

Specifické otázky fotovoltaických článků pro malé informační systémy.

Peculiar issues of small photovoltaic systems

Bc. Jiří Vašátko

Diplomová práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

*** nescannované zadání str. 1 ***

*** nescannované zadání str. 2 ***

ABSTRAKT

Diplomová práce „Specifické otázky fotovoltaických systémů“ má poskytnout ucelený pohled na možnosti aplikace fotovoltaických článků a zhodnocení jejich nasazení.

Klíčová slova: fotovoltaické články, microcontroler, Slunce, křemík, baterie, světlo, atmosféra.

ABSTRACT

The diploma work "Peculiar issues of photovoltaic systems" surveys the barrier-layer photocells application research and assess their usage.

Keywords: photovoltaic cells, microcontroler, Sun, silicon, battery, light, atmosphere.

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. František Hruška Ph.D. za trpělivost při odborných konzultacích a rady, které mi pomohly při tvorbě této diplomové práce.

Motto: **AB \neq BA**

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

1	ÚVOD	9
1	TEORETICKÁ ČÁST	12
2	SLUNCE JAKO ZDROJ ENERGIE	13
2.1	SLUNEČNÍ KONSTANTA (SOLÁRNÍ)	14
2.2	MĚŘENÍ SLUNEČNÍ KONSTANTY	14
2.2.1	Současné metody měření sluneční konstanty.....	16
2.2.1.1	Dopadající sluneční záření.....	16
2.2.1.2	Množství prošlého záření udává vztah:	17
2.2.1.3	Výpočet deklinace Slunce.....	18
2.3	STÁVAJÍCÍ APLIKACE	19
2.3.1	Solární kolektory	19
2.3.2	Sluneční pece	20
2.3.3	Fotovoltaika.....	20
3	KLADY A ZÁPORY FOTOVOLTAICKÝCH APLIKACÍ	21
3.1	KŘEMÍKOVÉ ČLÁNKY OBECNĚ	21
3.2	FOTOELEKTRICKÝ JEV	22
3.2.1	elektromagnetické záření	22
3.2.2	Vnější fotoelektrický jev (fotoefekt).....	22
3.2.3	Vnitřní fotoelektrický jev	22
3.2.4	Zákony fotoefektu	22
3.2.5	Einsteinova teorie fotoefektu	22
3.2.6	Einsteinova rovnice fotoefektu	23
3.2.7	Comptonův jev	24
3.2.8	Kvantování energie atomů	24
3.2.9	Kvantová teorie je vyjádřena 2 Bohrovými postuláty.....	25
3.2.10	Záření černého tělesa a ultrafialová katastrofa.....	25
3.2.10.1	příklad: sodíková výbojka	26
3.3	KONSTRUKCE SOLÁRNÍHO ČLÁNKU	27
3.3.1	Charakteristika fotovoltaického článku:	29
3.3.2	Konstrukce fotovoltaického modulu	31
3.4	ZHODNOCENÍ PODLE UMÍSTĚNÍ.....	32
3.5	ZHODNOCENÍ TECHNOLOGIE VÝROBY FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ	34
3.5.1	monokrystalické kolektory – skládají se z jediného krystalu.....	34
3.5.2	polykrystalické kolektory – z mnoha různě orientovaných krystalů	34
3.5.3	amorfní kolektory – základem amorfní křemíková vrstva	34
3.5.4	organické polymery	35
3.5.4.1	Fotovoltaická vlákna.....	35
3.5.5	Černý křemík.....	36
4	ZHODNOCENÍ NATÁČECÍCH SYSTÉMŮ	38
4.1.1	Pevné natočení panelu.....	38
4.1.2	Pohyblivé natočení panelů	39
4.1.2.1	Konstrukce trackeru	40
4.1.2.2	Koncentátory záření - zrcadla:	42
4.1.3	Zhodnocení statistiky intenzity slunečního záření pro Zlín a okolí.	43

4.1.4	Statistické hodnoty fotovoltaických panelů na 1kWp nainstalovaného příkonu pro oblast Zlína a okolí	44
4.2	AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE	45
4.2.1	Požadavky:	45
4.2.1.1	Ni-Cd (Nikl Kadmiové) akumulátory	45
4.2.1.2	Ni-MH (Nikl Metal Hydridové) akumulátory	46
4.2.1.3	Olověné akumulátory	46
4.2.1.4	Palivové články	47
5	ZÁKLADNÍ SPECIFICKÉ OTÁZKY A ODPOVĚDI NA NĚ:.....	51
II	PRAKTICKÁ ČÁST	56
6	SPECIFICKÉ OTÁZKY FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ.....	57
6.1	ZAPOJENÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	57
6.1.1	Principy zapojené fotovoltaických panelů	57
6.1.1.1	Sériové zapojení:.....	57
6.1.1.2	Paralelní zapojení:.....	57
6.1.1.3	sériově-paralelním zapojení	58
6.1.2	Obecné schéma zapojení fotovoltaické elektrárny	58
6.2	TRANSIENTNÍ OCHRANA	59
6.2.1	Možná místa instalace přepět'ových ochran:.....	60
6.2.2	Princip přepět'ové ochrany	60
6.3	NÁVRH ŘEŠENÍ MĚŘICÍCH MODULŮ	62
	HALLŮV SNÍMAČ – MICROCONTROLLER ZIGBEE – USB PŘIJÍMAČ - OSOBNÍ PC	62
6.3.1	Hallův snímač obecně	62
6.3.2	Způsob měření.....	63
6.3.3	Hallův snímač.....	63
6.3.4	Microcontroller MC13213 Freescale s technologií ZigBee™	63
6.3.4.1	Struktura komunikačního standardu OSI model.....	64
6.3.4.2	IEEE 802.15.4.....	65
6.3.4.3	Specifikace microcontrolleru MC1321x.....	66
6.3.4.4	Adresování	67
6.3.4.5	Možné topologie sítě s technologií	68
6.3.5	Blokové schéma zapojení měřicího modulu	69
6.3.6	Blokové schéma zapojení USB klíčenky	69
7	ZÁVĚR.....	71
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....	72
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	73
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	75
	SEZNAM OBRÁZKŮ	76
	SEZNAM TABULEK.....	78
	SEZNAM PŘÍLOH.....	79

1 ÚVOD

Proč fotovoltaika?

1. Fotovoltaické získávání energie nemá mechanické pohyblivé části (např. rotor), čímž odpadá problém opotřebení, údržby a poruchy v mechanickém slova smyslu. Fotovoltaické články nepotřebují žádné přídavné pohonné látky, jediné co potřebují je sluneční záření, nevytváří hluk a neprodukují odpad.

2. Roste životní úroveň a tím i vyšší celková spotřeba energie.

Protože životní úroveň neustále roste a přibývá lidské populace, zvyšuje se tím pochopitelně i celková spotřeba energie. Osobní spotřeba jednotlivce je v dnešní době neudržitelná a proto je nutné hledat úsporné moderní technologie, které část spotřeby efektivně ušetří a sníží tím celkovou spotřebu energie.

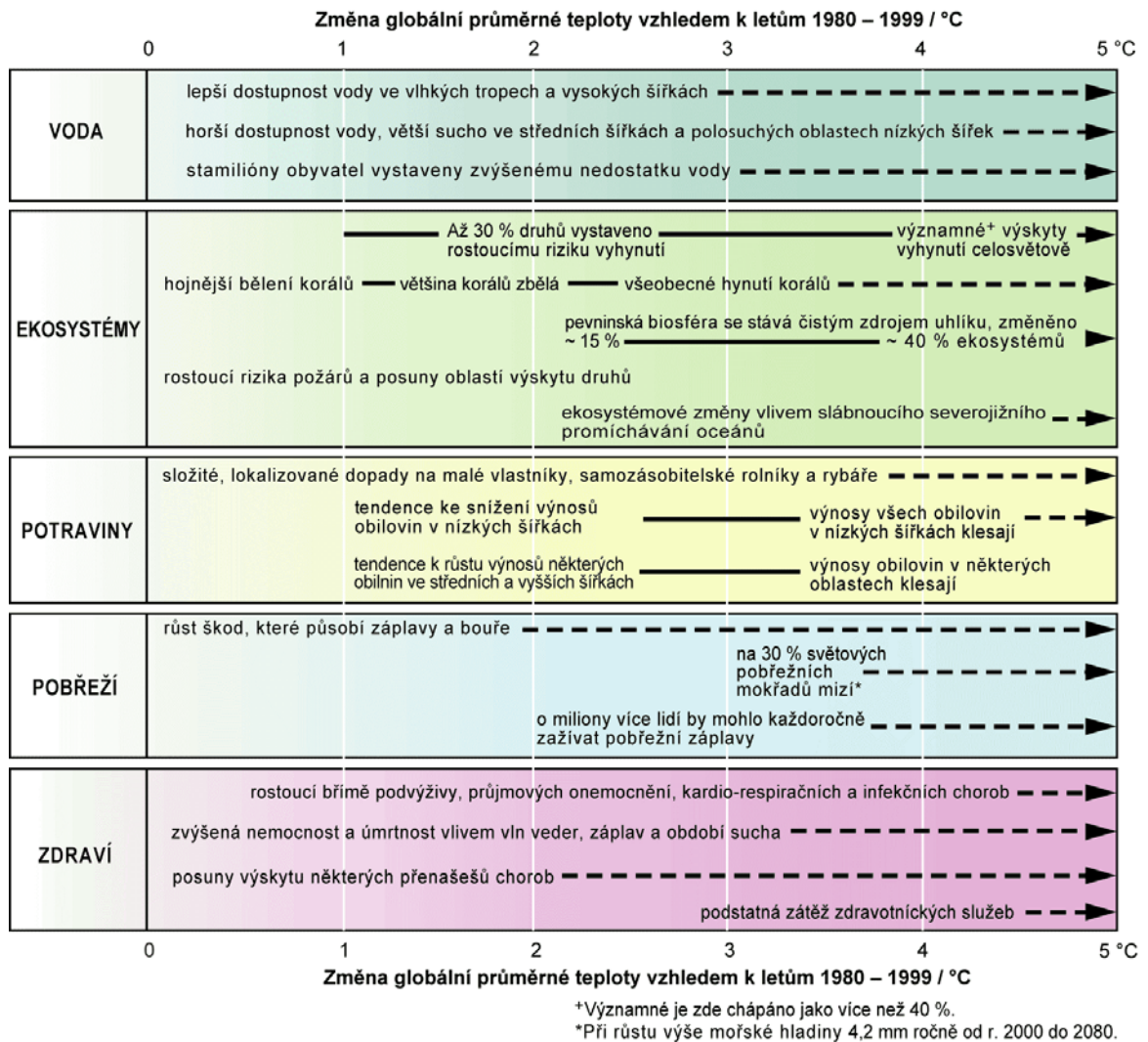
3. Aktivní přístup k řešení a úspora finančních nákladů.

Méně platit - buď můžete méně energie spotřebovat (efektivně ji využívat bez omezení stávající reálné spotřeby s využitím spotřebičů s vyšší účinností) nebo ji nakupovat za nižší ceny.

Sám energii vyrábět – s využitím znovu obnovitelných zdrojů.

4. Globální oteplování

V tabulce jsou uvedeny příklady celosvětových dopadů změny klimatu (popř. úrovně hladiny moře a atmosférického oxidu uhličitého) související s různými stupni nárůstu průměrné globální povrchové teploty v 21. století. Černé čáry propojují jednotlivé dopady, čárkované šipky znázorňují dopady, které se vzrůstající teplotou budou pokračovat. Tabulka je vyplněna tak, že text na levé straně vyjadřuje přibližný začátek daného dopadu. Kvantitativní údaje u nedostatku vody a u záplav představují další dopady klimatických změn v porovnání s podmínkami projektovanými scénáři. Přizpůsobení klimatickým změnám není v těchto odhadech zahrnuto.



Obr. 1 Dopady změny klimatu, adaptace a zranitelnost (více v Dopady_klimatu.pdf)

Fotovoltaika může být jednou z možných cest řešení současných problémů vyplývajících z chápání dnešní doby. Z tohoto pohledu však sebou přináší celou řadu specifických otázek, které jsou pro její funkčnost nezbytné. Které je však zapotřebí pojmenovat a nalézt na ně, když ne absolutní, tak alespoň dostatečně uspokojivé odpovědi vyhovující požadavkům, což je základem této práce. Jedny z nejzákladnějších specifických otázek jsou:

- Sluneční záření a jevy v atmosféře
- Zhodnocení stávajícího použití
- Zhodnocení umístění
- Zhodnocení používaných technologií výroby

- Zhodnocení natáčecích systémů a koncentrátorů
- Zhodnocení možností akumulace elektrické energie
- Obecné otázky
- Zhodnocení současných zapojení fotovoltaických panelů
- Ochrana proti transientním jevům
- Obecný a specifický sběr dat z fotovoltaických panelů

I. TEORETICKÁ ČÁST

2 SLUNCE JAKO ZDROJ ENERGIE

Slunce vyzařuje ze vzdálenosti 150 000000 kilometrů každou minutu na čtverečný centimetr plochy, postavené kolmo ke slunečním paprskům, takové množství energie, která stačí ohřát 1 mililitr vody o téměř 2°C, tj. přibližně 8,37 J.

Slunce vzniklo asi před 4,6 miliardami let a bude svítit ještě dalších 7 miliard let. Stejně jako všechny hvězdy hlavní posloupnosti, i Slunce září díky termonukleárním reakcím v jádře. Povrch se neustále mění, vznikají a zanikají sluneční skvrny, protuberance, erupce i jiné sluneční útvary. Slunce ovlivňuje ostatní tělesa Sluneční soustavy nejen gravitačně, ale i zářením v širokém spektru vlnových délek, magnetickým polem a slunečním větrem.

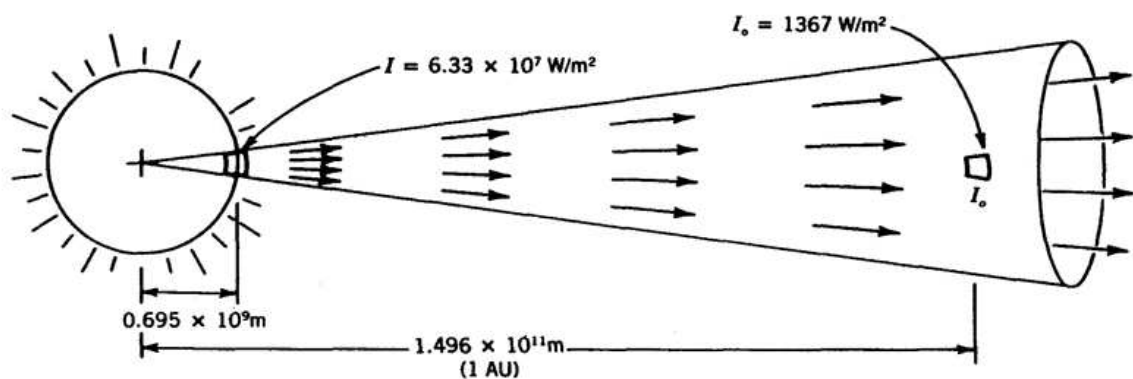
Slunce je hvězdou průměrné velikosti a ani jeho poloha v naší Galaxii není nijak výjimečná. Leží asi v 1/3 průměru disku Galaxie (přibližně 30 000 světelných roků od jejího středu). Energie vyzařovaná Sluncem vzniká při termonukleárních reakcích v jeho jádru. Každou sekundu se přibližně 700 milionů tun vodíku přemění na 695 milionů tun hélia a zbylých 5 milionů tun hmotnosti se přemění na energii (96 % elektromagnetické záření, 4 % odnášejí elektronová neutrina). U Země je tok sluneční energie 1,4 kW/m². Hmotu Slunce tvoří převážně vodík, v menší míře helium a stopové množství dalších prvků.

Hustota sluneční hmoty je v centru velmi vysoká (až desetinásobek hustoty olova – 130 g/cm³) a směrem k povrchu klesá až na 0,001 g/cm³. V průměru je však Slunce jen o něco hustší než voda. Celé sluneční těleso rotuje, avšak vzhledem k jeho plynnému charakteru je rotace rovníkových vrstev rychlejší než rotace pólů.

Slunce má výrazné magnetické pole, do kterého je ponořena celá Sluneční soustava. Vrstva nulového pole (tzv. Parkerova plocha) je charakteristicky zvlněná. Rekonekce magnetických silokřivek při povrchu Slunce vedou na výrony koronální hmoty (CME), která se v podobě plazmoidů šíří Sluneční soustavou. Na Zemi pak proudy částic vyvolávají tzv. polární záře.

2.1 Sluneční konstanta (solární)

Solární konstanta je výchozí údaj pro využití sluneční energie. Udává výkon slunečního záření procházející na hranici zemské atmosféry jednotkou plochy nastavené kolmo ke slunečním paprskům. V podstatě má 99,9 % energie dostupné na zemském povrchu svůj původ ve sluneční energii. Sluneční „konstanta“ však není stále konstantní. V současné době má střední hodnotu $1369 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Jedná se o celkový zářivý tok Slunce dopadající kolmo na plochu 1 metru ve vzdálenosti 1 astronomické jednotky. Změny dosahují řádově promile v časové škále řádově měsíce až roky.



Obr 1. Sluneční konstanta

2.2 Měření sluneční konstanty

Měření se provádí pomocí tzv. Pyrheliometrů

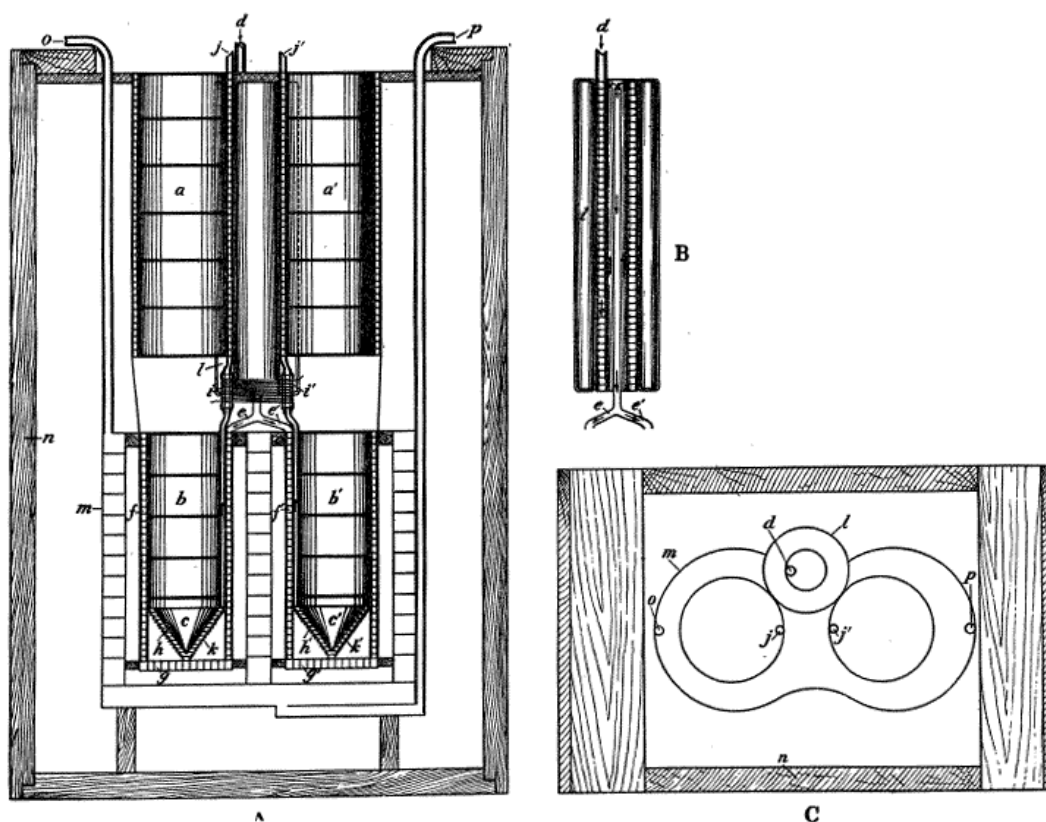
Měří množství energie vyzářené Sluncem za určitý čas

- Ångströmův kompenzační pyrheliometr
- Abbotův vodní pyrheliometr
- Abbotův pyrheliometr se stříbrným diskem

Za nejpřesnější se považuje Abbotův vodní pyrheliometr a v současné době je brán jako standart.

