

Středoškolská odborná činnost 2007/2008

Obor 02 – fyzika

Solární panely

Autor:

Zdeněk Holub

Gymnázium Třebíč, Masarykovo nám. 9/116

647 01 Třebíč, 4. ročník

Konzultant práce:

Mgr. Stanislav Prokop

(Gymnázium, Třebíč)

Číměř, 2008

Kraj Vysočina

Prohlašuji, že jsem tuto seminární práci vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Stanislava Prokopa, použil pouze literaturu a další informační zdroje včetně internetu uvedené v seznamu použité literatury, měření prováděl samostatně a názory, které uvádím jako vlastní, nejsou převzaty z jiných publikací.

V Číměři dne 25.2.2008

Zdeněk Holub

Obsah

1. Předmluva	- 3 -
2. Úvod do fotovoltaiky	- 4 -
3. Využití sluneční energie	- 5 -
4. Solární článek	- 7 -
5. Vlastnosti solárního článku	- 8 -
6. Solární modul a jeho konstrukce	- 10 -
7. Měřicí soustava	- 13 -
8. Vlastní měření	- 14 -
9. Stavba solární nabíječky baterek	- 19 -
10. Projektování solárního zařízení pro náš rodinný dům	- 20 -
11. Teoretické vypočítání návratu investic	- 25 -
12. Český program podpory životního prostředí	- 27 -
13. Závěr	- 28 -
14. Příloha	- 30 -
15. Literatura	- 32 -

1. Předmluva

Jako téma seminární práce jsem si vybral odvětví, které do budoucna bude mít lidstvu rozhodně co říci. Jsou to solární panely. Poměrně jednoduchá zařízení, která přeměňují dopadající světelnou energii vyzářenou Sluncem. Na rozdíl od všech dalších zdrojů energie se jedná o zcela čistou energii. Světelné energie je takový nadbytek, že by celý svět mohl bez sebemenších problémů využívat jenom tuto energii. Použití solárních panelů má v současné době jen jednu nevýhodu, a to pořizovací cenu.

Neuvěřitelné je, jak takové nenápadné zařízení dokáže tuto energii nehlučně, bez chemických reakcí a bezpečně přeměnit na elektrický proud. Solární panely se nám spojují především s výzkumem vesmíru, napájí družice, vesmírné stanice nebo celé raketoplány. Naštěstí se postupem času tyto vymoženosti dostaly i běžně k dostání na našem trhu. Jejich potenciál je obrovský a budou mít čím dál větší význam. Stačí jen zlevnit tato zařízení a od té doby si budeme každý pro sebe vyrábět takové množství energie, které potřebujeme. Nezažijeme výpadky proudu především v zimních měsících, ani se nás nebudou týkat nečekané poruchy elektrického vedení.

Cílem mé práce je blíže se seznámit s problematikou solárních panelů a hlavně jejich využití v praxi. Dále chci zjistit činitele ovlivňující účinnost těchto zařízení a zamyslet se nad jejich technickým vylepšením. Jako vrchol naplánuji plně fungující a samostatné solární zařízení pro naši domácnost.

2. Úvod do fotovoltaiky

Sluneční energii je možno využívat mnoha způsoby. Může to být například výroba teplé vody nebo výroba elektrického proudu. Základní princip (fotoelektrický jev) byl objeven francouzským fyzikem Alexandrem Edmodem Becquerelem v roce 1839. Teoretické vysvětlení předložil v roce 1930 německý fyzik Walter Schottky. K rozvoji fotovoltaiky pomohl objevem tranzistoru v Bellových laboratořích v roce 1947, protože s jejich výrobou začala i masová výroba polovodičů na bázi křemíku. Vědomosti o křemíku získané při výrobě tranzistorů pomohly najít i další oblasti použití tohoto prvku. O sedm let později začalo vývojem solárních článků z křemíku technické využívání fotoelektrického jevu pro kosmické lety.

Důsledkem energetické krize v sedmdesátých letech bylo, že se diskutovalo i o zvýšeném využívání solárních článků k pokrytí energetických potřeb v Indii. Na základě dobrých zkušeností s životností a spolehlivostí solárních článků při kosmických cestách byla zřízena první zařízení pro pozemské využívání. Dnes můžeme vidět tato zařízení nezávislá na napájecí síti v solárních hračkách, solárních hodinách a kapesních kalkulačkách, jako solární osvětlení zahrad, autonomní napájecí zařízení pro automobily, lodě, rekreační chaty a další. Současně s tím získávají na významu i solární zařízení, která dodávají proud do veřejné elektrické rozvodné sítě. Mnoho majitelů soukromých domů a firem v posledních letech instalovalo taková zařízení. Na trhu fotovoltaických zařízení byly celosvětově v roce 1990 vyrobeny a prodány solární moduly s celkovým výkonem asi 25 MW_p ¹. Již o tři roky později došlo ke zdvojnásobení asi o 50 MW_p a v roce 1997 k dalšímu zdvojnásobení na 100 MW_p roční produkce.

¹ $W_p = W_{\text{peak}}$ = špičkový výkon

3. Využití sluneční energie

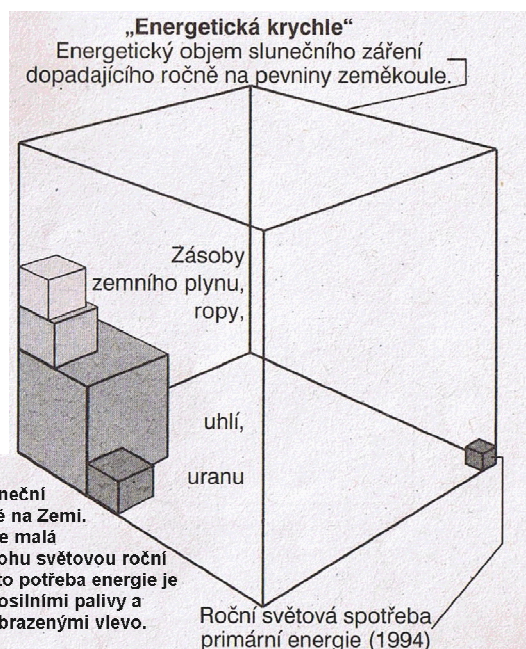
Slunce je obrovský termojaderný reaktor o průměru větším než stonásobek průměru Země. Ze vzdálenosti asi 150 milionů km již více než 4 miliardy let dodává Zemi spolehlivě a zdarma energii. V nitru Slunce dochází při velmi vysokých teplotách k jaderné fúzi, při níž se vždy 4 jádra vodíku mění na jádro hélia. Za sekundu se „spálí“ asi 600 milionů tun vodíku na hélium a část této hmotnosti se vydá v podobě záření. Tak Slunce ztratí za 1,24 miliardy let právě 1% své hmotnosti.

Mimo zemskou atmosféru je ozáření Sluncem poměrně konstantní a je dáno pouze vzdáleností Země od Slunce. Ozáření Sluncem mimo atmosféru, tzv. solární konstanta, činí 1353 W/m^2 . V důsledku proměnného filtračního působení atmosféry vyvolaného mraky, vodními, prachovými a jinými částicemi a také v důsledku proměnných drah paprsků závislých na postavení Slunce je povrch Země ozařován s různou intenzitou.

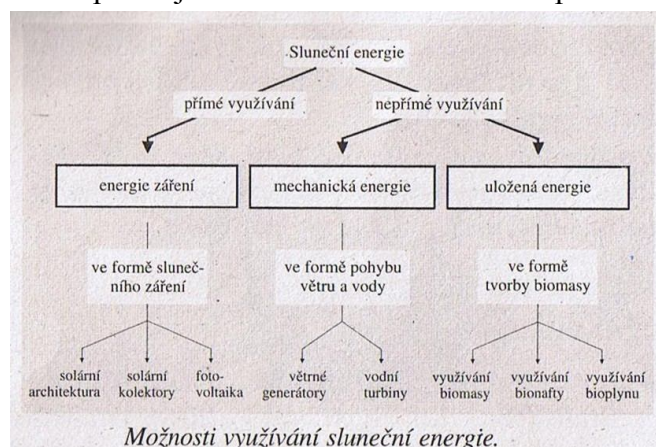
V závislosti na počasí a denní době kolísá ozáření v našich zeměpisných šířkách mezi 0 W/m^2 (v noci) a 1000 W/m^2 (při hezkém počasí

kolem poledne). Při zatažené obloze je ozáření $20\text{-}300 \text{ W/m}^2$, při polojasnu $300\text{-}600 \text{ W/m}^2$ a při jasné obloze $600\text{-}1000 \text{ W/m}^2$.

Rozlišuje se přímé a nepřímé ozáření. Při bezmračné obloze převládá podíl přímého ozáření, kdežto záření, které je před dopadem na zemský povrch ovlivňováno například mraky, je označováno jako nepřímé. V ročním průměru dopadá ve střední Evropě asi jedna třetina záření ve formě přímého ozáření, zbývající dvě třetiny dopadají při oblačné nebo zatažené obloze jako nepřímé a neusměrněné záření. Součet přímého a nepřímého ozáření dává globální (celkové) ozáření. Za kolísání nabídky energie v závislosti na ročním období je zodpovědný hlavně sklon zemské osy rotace o velikosti $23,5^\circ$. Čím dál je stanoviště od rovníku, tím větší jsou rozdíly mezi zimním a letním půlrokem.



Velká krychle představuje sluneční energii dopadající každoročně na Zemi. V porovnání s tím symbolizuje malá krychlička v pravém dolním rohu světovou roční spotřebu energie lidstva. Tato potřeba energie je dnes ještě kryta omezenými fosilními palivy a atomárními nosiči energie zobrazenými vlevo.



Sluneční energii je možno využívat mnoha různými způsoby. Rozlišujeme mezi přímými a nepřímými formami využívání sluneční energie. Při přímém využívání se záření Slunce přímo přeměňuje na užitečnou formu energie, například slunečním tepelným kolektorem na teplou vodu nebo prostřednictvím solárních článků na elektrický proud.

Přímé formy:

Sluneční kolektor přeměňuje sluneční světlo na teplo, které je možno používat pro ohřev vody spotřebované v domácnosti a pro vytápění místností. Ke krátkodobému ukládání získané energie do doby jejího použití se používá bojler na teplou vodu. Prostřednictvím solárních článků se zářivá energie Slunce přeměňuje na elektrický proud.

Nepřímé formy:

Energie větru jako nepřímá, mechanická forma sluneční energie vzniká v důsledku různě silného slunečního ozáření nebo rozdílných absorpčních vlastností větších území na povrchu Země. Tím se vzduchové masy ležící nad nimi ohřívají různě intenzivně a vznikají tlakové rozdíly ve formě oblastí vysokého a nízkého tlaku, které se vyrovnávají pohybem vzduchu, tedy větrem.

