	<p>VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY</p>
	<p>FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ</p> <p>ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE</p> <p>FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION</p> <p>DEPARTMENT OF ELECTROTECHNOLOGY</p>

Ekonomická stránka a rentabilita fotovoltaické elektrárny
ECONOMICS AND VIABILITY OF PHOTOVOLTAIC POWER STATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Dalibor Mrázek

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Petr Křivík, Ph.D.

BRNO, 2011

Abstrakt

Na začátku předkládané práce jsem se zabýval studiem různých druhů fotovoltaických panelů, jejich různorodým použitím, účinností, výhodami jednotlivých typů a popisem klimatických jevů v České Republice. V závislosti na počtech slunečných a bezoblačných dnů jsem hledal nejlepší umístění fotovoltaické elektrárny. Na základě spolupráce se společností Energ-servis a.s. a pomocí jejich test centra jsem porovnával různé typy panelů, jejich výkonnost v závislosti na pořizovací ceně a způsobu výkupu. Z těchto dat, šesti různorodých instalací, jsem se snažil určit nejvýhodnější typ panelu, který je nejlepší pro oblast jihomoravského kraje v poměru cena / návratnost investice.

Abstract

At the beginning of the submitted work, I dealt with the study of various types of photovoltaic panels, their diverse use, effectiveness, advantages of each type and description of climate in the Czech Republic. Depending on the number of sunny days and no cloudy days, I was looking for the best areas photovoltaic power. On the basis of cooperation with the firm and Energ-servis and using their test center, I compare different types of panels, their performance in relation with the cost and method of purchase. From these data, six diverse installation, I tried to determine the best type of panel that is best for the South Moravian region in the cost / return on investment.

Klíčová slova:

fotovoltaický systém, rentabilita

Keywords:

photovoltaic system, profitability

MRÁZEK, D. Ekonomická stránka a rentabilita fotovoltaické elektrárny. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 53 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Křivík, Ph.D..

Prohlášení autora o původnosti díla:

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 26. 05. 2011

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Křivíkovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Dále děkuji společnosti Energ-servis a.s. za poskytnutí naměřených dat z jejího test centra.

Obsah

1.	Fotovoltaika	10
2.	Typy panelů	11
2.1	Tlustovrstvé panely	11
2.1.1.	Monokrystalické panely	11
2.1.2.	Polykrystalické panely	11
2.2	Tenkovrstvé panely	12
2.2.1.	Tenkovrstvé křemíkové panely	12
2.2.2.	Nekřemíkové technologie	13
2.3	Výroba monokrystalických solárních článků	14
2.4	Vývoj	15
2.4.1.	Sanyo	15
2.4.2.	Sharp	16
2.4.3.	Elmarco	17
2.5	Koncentrátorové články	17
2.6	Sluneční záření	17
2.7	Budovy a možné instalace panelů	18
2.8	Podmínky fotovoltaických elektráren v ČR	21
3.	Velké fotovoltaické elektrárny v ČR	22
3.1	Hrušovany nad Jevišovkou	22
3.2	Bušanovice	22
3.3	Ralsko	23
3.4	Celkový přehled a budoucnost fotovoltaických elektráren	24
4.	Zapojení FVE	24
4.1	Síťové systémy (on-grid)	24
4.2	Ostrovní systém (off-grid)	25
5.	Ekonomika FVE	27
5.1	Prodej energie distributorovi (státní výkup)	27
5.2	Prodej nespotřebované energie distributorovi (zelený bonus)	28
5.3	Příkladové kalkulace FVE o různých výkonech	29
5.3.1.	Zapojení se zeleným bonusem sedlová střecha 33m ²	29
5.3.2.	Zapojení se zeleným bonusem sedlová střecha 140,25 m ²	31
5.3.3.	Zapojení na přímý (státní výkup) na plochu 1 866 m ²	33
5.3.4.	Srovnání investice do FVE oproti spoření	35
6.	Skutečné kalkulace za použití dat z inkubátoru Hády	36
6.1	Představení jednotlivých typů instalací	36
6.2	Pořizovací náklady	40
6.3	Porovnání výkonu v závislosti na typu panelu (kWp)	41
6.4	Půlroční výnosy a návratnost jednotlivých instalací	45
7.	Závěr	48
	Zdroje:	50
	Přílohy:	52

Úvod

Důvodem pro hledání nových zdrojů energie není jen nynější energetická krize, ale také to, že v ceně energie od velké tepelné nebo jaderné elektrárny není zahrnuto poškození životního prostředí, nehody při těžbě v dole, nehody v jaderné elektrárně a v neposlední době likvidace vysloužilé elektrárny či zbytky jaderného paliva. Kdyby byly v ceně zahrnuty tyto faktory, tak by se ceny z velké elektrárny blížily cenám z malých solárních elektráren, které v dnešní době prožívají výrazný „BOOM“. Ač by se mohlo zdát, že solární panely poskytují energii zadarmo, není tomu tak. Výroba křemíku je značně energeticky náročná. Proto musí být panely v provozu aspoň 2-4 roky, v závislosti na umístění, aby dodaly energii, která byla spotřebována při jejich výrobě. Po této době se dají fotovoltaické panely považovat za čistý zdroj elektrické energie. Vysloužilé panely se opět rozeberou na hliník, ušlechtilé kovy a v neposlední řadě se odseparuje křemík od laminátu, který se roztaví a znovu použije.

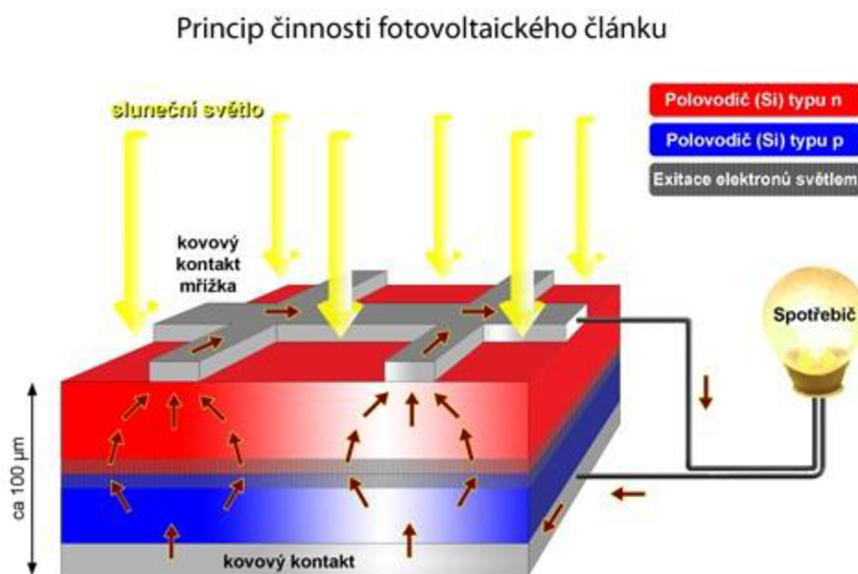
Tato práce se bude zabývat návratností investic do fotovoltaiky s pomocí naměřených dat ze společnosti Energ-servis a.s. u různých typů fotovoltaických panelů různých výkonů. Na tomto základě jsou porovnávány instalace vzhledem k výkonům na kilowattpeak, metr čtvereční plochy a návratnosti. Dále se práce zmiňuje o různých způsobech výkupu, výkupních cenách pro roky 2009 a 2010. Závěrem je, který typ panelů je lepší pro použití v našich zeměpisných šířkách a která instalace dosahuje nejnižší návratnosti.

1. Fotovoltaika

Fotovoltaický jev objevil v roce 1839 francouzský fyzik Alexandr Edmond Becquerel. První fotovoltaický článek však byl sestaven až v roce 1883 Charlesem Frittem, který potáhl polovodivý selen velmi tenkou vrstvou zlata. Jeho zařízení mělo pouze jednoprocenní účinnost. V roce 1946 si nechal patentovat konstrukci solárních článků Russel Ohl. Současná podoba solárních článků se zrodila v roce 1954 v Bell Laboratories. Při experimentech s dopovaným křemíkem byla objevena jeho vysoká citlivost na osvětlení. Výsledkem byla realizace fotovoltaického článku s účinností kolem 6 %. Význam fotovoltaiky se projevil zvláště v kosmonautice, kde fotovoltaika tvoří prakticky jediný zdroj elektrické energie pro umělé družice Země. První družici s fotovoltaickými články byla sovětská družice Sputnik 3, vypuštěná na oběžnou dráhu 15. května 1957.

Na začátku sedmdesátých let se fotovoltaické články dostaly z laboratoří a z kosmického prostoru i na zem, z velké části díky ropným společnostem těžícím v Mexickém zálivu. Na automatických ropných plošinách je elektrická energie potřebná pro osvětlení (maják) a pro ochranu proti korozi. Fotovoltaické články zcela vytlačily, do té doby používané, primární články elektrické energie.

Princip fotoelektrického jevu spočívá ve vzájemném působení slunečního záření a polovodičové hmoty (většinou křemík), ve které dochází k pohlcování fotonů a uvolňování elektronů. V polovodiči pak vznikají volné elektrické náboje elektron - díra, které jsou už jako elektrická energie odváděny ze solárního článku přes regulátor do akumulátoru nebo ke spotřebiči.



Obr. 1.1.1: Princip činnosti fotovoltaického článku

2. Typy panelů

2.1 Tlustovrstvé panely

Fotovoltaický článek je tvořen velkoplošnou polovodičovou p-n diodou. Tyto články se vyrábějí z křemíkových plátků, ať už z monokrystalického nebo polykrystalického křemíku. V současné době se touto technologií vyrábí více než 85% solárních článků na trhu.

2.1.1. Monokrystalické panely

Monokrystalické panely patří mezi typy s nejvyšší účinností 14 až 17 %. Jejich použití je ideální jak pro šikmé střechy s orientací na jih + 5-10°, tak pro dvousé polohovací jednotky - trackery, kterými se účinnost znásobí na nejvyšší výkon na m². Současný výkon panelu je v rozmezí 170-290W. Udávaná životnost je 30 let s garancí 90% výkonu po 10 letech a 80% garancí výkonu po 25 letech. Pořizovací cena je však z daných typů nejvyšší.