Princip:

Kolem začerněných válců o definované ploše proudí voda, která je jimi ohřívána, teplota vody je snímána odporovými teploměry. V podstatě se jedná o měření záření absolutně černého tělesa viz. kap. 3.2.10.



Obr 2 historická konstrukce pyrhelimetru

2.2.1 Současné metody měření sluneční konstanty

Sluneční konstanta je zářivý tok procházející plochou o velikosti 1m^2 ve vzdálenosti dané průměrnou vzdáleností hranice zemské atmosféry od Slunce během oběhu Země kolem Slunce po idealizované kruhové dráze. Jednotka : W/m^2 .

Dnešní měření se provádí radiospektrometry citlivými v oblastech vlnové délky elektromagnetického záření od 200nm do 2000nm tedy v oblasti, kde má Slunce nejvyšší vyzářený výkon.

2.2.1.1 Dopadající sluneční záření

- záření ultrafialové (vlnová délka pod 400 nm)
- záření viditelné (vlnová délka 400 až 750 nm)
- záření infračervené (vlnová délka přes 750 nm)

Viditelné záření tvoří 45 % dopadajícího záření, přičemž jeho podíl je vyšší při zatažené obloze (max 60 %).

Příkon záření dopadajícího na povrch zemské atmosféry činí $1\,373\text{ W}/\text{m}^2$ - solární konstanta. Ve skutečnosti není konstantní, neboť oběžná dráha Země kolem Slunce je eliptická, a to způsobuje kolísání ve velikosti solární konstanty přibližně 3 % (asi $40\text{ W}/\text{m}^2$). Malé změny solární konstanty jsou též spjaty s cykly sluneční aktivity, ty ale dosahují maximálně desetin procenta. Část záření je pohlcena atmosférou. Pohlcení se týká ovšem jen některých vlnových délek:

- prakticky celé nejkratší části ultrafialového záření (do vlnové délky 290 nm je pohlceno zcela, od 290 do 320 nm zčásti) - pohlcuje ozónová vrstva vybraných vlnových délek infračerveného záření (pohlcení především oxidem uhličitým a vodou)
- Ve viditelné oblasti je pohlcení jen částečné a závisí na síle vrstvy atmosféry, kterou musí záření projít. Při stejné výšce slunce nad obzorem se tedy větší pohlcení odehrává v rovníkových oblastech, naopak menší v polárních oblastech a na horách. Pohlcení v polárních oblastech je ovšem zároveň zvětšeno tím, že sluneční paprsky pronikají do atmosféry pod ostrým úhlem a musí tak proniknout delší vrstvou.

2.2.1.2 Množství prošlého záření udává vztah:

$$R_g = R_s * k^{\text{cosec } \alpha} * \sin \alpha$$

R_g - globální záření dopadlé na vodorovný povrch Země v nulové nadmořské výšce (na hladinu moře) W/m^2

R_s - solární konstanta (s korekcí na aktuální vzdálenost Země od Slunce)

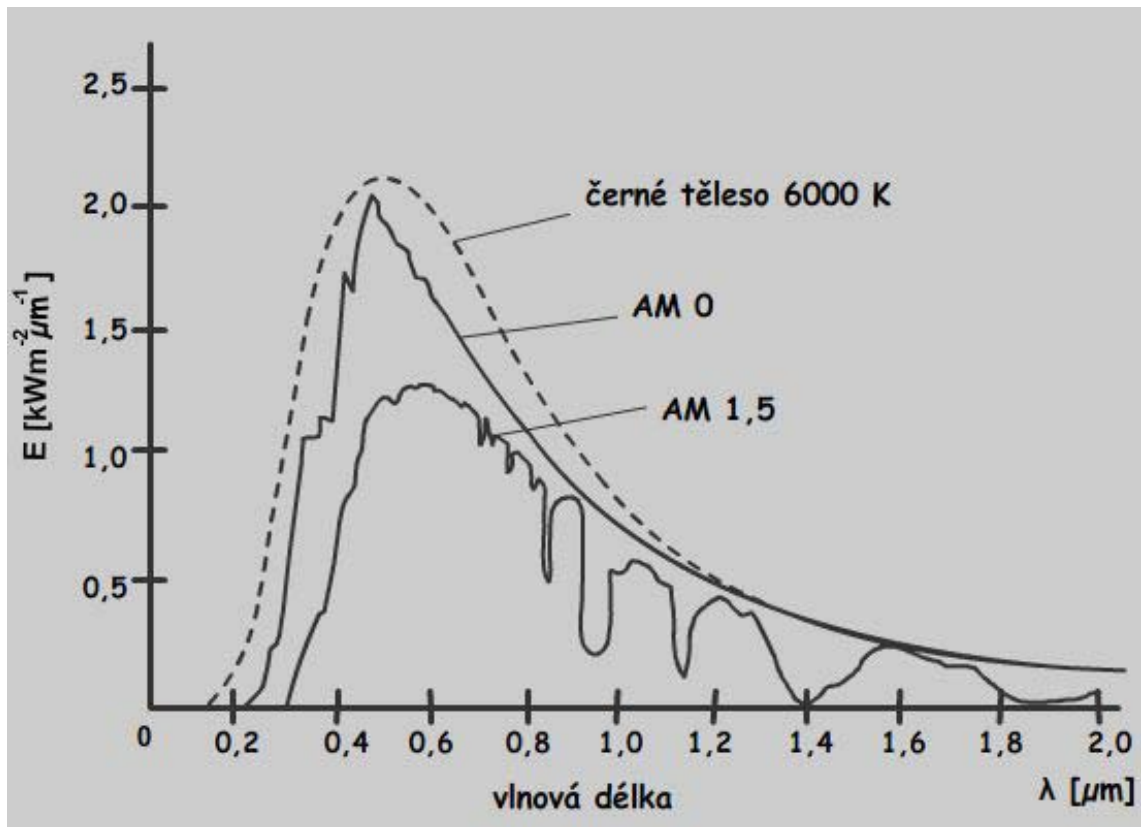
k - koeficient propustnosti atmosféry (závisí na jejím „zašpinění“), většinou se pohybuje mezi 0,7 a 0,9

α - úhel výšky slunce nad obzorem

$\text{cosec } \alpha$ - cosecans úhlu α , tj. $1/\sin \alpha$

Rozhodujícím faktorem je zatažená či jasná obloha. Při jasném dni dosahuje záření maxima kolem poledne. Z ročního úhrnu záření pak vyplývá, že záření dosahuje maxima v létě. Pokud je obloha zatažená, jsou součty slunečního záření i několikanásobně nižší než při jasné obloze.

Za bezoblačného dne se celkové záření skládá z přímého slunečního záření a z rozptylu. Při zcela zatažené obloze se jedná pouze o rozptyl, pozná se to tak, že předměty nevrhají stín.



Obr 3. spektrum slunečního záření mimo atmosféru a po průchodu atmosférou

AM (air mass) 0 – měřeno nad atmosférou Země

AM 1,5 – modelové spektrum záření po průchodu bezoblačnou atmosférou, 1,5x silnou vrstvou zemské atmosféry (při šikmém dopadu 45°). Čárkovaná křivka je spektrum vyzařování absolutně černého tělesa teploty 6000 K (Slunce 5780K)

2.2.1.3 Výpočet deklinace Slunce

Deklinace je úhlová vzdálenost nebeského tělesa (v tomto případě Slunce) od nebeského rovníku měřená po deklinační kružnici kladně k severu, záporně k jihu. Deklinaci lze vypočítat následujícím způsobem :

$$\delta = 23,45^\circ \sin (0,98^\circ D + 29,7^\circ M - 109^\circ)$$

D je den v měsíci

M je měsíc

Nebo pomocí Cooperovy rovnice:

$$\delta = 23,45^\circ \sin(2\pi * (284 * N / 365))$$

N je pořadí daného dne v roce

Tabulka (1) přibližných hodnot deklinace Slunce v průběhu roku

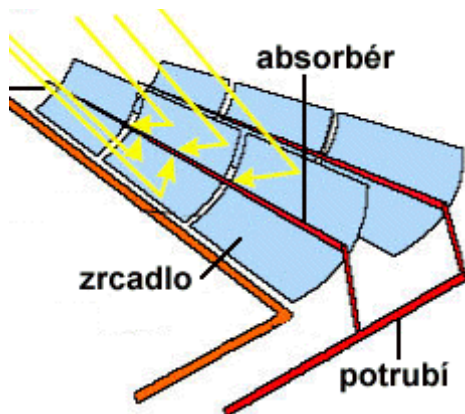
měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
den	17	16	16	15	15	11	17	16	15	15	14	10
deklinace (°)	-21	-13	-2	9,4	18,8	23	21,2	14	2,2	-9,6	-19	-23

Výpočet polovičního denního oblouku libovolného (Slunce) tělesa je přiložen v podobě excelovské tabulky. Do tabulky zadáváme zeměpisnou šířku a deklinaci tělesa příslušnému kalendářnímu dnu v roce. (modré hodnoty)

2.3 Stávající aplikace

2.3.1 Solární kolektory

Přeměna na teplo pohlcováním záření tmavým povrchem. Tato metoda má využití v malém měřítku: zahradní skleníky, ohřev užitkové vody, vytápění budov, sluneční atd.



Obr 4 schéma slunečních kolektorů

Ve velkém měřítku pak sluneční elektrárny na bázi ohřevu především minerálních olejů a klasická výroba elektřiny pomocí tepelných výměníků.

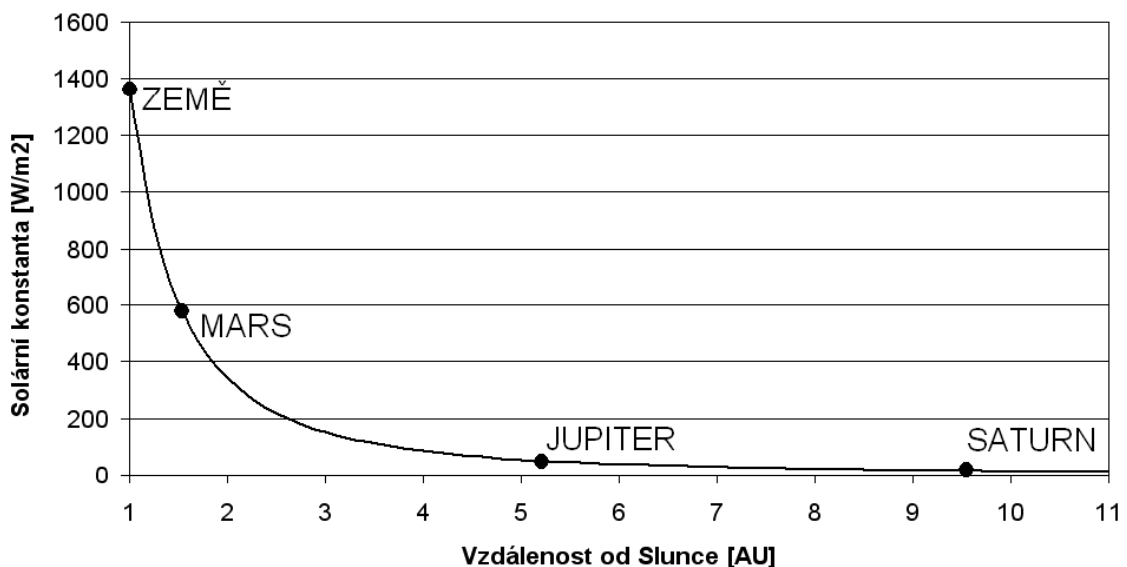
Minerální olej – zásobník – voda – pára – turbína – generátor.

2.3.2 Sluneční pece

Velké parabolické zrcadlo o průměru několika metrů až desítek metrů. Parabolické zrcadlo pece je nehybné. Je otočeno vždy k severu (na severní polokouli). Jedno nebo několik rovinných zrcadel zvaných heliostaty se otáčí za Sluncem. Každý heliostat se otáčí automaticky za Sluncem tak, aby paprsky od něho odražené směřovaly vždy k jihu, to znamená na parabolické zrcadlo. Od parabolického zrcadla se všechny paprsky odrážejí do ohniska pece, které se nachází uvnitř uzavřeného prostoru. Tím se zamezí ztrátám tepla. Válec musí být chlazený vodou, neboť teplota v ohnisku je 3000 K - 4 000 K. Za těchto podmínek lze tavit i wolfram.

2.3.3 Fotovoltaika

Přímá přeměna energie slunečního záření na energii elektrickou. Fotovoltaické zdroje dnes nacházejí své uplatnění v mnoha oblastech. Malé solární články napájí kapesní kalkulačky, větší solární panely mohou sloužit jako zdroj elektrické energie v místech bez připojení k síti, velké fotovoltaické systémy jsou schopny dodávat energii do běžné rozvodné sítě i pro vědecké přístroje v odlehlých částech světa. Naprosto nezbytné jsou v kosmonautice pro zásobování el. energií všechny satelity (neplatí pro raketoplány) pohybující se kolem Země až po Mars. Za dráhou Marsu už bohužel ne, velikost panelů by musela být mnohem větší vzhledem k úbytku záření ze Slunce a už se vyplatí radioaktivní zdroje (Pu)



Obr 5. úbytek intenzity slunečního svitu na vzdálenosti od slunce

3 KLADY A ZÁPORY FOTOVOLTAICKÝCH APLIKACÍ

3.1 Křemíkové články obecně

Křemíkové články využívají ke konverzi světla na elektrickou energii řadu fyzikálních procesů odehrávajících se v okolí PN přechodu fotodiody. Na rozhraní oblastí vodivosti typu N a P difundují jednotliví nositelé náboje (elektrony a díry) na opačnou stranu přechodu a tam rekombinují. Na tomto rozhraní se tak vytvoří tenká oblast bez volných nositelů náboje (tzv. depletiční vrstva – oblast v okolí PN přechodu, ve které majoritní nositelé náboje difundují na druhou stranu PN přechodu), kde jsou minoritními nositeli náboje a rekombinují. Tímto procesem se v okolí přechodu vytvoří oblast, kde se nevyskytují volní nositelé náboje, neboli vyprázdněná oblast. Absorbuje-li se v depletiční vrstvě foton vznikne volný pár elektron – díra. Tomuto jevu se říká vnitřní fotoelektrický jev. Takto vygenerovaný pár elektron-díra přispívá k proudu minoritních nositelů náboje přes PN přechod. Není-li k fotodiodě připojen vnější obvod, musí být tento proud kompenzován proudem majoritních nositelů náboje což se projeví vznikem elektrického napětí na kontaktech diody. Pokud k diodě připojíme rezistor, začne přes něj protékat fotoelektrický proud. Jako základ solárního panelu slouží tedy plošné fotodiody (PN přechody), které jsou technologicky uspořádány tak, aby na depletiční vrstvu mohlo dopadat světlo. Pro výrobu panelů se používá monokrystalický, polykrystalický a amorfní křemík. Typ krystalické struktury má značný vliv na šířku zakázaného pásu, která určuje účinnost článku. Největší účinnosti (okolo 15 – 17 %) dosahují články vyrobené z monokrystalického křemíku. Výroba monokrystalických křemíkových článků je však výrobně dražší oproti amorfnímu a polykrystalickému křemíku. Další nevýhodou je nízká mechanická odolnost všech křemíkových článků (křehkost).

3.2 Fotoelektrický jev

Záření má vlastnosti *vlnové* (ohyb, interference), ale také *částicové* (fotony). Tomuto jevu se říká *vlnově-částicová dualita*.

3.2.1 elektromagnetické záření

Je přenos energie ve formě elektromagnetického vlnění. Mezi elektromagnetické záření patří (postupně podle vzrůstající vlnové délky): gama záření, rentgenové záření, ultrafialové záření, viditelné záření, infračervené záření, mikrovlny a rádiové vlny.

3.2.2 Vnější fotoelektrický jev (fotoefekt)

Při tomto jevu se výrazně projevují kvantové vlastnosti záření. Princip tohoto efektu spočívá v tom, že záření dopadající na kovový předmět (Který je katodou v obvodě ve kterém, až do této doby neprotékal žádný proud.) z něj uvolňuje elektrony. Dochází zde k pohlcování fotonů a uvolňování elektronů. Tento jev se nazývá *fotoelektronová emise*.

3.2.3 Vnitřní fotoelektrický jev

Tento jev spočívá v přechodech elektronů na vyšší energetickou hladinu; v polovodičích vznikají volné elektrické náboje (fotovodivost).

3.2.4 Zákony fotoefektu

- Fotoemise proběhne jen tehdy, je-li vlnová délka dopadajícího záření menší než *mezní vlnová délka* λ_m , čili kmitočet $f > f_m$. Mezní vlnová délka je charakteristická pro různé kovy.
- Při ozáření dané katody zářením splňující zákon 1, je elektrický proud přímo úměrný intenzitě záření.
- Rychlost s níž vyletují elektrony z katody závisí jen na materiálu katody a na vlnové délce dopadajícího záření. *Výstupní práce* W_v je práce, kterou je třeba vykonat k uvolnění elektronu z povrchu kovu a vykoná se z energie záření.

3.2.5 Einsteinova teorie fotoefektu

Monofrekvenční vlnění s frekvencí f se při uvolnění z povrchu kovu chová jako systém kvant záření, který označujeme termínem fotony. Každý foton nese (představuje) kvantum záření o energii velikosti hf a má hybnost $p = hf/c$

3.2.6 Einsteinova rovnice fotoefektu

$$hf = W_v + 1/2 mv^2$$

h := Planckova konstanta - je univerzální fyzikální konstanta uplatňující se v kvantové teorii. Zavedena 1900 M. K.E.L. Planckem při teoretickém zdůvodnění vyzařovacího zákona.

Její hodnota = $6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s.

f := frekvence vlnění (kmitočet)

počet periodicky se opakujících dějů v daném místě za jednotku času. Platí:

$$f = 1/T = 2\pi\omega$$

T je doba kmitu periodického kmitavého pohybu hmotného bodu (*perioda děje*),

ω úhlový kmitočet

Jednotkou v SI je *Hertz*. Důležitý je vzorec $f = c/\lambda$.

