

# Možnosti využití solární energie

Possibilities of usage of solar energy

Jiří Otáhal

---

Bakalářská práce  
2007



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

\*\*\* nescannované zadání str. 1 \*\*\*

\*\*\* nescannované zadání str. 2 \*\*\*

## ABSTRAKT

Alternativní zdroje energie - malé solární elektrárny - se dnes uplatňují zejména v místech, kde chybí klasické rozvody energie. Tyto doplňkové zdroje energie mívají nejčastěji výkony jednotek až desítek kW, i když ve světě existují solární fotovoltaické elektrárny s výkony až desítek MW. Moderním trendem v solární energetice je pohyblivý stojan kolektorů, který sleduje pohyb Slunce po obloze a natáčí kolektor po celý den kolmo ke směru slunečního záření.

Klíčová slova:

Solární energie, fotovoltaický systém, solární fotovoltaický článek, sledovač slunce, čidlo pro otáčení solárních panelů

## ABSTRACT

Alternative energy sources - small solar power stations - are nowadays mainly used on places, where there is lack of classical energy partings. These additional energy sources often reach the effect of units to tenths of kW. Although solar photovoltaic power stations with an effect of tenths MW do exist. Current trend in solar energetics is mobile collector stand, which keeps track of movement of the Sun and follows it during the day the way that it is always upright to the sunshine direction.

Keywords:

Solar energy, Photovoltaic system, solar barrier-layer photocell, sun follower, sensor for turning solar panel

Děkuji Mgr. Milanu Adámkovi, Ph.D. za odborné vedení, obětavost a pohodu při psaní závěrečné práce. Taktéž děkuji svým blízkým za vytvoření ideálních podmínek pro práci.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....  
Podpis diplomanta

**OBSAH**

<b>OBSAH .....</b>	<b>6</b>
<b>ÚVOD.....</b>	<b>8</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1 HISTORIE .....</b>	<b>10</b>
1.1.1 ANTOINE HENRI BECQUEREL .....	10
<b>1.2 GENERACE FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ .....</b>	<b>12</b>
1.2.1 PRVNÍ GENERACE .....	12
1.2.2 DRUHÁ GENERACE .....	12
1.2.3 TŘETÍ GENERACE.....	12
<b>1.3 SOLÁRNÍ PANEL .....</b>	<b>14</b>
1.3.1 SOLÁRNÍ ČLÁNEK PRVNÍ GENERACE .....	14
1.3.2 KONSTRUKCE KŘEMÍKOVÝCH SOLÁRNÍCH PANELŮ.....	16
<b>1.4 FOTOVOLTAICKÉ PANELE.....</b>	<b>17</b>
1.4.1 OSTROVNÍ SYSTÉMY (OFF-GRID).....	17
1.4.2 SÍŤOVÉ SYSTÉMY (ON-GRID).....	19
1.4.3 DROBNÉ APLIKACE .....	20
<b>1.5 PŘÍRODNÍ PODMÍNKY V ČESKÉ REPUBLICE.....</b>	<b>20</b>
1.5.1 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ V ČESKÉ REPUBLICE .....	20
<b>1.6 ENERGETICKÁ SITUACE .....</b>	<b>21</b>
1.6.1 PROGNOZY VÝROBY ELEKTRICKÉ ENERGIE NA ZEMI .....	21
1.6.2 POLITIKA EVROPSKÉ UNIE .....	22
<b>1.7 ZVYŠOVÁNÍ ÚČINNOSTI FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ .....</b>	<b>24</b>
1.7.1 KONCENTRÁTORY SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ .....	24
1.7.2 VYRÁBĚNÉ JEDNOOSÉ SLEDOVAČE SLUNCE.....	26
<b>1.8 VYROBÍ SOLÁRNÍ PANELE ENERGIU SPOTŘEBOVANOU KE SVÉ     VÝROBĚ? .....</b>	<b>28</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>30</b>
<b>2 PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>31</b>
<b>2.1 TEORETICKY VYPOČÍTANÉ HODNOTY DOPADAJÍCÍHO ZÁŘENÍ.....</b>	<b>31</b>

2.1.1	ENERGIE DOPADAJÍCÍHO ZÁŘENÍ VE ZLÍNĚ .....	31
2.1.2	VÝPOČET 1KW SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNY UMÍSTĚNÉ VE ZLÍNĚ.....	32
2.1.3	CENA A NÁVRATNOST INVESTICE DO FOTOVOLTAICKÉHO SÍŤOVÉHO SYSTÉMU 1KW .....	34
<b>2.2</b>	<b>MĚŘENÍ INTENZITY OSVĚTLENÍ JARNÍHO SLUNEČNÉHO DNE.....</b>	<b>34</b>
<b>2.3</b>	<b>FOTODIODA BPW 34 .....</b>	<b>35</b>
2.3.1	CHARAKTERISTIKA FOTODIODY BPW 34.....	35
2.3.2	MĚŘENÍ FOTODIODY BPW 34 VE FOTOVOLTAICKÉM REŽIMU .....	37
2.3.3	MĚŘENÍ FOTODIODY BPW 34 V ODPOROVÉM REŽIMU .....	38
<b>2.4</b>	<b>MIKROKONTROLÉR MOTOROLA HC08 .....</b>	<b>40</b>
2.4.1	ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY .....	40
2.4.2	CPU .....	41
2.4.3	FLASH .....	42
2.4.4	MON08 - LADĚNÍ NA ČIPU (ICD).....	43
<b>2.5</b>	<b>ČIDLO PRO ŘÍZENÍ OTÁČENÍ SOLÁRNÍCH PANELŮ ZA SLUNCEM .....</b>	<b>46</b>
2.5.1	PRINCIP ČINNOSTI ČIDLA PRO ŘÍZENÍ SOLÁRNÍCH PANELŮ ZA SLUNCEM .....	46
2.5.2	VÝHODY ČIDLA PRO ŘÍZENÍ OTÁČENÍ SOLÁRNÍCH PANELŮ.....	48
<b>ZÁVĚR</b>	<b>.....</b>	<b>49</b>
<b>ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ</b>	<b>.....</b>	<b>50</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b>	<b>.....</b>	<b>50</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b>	<b>.....</b>	<b>51</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b>	<b>.....</b>	<b>52</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b>	<b>.....</b>	<b>54</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH</b>	<b>.....</b>	<b>55</b>

## ÚVOD

Fotovoltaiku lze chápat jako technologii s neomezeným růstovým potenciálem a časově neomezenou možností výroby elektrické energie. Nejedná se však pouze o zajímavou technologii, ale také o vyspělé (hi-tech) průmyslové odvětví, které ve světě zažívá neobvyklý rozvoj a pozitivně ovlivňuje nejen obchodní aktivity, ale např. také zaměstnanost nebo kvalifikaci vědeckých pracovníků. Tuto skutečnost pochopily již mnohé vyspělé země světa včetně zemí Evropské unie, snaží se fotovoltaiku podporovat a v delším časovém horizontu jí přisuzují nezastupitelné místo v energetickém „mixu“. Tento aspekt nabývá na významu zejména vzhledem k narůstající energetické závislosti mnohých zemí, hrozící energetické krizi, ekologickým a bezpečnostním otázkám klasických způsobů výroby energie a dalším negativním aspektům současné i budoucí energetiky. V tomto kontextu lze tedy fotovoltaiku po odstranění některých překážek, zejména ekonomických, vnímat jako jedno z dostupných řešení, jako univerzálně použitelný energetický zdroj, jako technologii, která jde ruku v ruce s trvale udržitelným rozvojem.



## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 PRAKTICKÁ ČÁST

## 1.1 Historie

Pojem fotovoltaika pochází ze dvou slov, řeckého φός [phos] = světlo a ze jména italského fyzika Alessandra Volty. Objev fotovoltaického jevu se pak připisuje Alexandru Edmondovi Becquerelovi, který jej jako devatenáctiletý mladík odhalil při experimentech v roce 1839. V roce 1904 jej fyzikálně popsal Albert Einstein a v roce 1921 mu byla za „práci pro rozvoj teoretické fyziky, zejména objev zákona fotoelektrického efektu“, udělena Nobelova cena. Již v roce 1916 pak další držitel této ceny Robert Millikan experimentálně potvrdil platnost principu fotovoltaického jevu. První pokusy s fotočlánky spadají do sedmdesátých let 19. století, kdy byly poprvé zjištěny změny vodivosti selenu při jeho osvětlení a kolem r. 1883 byl sestaven první selenový fotočlánek s tenkou vrstvou zlata. O to se zasloužil Charles Frits a dosáhl účinnosti téměř jedno procento. První patent na solární článek pak byl podán v roce 1946 Russellem Ohlem, který také stál na počátku rozvoje křemíkových solárních článků v roce 1941. První skutečný fotovoltaický článek s 6 % účinností byl vyroben z krystalického křemíku v roce 1954 v Bellových laboratořích (G.L. Pearson, Daryl Chapin, Calvin Fuller).

Větší rozvoj fotovoltaiky nastává v šedesátých letech s nástupem kosmického výzkumu. Sluneční články slouží jako zdroj energie pro družice. Vůbec první družicí využívající k získání energie sluneční paprsky byl ruský Sputnik 3, vypuštěný 15. května 1957. Dalším důležitým mezníkem pro rozvoj fotovoltaiky a zejména výzkumu a vývoje v této oblasti byla celosvětová ropná krize v roce 1973. Dnes je již využití fotovoltaiky různorodé, ale o tom až v dalších odstavcích.

### 1.1.1 Antoine Henri Becquerel

(15. prosince 1852 Paříž – 25. srpna 1908, Le Croisic)

Henri Becquerel se narodil v budově pařížského Muzea přírodních dějin (Muséum national d'histoire naturelle), kde byl profesorem jeho otec, fyzik Edmond Becquerel, i jeho děd, Antoine-César Becquerel. Studoval v lyceu Ludvíka Velikého (Lycée Louis-le-Grand), kde ho mj. vyučoval matematice Gaston Darboux. V roce 1872 vstoupil na polytechnickou

školu a o dva roky později započal studium na inženýrské Škole mostů a silnic (École Nationale des Ponts et Chaussées).

V roce 1877 obdržel inženýrský diplom; poté nastoupil vědeckou dráhu. Začal se zabývat optikou, mj. zkoumal polarizaci světla. Studoval také infračervené spektrum par kovů a absorpci světla v krystalech. V roce 1888 získal doktorský titul. Následujícího roku byl zvolen do francouzské Akademie věd, stejně jako předtím jeho otec i děd. Po smrti otce v roce 1892 pokračoval v jeho práci a v roce 1895 se stal profesorem na polytechnické škole.

V roce 1896 Becquerel studoval fluorescenci uranových solí; přitom víceméně náhodou objevil přirozenou radioaktivitu. Když zkoumal fotografickou desku, která přišla se solemi do styku, zjistil, že na ní došlo k chemickým změnám, ačkoliv nebyla ozářena světlem. Z toho usoudil, že soli vyzařují záření jiné než světelné povahy. Výsledky uvedl ve známost 2. března 1896, pouze o několik dní dříve než k podobným závěrům dospěl v Londýně Sylvanus Thompson. Za tento objev dostal v roce 1900 Rumfordovu medaili.

Studium tohoto nově objeveného záření si následně zvolila za téma disertační práce Marie Curie, žena jeho kolegy Pierre Curie. Po několika měsících výzkumu potvrdila, že toto záření je vlastností více chemických prvků a nazvala tuto jejich vlastnost radioaktivitou. Manželé Curieovi později objevili ještě prvky polonium a radium. V roce 1903 obdrželi všichni tři za tyto objevy Nobelovu cenu za fyziku.

Henri Becquerel zemřel předčasně ve věku 56 let. Později po něm byla pojmenována jednotka radioaktivity becquerel.[1]

## 1.2 Generace fotovoltaických článků

### 1.2.1 První generace

První generací se nazývají fotovoltaické články využívající jako základ křemíkové desky. Jsou dnes nejrozšířenější technologií na trhu (cca 90 %) a dosahují poměrně vysoké účinnosti přeměny v sériové výrobě 16 až 19 %, speciální struktury až 24 %. Komerčně se začaly prodávat v sedmdesátých letech. Přestože je jejich výroba relativně drahá (a to zejména z důvodu drahého vstupního materiálu – krystalického křemíku), budou ještě v několika dalších letech na trhu dominovat.