Obr. 2.1.1: Monokrystalický panel (černá barva panelu)

2.1.2. Polykrystalické panely

Se svou účinností 12 až 15 % se řadí na druhé místo za monokrystalické solární panely.

Jejich použití je ideální pro střešní systémy i na pozemky. Oproti monokrystalickým panelům je třeba mírně větší plocha. Mohou být orientovány i na jinou světovou stranu než jih (JV, V, Z), jelikož dovedou přeměňovat i difuzní záření. Nejvyšší výkon na panel dosahuje hodnot až 260W. Životnost se udává u těchto panelů 30 let s garancí 90% výkonu po 10 letech a 80% garancí výkonu po 25 letech.



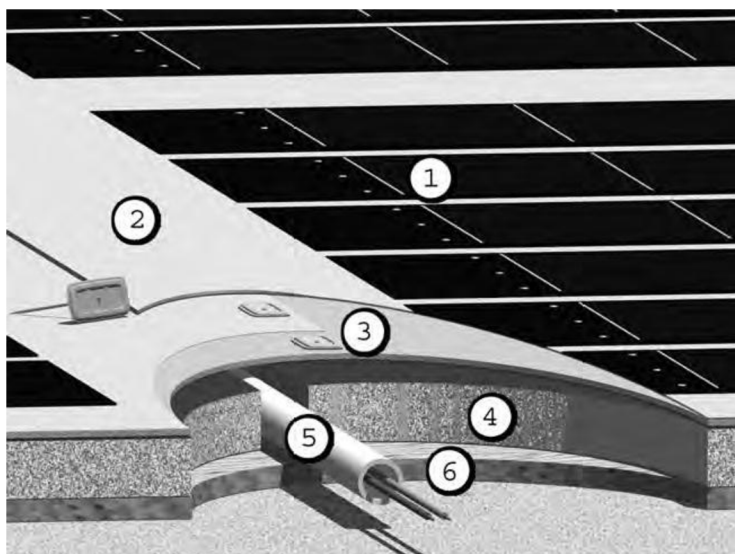
Obr. 2.1.2: Polykrystalický panel (modrofialová barva panelu)

2.2 Tenkovrstvé panely

Fotovoltaický článek je tvořen nosnou plochou (například sklem, textilií a podobně), na které jsou napařené velmi tenké vrstvy amorfního nebo mikrokrystalického křemíku. Množství materiálu použitého pro výrobu tenkovrstvého fotovoltaického článku je nižší než u tlustých vrstev, takže články jsou levnější. Nevýhodou současných tenkovrstvých fotovoltaických článků je nižší účinnost a nižší životnost.

2.2.1. Tenkovrstvé křemíkové panely

Se svou účinností 5 až 9 % se řadí na třetí místo za polykrystalické panely. Jejich použití je ideální pro elektrárny, které nejsou omezeny plochou pozemku. V USA se používají na obrovských střechách výrobních hal. Mezi největší výhodu patří nízká pořizovací cena a nejvyšší výkon na instalovaný Watt při dopadu difuzního světla, což je dobré při špatné orientaci střechy a území s častou oblačností. Nevýhodou je nejnižší výkon na m². U těchto systémů je třeba počítat s plochou řádově 2,5krát větší než u elektráren vybavených krystalickými panely. Životnost je 20 let s garancí 90% výkonu po 10 letech a 80% garancí výkonu po 15 letech.



- 1) pružné fotovoltaické moduly
- 2) BIPV Střešní systém (Building Integrated Photovoltaics- fotovoltaické panely integrovány do budov)
- 3) sádkartonové desky
- 4) tuhé izolační pěny
- 5) potrubí pro elektrická vedení
- 6) stávající střešní plášť

Obr.: 2.2.1.1: Umístění tenkovrstvých panelů na střechu [1]



Obr. 2.2.1.2: Pokrytí výrobní haly Coca-Cola tenkovrstvými panely v Los Angeles (350kW AC) [1]

2.2.2. Nekřemíkové technologie

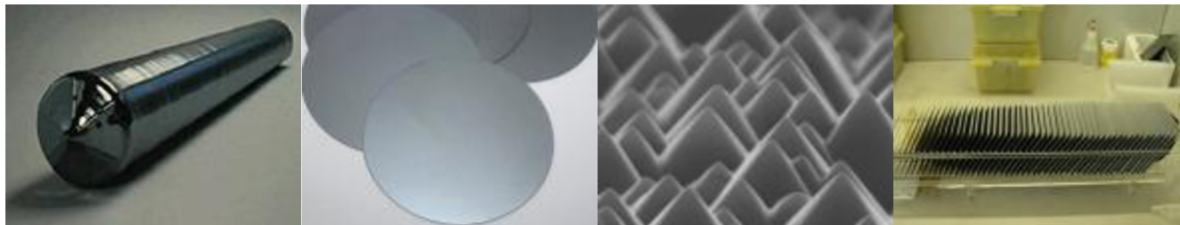
Vzhledem k možnému masovému využití fotovoltaických článků, jejichž výrobní cena by byla podstatně nižší než v současnosti, probíhá také výzkum fotovoltaických článků

pracujících s jinými fotocitlivými materiály, než je křemík. Jednou z možností jsou vodivé polymery; například v listopadu 2005 se podařilo výzkumné skupině na University of California v Los Angeles dosáhnout zatím maximální účinnosti 4,4%. Na rozdíl od předešlých tenkovrstvých a tlustovrstvých panelů se pro převod světla na elektrickou energii nepoužívá tradiční P-N polovodičový přechod. Používají se různé organické sloučeniny, polymery, dále prvky jako je Ge, GaAs a jiné. Polymerové a organické technologie jsou většinou ve stadiu výzkumů.

2.3 Výroba monokrystalických solárních článků

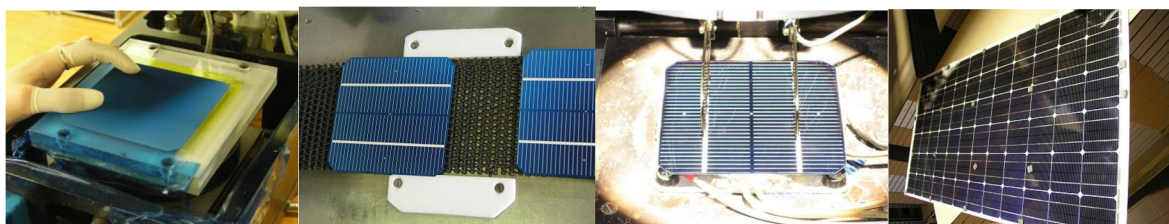
Výrobní cyklus se skládá z několika na sebe navazujících fází:

- Výchozím materiálem je křemíkový ingot. Je to válec z monokrystalického křemíku o hmotnosti asi 100 kg, průměru kolem 14 cm a délce přes 80 cm. Křemík s příměsí bóru (polovodič typu P) musí splňovat velmi přísná kritéria - 1 atom bóru připadá přibližně na 5 000 000 křemíkových atomů.
- Rozřezání ingotu na destičky o tloušťce asi 0,3 mm. Tyto destičky jsou základem budoucích fotovoltaických článků. Rozřezáním ingotu se získá asi 750 destiček o celkové hmotnosti kolem 40 kg. Zbytky ingotu se vrací k roztavení a opětovnému zpracování.
- Leptání destiček, které odstraní poškození jejich povrchu při řezání. Výsledkem je texturovaný povrch. Na povrchu se vytvoří miniaturní křemíkové pyramidy snižující odraz světla. Touto operací se výrazně zvyšuje účinnost budoucího fotočlánku.
- Difundování fosforu a vytvoření tenké vrstvy polovodiče typu N. Tloušťka této vrstvy je přibližně 500 nm, to je 0,0005 mm. Při této operaci vznikne těsně pod povrchem křemíkové destičky přechod PN, který je základem funkce fotočlánku. Původní kruhový tvar destiček se ořeže na čtverce se zaoblenými rohy [3].



Obr. 2.3.1: Křemíkový ingot (1) je rozřezán na tenké destičky (2). Leptáním se na jejich povrchu vytváří texturovaný povrch (3). Na destičkách se pak difuzí vytvoří velkoplošný přechod PN (4) [3]

- Antireflexní vrstva z nevodivého nitridu křemíku má za úkol snížit odrazivost povrchu podobně jako texturování leptáním. Chrání také povrch před mechanickým poškozením. Antireflexní vrstva má tloušťku asi 80 nm a je příčinou modravého zbarvení povrchu fotočlánků.
- Vodivé kontakty pro odběr elektřiny z fotočlánku se zhotovují sítotiskovou metodou. Na spodní neosvětlené ploše se vytvoří hustá mřížka, sběrnice (kontakty) na osvětlené části povrchu má podobu tenkých vodivých "prstů". Kontakty se při vysoké teplotě zataví přes antireflexní vrstvu až do křemíkového materiálu.
- Měření a třídění je závěrečnou fází výroby. Touto operací prochází každý článek, protože články zapojené do fotovoltaických panelů musí mít přibližně stejné vlastnosti. Při měření se článek ozařuje světlem odpovídajícím slunečnímu záření. Základním parametrem pro třídění je proud generovaný fotočlánkem.
- Fotovoltaický panel vznikne sériovým a paralelním spojením fotočlánků podle požadovaného napětí a odebíraného proudu. Panel je zakrytý průhlednou deskou a neprodyšně uzavřen na ochranu před vnějšími vlivy [3].