W_v := výstupní práce je práce, kterou je třeba vykonat k uvolnění elektronu z povrchu kovu a vykoná se z energie záření.

c - rychlost světla ve vakuu

E_k := kinetická energie

kinetická energie hmotného bodu $E_k = mv^2/2$, kde m je hmotnost, v rychlost hmotného bodu. Kinetická energie těles (soustavy hmotných bodů) se rovná součtu kinetické energie jednotlivých bodů.

λ := vlnová délka

vzdálenost, kterou v homogenním prostředí urazí vlnění za dobu kmitu T .

Platí:

$$\lambda = vT = v/f = 2\pi/k$$

kde v je rychlost vlnění

f je frekvence vlnění

k vlnový vektor.

3.2.7 Comptonův jev

Pokud foton o určité vlnové délce (za předpokladu, že je splněn 1. zákon fotoefektu) narazí do elektronu, předá mu tak svoji energii a ten ji pak využije k úniku z povrchu kovu (k vykonání výstupní práce). Má-li před srážkou foton energii hf a po srážce $hf' \Rightarrow hf > hf'$. Platí, že:

$$hf = hf' + E'$$

přičemž E energie, kterou předal foton elektronu.

Ze vztahu $hf > hf'$ platí, že $hc/\lambda > hc/\lambda'$.

3.2.8 Kvantování energie atomů

Atom se skládá z jádra o poloměru řádově 10^{-15} m a z elektronového obalu s poloměrem řádově 10^{-10} m. Atom se může vyskytovat pouze v jistých kvantových stavech s určitými energetickými hodnotami. Přejchod atomu ze stavu s energií E_m na stav s nižší energií E_n se uvolní jeden foton s energií hf danou vztahem:

$$E_m - E_n = hf$$

Přejchod na energii jiné hodnoty je nespojitý. Kvantová energie atomů se projevuje čárovým spektrem.

Energetické hladiny atomu vodíku:

$$\begin{array}{l} \text{—} E_4 = -0,85 \text{ eV} \\ \text{—} E_3 = -1,5 \text{ eV} \\ \text{—} E_2 = -3,4 \text{ eV} \end{array}$$

$$\text{—} E_1 = -13,6 \text{ eV}$$

Stav atomu s nejnižší hodnotou energie (E_1) nazýváme základní stav. Stav s vyššími hodnotami pak exponované stavy. Energie E_I je pak energie potřebná k tomu, aby byl atom ionizován ze základního stavu.

3.2.9 Kvantová teorie je vyjádřena 2 Bohrovými postuláty

- Energie atomů se vyskytuje pouze v jistých „kvantovaných“ stavech po nichž přeskakuje. Každý z těchto stavů má přesně určenou hodnotu energie.
- Při přechodu atomu ze stavu s energií E_m do stavu s nižší energií E_n se uvolní jeden foton s energií hf vyjádřenou vztahem. $E_m - E_n = hf$.

Energii hf odnáší jediný foton. Jisté frekvenci f_{mn} odpovídá i určitá vlnová délka. Vztah:

$$\lambda_{ab} = c/f_{ab}$$

Měřením různých vlnových délek můžeme zjistit rozdíly mezi energiemi.

3.2.10 Záření černého tělesa a ultrafialová katastrofa

Téměř všechny objekty na světě vyzařují či odráží, či jimi prochází nějaké elektromagnetické záření (v určitém spektru vnímatelné jako světlo, v určitém jako teplo, pak ultrafialové záření, Roentegenové záření, infračervené záření atd.). Zavádí se však fyzikální abstrakce zvané černé těleso, která veškeré záření pohltí. Za nízké teploty se nám tedy jeví, jako dokonale černé. Černá díra je těleso, jehož gravitační síla, je na tolik silná, že žádná částice nemá takovou hybnost, aby byla schopná dosáhnout únikové rychlosti pro černou díru. Takže černá díra je neviditelná.

Vlastnostem černého tělesa se nejvíce blíží dutina kulového tvaru, jejíž vnitřní povrch tvoří matná černá plocha. Jakmile se paprsek dostane úzkým průchodem dovnitř, již se z něj nedostane ven, protože je částečně pohlcen a zbytek energie se pohltí při opakovaných odrazech od vnitřní plochy dříve, než najde cestu ven. Otvor dutiny se pak jeví jako černé těleso.

Při teplotách černého tělesa asi 600°C se nám toto těleso jeví jako červené. Toto určuje veličina H_λ , která se nazývá spektrální hustota intenzity vyzařování, jež určuje jaká

část celkové energie vyzařené zdrojem přísluší záření o vlnové délce λ při teplotě zdroje záření T . Největší hodnota H_λ je u kratších vlnových délek. Při teplotě asi 1300°C se nám těleso jeví jako bílé a dále pak jako modrobílé.

Při pokusech nalézt vztah pro funkci H_λ , která má tvar křivky vycházející z počátku a vzrůstající a opětovně již navždy klesající, omezená shora bodem λ_{\max} (je jiný pro každou T) ($\lambda_{\max}=b/T$) zjistili, že by se podíl energie připadající na kratší vlnové délky měl stále zvětšovat. To ovšem odporovalo pokusům, při nichž se zjistilo, že při $\lambda \ll \lambda_{\max}$ černé těleso prakticky nic nevyzařuje. Tento rozpor se nazývá „ultrafialová katastrofa“.

Tento rozpor vyřešil až Max Planck, podle nějž nevyzařuje těleso svoji energii spojitě, ale po kvantech energie E . Velikost těchto kvant závisí na frekvenci f záření.

$$E = hf$$

3.2.10.1 příklad: sodíková výbojka

Výstupní práce pro sodíkovou katodu je 2,1 eV. Dojde k fotoemisi ozáříme-li ji UV zářením s vlnovou délkou $\lambda=300$ nm?

řešení:

Nejdříve je třeba si vypočítat energii fotonu UV záření.

$$E = hf = hc/\lambda$$

(Energie fotonu se rovná součinu Planckovy konstanty a jeho kmitočtu, neboli frekvence.)

$$E = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 / 3 \cdot 10^{-7}$$

$$E = 6,63 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 4,33 \text{ eV}$$

odpověď:

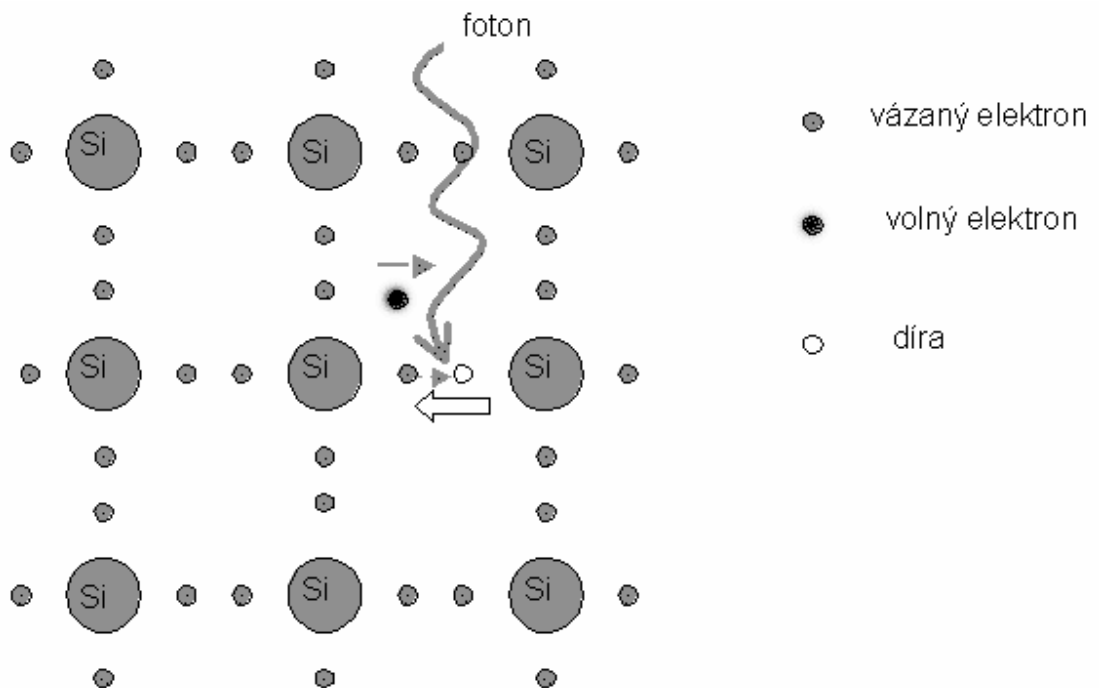
Abychom zjistili, zda je možné aby došlo k fotoemisi musíme vyjít z faktu, že energie dopadajícího fotonu musí být větší než výstupní práce, která je nutná k vystřelení elektronu z povrchu prvku.

$$W_v = 2,1 \text{ eV} ; E = 4,33 \text{ eV}$$

Jelikož je podmínka $E > W_v$ splněna, skutečně dojde k fotoemisi.

3.3 Konstrukce solárního článku

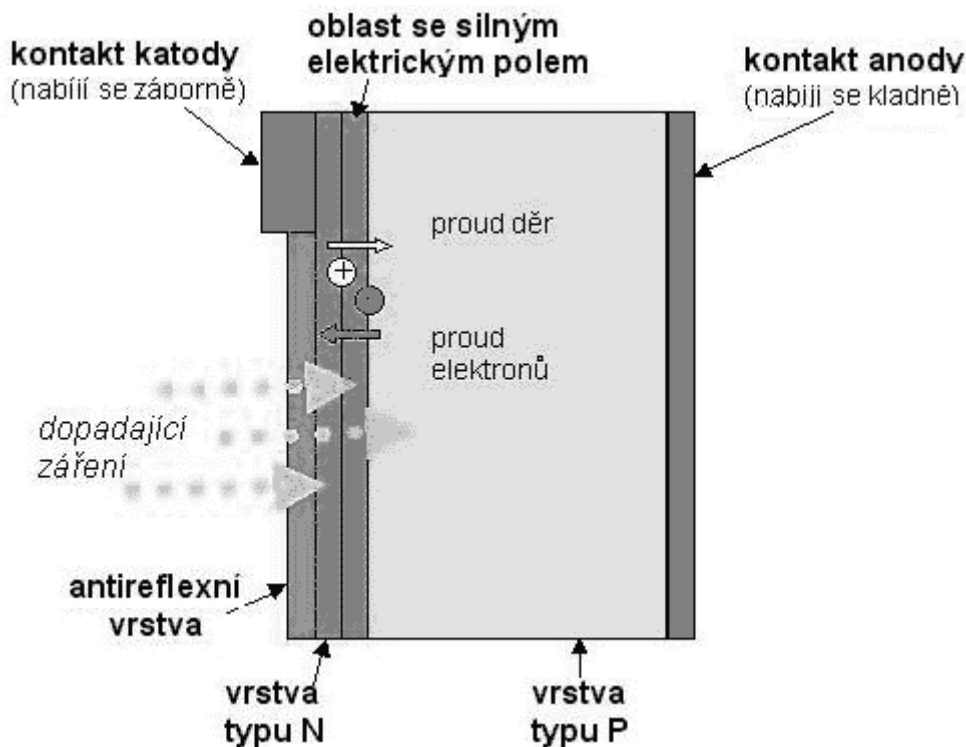
Základním prvkem umožňujícím přímou přeměnu světelné energie na elektrickou je solární článek, tj. velkoplošný polovodičový prvek, na kterém vzniká při dopadu slunečního záření fotovoltaické napětí. Funkci solárního článku je možno popsat následujícím způsobem.



Obr 6. Vyražení elektronu z krystalické mřížky křemíku

Pokud je absorbován foton s takovou velkou energií, může uvolnit elektron z této vazby tak, že tento elektron se pohybuje volně v krystalu. Na místě uvolněného elektronu zůstává neobsazený stav – díra, do kterého mohou přeskakovat sousední elektrony, které jsou vázány v kovalentní vazbě. Tímto způsobem se může tento neobsazený stav pohybovat krystalem jako kladný náboj. Mluvíme proto o vytvoření páru elektron-díra interakcí s fotonem. Elektron se může vrátit zpátky do neobsazeného stavu ve vazbě, v takovém případě mluvíme o rekombinaci elektronu a díry.

Pokud v krystalu křemíku existuje nehomogenita, se kterou je spojeno vnitřní elektrické pole – takovou nehomogenitou může být třeba přechod PN, jsou tímto elektrickým polem rozděleny páry elektron – díra a to tak, že elektrony jsou urychleny do oblasti N a díry do oblasti typu P, jak je zobrazeno na obrázku.



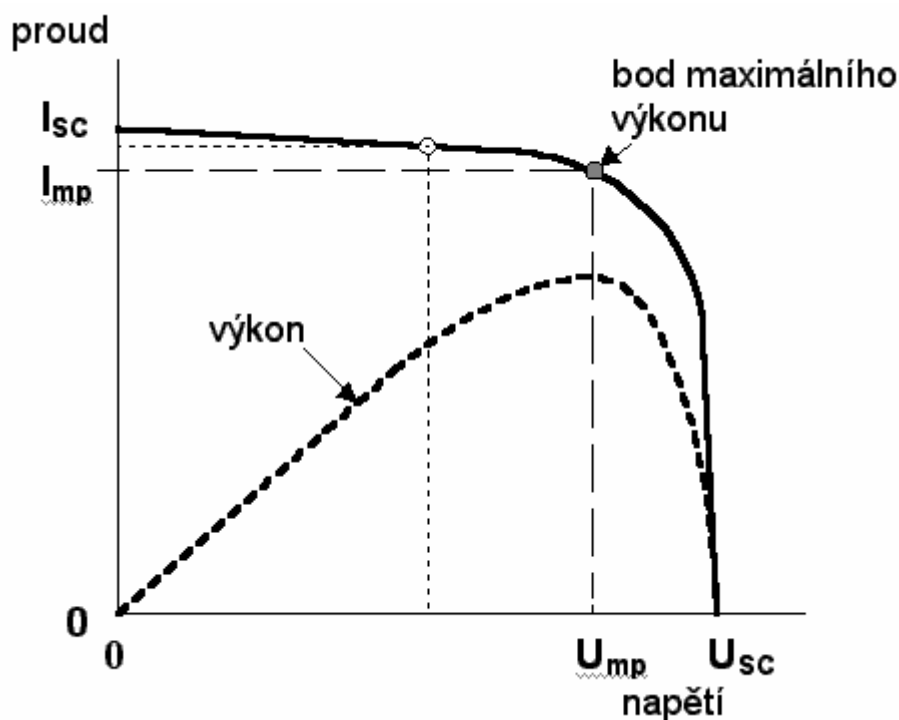
Obr 7 PN přechod

Tímto způsobem se oblast typu N nabíjí záporně a oblast typu P nabíjí kladně tak, že na osvětleném polovodiči s přechodem PN vzniká fotovoltaické napětí. Připojí-li se mezi tyto oblasti spotřebič, protéká jím elektrický proud, který může vykonávat užitečnou práci. Velikost proudu procházejícího elektrickým obvodem závisí jednak na ozáření článku a dále pak na ploše článku a na účinnosti článku.

Hloubka vniku světla (tj. vzdálenost od povrchu, ve které klesne intenzita světla v polovodiči vlivem absorpce na zhruba jednu třetinu) závisí na energii fotonu (s rostoucí energií fotonu hloubka vniku klesá) a na typu polovodiče. Aby článek byl účinný, musí být páry elektron – díra generovány v blízkosti přechodu PN. To znamená, že přechod PN musí být realizován velmi blízko povrchu, na které dopadá světlo (několik desetin mikrometru pod povrchem). Nosiče, generované mimo místa přechodu PN musí k oblasti

se silným elektrickým polem difundovat. Pokud zrekombinují dříve, než dosáhnou oblasti přechodu PN, neuplatní se při generaci fotovoltaického napětí. Je proto třeba volit technologii tak, aby ztráty rekombinací byly minimální. Kromě toho je třeba zabránit ztrátám spojeným s odrazem dopadajícího záření od povrchu. Proto se na povrchu vytváří jednak zdrsnění povrchu (textura) a povrch se pokrývá antireflexní vrstvou, která zabraňuje odrazu světla (články proto mají nejčastěji tmavomodrou barvu).

Fotovoltaický proud roste přímo úměrně s intenzitou dopadajícího záření. Při intenzitě dopadajícího světla 1 kW na m^2 , proud generovaný v jednom centimetru čtverečním článku dosahuje hodnot $10 - 40 \text{ mA}$ v závislosti na typu použitého polovodiče a konstrukci článku. Proud je přímo úměrný ploše článku tak, že na standardním křemíkovém článku o velikosti $10 \times 10 \text{ cm}$ vzniká proud okolo 3 A a na křemíkovém článku $15 \times 15 \text{ cm}$ může vzniknout proud okolo 6 A .

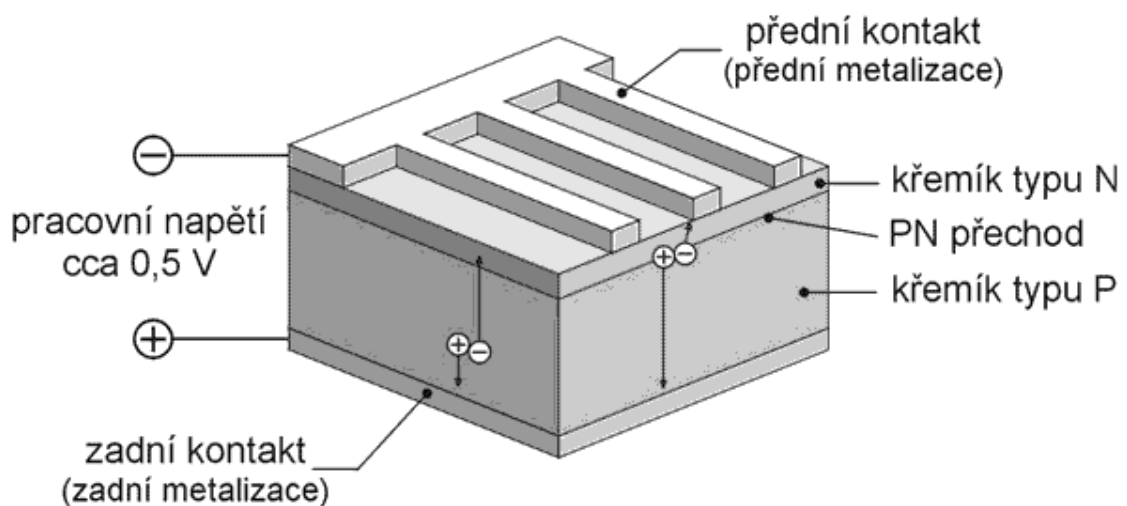


Obr 8 pracovní bod solárního článku

3.3.1 Charakteristika fotovoltaického článku:

Pracovní bod solárního článku je bod na charakteristice, ve kterém článek právě pracuje. Poloha pracovního bodu na charakteristice napětí proud závisí na připojeném

spotřebiči. Nejvyšší možnou hodnotou proudu je maximální proud tzv. zkratový proud I_{SC} , který může solární článek při dané intenzitě ozáření dodávat. Dalším charakteristickým bodem je napětí naprázdno U_{SC} , které udává maximální napětí na článku, kterého je možno dosáhnout, když ke článku není připojen žádný spotřebič. Výkon solárního článku se určuje jako součin proudu a napětí. Pro každý článek existuje pracovní bod na charakteristice, ve kterém je výkon největší. Tento bod je označován jako bod maximálního výkonu (M_{PP}) o napětí U_{mp} a proudu I_{mp} . Výkon určitého solárního článku závisí na ozáření, na spektru světla a na teplotě článku. Maximální proud roste přímo úměrně s rostoucí intenzitou dopadajícího záření a tím roste i výkon článku. S rostoucí teplotou výkon článku klesá.