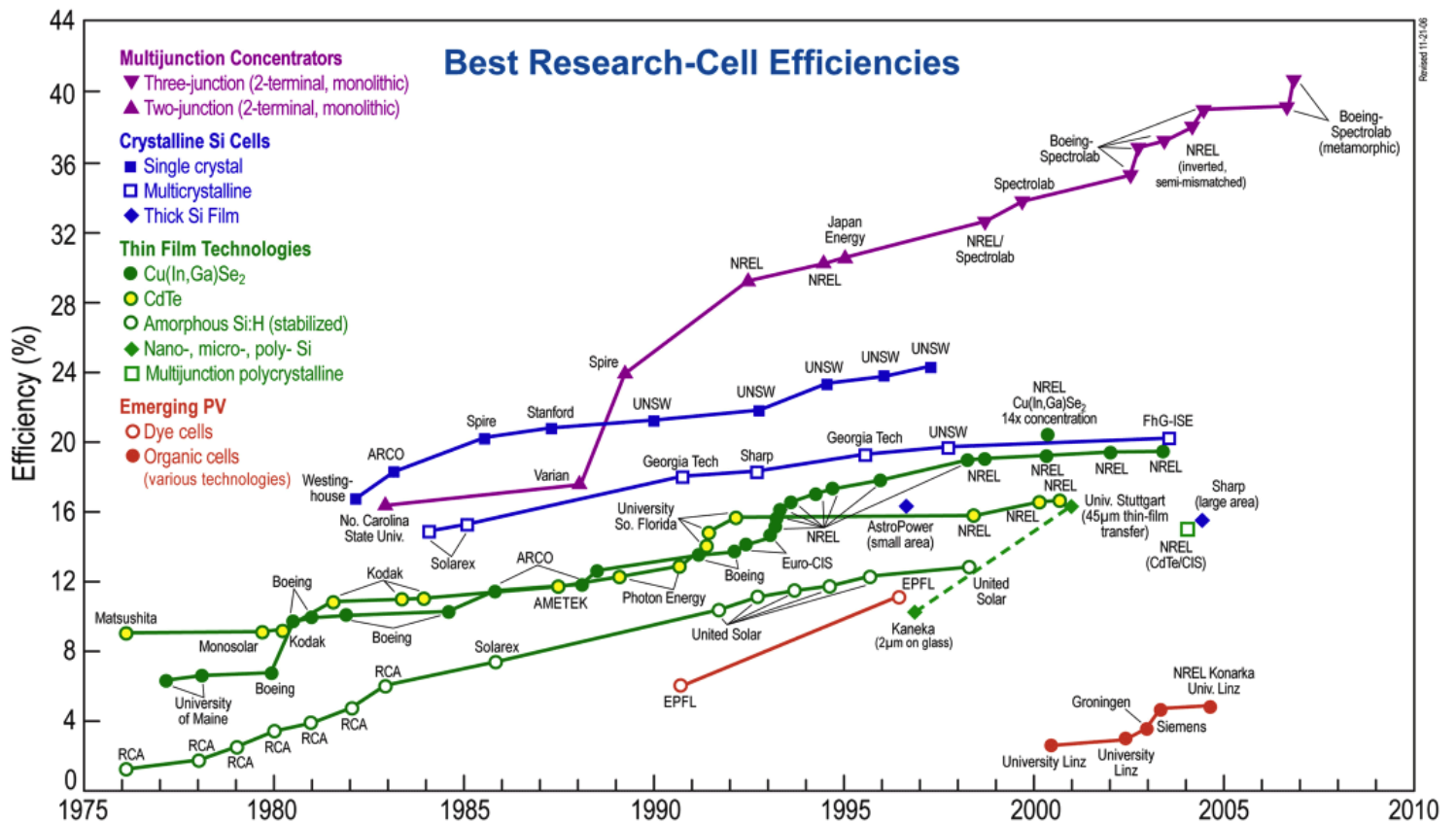
### 1.2.2 Druhá generace

Impulesem pro rozvoj článků druhé generace byla především snaha o snížení výrobních nákladů úsporou drahého základního materiálu – křemíku. Články druhé generace se vyznačují sto krát až tisíc krát tenčí aktivní absorbující polovodičovou vrstvou (thin-film) a jejími představiteli jsou např. články z amorfního a mikrokrytalického křemíku (případně silicon-germania, či silicon-karbidu, ale také tzv. směsné polovodiče z materiálů jako Cu, In, Ga, S, Se, označované obecně jako CIS struktury). S úsporou materiálu došlo v porovnání s články první generace k poklesu výrobních nákladů (a tedy za předpokladu velkosériové výroby i k poklesu ceny), nicméně dosahovaná účinnost je obvykle nižší a to v sériové výrobě obecně pod 10%. Nespornou výhodou tenkovrstvých článků je možnost volby substrátu, na něž se tenkovrstvé struktury deponují, a v případě použití flexibilních materiálů (organické, kovové či textilní folie) i značně širší aplikační sféra. Komerčně se začaly články druhé generace prodávat v polovině osmdesátých let.

### 1.2.3 Třetí generace

Pokus o „fotovoltaickou revoluci“ představují solární články třetí generace. Zde je hlavním cílem nejen snaha o maximalizaci počtu absorbovaných fotonů a následně generovaných párů elektron - díra („proudový“ zisk), ale i maximalizace využití energie dopadajících fotonů („napětový“ zisk fotovoltaických článků). Existuje řada směrů, kterým je ve výzkumu věnována pozornost: - vícevrstvé solární články (z tenkých vrstev) - články s vícenásobnými pásy - články, které by využívaly „horké“ nosiče náboje pro generaci více

párů elektronů a děr - termofotovoltaická přeměna, kde absorbér je současně i radiátorem vyzařujícím selektivně na jedné energii - termofotonická přeměna, kde absorbér je nahrazen elektroluminiscencí - články využívají kvantových jevů v kvantových tečkách nebo kvantových jamách - prostorově strukturované články vznikající samoorganizací při růstu aktivní vrstvy - organické články (např. na bázi objemových heteropřechodů) Zatím jediným komerčním příkladem dobře fungujících článků třetí generace (přímo navazující na FV druhé generace) jsou vícevrstvé struktury (dvojvrstvé – tzv. tandemy a trojvrstvé články), z nichž každá sub-struktura (p-i-n) absorbuje určitou část spektra a maximalizuje se tak energetická využitelnost fotonů. Příkladem tandemového solárního článku je struktura skládající se z p-i-n přechodu amorfního (hydrogenovaného) křemíku (a-Si:H) a p-i-n přechodu mikrokrytalického (hydrogenovaného) křemíku ( $\mu\text{c-Si:H}$ ). Amorfní křemík má vysokou absorpci v oblasti modré, zelené a žluté části spektra, mikrokrytalický křemík pak dobře absorbuje i v oblasti červené a infračervené. Mikrokrytalický křemík může být nahrazen i „slitinou“ křemíku s germánium a dle zvoleného poměru obou materiálů se dají upravovat jejich optické (i elektrické) vlastnosti. Tohoto materiálu nebo těchto materiálů se např. využívá komerčně právě pro trojvrstvé solární články, kde dva spodní články jsou vyrobeny s různou koncentrací Si a Ge. Základní podmínkou pro dobrou funkci vícevrstvných článků je, aby každý z článků generoval stejný proud. V opačném případě horší (příp. nejhorší) z článků limituje dosažitelnou účinnost. Výsledné napětí je pak dané součtem obou, příp. všech článků. [2]



Obr. 1 Nejlepší výkony daných fotovoltaických článků [3]

## 1.3 Solární panel

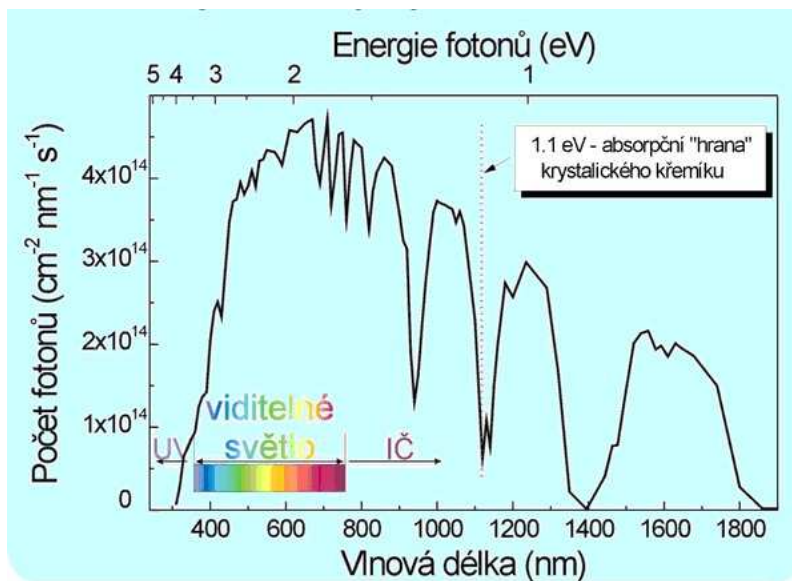
### 1.3.1 Solární článek první generace

Fotovoltaika využívá přímé přeměny světelné energie na elektrickou energii v polovodičovém prvku označovaném jako fotovoltaický nebo také solární článek. Solární článek je velkoplošná dioda alespoň s jedním PN přechodem. V ozářeném solárním článku jsou generovány elektricky nabitě částice (páry elektron – díra). Elektrony a díry jsou separovány vnitřním elektrickým polem PN přechodu. Rozdělení náboje má za následek napěťový rozdíl mezi „předním“ (-) a „zadním“ (+) kontaktem solárního článku. Vnější obvodem zapojeným mezi oba kontakty potom protéká stejnosměrný elektrický proud, jež je přímo úměrný ploše solárního článku a intenzitě dopadajícího slunečního záření.

Napětí jednoho článku s hodnotou přibližně 0,5 V je příliš nízké pro další běžné využití. Sériovým propojením více článků získáme napětí, které je již použitelné v různých typech fotovoltaických systémů. Standardně jsou používány sestavy pro jmenovité provozní napětí 12 nebo 24 V. Takto vytvořené sestavy článků v sériovém nebo i sériovo-

paralelním řazení jsou hermeticky uzavřeny ve struktuře krycích materiálů výsledného solárního panelu.

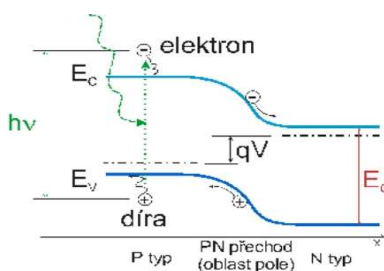
Sluneční záření, dopadající po průchodu atmosférou na povrch Země, se skládá z fotonů různých vlnových délek a tedy i různých energií. Z celého slunečního spektra je lidským okem viditelná pouze jeho část v oblasti 380 až 780 nanometrů. Oblast s kratší vlnovou délkou a tím i s větší energií se nazývá ultrafialová (UV) a oblasti s delší vlnovou délkou se říká infračervená (IČ).



Obr. 2 Energie a počet fotonů v závislosti na vlnové délce [2]

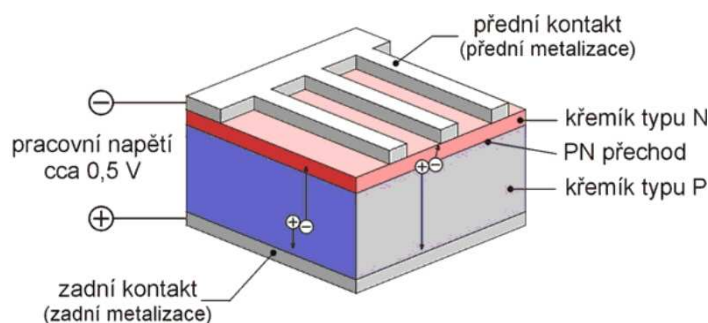
Základním požadavkem na sluneční články je schopnost pohlcovat co nejširší oblast slunečního spektra a co nejlépe využít energii fotonů.

Dopadá-li na křemík foton o energii menší než 1,1 eV (elektronvoltů), projde křemíkem a není absorbován. Když je jeho energie větší než 1,1 eV (tato energie odpovídá šířce tzv. zakázaného pásu  $E_g = E_c - E_v$  a tedy „absorpční hraně“ křemíku), pak je tento foton absorbován a v polovodiči vzniknou volné nosiče náboje - záporný elektron a kladná díra.



Obr. 3 Uvolňování páru elektron-díra [2]

Sluneční článek se skládá z části mající elektronovou vodivost (materiál typu n , např. křemík s příměsí fosforu) a z části mající děrovou vodivost (materiál typu p , např. křemík s příměsí boru). Na přechodu p-n dojde k oddělení elektronů a děr a na kontaktech vznikne napětí, v případě křemíku typicky 0,5-0,6 V. Připojíme-li ke kontaktům spotřebič (zátěž), protéká tímto elektrický proud.



Obr. 4 Konstrukce fotovoltaického článku první generace [2]

### 1.3.2 Konstrukce křemíkových solárních panelů

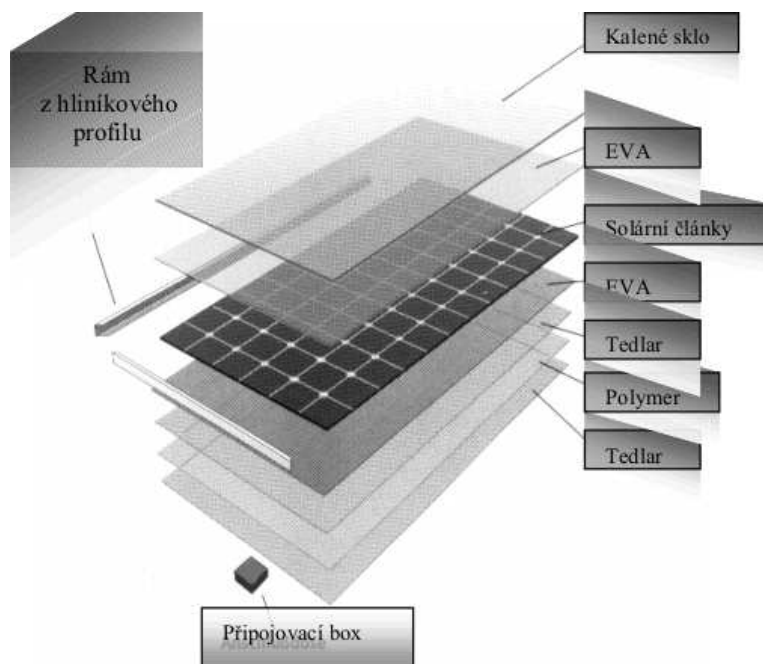
Sériovým nebo i paralelním elektrickým propojením solárních článků vzniká po jejich zapouzdření fotovoltaický panel. Panel musí zajistit hermetické zapouzdření solárních článků, musí zajišťovat dostatečnou mechanickou a klimatickou odolnost např. vůči silnému větru, krupobití, mrazu apod.. Konstrukce solárních panelů jsou značně rozmanité podle druhu použití. Obvykle jsou po obvodu FV panely opatřeny duralovými rámy pro zpevnění celé konstrukce fotovoltaického panelu a zároveň k usnadnění realizace uchycení panelů ke konstrukci FV systému. Přední krycí materiál je speciální kalené sklo, které odolává i silnému krupobití.

Fotografie FV panelu a popis jeho konstrukce jsou popsány v obrázku. Z obrázku je také patrná poměrně složitá konstrukce panelu realizovaná v průběhu procesu výroby panelů – laminace.

Z aplikačního hlediska jsou pro nás nejdůležitější části konstrukce nacházející se nad povrchem přední strany FV článků, tedy EVA folie (ethylen vinyl acetát) a kalené sklo (popř. teflon, litá pryskyřice). EVA folie je organickým materiálem, který může vykazovat



při silném ozáření UV světlem efekt „žloutnutí“ a tedy snížení optické transparentnosti s nepříznivým vlivem na množství generovaného elektrického výkonu slunečními články. Krycí kalené sklo je z hlediska degradace optických vlastností velmi stabilním materiálem a ke snížení optické propustnosti může dojít jedině znečištěním povrchu vlivem okolního prostředí. Struktura panelů tenkovrstvých solárních článků je poněkud odlišná od konstrukce modulů z krystalických křemíkových článků. Je to dáno zejména zcela odlišnou technologií výroby, kdy celá aktivní struktura je deponována plazmaticky v jednotlivých krocích na skleněný velkoplošný substrát. [2]



Obr. 5 Konstrukce solárního panelu[2]

## 1.4 Fotovoltaické panely

Podle účelu použití lze fotovoltaické systémy rozdělit do tří skupin (viz níže). Nejvýznamnější skupinou jsou jednoznačně síťové systémy, které například ve většině západní Evropy tvoří více než 90 % veškerých instalací.

