pohyb Slunce ve dvou osách. Dvouosé sledování Slunce se někdy používá ještě pro větší navýšení množství vyrobené energie. Je však otázkou, zda je technická náročnost i nákladnost zařízení pohyblivého kolektorem ve dvou osách dostatečně kompenzována významným navýšením množství vyrobené energie. Sledování Slunce ve druhé pohyblivé ose může navýšit množství vyrobené energie maximálně o 5%, což už nemá velký význam. Ukazuje se, že když už chce mít uživatel pohyb ve druhé ose, toto plně nahradí dvě polohy nastavení jediné polární osy na letní a zimní provoz. Dvakrát do roka je možno provést změnu nastavení pohyblivé osy ručně. Tak se dosáhne téměř stejného navýšení, jakého by bylo dosaženo pomocí automatického sledování ve druhé ose [3]



Obr. 2.6: Velký fotovoltaický solární systém pohyblivý ve dvou osách

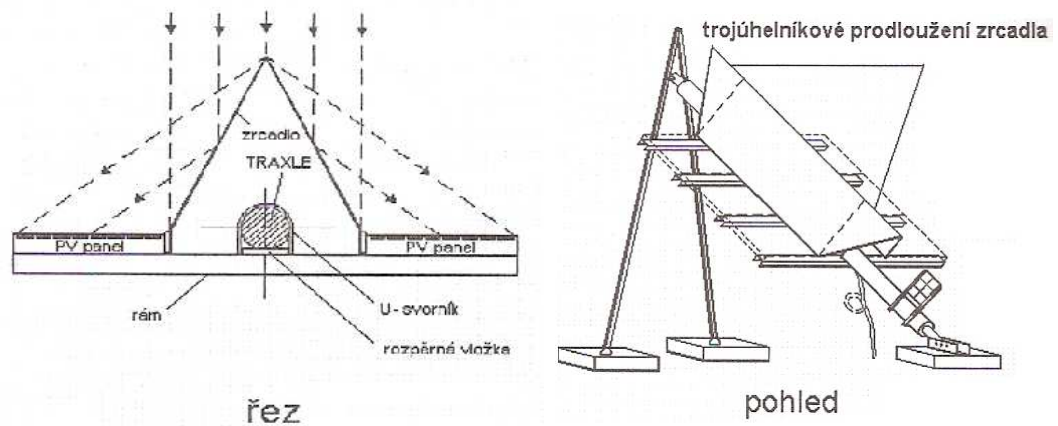
Vzájemné stínění otočných stojanů

Vzájemné stínění otočných konstrukcí je velmi důležitý parametr pro instalaci sledovačů Slunce. Zvláště jedná-li se o velkou výstavbu těchto systémů. Otočný sledovač potřebuje více místa okolo své konstrukce než pevný stojan. V zeměpisných šířkách střední Evropy cca. 3x větší plochu. Směrem k rovníku se vzájemné stínění otočných stojanů snižuje. Třeba ve Španělsku už potřebují jen cca. 2x větší plochu než v případě pevných stojanů.

2.3 Další možnosti navýšení elektrické energie

Už jsme se zabývali sledovači Slunce s pohyblivými stojany fotovoltaických panelů, které umožňují navýšení množství vyrobené energie až o 40%. Dále se budeme zabývat dalšími konstrukčními prvky, které mohou dále navýšit množství vyrobené energie.

Často se ke zvýšení efektivity solárních systémů používá koncentrace zařízení. Koncentrátory s rovinnými zrcadly mohou mít uspořádání žlabové nebo hřebenové. Koncentrační poměr ($c=2\div 2,4$) u standartních V-žlabových koncentrátorů je poměrně vysoký a při běžných intenzitách přímého slunečního záření způsobuje přehřívání a postupný rozklad a hnědnutí EVA fólie v PV panelech a degradaci laminátu v zapouzdření. Zejména hnědnutí EVA fólie snižuje transparentci a tím i účinnost celého systému. Navíc zařízením vyšší koncentrace se panely více zahřívají, což podle zákonitostí fyziky polovodičů vede k dalšímu snížení účinnosti fotovoltaické přeměny energie v důsledku vyšší teploty PV článků. Systému s takovým uspořádáním je proto vhodný spíše do vyšších zeměpisných šířek, kde je trvale nižší intenzita slunečního záření i nižší okolní teplota [3].



Obr. 2.7: Schéma PV systému s hřebenovým koncentrátorem záření

Uvedené nevýhody odstraňuje nová konfigurace solárního systému s hřebenovým koncentrátorem záření. Náš systém kombinuje relativně levný sledovač Slunce TRAXTETM s přídavnými zrcadly, ale vnější zrcadla jsou zcela eliminována. Vnitřní hřeben zrcadel tvoří (obr.2.7) mírný koncentrátor záření s koncentračním poměrem $c=1,6\div 1,7$. U jednoosých sledovačů s horizontální i polární osou by mělo být zrcadlo na krajích prodlouženo za fotovoltaické panely (obr.2.7), aby bylo zajištěno homogenní osvětlení solárních panelů i při sezonních změnách úhlu mezi horizontální rovinou a rovinou pohybu Slunce po obloze. U sledovačů Slunce s polární osou a s nastavitelným sklonem osy podle ročního období není prodloužené zrcadlo nutné. Na obr. 2.7 je schéma uvedeného systému v pohledu a v řezu. Vrcholový úhel, který spolu zrcadla svírají, musí být volen tak, aby odražené záření dopadlo rovnoměrně na celou plochu panelu, jak je zde znázorněno. Toto nové uspořádání umožňuje rovněž lepší proudění vzduchu kolem kolektoru v porovnání s V-žlabovým uspořádáním. Tak je dosaženo i účinnějšího chlazení a PV panely se nepřehřívají. Reálné systémy s hřebenovým koncentrátorem zařízení jsou v příloze na Obr. 3 a 4. Výhodou rovinných zrcadel je i to, že koncentrují nejen přímé ale i difuzní sluneční záření.

Nový pohyblivý hřebenový koncentrátor záření namontovaný na pohyblivý stojan může navýšit množství vyrobené energie až o 100% v porovnání s konfigurací, ve které jsou stejné PV panely namontovány na pevné stojany. Navýšení až 80% je možné v podmínkách suchého, slunečného podnebí (např. severní Afrika, jižní Španělsko, Arizona, západní Austrálie a pod.), navýšení až 50% je možné v podmínkách střední Evropy v letních slunečních dnech [3].

2.4 Zajímavosti

První solární elektrárna v České republice

V roce 1997 připojila na veřejnou síť první českou solární elektrárnu Energetická společnost ČEZ, a. s. na hoře Mravenečník v Jeseníkách. Na podzim roku 2003 byla přemístěna do areálu Jaderné elektrárny Dukovany. Solární pole tvoří 200 panelů osazených monokrystalickými křemíkovými články na pevné ocelové konstrukci. Její výkon je 10 kW a její účinná plocha je 75 m². V současné době slouží v rámci informačního střediska Jaderné elektrárny Dukovany k demonstračním účelům. Ročně se zde vyrobí téměř 8 000 kWh. Elektrárna využívá svůj instalovaný výkon na necelých 10 %.