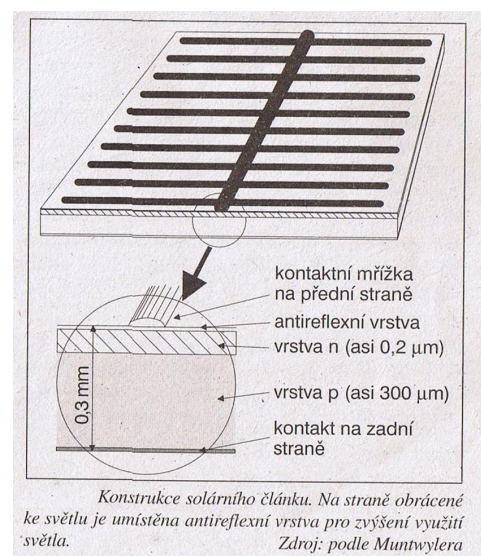
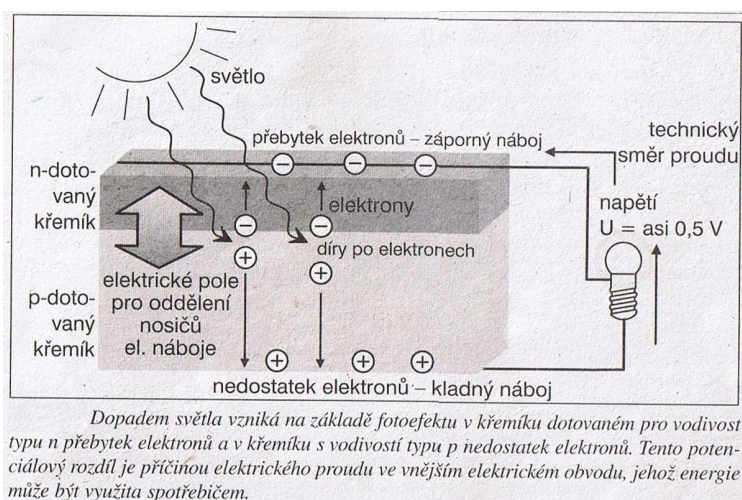
V důsledku slunečního záření se z povrchu Země vypařuje voda, především nad světovými oceány. Vodní pára stoupá nahoru a ve velkých výškách vytváří mraky, které se v atmosféře pohybují a částečně nad pevninami, zejména v chladnějších územích, spadnou ve formě deště. Prostřednictvím povrchových vodních toků teče voda zpět do světových moří.

Souhrn všech živých, mrtvých a rozložených organismů a z nich pocházejících látek se označuje jako biomasa. Biomasa je sekundární forma sluneční energie, protože rostliny prostřednictvím fotosyntézy vyrábějí ze sluneční energie, oxidu uhličitého a vody organické látky jako lignin, celulosu, cukr, bílkoviny, tuky a oleje. Podle této definice patří k biomase bionafta i bioplyn. Zvláštní význam má pevná biomasa, jako je dřevo, sláma atd., kterou je možno téměř libovolně dlouho skladovat a v případě potřeby ji v teplárnách přeměnit na teplo nebo v elektrárnách na elektrickou energii.

4. Solární článek

Solární článek je plochá elektronická součástka, která při dopadu světla může vytvářet elektrické napětí mezi dvěma kontaktními plochami na přední a zadní straně a dodávat elektrický proud. Fotovoltaická přeměna světelné energie na elektrickou probíhá bez mechanických pohyblivých dílů, takže na rozdíl od motorů a generátorů odpadá opotřebení, ztráty třením, mazání a také údržba. V závislosti na typu článku musí solární články vyrábět elektřinu 1-5 let, aby nahradily energii spotřebovanou k jejich výrobě. Tato doba se označuje jako doba energetické návratnosti. Je mnohem kratší než životnost fotovoltaických zařízení, která je nejméně 20-30 let.

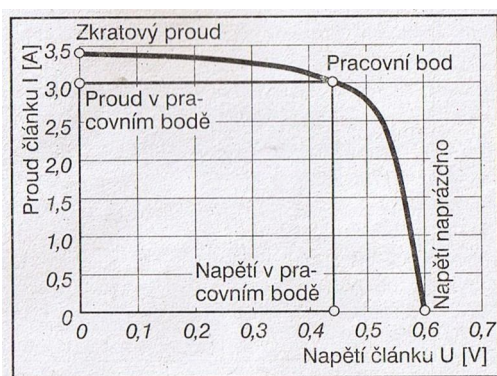
Většina solárních panelů se dnes skládá z krystalického křemíku. Rozlišují se monokrystalické solární články, které se skládají z jediného krystalu s pravidelnou krystalickou mřížkou, a polykrystalické články, skládající se z mnoha různě orientovaných krystalů. V tenkých destičkách vysoce čistého křemíku se cíleným znečištěním určitými cizími atomy (dotováním) vyrobí dvě nad sebou ležící vrstvy s různou koncentrací nosičů náboje. Na přechodu mezi záporně (N) a kladně (P) dotovanou vrstvou se v solárním článku vytvoří elektrické pole. Dopadne-li nyní na solární článek světelný paprsek, uvolní některé elektrony z křemíkové mřížky. Tyto volné elektrony a také vzniklé elektronové díry se elektrickým polem oddělí, takže v horní vrstvě křemíku vznikne přebytek elektronů a ve spodní vrstvě nedostatek elektronů. Propojí-li se horní a spodní strana článku přes nějaký spotřebič, může se přebytek a nedostatek elektronů vyrovnávat: dochází k pohybu nosičů náboje, teče tedy elektrický proud.



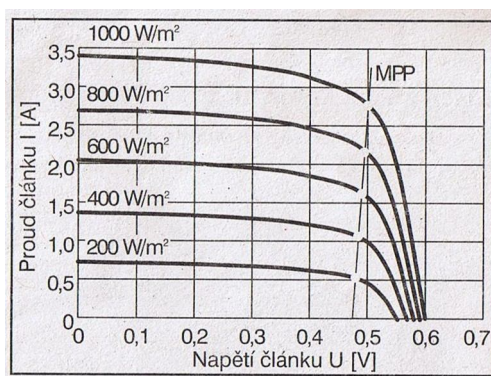
Aby bylo možné elektrony vyrobené v ploše článku efektivně shromáždit a beze ztrát odvádět, je na přední straně článku umístěna kontaktní mřížka a na zadní straně kontaktní plocha. Proud procházející vnějším obvodem je možno pomocí spotřebičů, například žárovky, převádět na užitečnou formu energie. Tok elektronů čili velikost proudu procházejícího elektrickým obvodem závisí na ozáření článku. Neboť k dispozici je vždy tolik volných elektronů, kolik bylo právě dopadajícím světlem v článku uvolněno. Velikost vyrobeného proudu je přímo úměrná množství dopadajícího světla (lineární závislost).

5. Vlastnosti solárního článku

Elektrické vlastnosti solárního článku se popisují charakteristikou čili křivkou závislosti proudu na napětí. Charakteristické jsou hodnoty proudu nakrátko (zkratového proudu) a napětí naprázdno (elektromotorické). Zkratový proud je maximální proud, který může solární článek při daném slunečním ozáření dodávat. Velikost zkratového proudu závisí na intenzitě osvětlení a na velikosti solárního článku. Další charakteristický bod, napětí naprázdno, udává maximální napětí, kterého se dosahuje, když na solární článek není připojen žádný spotřebič. U monokrystalických solárních článků je asi 0,6 V. Tak zvaný pracovní bod (PB) solárního článku je bod na charakteristice, ve kterém článek právě pracuje. Pro každý solární článek existuje pracovní bod na charakteristice, v němž výkon dosahuje maxima. Tento bod se označuje jako „Maximum Power Point“^I.



Elektrické vlastnosti solárního článku se popisují charakteristikou čili křivkou závislosti proudu na napětí. Ve zázorněném pracovním bodě vyrábí solární článek napětí 0,44 V a proud 0,3 A.



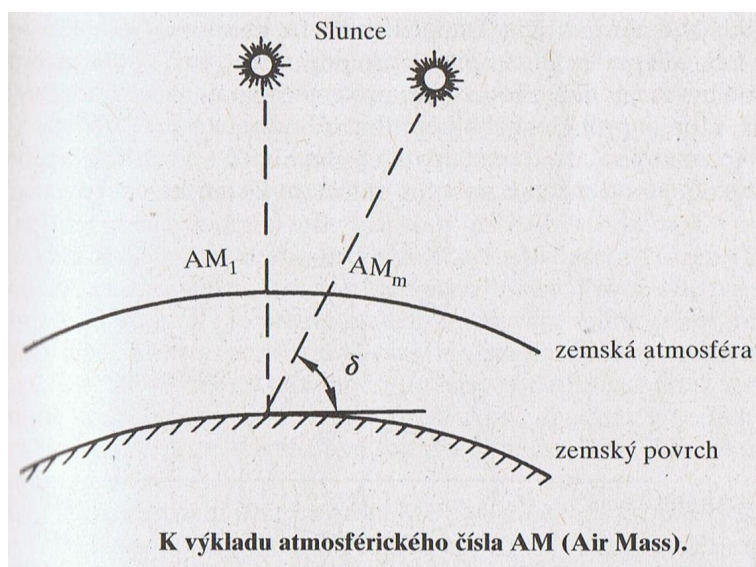
Charakteristiky solárního článku při různém ozáření. Předpokládáme, že teplota článku a světelné spektrum jsou u všech měření identické.

^I bod maximálního výkonu, zkráceně „MPP“.

Skutečný vyrobený výkon určitého solárního článku závisí na různých vlivech: na ozáření, teplotě článku a na spektru světla. Nejvyšší vliv má intenzita ozáření, protože teprve světlem se uvolňují elektrony pro elektrický proud. Proud a výkon solárního článku je úměrný ozáření. Teplota článku má na napětí článku a na proud opačný vliv. Zatímco proud při rostoucí teplotě za jinak stejných podmínek vzrůstá, napětí a výkon při rostoucí teplotě klesá. Typická je změna výkonu o $-0,4\%/^{\circ}\text{C}$ (pokles výkonu). To při teplotě zvýšené o 10°C způsobí pokles výkonu o 4%, při zvýšení teploty o 25°C pokles o 10%. Kromě toho má na výkon článku vliv také spektrální složení světla, protože solární článek využívá energii různých vlnových délek s rozdílnou účinností.

Aby bylo možné navzájem porovnávat výkony solárních článků s ohledem na praktické využití, dohodli se vědci a výrobci na standardních zkušebních podmínkách, zkratkou STC^{I} . Měření výkonu se provádí při ozáření 1000 W/m^2 (přibližně plné sluneční ozáření) při teplotě článku 25°C a veličině AM^{II} rovné 1,5. Výkon naměřený za těchto podmínek se nazývá špičkový výkon a má měřící jednotku $\text{watt}_{\text{peak}} [W_p]$.

Také se průmyslově vyrábějí i tenkovrstvé solární články z amorfního křemíku. Nacházejí použití zejména v malých aplikacích, například v kapesních kalkulátorech. Sice se z tenkovrstvých článků vyrábějí i velké moduly, tato technika však má doposud jednu velkou nevýhodu, protože dochází k degradaci (stárnutí) solárních článků, čímž se výkonnost snižuje. Výhodou technologie amorfních článků oproti krystalovým solárním článkům je podstatně menší spotřeba vysoce čistého křemíku a jednodušší a levnější výrobní proces.

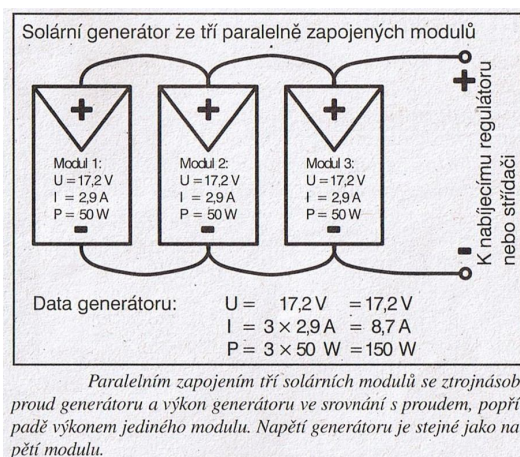
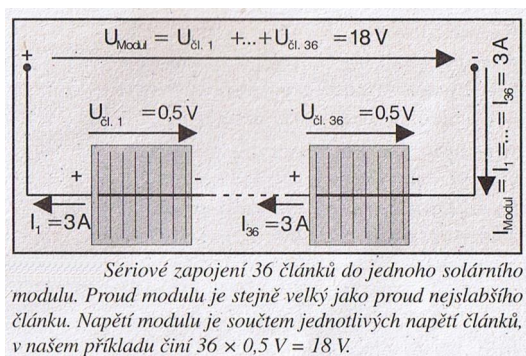


^I STC = Standard Test Conditions

^{II} AM = Air Mass; AM = 1,5 znamená, že složení světla odpovídá slunečnímu světlu po průchodu 1,5násobnou tloušťkou zemské atmosféry filtrující světlo

6. Solární modul a jeho konstrukce

V solárních modulech se zapojuje větší počet solárních článků do série, aby se sečtením napětí jednotlivých článků vytvořilo dobře použitelné výstupní napětí modulu. Při sériovém zapojení článků teče všemi články stejný proud. Nejsou-li všechny články stejnoměrně ozářeny sluncem, vyrábějí různě velké proudy. Protože však v sériovém zapojení musí být proud všemi články stejný, dává celý modul jen takový proud, jaký je vyráběn nejhůře osvětleným článkem. Proto úplné zastínění jednoho článku v modulu způsobí, že nepoteče žádný proud a tak nebude dodáván žádný výkon, i když jsou všechny ostatní články optimálně osvětleny.