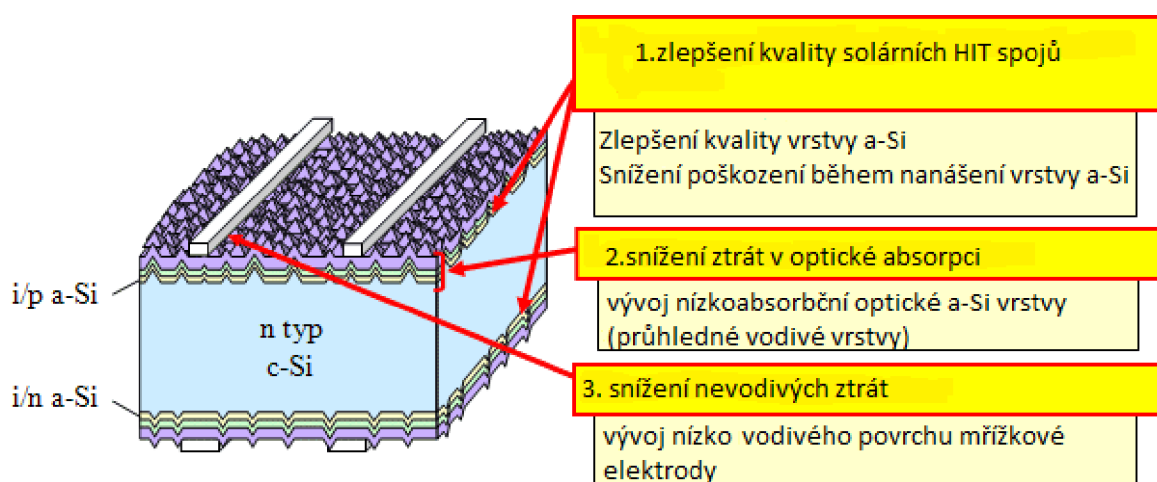
Obr. 2.3.1: Povrch destičky pokrytý antireflexní vrstvou má modré zbarvení (1). Kontakty nanesené sítotiskem se zataví v žíhací peci (2). Hotové články se proměřují (3) a sestavují se z nich fotovoltaické panely (4) [3]

2.4 Vývoj

2.4.1. Sanyo

Výroba a vývoj fotovoltaických článků jde neustále, po malých krocích, kupředu. Příkladem může být firma Sanyo, která ohlásila, že se jí podařilo překonat její vlastní světový rekord v účinnosti solárních článků, což je největší problém této metody získávání energie. Nová hodnota zní 23 % a představuje drobné zvýšení z dosavadních 22,3 %. Bylo toho dosaženo evolucí vlastních HIT fotovoltaických článků z krystalického křemíku. HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin layer) se skládá z jediné tenké křemíkové desky (single-crystalline silicon (c-Si)) obalené z obou stran supertenkými amorfními křemíkovými vrstvičkami (amorphous silicon (a-Si)). Vyvinutá architektura omezuje rekombinační ztráty

prvků nesoucích náboj právě obalením c-Si vrstvy generující energii a-Si vrstvičkou. Sanyo aktuálně dosáhlo zlepšení výroby a-Si části, výsledkem je zvýšení napětí z 0,725 na 0,729 V. Současně se zkvalitněním a ztenčením a-Si vrstvy a zkvalitněním vodivé vrstvy mají sluneční paprsky snadnější průchod k energii generující c-Si vrstvě, neboť v amorfni vrstvě dochází k menším absorpčním ztrátám. Proud tak nakrátko vzrostl z 39,2 A/cm² na 39,5 A/cm². Dalším aspektem, který přispěl ke zlepšení účinnosti, jsou nižší odporové ztráty. Sanyo vyvinulo materiál pro výrobu elektrod s nižším odporem, který se navíc nanáší lepší tiskovou technologií. Takzvaný „fill factor“ (hodnota daná jako $V_{oc} \times I_{sc}$) tak vzrostl z 0,791 na 0,80, představuje tedy 80% dosažitelného maxima [4].



Obr. 2.4.1: Základ HIT technologie

2.4.2. Sharp

U tradičních solárních článků je na spodní vrstvu použito germanium (Ge), protože je snadno zpracovatelné a produkuje velké množství proudu. Přesto účinnost takovéto přeměny na elektrickou energii není vysoká. Tento problém řeší použití směsi india, galia a arsenu (InGaAs), protože tento materiál má vysoký stupeň účinnosti přeměny světla na elektřinu. Ale samotný proces výroby pro dosažení vysoké krystaličnosti je velmi komplikovaný. Sharp nyní dosáhl úspěchu ve formování InGaAs vrstvy s vysokou krystaličností díky použití vlastní patentované technologie.

Ve výsledku tak bylo minimalizováno množství ztracené energie a konverzní účinnost (u předchozích solárních článků Sharp 31,5%) byla úspěšně zvýšena na 35,8%. Sharp dosáhl tohoto průlomů v rámci programu „Výzkum a vývoj inovativních solárních článků“ podporovaného japonskou Organizací pro nové energie a průmyslový technologický vývoj

(NEDO). Na tomto úspěchu chce společnost Sharp dále stavět a pokračovat ve vylepšování účinnosti přeměny solárních článků i v budoucnu. Sharp přitom může využívat padesátileté zkušenosti v oblasti fotovoltaiky: od prvního vývoje solárních článků v roce 1959 vedly zkušenosti a angažovanost společnosti Sharp k mnoha inovacím. Se svými monokrystalickými, polykrystalickými, tenkovrstvými solárními moduly a vícevrstevnými solárními články má Sharp širokou kolekci fotovoltaických technologií ve svém portfoliu [8].

2.4.3. Elmarco

Taktéž může jít příkladem Liberecká firma ELMARCO, která se zabývá vývojem a výrobou nanovláken. Nyní se společně se skupinou ČEZ zabývají výzkumem, vývojem a testováním nových energetických technologií. Před nedávnem firmy oznámily zahájení společného projektu, jehož cílem bude zavedení ekonomicky výhodných solárních panelů, které jako první na světě používají k výrobě energie nanovlákná. První etapou je testování těchto panelů v reálných podmínkách a porovnání výkonu klasických křemíkových a nových „nanovláknenných“ panelů založených na technologii vyvíjené firmou ELMARCO.

2.5 Koncentrátorové články

Aby se lépe využily drahé solární články, je možné použít odrazné plochy (zrcadla) nebo čočky, které koncentrují sluneční záření na solární článek a umožňují osvětlovat článek mnohem vyššími intenzitami světla. Pro práci takového systému je potřeba přimontovat panel do zařízení pro sledování slunce (tracker) a články je nutné chladit.

Běžně vyráběné fotovoltaické články jsou určeny pro práci při osvětlení slunečním zářením o intenzitě $1\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$ (1 slunce). Především metalizace běžných fotovoltaických článků není uzpůsobená vyššímu proudovému zatížení, proto se používají speciální koncentrátorové solární články.

2.6 Sluneční záření

Sluneční světlo vzniká termonukleární reakcí ve slunečním centru při teplotách okolo 15 milionů Kelvinů. Na povrchu Slunce už je teplota kolem 6 tisíc Kelvinů. Zářivý výkon celého slunce je $3,85\cdot 10^{23}$ kW. Většina tohoto výkonu se vyzáří do prostoru a k Zemi dorazí je asi půl miliardy. I tak je to výkon $1,744\cdot 10^{14}$ kW na celou ozářenou polokouli. Země obíhá kolem Slunce ve vzdálenosti 150 milionů kilometrů. Energetická hustota slunečního

záření v této vzdálenosti je ve vakuu $1367 \pm 7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Tato energie je rozložená do elektromagnetického spektra přibližně odpovídající záření absolutně černého tělesa o teplotě 5700 K. Při průchodu atmosférou se část sluneční energie ztratí. Asi $300 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ se v atmosféře absorbuje, kolem $100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ se rozptýlí. Část rozptýlené energie přispívá k celkovému osvětlení jako difuzní záření oblohy.

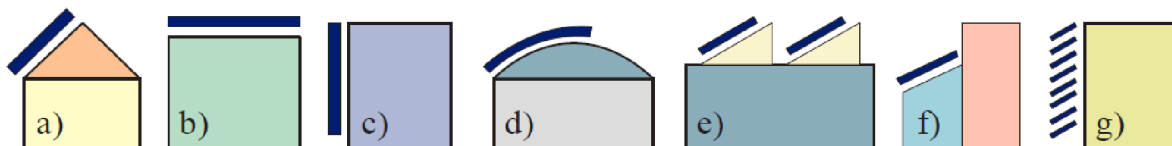
Účinnost solárních článků se měří při definovaném osvětlení, ale silně závisí na průhlednosti atmosféry. Energie fotonu, která překračuje potřebnou hranici pro výrobu elektřiny, se mění v teplo. Prakticky se dosahuje účinnosti asi 15% u průmyslově vyráběných článků. U experimentálních laboratorně vyráběných článků se dosahuje účinnosti až 30%. U současných tenkovrstvých článků dosahuje účinnost přibližně 8-9%, časem se však snižuje mnohem rychleji než u tlustovrstvých článků. V roce 2006 Národní laboratoř pro obnovitelnou energii (USA) představila články využívající trojnásobné přechody s efektivitou až 40,7% [1].

2.7 Budovy a možné instalace panelů

Budovy a jejich obvodové pláště jsou vhodným prostředím pro FV instalace, neboť často poskytují vhodně orientované a jinak nevyužité plochy. Pro integraci fotovoltaiky do budov se vžil anglický termín „Building Integrated Photovoltaics“, zkráceně BIPV, pro jehož naplnění je nutné respektovat následující kritéria:

- stavební začlenění a architektonický soulad fotovoltaiky s budovou
- technologická návaznost na ostatní energetické systémy budovy
- energetická návaznost na provoz a křivku potřeby elektrické energie v budově.

Základní kategorie integrace FV prvků do obvodových plášťů budov jsou znázorněny na následujícím obrázku.