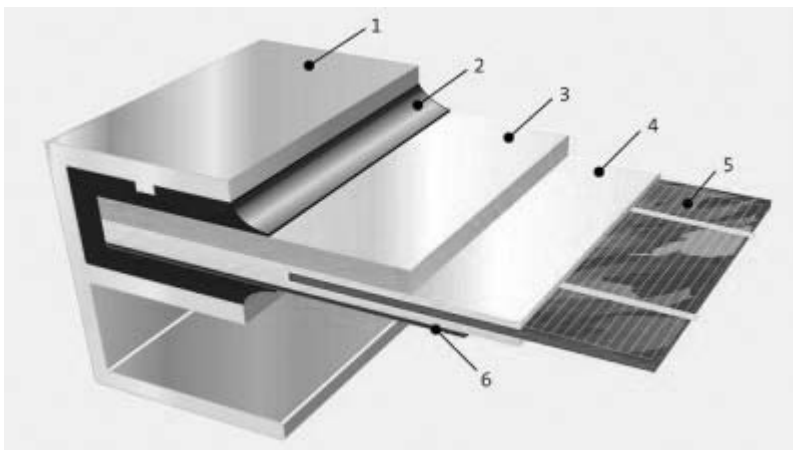


Obr 9 schéma slunečního článku

Ztráty na fotovoltaickém článku vznikají jednak tím, že část povrchu je zastíněna mřížkou sběrnice katodového kontaktu, dále pak na odporu jednotlivých vrstev struktury a odporu sběrnic (tak zvaném sériovém odporu) při průchodu proudu. K dosažení co největší účinnosti článku je konstrukce článku optimalizovaná z hlediska minimalizace celkových ztrát (tloušťka a rezistivita jednotlivých vrstev, vzdálenost kontaktů sběrnice, způsob metalizace apod.).

3.3.2 Konstrukce fotovoltaického modulu

Napětí na jednom solárním článku je v pracovním bodě okolo 0,5 V. Je tudíž nízké pro praktické aplikace a je třeba několik článků zapojovat do série. Pro snazší manipulaci se solárními články, pro ochranu před vlivy okolního prostředí a za účelem získání vyššího napětí se zpravidla několik solárních článků spojuje do série dohromady do fotovoltaického modulu (někdy se používají také termíny solární modul nebo solární panel). Obvykle je spojeno do série 36 článků pro 12 V aplikace nebo 72 článků pro aplikace 24 V. Při sériovém zapojení článků teče všemi články stejný proud. Je tedy žádoucí, aby všechny články byly přibližně stejně osvětleny, aby nebyl žádný zastíněn, protože v takovém případě by se výkon výrazně snížil. Aby bylo dosaženo vysoké životnosti, musí se články chránit před nepříznivými vlivy okolního prostředí. Solární články se zpravidla vkládají do vysoce průhledné fólie EVA a přední strana se často chrání před deštěm, krupobitím a jinými vlivy vysoce průhledným speciálně tvrzeným sklem. Zadní strana se uzavře vícevrstvou, vysoce pevnou fólií z plastu, nebo skleněnou destičkou a prostor mezi skly se utěsňuje. Mechanická konstrukce modulů musí být řešena tak, aby články v modulu byly zabezpečeny proti povětrnostním podmínkám a aby bylo zajištěno jejich optimální chlazení. Nejčastější je chlazení vzduchem.



Obr 10. Konstrukce fotovoltaického panelu

1. Hliníkový rám
2. Těsnění
3. Tvrzené sklo
4. Folie EVA

5.Článek z křemíku

6.Vodotěsná fólie z umělé hmoty

3.4 Zhodnocení podle umístění

Specifickou otázkou jež jednu z dílčích rolí hraje je umístění fotovoltaických panelů v prostoru okolo nás. V následující tabulce jsou stručně zobrazeny možná místa umístění a přehled kladů a záporů s nimi spojených.

Tab. 2 klady a zápory fotovoltaických panelů z hledem k jejich umístění

Fotovoltaické panely budov	
výhody	nevýhody
+ nezabírá se volná plocha	- plocha pro instalaci je omezená
+ nepřístupné zlodějům a vandalům	- někdy nevhodná orientace budovy
+ obvykle není nutno budovat (posilovat) přípojku k síti	- může budovu zohydit
+ může sloužit pro vlastní spotřebu v budově, napájení záložních systémů	- instalace na stávající budovu znamená zásah do budovy
	- lze použít jen pevné panely
Fotovoltaické panely na ploché střeše	
+ optimální sklon a orientace	- nutno kotvit proti větru
Fotovoltaické panely do krytiny nebo nad krytinou	
+ minimální zásah do budovy	
Střešní fotovoltaická krytina pro ploché střechy	
+ nahradí krytinu = úspora stavebních nákladů	- riziko poškození při instalaci antén, bleskosvodů atd.
	- lze použít jen u určitých budov

Prosklení s fotovoltaikou	
	- zhoršení tepelných ztrát budovy
Fotovoltaické panely integrované do fasády	
+ reprezentativní vzhled	- nevhodný sklon
+ nahradí vnější plášť	- obvykle nevhodná orientace
	- panely se špatně ochlazují, s rostoucí teplotou klesá účinnost
Fotovoltaické panely na zelené louce	
+ neomezená plocha	- riziko poškození a krádeže, vyšší náklady na ostrahu
+ lze použít trackery, koncentrátory atd.	- nutno udržovat plochu (sečení, pastva)
+ lze instalovat v optimální poloze a sklonu	- nutno vybudovat přípojku k síti
Fotovoltaické panely na pevné konstrukci	
+ optimální sklon a orientace	
+ levnější nosná konstrukce	- nutná odolnost proti korozi
Fotovoltaické panely trackeru (dvousé nebo jednoosé natáčení)	
+ vyšší zisk elektřiny oproti pevným systémům	- vyšší náklady na údržbu
	- riziko poruchy pohyblivých částí
	- potřeba větších rozestupů, větší zábor plochy
Systémy s koncentrátory, zrcadly aj.	
+ vyšší zisk elektřiny oproti pevným systémům	- nutno použít tracker nebo posun koncentrátoru

	- riziko poruchy pohyblivých částí
	- nutno použít speciální články odolné vyšším teplotám

3.5 Zhodnocení technologie výroby fotovoltaických článků

Dle typu solárních článků lze fotovoltaické sluneční panely rozdělit na:

3.5.1 monokrystalické kolektory – skládají se z jediného krystalu

Monokrystal je makroskopický krystal s velmi malým množstvím poruch v krystalové mřížce. Fotovoltaické panely s monokrystalickými články jsou v našich zeměpisných šířkách nejvíce používány. Krystaly křemíku se vyrábí přibližně ve velikosti 10 cm a vyrábí se pomocí chemického procesu - tažením roztaveného křemíku ve formě tyčí o průměru 300 mm. Ty se poté rozřezou na tenké plátky. Účinnost těchto článků se pohybuje v rozmezí 13 až 17%.

3.5.2 polykrystalické kolektory – z mnoha různě orientovaných krystalů

Stejně jako u monokrystalických panelů, křemíkové plátky se skládají z většího počtu menších polykrystalů. Účinnost polykrystalických článků se pohybuje od 12 do 14%. Ale jejich výroba je ale v porovnání s monokrystalickými panely mnohem jednodušší, tedy i levnější a rychlejší.

3.5.3 amorfnní kolektory – základem amorfnní křemíková vrstva

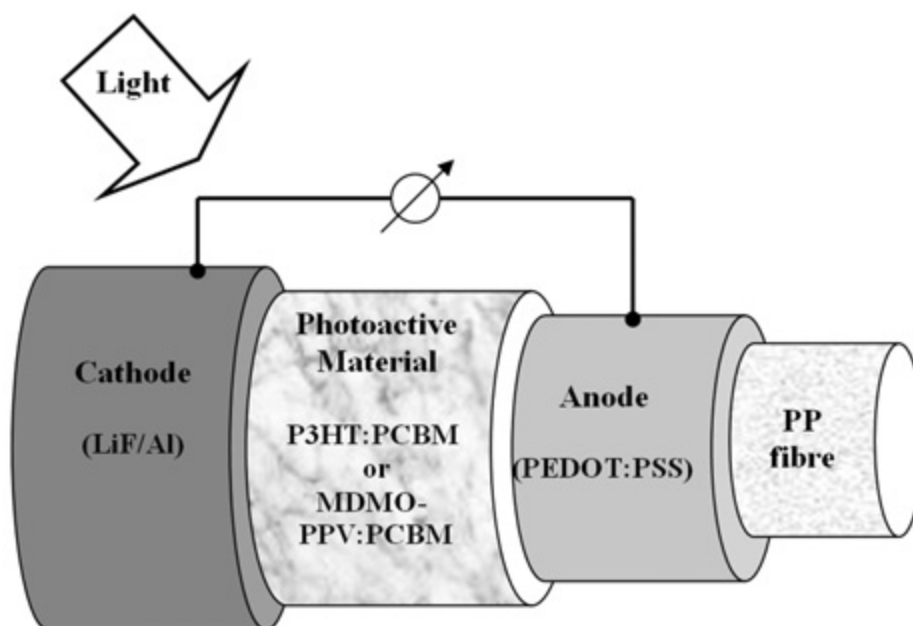
Základem amorfnních fotovoltaických panelů je napařovaná křemíková vrstva, na sklo nebo fólii. Účinnost těchto fotovoltaických článku je rozhodně nižší oproti monokrystalickým nebo polykrystalickým. Účinnost panelů se pohybuje v rozmezí 7 až 9%. Další nevýhodou pro tento typ panelů je 2,5 krát větší plocha k dosažení stejného výkonu jako u monokrystalických nebo polykrystalických panelů. Celoroční výnos je ovšem o 10% vyšší, a to z důvodu udržení napětí na článku i při nižší intenzitě osvětlení plochy panelu. Tyto typy článků patří k dnes na trhu nejlevnějším a výhodné jsou především tam, kde investor není omezen prostorem.

3.5.4 organické polymery

Organické fotovoltaické články (stejně jako organické LED) jsou vyrobeny z tenkého filmu polovodičových organických směsí. Typicky organický polymer, tedy dlouhý flexibilní řetězec uhlíkatého materiálu, je používán jako spodní vrstva, na kterou jsou nanášeny polovodičové materiály v podobě roztoku technikou inkoustového tisku tiskárny. Výhodou těchto panelů je jejich snadná výroba – tisk a pružnost. Nevýhoda – zatím velmi nízká účinnost v případě 1 vrstvy 3%, dvojitě vrstvy max. 6,5%.

3.5.4.1 Fotovoltaická vlákna

Zatím se vyznačují malou účinností. Jsou vyráběna pomocí nanotechnologie. Na tenké polypropylenové vlákno se postupně nanášejí jednotlivé vrstvy organických molekul. Výhody této technologie ještě nejde blíže specifikovat vše je zatím jen laboratorní test, ale investice do této technologie jsou značné a tudíž lze předpokládat její využití (zejména pro armádu).



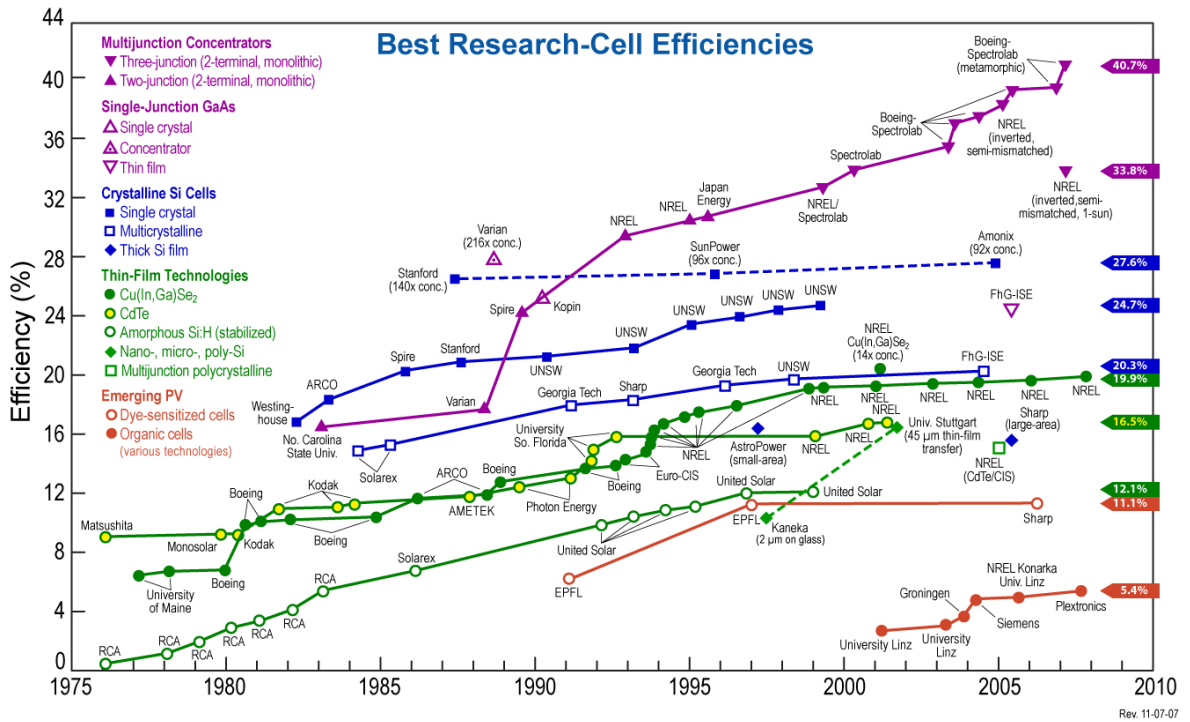
Obr 11. Řez fotovoltaickým vláknem

3.5.5 Černý křemík

Jedná se o povrchovou úpravu fotovoltaických panelů pomocí nanotechnologie. Technologie přípravy je přitom celkem jednoduchá. Pouhým mořením ve vodném roztoku za běžných podmínek se způsobí, že povrch fotovoltaických křemíkových článků zčerná. Jde o vodný roztok peroxidu vodíku, kyseliny fluorovodíkové a kyseliny chlorozlatité $H(AuCl_4) \cdot 4H_2O$ která, naleptá nepravidelně povrch křemíku tak, že na něm vytvoří porézní vrstvičku nanometrových rozměrů, která nedovolí žádnému fotonu uniknout. Přesný reakční mechanismus doposud není plně objasněn. Pravděpodobně vytvořené nanočástice zlata, které ulpí na povrchu, katalyzují jeho rozpouštění, čímž vzniká nepravidelná struktura, vedoucí k větší absorpci záření a tím k vyšší účinnosti. Výroba těchto článků je v současnosti stále na laboratorní úrovni.

Dílčí závěr:

Dnešní směr výroby a technologie fotovoltaických panelů je silně spojen s náklady na výzkum. To vede k tlaku na používané suroviny, především však na křemík a jeho čistotu. S příchodem nanotechnologie do výroby fotovoltaických panelů se ještě určitě dočkáme posílení účinnosti. V laboratorních podmínkách už dnes existují vrstvené články s účinností přesahující 40%. Důraz se však začíná vkládat i na recyklaci fotovoltaických panelů. S jejich recyklací se počítá už přímo ve výrobních procesech.



Obr 12. Přehled technologií a účinnosti fotovoltaických panelů

Zdroj: Lawrence Kazmerski, National Renewable Energy Laboratory (NREL).

4 ZHODNOCENÍ NATÁČECÍCH SYSTÉMŮ

4.1.1 Pevné natočení panelu

Množství světelné energie, které dopadá na fotovoltaický panel a kterou může panel přeměnit na elektřinu, závisí v první řadě na úhlu, pod jakým je panel osvětlený. Dopadá-li světelné záření na panel kolmo, je výkon fotovoltaického panelu maximální.

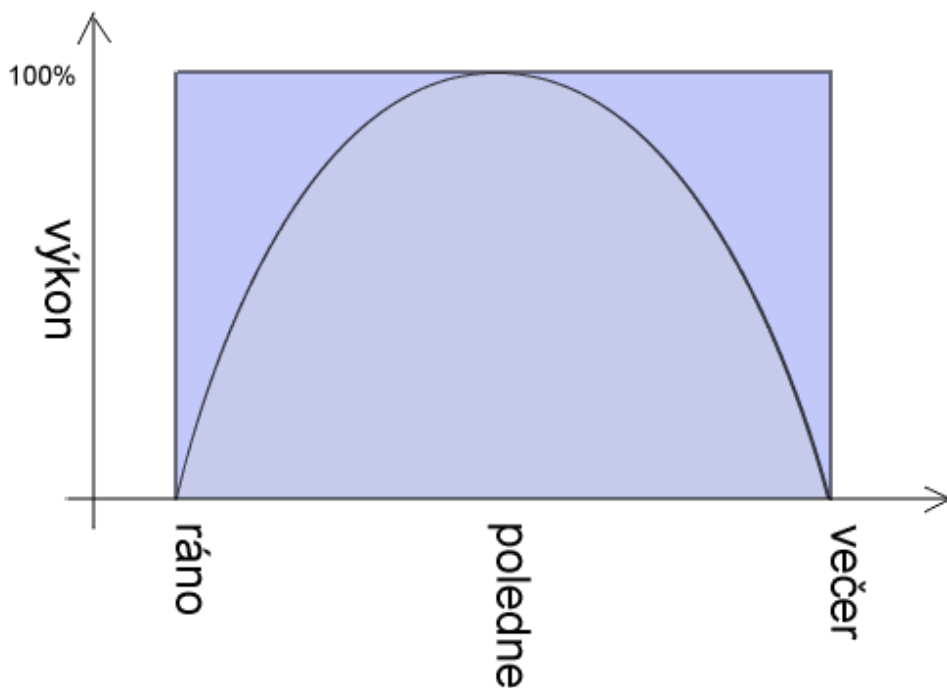
Dopadající energie tedy závisí na úhlu osvětlení a řídí se funkcí sinus. Výkon pevně nainstalovaného panelu se v průběhu dne i roku mění, ale v zásadě jde vždy (přibližně) o část sinusoidy. Množství vyrobené energie ploše pod částí sinusoidy.



Obr 13. Pevná orientace panelů – množství vyrobené el. energie

4.1.2 Pohyblivé natočení panelů

Zajistíme-li, aby se fotovoltaický panel natáčel za Sluncem, můžeme využít sluneční záření v průběhu celého dne na sto procent. Panel bude vyrábět maximální množství energie od východu až do západu Slunce.



Obr 14. natáčení panelů – množství vyrobené el. energie

Fotovoltaický panel tedy může vyrobit více než o padesát procent větší množství energie, než panel nainstalovaný napevno. Tato úvaha platí pouze pro dny jarní a podzimní rovnodennosti, v průběhu roku se podmínky mění. Za celý rok je zisk o cosi málo nižší - natáčený panel dovede vyrobit jen asi $1,57\times$ více energie než pevně nainstalovaný panel. Toto ovšem vychází z čistě geometrických poměrů. K těmto číslům bychom se dostali pouze ve vakuu.