Největší solární elektrárna v České republice

Největší fotovoltaickou elektrárnou v České republice je elektrárna FVE Ralsko Ra 1 v okrese Česká Lípa, která se skládá z více zdrojů, které jsou připojeny k jednomu odběrnému místu. Jen o 3,2 MW má menší instalovaný výkon fotovoltaická elektrárna Vepřek v okrese Mělník. Tato elektrárna je vybudovaná v jednom areálu. Největší fotovoltaickou elektrárnou mohla být postavena v roce 2010 v Milovicích ve Středočeském kraji. Měla být postavena na ploše 150 hektarů, čemuž by podle investora mohl odpovídat výkon 68 MW. Projekt nakonec zastavily nevýhodné výkupní ceny elektřiny ze solárních panelů.

FVE Ralsko Ra 1

Instalovaný výkon FVE Ralsko Ra 1 činí 38,3 MW a byla spuštěna v prosinci 2010. Skládá se z menších zdrojů, které jsou od sebe vzdáleny jednotky kilometrů s instalovanými výkony (14,2 MW + 6,6 MW + 4,5 MW + 12,8 MW), které jsou připojeny k jednomu odběrnému místu.

V rámci této oblasti se s ohledem na přírodní podmínky jedná o jednu z nevhodnějších lokalit k umístění zařízení pro výrobu elektřiny ze slunečního záření. Průměrný roční úhrn globálního záření zde dosahuje až 3,8 tisíce MJ/m². Využití ploch se navíc jeví optimální i proto, že jde o území bývalého vojenského areálu, který by velice těžko hledal alternativní využití. Dekontaminací souvislých ploch využitých v

současnosti pro fotovoltaické elektrárny a zvýšením jejich bonity se navíc do budoucna otevírají širší možnosti pro rozvoj celé oblasti.

Obnovitelné zdroje by měly podle odhadů dohromady ročně vyprodukovat množství elektřiny pokrývající spotřebu více než 10 000 domácností na pomezí středních a severních Čech.

FVE Vepřek

Fotovoltaická elektrárna je postavena na rozloze 82,5 ha (což je pro ilustraci plocha o velikosti více než 100 fotbalových hřišť) s instalovaným výkonem 35,1 MW. Má celkem 26 bloků obsahujících 186 960 kusů monokrystalických panelů PhonoSolar 185 a 190 Wp. Elektrárna byla budována od října 2009. Otevření elektrárny proběhlo 8. září 2010. V blízkosti elektrárny vyrostla i nová rozvodna za zhruba 100 milionů Kč. Celkové investice do sluneční elektrárny Vepřek činily asi 2,7 miliardy Kč.



Obr. 2.8: *Letecký snímek FVE Vepřek*

3 Příklad fotovoltaických elektráren

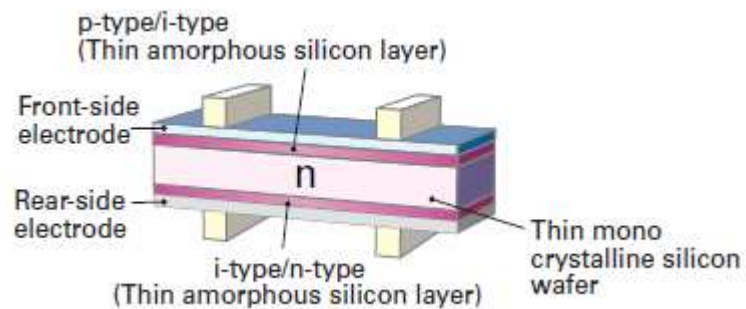
V této části se podrobněji podíváme na dvě fotovoltaické elektrárny. Jedna se nachází v Jižních Čechách u města České Budějovice a ta druhá v německém městě Heidenheim. Dvě elektrárny jsem zařadil z důvodu neposkytnutí informací o statistických hodnotách výroby elektrické energie od majitele elektrárny v Černém Dubu u Českých Budějovic. Proto o elektrárně Černý Dub uvádím pouze technické údaje. Statistické údaje uvádím elektrárny v Heidenheimu, kde bylo možno použít všechny statistické údaje o provozované elektrárně.

3.1 Fotovoltaická elektrárna Černý Dub u Českých Budějovic

- rok zpuštění: **2007**
- instalovaný výkon: **129kWp**
- druh konstrukce: **pohyblivý - vlastní vývoj**
- počet konstrukcí: **16**
 - **14 v roce 2007**
 - **2 doplněny v roce 2008-2009**
- instalovaný výkon na jednu konstrukci: **8kWp**
- počet vyrobené energie za jeden rok: **138 – 167MWh**
- počet vyrobené energie za dobu provozu: **637MWh**
- návrat investice: **10 až 13 let**

Typ a účinnost použitých panelů

Tvůrci této elektrárny zvolili typ panelů HIT SANYO (heterogenní s jiskrově tenkou vrstvou). Tyto články jsou vyrobeny z tenkého monokrystalického křemíku. Tento typ článku poskytoval jeden z největších výkonů v době výstavby fotovoltaické elektrárny.



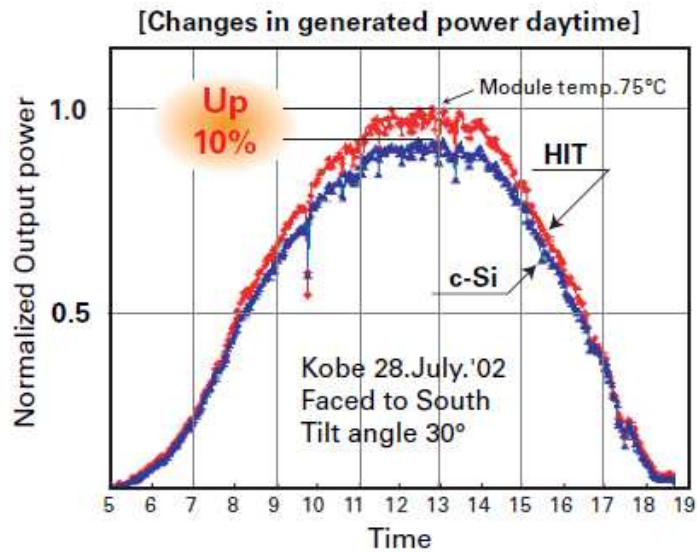
Obr. 3.1: Struktura HIT článku

Tento článek má účinnost 18,7%. Článek si udržuje vysoký výkon i při vysokých teplotách na rozdíl od konvekčních krystalických solárních článků. HIT články jsou vyráběny bez příměsi olova, to vede do budoucna k minimalizaci dopadu na životní prostředí. Také jsou ohodnoceny certifikáty ISO 9001 a 14001.