K výrobě většího výkonu než je možné dosáhnout s jedním modulem je možno propojit mezi sebou několik solárních modulů a vytvořit tak solární generátor. Je přitom možné zapojovat moduly jak sériově (pro zvýšení napětí systému) tak paralelně (pro zvýšení výstupního proudu), nebo použít kombinaci obou zapojení, aby se zvýšil proud i napětí. Zapojení různých typů modulů do jednoho generátoru není vhodné, protože v důsledku rozdílných napětí řetězců nebo nestejných proudů modulů v jednom řetězci dochází ke značným ztrátám výkonu. Pro konstrukci solárního generátoru skládajícího se z několika solárních modulů by se měly používat jen moduly téhož typu od stejného výrobce.

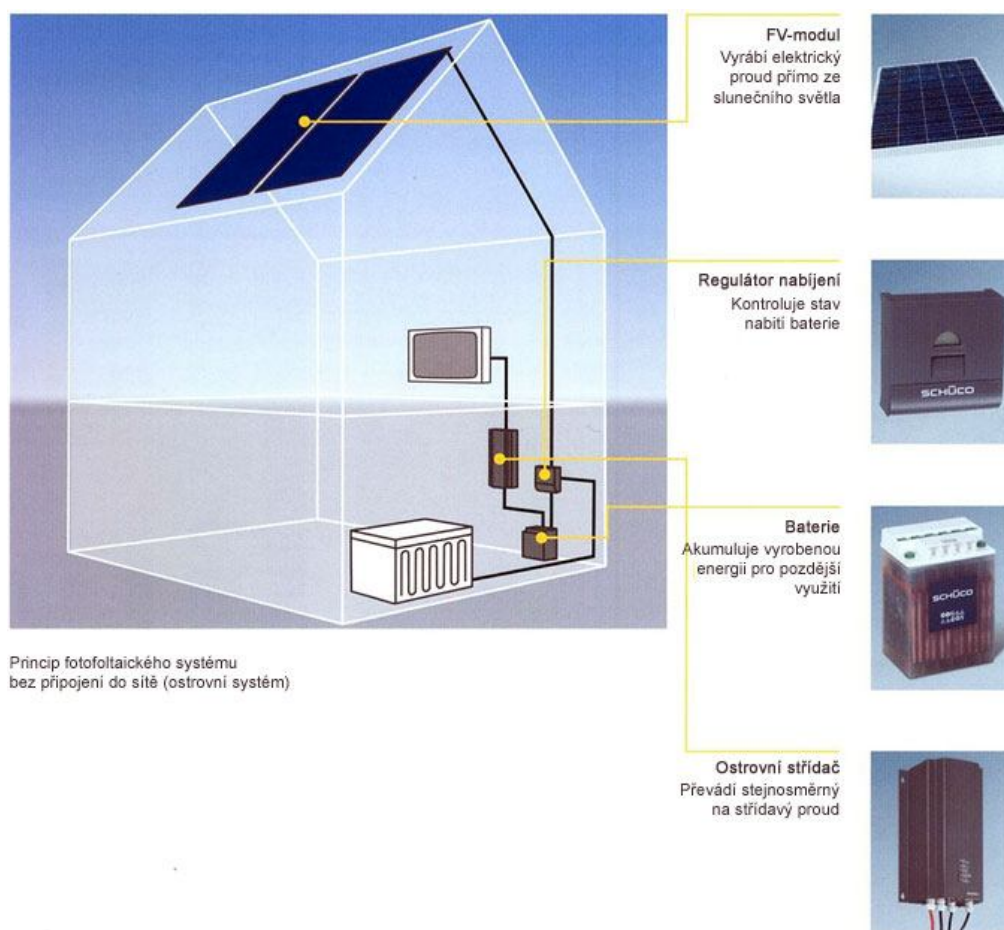
Izolované solární systémy, to jsou systémy, které nejsou propojeny s rozvodnou elektrickou sítí, používají se pro zásobování elektrickou energií zejména tam, kde je zásobování elektrickým proudem z veřejné napájecí sítě nemožné, nebo tam, kde by bylo budování nové přípojky příliš nákladné.

V autonomních izolovaných zařízeních se především používá solární akumulátor k ukládání proudu a nabíjecí regulátor pro regulaci a kontrolu nabíjení a vybíjení. Nabíjecí regulátor dohlíží na průběh nabíjení a vybíjení akumulátoru a reguluje ho. Navíc také zajišťuje ochranu akumulátoru před přehříváním nebo hlubokým vybitím.

Solární zařízení spojená s rozvodnou elektrickou sítí se používají tam, kde je k dispozici přípojka na veřejnou síť střídavého napětí. Solární proud se přivádí do této sítě. Rozlišují se dva způsoby přívodu do střídavé sítě. Vyrobený solární proud se nejprve spotřebovává ve vlastním domě prostřednictvím domácí rozvodné sítě a pouze v případě přebytku probíhá napájení do veřejné sítě. Druhou možností je všechny vyrobený solární proud přímo přivádět do veřejné elektrické sítě. Pro připojení s veřejnou sítí se používá střídač pro paralelní provoz se sítí.

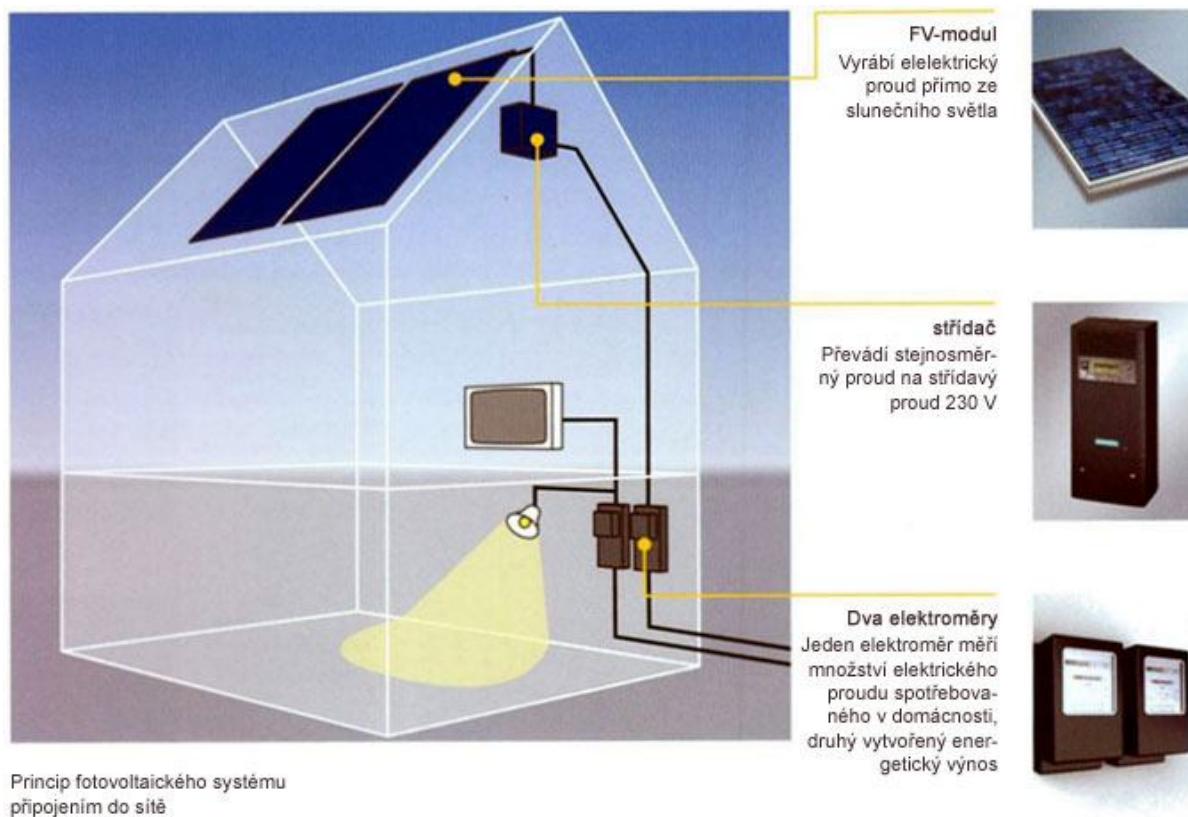
Pro ukládání elektrické energie v izolovaných zařízeních se dnes používají především elektrochemická zařízení, a to akumulátory, které lze opakovaně nabíjet. V akumulátorech se ukládá elektrický proud prostřednictvím vratných chemických pochodů. Existují různé konstrukce, které se liší především prvky zúčastňujícími se procesu ukládání. Nejznámější typy akumulátorů jsou: olověné, nikel-kadmiové, nikel-metalhydridové, lithium-iontové akumulátory. V izolovaných zařízeních se používají především dlouho osvědčené olověné akumulátory.

V autonomních izolovaných zařízeních:



Solární zařízení spojená s rozvodnou elektrickou sítí:

Fotovoltaický modul je tvořen velkým počtem solárních článků. Sluneční světlo dopadá na články a vyvolaným pohybem elektronů v materiálu je vytvářeno elektrické napětí. Elektrický proud je schopen proudit. Vyrobený proud je přes vnitřní elektrické vedení veden do přípojkové krabice. Odtud proudí ke střídači, který převádí stejnosměrný proud vyrobený ze Slunce na konformní síťové střídavé napětí 230 V. Přes elektroměr je odváděn do veřejné sítě a kompletně prodáván za atraktivních finančních podmínek. Odběrový elektroměr nezávisle na tom měří v domě odebíraný proud, který je separátně fakturován příslušným energetickým závodem.

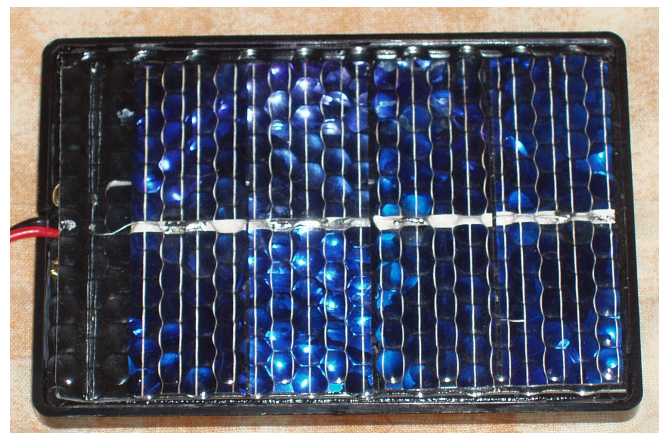


7. Měřicí soustava

Soustava se skládá ze solárního panelu, zdroje světla, polohovatelného autodržáku, vedení propojujícího panel a multimetr o dostatečném průměru, multimetru používaném jako voltmetr. Samotný solární panel se skládá ze čtyř polovodičových vrstev spojených sériově. Každá tato polovodičová vrstva má po plném osvětlení napětí 0,5 V, takže výsledné napětí solárního panelu je 2 V. Krycí sklíčko není hladké jako u většiny panelů. Je tvořeno malými vypouklými čočkami orientovanými směrem ven. Jejich hustota je přibližně 5 na cm^2 . Tím, že je sklíčko zvlněné, tak solární panel lépe využívá nepřímé záření nebo také záření dopadající pod většími úhly.