Tracker vykazuje nevyšší zisk v ranních a večerních hodinách, kdy je pevný panel osvětlený pouze difuzní složkou záření (rozptýleným zářením oblohy). V té době ovšem prochází přímé sluneční záření i mnohonásobně větší vrstvou atmosféry a je tím pádem silně utlumené. Výhoda trackeru díky tomu klesá. Po započtení vlivů ideálně jasné oblohy

(celý rok bez mráčku) a difuzního a odraženého záření se energetický zisk natáčeného panelu oproti panelu pevně nainstalovaného sníží zhruba na 45 procent.

Další vlivy se modelují špatně a dají se odhadnout pouze z dlouhodobých statistik. Zatažená obloha způsobuje, že se natáčený i pevný panel chovají stejně, rozdíly mezi oběma systémy se stírají. Statistiky pak v delším časovém horizontu dokáže vyrobít panel natáčený ve dvou osách ve středoevropských podmínkách jen asi o jedenáct procent více energie, než panel pevně nastavený. Lepších výsledků lze dosáhnout pouze v jižněji položených lokalitách, kde bývá vyšší počet slunečních dní a nad difuzní složkou převládá přímá složka slunečního záření.

4.1.2.1 Konstrukce trackeru

Řídicí panel se solárními články je připevněn k rotační ose zařízení a je složen ze dvou sekcí otočených vůči sobě o 180° (hlavní sekce k západu a pomocná sekce k východu).

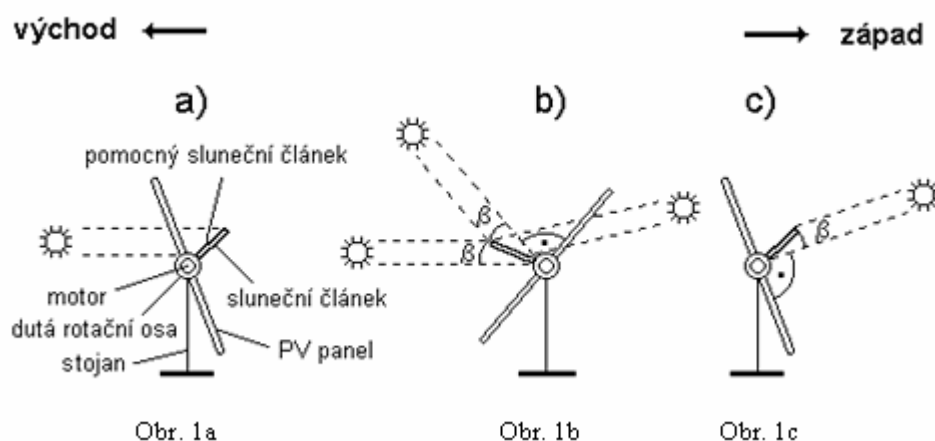
Rovina řídicího panelu je od roviny kolmé ke kolektorům solární energie a rovnoběžné s rotační osou zařízení odchýlena o úhel $\beta \approx 15 \div 20$ k východu a obě sekce jsou antiparalelně připojeny přímo k elektromotoru spojenému s rotační osou zařízení.

Úhel β by měl být právě takový, aby při dopadu slunečního záření pod úhlem dopadu větším než β byla síla motoru větší než síla potřebná k orientaci zařízení, ale aby při dopadu slunečního záření pod úhlem dopadu menším než β byla síla motoru menší než síla potřebná k orientaci zařízení. Potom když na řídicí panel posvítí přímé sluneční záření z kterékoliv strany pod úhlem dopadu větším než β , 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 zvětšil.

Pohyb se zastaví, právě když úhel dopadu je β , neboť tehdy se síla motoru zmenší pod hodnotu potřebnou k orientaci systému. Když v důsledku pohybu Slunce po obloze dojde ke zvětšení úhlu dopadu, systém se opět pohne směrem ke zmenšení úhlu dopadu. Za jasného dne se tak systém pohybuje postupně (nikoliv spojitě) od východu k západu.

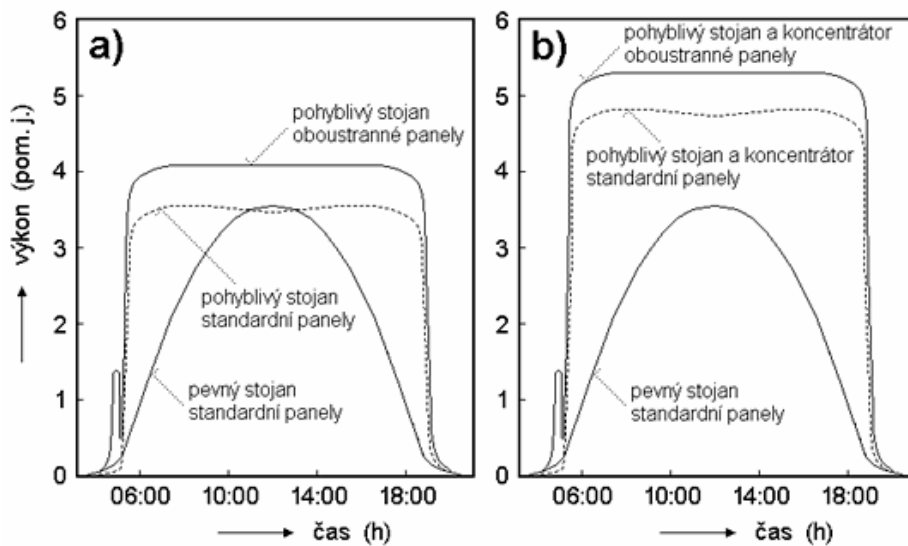
Během jasného dne je funkce zařízení s touto konfigurací následující. Ráno před východem Slunce je zařízení obvykle orientováno k západu, kde večer předchozího dne ukončilo činnost. Po východu slunce (obr. 1a) dopadá sluneční záření na pomocnou sekci

řídícího panelu připojeného k motoru. Motor otáčí zařízení za Sluncem k východu, dokud síla motoru nepoklesne pod prahovou sílu potřebnou pro orientaci zařízení. Zařízení je poté orientováno přibližně k východu, úhel dopadu slunečního záření je přibližně β . 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 řídícího panelu připojeného k motoru. Motor napájený energií z řídícího panelu otáčí zařízení postupně za Sluncem k západu. Kolektor je takto orientován za postupujícím Sluncem (obr. 1a, b, c). Obr. 1b ukazuje, že ať posvítí Slunce z kterékoliv strany, řídící panel je vždy v dosahu slunečního záření. To je důležité pro případ, že by během dne bylo delší dobu zataženo.



Obr 15.natáčení pomocí trackeru

Idealizovaná závislost okamžitého výkonu dodávaného fotovoltaickými solárními systémy různých konstrukcí na času během jasného letního dne. Je vidět, že celkové navýšení množství vyrobené energie činí skutečně uvedených 100% v případě systému s oboustrannými panely s pohyblivým stojanem s hřebenovým koncentrátorem záření oproti systému s pevným stojanem bez koncentrátoru záření se standardními panely. Menší pík s lokálním maximem v ranních hodinách odpovídá fotovoltaické přeměně přímého slunečního záření dopadajícího na zadní stranu solárního systému, před jeho ranní reorientací k východu.

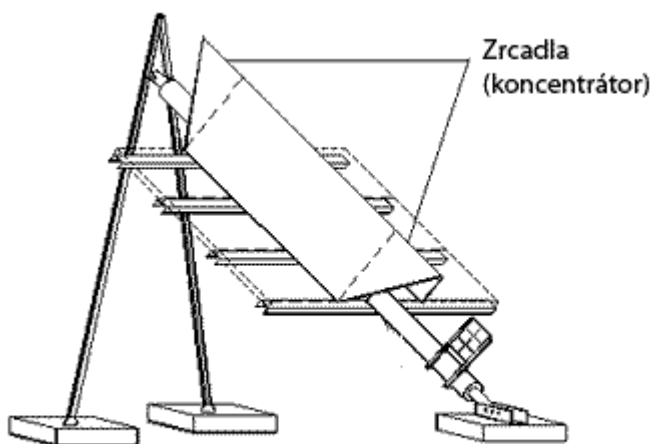


Obr 16. zisk natáčecího systému

4.1.2.2 Koncentrátory záření - zrcadla:

Vyrábějí se z:

- z válcovaného plechu z nerezavějící oceli se speciální povrchovou úpravou
- z válcovaného hliníkového plechu chráněného proti povětrnostním vlivům polymerní vrstvou (PVF)
- ze stříbrem pokryté akrylátové fólie
- z hliníkem pokryté akrylátové fólie



Obr 17. Konstrukce natáčecího systému s koncentrátorem

Dílčí závěr:

Na fotovoltaických natáčecích systémech se jako na jediných vyplatí montovat koncentrátoři slunečního záření. Rovněž díky konstrukci nezabírají mnoho plochy vzhledem k výkonu. Použitím koncentrátoru vzroste jejich účinnost až o 100%, musí se však klást důraz na typ použitých článků z důvodu jejich většího tepelného namáhání. Bohužel natáčecí systémy se v našich podmínkách oplatí jen na malé elektrárny, kde je k dispozici neustálá možnost dohledu a servisu. Existují i natáčecí systémy o výkonu v řádech 10-100MW s natáčením, tam ale hraje roli především jejich geografické umístění a příznivé atmosférické podmínky (především vysoký počet slunečných dní v roce). V případě použití na velký výkon jsou náklady spojené s údržbou množství pohyblivých stojanů u nás naprosto neúnosné. Dále jejich konstrukce musí být mnohem robustnější (dražší) pro případ nepříznivého počasí (zejména odolnost proti větru).

4.1.3 Zhodnocení statistiky intenzity slunečního záření pro Zlín a okolí.

Tato statistická data byla získána z webu European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/index.htm>). Data jsou proměřená pro celou EU a část Afriky.

Tab. 3 Intenzita slunečního záření

Měsíc	H_h	H_{opt}	$H(90)$	I_{opt}	T_D	T_{24h}
leden	817	1270	1280	63	-1.5	-2.1
únor	1480	2110	1950	57	1.1	0.2
březen	2500	3110	2460	45	4.7	3.7
duben	3770	4190	2740	31	11.0	9.6
květen	4910	4990	2740	19	16.1	14.6
červen	5120	4990	2550	13	18.8	17.5
červenec	5320	5310	2790	17	20.6	19.4
srpen	4420	4750	2900	28	20.5	19.1
září	3010	3630	2700	41	16.1	14.6
říjen	2010	2850	2570	55	11.4	10.2
listopad	927	1350	1310	60	5.3	4.5
prosinec	590	882	882	62	-0.3	-1.0
Rok	2920	3290	2240	34	10.3	9.2

H_h intenzita slunečního záření v horizontální rovině Wh/m²

H_{opt} intenzita slunečního záření při optimálním sklonu panelů Wh/m²

$H_{(90)}$ intenzita slunečního záření při sklonu 90° Wh/m²

I_{opt} optimální sklon panelů °

T_{24h} průměrná teplota za 24 hodin °C

4.1.4 Statistické hodnoty fotovoltaických panelů na 1kWp nainstalovaného příkonu pro oblast Zlína a okolí

Tab 4. Množství vyrobené elektrické energie

Při sklonu panelů 34° vůči vodorovné rovině				
Měsíc	E_d	E_m	H_d	H_m
leden	1.8	33.5	1.27	39.2
únor	1.76	49.2	2.11	59.0
březen	2.52	78.0	3.11	96.4
duben	3.23	97.0	4.19	126
květen	3.74	116	4.99	155
červen	3.69	111	4.99	150
červenec	3.90	121	5.31	165
srpen	3.51	109	4.75	147
září	2.78	83.4	3.63	109
říjen	2.26	70.1	2.85	88.3
listopad	1.12	33.5	1.35	40.6
prosinec	0.75	23.1	0.88	27.3

E_d průměrná denní produkce elektřiny z daného systému kWh

E_m průměrná měsíční produkce elektřiny z daného systému kWh

H_d průměrný denní součet globální intenzity slunečního záření na m², který mohou fotovoltaické panely daného systému přijmout kWh/m²

H_m průměrný měsíční součet globální intenzity slunečního záření na m², který mohou fotovoltaické panely daného systému přijmout kWh/m²

4.2 Akumulace elektrické energie

4.2.1 Požadavky:

V RAPS aplikacích musí splňovat sekundární elektrochemické zdroje (akumulátory)

následující kritéria:

- spolehlivost za specifických PV podmínek
- nízké samovybíjení
- nulový požadavek na údržbu
- vysoká nabíjecí účinnost
- široká provozní teplota
- robustní design
- nízké Wh náklady
- vysoká koncentrace energie na jednotku objemu i hmotnosti
- bezpečnost
- uskladnění i použití v jakékoli pozici
- možnost dlouhodobého stání ve vybitém stavu

4.2.1.1 Ni-Cd (Nikl Kadmiové) akumulátory

Ni-Cd akumulátory mají následující atributy: osvědčená spolehlivost za extrémních provozních stavů, vysoká hustota energie na jednotku hmotnosti i objemu (100Wh/dm³), dobrá tolerance na přebíjení i převybití (přepólování), malé samovybíjení, odolnost proti zvýšeným teplotám. Také životnost je více než 500 cyklů nabití/vybití při 80% DOD. Na druhé straně Ni-Cd akumulátory jsou dražší (cca 700 Euro/kWh). Baterie jsou také citlivé na tzv. paměťový efekt. Je potřeba připomenout největší problém, a tím je ohrožení životního prostředí i člověka při výrobě i recyklaci Ni-Cd baterií, kdy oba kovy jsou jedovaté a Cd je vysoce nebezpečný karcinogenní kov. Proto výrobce musí zabezpečit zpětný odběr a recyklovatelnost svých výrobků (SAFT udává recyklovatelnost 99,9%

všech kovových součástí). Pro výše uvedené problémy se na celém světě upouští od výroby těchto akumulátorů a jako neperspektivní systém je opouštěn.

4.2.1.2 Ni-MH (Nikl Metal Hydridové) akumulátory

Ni-MH články mají vynikající objemovou koncentraci energie, typicky 300Wh/dm³. Také životnost je více než 500 cyklů nabití/vybití při 80% DOD. Ni-MH akumulátory mají podstatně větší kapacitu a výkon na jednotku hmotnosti i objemu než olověné akumulátory, jsou výrazně dražší (1100 Euro/kWh). Cena je tak větší než ekvivalentní olověný akumulátor.

Navíc Ni-MH mají relativně vysoké samovybíjení a je problematické určit stav plného nabití (článek Ni-MH má málo výrazný pokles napětí po dosažení plného nabití). Tím se zvyšuje pravděpodobnost přebití, nadměrného vytváření tepla, špatně určené kapacity a kratší životnosti. Řídící metody nabíjení jsou tudíž komplexní a založené na následujících technikách:

- hlídání růstu teploty na konci nabíjení dT/dt
- detekce maximálního napětí
- hlídání poklesu napětí článku po dosažení maxima $-dV/dt$

4.2.1.3 Olověné akumulátory

Díky níže uvedeným vhodným vlastnostem se na celém světě v PV aplikacích používá z 99% olověný akumulátor. Tyto akumulátory lze podle provedení rozdělit na dva základní typy:

- otevřené akumulátory se zaplavenou konstrukcí
- akumulátory bezúdržbové ventilem řízené (VRLA).

Podle typu elektrod na:

- akumulátory s elektrodami deskovými
- akumulátory s elektrodami trubkovými (pancéřové)

Deskové olověné akumulátory se zaplavenou konstrukcí (automobilový design) jsou cenově jednoznačně nejvýhodnější (50 Euro/kWh), nicméně na úkor hustoty energie na jednotku objemu (50 Wh/dm³). Také životnost tohoto systému je pouze 0,5 až 3 roky podle podmínek provozu. Díky ceně se tento typ akumulátoru používá v FV aplikacích v rozvojových zemích pro domácí solární systémy. Díky malé životnosti však celkové náklady stoupají.

Trubkové olověné akumulátory se zaplavenou konstrukcí vykazují mnohem větší životnost – cca 8 let při 50 % DOD a jejich cena se pohybuje kolem 150 Euro/kWh. Tento typ se používá ve velkých, stacionárních PV aplikacích se zaškolenou obsluhou (velké elektrárenské systémy na bázi FV, nebo hybridních systémů, venkovských elektrifikací, domácích aplikacích. Při jejich použití pro FV aplikace nastává výrazná stratifikace kdy dochází k hromadění elektrolytu o vyšší koncentraci u dna nádoby s důsledkem postupné nevratné sulfatace elektrod akumulátoru a ukončení životnosti. Tomuto problému lze předejít nuceným pohybem elektrolytu. Pohyb je obstaráván buď speciálním míchacím zařízením, nebo upraveným dobíjecím režimem s úmyslným vývinem plynů při přebíjení. Základní problém akumulátorů se zaplavenou konstrukcí však spočívá ve vlastní konstrukci, která klade zvýšené nároky na obsluhu. Tyto akumulátory nejsou bezúdržbové a vyžadují kontrolu stavu elektrolytu s doléváním destilované vody. Olověné akumulátory se zaplavenou konstrukcí není možno provozovat v jakékoli poloze.

4.2.1.4 Palivové články

Palivové články podle typu elektrolytu. V současné době rozeznáváme následujících šest systémů (závorky obsahují zkratky běžně užívané v literatuře):

- Alkalické články (AFC's – alkaline fuel cells), v nichž je elektrolytem zpravidla zředěný hydroxid draselný KOH.
- Polymerní membránové články (PEM FC's – proton exchange fuel cells), v nichž je elektrolytem tuhý organický polymer.
- Články s kyselinou fosforečnou (PAFC's – phosphoric acid fuel cells), jejichž elektrolytem je jmenovaná kyselina (HPO₃).
- elektrolyt tvořen směsí roztavených uhličitanů (MCFC).

- Články s tuhými oxidy (SOFC's – solid oxide fuel cells), kde elektrolytem jsou oxidy vybraných kovů.
- Přímomethanolové palivové články (DMFC).

Alkalické palivové články pracují při teplotě 100°C a používají elektrolyt ve formě roztoku KOH. Jsou velice citlivé na čistotu vodíku i kyslíku, což jejich provoz zdražuje natolik, že se používají jen tam, kde je k dispozici elektrolyticky získaný vodík a kde nerozhodují náklady na jeho získávání. (vojsko, vesmírná a podmořská zařízení)

PEMFC-články obsahují místo tekutého elektrolytu polymerní membránu dovolující průchod jen protonům vodíku. Pracují při teplotě nižší než články AFC a sice 60 až 80°C. V současné době jsou středem pozornosti výrobců automobilů, neboť vzhledem k hustotě výkonu větší jak 0,3W/cm² nalézají uplatnění především při konstrukci elektromobilů. Jsou citlivé na čistotu dodávaného vodíku, velké množství nečistot snižuje účinnost článku.