### 1.4.1 Ostrovní systémy (off-grid)

Ostrovní systémy (off-grid) se používají všude tam, kde není k dispozici rozvodná síť a kde je potřeba střídavého napětí 230 V. Obvykle jsou ostrovní systémy instalovány na místech, kde není účelné anebo není možné vybudovat elektrickou přípojku. Důvody jsou

zejména ekonomické, tzn. náklady na vybudování přípojky jsou srovnatelné nebo vyšší s náklady na fotovoltaický systém. Mluvíme o systémech ve vzdálenosti k rozvodné síti více než 500 – 1000m.. Jedná se zejména o odlehlé objekty, jakými jsou např. chaty, karavany, jachty, napájení dopravní signalizace a telekomunikačních zařízení, zahradní svítidla, světelné reklamy apod.

Off-grid systémy se dále dělí na systémy s přímým napájením, hybridní systémy a systémy s akumulací elektrické energie. U systémů s přímým napájením se jedná o prosté propojení solárního panelu a spotřebiče, kdy spotřebič funguje pouze v době dostatečné intenzity slunečního záření jako je nabíjení akumulátorů malých přístrojů, čerpání vody pro závlahu, napájení ventilátorů k odvětrání uzavřených prostor atd..

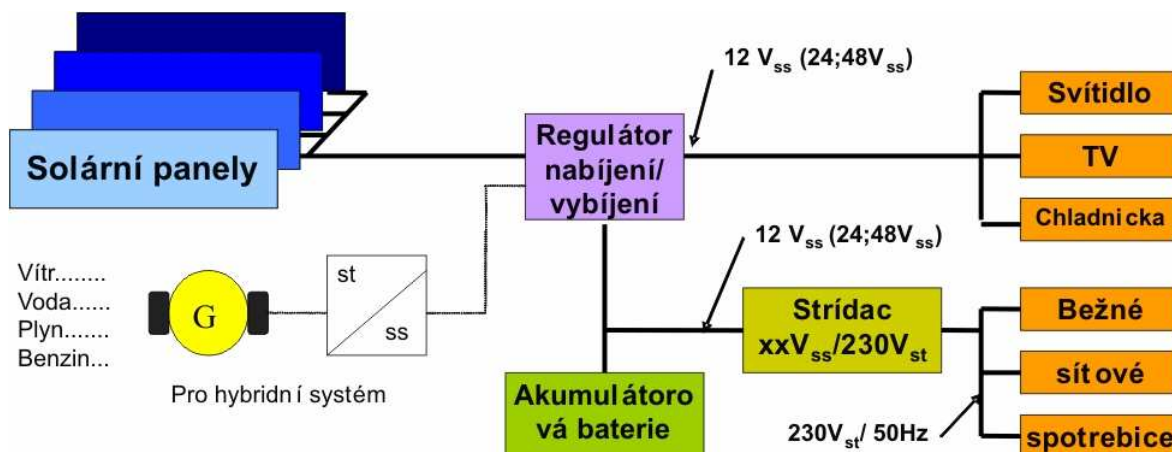
Hybridní ostrovní systémy se používají tam, kde je nutný celoroční provoz se značným vytížením. V zimních měsících je možné získat z fotovoltaického zdroje podstatně méně elektrické energie než v letních měsících. Proto je nutné tyto systémy navrhovat i na zimní provoz, což má za následek zvýšení instalovaného výkonu systému a podstatné zvýšení pořizovacích nákladů. Z těchto důvodů jsou fotovoltaické systémy doplňovány alternativním zdrojem energie, kterým může být např. větrná elektrárna, malá vodní elektrárna, elektrocentrála, kogenerační jednotka atd.

Typickými představiteli systémů nezávislých na síti jsou systémy s akumulací elektrické energie. Oproti síťové verzi (viz níže) vyžaduje tento systém navíc solární baterie, které uchovají vyrobenou energii na dobu, kdy není dostatek slunečního svitu jako například v noci. Optimální dobíjení a vybíjení akumulátorové baterie je zajištěno elektronickým regulátorem.

Ostrovní systém se poté skládá z :

- fotovoltaických panelů
- regulátoru dobíjení akumulátorů
- akumulátoru (v 95 % olověný)
- střídače = měniče (pro připojení běžných síťových spotřebičů 230V/~50Hz)

popř. sledovače Slunce, indikačních a měřících přístrojů



Obr. 6 Schéma zapojení hybridního systému [2]

#### 1.4.2 Sítové systémy (on-grid)

Sítové systémy (on-grid) jsou nejvíce uplatňovány v oblastech s hustou sítí elektrických rozvodů. V případě dostatečného slunečního svitu jsou spotřebiče v budově napájeni vlastní „solární“ elektrickou energií a případný přebytek je dodáván do veřejné rozvodné sítě. Při nedostatku vlastní energie je elektrická energie z rozvodné sítě odebírána. Systém funguje zcela automaticky díky mikroprocesorovému řízení sítového střídače. Připojení k síti podléhá schvalovacímu řízení u rozvodných závodů. Špičkový výkon fotovoltaických systémů připojených k rozvodné síti je v rozmezí jednotek kilowatt až jednotek megawatt.

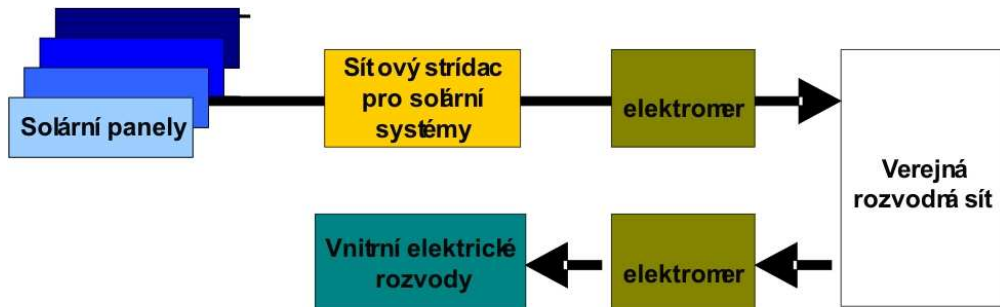
V současnosti se tento typ systémů jeví za předpokladu dotace jako zajímavá investiční příležitost, kdy je veškerá produkce FV elektrárny prodávána do sítě za tzv. výkupní tarify. V ČR je výkupní cena pro rok 2007 stanovena na 13,46 Kč/kWh, jakožto cena minimální s garancí této částky po dobu minimálně 15 let.

Možnosti aplikace: střechy rodinných domů 1-10 kWp, fasády a střechy administrativních budov 10 kW – 10MW, protihlukové bariéry okolo dálnice, fotovoltaické elektrárny na volné ploše atd.

Základními prvky on-grid FV systémů jsou :

- fotovoltaické panely

- měnič napětí (střídač), který ze stejnosměrného napětí vyrábí střídavé (230V/~50Hz)
- kabeláž
- měření vyrobené elektrické energie (elektroměr)
- popř. sledovač Slunce, indikačních a měřících přístrojů



Obr. 7 Schéma zapojení síťového systému [2]

### 1.4.3 Drobné aplikace

Drobné aplikace tvoří nejmenší, avšak nezanedbatelný podíl na FV trhu. Každý jistě zná FV články v kalkulačkách nebo také solární nabíječky akumulátorů. Trh drobných aplikací nabývá na významu, protože se množí poptávka po nabíjecích zařízeních pro okamžité dobíjení akumulátorů (mobilní telefony, notebooky, fotoaparáty, MP3 přehrávače apod.) na dovolených, v kempech popř. ve volné přírodě.

## 1.5 Přírodní podmínky v České republice

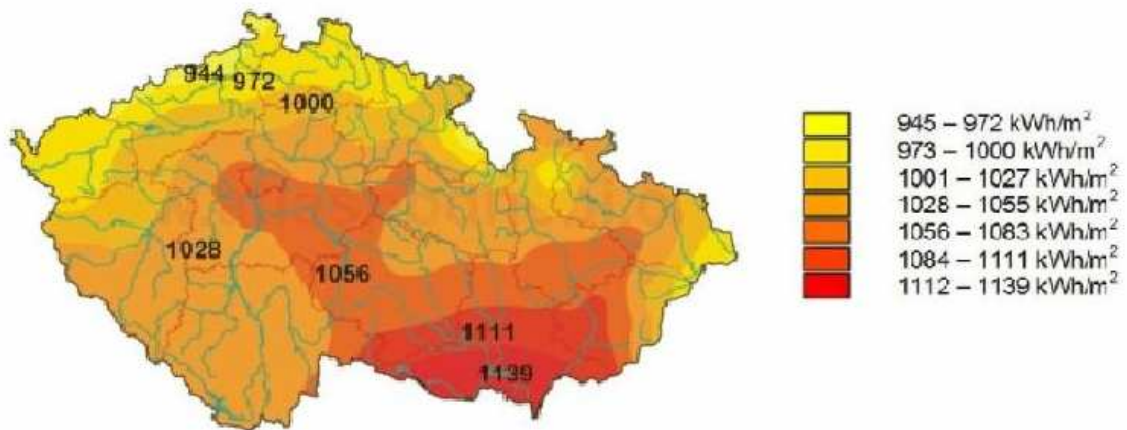
Dostupnost solární energie v České republice je samozřejmě ovlivněna mnoha faktory. Patří mezi ně především zeměpisná šířka, roční doba, oblačnost a lokální podmínky, sklon plochy na níž sluneční záření dopadá a další. Zajímavým faktem nicméně zůstává, že se údaje o slunečním záření v ČR z jednotlivých zdrojů v mnohém liší. Shrňme-li dosud publikované informace, dojdeme k následujícím výsledkům:

### 1.5.1 Sluneční záření v České republice

- v České republice dopadne na 1m<sup>2</sup> vodorovné plochy zhruba 950 – 1340 kWh energie

- roční množství slunečních hodin se pohybuje v rozmezí 1331 – 1844 hod (ČHMÚ), odborná literatura uvádí jako průměrné rozmezí 1600 – 2100 hod

Z hlediska praktického využití pak platí, že z jednoho instalovaného kilowatu běžného systému lze za rok získat v průměru 800 – 1100 kWh elektrické energie. V tomto případě mluvíme o článcích z monokrystalického popř. multikrystalického křemíku s běžnou účinností střídačů.

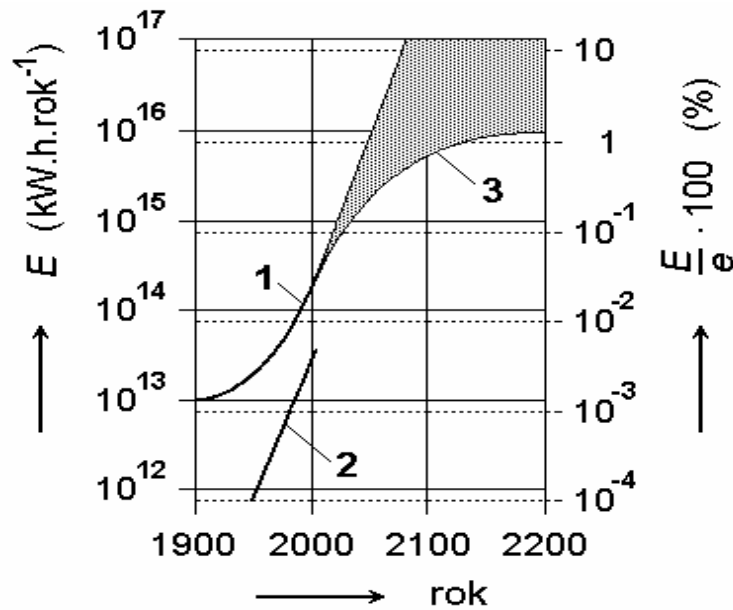


Obr. 8 Sluneční záření v ČR – kWh/m<sup>2</sup> (dopad na vodorovnou plochu)[4]

## 1.6 Energetická situace

### 1.6.1 Prognózy výroby elektrické energie na Zemi

Celková výroba energie na Zemi vykazuje exponenciální nárůst a v roce 2000 již překročila hodnotu  $E = 1014 \text{ kW.h.rok}^{-1}$  (křivka 1). Při zachování současného trendu by za necelých 100 let dosáhla hodnoty  $E = 1017 \text{ kW.h.rok}^{-1}$ . Takovýto scénář je velmi katastrofický a planeta by ho pravděpodobně neunesla. Naději nám dávají prognózy, které tvrdí, že nelze jen extrapolovat, že výroba energie se nasytí a křivka se bude asymptoticky blížit k hodnotě  $E = 1016 \text{ kW.h.rok}^{-1}$ , které nikdy nedosáhne. Takový vývoj by mohl být přijatelný. Předpovědi se tedy pohybují v širokých mezích (oblast 3) a až následující dvě století ukáží, jaká bude skutečnost. (Křivka 2 odpovídá výrobě elektrické energie.)[5]



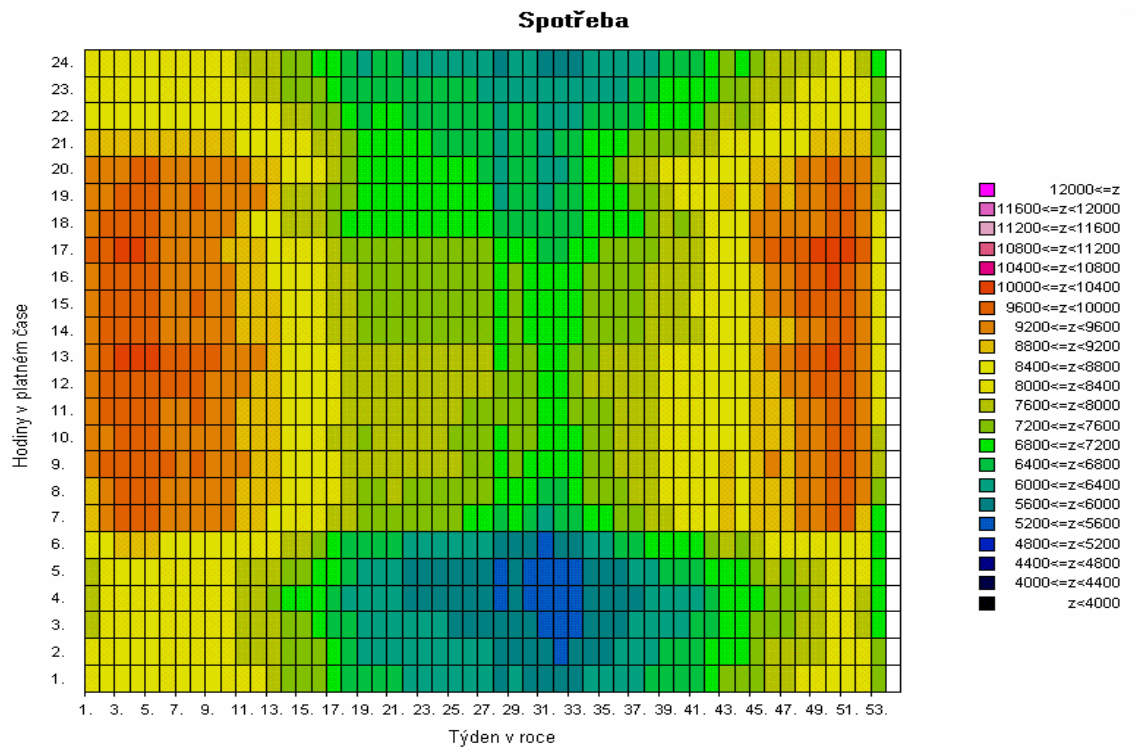
Obr. 9 Předpověď spotřeby el.energie na Zemi [5]

### 1.6.2 Politika Evropské unie

Požadavek na maximální využívání alternativních zdrojů je i jedním z klíčových bodů energetické politiky Evropské unie. Podle výsledků průzkumu, provedeného statistickým úřadem EU, Eurostat považuje zvyšování podílu alternativních zdrojů energie na bilanci spotřeby energie za jeden z prioritních úkolů svých vlád 90 % občanů členských zemí.