Obr. 3.2: Článek typu HIT

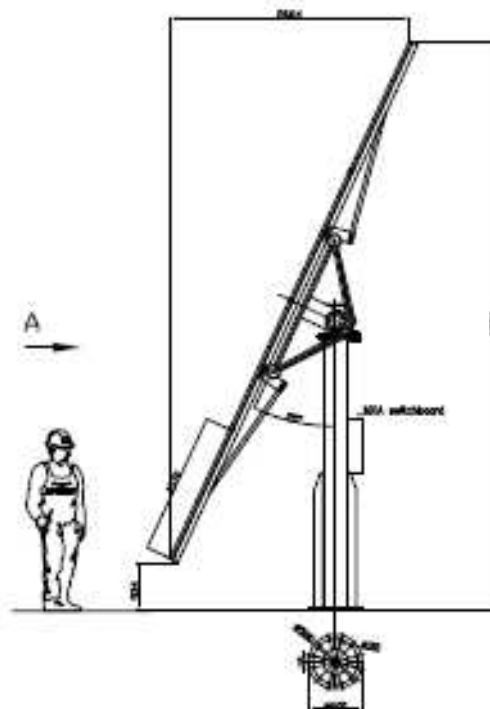
Na tomto grafu vidíme rozdíl normalizovaného výkonu u článků typu HIT a článků c-Si. Rozdíl činní 10% a to je určeno díky vlastnosti práce článku při vyšší teplotě. Tato vlastnost je docela znatelná, když za jediný den vyrobí o 10% více energie.



Obr. 3.3: Graf výkonu HIT článku

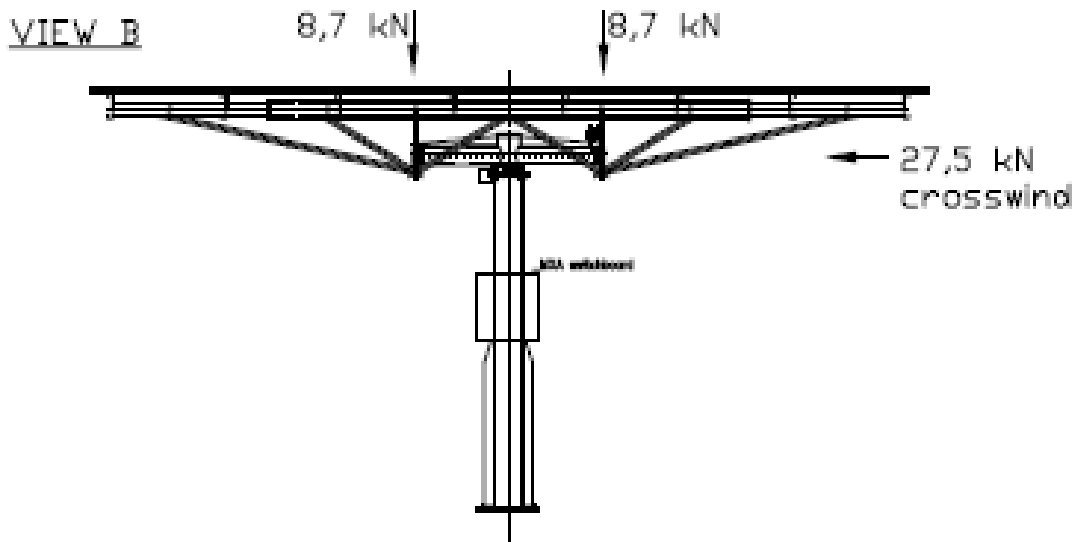
Konstrukce solárního systému

Tvůrci neměli zájem postavit elektrárnu na pevných konstrukcích, tak se začínali zajímat o otočné konstrukce. V době plánování elektrárny ještě nebyl tak široký sortiment nosných konstrukcí pro fotovoltaické panely. Nechali si navrhnout svojí vlastní pohyblivou konstrukci.



Obr. 3.4: Náčes pohyblivé konstrukce ve srovnání s výškou člověka

Tento typ konstrukce je pohyblivý ve dvou dimenzích podle roční a denní doby. Pohyb konstrukce je nastavován pomocí počítače, který se řídí pomocí statistických hodnot. Nastavení dle roční doby se provádí dvakrát za rok, na jaře a na podzim. Nastavuje se mechanicky pomocí natáčením mechanického kola.



Obr. 3.5: Nákras pohyblivé konstrukce

Elektrárnu jsem navštívil poprvé při exkurzi u firmy E.on. V rámci této exkurze jsme navštívili právě elektrárnu Černý Dub. Prohlídka elektrárny mě zaujala, a proto jsem následně kontaktoval majitele, který mi poskytl některé informace o své elektrárně.

Fotovoltaická elektrárna vznikala v roce 2007 a byla spuštěna ještě před velkou výstavbou těchto elektráren. Majitelé byli mezi prvními, kteří začínali se stavbou těchto fotovoltaických elektráren. Proto se setkávali s potížemi při vyřizování administrativní stránky stavby této elektrárny.

Problém byl i najít vhodné místo pro vybudování elektrárny. Vhodné místo se našlo v prostoru čističky odpadních vod právě ve vesnici Černý Dub. Tato elektrárna mě zaujala i z důvodu vhodného využití místa, které by už dále využíváno nebylo. Elektrárna nezabírá úrodnou půdu. Zajímavé také byly pohyblivé konstrukce podle vlastního návrhu, které byly jedny z prvních. Fotografie elektrárny jsou vloženy do přílohy.

Za celou dobu provozu zatím neměli žádný větší problém. Jenom z důvodu cizího zavinění, když došlo k poškození dvou fotovoltaických panelů od střelné zbraně.