Palivové články s kyselinou fosforečnou (PAFC) pracují při vysoké teplotě 160 až 220°C a využívají jako paliva metan a vzdušný kyslík, přičemž metan se musí před použitím zpracovávat na procesní plyn s obsahem cca 80% vodíku. Elektrická účinnost je nižší, dosahuje asi 42%. Tento typ článků je možné využít pro budování blokových kogeneračních elektráren, kde se účelně využívá i odpadního provozního tepla.

Palivové články s roztavenými karbonáty (MCFC) pracují při velmi vysoké provozní teplotě 650°C, přičemž odpadá před úprava zemního plynu. Solné taveniny ve funkci elektrolytu jsou však značně agresivní a vyžadují konstrukční materiály s vysokou antikorozií schopností. Tento typ článku pracuje s vysokou účinností (až 60%). Využívají se jako kogenerační jednotky s vysokým výkonem od 250kW až 2 MW.

Palivové články s tuhým elektrolytem keramické povahy označované jako SOFC mají nejvyšší provozní teplotu (ta dosahuje až 1000°C). Elektrická účinnost dosahuje 75%. Tento typ článku je zatím nejmladším typem palivových článků a je určený nejen pro kogenerační jednotky elektráren, ale i pro krytí spotřeby tepla a elektřiny malých objektů nebo i domácností.

Přímometanolové palivové články (DMFC) využívají paliva ve formě metanolu přímo. Na anodě dochází k oxidaci přes několik reakčních mezistupňů, které výrazně

zpomalují reakční rychlost s porovnáním s vodíkem. K anodě se přivádí vodný roztok metanolu, od molekuly metanolu se odtrhávají volné elektrony, vznikají vodíkové kladné ionty a uvolňuje se volný CO_2 .

Tab. 5 přehled typů palivových článků

Druh	Nízkoteplotní			Středněteplotní	Vysokoteplotní		
	Alkalické AFC (Alcaline Fuel Cells)	Membránové PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cells)	Přímé metanolové DMFC (Direct Methanol Fuel Cells)	Kyselé PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cells)	S tavenými karbonáty MCFC (Molten Carbonate Fuel Cells)	S pevnými oxidy SOFC (Solid Oxide Fuel Cells)	
Elektrolyt	Hydroxid draselný	Iontoměničná membrána	Iontoměničná membrána	Kyselina fosforečná	Tavené karbonáty lithia, vodíku, draslíku	Oxid zirkoničitý s příměsí yttria	
Pracovní teplota (°C)	60 – 100	20 – 80	20 – 130	170 – 250	600 – 650	800 – 1000	
Pohyblivý iont	OH^-	H^+	H^+	H^+	CO_3^{2-}	O^{2-}	
Elektrodové reakce	$\text{A } \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$		$\text{A } \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$	$\text{A } \text{H}_2 - 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	$\text{A } \text{H}_2 + \text{CO}_3^{2-}$	$\text{A } \text{H}_2 + \text{O}^{2-}$	
	$\rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$		$\text{K } \text{CO}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^-$	$\text{K } \frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	$\rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + 2\text{e}^-$	$\rightarrow \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$	
	$\text{K } \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^-$ $\Sigma \text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$		$\text{K } 3/2\text{O}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow 3\text{H}_2\text{O}$ $\Sigma \text{CH}_3\text{OH} + 3/2\text{O}_2$	$\rightarrow \text{H}_2\text{O}$ $\Sigma \text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2$	$\text{K } \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{CO}_2 + 2\text{e}^-$	$\text{K } \frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{e}^-$	
			$\text{A } \text{H}_2 - 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$ $\text{K } \frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	$\rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	$\rightarrow \text{H}_2\text{O}$	$\rightarrow \text{CO}_3^{2-}$ $\Sigma \text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{CO}_2$	$\rightarrow \text{O}^{2-}$ $\Sigma \text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2$
			$\rightarrow \text{H}_2\text{O}$ $\Sigma \text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$			$\rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$	$\rightarrow \text{H}_2\text{O}$
Účinnost (%) (elektrická)	45 – 60	40 – 60	40	38 – 45	45 – 60	50 – 65	
Výkon (kW)	Do 20	Do 250	Do 10	50 – stovky kW	Do několika MW	Do několika MW	
Používané palivo	Vodík	Vodík Reformovaná paliva	Methanol (Ethanol)	Vodík Reformovaná paliva	Vodík Nepřímá paliva	Všechny druhy bez reformování	

Možné aplikace	Kosmické lodě, lodě, ponorky	Univerzální	Přenosné články	Výroba energie	Výroba energie	Výroba energie
-----------------------	------------------------------	-------------	-----------------	----------------	----------------	----------------

Dílčí závěr:

V prvé řadě záleží především na požadavcích na odběr a příkon napájených systémů, podle tohoto klíčového kritéria se rozhoduje s nasazením dané technologie napájení. Jako nejvýhodnější z pohledu náklady – množství uskladněné energie vychází klasické olověné akumulátory. Nevýhodou je jen jejich hmotnost a větší prostorová náročnost. Budoucnost – vzhledem k investicím do výzkumu však spočívá v palivových článcích. Jde především k jejich vyššímu nasazení v automobilovém průmyslu a tím k úbytku spotřeby ropy v celosvětovém měřítku.

5 ZÁKLADNÍ SPECIFICKÉ OTÁZKY A ODPOVĚDI NA NĚ:

Kolik elektřiny vyrobí 1 kWp ročně?

1 kWp vyrobí ročně cca 0,8 - 0,9 MWh, záleží na množství slunečních dnů v roce (neporučíme totiž větru vodě ani dešti:)

Co udělat nejdříve při plánování investice do FVE?

Nechat si spočítat velikost FVE v závislosti na možnosti plochy umístění či financích. Podat žádost o připojení zařízení k distribuční soustavě – rezervace připojení.

Za jak dlouho se zákazníkovi vrátí investice do FV systému?

Doba návratnosti je přibližně 8 až 12 let. Za předpokladu garance cen 20 let jde o velmi výhodnou investici, navíc ERU každoročně ceny valorizuje o průmyslovou inflaci (index průmyslové inflace PII = 2 % - 4 % ročně).

Z hlediska investice do fotovoltaiky je důležitý také zákon č. 586/1992 Sb., o daních z příjmů, který příjmy z obnovitelných zdrojů energie osvobozuje od daně ze zisku v roce uvedení do provozu a následujících 5 let. Navíc tento zdroj energie není zatížen ekologickou daní.

Jaké jsou rozdíly (účinnost, poruchovost, trvanlivost, cena apod.) mezi jednotlivými typy panelů - srovnání krystalových a tenkovrstvých (amorfních) panelů?

Výhody amorfních panelů: větší výnos, protože jejich výkon je méně závislý na okolní teplotě a síle slunečního svitu; mají větší toleranci vůči stínění; u těchto panelů nejsou v podstatě žádné další specifické náklady a naopak do budoucna je zde tendence klesající pořizovací ceny, na střeše vypadají velmi elegantně a jsou flexibilně polohovatelné.

Nevýhody amorfních panelů: potřeba větší plochy pro umístění, nižší efektivnost, vyšší náklady při montáži + kabeláž + náklady na spodní konstrukce. Potřeba plochy:

mono (nejméně), poly (středně) a tenkovrstvé (amorfní, nejvíce). Co se týče životnosti tak tam nejsou téměř žádné rozdíly.

Jaká je životnost popř. intervaly výměny jednotlivých komponentů (panely, kabeláž, střídače atd.)?

Nejdražší komponenty fotovoltaické elektrárny jsou právě solární panely. Jejich životnost je cca 30 let, 20 let garantuje jejich životnost a funkčnost výrobce.

Jaké jsou rozdíly ve vybavení a návrhu v závislosti na celkovém výkonu elektrárny?

Rozdíly jsou především mezi krystalovými a tenkovrstvými panely, mezi montáží na střechu a na volné ploše a dále rozdíly související s intenzitou slunečního svitu v dané lokalitě.

Jaká je cca hmotnost m² panelů – pro případ umístění na střechu?

Pohybuje se v rozmezí 20 – 100 kg dle konstrukce. Při umístění paralelním se střechem 30-50 kg dle konstrukce a uchycení, při umístění s podpůrnou konstrukcí tvořící náklon od 10° do 35° je hmotnost až 110 kg/m².

Jakým způsobem se řeší zabezpečení systému proti krádeži, vandalismu a podobným lidským závistivým anomáliím? Dá se pojistit?

Pojištění je u těchto investic nutné a je s ním počítáno i v návratnosti, vyžaduje jej také banka pro poskytnutí úvěru. Systémy na volných plochách jsou zabezpečeny elektronickou ochranou.

Co je to zelený bonus?

Zelený bonus je příplatek k tržní ceně elektřiny, který může získat výrobce elektřiny z obnovitelných zdrojů elektřiny. Systém zelených bonusů je zakotven v zákoně č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů. V případě, že si výrobce elektřiny z obnovitelných zdrojů zvolí režim

podpory výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů ve formě zelených bonusů a prodá vlastní elektřinu za tržní cenu jakémukoliv konečnému zákazníkovi či obchodníkovi s elektřinou, má právo inkasovat od provozovatele regionální distribuční soustavy na základě předloženého výkazu zelené bonusu. Výše zeleného bonusu v Kč/MWh je pro každý druh obnovitelného zdroje každoročně upravována a zveřejněna v cenovém rozhodnutí Energetického regulačního úřadu.

Jaký je rozdíl mezi zeleným bonusem a výkupní cenou?

V případě podpory výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů ve formě výkupních cen má provozovatel regionální distribuční soustavy nebo provozovatel přenosové soustavy povinnost od výrobce elektřiny z obnovitelných zdrojů vykoupit veškerý objem vyrobené elektřiny z daného zdroje. Při podpoře formou zelených bonusů si musí výrobce najít sám svého odběratele elektrické energie. Výkupní ceny i zelené bonusy výrobci vždy hradí provozovatel regionální distribuční soustavy nebo provozovatel přenosové soustavy podle toho, ke které soustavě je připojen.

Jaké jsou výhody a nevýhody volby zelených bonusů?

Hlavní výhodou systému zelených bonusů je možnost výrobce přímo ovlivnit výši výnosů za vyrobenou elektřinu, a dosáhnout tak vyššího výnosu než v případě režimu výkupních cen. K tržní ceně elektřiny je výrobci vyplácen zelený bonus, který je pevně určen Energetickým regulačním úřadem. Nevýhodou systému zelených bonusů je určitá míra nejistoty, neboť výrobce nemá zaručen 100% odbyt vyrobené elektřiny na trhu, jako tomu je v režimu výkupních cen. Výrobce si musí v režimu zelených bonusů aktivně hledat odběratele elektrické energie.

Jak byly stanoveny zelené bonusy a výkupní ceny?

Výkupní ceny byly vypočteny s ohledem na znění § 6 zákona č. 180/2005 Sb. a byly nastaveny tak, aby za dobu životnosti jednotlivých typů výroben elektřiny z obnovitelných zdrojů byla výrobcům zaručena patnáctiletá návratnost vložených investic a přiměřený zisk. Zelené bonusy jsou proti výkupním cenám zvýhodněny, neboť v jejich výši je zohledněna zvýšená míra rizika spojená s možností uplatnění vyrobené elektřiny na

trhu. Zelené bonusy pro jednotlivé kategorie taktéž zohledňují výši tržní ceny elektřiny pro jednotlivé typy obnovitelných zdrojů.

Kdy a jak často si lze volit mezi zelenými bonusy a výkupními cenami?

Přecházet ze systému zelených bonusů do systému výkupních cen a naopak lze jednou ročně, termíny a podrobnosti výběru způsobu podpory elektřiny z obnovitelných zdrojů stanovuje vyhláška Energetického regulačního úřadu č. 475/2005 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona o podpoře využívání obnovitelných zdrojů, v platném znění. V případě změny způsobu podpory z režimu výkupních cen do režimu zelených bonusů nebo naopak platí pro výrobce stále stejné datum uvedení výroby do provozu, a nachází se tedy ve stejné kategorii pouze s odlišným způsobem podpory. Termínem, do kdy je nutné nahlásit zvolený způsob podpory provozovateli regionální distribuční soustavy na další kalendářní rok, je 30. listopad příslušného kalendářního roku. Zvolený způsob podpory je platný od 1. ledna následujícího kalendářního roku.

Je možno kombinovat zelené bonusy a výkupní ceny?

Výkupní ceny a zelené bonusy NELZE kombinovat. Tato skutečnost vyplývá z § 4 odst. 3 zákona č. 180/2005 Sb. Výrobce si jednou ročně zvolí jeden ze dvou způsobů podpory výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů.

Komu lze prodat elektřinu v případě volby zelených bonusů?

V režimu zelených bonusů může výrobce elektřinu prodat svému odběrateli, kterým může být buď konečný zákazník, nebo obchodník s elektřinou. Tržní cena, za kterou výrobce elektřinu prodá svému odběrateli, je dána dohodou mezi výrobcem a odběratelem, a není tedy stanovena Energetickým regulačním úřadem.

Je zapotřebí stavební povolení?

Při instalaci na střechu ne. Při instalaci na zem ano.

Jaké typ střídačů lze použít?

Modulový střídač je střídač malého výkonu (do 300 W), který se instaluje přímo na solární modul systému. Všechny moduly tedy mají své střídače, jejichž výstupy jsou paralelně spojeny a jsou připojeny k síti. Výhodou je snížení nákladů na stejnosměrné propojení, které má minimální délku. Tento systém je možné snadno rozšiřovat o další moduly a lze tak dosáhnout značných výkonů. Kromě toho, pokud je některý z modulů částečně zastíněn, nedochází k výraznému zvýšení ztrát celého fotovoltaického pole.

Centrální střídač převádí celý výkon všech modulů (do 5 kW), které se sériově a paralelně propojí. Výhodou tohoto systému je vyšší pracovní napětí, které je příznivé pro zmenšení ztrát ve vedení a lepší účinnost střídače. Toto řešení však nelze rozšiřovat o další připojené moduly, aniž by se zvětšil nominální výkon střídače, což prakticky znamená jeho výměnu za výkonnější typ. Případné zastínění některého z modulů má za následek výrazné zvýšení ztrát (zastíněný modul nevyrábí energii a stává se spotřebičem) a tedy snížení účinnosti systému.

Řetězcový střídač se užívá u kombinací předchozích zapojení, kdy několik modulů je zapojeno sériově a výkon tohoto řetězce (do 2 kW) zpracovává jeden měnič. Těchto řetězců může být v systému několik a lze jej tak rozšiřovat snadněji než v případě jednoho centrálního střídače. Často se používá zapojení, kdy tři různé řetězce dodávají výkon do třech fází síťového rozvodu.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 SPECIFICKÉ OTÁZKY FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ

Fotovoltaická zařízení představují technologicky náročné a finančně nákladné realizace, jejichž životnost musí být, z důvodu návratnosti vložených finančních prostředků, několik desetiletí. Standardně výrobci garantují životnost těchto zařízení okolo dvaceti let. Solární fotovoltaické napájecí systémy se většinou instalují buď na střechy budov, nebo na louce.

6.1 Zapojení fotovoltaických panelů

6.1.1 Principy zapojení fotovoltaických panelů

V podstatě jsou 3 způsoby jak zapojit panely:

6.1.1.1 Sériové zapojení:

Při tomto zapojení je výsledkem vyšší napětí v obvodu, maximální napětí obvodu nesmí být vyšší než povolené napětí provozovaného systému.

$$U_{\text{celkové}} = U_1 + U_2 + U_n$$

$$I_{\text{celkový}} = I_1 = I_2 = I_n$$

6.1.1.2 Paralelní zapojení:

Tento systém je dobrý, pokud je potřeba vyšší proud. Také je toto zapojení vhodné při nižším napětí spotřebiče.

$$I_{\text{celkový}} = I_1 + I_2 + I_n$$

$$U_{\text{celkové}} = U_1 = U_2 = U_n$$

osvětlenému prvku. Proto například úplné zastínění jednoho z takto zapojených článků v panelu nebo jednoho panelu v solární elektrárně způsobí, že nepoteče žádný proud a tedy nebude dodáván žádný výkon, i když jsou ostatní články optimálně osvětleny. Z tohoto pohledu je paralelní zapojení výhodnější.

6.2 Transientní ochrana

Účinná ochrana před bleskem a přepětím pro solární články je nutná z hlediska životnosti solárních panelů a elektroniky střídačů. Ve většině případů je nainstalována na volných střeších popř. polích. Z důvodu velkých prostorových nároků jsou tato zařízení ohrožena obzvláště při bouřkách bleskovými výboji. Příčinou přepětí v solárních kolektorech jsou indukční a kapacitní vazby, které jsou způsobeny bleskovými výboji i vzdálenými a spínacími přepětími z el. sítě. Přepětí vzniká v důsledku šíření bleskového proudu a může způsobit škody na solárních modulech a střídačích, pokud nejsou dostatečně chráněny.. Toto má zpravidla fatální následky na provoz zařízení.

Obecně je třeba rozlišit, zda na objektu je, či není instalován hromosvod. V objektech veřejného charakteru, např. školy, nemocnice, je vyhláškami a normami daná povinnost zřídit hromosvod. Je nutno rozlišit umístění, provedení a využití objektu a je zapotřebí instalovat trvalou účinnou hromosvodnou ochranu. U soukromých (neveřejných) staveb hromosvod je někdy opomenut. Je to dáno nejen finančním hlediskem, ale také z důvodu nerespektování citlivosti vnitřních elektrických a elektronických zařízení. Byla-li budova, kde se mají instalovat solární kolektory, bez hromosvodu, je na zvážení, zda po instalaci kolektorů nedojde k nutnosti zřízení hromosvodu pro celou budovu. Podle aktuálního stavu ekonomických poznatků nezvyšuje instalace solárních článků na budovách riziko úderu blesku do těchto budov, přitom by však solární články neměly být přímo spojeny s hromosvodnou ochranou. Články představují zvýšené nebezpečí pro elektrická a elektronická zařízení uvnitř budovy z důvodu svedení části bleskového proudu přes existující kabelové šachty a kabelové rošty (galvanická vazba). V nich se také mohou indukovat přepětí v důsledku elektromagnetického pole. Proto je nutno při projektování ochrany přihlížet k tolerovatelnému (maximálnímu) riziku objektu a vypočtenému (skutečnému) riziku na základě nového připravovaného souboru norem EN 62305-2 (Řízené riziko). Jsou rozlišovány čtyři třídy LPS (systému ochrany před bleskem) I až IV. Na základě výpočtu řízeného rizika bude zjištěno, zda navržená ochranná opatření před bleskem a přepětím jsou dostatečná.