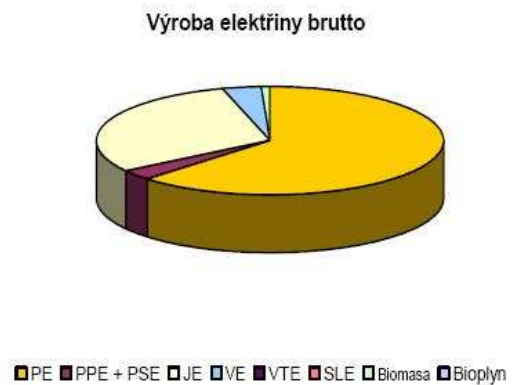
V přístupové dohodě z Atén z března 2003 se ČR zavázala, že podíl výroby elektrické energie z alternativních zdrojů bude v roce 2010 činit 8 % celkové výroby. Podíl alternativních zdrojů na spotřebě primárních zdrojů se pak k roku 2010 předpokládá 6%. Otázkou dosud zůstává, jaké ekonomické podmínky bude třeba splnit, aby se tohoto podílu dosáhlo.

Největší producent elektrické energie v ČR, ČEZ, a s., zvýšil v roce 2004 meziročně výrobu v alternativních zdrojích (vodní elektrárny bez přečerpávání, biomasa, větrná a solární elektrárna) o 97 %.



Obr. 10 Rozložení spotřeby elektrické energie v České republice v roce 2006 v závislosti na čase [6]

	Výroba elektřiny brutto [GWh]	Instalovaný výkon [MW]
<b>PE</b>		
spalováním černého uhlí	6 382,0	
spalováním hnědého uhlí	43 480,4	
spalováním biomasy	552,3	
spalováním olejů	236,4	
spalováním zemního plynu	313,1	
spalováním ostatních plynů	1 053,9	
ostatní	119,1	
<b>Celkem PE</b>	<b>52 137,2</b>	<b>10 663,8</b>
<b>PPE + PSE</b>		
spalováním zemního plynu	784,0	
spalováním bioplynu	85,4	
spalováním ostatních plynů	1 779,1	
ostatní	16,6	
<b>Celkem PPE + PSE</b>	<b>2 665,1</b>	<b>800,4</b>
<b>VE</b>	<b>3 027,0</b>	<b>2 166,0</b>
<b>JE</b>	<b>24 727,6</b>	<b>3 760,0</b>
<b>VTE</b>	<b>21,3</b>	<b>22,0</b>
<b>SLE</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>
<b>Celkem</b>	<b>82 578,5</b>	<b>17 412,2</b>



Poznámka: PE – parní elektrárny, PPE – paroplynové elektrárny, PSE – plynové a spalovací elektrárny, VE – vodní elektrárny, JE – jaderné elektrárny, VTE – větrné elektrárny, SLE – solární elektrárny

Obr. 11 Výroba elektrické energie na území České republiky v roce 2005 [6]

Jak je na obrázku výše vidět, tak solární elektrárny v České republice vytváří naprosto zanedbatelný výkon. Nynější výkon solárních elektráren je zhruba trojnásobný.

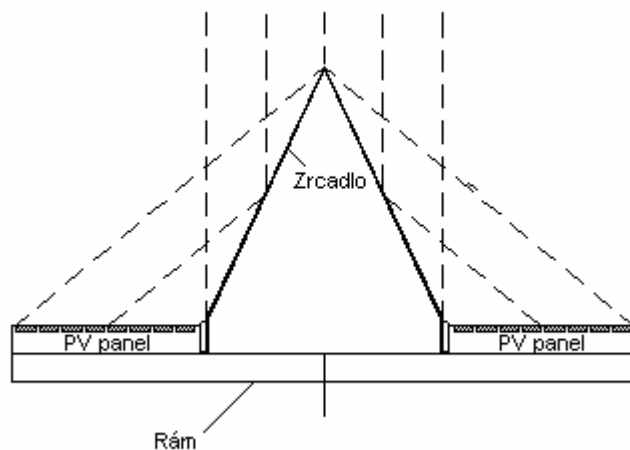
## 1.7 Zvyšování účinnosti fotovoltaických systémů

### 1.7.1 Koncentrátory slunečního záření

Navýšení vyrobené energie můžeme dosáhnout pomocí koncentrátorů slunečního záření.

Koncentrátory záření se používají starší konstrukce tzv. V-žlabové, kdy zrcadla jsou pod určitým úhlem z obou stran panelu. Tato konstrukce je nevýhodná zvláště kvůli tomu, že celou konstrukci zvětšují a také zvětšují plochu celého zařízení, tudíž i odolnost vůči větru.

V tomto systému na rozdíl od V-žlabového koncentrátoru jsou u hřebenového koncentrátoru zcela eliminována vnější zrcadla. Vnitřní „hřeben“ tvoří mírný (cca  $C=1,6$ ) koncentrátor záření. U jednoosých sledovačů s horizontální i polární osou by mělo být zrcadlo na krajích prodlouženo za fotovoltaické panely, aby bylo zajištěno homogenní osvětlení solárních panelů i při sezónních změnách úhlu mezi horizontální rovinou a rovinou pohybu Slunce po obloze. U sledovačů Slunce s polární osou a s nastavitelným sklonem osy podle ročního období, nebo u dvouosých sledovačů, není prodloužené zrcadlo nutné. Obr.11 ukazuje příčný řez solárním fotovoltaickým systémem s hřebenovým koncentrátorem záření.





Obr. 12 *Příčný řez solárním fotovoltaickým systémem s hřebenovým koncentrátorem záření [7]*

Je výhodou, že mírné koncentrátory pro fotovoltaické aplikace nevyžadují vysoce speciální a drahá zrcadla. Zrcadla však musí odolávat povětrnostním vlivům nejméně deset let a musí mít vysokou celkovou odrazivost pro fotony v intervalu vlnových délek cca  $\lambda=300-1100\text{nm}$ .

Zrcadlo může být zhotoveno :

- 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

Materiál b) by mohl vyznít nejlépe při vzájemném porovnání odrazivosti a ceny. Místo PVF laku může být hliníkové zrcadlo chráněno průhlednou samolepicí fólií PVF. Výroba samonosného ohnutého plechového zrcadla je velmi jednoduchá.

Nový pohyblivý mírný koncentrátor je velmi kompaktní, jednoduchý a spolehlivý. Na rozdíl od V-žlabových koncentrátorů není nutný žádný další podpůrný systém zrcadel. Proto momenty sil působené větrem jsou výrazně redukovány.

Hřebenový koncentrátor je běžně dostupný. Standardní verze hřebenového koncentrátoru se může přizpůsobit od dvou malých fotovoltaických panelů (50W) až do deseti velkých fotovoltaických panelů (120W). Takový velký (pohyblivý) fotovoltaický systém je v podmínkách suchého slunečného podnebí ekvivalentní pevnému systému s dvaceti fotovoltaickými panely (120W). Aplikace hřebenového koncentrátoru na různé pohyblivé systémy je také velmi jednoduchá. Může být použit u jednoosých sledovačů s vodorovnou i polární osou, u dvouosých sledovačů, stejně jako u sledovačů otočných o  $360^\circ$  pro aplikace ve vesmíru, či za polárním kruhem.

Koncentrační poměr (cca  $C=1,6$ ) redukuje teplotu solárních panelů oproti koncentrátorům s vyšší koncentrací záření, čímž je i účinnost fotovoltaické přeměny vyšší. Předchází se rovněž degradaci zapouzdření panelů. Uspořádání umožňuje rovněž lepší proudění vzduchu kolem kolektoru v porovnání s uspořádáním s V-žlabem. Tak je

dosaženo i účinnějšího chlazení. Koncentrační poměr (cca  $C=2,4$ ) u standardních V-žlabových koncentrátorů způsobuje hnědnutí EVA zapouzdření a snížení účinnosti fotovoltaické přeměny energie v důsledku vyšší teploty panelů.

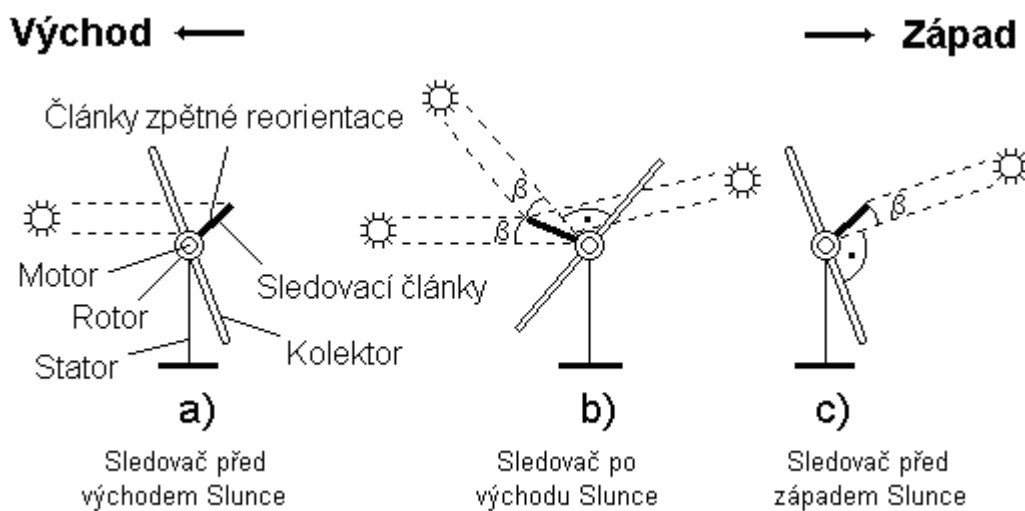
Hřebenový koncentrátor namontovaný na pohyblivý stojan může zdvojnásobit každoroční množství vyrobené energie v porovnání s konfigurací, ve které jsou solární panely namontovány na pevné stojany. Navýšení 100% je možné v podmínkách suchého slunečního podnebí (např. severní Afrika, Arábie, Arizona, západní Austrálie a pod.), navýšení 70% je možné v podmínkách střední Evropy. Navýšení čerpací kapacity může dosáhnout až 150%.

Roční porovnání výroby energie mezi pevnými fotovoltaickými panely a panely montovanými na pohyblivý stojan s polární osou a s hřebenovým koncentrátozem bylo prováděno poblíž Prahy ( $50^\circ$  severní šířky). Výsledky ukazují, že za jasného červencového dne ( $6,8 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{den}$ ) bylo naměřeno navýšení množství vyrobené energie 107%. [7]

### 1.7.2 Vyráběné jednoosé sledovače slunce

S jednoduchou konstrukcí sledovače Slunce přišla firma Poulek Solar. Pracuje s pomocnými solárními panely připojenými přímo k pohonnému elektromotoru. Zařízení pro orientaci kolektorů solární energie se skládá ze slunečního článku a pomocného slunečního článku, které jsou zapojeny antiparalelně, jsou rovnoběžné a mají přibližně stejné parametry. Články jsou připojeny k reverzibilnímu stejnosměrnému motoru, který je umístěn v duté rotační ose zařízení a je opatřen samosvorným převodem. Sluneční články jsou připevněny k rotační ose zařízení, přičemž jejich rovina je odchýlena od roviny kolmé ke kolektorům solární energie a rovnoběžné s rotační osou zařízení o úhel cca.  $20^\circ$  k východu. Funkce zařízení s touto konfigurací je následující. Před východem Slunce je zařízení orientováno k západu, tedy v poloze, ve které ukončilo činnost odpoledne předchozího dne. Po východu Slunce dopadá sluneční záření na pomocný sluneční článek připojený k motoru. Motor napájený pomocným slunečním článkem otáčí zařízení za Sluncem k východu, dokud se úhel  $\beta$  slunečních paprsků dopadajících na pomocný sluneční článek nezmenší natolik, že síla motoru napájeného pomocným slunečním článkem poklesne pod prahovou sílu potřebnou pro orientaci zařízení. Zařízení využívá

záporné zpětné vazby. Zařízení je poté orientováno přibližně k východu. Slunce postoupí na obloze o úhel  $2\beta$  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 směrem k západu dopadá sluneční záření na sluneční článek připojený k motoru. Motor napájený slunečním článkem otáčí zařízení k západu za Sluncem, dokud se úhel  $\beta$  slunečních paprsků dopadajících na sluneční článek nezmenší natolik, že síla motoru napájeného slunečním článkem poklesne pod prahovou sílu potřebnou pro orientaci kolektoru.



Obr. 13 Princip otáčení jednoosého sledovače Slunce firmy Poulek Solar [7]

výhody otočných stojanů proti stojanům pevným

- větší celoroční zisk energie
- dodávají rovnoměrně plný výkon od rána do večera (ne pouze okolo poledne)
- cca o 50% větší čerpací kapacita při pohonu čerpadel
- nižší usazování nečistot, které snižují účinnost fotovoltaických panelů na otočných konstrukcích.

Přesnost sledování Slunce tohoto sledovače cca.  $\pm 10^\circ$ . Rozsah automatického natáčení kolektorů slunečního záření je cca.  $150^\circ - 2\beta$ . Rozsah automatického natáčení kolektorů větší než  $\pm 60^\circ$  se na zisku energie již prakticky neprojeví a nemá tedy téměř žádný význam.

Pokud ovšem bude delší dobu zataženo, na pomocné články nedopadne zřejmě tolik záření a systém přestane optimálně fungovat, nebo nebude natáčet vůbec. [7]

## 1.8 Vyrobí solární panely energii spotřebovanou ke své výrobě?

Během diskusí o možnostech solární energetiky často zaznívá námitka, že solární panely ke své výrobě spotřebují mnohem více energie, než dokáží za dobu své životnosti vyrobit. Tento mylný dojem vychází pravděpodobně z mnoho let starých údajů, z doby před masivním rozvojem sériové výroby solárních - fotovoltaických panelů. S růstem výrobních kapacit prudce klesají náklady na výrobu solárních panelů, a tak také klesá množství energie spotřebované pro jejich jednoho solárního panelu.