Multimetrem jsem měřil elektromotorické napětí na výstupních svorkách panelu. Měřící rozsah byl zvolen od 2000 mV do 20 V, aby se napětí ukazovalo v celých voltech. Nejmenší rozsah 2000 mV neznámá, že by neměřil napětí pod touto hranicí. Multimetr napětí měří, ale v celých voltech. Neměnil jsem rozsah na citlivější i při méně intenzivním osvětlení, aby se výsledky z různých prostředí daly porovnávat.

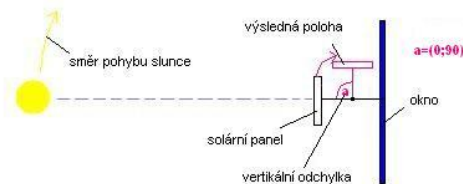
Vodič svým průměrem je velice předimenzovaný, aby se zabránilo velkým ztrátám energie při přenosu elektrického náboje vodičem. Na dolních obrázcích můžeme vidět polohovací držák (vlevo) a solární panel složený ze čtyř článků.



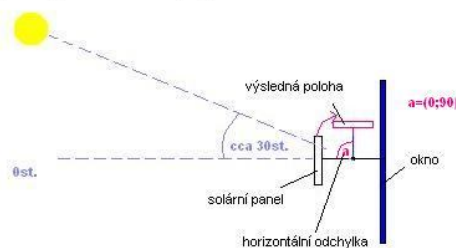
8. Vlastní měření

Je vždy měřeno elektromotorické napětí ve voltech. Nepřepočítával jsem odchylku (vzhledem k vertikální a horizontální rovině) panelu na úhel dopadu světla na panel, protože jsem prováděl měření v několika různých prostředích. Největším problémem je úhel Slunce nad vodorovnou rovinou, která se v různém období mění. Také se mění poloha Slunce v důsledku rotace Země kolem své vlastní osy. Přesnější mi připadá ponechání odchylky od vertikální a horizontální roviny. Proto jsou u měření doplněny údaje, které upřesňují představu o podmínkách měření. Panel byl během pokusu natáčen směrem na západ v rámci vertikální odchylky. Navíc nemohu zaručit, že nulová vertikální odchylka je opravdu nulová, tedy jestli je modul přímo nasměrovaný na zdroj světla. Při venkovním měření se nulová poloha horizontální odchylka vztahuje k vodorovné rovině (tedy normála roviny modulu je s ní rovnoběžná). Dalším důvodem je, že se modul neotáčí přímo kolem své vlastní osy, ale pohybuje po rameni na určitém poloměru polohovatelného držáku. Navíc při zatažené obloze nelze zjistit úhel dopadu slunečního záření.

Pohled shora (vertikální odchylka):



Boční pohled (horizontální odchylka):



Měřeno ve vnitřních prostorách při pokojové teplotě, ozáření stolní lampou: (Hodnoty ve voltech)

		Vertikální odchylka															
Horizontální odchylka	stupně	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90
	0	1,20	1,20	1,20	1,19	1,17	1,15	1,12	1,08	1,02	0,93	0,81	0,70	0,61	0,55	0,53	0,52
	10	1,19	1,19	1,19	1,18	1,16	1,14	1,10	1,06	1,00	0,91	0,78	0,69	0,61	0,56	0,54	0,52
	20	1,15	1,15	1,14	1,13	1,12	1,09	1,06	1,01	0,95	0,84	0,74	0,66	0,60	0,55	0,54	0,52
	30	1,09	1,09	1,09	1,08	1,06	1,04	1,00	0,95	0,86	0,77	0,70	0,63	0,59	0,56	0,53	0,53
	40	1,01	1,01	1,01	1,00	0,98	0,95	0,91	0,84	0,77	0,71	0,66	0,62	0,58	0,55	0,53	0,52
	50	0,88	0,88	0,87	0,85	0,82	0,78	0,75	0,71	0,67	0,64	0,60	0,58	0,55	0,53	0,51	0,48
	60	0,65	0,65	0,65	0,65	0,64	0,63	0,62	0,61	0,59	0,57	0,55	0,54	0,52	0,51	0,49	0,47
	70	0,49	0,50	0,52	0,52	0,53	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,53	0,52	0,51	0,50	0,48	0,46
	80	0,37	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,45	0,46	0,47	0,47	0,48	0,48	0,47	0,47	0,46	0,44
90	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,44	

Měřeno 3.10. v 17:30 středně zataženo: (Hodnoty ve voltech)

		Vertikální odchylka															
Horizontální odchylka	stupně	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90
	0	1,36	1,37	1,37	1,36	1,35	1,34	1,32	1,30	1,27	1,24	1,21	1,18	1,14	1,10	1,06	1,02
	10	1,44	1,45	1,44	1,43	1,42	1,40	1,38	1,35	1,32	1,28	1,25	1,20	1,16	1,11	1,06	1,01
	20	1,48	1,48	1,48	1,46	1,42	1,39	1,36	1,32	1,28	1,23	1,18	1,13	1,09	1,04	0,99	0,95
	30	1,48	1,48	1,47	1,45	1,44	1,41	1,38	1,34	1,30	1,26	1,21	1,17	1,11	1,06	1,01	0,96
	40	1,47	1,46	1,44	1,43	1,42	1,39	1,36	1,33	1,29	1,26	1,21	1,16	1,11	1,06	1,02	0,96
	50	1,45	1,44	1,43	1,40	1,38	1,34	1,31	1,27	1,24	1,22	1,19	1,15	1,10	1,05	1,01	0,96
	60	1,42	1,41	1,40	1,39	1,36	1,34	1,30	1,27	1,24	1,21	1,17	1,12	1,08	1,03	0,99	0,96
	70	1,35	1,34	1,32	1,30	1,27	1,25	1,24	1,22	1,19	1,16	1,12	1,09	1,04	1,01	0,96	0,93
	80	1,29	1,28	1,27	1,25	1,24	1,21	1,19	1,17	1,14	1,10	1,08	1,05	1,02	0,98	0,95	0,91
90	1,19	1,19	1,17	1,16	1,15	1,13	1,11	1,10	1,07	1,05	1,03	1,01	0,98	0,96	0,93	0,90	

Měřeno 10.10. v 13:30 jasno, mírný opar: (Hodnoty ve voltech)

		Vertikální odchylka															
Horizontální odchylka	stupně	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90
	0	2,28	2,28	2,27	2,26	2,26	2,25	2,24	2,22	2,21	2,19	2,15	2,11	2,07	2,04	2,00	1,96
	10	2,24	2,24	2,23	2,23	2,22	2,21	2,20	2,18	2,16	2,13	2,08	2,05	2,00	1,97	1,95	1,94
	20	2,22	2,21	2,21	2,21	2,20	2,19	2,18	2,17	2,16	2,14	2,11	2,07	2,02	1,97	1,94	1,92
	30	2,22	2,21	2,21	2,20	2,19	2,18	2,17	2,16	2,15	2,13	2,10	2,06	2,02	1,96	1,92	0,90
	40	2,17	2,17	2,17	2,16	2,16	2,15	2,14	2,13	2,12	2,10	2,08	2,03	1,99	0,94	0,90	0,87
	50	2,15	2,15	2,14	2,14	2,13	2,12	2,11	2,09	2,08	2,06	2,01	1,97	1,92	0,89	0,86	0,86
	60	2,15	2,15	2,14	2,14	2,13	2,13	2,12	2,11	2,10	2,08	2,05	2,00	1,97	1,93	,90	1,87
	70	2,15	2,15	2,14	2,14	2,13	2,12	2,11	2,10	2,09	2,07	2,03	1,99	1,96	1,93	1,90	1,88
	80	2,14	2,13	2,13	2,13	2,12	2,12	2,11	2,09	2,07	2,05	2,02	2,03	2,00	1,98	1,94	1,92
90	2,14	2,14	2,14	2,13	2,13	2,12	2,11	2,09	2,07	2,05	2,03	2,00	1,97	2,00	1,97	1,93	

Provedená měření provázelo mnoho nepřesností. Mezi hlavní činitele patří nestálé osvětlení, teplota a odrazy okolí. I při slunečném počasí dochází k výkyvům napětí způsobené změnou složení atmosféry, největší rozdíly lze pozorovat při zatažené obloze, kdy mohou činit rozdíly při stále poloze panelu až 0,2 V. Tato odchylka napětí je důkazem pohybujících se vodních mas v atmosféře a přímým důsledkem je různý úhel lomu světla. Mezi další faktory patří povrch panelu, ten je pro zvýšení účinnosti při nepřímém osvětlení odpovídajícím způsobem zvlněn. Panel není tolik citlivý na změnu úhlu dopadu světla a při natáčení je tedy úbytek pozvolnější. Dále je důležitý odraz světla od okolních předmětů. V domácím měření je to způsobeno odrazy od zdí a oken. Při venkovním měření byl panel umístěn na okně zvenku směřujícím přímo na jih, ale zejména při krajních polohách byly důležité odrazy světla od skla a okolních zdí. Posledním faktorem je teplota panelu. Jeho důležitost jsem zpočátku podceňoval, ale při přímém slunečním ozáření se musel i kvůli černému nátěru výrazně zahřívat, což podle následujícího pokusu má velký význam.

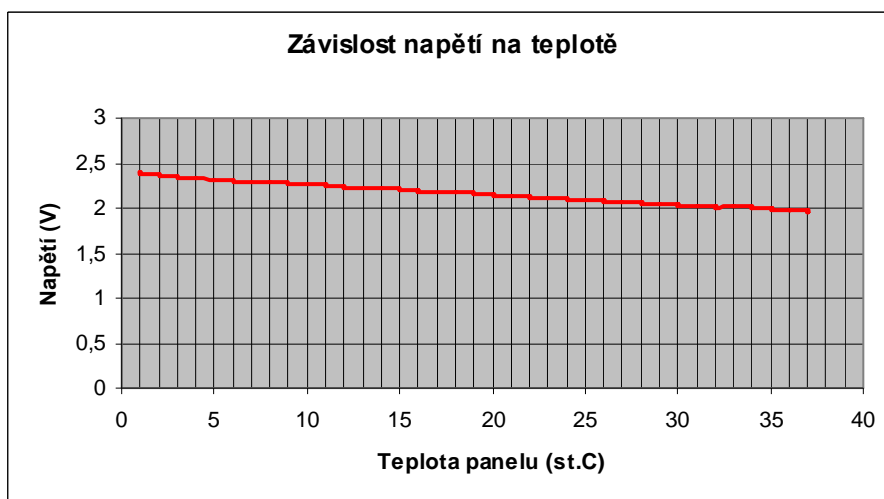
Při jasné obloze podle mých měření je výkonnost větší o 64 % než při zatažené obloze, to ale platí pro dané měřicí místo (umístění na okně domu – tedy negativní vliv stínění). Podíváme-li se na měření panelu za jasné oblohy, je vidět, že panel nemá největší účinnosti při přímém natočení na slunce. To je způsobeno zvlněním povrchu panelu. Slunce je přibližně odchýleno od povrchu země 30 stupňů. Při měření za středně zatažené oblohy je vidět, že první řádek neodpovídá zbytku údajů v tabulce. Předpokládám, že jsem se na chvíli zdržel nějakou technickou závadou a během této doby došlo k velkým změnám v atmosféře, tímto je způsobena tato odchylka. Když jsem přešel zkušebně s panelem na otevřené prostranství, tak jsem naměřil největší napětí při vodorovné poloze. Takto položený panel dosahoval elektromotorického napětí přes 2 V.

Mnoho lidí si myslí, že při zatažené obloze solární panely nedodávají žádný elektrický proud. To je velký omyl, protože na zemi neustále dopadá obrovské množství sluneční energie. Při jasné obloze využívá panel přímé záření, při zatažené obloze nepřímé sluneční záření. Panel má samozřejmě při zatažené obloze výkonnost menší, ale i tak dostačující, že dosahuje na otevřeném prostranství hodnoty napětí deklarovaného výrobcem.