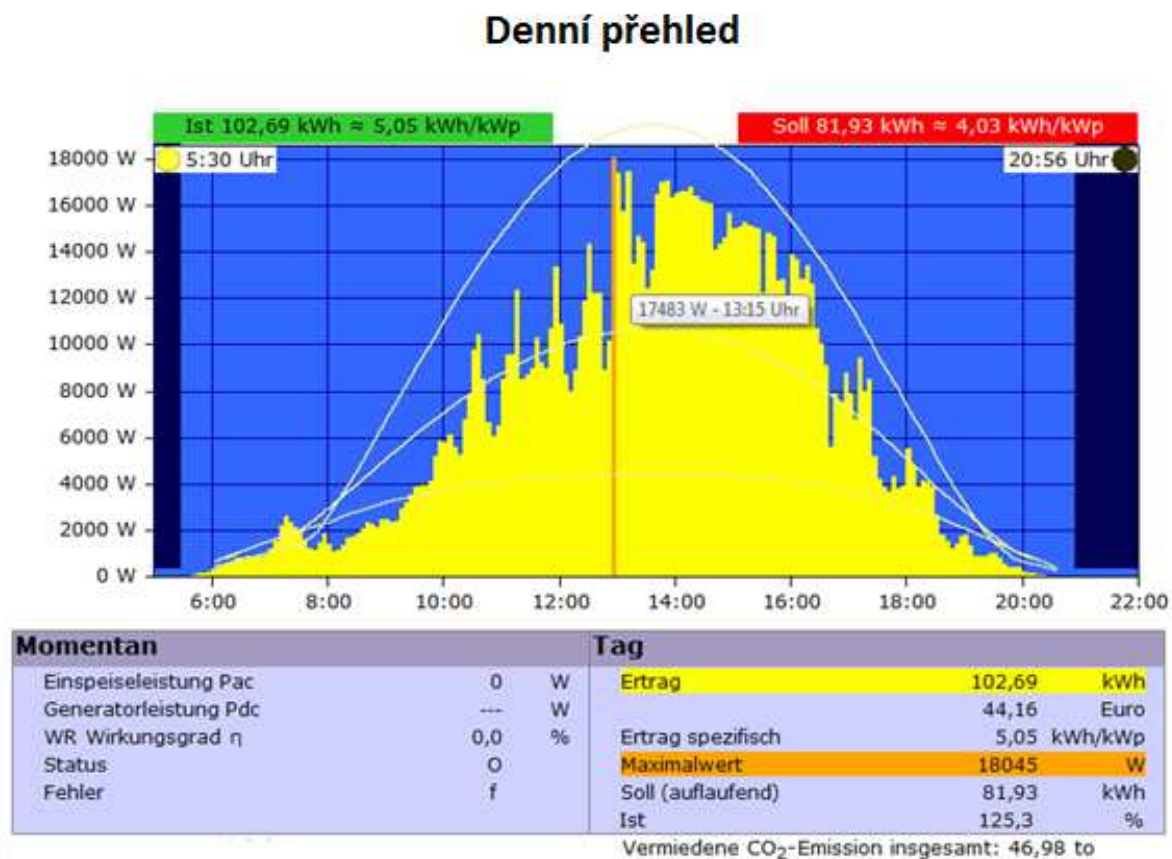
3.2 Fotovoltaická elektrárna Heidenheim

Fotovoltaická elektrárna Heidenheim je jedna ze dvou elektráren pana Klunglera. Jedna jeho elektrárna dosahuje výkonu 5,04 kWp a druhá má instalovaný výkon 20,35 kWp. Dále se budeme zabývat druhou elektrárnou, které dosahuje vyššího výkonu. Tato elektrárna se nachází v městě Heidenheim a je postavena na střeše jedné z budov pana Klunglera. Jedná se o malý soukromý fotovoltaický systém. Pan Klungler zachycuje všechny důležité data o elektrárně systémem monitorování SolarLog800. Výsledky z monitorování systému si dále rozebereme.

- místo: **Heidenheim**
- typ použitých panelů: **110 Trina TSM-DC01 185**
- střídač: **Diehl Platinum 2*7200 TL 1*4800 TL**
- instalovaný výkon: **20,35 kWp**
- uvedení do provozu: **20. 4. 2009**
- orientace: **DN=45°, AR=15°SW**
- systém monitorování: **SolarLog800**