6.2.1 Možná místa instalace přepět'ových ochran:

- rozvaděč panelů.
- vstup (DC) měniče
- vstup (AC) měniče
- vstupní připojení na el. Sít'

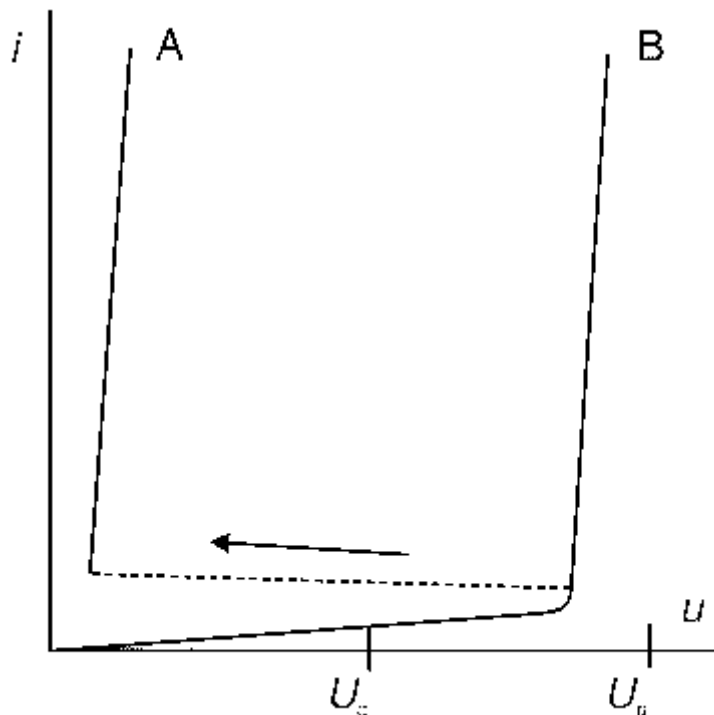
6.2.2 Princip přepět'ové ochrany

Přepět'ové ochranné zařízení SPD (Surge Protective Device) je určeno k omezení přechodných přepětí a ke svedení impulzních proudů. Přepět'ové ochrany chrání elektrická zařízení před poškozením izolace vyšším přepětím, než které je schopná izolace vydržet. (Bleskojistky, svodiče přepětí). Za přepětí můžeme považovat napětí (U), které je dvakrát větší než jmenovité napětí (U_n). Překročení jmenovité hodnoty napětí U_n o 10-20% je považováno za normální provozní stav. Nastavená ochranná hladina, kdy přepět'ová ochrana začne omezovat napětí průchodem vnitřního proudu, musí být nižší než je izolační hladina zařízení.

Základními parametry SPD především jsou:

- nejvyšší trvalé provozní napětí U_c – nejvyšší efektivní hodnota napětí, které může být trvale přiloženo na ochranné svorky SPD, aniž by vyvolalo jeho působení; musí být vyšší než jmenovité napětí
- napět'ová ochranná hladina U_p – parametr uvádějící s rezervou nejvyšší hodnotu napětí, které se může objevit na svorkách SPD během aplikace stanovených zkušebních proudových impulzů
- jmenovitý proud – nejvyšší trvalá efektivní hodnota proudu, který může téci do zátěže připojené na SPD
- impulzní (výbojový) proud – vrcholová hodnota stanovených zkušebních proudových impulzů.

Přepět'ová ochrana obsahuje alespoň jeden nelineární, napět'ově závislý prvek. Tím může být součástka s voltampérovou charakteristikou:



Obr 19. VA charakteristika přepět'ové ochrany

Existují dvě možnosti provedení:

- prvek spínající napětí, například jiskřiště, plynem plněná bleskojistka, tyristor nebo triak
- prvek omezující napětí, například varistor nebo supresorová dioda.

Dílčí závěr:

Provozní napětí přepět'ové ochrany je nutno navrhnout tak, aby bylo vyšší než napětí naprázdno generátoru za studeného zimního dne při maximálním slunečním svitu. Při montáži je nutno rovněž zajistit, aby nosná konstrukce fotovoltaických panelů byla umístěna v bezpečné vzdálenosti od hromosvodu a nikde s ním nebyla vodivě spojena. Je dobré používat přepět'ové ochrany s bezpotenciálovým kontaktem pro dálkovou signalizaci stavu svodiče. Vede to k úspoře nákladů spojených s kontrolou svodičů po bouřkách.

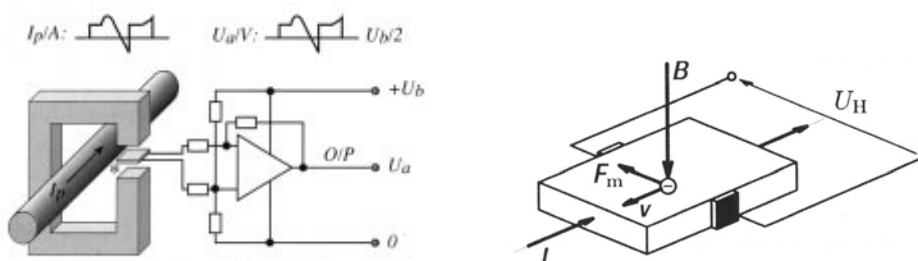
6.3 Návrh řešení měřících modulů

Investory často opomíjená, ale důležitá věc. Zejména u větších instalací je sběr dat a analýza informací důležitá pro bezchybnou kontrolu chodu systému. Při změně výtěžnosti produkce musí mít investor v rukách nástroj, který ho na chybu upozorní a umožní mu neprodleně reagovat. Hledat svépomocí chybu často u několika desítek invertorů může být časově náročná a nákladná záležitost.

Hallův snímač – microcontroller ZigBee – USB přijímač - Osobní PC

6.3.1 Hallův snímač obecně

Hallův senzor využívá Hallova jevu, kdy příčné magnetické pole s indukcí B působí na destičku polovodiče o tloušťce d , kterou prochází elektrický proud I_p tak, že na protějších stranách hranolu se generuje Hallovo napětí.



Obr 20 zapojení Hallova prvku

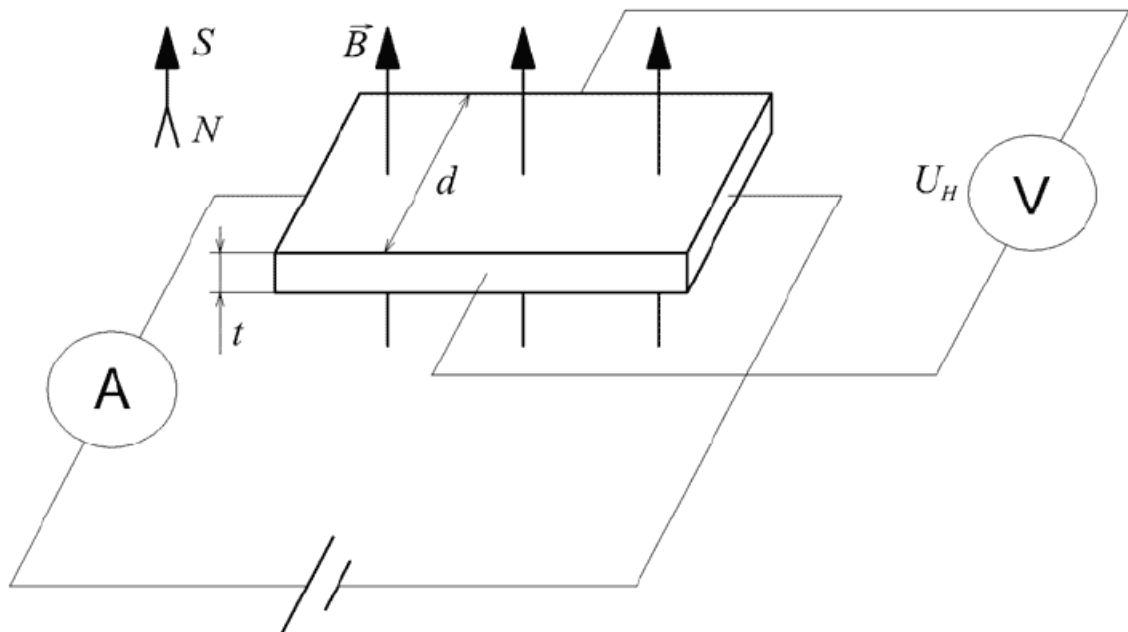
Toto napětí U je přímo úměrné proudu I , magnetické indukci B a nepřímo úměrné tloušťce pásky d :

$$U = \tilde{R} \frac{IB}{d}$$

Hallova konstanta \tilde{R} má pro některé vodiče kladnou, pro jiné zápornou hodnotu. Z teorie vyplývá, že Hallova konstanta je nepřímo úměrná hustotě nositelů proudu, a proto je Hallův jev při stejném magnetickém poli a stejné hustotě proudu mnohem silnější u polovodičů než u kovů.

6.3.2 Způsob měření

Schéma měření



Obr 21. Měření UI

6.3.3 Hallův snímač

Jako neoptimálnější snímač jsem našel Honeywell řady CSNX25. Jde o snímač s vysokou nabídkou flexibility a s vysokým výkonem pro použití v mnoha aplikacích. Kompletní popis snímače je přiložen v datasheetu (pdf) CSNX25.

6.3.4 Microcontroller MC13213 Freescale s technologií ZigBee™

V nelicencovaném pásmu 2,4 GHz mohou pracovat zařízení podle více standardů. Mezi nové patří standard, někdy též označovaný jako ZigBee™. Toto alternativní označení bylo odvozeno od techniky komunikace včel (bee), které se dorozumívají pomocí zvláštního, na první pohled zmateného tance (zigzag). Odtud ZigBee™.

Tato technologie v současné době patří mezi nové, specifikace byla vydána v roce 2004, která se snaží vyplnit mezeru mezi rozšířenými technologiemi WIFI a Bluetooth. Zde je

totiž mezera v podobě velké skupiny aplikací, pro které nejsou Bluetooth ani WIFI, příp. Irda, ideálním řešením, i když se dají použít.

Jde o jednoduchou bezdrátovou síť (PAN) s přenosem dat ve frekvenčním pásmu 2.4GHz na vzdálenost stovek metrů, s minimální spotřebou vysílače a přijímače a rychlostí přenosu 20/40/250 kb/s po bezdrátové síti obsahující až tisíce účastníků.

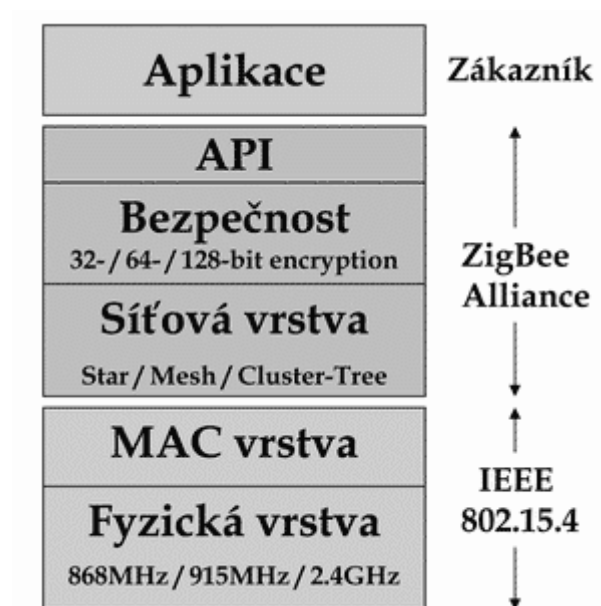
Nižší přenosová rychlost poskytuje vyšší odolnost proti rušení což je výhoda v průmyslu. Zde zastává funkci bezdrátové náhrady sériového přenosu RS-232 nebo RS-485. Proti dalším bezdrátovým řešením (např. RF) naopak vyniká topologií sítě, kterou může vytvořit díky propracovanému způsobu adresování. Navíc při bezdrátové komunikaci senzoru s řídicím procesem je opět výhodná nízká spotřeba na straně senzoru, takže může být napájen bateriově a tedy plně oddělen od rušení ve zbytku systému.

6.3.4.1 Struktura komunikačního standardu OSI model

IEEE 802.15.4 - definuje fyzickou a linkovou vrstvu OSI modelu.

ZigBee Alliance - definuje vyšší vrstvy OSI modelu (síťová a transportní)

Zákazník - definuje zákaznickou aplikaci v aplikační vrstvě OSI modelu



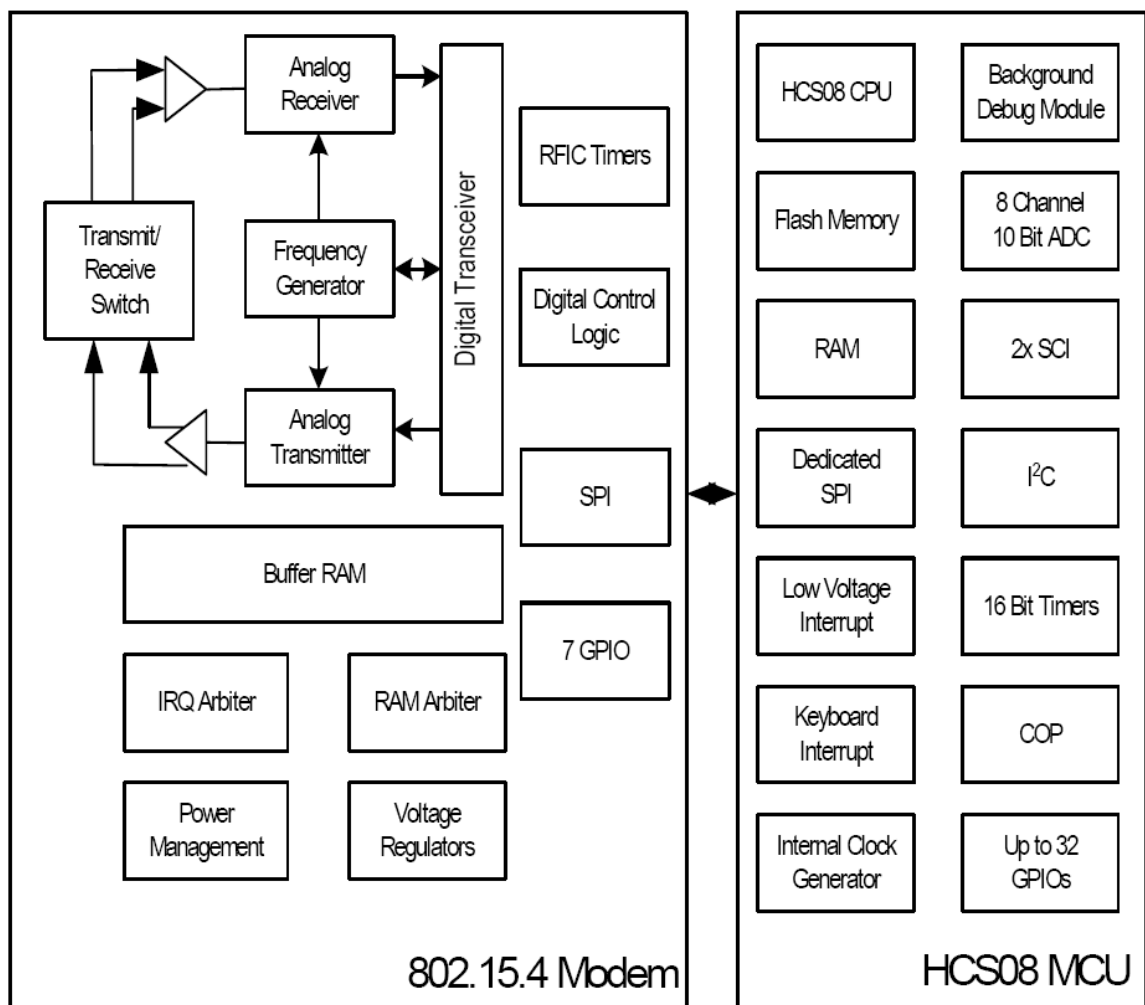
Obr 22. OSI model

6.3.4.2 IEEE 802.15.4

Standard IEEE 802.15.4 definuje fyzickou a linkovou vrstvu (MAC vrstvu) standardu ZigBee. Fyzická vrstva určuje způsob konkrétní fyzické bezdrátové komunikace na těchto radiových frekvencích :

- pásmo ISM 2.4 GHz, 16 kanálů, přenosová rychlost 250kb/s, definováno celosvětově
- pásmo 915 MHz, 10 kanálů, přenosová rychlost 40kb/s, definováno pro americký kontinent
- pásmo 868 MHz, 1 kanál, přenosová rychlost 20kb/s, definováno pro Evropu

Moduly uvnitř obsahují IEEE 802.15.4 tranceiver, který zprostředkovává bezdrátovou komunikaci v ZigBee síti. Ten v OSI modelu pracuje na úrovni první vrstvy OSI modelu. Tranceiver komunikuje ve volném pásmu 2.45 GHz, přesněji v 16 kanálech s přenosovou rychlostí 250 kbit/s v rozmezí frekvencí 2.4 až 2.4835 GHz. K přenosu se využívá metoda Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) a modulace Offset Quadrature Phase Shift Keying (O-QPSK).



Obr 23 Blokové schéma microcontroleru MC1321x

6.3.4.3 Specifikace microcontroleru MC1321x

funkce Mikrokontroléru

- Nízkonapěťové MCU s 40 MHz s jádrem HCS08 CPU
- Až 60k flash paměti s blokovou ochranou a bezpečnosti + 4K RAM
- MC13211: 16KB Flash, 1 KB RAM
- MC13212: 32 KB Flash, 2 KB RAM
- MC13213: 60KB Flash, 4kB RAM
- Úsporné režimy (Počkej+ Stop2 a Stop3)
- Sériové periferní rozhraní (SPI) připojené interně na 802.15.4 modem

- Jeden vnější 4-kanál (5-kanálový vnitřní), 16-bit časovač/šířky pulsu modulátor (TPM) modul a jeden vnější 1-kanálový (3-kanálový vnitřní), 16-bit časovač/šířky pulsu modulátor modul, každý s Volitelným vstupním/výstupním modulem a PWM schopnosti.
- 8-bit port klávesnice pro přerušení (KBI)
- 8-kanálový 8-10-bit ADC
- Dvě nezávislé sériové komunikační rozhraní (SCI)
- variabilní nastavení časovačů
- Vnitřní hodinový generátor (ICG), s 243 kHz oscilátorem, který má + / -0,2% rozlišení a + / -0,5% odchylka v napětí.
- Po spuštění oscilátor přibližně 8 MHz
- Vnější krystal nebo rezonátor
- Externí hodiny pro velmi vysoké přesnosti systém low-cost varianta
- integrovaný obvod (IIC) rozhraní.
- In-obvod ladění a flash programování k dispozici prostřednictvím on-chip ladění pozadí modul (BDM)
- Ochrana systému funkcí
- Programovatelné nízkého napětí přerušení (LVI)
- Volitelné watchdog časovač (COP)
- Detekce nelegální operačního kódu
- Až 32 MCU GPIO s programovatelnými pullups

6.3.4.4 Adresování

Standard ZigBee dělí zařízení na zařízení FFD (Full Functional Device) a RFD (Reduced Functionality Device). FFD zařízení implementují kompletní protokolový rámec a zajišťují veškeré služby, které standard ZigBee stanovuje. RFD zařízení implementují pouze nezbytné protokolové knihovny z důvodu maximálního omezení hardwarové náročnosti. Tato zařízení mohou pracovat pouze jako koncová. Mohou komunikovat pouze

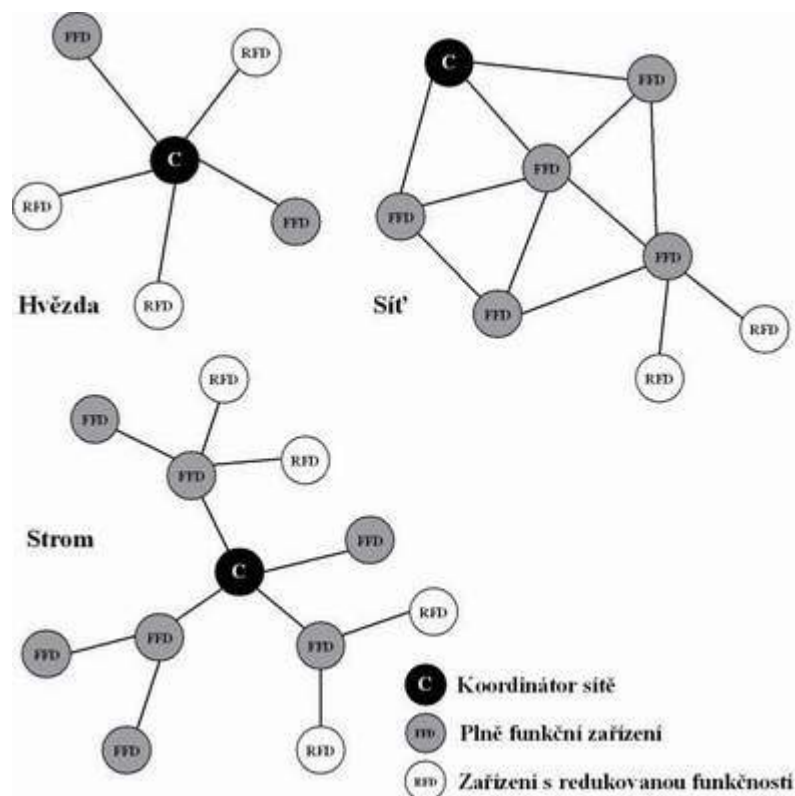
s koordinátorem sítě a jsou omezeny na hvězdicové uspořádání topologie (koncové větve).
 Koordinátor sítě a směrovače jsou realizovány FFD zařízeními.