Měření závislosti napětí na teplotě panelu:

Do měřicí sestavy byl přidán digitální multimetr, který umí měřit teplotu. Drátek teploměru byl položen na spodní straně solárního panelu do tepelně vodivé pasty, která se používá pro lepší přenos tepelné energie mezi procesorem a chladičem, a poté byl přelepen páskou. Panel byl nejdříve chlazený 15 minut v mrazničce. Poté probíhalo zahřívání ve vzdálenosti 7 cm od svítící lampy se žárovkou o příkonu 60 W, která již byla delší dobu zahřátá. Přimo po vytáhnutí z mrazničky bylo možné dosáhnout maximálního elektromotorického napětí 2,52 V. Z mého měření je vidět, že napětí panelu závisí na teplotě, při zvyšující se teplotě napětí klesá čím dál pomaleji. Panel má deklarované napětí 2 V při standardních měřicích podmínkách, které byly uvedeny dříve. Z grafu je vidět, že napětí se drží této hodnoty i při zahřátí. Po půl hodině zahřívání panel dosáhl teploty 45 °C a měl napětí 1,89 V.

Kdyby se navíc podařilo panel zchladit přibližně na bod mrazu, tak by byla výkonnost větší o 16%. Tyto výpočty jsou porovnány se zahřátým panelem na teplotu 22 °C (data jsou přiložena v příloze). Zahřívání se dá zabránit chlazením panelu nebo výběrem vhodnější barvy pláště solárního panelu.



Měřicí aparatura doplněná o digitální teploměr (digitální multimetr):



Na obrázku vlevo nahoře vidíme umístění drátu připojeného na digitální multimetr. Pro lepší přenos tepelné energie je umístěný v tepelně vodivé pastě. Levý dolní obrázek zobrazuje výsledný stav po přelepení páskou a pravý obrázek celou měřicí aparaturu.

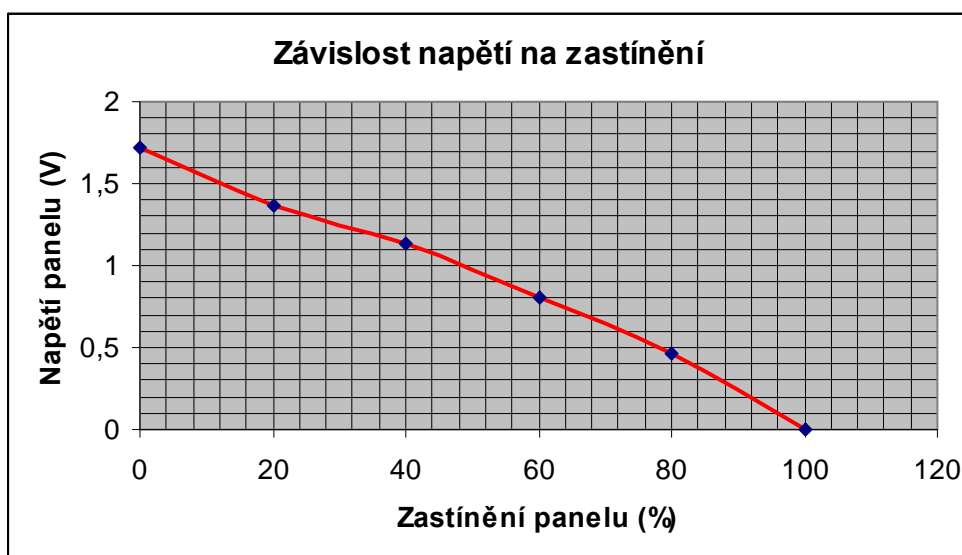
Ověření, zda panelem protéká proud, pokud je jedna z jeho částí zastíněna:

Podle teorie solárním panelem složeným z více článků sériově neprotéká žádný proud při zastínění jednoho z nich. Jako zdroj světla jsem použil stolní lampičku a zakrýval neprůsvitným materiálem postupně celý panel. Z mého pokusu vyplývá, že i při zastínění části panelu jím proud protéká.

V praxi tedy při zastínění jednoho modulu nevypadne celá část solárního systému, jenom větev, ve které je jedna část špatně osvětlena, klade systému odpor. Ve výsledku tedy tato větev dodává elektrický proud, ale s určitou ztrátou.

Zakrytí článku rozhodně nebylo ideální. Plochu panelu jsem si rozdělil přesně na pětiny. Protože je mezi sklíčkem a samotnými solárními vrstvami mezera, tak se světlo dostane i na další části. V ideálním případě by klesalo vždy napětí o jednu pětinu až k nule.

Zakrytá plocha:	0/5	1/5	2/5	3/5	4/5	5/5
Napětí panelu (V):	1,72	1,36	1,14	0,80	0,46	0,00

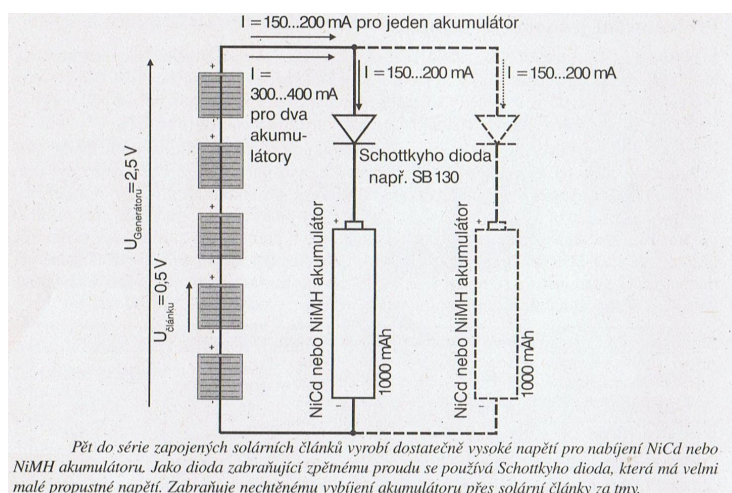


9. Stavba solární nabíječky baterek

Obvykle se NiCd akumulátory nabíjejí proudem, kterým by se akumulátor při vybití vybil za 10 hodin. Jinými slovy to znamená, že nabíjecí proud odpovídá jedné desetíně jmenovité kapacity akumulátoru. Například akumulátor o kapacitě 1 000 mAh by se měl nabíjet proudem 100 mA (I_{10}). Nabíjecí doba přitom v důsledku nabíjecích ztrát není 10, ale 14 hodin. Při tomto nabíjecím proudu může být akumulátor přebíjen maximálně 100 hodin, aniž by utrpěl škodu. Nabíjecí době přes 100 hodin je potřeba se vyhnout, protože kapacita akumulátoru by se tím trvale snížila. Rychlonabíjení se značně vyššími nabíjecími proudy je vhodné jen při použití poměrně drahých nabíjecích regulátorů, které mimo jiné hlídají nabíjecí napětí a nabíjecí proud.

Oproti NiCd akumulátorům mají NiMH akumulátory stejné velikosti zpravidla značně vyšší kapacitu a vykazují podstatně menší paměťový efekt oproti NiCd, takže mohou být použity v aplikacích, u nichž v důsledku typu provozu častěji dochází k částečnému vybití. NiMH akumulátor se vyznačuje stabilním napětím článku 1,2 V po celou dobu vybití. Na rozdíl od NiCd akumulátorů je však maximální přípustný vybíjecí proud omezen, může dosahovat trojnásobku jmenovité kapacity. Nabíjení probíhá podobně jako nabíjení NiCd akumulátorů, přičemž i zde by se mělo nabíjet 10 hodinovým vybíjecím proudem I_{10} . Nabíjení je ukončeno, když se do akumulátoru dodá 160 % kapacity, tedy po 16 hodinách nabíjení proudem I_{10} . Také zde je možné přebíjení proudem I_{10} po dobu maximálně 100 hodin bez poškození akumulátoru.

Maximální nabíjecí napětí NiCd a NiMH akumulátorů je 1,6 až 1,7 V. Solární generátor tedy musí dodávat napětí nejméně 1,7 V zvýšené o propustné napětí Schottkyho diody 0,3 V, tedy celkem 2,0 V. Při projektování solárního generátoru pro nabíjení akumulátorů je důležitý vedle napětí také nabíjecí proud. Proud, který solární modul dodává, by měl být dostatečně velký, aby byl akumulátor nabíjen dostatečně rychle i při zatažené obloze, při nikoliv stoprocentním nasměrování nebo také za okny. Na druhé straně nesmí být často překračován maximální nabíjecí proud akumulátoru.



10. Projektování solárního zařízení pro náš rodinný dům

Denní potřeba energie						
Číslo	Spotřebič	Doba provozu [h/d]		Příkon [W]		Potřeba energie [Wh/d]
1	Počítač 1	3,0	x	500	=	1500
2	Display 1	3,0	x	70	=	210
3	Počítač 2	1,0	x	500	=	500
4	Display 2	1,0	x	70	=	70
6	Tiskárna	0,3	x	70	=	21
7	Lampička	3,0	x	60	=	180
8	Zesilovač	1,0	x	185	=	185
9	Rádio	1,0	x	80	=	80
10	CD přehrávač	1,0	x	11	=	11
11	Lednička	-	x	-	=	710
12	Mikrovlnná trouba	0,5	x	1300	=	650
13	Horkovzdušná trouba	0,5	x	2500	=	1250
14	Myčka	0,3	x	800	=	266
15	Televize 1	2,0	x	75	=	150
16	Televize 2	2,0	x	70	=	140
17	Video	0,5	x	50	=	25
18	DVD+VHS	1,0	x	70	=	70
19	Pračka	0,5	x	850	=	425
20	Mraznička 1	-	x	-	=	781
21	Mraznička 2	-	x	-	=	781
22	Vysavač	0,3	x	2000	=	600
23	Sklokeramická deska	1	x	700	=	700
24	Rychlovarná konvice	0,3	x	2000	=	660
25	Světlo kuchyň	5,0	x	20	=	100
26	Lampa kuchyň	2,0	x	60	=	120
27	Chodba 3 žárovky	3*3,0	x	60	=	540
28	Obývací pokoj 3 zářivky	3*3,0	x	20	=	180
29	Ložnice 5 žárovek	5*0,5	x	20	=	50
30	Koupelna 2 žárovky	2*2,0	x	40	=	160
31	Dvůr žárovka	0,5	x	200	=	100
32	Sklep 3 žárovky	3*0,5	x	180	=	90
33	Potřeba energie				=	11 305

Při zjišťování potřeby energie si musíme uvědomit, že chování spotřebičů v průběhu dne se mění a že toto kolísání způsobuje odchylky od vypočítané nebo odhadnuté potřeby energie. Takto zjištěná potřeba energie není konstantní, protože chování uživatele stejně jako nabídka solární energie se mění v závislosti na ročním období. Solární generátor se při projektování zvolí tak, aby v měsíčním průměru vyráběl právě tolik elektrické energie, kolik se v systému spotřebuje.

Pro zjištění vhodného výkonu solárního generátoru je nutné znát průměrnou hodnotu slunečního ozáření v daném místě. Hodnoty ozáření na vodorovné rovině byly naměřeny meteorologickou službou pro řadu míst. Pomocí nich vypočítané výnosy energie solárního generátoru o špičkovém výkonu $1 W_p$ jsou pro různá místa uvedeny v tabulce 1. Hodnoty platí pro horizontální montáž generátoru (tj. s nulovým úhlem sklonu). Jisté ztráty způsobené vysokou teplotou modulů a vazbou mezi generátorem a akumulátorem jsou již v tabulce zohledněny. Číselné hodnoty jasně ukazují rozsah kolísání měsíčního ozáření sluncem a výnosu energie. Ozáření v nejslabším měsíci dosahuje v závislosti na místě jen 10 až 25% maximální hodnoty naměřené v měsíci s největším ozářením. Při dimenzování soběstačných zařízení je třeba brát na toto značné sezónní kolísání ozáření ohled. Má velký vliv na projektování zařízení především tehdy, požaduje-li se soběstačnost i v zimních měsících. Korekční faktory zahrnující vlivy sklonu a orientace solárního generátoru je možné najít v tabulce 2.