Čtyřstránkový dokument je závěrečnou zprávou studie, která posuzovala energetickou náročnost výroby dvou typů solárních panelů a zjišťovala dobu, za kterou tyto panely vyprodukují stejné množství elektrické energie, které se spotřebovalo během jejich výrobního procesu.

Pro výpočet byla použita průměrná doba oslunění 4,7 hodin denně (pro srovnání - průměr USA je 5 slunečných hodin za den), ze které vychází roční produkce energie 1700 kWh/m<sup>2</sup>/rok, hodnota obecně používaná při většině výpočtech. Druhým vstupem byly náklady výrobce panelů, firmy SSI (Siemens Solar Industries, California, USA). Z použitých údajů o nákladech firmy vyplývá, že pro výrobu solárních článků a panelů bylo v období října 1998 až března 1999 spotřebováno 20.000 MWh elektrické energie 90tisíc jednotek zemního plynu.

Za tuto dobu bylo vyprodukováno celkem 3.2 km křemíkového ingotu. Z tohoto množství byly vyrobeny fotovoltaické články o celkovém výkonu 8.6 MW. Z toho na fotovoltaické panely vyrobené v Kalifornii připadá 5.5 MW. Již velmi zjednodušeným propočtem  $8.6 \text{ MW} * 4.7 \text{ hodin/den} * 365$  dostáváme orientační množství energie, která vznikne ve vyprodukovaných solárních člancích za rok : 14.753 MWh. Jelikož údaj o spotřebě elektrické energie zahrnuje pouze období 1/2 roku, bude přibližná doba návratnosti spotřebované energie odpovídat poměru  $20.000 / 7376 = 2.72$  roku.

K této orientační hodnotě se přibližují i závěry zprávy, která přináší podrobný přehled o tok, kolik energie je spotřebováno na výrobu použitých materiálů jako je krystalický křemík, hliníkové rámy, krycí sklo, obalové materiály, plyny, stříbro, měděné

vodiče apod. Během výrobního procesu solárních panelů a na jednotlivé technologické operace včetně mechanických operací řezání, lepení, montáže panelů.

V závěru studie uvádí, že v případě solárního fotovoltaického panelu sc-Si SP75 je návratnost spotřebované energie 3.3 roku a v případě druhého modelu CIS ST40 je odpovídá tato doba 1.8 roku. Studie doporučuje pro zohlednění ne vždy optimálních podmínek provozu (účinnost je závislá na teplotě článků) a dalších ztrát v konvertoru při přeměně na 220V střídavých tuto dobu prodloužit ještě o 20-25 procent, takže v případě zmiňovaných článků bude 4.1 a 2.2 roku.

Dnes dosahovaná životnost panelů je 30 let, prodejci poskytují 20tiletou záruku. Solární panely dokáží, za dobu své životnosti vyprodukovat 7-9 krát více energie než se spotřebovalo na jejich výrobu.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 2 PRAKTICKÁ ČÁST

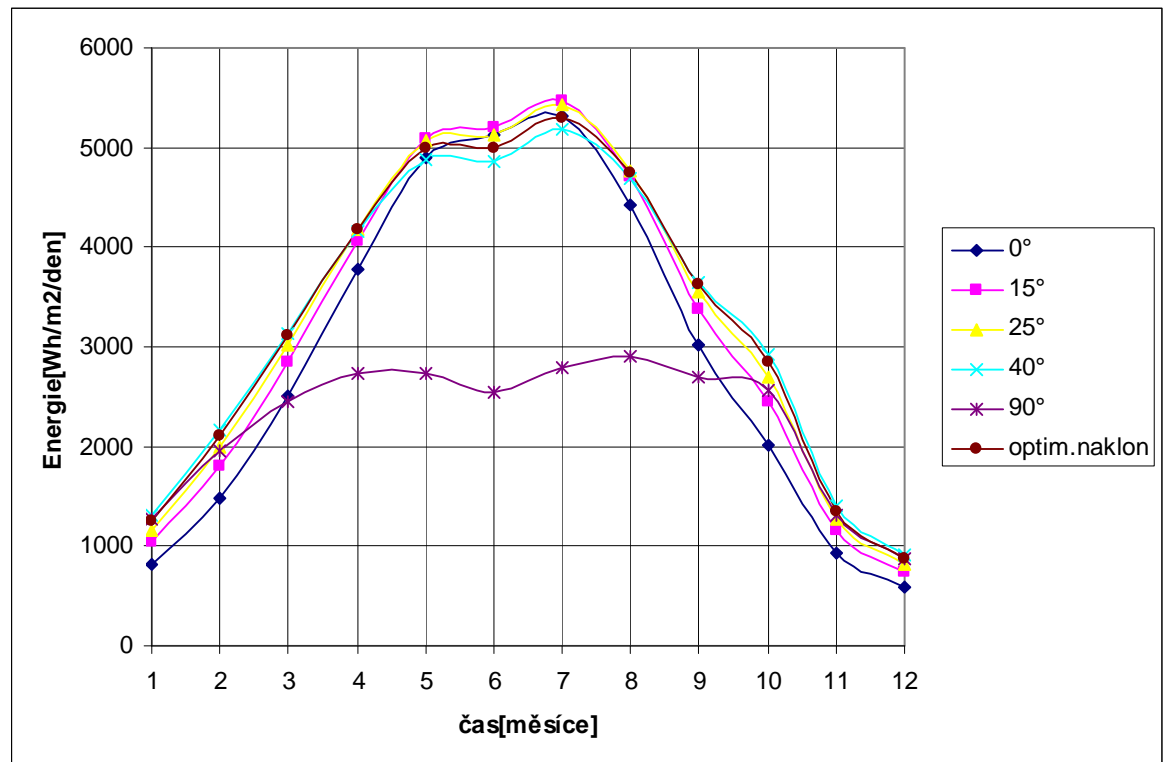
### 2.1 Teoreticky vypočítané hodnoty dopadajícího záření

Pro výpočet těchto hodnot byl využit Projekt Evropské unie aplikaci Sunbird fungující na stránkách <http://sunbird.jrc.it>. Výpočet je proveden pro souřadnice 49°13'37" sever, 17°39'53" východ : Zlín.

#### 2.1.1 Energie dopadajícího záření ve Zlíně

měsíc	Energie záření při naklonění FV modulů[Wh/m2/den]						optim.náklon[°]	
	0°	15°	25°	40°	90°	optim.náklon		
1	816	1041	1166	1305	1269		1257	63
2	1480	1811	1988	2171	1961		2111	57
3	2502	2851	3015	3141	2457		3108	45
4	3772	4070	4170	4156	2735		4186	31
5	4908	5081	5078	4882	2741		4988	19
6	5123	5200	5134	4854	2553		4992	13
7	5316	5460	5427	5177	2786		5306	17
8	4422	4701	4773	4694	2901		4753	28
9	3011	3383	3548	3651	2702		3632	41
10	2010	2454	2689	2925	2568		2848	55
11	927	1149	1269	1400	1312		1355	60
12	590	738	820	911	878		880	62
Rok	<b>2915</b>	<b>3169</b>	<b>3264</b>	<b>3279</b>	<b>2240</b>		<b>3291</b>	<b>34</b>

Tab. 1: Energie záření při naklonění FV modulů



Obr. 14 : Energie záření v závislosti na naklonění FV modulů

Jak je z obrázku patrné, až na kolmou plochu dopadá podobné množství sluneční energie, není zde však zohledněn optimální úhel dopadajícího záření pro fotovoltaické panely.

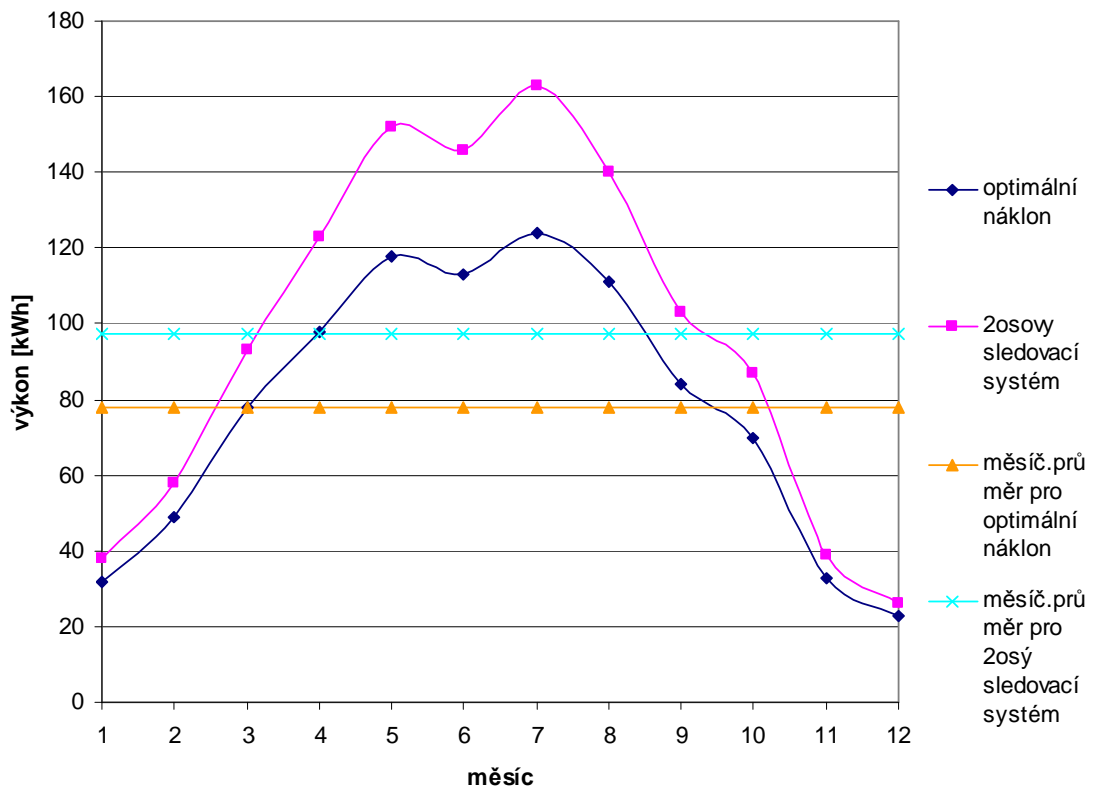
### 2.1.2 Výpočet 1kW solární elektrárny umístěné ve Zlíně

- Lokalita: 49°13'37" sever, 17°39'53" východ, nadmořská výška: 213 m.n.m.,
- Nominální výkon FV systému: 1.0 kW (technologie krystalického křemíku)
- Sklon modulů: 34.0° (optimální)
- Orientace (azimut) modulů: -1.0° (optimální)
- Odhadované ztráty vlivem teploty: 6.8% (s použitím databáze teplot)
- Odhadované ztráty vlivem úhlové odrazivosti: 2.9%
- Jiné ztráty (kabely, měnič, atd.): 14.0%
- Celkové ztráty systému: 23.7%



Měsíc	Výroba za měsíc (kWh)statického panelu náklon=34 °; orientace=-1 °	Výroba za měsíc (kWh) 2osého sledovacího systému
1	32	38
2	49	58
3	78	93
4	98	123
5	118	152
6	113	146
7	124	163
8	111	140
9	84	103
10	70	87
11	33	39
12	23	26
celý rok	77,75	97,33

Tab.2: Výkon fotovoltaického systému 1kW



Obr. 15 Výkon 1kW fotovoltaické elektrárny ve Zlíně

### 2.1.3 Cena a návratnost investice do fotovoltaického síťového systému 1kW

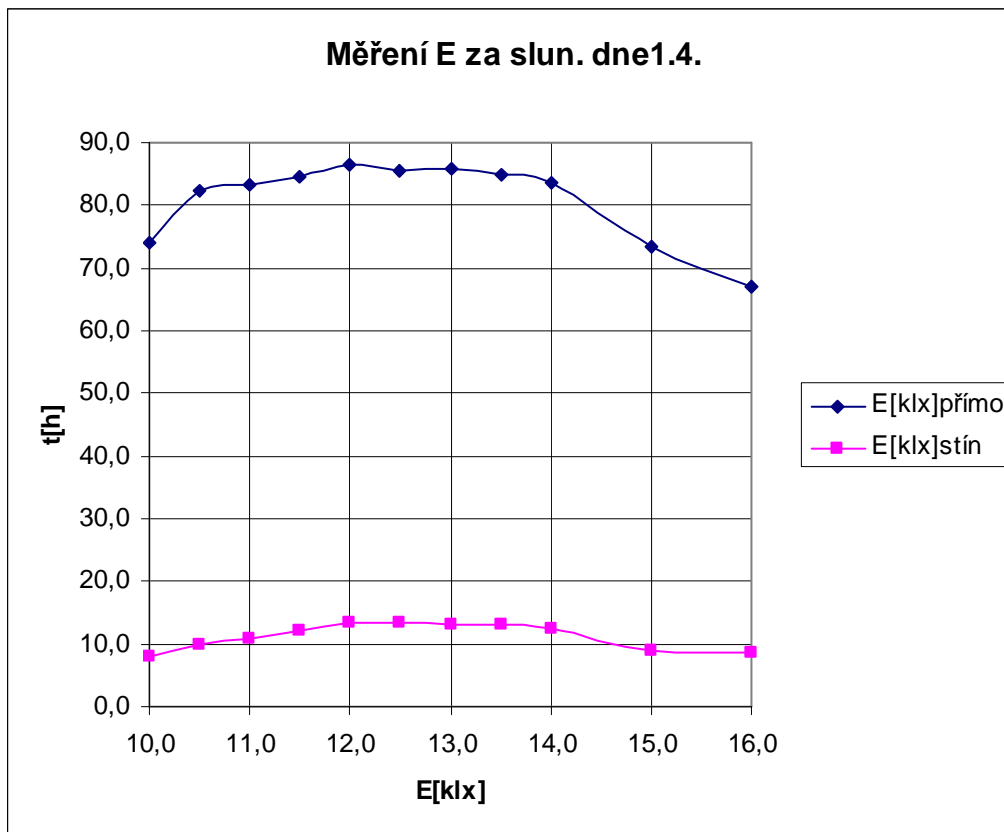
Fotovoltaický systém o výkonu 1 kW s jednoosým sledovačem, měničem a instalací stojí přibližně do 130000 Kč, státem 15 let garantovaná nejnižší výkupní cena za 1kWh je 12,50Kč. Jednoduchým výpočtem při výkonu 100 kWh ročně je 11 let. Při životnosti fotovoltaických panelů 30 let (výrobci běžně dávají 20 let záruky) se investice při současných podmínkách vrátí při bezproblémovém provozu zhruba dvakrát.