6.3.4.5 Možné topologie sítě s technologií

Hvězda - s centrálním řídicím uzlem (koordinátorem sítě).

Strom - struktura jež umožňuje zvětšit vzdálenost mezi koordinátorem a koncovým zařízením.

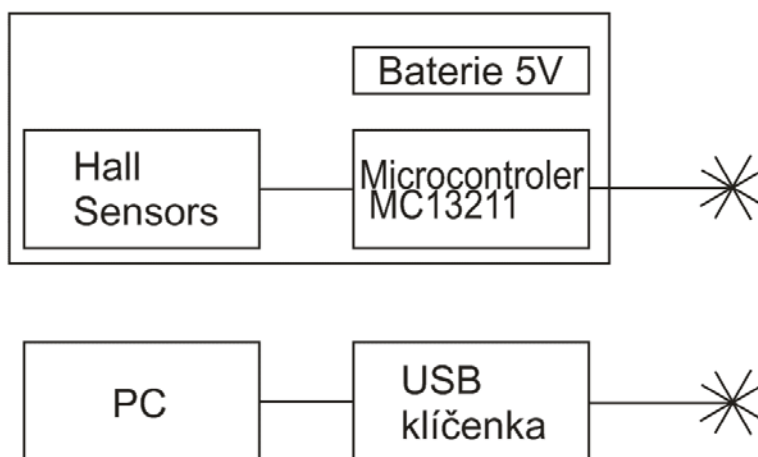
Síť - protokol umožňuje vytvoření redundantních spojení a vzniká tak topologie typu sítě. S její pomocí je možné vytvořit síť prakticky libovolného uspořádání.



Obr 24 topologie sítě

6.3.5 Blokové schéma zapojení měřícího modulu

Hallové senzory snímající proud a napětí jsou napojeny na 10bit ADC převodník microcontroleru MC13213. Data jsou pak přenášena bezdrátově přímo do PC. Společnost Freescale má k tomu vyvinutou aplikaci ZSTAR3 sloužící právě k příjmu dat z dálkově připojených snímačů. Detailní popis programu ZSTAR3 je přiložen v pdf souboru.



Obr. 25 blokové schéma zapojení snímače

6.3.6 Blokové schéma zapojení USB klíčenky

Pomocí dvou microkontrollerů MC13191 a MCHC908JW32 má společnost Freescale vyřešený příjem signálů od snímačů pomocí ZigBee. Jejich detailní specifikace jsou uvedeny v příloženém pdf.



Obr. 26 blokové schéma zapojení USB klíčenky

Dílčí závěr:

Proč jsem nakonec zvolil technologii přenosu dat ZigBeeTM a ne WiFi je dáno především jednoduchostí. Výhoda oproti pevnému měření fotovoltaických panelů je především úspora nákladů na snímače. V případě paralelního zapojení fotovoltaických panelů můžeme měřit každý panel zvlášť, díky čemu tak můžeme detekovat vadný. V sériovém zapojení to ale nepoznáme a tak musíme změřit každý panel zvlášť. Pro malé fotovoltaické elektrárny se tento systém použití mnoha snímačů připojených bezdrátově příliš neoplatí. U velkých systémů, ale nasazení najednou až stovek měřících snímačů současně vede k vysoké úspoře času, nehledě na možnost rychlé montáže/demontáže snímačů. Další výhodou může být okamžité (real-time) porovnání měřených dat s kalibrovaným měřícím zařízením aktuálního slunečního svitu v lokalitě kde provádíme měření.

7 ZÁVĚR

Nasazení fotovoltaických systémů v dnešní době začíná být, vzhledem k investicím do jejich vývoje, velmi zajímavým zdrojem energie. Zatím, bohužel uplynulo ještě příliš málo času na získání lepších zkušeností s jejich efektivním použitím. Na vině není technologie, kterou máme k dispozici, na vině je lidský faktor. V dnešní době je to především neopodstatněně vysoká výkupní cena takto získané elektrické energie. O její výši rozhodují lidé a lidé ji musejí také zaplatit. Fyzikální zákony našťestí žádný parlament na světě nezmění.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The photovoltaic systems usage is an interesting power source alternative in the present time, according to the development costs. Unfortunately, not much time has passed since their introduction to practice the most efficient utilization. It is not to blame the available technologies, a major problem is the human factor. For the time being it is a pointlessly high redemption price of electric energy obtained from these systems. It is people who set this price and it is people who pay for it. Fortunately, no legislative can change the physical laws.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] **BEDNÁŘ, J.** (2003): *Meteorologie: Úvod do studia dějů v zemské atmosféře*. Praha: Portál s.r.o. 224 s. ISBN 80-7178-653-5.
- [2] **KAPLER, P., TRNKA, M., ŽALUD, Z.** (2003): *Výpočet globální radiace z meteorologických prvků*
- [3] **PŘÍHODA, P. ed.** (2007): *Hvězdářská ročenka 2008*. Praha: Hvězdárna a planetárium hlavního města Prahy v koedici s Astronomickým ústavem AV ČR. 288 s. ISBN 978-80-86017-47-1.
- [4] **VANÍČEK, K.** (1981): *Výpočet měsíčních sum globálního záření na území ČSR*.
- [5] Meteorologické zprávy. Sv. 34, č. 2, s. 49-52. ISSN 0026-1173
- [6] **CIHELKA, Jaromír**. Solární tepelná technika. 1. vydání. Praha : T. Malina, 1994. 208 s. ISBN 80-900759-5-9.
- [7] **HENZE, Andreas, HILLEBRAND, Werner**. Elektrický proud ze slunce. 1. české vydání. Ostrava : HEL, 2000. 136 s. ISBN 80-86167-12-7.
- [8] **Jaroslav Netušil**: Světlo v teorii a praxi, Práce, Praha 1960
- [9] **Stanislav Hanzlík**: Základy meteorologie a klimatologie, nákladem České grafické unie a.s.,v Praze 1947
- [10] **DAŘO S, KREIDL M.** Senzory a měřící obvody, ČVUT Praha 1999, ISBN 80-03-00563-9.
- [11] **G8 Renewable Energy Task Force, Final Report, July 2001**. World Commission on Environment Development, Our Common Future, Oxford Press, 1987
- [12] **Maurellis, J. Tennyson**, Phys. World 16 (2003)
- [13] **František Hruška** Senzory v systémech informatiky a automatizace ISBN 978-80-7318-630-2
- [14] **František Hruška** Technické prostředky informatiky a automatizace : (úvod, popis funkce, konstrukce a aplikace) ISBN 978-80-7318-535-0
- [15] **František Hruška** Projektování systémů integrované automatizace ISBN 80-7318-100-2
- [16] **František Hruška** Projektování a provoz automatizovaných systémů řízení technologických procesů ISBN 8021402903
- [17] **Cihelka J** Sluneční vytápěcí systémy ISBN 04-236-84
- [18] **Rybár P a kol.** Denní osvětlení budov. Brno-ERA s.r.o. ISBN 80-86517-33-0

Internetové zdroje:

SORCE (2010a): Solar Radiation & Climate Experiment [on-line; cit. 2010-03-24].

Na www: <http://lasp.colorado.edu/sorce/index.htm>

SORCE (2010b): Total Solar Irradiance (TSI) Data [on-line; cit. 2010-03-24]

Na www: http://lasp.colorado.edu/sorce/data/tsi_data.htm

Solární panely, solární systémy

Na www: <http://www.solar-trackers.com>

Domat systém kontrol

Na www: <http://domat-int.com/about>

European Solar Test Installation (ESTI)

Na www: http://re.jrc.ec.europa.eu/esti/index_en.htm

Technická zařízení budov

Na www: <http://www.tzb-info.cz/>

ČEZ

Na www: <http://www.cez.cz/cs/uvod.html>

ZigBee

Na www: <http://www.zigbee.org/>

Hybrid

Na www: <http://www.hybrid.cz/>

Encyklopie fyziky

Na www: <http://fyzika.jreichl.com/>

Unium

Na www: <http://www.unium.cz/>

Freescale

Na www: <http://www.freescale.com>

Fyzikální ústav AV ČR

Na www: <http://www.fzu.cz>

Nazeleno

Na www: <http://www.nazeleno.cz>

ALDEBARAN GROUP FOR ASTROPHYSICS

Na www: <http://www.aldebaran.cz/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

- Wp** (watt peak) maximální výkon kterého je schopen konkrétní solární systém dosáhnout. Výkon solárních elektráren je běžně udáván v kWp (platí, že 1 kWp se rovná 1 000 Wp). 1 instalovaný kWp je schopen vyrobít přibližně 1 000 kWh/rok a zabere mezi 8–10 m².
- SK** Solární konstanta je výchozí údaj pro využití sluneční energie. Udává výkon slunečního záření procházející na hranici zemské atmosféry jednotkou plochy nastavené kolmo ke slunečním paprskům. V podstatě má 99,9 % energie dostupné na zemském povrchu svůj původ ve sluneční energii. Zbývající část představuje geotermální energie, energie přílivu a odlivu a jaderná energie. Solární konstanta: 1,373 kW.m⁻². Na Zemi dopadá celkem: 1,8.10¹⁷ W..
- RAPS** remote area power supply systems – autonomní energetických systém .
- AU** Astronomická jednotka – vzdálenost Slunce - Země
- MC** microcontroller
- RAM** random-access memory
- ROM** Read Only Memory
- FVE** Fotovoltaická energie
- FV** Fotovoltaika
- ADC** Analogově digitální převodník
- IEEE** IEEE, plným názvem Institute of Electrical and Electronics Engineers - Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Dopady změny klimatu, adaptace a zranitelnost

Obr 2 historická konstrukce pyrhelionometru

Obr 3. spektrum slunečního záření mimo atmosféru a po průchodu atmosférou

Obr 4 schéma slunečních kolektorů

Obr 5. úbytek intenzity slunečního svitu na vzdálenosti od slunce

Obr 6. Vyražení elektronu z krystalické mřížky křemíku

Obr 7 PN přechod

Obr 8 pracovní bod solárního článku

Obr 9 schéma slunečního článku

Obr 10. Konstrukce fotovoltaického panelu

Obr 11. Řez fotovoltaickým vláknem

Obr 12. Přehled technologií a účinnosti fotovoltaických panelů

Obr 13. Pevná orientace panelů – množství vyrobené el. energie

Obr 14. natáčení panelů – množství vyrobené el. energie

Obr 15.natáčení pomocí trackeru

Obr 16. zisk natáčecího systému

Obr 17. Konstrukce natáčecího systému s koncentrátorem

Obr 18. Obecné schéma zapojení fotovoltaických panelů

Obr 19. VA charakteristika přepětové ochrany

Obr 20 zapojení Hallova prvku

Obr 21. Měření UI

Obr 22. OSI model

Obr 23 Blokové schéma microcontroleru MC1321x

Obr 24 topologie sítě

Obr 25 blokové schéma zapojení snímače

Obr 26 blokové schéma zapojení USB klíčenky

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 přibližných hodnot deklinace Slunce v průběhu roku

Tab. 2 klady a zápory fotovoltaických panelů z hledem k jejich umístění

Tab. 3 Intenzita slunečního záření

Tab. 4. Množství vyrobené elektrické energie

Tab. 5 přehled typů palivových článků

SEZNAM PŘÍLOH

P I Slunce v číslech

P II Složení atmosféry Země

P III porovnání neporovnatelného

Elektronické přílohy

Dopady_klimatu.pdf - Dopady změny klimatu, adaptace a zranitelnost

MC13191.pdf - datasheet microcontroleru MC13191

MC1321xZigBee.pdf - datasheet microcontroleru MC1321 1-3

MC68HC908JW32.pdf - datasheet microcontroleru MC68HC908JW32

ZSTAR3RM.pdf - datasheet microcontroleru ZSTAR3RM

Cas_z_vysky_II.xls

PŘÍLOHA P I: SLUNCE V ČÍSLECH

Průměrná vzdálenost od Země:	149.6.10 ⁶ km
Nejmenší vzdálenost od Země:	147,1.10 ⁶ km
Největší vzdálenost od Země:	152,1.10 ⁶ km
Zdánlivá hvězdná velikost:	- 26,8 ^m
Absolutní hvězdná velikost:	+ 4.7 ^M
Poloměr:	695 550 km (109 poloměrů Země)
Objem:	1.41.10 ¹⁸ km ³ (1 300 000 objemu Země)
Hmotnost:	1.99.10 ³⁰ kg (333 000 hmotnosti Země)
Hustota:	1 408,9 kg/m ³ (0,255 hustoty Země)
Tíhové zrychlení:	274,1 m/s ² (27,9 tíhového zrychlení na Zemi)
Doba rotace Slunce kolem osy:	25,4 dní
Povrchová teplota:	5780 K
Teplota jádra:	~ 14 000 000 K
Zářivý výkon:	3.83.10 ²⁶ W
Složení - podle hmotnosti (plazma)	
Vodík:	73.46 %
Helium:	24.85 %
Kyslík:	0.77 %
Uhlík:	0.29 %
Železo:	0.16 %
Neon:	0.12 %
Dusík:	0.09 %
Křemík:	0.07 %
Magnesium:	0.05 %
Síra:	0.04 %

PŘÍLOHA P II: SLOŽENÍ ATMOSFÉRY

Troposféra

Nejnižší část atmosféry. Obsahuje 99% vzdušné hmoty a veškerou atmosférickou vlhkost. Pro vývoj počasí je podstatná právě tato vrstva. Dosahuje výšky 8-15km (na pólech do 8km, v rovníkové oblasti až 18km). Teplotní rozsah této vrstvy se normálně pohybuje mezi +17°C až -52°C. Od následující vrstvy je oddělena tropopauzou.

Stratosféra

Nachází se nad troposférou a dosahuje výšky 50km. V porovnání s troposférou je tato část zcela bez vzdušné vlhkosti a má rovněž podstatně nižší hustotu. V této vrstvě dochází oproti předchozímu poklesu teploty k jejímu zpětnému růstu, až k úrovni kolem -3°C. Tento růst je zapříčiněn absorpcí UV záření právě v této vrstvě. Zde se rovněž nachází atmosférický ozón. Od další vrstvy je oddělena stratopauzou.

Mezosféra

Začíná kolem výšek 50km a končí ve výšce 85km. V této vrstvě teplota s rostoucí výškou opět klesá až na úroveň -93°C. Látky se zde díky slunečnímu záření nacházejí v excitovaném stavu. Od další vrstvy ji dělí mezopauza.

Termosféra

Nejvyšší vrstva atmosféry dosahující výšky kolem 600km nad povrchem planety. Teplota zde opět výrazně roste ve vztahu výrazným slunečním zářením. Její úroveň dosahuje až 1700°C, nicméně s ohledem na minimální hustotu okolního prostředí je tepelný účinek ve vztahu k dalším tělesům minimální.

PŘÍLOHA P III: POROVNÁNÍ NEPOROVNATELNÉHO

<i>Přibližné srovnání nesrovnatelných technologií</i>	Elektřina ze Slunce	Teplo ze Slunce
<i>Průměrná účinnost přeměny:</i>	15%	60%
<i>Důležité pojmy:</i>	<p>Špičkový výkon modulu</p> <ul style="list-style-type: none"> - měří se při kolmém dopadajícím záření 1000 W/m² a teplotě 25 °C - udává se v jednotkách Watt peak, Wp <p>Zelený bonus</p> <ul style="list-style-type: none"> - forma prodeje čisté el. energie ze Slunce <p>Střídač-měnič</p> <ul style="list-style-type: none"> - zařízení pro přeměnu stejnosměrného proudu z fotovoltaických zařízení na střídavý proud 	<p>Roční užitečná produkce</p> <ul style="list-style-type: none"> - množství energie, kterou zařízení vyprodukuje za rok na m² plochy kolektoru <p>Výtěžnost</p> <ul style="list-style-type: none"> - procentuální vyjádření skutečného využití zařízení <p>Stupeň krytí</p> <ul style="list-style-type: none"> - procentuální vyjádření podílu solárního systému na celkové spotřebě tepla dané aplikace
<i>Maximální měrný výkon:</i>	130 W/m ² elektrických(1)	800 W/m ² tepelných (2)
<i>Roční produkce z m²:</i>	117 kWh/m ² .rok el. energie (3)	500 kWh/m ² .rok tepla (4)

<i>Cena investice na m2 včetně příslušenství:</i>	17 550,00 Kč/m2 (5)	20 000,00 Kč/m2 (6) 10 000,00 Kč/m2 s dotací
<i>Cena investice na produkovanou kWh z m2 za rok:</i>	150 Kč/kWh.m2.rok	40 Kč/ kWh.m2.rok
<i>Optimální umístění v ČR:</i>	- jih - 30° sklon od vodorovné roviny	- jih - 45° sklon od vodorovné roviny pro ohřev vody - 60° sklon od vodorovné roviny pro přitápění
<i>Při investici 100 000,-Kč získám:</i>	- 5,7 m2 - 666,7 kWh/rok el. energie - 8 973,3 Kč/rok (7)	- 5 m2 (10 m2) s dotací - 2500 (5000) kWh/rok tepla - 10 000,- Kč/rok (8)
<i>Výhody:</i>	- prodej veškeré produkce - zvýhodněná výkupní cena - minimální provozní náklady - garantovaný zvýhodněný - výkup 20 let	- nižší investice - investiční podpora u malých systémů 50- 60 000,- Kč - velmi efektivní zařízení
<i>Nevýhody:</i>	- investiční náročnost - malá účinnost přeměny, - s teplotou klesá účinnost přeměny 0,4 %/K	- nesoučasnost, nevyužití letního slunečního záření - v porovnání s PV vyšší provozní náklady - pokles účinnosti s klesající venkovní teplotou