Denní výnos energie vodorovného fotovoltaického generátoru ve Wh/d na $1 W_p$ výkonu generátoru													
město/měsíc	1	2	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ø
Cáchy (Aachen)	0,45	0,87	1,49	2,35	3,09	3,25	3,13	2,77	1,99	1,14	0,57	0,35	1,79
Berlín	0,40	0,74	1,59	2,27	3,10	3,54	3,42	2,98	1,98	1,03	0,49	0,30	1,82
Braunschweig	0,41	0,75	1,46	2,23	3,02	3,38	3,10	2,74	1,81	0,98	0,46	0,27	1,72
Dražďany	0,47	0,79	1,55	2,24	2,87	3,26	3,28	2,84	2,00	1,12	0,54	0,33	1,77
Essen	0,39	0,80	1,37	2,24	3,05	2,89	2,80	2,46	1,74	1,07	0,51	0,31	1,64
Fichtelberg	0,48	0,75	1,39	2,19	2,66	2,84	2,86	2,59	1,94	1,13	0,51	0,36	1,64
Freiburg	0,49	0,87	1,63	2,33	3,06	3,38	3,14	2,96	2,25	1,25	0,63	0,47	1,87
Hamburk	0,34	0,73	1,45	2,31	3,04	3,54	3,13	2,82	1,81	0,97	0,44	0,26	1,74
Hohenpeissenberg	0,90	1,33	2,06	2,70	3,18	3,33	3,51	3,00	2,50	1,70	0,93	0,73	2,16
Norderney	0,36	0,85	1,69	2,78	3,33	3,91	3,54	3,09	1,99	1,08	0,48	0,29	1,95
Norimberk	0,46	0,92	1,48	2,00	3,68	3,80	3,27	2,94	1,94	1,24	0,57	0,42	1,89
Weihenstephan	0,70	1,19	1,92	2,67	3,30	3,50	3,55	2,99	2,41	1,45	0,77	0,54	2,08
Würzburg	0,53	1,04	1,74	2,63	3,27	3,60	3,47	2,92	2,29	1,26	0,60	0,42	1,98
Maastricht	0,45	0,87	1,49	2,35	3,09	3,25	3,13	2,77	1,99	1,14	0,57	0,35	1,79
Vídeň	0,49	0,92	1,72	2,57	3,32	3,46	3,54	2,94	2,15	1,33	0,66	0,45	1,96
Salzburg	0,67	1,11	1,83	2,44	2,97	3,01	3,19	2,76	2,15	1,42	0,70	0,51	1,90
Innsbruck	0,85	1,41	2,20	2,91	3,45	3,52	3,52	3,04	2,57	1,70	0,94	0,73	2,24
Sonnblick	1,10	1,68	2,66	3,50	3,90	3,74	3,54	2,92	2,52	2,00	1,19	0,95	2,47
Klagenfurt	0,74	1,39	2,15	2,82	3,63	3,72	3,72	3,16	2,42	0,96	0,79	0,59	2,17
Curych-Kloten	0,54	1,05	1,77	2,55	3,27	3,54	3,77	2,96	2,33	1,31	0,65	0,43	2,01
Davos	1,01	1,59	2,59	3,40	3,68	3,56	3,61	3,08	2,66	1,87	1,09	0,88	2,42
Locarno-Monti	0,94	1,39	2,33	3,06	3,37	3,91	4,10	3,38	2,57	1,85	0,99	0,86	2,40
Milán	0,60	1,11	1,95	2,92	3,34	3,79	3,95	3,42	2,48	1,59	0,74	0,56	2,20
Madrid	1,12	1,71	2,70	3,54	4,01	4,35	4,69	4,22	3,12	2,05	1,29	1,15	2,83
Atény	1,14	1,70	2,48	3,35	4,17	4,45	4,47	4,02	3,16	2,20	1,51	1,10	2,81

Tabulka 1: Denní výnos energie fotovoltaického generátoru ve Wh/d na každý W_p výkonu generátoru při vodorovném umístění.

Korekční faktory pro různé sklony a orientace									
Orientace	Jih			Jihovýchod/jihozápad			Východ/západ		
	30°	45°	60°	30°	45°	60°	30°	45°	60°
Leden	1.44	1.57	1.63	1.37	1.48	1.52	1.01	0.99	0.95
Únor	1.40	1.50	1.54	1.33	1.42	1.43	1.01	1.00	0.96
Březen	1.17	1.19	1.15	1.15	1.16	1.12	0.99	0.96	0.91
Duben	1.08	1.05	0.98	1.07	1.05	0.99	0.98	0.95	0.89
Květen	1.00	0.94	0.85	1.00	0.95	0.88	0.97	0.93	0.88
Červen	0.96	0.90	0.81	0.97	0.91	0.82	0.96	0.92	0.86
Červenec	0.97	0.91	0.83	0.98	0.92	0.84	0.96	0.92	0.86
Srpen	1.03	1.00	0.92	1.03	1.00	0.93	0.97	0.94	0.88
Září	1.17	1.18	1.14	1.15	1.16	1.12	0,9	0.96	0.92
Říjen	1.30	1.37	1.38	1.25	1.31	1.30	1.00	0.98	0.94
Listopad	1.47	1.61	1.68	1.40	1.51	1.55	1.01	1.00	0.96
Prosinec	1.42	1.55	1.61	1.36	1.46	1.49	1.00	0.98	0.94

Tabulka 2: Korekční faktory pro různé sklony a orientace.

Specifický denní energetický výnos solárního generátoru (vztážený na 1W jmenovitého výkonu) s předem zadanou orientací a sklonem zjistíme z denního výnosu vodorovně umístěného solárního generátoru tehdy, vynásobíme-li jej korekčním faktorem.

$$\text{Specifický}_\text{energetický}_\text{výnos}_{\text{generátoru}} \left[\text{Wh} / (W_p \times d) \right] = \text{spec}_\text{energ}_\text{výnos}_{\text{gen.vodor.}} \times \text{kor.faktor}_{\text{sklon,orientace}}$$

Potřebný jmenovitý výkon solárního generátoru nyní vypočítáme tak, že denní potřebu energie vydělíme specifickým energetickým výnosem generátoru, přičemž dodatečný faktor 0,8 ve jmenovateli zohledňuje energetickou účinnost akumulátoru:

$$\text{Jmenovitý}_\text{výkon}_\text{generátoru} [W_p] = \frac{\text{průměrná}_\text{denní}_\text{potřeba}_\text{energie} [\text{Wh} / d]}{(\text{specifický}_\text{energetický}_\text{výnos}_{\text{generátoru}} [\text{Wh} / W_p \times d] \times 0,8)}$$

Číslo	Veličina	Výpočet	Hodnota
34	Energetický výnos v dubnu pro stanoviště Vídeň	Tabulka 1	2,57 Wh/(d x W _p)
35	Korekční faktor	Tabulka 2	0,98
36	Energie generátoru	Řádek 34 x řádek 35	2,44 Wh/(d x W _p)
37	Vypočítaný výkon modulu	Potřeba energie/(řádek 36 x 0,8)	4633 W _p

Dimenzování akumulátoru:

Intenzita a doba trvání ozáření nejsou během dne a týdne stejnoměrně rozděleny, takže právě vypočítané průměrné denní výnosy nejsou k dispozici každý den ve stejné výši. Aby bylo zajištěno dostatečné a stejnoměrné zásobování elektřinou i ve dnech s menší intenzitou ozáření, například při deštivém počasí nebo v noci, je nutné ukládání energie do akumulátoru. Při dimenzování tohoto zásobníku elektrické energie se nejprve z energetické potřeby měřené ve Wh/d vypočítá potřeba ampérhodin [Ah/d]. $\text{Potřeba}_\text{ampérhodin} [\text{Ah} / d] = \frac{\text{potřeba}_\text{energie} [\text{Wh} / d]}{\text{systémové}_\text{napětí} [\text{V}]}$. Zde uvedená solární zařízení pracují většinou se systémovým napětím 12 V. U větších zařízení se často používá také vyšší napětí – například 24 V nebo 48 V – aby ztráty ve vedeních byly co nejnižší.

Maximální možná doba trvání autonomního napájení, při níž je spotřebič napájen zcela z akumulátoru, tedy bez dodávky energie z generátoru, se udává v autonomních dnech. Počet autonomních dnů, v nichž je systém nezávisle na Slunci schopen dodávat energii, určuje potřebnou kapacitu akumulátoru a tím i stupeň zabezpečení napájení. Čím provozní doba zasahuje dál do zimních měsíců a čím větší má být zabezpečení napájení, tím více autonomních dnů je nutno při projektování naplánovat.

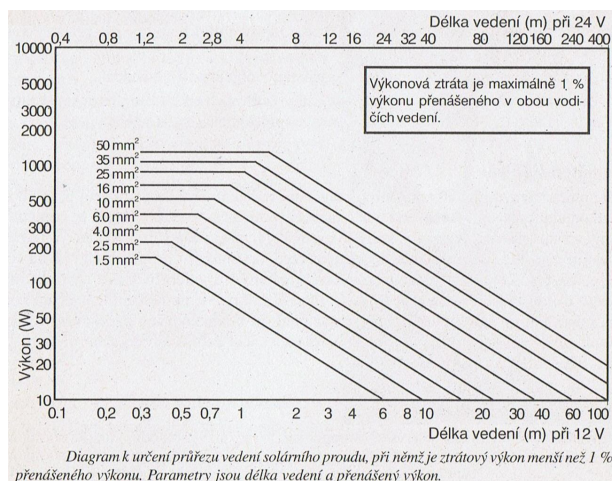
Obvyklá orientační hodnota pro solární napájení víkendových chat je obvykle tři až čtyři autonomní dny. Při celoročním provozu zařízení nebo požaduje-li se velmi vysoké zabezpečení napájení, se musí počítat až s deseti dny, ve výjimečných případech ještě s větším počtem autonomních dnů. Hloubka vybití udává poměr využitelné kapacity ke jmenovité kapacitě akumulátoru.

$$\text{Kapacita}_{\text{akumulátoru}} = (\text{potřeba}_{\text{amperhodin}}[\text{Ah}/d] \times \text{počet}_{\text{autonomních}_{\text{dnů}}}[d]) / \text{hloubka}_{\text{vybití}}$$

Číslo	Veličina	Výpočet	Hodnota
38	Systémové napětí	Zvoleno	24 V
39	Potřeba Ah	Řádek 33/řádek 38	471 Ah/d
40	Počet autonomních dnů	Zvoleno	10
41	Hloubka vybití	Zvoleno	50%
42	Potřebná kapacita akumulátoru	Řádek 38x39/řádek 41	9 420 Ah

Dimenzování vedení:

S ohledem na co nejmenší ztráty energie ve vedení má dimenzování průřezů vedení mimořádný význam. Neboť při systémovém napětí 24 V se i při poměrně malém výkonu vyskytují velké proudy. Abychom ztráty ve vedení udrželi v přijatelných mezích, je nutno průřez vedení přizpůsobit přenášeným proudům. Ztráty jsou tím menší, čím větší je průřez. Z obrázku lze vyčíst maximálně přípustný výkon pro různé průřezy vedení v závislosti na délce vedení a systémovém napětí solárního zařízení.



Regulátor nabíjení:

Tvoří spojovací článek mezi solárním generátorem, akumulátorem a spotřebičem. Vedle omezování napětí při nabíjení má regulátor nabíjení ještě často za úkol při hlubokém vybití odpojit pomocí výkonového relé spotřebiče od akumulátoru. Maximální přípustný spínací proud tohoto relé, který je uveden v katalogovém listu nebo na typovém štítku nabíjecího regulátoru, nesmí být překročen maximálním proudem zátěže na straně spotřebiče.