## 2.2 Měření intenzity osvětlení jarního slunečního dne

Měřením bylo třeba zjistit, jak velký rozdíl je mezi intenzitou přímého slunečního záření a difusní intenzitou slunečního záření. Měření bylo provedeno luxmetrem za jasného počasí 1.4. . Čidlo bylo namířeno přímo na Slunce, bylo měřeno maximální možné osvětlení a odečtena hodnota. Poté bylo čidlo ve výšce asi 20 cm nad čidlem zastíněno úzkým předmětem (použil jsem luxmetr). Proto na čidlo dopadalo pouze difusní světlo.

čas[hodiny]	E[klx]přím o	E[klx]stín
10,0	74,0	8,0
10,5	82,5	10,0
11,0	83,3	11,0
11,5	84,5	12,0
12,0	86,5	13,5
12,5	85,5	13,5
13,0	86,0	13,0
13,5	85,0	13,0
14,0	83,5	12,5
15,0	73,5	9,0
16,0	67,0	8,5

Tab.3: Intenzity osvětlení jarního slunečního dne



*Obr. 16 Měření Intenzity osvětlení jarního slunečného dne*

## 2.3 Fotodioda BPW 34

### 2.3.1 Charakteristika fotodiody BPW 34

Vlastnosti :

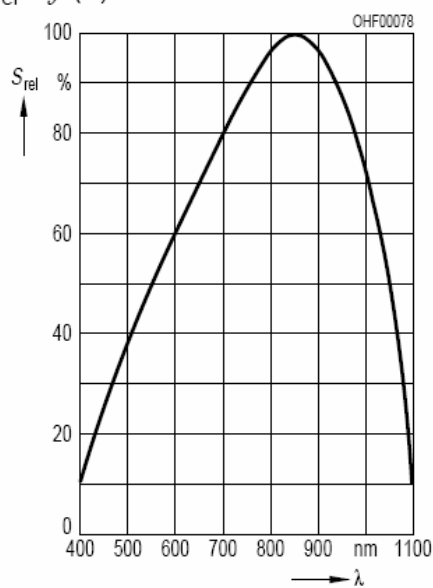
- křemíková PIN fotodioda
- určená pro aplikace v rozmezí vlnových délek od 400 do 1100 nm (viditelné spektrum)
- maximální senzitivita 850 nm
- typicky 20 ns doba otevření
- DIL plastové pouzdro s vysokou tvrdostí
- SMT provedení možno pájet vlnou, nebo pájení infra přetavením

Aplikace:

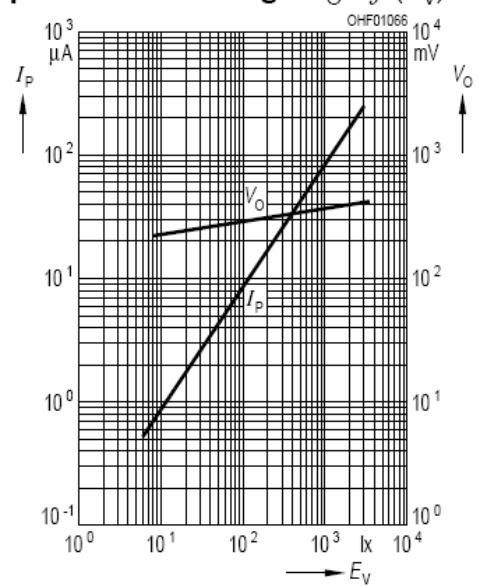
- optické přerušovače
- IR dálkové ovladače
- průmyslová elektronika
- pro řízení a kontrolu zapojení [8]

### Relative Spectral Sensitivity

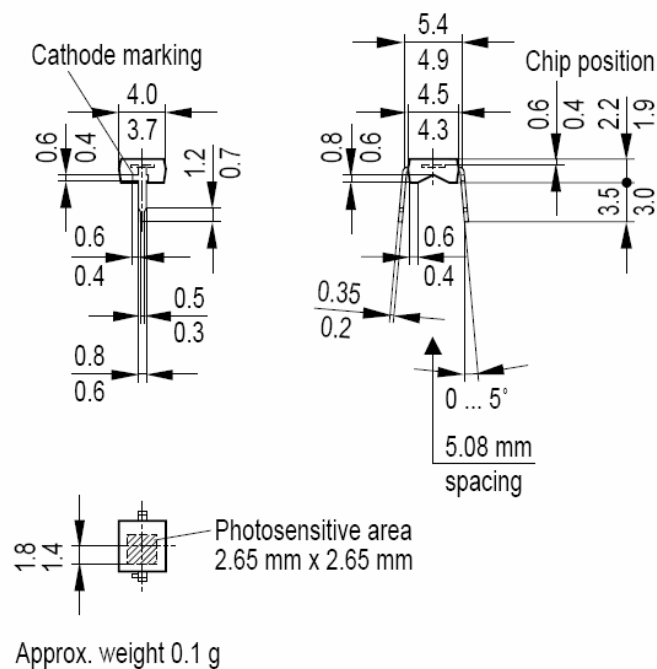
$$S_{\text{rel}} = f(\lambda)$$



### Photocurrent $I_P = f(E_V)$ , $V_R = 5 \text{ V}$ Open-Circuit Voltage $V_O = f(E_V)$



Obr. 17 Relativní spektrální senzitivita a fotoelektrický proud fotodiódou BPW 34[8]



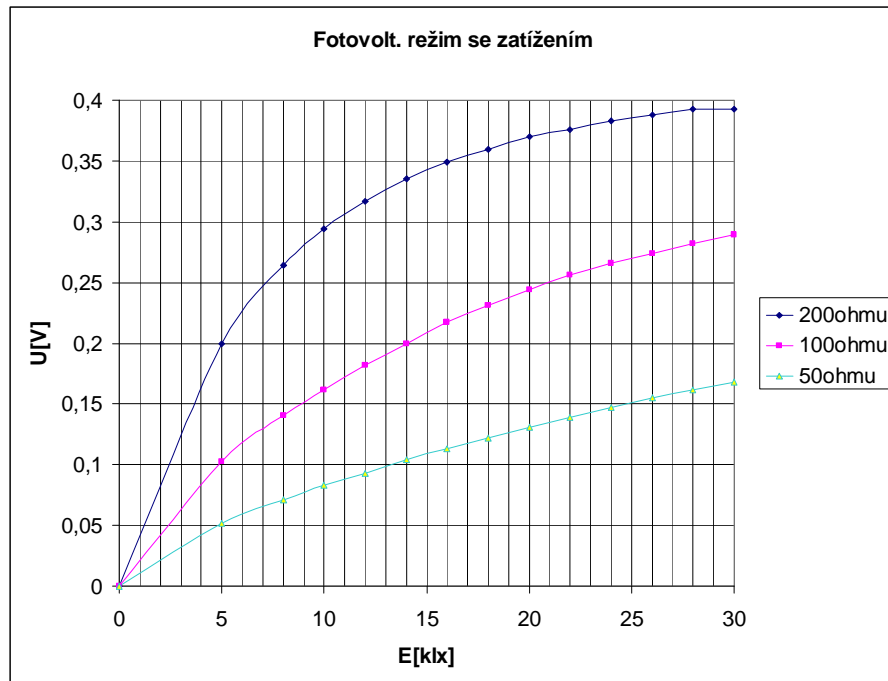
Obr. 18 Rozměry diody BPW 34[8]

### 2.3.2 Měření fotodiody BPW 34 ve fotovoltaickém režimu

Fotodioda je v závěrném připojena na voltmetr. K fotodiodě je paralelně připojen rezistor. Bez rezistoru i při velmi malém osvětlení dosáhne maximálního napětí a tím pádem je pro vyvíjené čidlo toto zapojení nevhodné.

	200ohm	100ohm	50ohm
E[lx]	U[V]	U[V]	U[V]
0,02	0	0	0
5	0,2	0,103	0,052
8	0,264	0,141	0,071
10	0,294	0,162	0,083
12	0,317	0,182	0,093
14	0,335	0,2	0,104
16	0,349	0,217	0,113
18	0,36	0,231	0,122
20	0,37	0,244	0,131
22	0,376	0,256	0,139
24	0,383	0,266	0,147
26	0,388	0,274	0,155
28	0,393	0,282	0,162
30	0,393	0,289	0,168

Tab.4 :Napětí na diodě v závislosti na osvětlení při různých hodnotách paralelního rezistoru



Obr. 19 Napětí na diodě v závislosti na osvětlení při různých hodnotách paralelního rezistoru

Fotovoltaiický režim se pro použití čidla jeví jako nevhodný. Výstup z diody bude připojen na 8bitový A/D převodník s rozsahem 5V a bylo by třeba použít operační zesilovače čímž by se celé zapojení stalo zbytečně složitým. Navíc charakteristika není vůbec lineární.

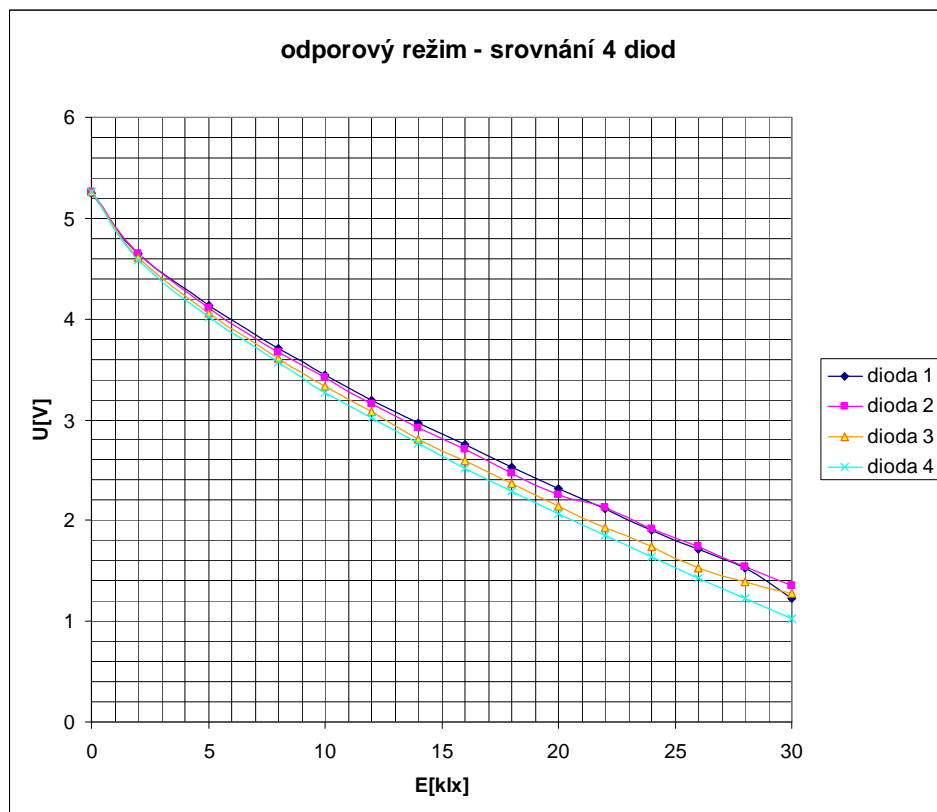
### 2.3.3 Měření fotodiody BPW 34 v odporovém režimu

Fotodioda v závěrném směru je v sériovém zapojení s odporem  $1k\Omega$  připojena na ss zdroj napětí 5V. Paralelně k fotodiodě je voltmetr, kterýmž se měří napětí v závislosti na intenzitě osvětlení.

	dioda1	dioda2	dioda3	dioda4
E [klx]	U [V]	U [V]	U [V]	U [V]
0,02	5,253	5,257	5,255	5,255
2	4,649	4,649	4,604	4,588
5	4,128	4,11	4,058	4,016
8	3,71	3,672	3,604	3,564
10	3,445	3,42	3,331	3,269
12	3,199	3,162	3,079	3,015

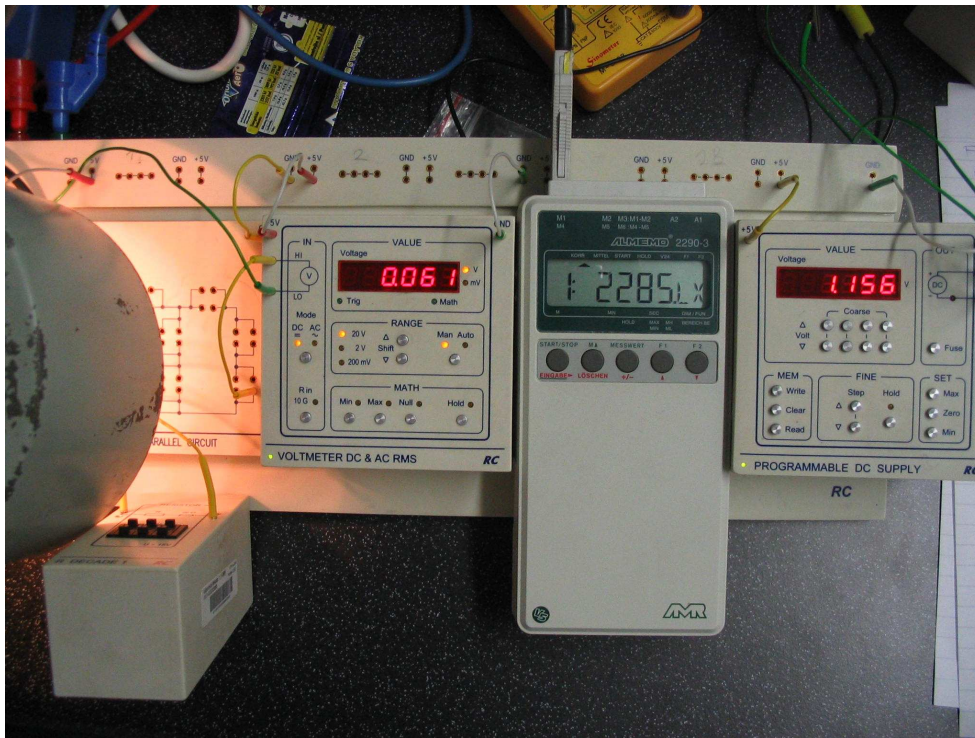
14	2,972	2,923	2,808	2,774
16	2,751	2,7	2,593	2,52
18	2,526	2,47	2,366	2,294
20	2,32	2,254	2,145	2,069
22	2,113	2,13	1,927	1,851
24	1,903	1,922	1,74	1,636
26	1,713	1,737	1,523	1,422
28	1,523	1,539	1,391	1,223
30	1,231	1,348	1,278	1,028

Tab.5 :Napětí na diodách v závislosti na osvětlení



Obr. 20 Napětí na diodách v závislosti na osvětlení

Odporový režim je, jak je vidět z grafu, pro připojení k 8bitovému A/D převodníku s rozlišením 5V téměř ideální. Oproti fotovoltaickému režimu je mnohem lineárnější a hlavně pokud jde o rozdíl mezi difusním osvětlením a osvětlením přímým, je zde rozdíl přibližně 2V.