Obr. 2.7.1: Schematické znázornění způsobů integrace FV systémů do budov: (a) šikmá střecha, (b) plochá střecha, (c) fasáda, (d) tenkovrstvá FV pro velké střešní plochy, (e) průmyslové aplikace, (f) semitrparentní FV pro atria a výplně otvorů, (g) vnější stínící a clonící systémy [2]

Moderně navržený FV systém slouží nejen k produkci elektrické energie, ale jako plnohodnotný stavební prvek zastává i další tradiční stavební funkce. Na základě stavebně-

architektonického a funkčního vztahu fotovoltaiky a budovy lze definovat tři základní kategorie popisující způsob instalace FV panelů:

- FV panely v otevřené poloze
- FV panely v těsné blízkosti jiných konstrukcí
- FV panely na rozhraní vnějšího a vnitřního prostředí

FV panely v otevřené poloze

Pro FV panely v otevřené poloze se dá předpokládat oboustranné stejnoměrné obtékání větrem, který efektivně odvádí produkované teplo do okolí. Výsledkem je uniformní teplota panelů v rámci FV generátoru. Příkladem instalace v otevřené poloze jsou zejména FV panely ve sklonu nesené samostatnými rámovými konstrukcemi na plochých střeších. Jedná se často o instalace na málo přístupných a málo vizuálně exponovaných místech. Nedá se tedy mluvit o přímé integraci do objektu. Tyto instalace jsou určeny výhradně k výrobě elektrické energie. V otevřené poloze však mohou být i prvky, které se architektonicky na budově výrazně projevují, například předsazené stínící markýzy [2].

FV panely v těsné blízkosti jiných konstrukcí

FV panely umístěné v těsné blízkosti jiných konstrukcí, nejčastěji obvodové stěny či střechy budovy, jsou větrem obtékány pouze z přední strany. Aby byl zajištěn efektivní odvod nadbytečného tepla i ze zadní strany panelů, je ve většině případů mezi FV panely a vnějším lícem obvodového pláště budovy zařazena otevřená vzduchová mezera. Zvláštním případem této skupiny jsou stavebně integrované FV panely, které přímo tvoří součást obvodového pláště budovy a často nahrazují fasádní obklad či střešní krytinu (viz obr. 2.7.2). Jedná se zpravidla o konstrukce, na něž jsou kladeny značné estetické nároky. Proto je zapotřebí se zabývat integrací i z hlediska architektonického výrazu. Významnou roli při návrhu systému zde hrají barevnost, struktura, členění atd. O podobě celku může rozhodnout i barva rámu nebo volba bezrámového řešení [2].



Obr. 2.7.2: FV panely nahrazující střešní krytinu větrané dvouplášťové střechy [2]

U fotovoltaických panelů instalovaných v těsné blízkosti jiných konstrukcí je teplo z přední strany panelů do okolního prostředí odváděno stejným způsobem jako u panelů v otevřené poloze, tedy konvekcí a radiací, přičemž dominantní roli zde hraje síla větru. Teplo ze zadní strany FV panelů je konvektivně odváděno do větrané dutiny a zároveň radiací směrem k vnějšímu líci přilehlé konstrukce. Významnou roli zde hraje charakter proudění ve větrané dutině, kterou lze pro většinu případů chápat jako kanál ohraničený dvěma paralelními rovinnými deskami spojený s okolním prostředím vstupním a výstupním otvorem [2].

FV panely na rozhraní vnějšího a vnitřního prostředí

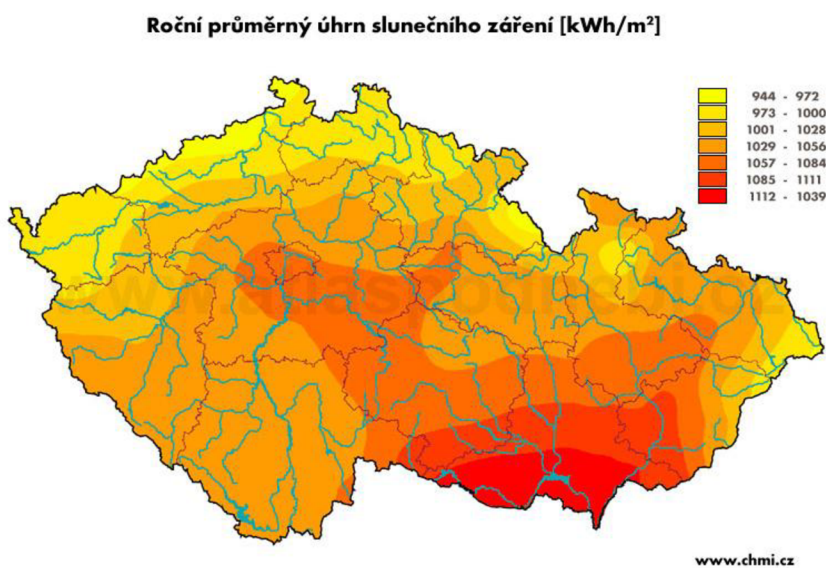
Tento druh instalace se často vyskytuje v atřích větších budov jako součást lehkých obvodových plášťů nabízející variantní řešení k jiným výplním. Tyto instalace lze účelně využívat k ochraně interiéru před nadměrným přehříváním. Semitransparentní FV panely samy o sobě a v kombinaci s čirými tabulemi skla nabízejí architektům zajímavé možnosti práce s přirozeným osvětlením. Instalace na rozhraní vnějšího a vnitřního prostředí musí splňovat všechny požadavky kladené na obvodové konstrukce. Z důvodu tak významné pozice, jak po stránce stavební, tak i architektonické, musí být technickému návrhu a provedení systému včetně detailů a estetickému ztvárnění věnována velká pozornost [2].



Obr. 2.7.3: Semitransparentní FV výplně – budova STAWAG, Aachen, Německo [2]

2.8 Podmínky fotovoltaických elektráren v ČR

Z průměrných ročních modelů úhrnu slunečního záření (**Obr. 2.8.1**), průměrné doby slunečního záření (**Obr. 0.1**) a počtu bezoblačných dnů (**Obr. 0.2**) můžeme vidět, že nejlepšími místy pro výstavbu fotoelektrických elektráren, z hlediska dopadajícího slunečního záření, se jeví jižní Morava. Naopak severní a západní příhraniční oblasti nejsou pro stavbu natolik vhodné.



Obr. 2.8.1: Mapa úhrnu slunečního záření

3. Velké fotovoltaické elektrárny v ČR

3.1 Hrušovany nad Jevišovkou

Leží v nejjižnější části Jihomoravského kraje. Co se slunečního osvětlení týká, jedná se o nejvýhodnější lokalitu v ČR s největším počtem slunečných dnů, kde se průměrný roční úhrn slunečního záření pohybuje kolem 1112 – 1139 kWh/m². Nová fotovoltaická elektrárna se zde rozkládá na ploše 7 hektarů a sestává se z více než 17 tisíc panelů. Investiční náklady se pohybují v řádu stovek milionů korun.

Samotná výstavba odstartovala v červenci 2009. Na nosné piloty zaražené do země jsou připevněny nosiče. Ty tvoří podklad pro vlastní fotovoltaické panely o rozměrech cca 1,2 x 2 m. Na místě bylo nutné zřídit trafostanici 6 x 630 kW. Zařízení, které celkově pokrývá plochu téměř desíti fotbalových hřišť, by ročně mělo vyprodukovat 3,7 milionů kWh elektřiny a zásobit elektřinou zhruba 1 100 domácností [2].



Obr. 3.1.1: Fotovoltaická elektrárna Hrušovany nad Jevišovkou [2]

3.2 Bušanovice

Obec ležící u Strakonice, v jižních Čechách, kde na svahu Bílkovec stojí nyní dvě fotovoltaické elektrárny. Výhodou této lokality je velká odrazivost okolí a nízká prašnost. V porovnání s hrušovanskou fotovoltaickou elektrárnou má horší celkové roční úhrny slunečního záření 1029-1056 kWh/m². První fotovoltaická elektrárna uvedená do provozu 1.2.2007, jejíž vybudování stálo 85 mil. Kč, má 5320 panelů, 630kV-A transformátor a

projektovaný roční výkon 628MWh. Druhá elektrárna spuštěná 1.2.2008 s náklady 77 mil. Kč. má 3816 panelů, 630kV-A transformátory a projektovaný roční výkon 633MWh. V nejbližší době má však k těmto dvěma vyrůst další třetí elektrárna.



Obr. 3.2.1: Pohled na FVE u Bušanovic [12]

3.3 Ralsko

Severočeské Ralsko je obklíčeno solárními panely. Rozsah všech známých projektů dosahuje 82,5 MW, což odpovídá zhruba počtu 400 tisíc solárních panelů. Jen náklady na pořízení a stavbu těchto elektráren mají dosáhnout částky minimálně ve výši 4 miliard korun. Ralsko by tak klidně mohlo aspirovat na místo s největší solární elektrárnou na světě. V současnosti je největší funkční solární elektrárna o výkonu 60 MW v Demedilla de Alarcón (Španělsko), nicméně ve výstavbě je již 80 MW fotovoltaická elektrárna v Sarnia (Kanada). Intenzivní výstavby nových FVE v Ralsku a okolí nevadí ani ekologům, protože představují alespoň nějaké řešení problémů s nevyužitými plochami. Jedná se v podstatě o využití tzv. brownfieldu, navíc s ekologickou zátěží z minulosti [11].



Obr. 3.3.1 Fotovoltaická elektrárna Ralsko [10]

3.4 Celkový přehled a budoucnost fotovoltaických elektráren

Fotovoltaické elektrárny jsou v tomto století globálně nejrychleji expandujícím zdrojem. Jejich celkový instalovaný výkon se za posledních 8 let zvýšil více než desetinásobně. Zatímco v roce 2001 činil světový instalovaný výkon 1,3 GW, na konci roku 2008 už šlo o 15,2 GW. Optimistické předpovědi kalkulující s postupným odezníváním současné ekonomické recese počítají pro rok 2015 s 72 GW instalovaného výkonu.