Střídač napětí ze stejnosměrného na střídavé:

Střídač je elektronický přístroj, který převádí stejnosměrné napětí na střídavé. „Rozsekání“ stejnosměrného proudu na střídavý se provádí elektronicky výkonovými tranzistory. Dobré střídače dnes dosahují účinnosti až 85%.

Sestavení solárního systému (přehled potřebného sortimentu):

	Cena bez DPH	Cena včetně DPH	DPH
Výkonové solární panely v duralovém rámu			
Výkonový solární panel SPP 12V 13W – garance výkonu 25. Let	3 200 Kč	3 808 Kč	19%
Výkonový solární panel SPP 12V 26W – garance výkonu 25. Let	5 000 Kč	5 950 Kč	19%
Výkonový solární panel SPP 12V 50W – garance výkonu 25. Let	8 000 Kč	9 520 Kč	19%
Výkonový solární panel SPP 12/24V 106W – garance výkonu 25. Let	15 900 Kč	18 921 Kč	19%
Výkonový solární panel SPP 24V 155W – garance výkonu 25. Let	19 300 Kč	22 967 Kč	19%
Výkonový solární panel SPP 24V 170W – garance výkonu 25. Let	21 200 Kč	25 228 Kč	19%
Olovené staniční akumulátory pro solární systémy - Banner Energy Bull			
Akumulátor staniční EB 12V/60Ah	2 833 Kč	3 371 Kč	19%
Akumulátor staniční EB 12V/80Ah	3 615 Kč	4 302 Kč	19%
Akumulátor staniční EB 12V/100Ah	4 134 Kč	4 919 Kč	19%
Akumulátor staniční EB 12V/130Ah	4 877 Kč	5 804 Kč	19%
Akumulátor staniční EB 12V/180Ah	6 175 Kč	7 348 Kč	19%
Akumulátor staniční EB 12V/230Ah	8 752 Kč	10 415 Kč	19%
Odpojovač zátěže			
Odpojovač zátěže pro ochranu baterie SOM-12	335 Kč	399 Kč	19%
Monitor stavu baterie			
Digitální monitor stavu baterie DME12	2 663 Kč	3 169 Kč	19%
Sinusové měniče napětí			
Měnič napětí 12V,24V/230V 300W/600W , čistý sinus	3 563 Kč	4 240 Kč	19%
Měnič napětí 12V,24V/230V 600W/1000W , čistý sinus	5 000 Kč	5 950 Kč	19%
Měnič napětí 12V,24V/230V 1000W/2000W , čistý sinus	7 479 Kč	8 900 Kč	19%
Měnič napětí 12V,24V/230V 1700W/3000W , čistý sinus	9 916 Kč	11 800 Kč	19%
Regulátory nabíjení pro fotovoltaické panely			
Solární regulátor nabíjení pro mini panely MPR-xx	396 Kč	471 Kč	19%
Solární regulátor nabíjení s odpojovačem SOR1206, 2406	1 401 Kč	1 667 Kč	19%
Solární regulátor nabíjení SOR1206E, 2406E	1 324 Kč	1 576 Kč	19%

Autonomní izolované zařízení:

Teď se pustíme do samotné volby jednotlivých komponent. Protože byl vypočtený špičkový výkon modulu 4633 Wp , bylo by potřeba zakoupit 43 panelů každý s výkonem 107 W. Nemůžeme použít nejvýkonnější panely, protože mají vyšší napětí než napětí akumulátorů. Potřebná kapacita akumulátoru je 9 420 Ah. Na pokrytí potřeby záložní energie je potřeba 41 akumulátorů každý o kapacitě 230 Ah. Potřebný výkon solárních panelů je větší než největší možný výkon sinusového měniče napětí. Nemohl jsem zjistit, jak takový problém vyřešit, tak jsem použil dva měniče o maximálním výstupním výkonu 3000W. V praxi takový problém půjde určitě vyřešit.

Položka	Počet kusů	Cena za kus (Kč)	Náklady (Kč)
Solární panely	43	18 921	813 603
Akumulátory	41	10 450	428 450
Solární regulátor nabíjení s odpojovačem	1	1 667	1 667
Digitální monitor stavu baterie	1	3 169	3 169
Sinusový měnič	2	11 800	23 600
Celkem náklady			1 270 489

Solární zařízení spojené s rozvodnou elektrickou sítí:

Jako v předchozím případě budeme potřebovat solární panely a sinusový měnič, který bude dodávat elektrickou energii do sítě. V tomto případě použijeme nejvýkonnější solární panely o výkonu 170 W. Odpadá nám koupě akumulátorů, regulátoru nabíjení a monitoru stavu baterie.

Položka	Počet kusů	Cena za kus (Kč)	Náklady (Kč)
Solární panely	27	25 228	681 156
Sinusový měnič	2	11 800	23 600
Celkem náklady			704 756

11. Teoretické vypočítání návratu investic

Budu v úvahu brát cenu elektrické energie za 1 kWh roku 2006, která činí 3,576 Kč. Tuto hodnotu vynásobím průměrným meziročním růstem asi 15%, takže při vynásobení koeficientem 1,32 se přibližně dostaneme na hodnotu v roce 2008. Vypočítaná cena 1 kWh je 4,72 Kč.

Autonomní izolované zařízení:

Náklady na realizaci solárního zařízení činí 1 270 489 Kč. Pro výpočet potřebného výkonu solárního generátoru jsem vybral dopadající sluneční záření v měsíci dubnu. Tento měsíc představuje přibližně celoroční průměr. Při výpočtu výkonu generátoru jsem vycházel z předpokladu, že toto zařízení vyrobí ročně potřebné množství elektrické energie, to je 4 126 kWh (průměrnou denní spotřebu 11 305 Wh vynásobím počtem dnů v roce). Elektřina odebíraná ze sítě by tedy stála 19 474 Kč. V rámci podpory ochrany životního prostředí ministerstvo životního prostředí poskytuje tzv. zelený bonus. Je to příspěvek, kdy producent dostává 10,29 Kč s DPH za 1 kWh a má možnost vyrobenou energii sám spotřebovat nebo dále prodávat, což je výtěžek 42 456 Kč ročně. Celkově solární zařízení ročně šetří 61 930 Kč. Doba návratnosti by tedy byla 20,5 roku. Při dotaci od státu 200 000 Kč se zkrátí tato doba na 17 let. Do výsledné návratnosti se také negativně podepíše náklady na udržování akumulátorů.

Solární zařízení spojené s rozvodnou elektrickou sítí:

Náklady na realizaci solárního zařízení v tomto případě činí 704 756 Kč. Budu uvažovat výkupní cenu elektrické energie 10,90 Kč s DPH za 1 kWh a výrobu elektrické energie 4 126 kWh. Ročně tedy zařízení vydělá 44 973 Kč. Při odečtení vlastní spotřeby domácnosti z předchozího příkladu je čistý roční výdělek 25 499 Kč. Návratnost investice je 28 let, při obdržení dotace 200 000 Kč přibližně 20 let.

Shrnutí:

Zavádění solárních systémů se postupně stává čím dál tím výhodnějším. Návratnost investic 17 let není zase tak dlouhá. Výrobce garantuje určitou výkonnost po dobu 25 let, po této době by bylo asi třeba přidat další solární panely, aby se celkový energetický výnos opět zvýšil. Moje měření a dimenzování zařízení není úplně přesné. Je možné, že jsem některé části systému předdimenzoval a zbytečně tak zvýšil pořizovací cenu celku. Pro optimální využití solární energie jsou nutná přesná měření a použití spotřebičů s co možná nejnižší spotřebou. V naší domácnosti používáme energeticky náročné spotřebiče a nejsme zvyklí energií moc šetřit. K vytápění používáme elektrické topení, ale to není v projektu zahrnuto. Při použití fotovoltaických článků se počítá s vytápěním na plyn. Také můžeme energetickou náročnost snížit v létě použitím solárních kolektorů pro ohřev vody. V mém projektu jsou velmi drahé akumulátory, protože byl požadavek využívání solární energie po celý rok. Je možné, že ve skutečnosti je vypočítaná kapacita akumulátoru příliš velká a neúměrně tak zvyšuje náklady. Výslednou cenu zařízení může také snížit dotace od EU, případně od měst, obcí. Zatím příspěvek poskytují pouze Praha a Plzeň.

12. Český program podpory životního prostředí

Od 1. 1. 2005 je v České republice platný zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie. Na základě tohoto zákona má producent možnost vybrat si 2 druhy podpory – garantovanou výkupní cenu nebo tzv. „zelený bonus“:

- výkupní cena je garantována na 15 let a činí minimálně 13,46 Kč bez DPH za 1 kWh;
- zelený bonus je „příspěvek“ kdy producent dostává 12,75 Kč bez DPH za 1 kWh a má možnost vyrobenou energii sám spotřebovat nebo dále prodávat.

Solární fotovoltaické systémy: významně jsou podporovány instalace solárních fotovoltaických systémů pro rodinné bydlení, a to až do výše 200.000 Kč. Konkrétní pravidla nalezneme na stránkách Státního fondu životního prostředí.

Míra podpory je pro fotovoltaiku 50% z investice, maximálně však 200.000 Kč

13. Závěr

Postupně bych rozebral jednotlivé činitele ovlivňující výkonnost solárního zařízení. Nejdůležitější je intenzita ozáření a spektrum dopadajícího světla. Pokud na solární panel budeme svítit např. žárovkou a úspornou žárovkou (nebo také zářivkou) o stejné svítivosti, tak na solárním panelu naměříme různé napětí. Také je důležité dbát na to, aby panel nebyl zastíněný, případně ho umístit daleko od všech potenciálních překážek. Nejkritičtější je lokalizace panelů při nepřímém slunečním ozáření. Dokazuje to moje zjištění při zatažené obloze. Panel byl umístěný na okně u domu a naměřil jsem řádově elektromotorické napětí 1,5 V. Když jsem popošel na otevřené prostranství (doprostřed zahrady) a umístil panel vodorovně, elektromotorické napětí panelu bylo 2,0 V. Při naklonění panelu se napětí příliš výrazně neměnilo. Poslední částí týkající se zdroje světla je spektrum světla. Spektrum slunečního záření je prakticky konstantní, může se lišit v oblastech s ozónovou dírou. Světelné spektrum můžeme ale ovlivnit při domácím použití solárních panelů. Hodiny případně jiné hračky či přístroje na solární panely budou špatně fungovat při používání úsporných žárovek nebo zářivek, proto jsou v tomto případě nejvýhodnější klasické žárovky.

Sklon a orientace jsou dalšími důležitými faktory. Nejlepší je orientace panelů na jih a sklon kolem 45° . Při využití solárního zařízení na chatových objektech by byla výhodná možnost změny sklonu v závislosti na ročním období. Zařízení jako zrcadla, která směřují více světelné energie na panel, či speciální zařízení, která ideálně směřují panel za zdrojem světla, se finančně nevyplatí. Daleko výhodnější je instalace o něco více solárních panelů. Také záleží, jak budeme solární energii využívat. Například v letních chatách nasměrujeme panely na co největší výkonnost v letních měsících, protože přes zimu tyto objekty neobýváme.

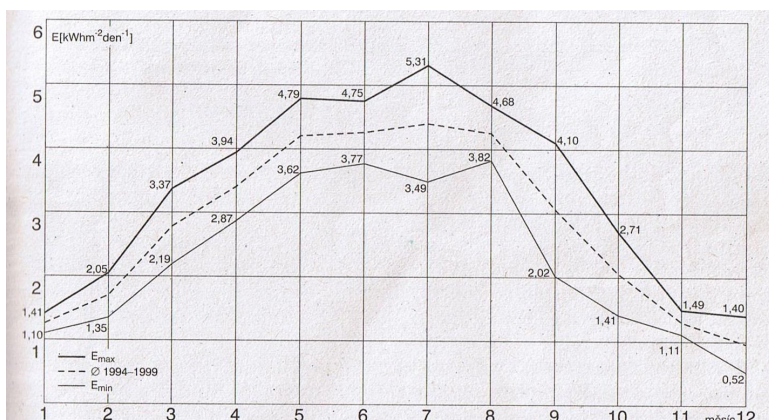
Teplota panelu je posledním z nejdůležitějších činitelů, které musíme při užívání solárních panelů brát v úvahu. Kdyby se podařilo panel zchladit přibližně na bod mrazu, tak by byla výkonnost větší o 16%. Tyto výpočty jsou porovnány se zahřátým panelem na teplotu 22°C . Zahřívání se dá zabránit chlazením panelu nebo výběrem vhodnější barvy pláště solárního panelu. Nevidím jiný než estetický důvod, proč používat černou barvu. Je všeobecně známé, že materiály nebo věci natřené na černo více pohlcují sluneční energii a tím více se zahřívají.