Obr. 21 Pracoviště při měření fotodiody BPW 34

## 2.4 Mikrokontrolér Motorola HC08

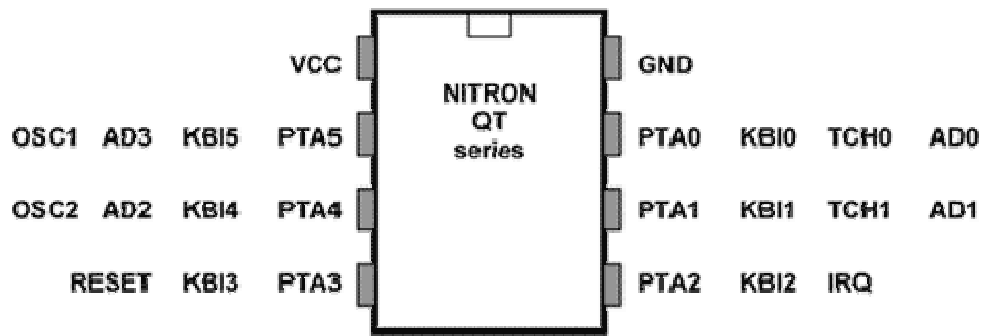
Mikrokontroler NITRON je jedním z nejmenších a nejnovějších zástupců rodiny Motorola HC08. Jeho předpokládaná nasazení jsou jednoduché samostatné aplikace, jako například řízení pečicí trouby, jednoduché řízení otáček motoru, alarmy, dálková ovládnání apod.

### 2.4.1 Základní charakteristiky

- pouzdro 8pin nebo 16pin DIL či SOIC (16pin též TSSOP)
- vnitřní generátor hodin (taktování CPU na 13,8MHz, tedy 3,2MHz BUSCLK)
- možnost externího taktování až do 32MHz, t.j. 8MHz BUSCLK (pro 3V provoz pouze 16MHz)
- napájení 2,7-5,5V
- spotřeba (napájení 5V, BUSCLK 8MHz): 7mA, v režimu se sníženou spotřebou: pod 100nA
- standardní procesorové jádro CPU08
- paměť FLASH 1,5-4kB, paměť RAM 128B
- přímá podpora ladění a programování FLASH v aplikaci (po sériové lince)



- 6 resp. 14 vývodů k dispozici uživateli
- dvoukanálový IC/OC/PWM časovač
- A/D převodník 8bit (jeden převod za 17us) s čtyřkanálovým multiplexorem
- šestivstupové klávesnicové rozhraní
- programovatelný externí IRQ a RESET



Obr. 22 Vývody mikrokontroléru Nitron [9]

Mikrokontrolery NITRON typ QT mají 8 vývodů, typ QY 16 vývodů. Z toho jsou vždy dva napájecí a zbývajících 6 resp. 14 vývodů je volně k dispozici uživateli. Na většinu z nich jsou kromě obvyklých GPIO linek vyvedeny signály vnitřních periférií (časovač, A/D, ...). S ohledem na množství takových signálů a omezený počet vývodů je nemožné každému signálu přiřadit vlastní vývod mikrokontroleru. Řešení naznačuje obrázek, ke každému vývodu náleží skupina signálů, z níž se podle priority vybírá, který signál bude na vývod připojen.

#### 2.4.2 CPU

Stejně jako každý jiný zástupce rodiny mikrokontrolerů HC08 jsou i typy QT a QY (NITRON) vystavěny na jádře CPU08. Mezi typické vlastnosti jádra CPU08 patří minimum pracovních registrů (CPU obsahuje jen akumulátor, indexovací registr, SP, PC a příznakový registr), což je ale vyváženo rychlým a flexibilním přístupem do paměti (16 adresovacích módů). Lze pracovat s proměnnými na přímých adresách, indexovat, pracovat s proměnnými na zásobníku, či tyto techniky kombinovat. To je zároveň podpořeno jednotným adresním prostorem pro paměť dat, programu i I/O periférie. Instrukční sada tak vychází jednodušší a přehlednější.

### 2.4.2.1 Charakteristika CPU08

- von Neumannova architektura
- periferie mapovány do paměťového prostoru
- minimum registrů
- rychlý (jednocyklový) přístup do paměti jedním z 16 adresovacích módů
- podpora proměnných na zásobníku
- až dva přístupy do paměti v jedné instrukci
- kompatibilita s HC05 na úrovni zdrojového kódu (směrem vzhůru)
- taktování CPU a sběrnice 0 - 8MHz
- běžné instrukce 1-3T, složitější do 7T
- podpora vyšších jazyků jednotnou paměťovou strukturou
- hardwarové násobení a dělení
- přepínání celého obvodu do režimu se sníženou spotřebou (WAIT a STOP) a následné rychlé probuzení

### 2.4.3 FLASH

Ze zajímavých vlastností HC08 stojí za zmínku paměť FLASH. Zároveň s vlastní pamětí je na čipu instalován jako periferie též programátor včetně nábojové pumpy, takže lze jednak mikrokontroler programovat bez potřeby speciálního programátoru a zvláštního napájení a navíc může i uživatelský program během normální činnosti s pamětí FLASH pracovat. Může takto emulovat paměť EEPROM, zapisovat do FLASH provozní informace, či sám sebe přepsat novější verzí (lze implementovat bootstrap, apod.).

#### 2.4.3.1 Vlastnosti FLASH

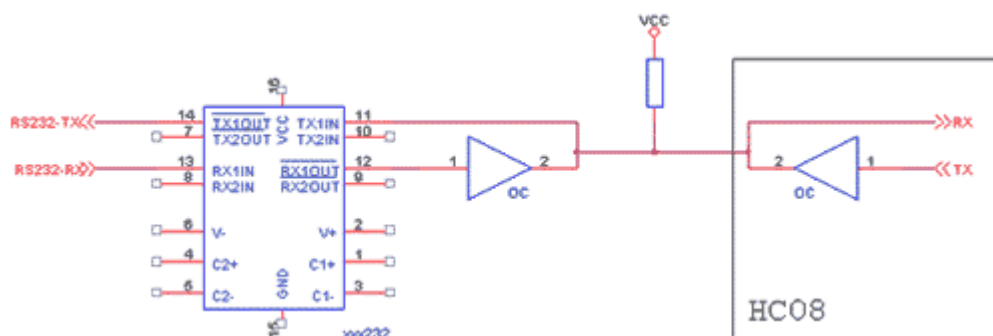
- vnitřní programátor
- mazání po stránkách velikosti 64/128B za 1ms
- mazání celé FLASH za 4ms
- programování po bytech (30us/Byte)
- lze emulovat EEPROM

- část paměti lze uzamknout proti nechtěnému přepisu (odemknutí je možné za zvláštních podmínek)
- garantováno 10000 přepisů a 10 let udržení informace v celém teplotním rozsahu - 40 až 125°C (za příznivějších podmínek pak vychází počet přepisů a doba uchování informace o několik řádů větší)
- ve spolupráci s MON08 je paměť FLASH programovatelná např. po sériovém portu

#### 2.4.4 MON08 - Ladění na čipu (ICD)

Jednou z předností mikrokontrolerů řady HC08, tedy i modelů NITRON, je podpora ladění a programování přímo v aplikaci, tzv. In Circuit Development – ICD. To umožňuje MON08 – vestavěný monitor. Za normálních okolností, kdy HC08 pracuje v uživatelské aplikaci, jsou k dispozici všechny vývody uživateli (není žádný trvale blokový pin např. pro JTAG apod.). V momentě, kdy si uživatel vyžádá přepnutí do MONITOR MODE, přestane se vykonávat uživatelský program a spustí se vnitřní monitor (uložený v ROM mikrokontroleru). Požadavek na přepnutí do MONITOR MODE se dává mikrokontroleru nastavením vstupů do požadovaného stavu v momentě zapnutí napájení. Aby nemohlo dojít k náhodnému nastartování monitoru, je na vývodu IRQ požadováno nestandardní napětí  $V_{CC}+2,5V$ .

Po nastartování v MONITOR MODE mikrokontroler očekává komunikaci s nadřazeným systémem (nejčastěji vývojové prostředí v PC). Vlastní komunikace je realizována velmi jednoduše, monitor vyhradí jeden vývod pro obousměrnou komunikaci s rychlostí 1/1024 hodinového taktu (obvykle se užívá 9600bd). Lze takto posílat monitoru příkazy jako zápis do paměti, čtení z paměti či spuštění nějakého programu. Tím programem pak může být například program pro vypalování FLASH, ladění software apod. Následující obrázek schematicky znázorňuje princip komunikace s monitorem.



Obr. 23 Komunikace s HC08 monitorem [9]

S ohledem na to, že příkazy monitoru i příkladová řešení ladicího adaptéru jsou volně k dispozici, může uživatel kromě vlastního ladění použít tuto formu komunikace s mikrokontrolerem i pro vlastní potřebu jako servisní vstupy, výměnu firmware, diagnostiku zařízení, nastavování provozních parametrů či čtení stavových informací.

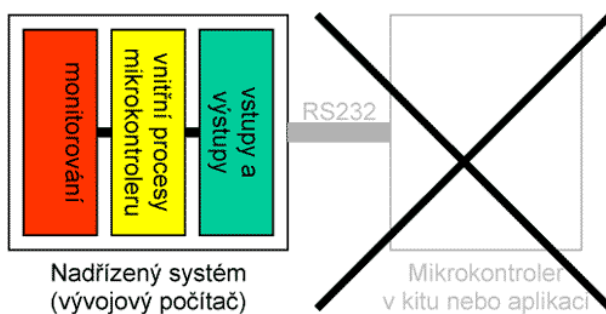
#### 2.4.4.1 Programování a podpora vývoje

Mikrokontrolery HC08 se běžně programují v ASM a/nebo C. Pro oba jazyky jsou k dispozici vývojové prostředky buď zcela zdarma, nebo zdarma s omezením velikosti výsledného kódu.

#### 2.4.4.2 ASM

Pro vývoj software pro platformu HC08 v assembleru je volně k dispozici například vývojový systém Code Warrior. Kompletní prostředí ICS08 je zdarma a lze jej stáhnout z výše zmíněné adresy. Pro svoji jednoduchost a přehlednost jej lze doporučit zvláště pro první kroky s mikrokontrolery HC08, jejich studia a vývoje menších projektů. Prostředí obsahuje vedle editoru, kompilátoru a programátoru rovněž úplný obvodový simulátor, který simuluje kromě jádra procesoru též všechny periferie. Lze tak bez účasti hardware testovat různé funkce, rutiny nebo celé části kódu. Výhoda simulátoru je, že simulace probíhá velmi rychle a uživatel má nad dějem plnou kontrolu.

Schematicky lze situaci znázornit například takto:

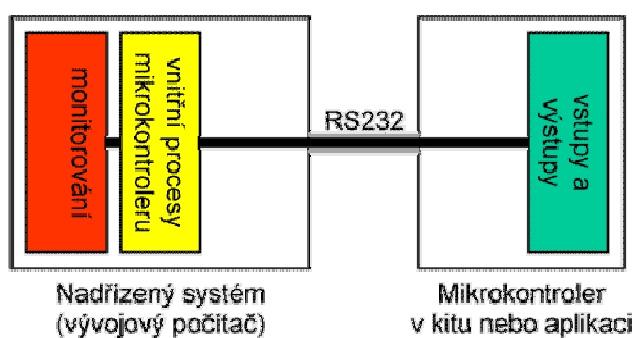


Obr. 24 simulace programu [9]

Další součástí prostředí je ne zcela obvyklý nástroj tzv. In-circuit-simulator (ICS). Je to ve své podstatě simulátor, ale vlastní vstupy a výstupy obvodu nejsou simulovány,

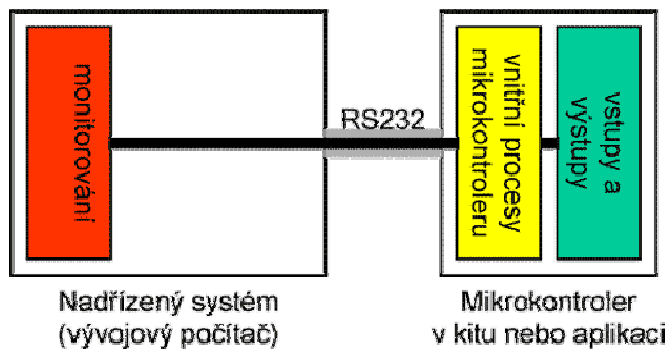
nýbrž přebírány z reálné aplikace. ICS se při startu spojí pomocí MON08 s aplikací (např. s kitem nebo s mikrokontrolerem ve vyvíjeném zařízení přes MON08 adaptér) a během trasování přebírá vstupní hodnoty (logické i analogové) z ní a výstupní hodnoty vysílá do ní. Lze takto testovat algoritmy, které nějak spolupracují s okolím mikrokontroleru (čtení klávesnice, ovládání display, apod.).

Stejně jako úplný simulátor i ICS simuluje vnitřní činnost mikrokontroleru, a to včetně paměti FLASH, takže před započítím simulace není třeba program do paměti FLASH nahrávat.