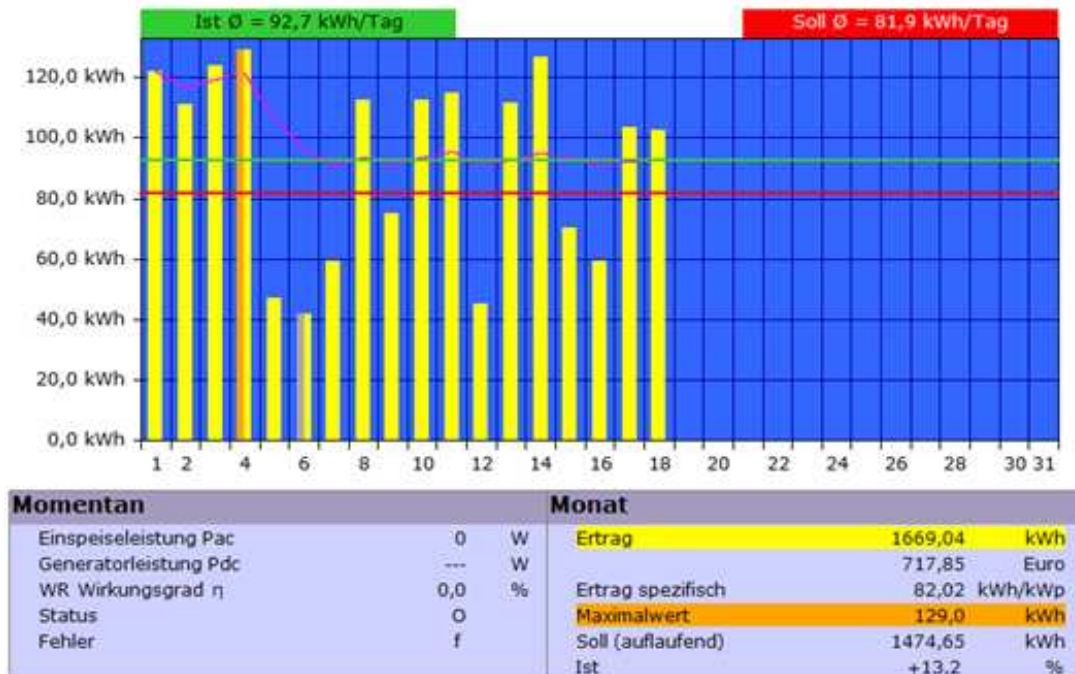
Obr. 3.6: Foto elektrárny Heidenheim



Obr. 3.7: Graf slunečního svitu 18. 5. 2012

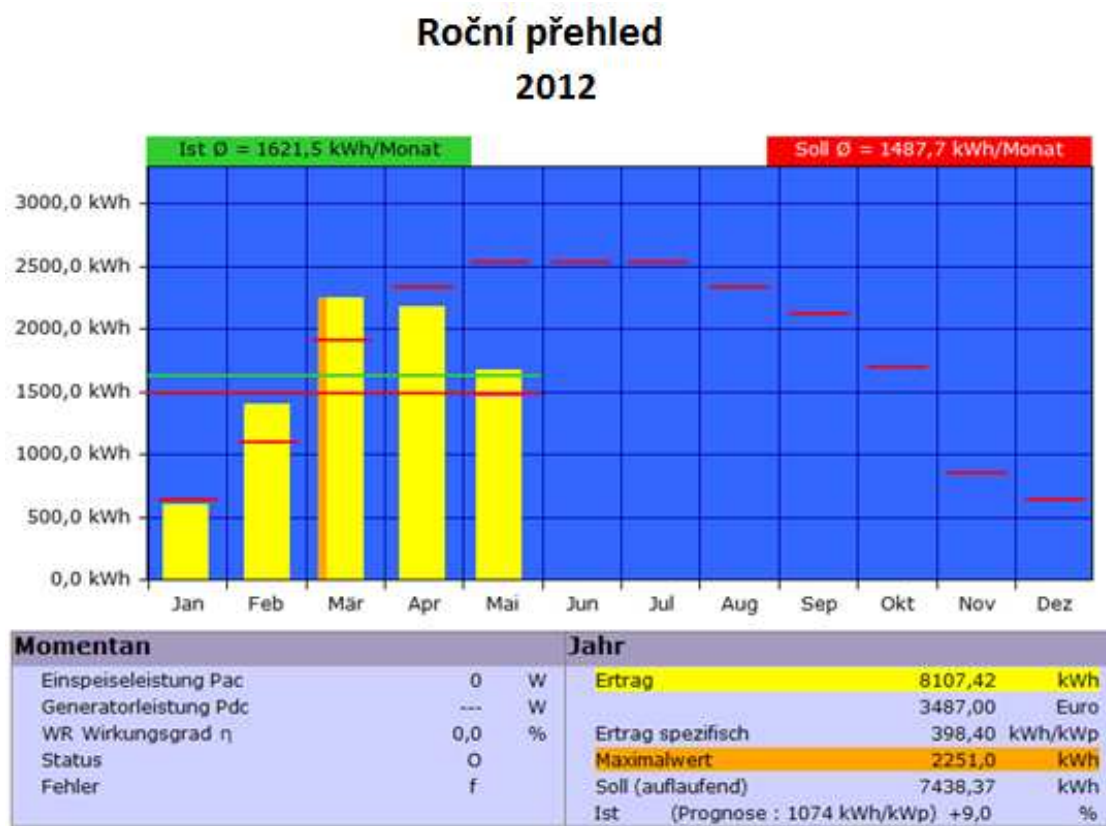
Tento graf zobrazuje dobu slunečního svitu a vyráběný výkon v daném okamžiku. Tyto zaznamenané hodnoty jsou ze dne 18. 5. 2012. V tento den vycházelo slunce v 5:30 a zapadalo v 20:56, jak je zobrazeno v horní části grafu. Tabulky pod grafem nám ukazují momentální výkon a souhrn dosažených hodnot za celý den. V tabulce momentálního výkonu vidíme všude nulové hodnoty, protože došlo už k západu Slunce. Druhá tabulka nám ukazuje počet vyrobené energie za dnešní den, výnos elektrárny, maximální naměřenou hodnotu, průměrnou normu pro výrobu energie a splnění normy pro tento den. Poznámka pod tabulkou nám zobrazuje celkový počet ušetřených emisí. Právě tenhle den byl z pohledu výroby energie nadprůměrný.

Měsíční přehled



Obr. 3.8: Graf výkonů v měsíci květnu 2012

Na tomto grafu vidíme počet vyrobené energie v každém dni v daném měsíci. V tabulce máme zaznamenány všechny hodnoty, které byly naměřené v měsíci květnu. Červená čára zobrazuje průměrnou normu pro výrobu energie za jeden den. Zelená čára zobrazuje plnění normy na den. Vidíme, že tento měsíc zatím vykazuje více nadprůměrných dní. Proto měsíc květen zatím vykazuje nadprůměrné plnění normy a to o 13 %, proti průměrnému měsíci. Také v tomto grafu nalezneme informaci o nejvyšším naměřeném výkonu a toho bylo zatím dosaženo 4. 5. 2012.



Obr. 3.9: Výkon vyrobený v každém měsíci roku 2012

Tady tento graf nám zobrazuje počet získaného výkonu v každém měsíci v roce. Každý měsíc v roce má stanovený svojí průměrnou hodnotu výroby energie. Která je vypočtena z údajů z předchozích let. V předchozím grafu jsme viděli, že u měsíce května činila 81,93 kWh. Tato hodnota je vyznačena červenou čarou u každého měsíce v roce. Vidíme, že nejvyšších hodnot by měl systém dosáhnout v měsících květen, červen a červenec a naopak nejnižších v lednu a prosinci. Toto je dáno díky ročnímu období. V zaznamenaných hodnotách z tohoto roku jsme zjistili, že měsíc únor a březen vykazují nadprůměrnou hodnotu vyrobené energie. Ale v měsíci dubnu došlo k malému propadu oproti stanovené normě. Celkově zatím rok 2012 vykazuje nadprůměrné hodnoty a to o 9 % proti stanovené normě.

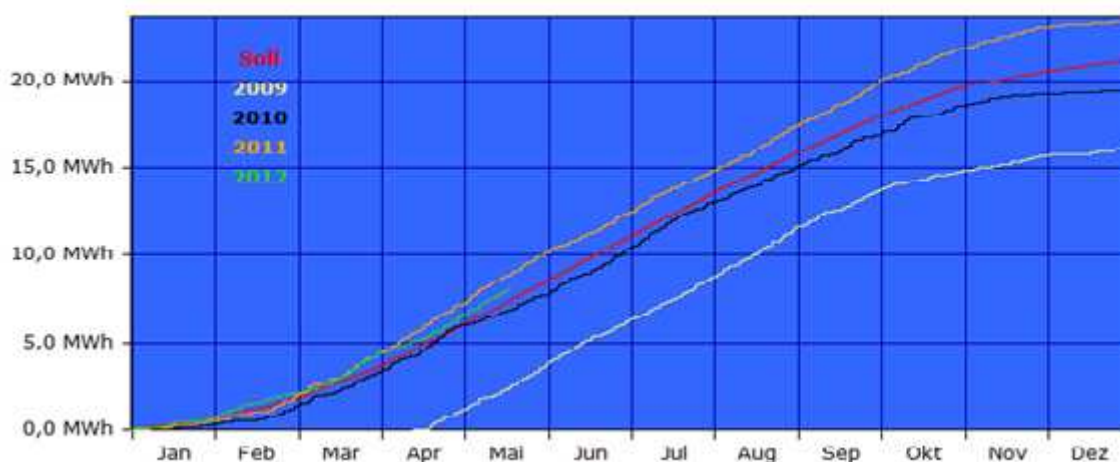
Souhrn všech roků od výstavby elektrárny



Obr. 3.10: Výkon vyrobený v každém roce od vzniku elektrárny

Data v tomto grafu nám říkají, kolik bylo vyrobeno v každém roce energie a poskytuje nám jejich porovnání. Rok 2009 nemůžeme porovnávat s ostatními roky, protože došlo ke spuštění elektrárny až 20. dubna a nejsou v celkovém součtu započteny výkony všech měsíců z roku. Dále vidíme, že v roce 2011 se vyrobilo více energie oproti dané normě na jeden rok. Tabulka nám ukazuje, výnos elektrárny od spuštění, celkový vyrobený výkon a maximum výkonu dosaženého za jeden rok, kterého se dosáhlo právě v roce 2011.