Do budoucna by mohlo být zajímavé používat solární panely zároveň jako solární kolektory. V parných letních dnech by se panel ochlazoval od spodu chladnou vodou, a tak by se například mohla ohřívat voda v bazénu. Nebo by bylo také možné ohřátou vodu používat pro vlastní potřebu. Zmrazovat panel asi v tomto případě nemá smysl. Na chlazení by se spotřebovalo daleko víc energie, než by panel dokázal vyprodukovat díky nižší teplotě oproti normálnímu stavu.

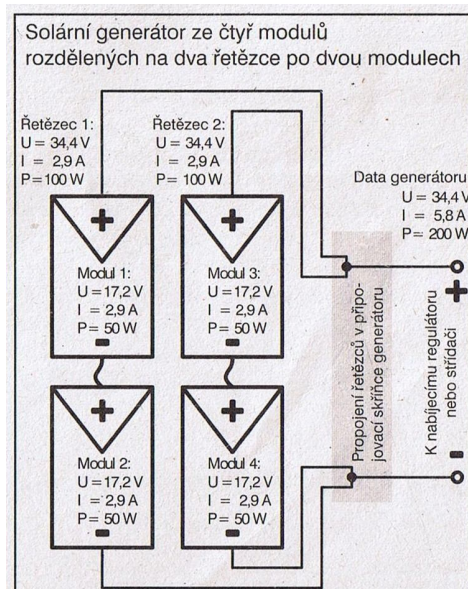
V jednom bodě týkající se teorie solárních článků musím nesouhlasit s autory jedné publikace. Autoři (Andreas Henze a Werner Hillebrand) tvrdí, že v solárním generátoru složeném z více solárních panelů, při zastínění jednoho z nich neprotéká žádný proud. I když jsem dokonale nemohl zakrýt jednotlivé články solárního panelu, je můj pokus celkem dost průkazný. Panelem proud protéká, jen s určitou ztrátou.

Instalace solárních panelů do domácností se již v tuto dobu vyplatí. Ceny energií neustále rostou a v rámci zhoršujícího se životního prostředí bude pořizovací cena klesat a dotace naopak neustále růst. Jakmile se doba návratnosti zkrátí na polovinu, tedy přibližně na 10 let, dočkáme se obrovského rozmachu tohoto odvětví moderní techniky.

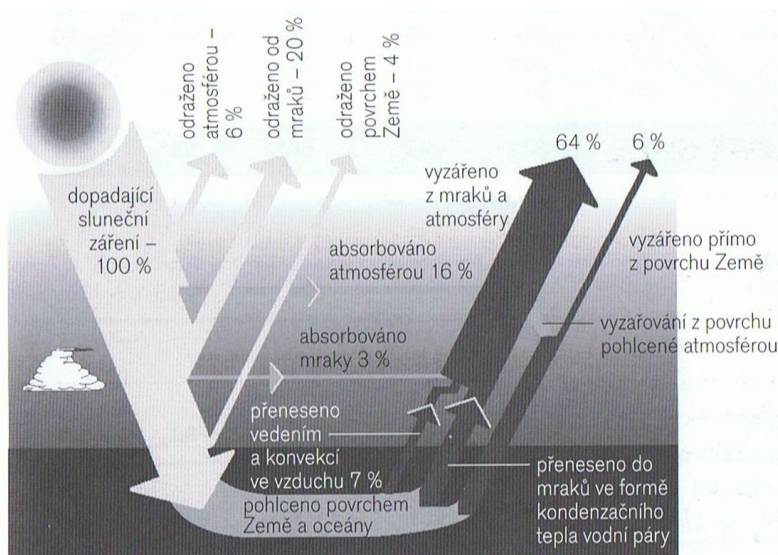
14. Příloha



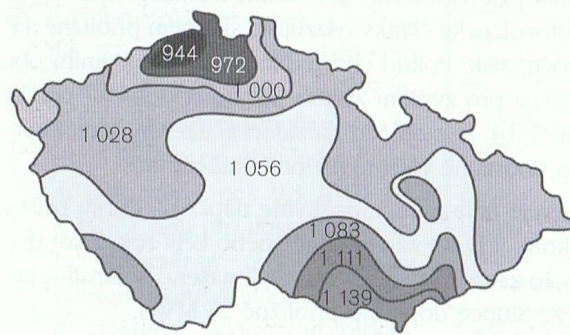
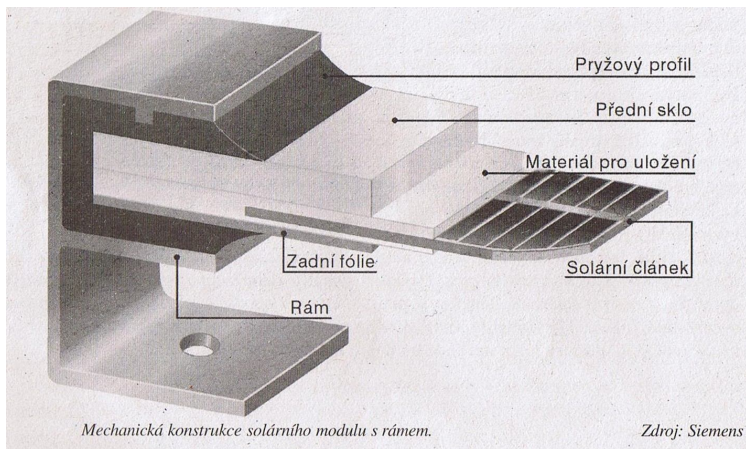
Kolísání ročního ozáření sluneční energií v lokalitě Rožnov pod Radhoštěm. Hodnoty však lze s vyhovující přesností použít pro místa s nadmořskou výškou 250–600 m v celé ČR. Za období 1994–1999 jsou v tabulce pro jednotlivé měsíce roku uvedeny průměrné hodnoty energie slunečního záření, která při nezastíněném obzoru denně dopadá na 1 m² plochy se sklonem 45° vůči vodorovné rovině a orientované na jih. Energie E má rozměr kWh/m² den. Následující graf zachycuje maximální, minimální a průměrné hodnoty dopadající energie v jednotlivých měsících sledovaného období 1994 - 1999. Zdroj: Trimex, Rožnov pod Radhoštěm



Tento solární generátor se skládá ze čtyř solárních modulů. Vždy dva moduly zapojené do série tvoří jeden řetězec, oba řetězce jsou pak zapojeny paralelně. Paralelní zapojení se provede v přípojovací skříňce generátoru. Generátor jako celek dodává dvojnásobné napětí, dvojnásobný proud a čtyřnásobný výkon ve srovnání s jedním modulem.



Energetická bilance Země – průchod záření zemskou atmosférou [3]



Mapa ročních úhrnů celkového slunečního záření dopadajícího na vodorovnou plochu v ČR [kWh/m²] [9]

Data pro zjištění závislosti napětí na teplotě

t (s)	t (min)	U (V)	t (°C)
5	0,083	2,41	1
10	0,166	2,40	1
15	0,250	2,39	1
20	0,333	2,38	1
25	0,416	2,37	2
30	0,500	2,36	2
35	0,583	2,36	2
40	0,666	2,35	3
45	0,750	2,34	3
50	0,833	2,33	4
55	0,916	2,33	4
60	1,000	2,32	5
65	1,083	2,31	5
70	1,166	2,31	6
75	1,250	2,30	6
80	1,333	2,29	7
85	1,416	2,29	8
90	1,500	2,29	8
95	1,583	2,28	9
100	1,666	2,27	9
105	1,750	2,27	10
110	1,833	2,26	11
115	1,916	2,26	11
120	2,000	2,25	11
125	2,083	2,25	11
130	2,166	2,24	12
135	2,250	2,24	12
140	2,333	2,23	12
145	2,416	2,23	13
150	2,500	2,23	14
155	2,583	2,22	14
160	2,666	2,22	15
165	2,750	2,21	15
170	2,833	2,21	15
175	2,916	2,20	15
180	3,000	2,20	16
185	3,083	2,19	16
190	3,166	2,19	16
195	3,250	2,19	16
200	3,333	2,18	16
205	3,416	2,18	18
210	3,500	2,17	18
215	3,583	2,17	18
220	3,666	2,17	19
225	3,750	2,16	19
230	3,833	2,16	19
235	3,916	2,16	19
240	4,000	2,15	20
245	4,083	2,15	20
250	4,166	2,14	20
255	4,250	2,14	21
260	4,333	2,14	21

265	4,416	2,13	21
270	4,500	2,13	22
275	4,583	2,13	22
280	4,666	2,12	22
285	4,750	2,12	22
290	4,833	2,12	23
295	4,916	2,11	23
300	5,000	2,11	24
305	5,083	2,10	24
310	5,166	2,10	24
315	5,250	2,10	24
320	5,333	2,10	25
325	5,416	2,09	26
330	5,500	2,09	26
335	5,583	2,09	26
340	5,666	2,08	26
345	5,750	2,08	26
350	5,833	2,07	26
355	5,916	2,07	27
360	6,000	2,07	27
365	6,083	2,06	28
370	6,166	2,06	28
375	6,250	2,06	28
380	6,333	2,05	28
385	6,416	2,05	29
390	6,500	2,05	29
395	6,583	2,05	30
400	6,666	2,04	30
405	6,750	2,04	30
410	6,833	2,04	30
415	6,916	2,04	30
420	7,000	2,03	30
425	7,083	2,03	31
430	7,166	2,03	31
435	7,250	2,03	31
440	7,333	2,02	32
445	7,416	2,02	32
450	7,500	2,02	32
455	7,583	2,02	32
460	7,666	2,01	32
465	7,750	2,01	32
470	7,833	2,01	32
475	7,916	2,02	33
480	8,000	2,02	33
485	8,083	2,02	33
490	8,166	2,02	33
495	8,250	2,02	34
500	8,333	2,02	34
505	8,416	1,99	34
510	8,500	1,99	34
515	8,583	1,99	34
520	8,666	1,99	35
525	8,750	1,99	35

520	8,666	1,99	35
525	8,750	1,99	35
530	8,833	1,99	35
535	8,916	1,98	35
540	9,000	1,98	36
545	9,083	1,98	36
550	9,166	1,98	36
555	9,250	1,98	36
560	9,333	1,97	36
565	9,416	1,97	36
570	9,500	1,97	36
575	9,583	1,97	37
580	9,666	1,97	37
585	9,750	1,97	37
590	9,833	1,97	37
595	9,916	1,96	37
600	10,000	1,96	37
605	10,083	1,96	37
610	10,166	1,96	37
615	10,250	1,96	37
620	10,333	1,96	37
625	10,416	1,95	37

15. Literatura

[1] HENZE, ANDREAS a HILLEBRAND, WERNER. *Elektrický proud ze slunce*. 1. čes. vyd.

Ostrava: HEL, 2000. ISBN 80-86167-12-7

[2] MURTINGER, KAREL a TRUXA, JAN. *Solární energie pro váš dům*. 1. vyd. Brno: ERA, 2005.

ISBN 80-7366-029-6

[3] KARAMANOLIS, STRATIS. *Sluneční energie*. 1. čes, vyd. Praha: Sdružení MAC, 1996.

ISBN 80-86015-02-5

Internet:

[1] <http://www.direkta.cz/>

[2] <http://www.solarsystems.cz/>

[3] <http://www.solarobchod.cz/>