4. Zapojení FVE

4.1 Síťové systémy (on-grid)

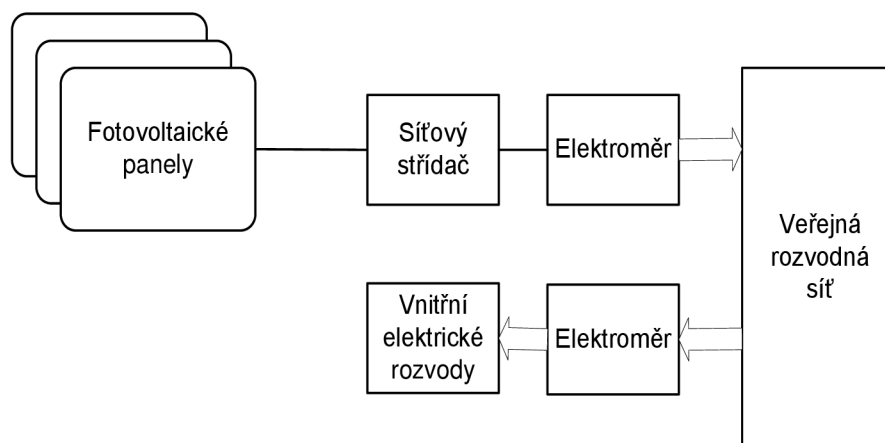
Nejvíce jsou uplatňovány v oblastech s hustou sítí elektrických rozvodů. V případě dostatečného slunečního svitu jsou spotřebiče v budově napájeni vlastní „solární“ elektrickou energií a případný přebytek je dodáván do veřejné rozvodné sítě. Při nedostatku vlastní energie je elektrická energie z rozvodné sítě odebírána. Systém funguje zcela automaticky díky mikroprocesorovému řízení síťového 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 2010 stanovena na 12,25 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 kWp – stovky kWp, protihlukové bariéry okolo dálnice, fotovoltaické elektrárny na volné ploše a další.

Základními prvky on-grid FV systémů jsou:

- fotovoltaické panely
- měnič napětí (střídač), který ze stejnosměrného napětí vyrábí střídavé napětí (230V/~50Hz)
- kabeláž
- měření vyrobené elektrické energie (elektroměr)
- popř. sledovač Slunce, indikační a měřicí přístroje.



Obr. 4.1.1: Schematické zapojení on-grid systému

4.2 Ostrovní systém (off-grid)

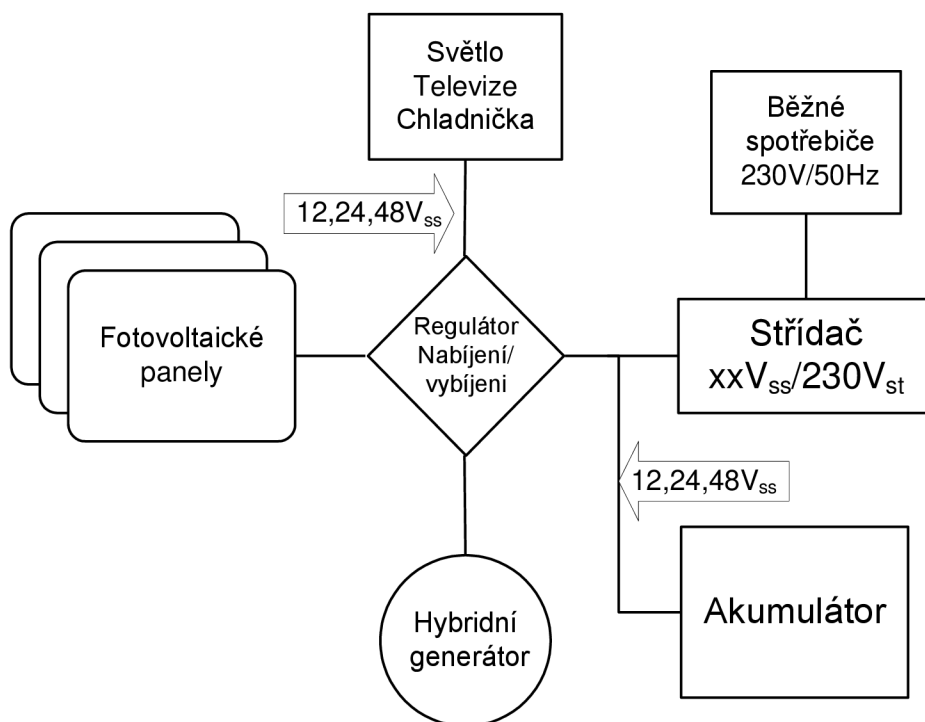
Používají se všude tam, kde není k dispozici rozvodná síť a kde je potřeba střídavého napětí 230 V. Obvykle jsou ostrovní systémy instalovány na místech, kde není účelné nebo není možné vybudovat elektrickou přípojku. Důvody jsou zejména ekonomické, tzn. náklady na vybudování přípojky jsou srovnatelné (nebo vyšší) s náklady na fotovoltaický systém (vzdálenost k rozvodné síti je více než 500–1000 m). Jedná se zejména o odlehlé objekty, jakými jsou například chaty, karavany, jachty, napájení dopravní signalizace a telekomunikačních zařízení, zahradní svítidla, světelné reklamy a podobně. 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 (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 vytižením. 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 (hybridní generátor), kterým může být například větrná elektrárna, malá vodní elektrárna, elektrocentrála, kogenerační jednotka atd. Typickými představiteli systémů nezávislých na síti jsou systémy s akumulací elektrické energie. Oproti síťové verzi vyžaduje tento systém navíc solární baterie, které uchovávají vyrobenou energii na dobu, kdy není dostatek slunečního svitu (v noci). Optimální dobíjení a vybíjení akumulátorové baterie je zajištěno elektronickým regulátorem.

Ostrovní systém se skládá:

- 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.



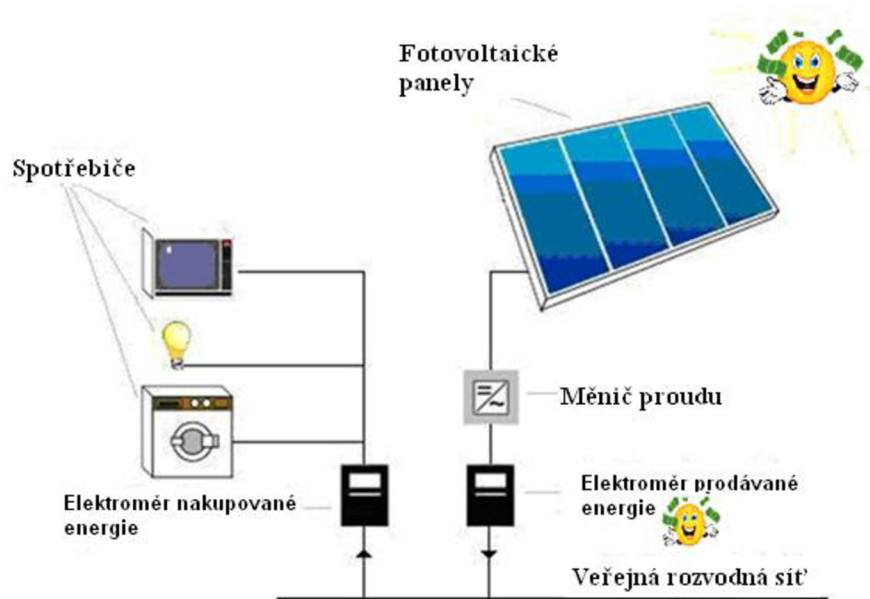
Obr. 4.2.1: Schematické zapojení off-gid systému

5. Ekonomika FVE

Díky systému státní podpory ve formě příspěvků k ceně vyrobené elektrické energie, tzv. zelených bonusů, není pořízení fotovoltaické (FV) elektrárny (FVE) prodělečným podnikem jen pro zapálené nadšence. Vybudování malé solární elektrárny se stalo seriózní investicí s vysokým dlouhodobým výnosem při prakticky neexistujících rizicích. Vyrobená energie se může spotřebovat a o to méně pak bude provozovatel odebírat energii ze sítě. Za každou vyrobenou kWh, i když ji spotřebujete, inkasujete 11,28 Kč (pro rok 2010). Energií, kterou nespotebujete, můžete prodat obchodníkovi s energií za výkupní cenu rozdílu přímého výkupu a výkupu se zeleným bonusem (0,97 Kč).

5.1 Prodej energie distributorovy (státní výkup)

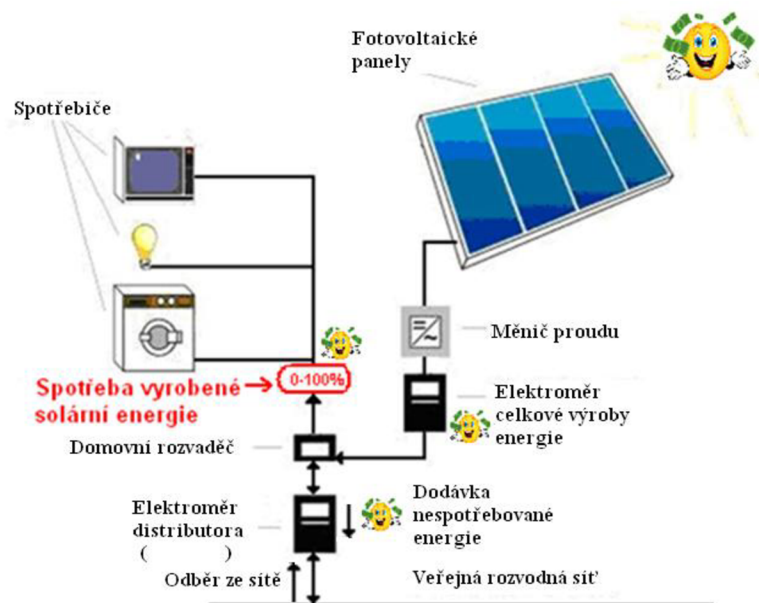
Jedná se o způsob připojení vhodný spíše u větších instalací FVE především tam, kde je elektrárna postavena pouze za účelem dodávky do rozvodné sítě. Výhoda této varianty je ve vyšší výkupní ceně za jednu dodanou kWh, ovšem je zde i jedna dosti podstatná nevýhoda, a sice nutnost zřízení elektrické přípojky (v roce 2010 byly náklady u rodinného domu kolem 10 tisíc za připojení + 500 Kč za každý ampér na hlavním jističi, u velkých FVE je to jinak). Pro rok 2010 byly stanoveny výkupní ceny zelené energie pro přímý (státní) výkup na 12,25kč/kWh u elektráren uvedených do provozu od 1.1.2010 do 31.12.2010 s instalovaným výkonem do 30kWp a 12,15kč/kWh u elektráren uvedených do provozu od 1.1.2010 do 31.12.2010 s instalovaným výkonem nad 30kWp.