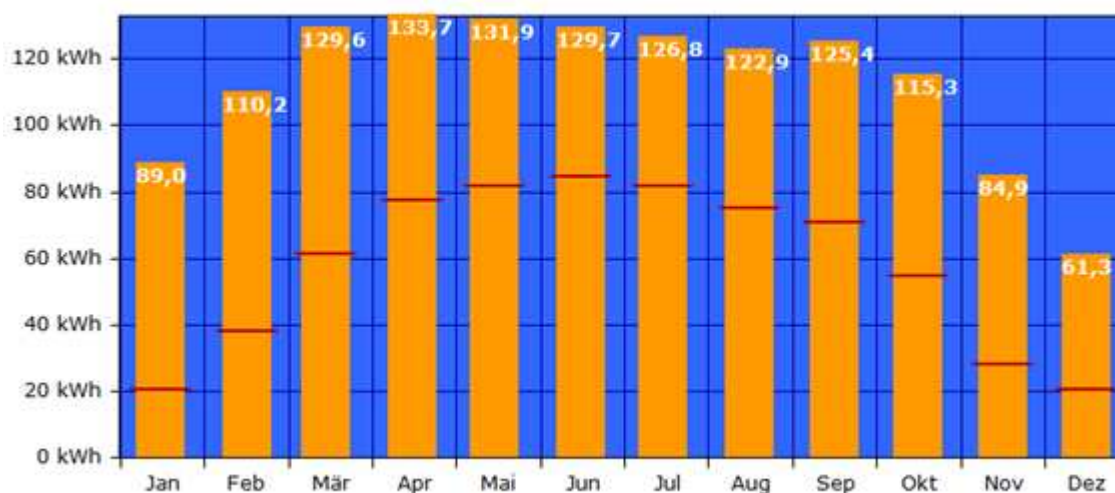
Srovnání posledních 4 let



Obr. 3.11: Srovnání výkonů posledních 4 let

Tady vidíme porovnání posledních čtyř let v závislosti výkonu za jeden měsíc. Červená křivka označuje průměrnou hodnotu výkonu za poslední čtyři roky. Nejvyššího výkonu bylo dosaženo v roce 2011, jak už bylo zřejmé z předchozího grafu. Naopak nejnižšího výkonu bylo dosaženo v roce 2010, když opomenou rok 2009 z důvodu zahájení výroby až v dubnu tohoto roku.













Maximální hodnoty v měsících



Obr. 3.12: Maximální hodnoty v každém měsíci z roku

V tomto grafu jsou zaznamenány nejvyšší dosažené měsíční hodnoty za dobu provozu elektrárny. Třeba zajímavé je, že v měsíci lednu je nejvyšší hodnota neuvěřitelných 89 kWh, to je skoro pět krát více než průměrná hodnota.

Nejlepší den v každém měsíci

Top12	bester Tag		Ertrag absolut [kWh]	Ertrag spezifisch [kWh/kWp]	Ertrag Soll [kWh]	Ertrag/Soll [%]
Januar	29.01.11	 29.01.11 - 89,0	89,0	4,4	20,48	+334,7%
Februar	26.02.11	 26.02.11 - 110,2	110,2	5,4	37,79	+191,7%
März	07.03.11	 07.03.11 - 129,6	129,6	6,4	61,44	+110,9%
April	17.04.10	 17.04.10 - 133,7	133,7	6,6	77,60	+72,3%
Mai	09.05.11	 09.05.11 - 131,9	131,9	6,5	81,93	+61,0%
Juni	03.06.09	 03.06.09 - 129,7	129,7	6,4	84,66	+53,2%
Juli	16.07.11	 16.07.11 - 126,8	126,8	6,2	81,93	+54,8%
August	30.08.09	 30.08.09 - 122,9	122,9	6,0	75,10	+63,6%
September	06.09.10	 06.09.10 - 125,4	125,4	6,2	70,55	+77,7%
Oktober	15.10.11	 15.10.11 - 115,3	115,3	5,7	54,62	+111,1%
November	06.11.11	 06.11.11 - 84,9	84,9	4,2	28,22	+200,7%
Dezember	26.12.09	 26.12.09 - 61,3	61,3	3,0	20,48	+199,4%

Obr. 3.13: Den v každém měsíci s největším vyrobeným výkonem

Tabulka zobrazuje nejvyšší dosažený výkon v každém měsíci z roku. Dále je zde uvedena průměrná měsíční hodnota, procentuální plnění a výnos v kWh/Kwp.

Nejlepší hodnoty

TOP	2012	2011	2010	2009
Jahr	8107,4 kWh ≈ 398,4 kWh/kWp	23430,8 kWh ≈ 1151,4 kWh/kWp	19446,1 kWh ≈ 955,6 kWh/kWp	16126,0 kWh ≈ 792,4 kWh/kWp
Monat	März 2251,0 kWh ≈ 110,6 kWh/kWp	Mai 2933,8 kWh ≈ 144,2 kWh/kWp	Juli 2797,2 kWh ≈ 137,5 kWh/kWp	August 2821,5 kWh ≈ 138,6 kWh/kWp
Tag	133,4 kWh ≈ 6,6 kWh/kWp 01.04.12 - 133,4	131,9 kWh ≈ 6,5 kWh/kWp 09.05.11 - 132,1	133,7 kWh ≈ 6,6 kWh/kWp 17.04.10 - 133,8	131,1 kWh ≈ 6,4 kWh/kWp 07.05.09 - 131,3

Obr. 3.14: Nejvyšší vyrobený výkon v daném období

Na obr. 3.14. jsou zaznamenány roky, měsíce a dny s nejvyšším vyrobeným výkonem a oranžovou barvou jsou vyznačeny úplně nejlepší z pohledu dosaženého výkonu.

3.3 Praktické zhodnocení

Vyrábět energii ze slunečního záření je podle mého názoru zatím nejlepší a neekologičtější způsob výroby energie. Například na obr. 3.7 vidíme záznam o ušetřených emisích CO₂ elektrárny pana Klunglera. Dále si myslím, že není dobré budovat velké tyto elektrárny a pokrývat jimi celé lány úrodné půdy nebo je budovat místo lesního porostu. Spíše bych volil více těchto elektráren s menším výkonem o větším počtu. Je spousta míst, které už nemohou být využita jiným způsobem. Například střechy domů, nebo v České republice je spousta firem, které mají velké výrobní a skladovací prostory a většina těchto budov je postavena s plochou střechou. Právě na tyto místa bych umisťoval PV systémy. Velmi se mi líbí umístění už popisované elektrárny Černý Dub, která je umístěna v areálu čističky odpadních vod. Tento areál by byl stejně veliký, i kdyby tam elektrárna nebyla.

V blízké budoucnosti a asi nikdy se nebude ve fotovoltaických elektrárnách vyrábět takový výkon, aby stačil pro potřebu celé České Republiky. Protože, když se podíváme na výkon největší české solární elektrárny a porovnáme jí s výkonem Temelína. Tak zjistíme, že výkon Temelína je 52 krát větší. Proto tento způsob výroby

je spíše doplňující. V solárních elektrárnách se v České republice vyrobí cca 8 % z celkové vyráběné energie. Výrobci udávají na solární panely záruku na cca 25 let. Ale zatím nikdo přesně neví, co se stane po dokončení záruky. Protože zatím tento systém je na trhu jen krátce. Vždyť první solární elektrárna v České republice vznikla v roce 1997. Podle výrobců by panel měl po záruce jen pomalu ztrácet na účinnosti. Jestli to tak opravdu bude, tak tento způsob výroby bude velmi trvalý.