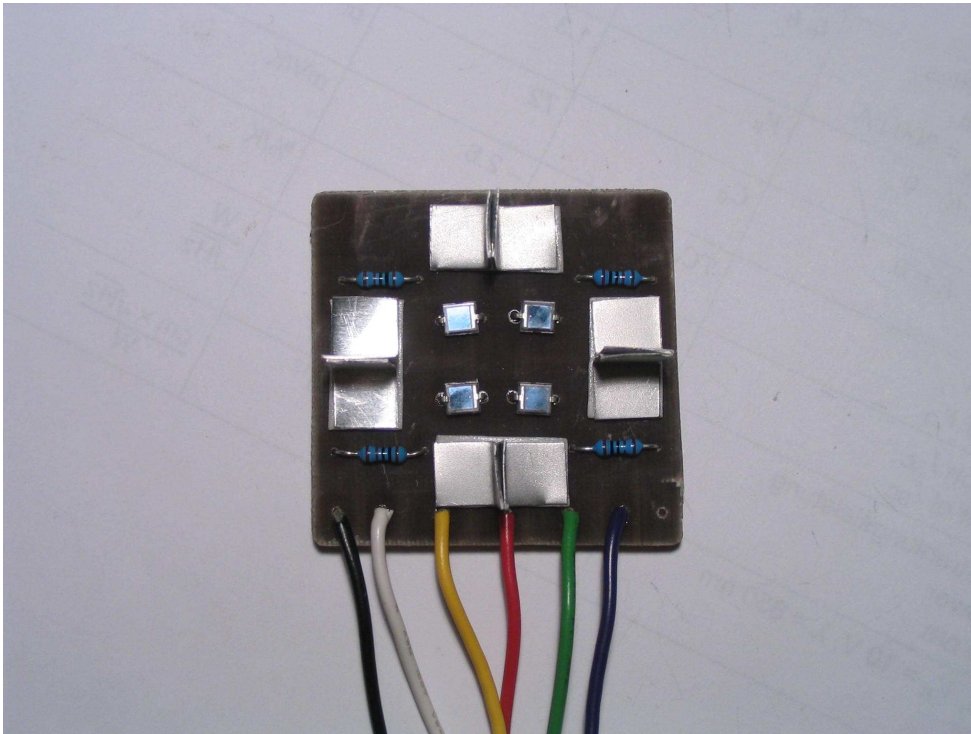
Obr. 25 Simulace s použitím reálných vstupů/výstupů [9]

Posledními dvěma moduly v ICS08 jsou programátor, který za pomoci MON08 naprogramuje či přečte paměť FLASH mikrokontroleru, a debugger. Debugger se chová obvyklým způsobem, tedy trasuje (či spouští a monitoruje) běh programu přímo v mikrokontroleru samotném. Oproti simulátoru tedy vlastně monitoruje činnost mikrokontroleru, ale žádnou z jeho funkcí nesimuluje.



Obr. 26 monitorovací režim mikrokontroléru [9]

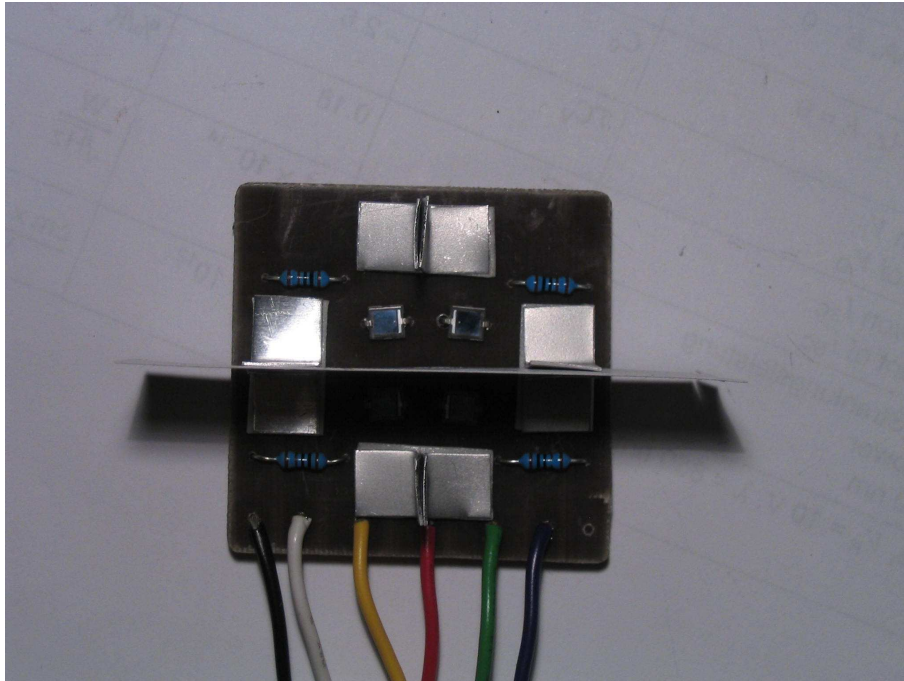
## 2.5 Čidlo pro řízení otáčení solárních panelů za Sluncem



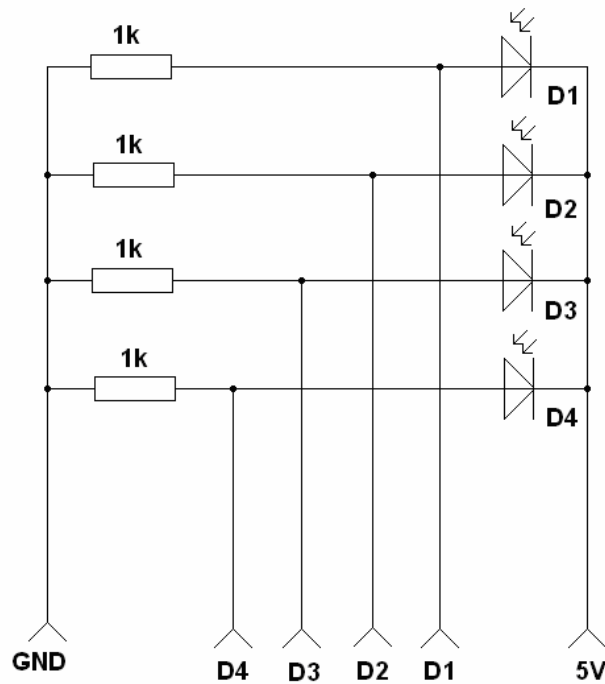
Obr. 27 Čidlo pro řízení otáčení solárních panelů za Sluncem bez přepážek mezi diodami

### 2.5.1 Princip činnosti čidla pro řízení solárních panelů za Sluncem

Čidlo je založeno na zastiňování čtyř diod zapojených v závěrném směru v odporovém režimu. Když čidlo není kolmo ke Slunci, jsou zastíněny 2 až tři diody. Jelikož i při zatažené obloze je velký rozdíl odporu fotodiody při maximální možném osvětlení a osvětlení difusním (viz obrázek 27), mikrokontrolér vyhodnotí rozdíly napětí na diodách a podle toho otáčí pomocí motorů v obou osách tak dlouho dokud, na diodách není přibližně stejné napětí. Je možné velice lehce nastavit hysterezi celého procesu, čili jak často a s jakou citlivostí bude otáčení probíhat. Buďto přímo v programu, nebo mechanicky výškou přepážky mezi diodami.



Obr. 28 Ukázka zastínění diod při odchýlení od kolmice záření



Obr. 29 Schéma čidla pro řízení otáčení solárních panelů

### 2.5.2 Výhody čidla pro řízení otáčení solárních panelů

- Náklady na součástky čidla jsou cca 100 Kč za samotné čidlo a cca 65 Kč za mikrokontroler
- Jednoduše nastavitelná hystereze natáčení
- Funguje i při zatažené obloze
- Jednoduchost a mechanická odolnost předurčují čidlu dlouhou životnost a spolehlivost (diody i mikrokontroler i v podmínkách vyšších teplot mají životnost cca 30let)



## ZÁVĚR

Prvním cílem této bakalářské práce bylo vytvořit přehlednou rešerši principu, provedení, užitnosti a výtěžnosti solárních systémů jak obecně, tak pro konkrétní oblast (Zlín), dále historií fotovoltaiky, nastíněním směru vývoje fotovoltaiky, principem fotovoltaického článku a jeho možných systémů tak různého použití a principů zvyšování výkonu takovýchto fotovoltaických systémů. Velice důležitou stránkou je též stránka ekonomická a ekologická.

Druhým cílem této práce bylo vyvinout čidlo, které umožní zvýšení výkonu fotovoltaických systémů řádově do 2kW výkonu. Bylo nastíněno, jak je tento problém dnes řešen v komerčních aplikacích . Bylo vytvořeno čidlo, které by bylo alternativou k již používaným řešením a byl pomocí výukového systému Lego model který je ovládán právě tímto čidlem. Celková realizace se solárním panelem celou mechanikou je nad rámec této práce. Pouze bylo ověřen princip vyvinutého čidla.

## ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

First target of this essay was to create transparent recherche of the principle, implementation, utility and recovery factor of solar systems generally and also for concrete locality (Zlin)., than history of photovoltaics by describing direction of developing of photovoltaics, barrier-layer photocell principle and its possible systems and also several types of usage and principles of efficiency increase such a photovoltaic systems. Very important is also economical and ecological side. Second target of the essay was to work up sensor, that will enable increase efficiency of barrier-layer photocell and its possible systems to 2 kW efficiency. It was described, how this problem is solved in current commercial applications.

The sensor was created, that was alternative to already used solutions and with help of educational system Lego model is operated right with this sensor. Overall implementation with the solar panel with whole mechanics is over the frame of this essay. Only the principle of developed sensor was verified.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
- [2] [www.czrea.org](http://www.czrea.org)
- [3] [www.sciam.com](http://www.sciam.com)
- [4] [www.chmu.cz](http://www.chmu.cz)
- [5] [tf.czu.cz/~libra/hronov.htm](http://tf.czu.cz/~libra/hronov.htm)
- [6] [www.eru.cz/](http://www.eru.cz/)
- [7] [www.fotovoltaika.cz](http://www.fotovoltaika.cz)
- [8] datasheet BPW 34 OSRAM (2000-01-01)
- [9]
- [10]
- [11]
- [12]
- [13]
- [14]
- [15]

Seznam použitých symbolů a zkratk

FV Fotovoltaický.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Nejlepší výkony daných fotovoltaických článků [3] .....	14
Obr. 2 Energie a počet fotonů v závislosti na vlnové délce [2] .....	15
<i>Obr. 3 Uvolňování páru elektron-díra [2] .....</i>	<i>16</i>
Obr. 4 Konstrukce fotovoltaického článku první generace [2].....	16
Obr. 5 Konstrukce solárního panelu[2].....	17
Obr. 6 Schéma zapojení hybridního systému [2].....	19
Obr. 7 Schéma zapojení síťového systému [2] .....	20
Obr. 8 Sluneční záření v ČR – kWh/m <sup>2</sup> (dopad na vodorovnou plochu)[4].....	21
Obr. 9 Předpověď spotřeby el.energie na Zemi [5] .....	22
Obr.10 Rozložení spotřeby elektrické energie v České republice v roce 2006 v závislosti na čase [6].....	23
Obr. 11 Výroba elektrické energie na území České republiky v roce 2005 [6].....	23
Obr. 12 <i>Příčný řez solárním fotovoltaickým systémem s hřebenovým koncentrátorem záření [7].....</i>	<i>25</i>
Obr. 13 <i>Princip otáčení jednoosého sledovače Slunce firmy Poulek Solar [7] .....</i>	<i>27</i>
Obr. 14 Energie záření v závislosti na naklonění FV modulů .....	32
Obr. 15 Výkon 1kW fotovoltaické elektrárny ve Zlíně .....	33
Obr. 16 Měření Intenzity osvětlení jarního slunečního dne .....	35
Obr. 17 Relativní spektrální senzitivita a fotoelektrický proud fotofiodou BPW 34[8].....	36
Obr. 17 Rozměry diody BPW 34[8] .....	37
Obr. 19 Napětí na diodě v závislosti na osvětlení při různých hodnotách paralelního rezistoru .....	38
Obr. 20 Napětí na diodách v závislosti na osvětlení.....	39
Obr. 21 Pracoviště při měření fotodiody BPW 34 .....	40
Obr. 22 Vývody mikrokontroléru Nitron [9].....	41
Obr. 23 Komunikace s HC08 monitorem [9] .....	43
Obr. 24 simulace programu [9].....	44
Obr. 25 Simulace s použitím reálných vstupů/výstupů [9].....	45
Obr. 26 Monitorovací režim mikrokontroléru [9] .....	45
Obr. 27 Čidlo pro řízení otáčení solárních panelů za Sluncem bez přepážek mezi diodami .....	46

Obr. 28 Ukázka zastínění diod při odchýlení od kolmice záření.....	47
Obr. 29 Schéma čidla pro řízení otáčení solárních panelů.....	47

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1: Energie záření při naklonění FV modulů</i>	31
<i>Tab.2: Výkon fotovoltaického systému 1kW</i>	33
<i>Tab.3: Intenzity osvětlení jarního slunečného dne</i>	34
<i>Tab.4 :Napětí na diodě v závislosti na osvětlení při různých hodnotách paralelního rezistoru</i>	37
<i>Tab.5 :Napětí na diodách v závislosti na osvětlení</i>	38

## SEZNAM PŘÍLOH

Zdrojový kód pro hc08 :ovládání motorů

## PŘÍLOHA P I: ZDROJOVÝ KÓD PRO HC08 :OVLÁDÁNÍ MOTORŮ

```
m_mot_off EQU %00001111 ; maska mot1 - zhasnutí
```

```
blik rmb 1
```

```
CLI ; enable interrupts
```

```
mainLoop:
```

```
NOP
```

```
mov #$ff,PTFD ;
```

```
mov #%00001111,PTFDD ; PTF0 - PTF3 vystupni rezim
```

```
mov #%00000001,ATD1PE ; pin PTB0 prepnut do rezimu vstup
```

```
AD prevodniku
```

```
mov #%11000100,ATD1C ; inicializace prevodniku (AD zap, 10bit,  
zarovnani vpravo, ATD clock 2MHz)
```

```
opakuje lda PTFD
```

```
eor #m_LED_off
```

```
sta PTFD
```

```
mov #%00000000,ATD1SC ; spusteni prevodu - preruseni zakazano,  
jednorazovy prevod, kanal 0
```

```
nav1 lda ATD1SC ; cekej na dokonceni prevodu
```

```
and #%10000000
```

```
beq nav1
```



```

ldhx  ATD1RH          ; nacteme do reg. H:X vysledek prevodu
cphx  #112
bls   nav2
      mov            #1,blik
nav2  cphx            #266
      bls           nav3
      mov            #3,blik
nav3  cphx            #522
      bls           nav4
      mov            #5,blik
nav4  cphx            #767
      bls           nav5
      mov            #7,blik

nav5  jsr            cekej
      bra           opakuj

      feed_watchdog
      BRA           mainLoop

cekej PSHH            ; uloz pouzivane registry na zasobnik
      PSHX
      PSHA
      LDA            blik

```

```

n2    LDHX    #$FFFF
n1    AIX     #-1                ; H:X = H:X-1 (pozor, nenastavuje priznaky)
      feed_watchdog            ; reset watchdogu
      CPHX    #0                ; je H:X = 0?
      BNE     n1                ; pokud ne, skoc na n1
      DECA                    ; A = A - 1
      BNE     n2                ; je A=0? Pokud ne, skoc na n2
      PULA
      PULX
      PULH                    ; obnov puvodni obsah registru ze zasobniku
      RTS                    ; navrat z podprogramu

```