Obr. 5.1.1: Zapojení pro přímý výkup energie [6]

5.2 Prodej nespotřebované energie distributorovi (zelený bonus)

Tento způsob je vhodný především tam, kde v době výroby elektrické energie dovede výrobce (majitel, nájemce) vyrobenou energii současně alespoň z části spotřebovat. Výhoda je v úspoře za zřízení nové přípojky - výrobní energie se připojí do stávajícího rozvodu (u rodinného domu nebo chaty, kdekoliv je přístupný třífázový rozvod). Nevýhodou je zhruba o korunu nižší výkupní cena za 1 kWh. Nevýhoda nižší výkupní ceny je ovšem velmi zajímavě kompenzována faktem, že v okamžiku, kdy FVE vyrábí elektřinu, je její výkon k dispozici zcela zdarma. Když FVE vyrábí a její provozovatel současně spotřebovává, tak spotřebovanou energii neplatí svým běžným tarifem (například 4,50,- Kč za kWh), ale má ji zcela zdarma. U systému zelených bonusů se většinou nedocílí toho, aby se všechna vyrobená energie spotřebovala v případě malého stálého odběru. Pokud ale výkon elektrárny bude nižší než odběr provozovatele, je způsob využití zeleného bonusu rozhodně zajímavější variantou než samostatné připojení. Výhodou tohoto připojení (FVE vyrobí méně energie, než provozovatel spotřebovuje) je fakt, že distributor elektrické energie má zákonem danou povinnost uhradit každou vyrobenou kWh. Takže za energii, co si sám provozovatel vyrobí a spotřebovuje, dostane zapláceno. V případě, že bychom u režimu zeleného bonusu žádnou energii nespotřebovali, ale všechnu dodávali do rozvodné sítě, se nic neděje, protože od distributora (E.ON) dostaneme bonus v podobě rozdílu cen výkupních se zeleným bonusem a přímého výkupu tj. 0,97 Kč/kWh (2010). U zapojení se zeleným bonusem probíhá měření na dvou elektroměrech. Jeden je umístěn u střídače a měří vyrobenou energii ze slunce, druhý je umístěn u přípojky objektu a měří energii dodanou do sítě a energii dodanou ze sítě do objektu. Jde o tzv. čtyřkvadrantní elektroměr.



Obr. 5.2.1: Zapojení pro výkup energie se zeleným bonusem [6]

5.3 Příkladové kalkulace FVE o různých výkonech

5.3.1. Zapojení se zeleným bonusem sedlová střecha 33m²

Sedlová střecha o ploše	33m ²
Typ panelů	Solpower / CSI
Výkon panelu	220 Wp
Rozměr panelu	1 x 1,64m
Počet panelů	20ks
Cena za 1 panel	11 165Kč
Cena za 20 panelů	223 309Kč
Projektová dokumentace	15 900Kč
Střídač: Delta SI 5000	48 100Kč
Střešní systém pro ukotvení	19 800Kč
Rozvaděče NN AC,DC	14 800Kč
Elektroinstalační materiál, kabely	10 000Kč
Práce mechanická a elektroinstalační	32 000Kč
Revize a licence	4 900Kč
Celkem bez DPH	368 809Kč
Celkem s DPH 10%	405 690Kč
Cena za 1kWp bez DPH	83 820Kč
Cena za 1kWp s DPH	92 202Kč

Tab. 5.3.1.1: Cenová nabídka, zdrojová data z [9]

Pomocí simulačního programu PSGIS, do kterého jsou zadány údaje pro danou instalaci v okolí Brna, je teoreticky možné touto FVE vyrobit až 4,08 MWh/rok. Program počítá se skutečnými průměrnými slunečnými dny z let 2001-2009. V dnešní době většinou slunečných dnů přibývá, a tak se objem vyrobené energie bude taky zvyšovat.

pevná instalace, náklon střechy = 35°, orientována na jih				
Měsíc	E _d [kWh]	E _m [kWh]	H _d [kWh/m ²]	H _m [kWh/m ²]
Leden	4,57	142	1,22	37,7
Únor	7,60	213	2,07	58,0
Březen	11,20	346	3,14	97,4
Duben	14,60	437	4,29	129
Květen	16,60	515	5,04	156
Červen	16,30	488	5,00	150
Červenec	17,20	533	5,33	165
Srpen	15,70	486	4,83	150
Září	12,30	369	3,67	110
Říjen	9,98	309	2,86	88,6
Listopad	4,67	140	1,29	38,6
Prosinec	3,18	98,6	0,85	26,4

Roční průměr	11,2	340	3.31	101
Celkem za rok	4080		1 210	

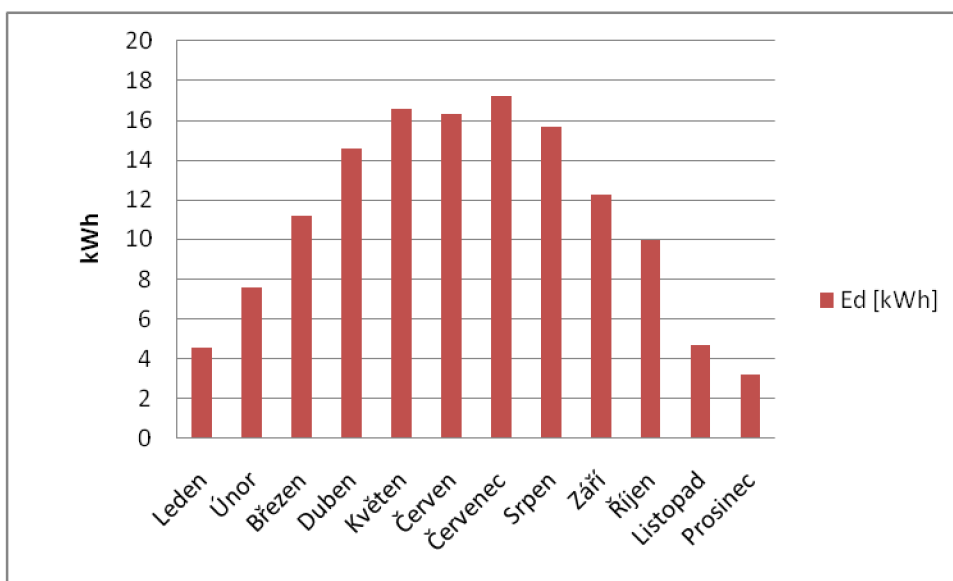
Tab. 5.3.1.1: Simulovaná výkonnost dané elektrárny umístěná v okolí Brna

E_d - průměrná denní produkce energie daného systému.

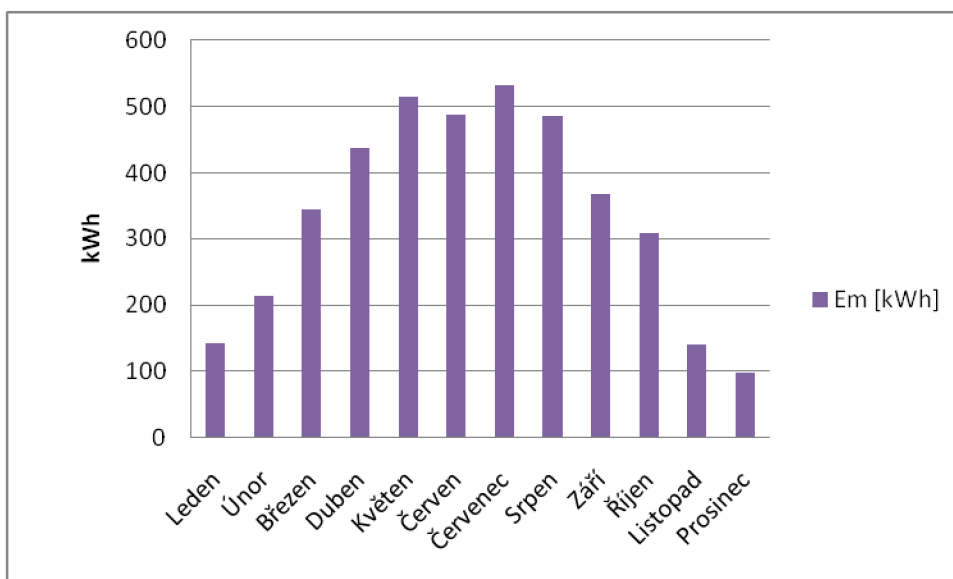
E_m - průměrná měsíční produkce energie daného systému.

H_d - průměrná denní produkce energie daného systému na m^2 .

H_m - průměrná měsíční produkce energie daného systému na m^2 .



Obr. 5.3.1.1: Průměrná denní produkce energie



Obr. 5.3.1.2: Průměrná měsíční produkce energie

Ekonomika provozu

- výstavba nás tedy přijde na cca 405 690Kč
- ročně vyinkasujeme za všechnu vyrobenou elektřinu „zelený bonus“ 46 022 Kč (11,28 Kč x 4 080 kWh)
- k tomu jsme polovinu vyrobené elektřiny spotřebovali, a tudíž ji nenakoupili od ČEZu či E.ONu, na účtech za elektřinu za rok tedy uspoříme 9 000 Kč (4,5 Kč x 2000 kWh)
- za přebytky prodané do sítě ještě od obchodníka s elektřinou za smlouvenou cenu utržíme 2017 Kč (0,97 Kč x 2 080kWh - platí pro E.ON)

Celkový roční přínos FVE do rodinného rozpočtu je 57 039 Kč. Vynaložená investice se nám přitom vrátí už za cca 8,8 roku. Dalšíh 11,2 roku budeme mít stále garantovaný výnos (638 836Kč) za energii vyrobenou ze Slunce. Po skončení garantovaného období 20 let bude elektrárna neúnavně vyrábět elektřinu dalších cca 15 let. Otázkou zůstává za jakou cenu, a pokud vůbec, bude distributor po této době energii vykupovat.