Z ekonomického hlediska je výroba energie ve fotovoltaických elektrárnách velmi výhodná. U tohoto systému je obrovská první investice, provoz už vyžaduje jen minimální investice. Návratnost elektráren činí skoro polovinu záruční doby na použité panely. Například u elektrárny Černý Dub je návratnost 10 až 13 let. Po uplynutí této doby se už systém dostává do zisku.

Výstavba fotovoltaických elektráren ve vhodných lokalitách bude do budoucna dobrá alternativa výroby elektrické energie jak z hlediska ekonomického tak ekologického.

Závěr

V této práci jsem se zabýval problematikou solárních elektráren. V prvním bodě jsem popisoval, jakým způsobem můžeme přeměňovat energii přímo ze Slunce. Rozdělení solárních elektráren podle principu přeměny energie na věžové, fotovoltaické a fotovoltaické na oběžné dráze. Fotovoltaické elektrárny se ještě dále dělí na ostrovní provoz a přímo připojený na rozvodnou síť. Fotovoltaická elektrárna na oběžné dráze je zatím jen návrh, kde by se mohla solární energie vyrábět. Dále jsem se zabýval, na jakém principu fungují fotovoltaické články, které rozdělujeme na monokrystalické a polykrystalické.

V druhé části jsem se zabýval, na jaké konstrukce se fotovoltaické panely montují. Nosné konstrukce fotovoltaických panelů rozdělujeme na pohyblivé a pevné. Použití pohyblivé konstrukce vede k navýšení účinnosti systému. Dále se nejvíce věnuji rozdělení pohyblivých konstrukcí, kde jsou použity různé způsoby k rozpořívání konstrukcí. Aby se docílilo ještě větší účinnosti, tak se k fotovoltaickým panelům a pohyblivým konstrukcím připojují ještě koncentrátory. Dále uvádím pár zajímavostí o solárních elektrárnách v České republice. Největší solární elektrárny a nestarší elektrárnu, která slouží v rámci informačního střediska Jaderné elektrárny Dukovany.

U třetího bodu popisují dvě relativně malé solární elektrárny. První má umístěné panely na pohyblivé konstrukci a druhá je vybudována na střeše vesnické usedlosti. U první elektrárny popisují použitou konstrukci a instalované panely. Druhou elektrárnu jsem zařadil, po odmítnutí majitelů zveřejnit statistické údaje o výrobě energie své elektrárny. Statistické údaje elektrárny jsem našel až na německých internetových stránkách pana Klunglera, který vlastní malou elektrárnu na své střeše. Pan Klungler všechny údaje o své elektrárně zveřejňuje po moci systému Solarlog800 na svých internetových stránkách. V České republice jsem kontaktoval tři solární elektrárny a jenom majitel elektrárny Černý Dub u Českých Budějovic mi byl ochoten poskytnout jen některé technické informace o své elektrárně. Většina majitelů těchto fotovoltaických elektráren není ochotna poskytnout bližší informace o svých ekonomických stránkách svých elektráren.

Použitá literatura

- [1] Skupina ČEZ [online]. 2009 [cit. 2012-02-05]. Slunce a jeho energie. Dostupné z WWW: <http://fotovoltaika.falconis.cz/slunce/>
- [2] Cihelka, J.: *Solární tepelná technika*; Praha 1994
- [3] Libra, M., Poulek, V.: *Fotovoltaika, teorie i praxe využití solární energie*, Praha 2009.
- [4] Fotovoltaická elektrárna Milovice. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida):Wikipedia Foundation, 27. 5. 2005, last modified on 20. 11. 2011 [cit. 2012-03-20]. Dostupné z WWW:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaick%C3%A1_elektr%C3%A1rna_Milovice.
- [5] Haselhuhn, R.: *Fotovoltaika*, Vydavatelství HEL, Ostrava 2010
- [6] Czech Nature Agency [online]. 2012 [cit. 2012-04-25]. Fotovoltacké systémy. Dostupné z WWW: <http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>
- [7] Czech RE Agency [online]. 2011 [cit. 2012-02-09]. Orbitalní FVE. Dostupné z WWW: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika/nesmysl-orbitalni-fve>
- [8] Skupina ČEZ [online]. 2012 [cit. 2012-03-20]. Fotovoltaická elektrárna Ralsko. Dostupné z WWW: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elekriny/obnovitelne-zdroje/slunce/provozovane-fotovoltaicke-elekrarny/fotovoltaicka-elekrarna-ralsko.html>.
- [9] Skupina ČEZ [online]. 2012 [cit. 2012-03-20]. Sluneční elektrárna Dukovany. Dostupné z WWW: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elekriny/obnovitelne-zdroje/slunce/slunecni-elekrarna-dukovany.html>
- [10] Phonosolar [online]. 2012 [cit. 2012-03-20]. Největší fotovoltaická elektrárna v ČR u obce Vepřek na Mělnicku. Dostupné z WWW:
<http://www.phonosolar.cz/2010/06/nejvetsi-fotovoltaicka-elekrarna-v-cr-u-obce-veprek-na-melnicku/>

- [11] E-ON [online]. 2012 [cit. 2012-05-10]. Výroba energie u obnovitelných zdrojů. Dostupné z WWW: http://www.eon.cz/cs/citizen/power_products/vyroba-elektricke-energie-z-obnovitelných-zdroju.shtml

- [12] Familie Klunger [online]. 2012 [cit. 2012-05-18]. Fotovoltaická elektrárna p. Klunglera. Dostupné z WWW: http://www.klunger.de/pv_hdh/sl800e/

- [13] Fotovoltaické panely použity v elektrárně Černý Dub: *Katalog*. Sanyo: 03/2005

- [14] Skupina ČEZ [online]. 2009 [cit. 2012-02-16]. Slunce a jeho energie. Dostupné z WWW: <http://fotovoltaika.falconis.cz/slunce/>