5.3.2. Zapojení se zeleným bonusem sedlová střecha 140,25 m²

Sedlová střecha o ploše	140,25m ²
Typ panelů	Solon Blue 230/07
Výkon panelu	230 Wp
Rozměr panelu	1 x 1,64m
Počet panelů	85ks
Cena za 1 panel	14 137Kč
Cena za 85 panelů	1 201 624Kč
Projektová dokumentace	25 900Kč
Střídač: Refu Refusol 20 K s Refulogem	163 800Kč
Střešní systém pro ukotvení	84 150Kč
Rozvaděče NN AC, DC	29 600Kč
Elektroinstalační materiál, kabely	30 000Kč
Práce mechanická a elektroinstalační	100 000Kč
Revize a licence	7 900Kč
Celkem bez DPH	1 642 971Kč
Celkem s DPH 10%	1 807 268Kč
Cena za 1kWp bez DPH	84 039Kč
Cena za 1kWp s DPH	92 443Kč

Tab. 5.3.2.1: Cenová nabídka, zdrojová data z [9]

pevná instalace, náklon střechy = 35°, orientována na jih				
Měsíc	E _d [kWh]	E _m [kWh]	H _d [kWh/m ²]	H _m [kWh/m ²]

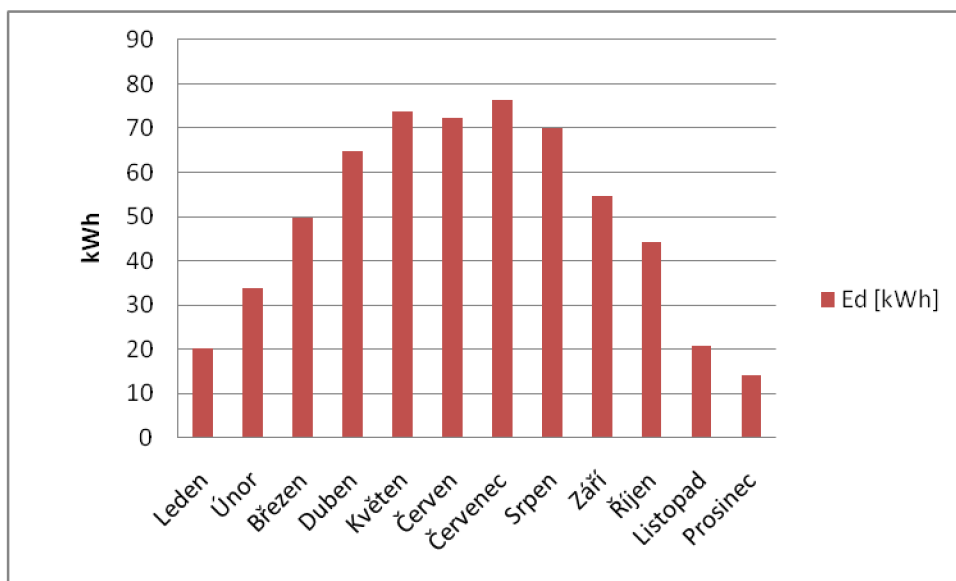
Leden	20,30	629	1,22	37,7
Únor	33,70	945	2,07	58,0
Březen	49,60	1540	3,14	97,4
Duben	64,70	1940	4,29	129
Květen	73,80	2290	5,04	156
Červen	72,20	2170	5,00	150
Červenec	76,40	2370	5,33	165
Srpen	69,90	2160	4,83	150
Září	54,70	1640	3,67	110
Říjen	44,30	1370	2,86	88,6
Listopad	20,70	622	1,29	38,6
Prosinec	14,10	438	0,85	26,4
Roční průměr	49,6	1510	3,31	101
Celkem za rok		18 100		1 210

Tab. 5.3.2.2: Simulovaná výkonnost dané elektrárny umístěná v okolí Brna

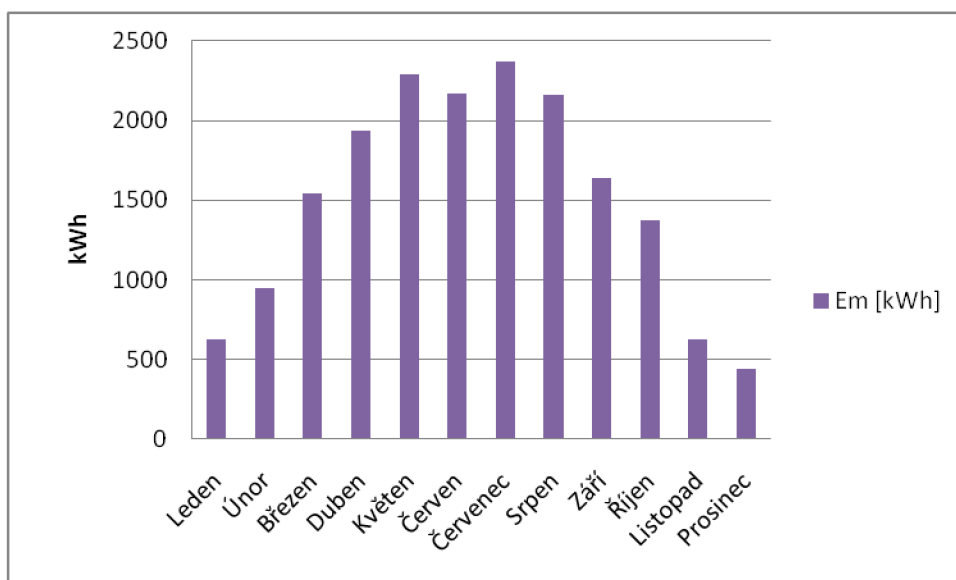
Ekonomika provozu

- výstavba nás tedy přijde na cca 1 807 268Kč
- ročně vyinkasujeme za všechnu vyrobenou elektřinu „zelený bonus“ 204 168 Kč (11,28 Kč x 18 100 kWh)
- k tomu jsme část vyrobené elektřiny spotřebovali, a tudíž ji nenakoupili od ČEZu či E.ONu, na účtech za elektřinu za rok tedy uspoříme 22500 Kč (4,5 Kč x 5000 kWh)
- za přebytky prodané do sítě ještě od obchodníka s elektřinou za smlouvenou cenu utržíme 12707 Kč (0,97 Kč x 13 100kWh - platí pro E.ON)

Celkový roční přínos FVE do rodinného rozpočtu je 239 375 Kč. Vynaložená investice se nám přitom vrátí už za cca 7,5 roku. Dalších 12,5 roku budeme mít stále garantovaný výnos (2 992 187Kč) za energii vyrobenou ze Slunce.



Obr. 5.3.2.1: Průměrná denní produkce energie



Obr. 5.3.2.2: Průměrná měsíční produkce energie

5.3.3. Zapojení na přímý (státní výkup) na plochu 1 866 m²

Pozemek o ploše	1866 m ²
Typ panelů	Solon Blue 230/07
Výkon panelu	230 Wp
Rozměr panelu	1 x 1,64m
Počet panelů	434ks
Cena za 1 panel	13 195Kč
Cena za 434 panelů	5 726 833Kč

Projektová dokumentace	125 000Kč
3-fázový střídač Refu Refusol 20 K s Refulogem	5* 162 500kč (812 500Kč)
Závrtný úchytný systém pro pozemek	572 620Kč
Rozvaděče NN AC, DC	150 000Kč
Elektroinstalační materiál, kabely VN,NN	60 000Kč
Práce mechanická a elektroinstalační	450 000Kč
Napojení na DS, rozvodna a trafostanice	120 000Kč
Doprava a zařízení staveniště	90 000Kč
Celkem bez DPH	8 106 953Kč
Celkem s DPH 20%	9 728 343Kč
Cena za 1kWp bez DPH	81 216Kč
Cena za 1kWp s DPH	97 459Kč

Tab. 5.3.3.1: Cenová nabídka, zdrojová data z [9]

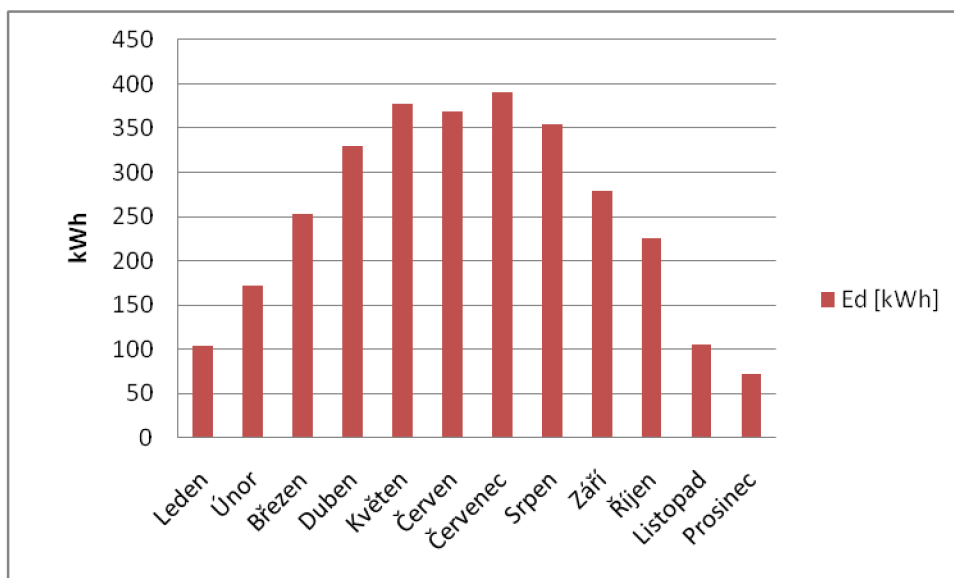
pevná instalace, náklon panelů = 35°, orientovány na jih				
Měsíc	E _d [kWh]	E _m [kWh]	H _d [kWh/m ²]	H _m [kWh/m ²]
Leden	104	3 210	1,22	37,7
Únor	172	4 820	2,07	58,0
Březen	253	7 850	3,14	97,4
Duben	330	9 910	4,29	129
Květen	377	11 700	5,04	156
Červen	369	11 100	5,00	150
Červenec	390	12 100	5,33	165
Srpen	355	11 000	4,83	150
Září	279	8 380	3,67	110
Říjen	226	7 020	2,86	88,6
Listopad	106	3 180	1,29	38,6
Prosinec	72,2	2 240	0,85	26,4
Roční průměr	253	7 710	3.31	101
Celkem za rok	92 500		1 210	