Seznam obrázků

- (1) Obr. 1.1: Princip ohřevu absorberu koncentrovaným slunečním zářením
(Zdroj: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k23.htm> [cit. 2012-04-15])
- (2) Obr. 1.2: Solární elektrárna věžového typu
(Zdroj: <http://americanhistory.si.edu/powering/images/gallry53.htm> [cit. 2012-04-15])
- (3) Obr. 1.3: Schéma ostrovního PV systému
(Zdroj: Libra, M., Poulek, V.: *Fotovoltaika, teorie i praxe využití solární energie*, Praha 2009. 32 s.)
- (4) Obr. 1.4: Schéma síťového PV systému
(Zdroj: Libra, M., Poulek, V.: *Fotovoltaika, teorie i praxe využití solární energie*, Praha 2009. 33 s.)
- (5) Obr. 1.5: Konstrukce a přeměna v krystalickém křemíkovém článku
(Zdroj: Haselhuhn, R.: *Fotovoltaika*, Vydavatelství HEL, Ostrava 2010. 15 s.)
- (6) Obr. 1.6: Monokrystalický článek
(Zdroj: <http://fotovoltaika.falconis.cz/fotovoltaika/fotovoltaicky-clanek.php> [cit. 2012-04-25])
- (7) Obr. 1.7: Polykrystalický článek
(Zdroj: <http://fotovoltaika.falconis.cz/fotovoltaika/vykon.php> [cit. 2012-04-25])
- (8) Obr. 1.8: Tenkovrstvý solární panel
(Zdroj: <http://stavitel.ihned.cz/c1-51453330-prukopnicke-systemy-pro-vyuziti-solarni-energie> [cit. 2012-04-25])
- (9) Obr. 2.1: Provedení pohyblivých stojanů a) s polární osou, b) se svislou osou
(Zdroj: Libra, M., Poulek, V.: *Fotovoltaika, teorie i praxe využití solární energie*, Praha 2009. 62 s.)
- (10) Obr. 2.2: Schéma sledovače Slunce na principu vypařování a kondenzace freonu
(Zdroj: Libra, M., Poulek, V.: *Fotovoltaika, teorie i praxe využití solární energie*, Praha 2009. 63 s.)
- (11) Obr. 2.3: Sledovač na principu diferenciálního porovnávání intenzity slunečního záření
(Zdroj: Libra, M., Poulek, V.: *Fotovoltaika, teorie i praxe využití solární energie*, Praha 2009. 64 s.)
- (12) Obr. 2.4: Schéma sledovače Slunce na principu pružin z paměťových slitin
(Zdroj: Libra, M., Poulek, V.: *Fotovoltaika, teorie i praxe využití solární energie*, Praha 2009. 65 s.)
- (13) Obr. 2.5: Sledovače Slunce typu TRAXLE™
(Zdroj: <http://www.tzb-info.cz/3542-vysoce-ucinne-fotovoltaicke-systemy-s-trackery-a-konzentratory-zareni> [cit. 2012-04-10])

- (14) Obr. 2.6: Velký fotovoltaický solární systém pohyblivý ve dvou osách
(Zdroj: Libra, M., Poulek, V.: *Fotovoltaika, teorie i praxe využití solární energie*, Praha 2009. 141 s.)
- (15) Obr. 2.7: Schéma PV systému s hřebenovým koncentrátorem záření
(Zdroj: Libra, M., Poulek, V.: *Fotovoltaika, teorie i praxe využití solární energie*, Praha 2009. 72 s.)
- (16) Obr. 2.8: Letecký snímek FVE Vepřek
(Zdroj: <http://www.reliance.cz/cs/success-stories/power-industry/visualization-and-control-of-energy-production-processes-at-the-veprek-solar-park-czech-republic> [cit. 2012-03-20])
- (17) Obr. 3.1: Struktura HIT článku
(Zdroj: *HIT Fotovoltaické panely: Katalog*. Sanyo: 03/2005.)
- (18) Obr. 3.2: Článek typu HIT
(Zdroj: *HIT Fotovoltaické panely: Katalog*. Sanyo: 03/2005.)
- (19) Obr. 3.3: Graf výkonu HIT článku
(Zdroj: *HIT Fotovoltaické panely: Katalog*. Sanyo: 03/2005.)
- (20) Obr. 3.4: Nákres pohyblivé konstrukce ve srovnání s výškou člověka
(Zdroj: *Nákres Solárního systému TT50: Výkres*: Ing. R. Baloušek 08/2006.)
- (21) Obr. 3.5: Nákres pohyblivé konstrukce
(Zdroj: *Nákres Solárního systému TT50: Výkres*: Ing. R. Baloušek 08/2006.)
- (22) Obr. 3.6: Foto elektrárny Heidenheim
(Zdroj: http://www.klungler.de/pv_hdh/sl800e/ [cit. 2012-05-18])
- (23) Obr. 3.7: Graf slunečního svitu 18. 5. 2012
(Zdroj: http://www.klungler.de/pv_hdh/sl800e/ [cit. 2012-05-18])
- (24) Obr. 3.8: Graf výkonů v měsíci květnu 2012
(Zdroj: http://www.klungler.de/pv_hdh/sl800e/ [cit. 2012-05-18])
- (25) Obr. 3.9: Výkon vyrobený v každém měsíci roku 2012
(Zdroj: http://www.klungler.de/pv_hdh/sl800e/ [cit. 2012-05-18])
- (26) Obr. 3.10: Výkon vyrobený v každém roce od vzniku elektrárny
(Zdroj: http://www.klungler.de/pv_hdh/sl800e/ [cit. 2012-05-18])
- (27) Obr. 3.11: Srovnání výkonů posledních 4 let
(Zdroj: http://www.klungler.de/pv_hdh/sl800e/ [cit. 2012-05-18])
- (28) Obr. 3.12: Maximální hodnoty v každém měsíci z roku
(Zdroj: http://www.klungler.de/pv_hdh/sl800e/ [cit. 2012-05-18])

(29) Obr. 3.13: Den v každém měsíci s největším vyrobeným výkonem
(Zdroj: http://www.klungler.de/pv_hdh/sl800e/ [cit. 2012-05-18])

(30) Obr. 3.14: Nejvyšší vyrobený výkon v daném období
(Zdroj: http://www.klungler.de/pv_hdh/sl800e/ [cit. 2012-05-18])

Přílohy

(1) Obr. 4.: Konstrukce typu TRAXLETM s hřebenovým koncentrátorem a automaticky s pohyblivým stojanem
(Zdroj: <http://tf.czu.cz/~libra/energy.htm> [cit. 2012-05-22])

(2) Obr. 5.: Konstrukce typu TRAXLETM s hřebenovým koncentrátorem
(Zdroj: <http://www.americanwaysolar.com/Solarni-Park/aws-Solarni-Park.aspx> [cit. 2012-05-22])

(3) Obr. 6.: Konstrukce nového typu SUPER TRAXLETM 5X
(Zdroj: <http://www.solar-trackers.com> [cit. 2012-05-22])

Seznam příloh

(A) Obr. 1.: Pohled na celou elektrárnu

(B) Obr. 2.: Konstrukce s panely

(C) Obr. 3.: Mechanismus natáčení konstrukce

(D) Obr. 4.: Konstrukce typu TRAXLETM s hřebenovým koncentrátorem a automaticky s pohyblivým stojanem

(E) Obr. 5.: Konstrukce typu TRAXLETM s hřebenovým koncentrátorem

(F) Obr. 6.: Konstrukce nového typu SUPER TRAXLETM 5X

Přílohy

Příloha obsahuje fotografie solární elektrárny Černý Dub u Českých Budějovic a fotografie pohyblivých konstrukcí typu TRAXLE™ s přídatnými koncentrátory.



Obr. 1.: Pohled na celou elektrárnu



Obr. 2.: Konstrukce s panely použitá v elektrárně Černý Dub



Obr. 3.: Mechanismus natáčení konstrukce elektrárny Černý Dub



Obr. 4.: Konstrukce typu TRAXLE™ s hřebenovým koncentrátorem a automaticky s pohyblivým stojanem



Obr. 5.: Konstrukce typu TRAXLETM s hřebenovým koncentrátorem



Obr. 6.: Konstrukce nového typu SUPER TRAXLETM 5X