Tab. 5.3.3.2: Simulovaná výkonnost dané elektrárny umístěná v okolí Brna

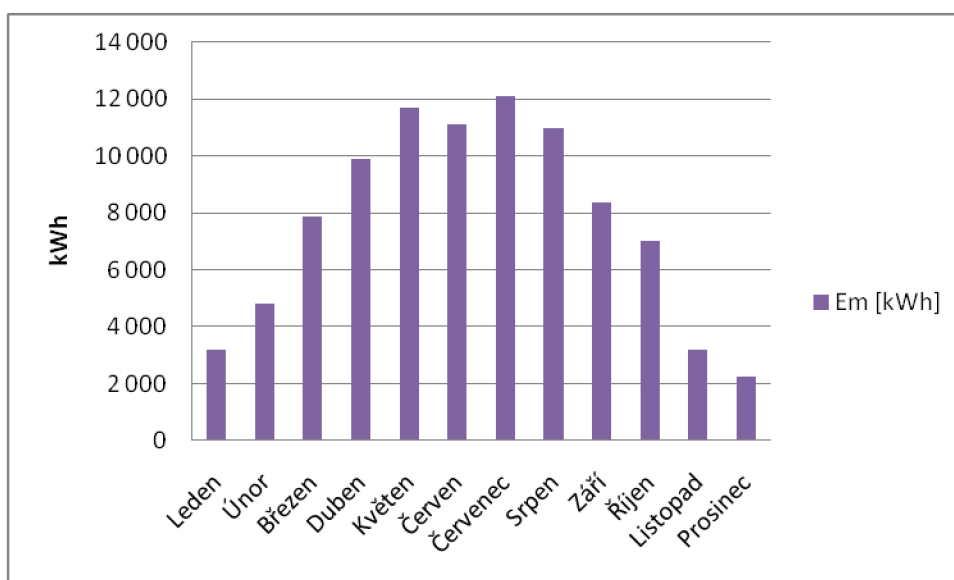
Ekonomika provozu

- výstavba nás tedy přijde na cca 9 728 343Kč
- ročně vyinkasujeme za všechnu vyrobenou elektřinu „zelený bonus“ 1 123 875 Kč (12,15 Kč x 92 500 kWh)

Vynaložená investice se nám přitom vrátí už za cca 8,6 roku. Dalších 11,4 roku budeme mít stále garantovaný výnos (12 812 175Kč) za energii vyrobenou ze Slunce.



Obr. 5.3.3.1: Průměrná denní produkce energie



Obr. 5.3.3.2: Průměrná měsíční produkce energie

5.3.4. Srovnání investice do FVE oproti spoření

Pro tuto příkladovou tabulku budu počítat s úrokem 3% ročně. Z uvedené tabulky je patrné, že při počáteční investici 77 990Kč je rozdíl ve zhodnocení 131 406Kč. Při zdvojnásobení počátečního vkladu by byl zisk několikanásobně vyšší.

Roky	Spoření 3%	fotovoltaika 1kWp	fotovoltaika se znovuzainvestováním výnosů			
			1kWp	1kWp	1kWp	celkový výnos
0	77 990	77 990	77 990	i. 1.kWp		
1	80 330	10 445	10 445			10 445
2	82 740	20 890	20 890			20 890
3	85 222	31 335	31 335			31 335
4	87 778	41 780	41 780			41 780
5	90 412	52 225	52 225			52 225
6	93 124	62 670	62 670			62 670
7	95 918	73 115	73 115			73 115
8	98 795	83 560	83 560	i. 2.kWp		83 560
9	101 759	94 005	16 015	10 445		26 460
10	104 812	104 450	26 460	20 890		47 350
11	107 956	114 895	36 905	31 335		68 240
12	111 195	125 340	47 350	41 780	i. 3.kWp	89 130
13	114 531	135 785	32 030	10 445	10 445	52 920
14	117 967	146 230	42 475	20 890	20 890	84 255
15	121 506	156 675	52 920	31 335	31 335	115 590
16	125 151	167 120	63 365	41 780	41 780	146 925
17	128 906	177 565	73 810	52 225	52 225	178 260
18	132 773	188 010	84 255	62 670	62 670	209 595
19	136 756	198 455	94 700	73 115	73 115	240 930
20	140 859	208 900	105 145	83 560	83 560	272 265

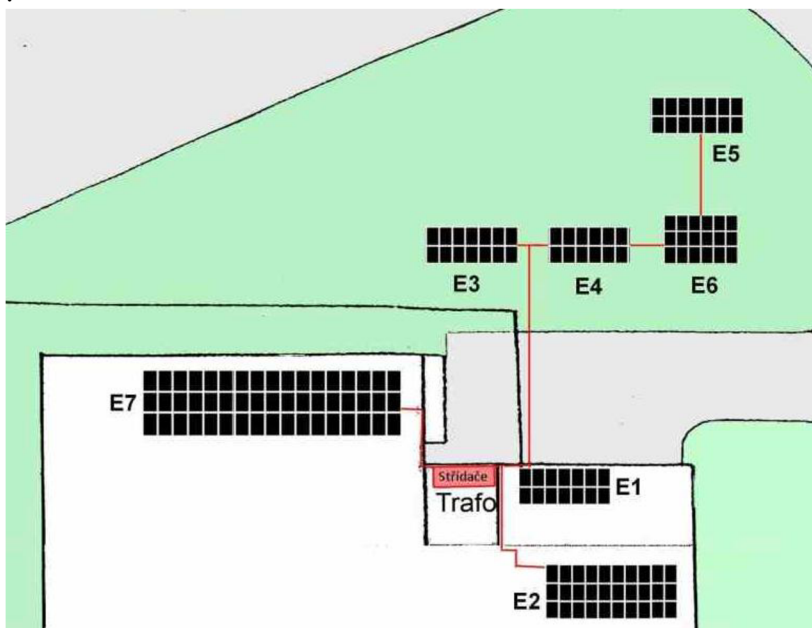
Obr. 5.3.4.1: Porovnání investice do fotovoltaiky oproti spoření

6. Skutečné kalkulace za použití dat z inkubátoru Hády

6.1 Představení jednotlivých typů instalací

V následující tabulce a grafech je uvedeno srovnání skutečných hodnot získaných od společnosti ENERG-SERVIS a.s. z jejího test centra. Všechny hodnoty jsou počítány pouze z naměřených výkonů v roce 2009 červenec – prosinec, z důvodu spuštění monitoringu v červnu 2009. Pro tyto výpočty byly se společností domluvené kompletní data za rok 2010, ale kvůli závažné chybě systému firma o tyto data bohužel přišla a muselo se počítat s daty, které byly k dispozici z dřívější doby. Společnost ENERG-SERVIS a.s. je významným dodavatelem fotovoltaických elektráren na klíč od prvotní nabídky až po připojení elektrárny

do distribuční sítě. Spolupracuje především s významnými evropskými výrobci fotovoltaických komponentů jako Solon, Refu a Danfoss.



Označení a umístění jednotlivých instalací v areálu firmy ENERGSERVIS a.s

- E1 Solon 295Wp
- E2 Nexpower 95W
- E3 Solon Blue 220
- E4 Phono Solar 220
- E5 Yohkon 220 30°
- E6 Yohkon 180 Tracker
- E7 Yohkon 220 (2010)

Obr.6.1.1 umístění jednotlivých instalací



Střídač: Delta 2500
 Typ panelu: Solon 295Wp
 Počet panelů: 10
 (monokrystal)
 Celkový výkon: 2950Wp
 Plocha m²: 16,9
 Účinnost panelů: 17,4 %
 Vyrobená energie:

měsíc	kWh/kWp
červenec	143,65
srpen	144,08
září	109,85
říjen	44,85
listopad	15,37
prosinec	5,62

Obr. 6.1.2 E1 Solon 295Wp



Střídač: Delta 2500
 Typ panelu: nexpower 95Wp
 Počet panelů: 16 (tenkovrstvé)
 Celkový výkon: 1520Wp
 Plocha m²: 24,6
 Účinnost panelů: 6 %
 Vyrobená energie:

měsíc	kWh/kWp
červenec	139,06
srpen	130,74
září	93,64
říjen	35,12
listopad	7,19
prosinec	2,66

Obr .6.1.3 E2 Nexpower 95W



Střídač: Delta 2500
 Typ panelu: Solon Blue 220Wp
 Počet panelů: 12 (polykrystal)
 Celkový výkon: 2760Wp
 Plocha m²: 19,68
 Účinnost panelů: 13,41 %
 Vyrobená energie:

měsíc	kWh/kWp
červenec	151,35
srpen	149,5
září	114,09
říjen	41,84
listopad	9,5
prosinec	3,84

Obr. 6.1.4 E3 Solon Blue 220



Střídač: Delta 2500
 Typ panelu: Phono Solar 220 Wp
 Počet panelů: 12 (polykrystal)
 Celkový výkon: 2640Wp
 Plocha m²: 19,8
 Účinnost panelů: 13,58%
 Vyrobená energie:

měsíc	kWh/kWp
červenec	136,56
srpen	135,03
září	104,15
říjen	41,29
listopad	9,43
prosinec	3,72

Obr. 6.1.5 E4 Phono Solar 220



Střídač: Delta 2500
 Typ panelu: Yohkon 220 Wp
 Počet panelů: 12
 (polykrystal)
 Celkový výkon: 2640Wp
 Plocha m²: 19,9
 Účinnost panelů: 13,2%
 Vyrobená energie:

měsíc	kWh/kWp
červenec	145,15
srpen	142,98
září	102,72
říjen	35,05
listopad	11
prosinec	4,2

Obr 6.1.6 E5 Yohkon 220 30°



Střídač: Delta 2500
 Typ panelu: Yohkon 180 Wp
 Počet panelů: 18
 (monokrystal)
 Celkový výkon: 3240Wp
 Plocha m²: 22,98
 Účinnost panelů: 14,1%
 Vyrobená energie:

měsíc	kWh/kWp
červenec	195,4
srpen	195,96
září	135,15
říjen	53,14
listopad	20
prosinec	7,4

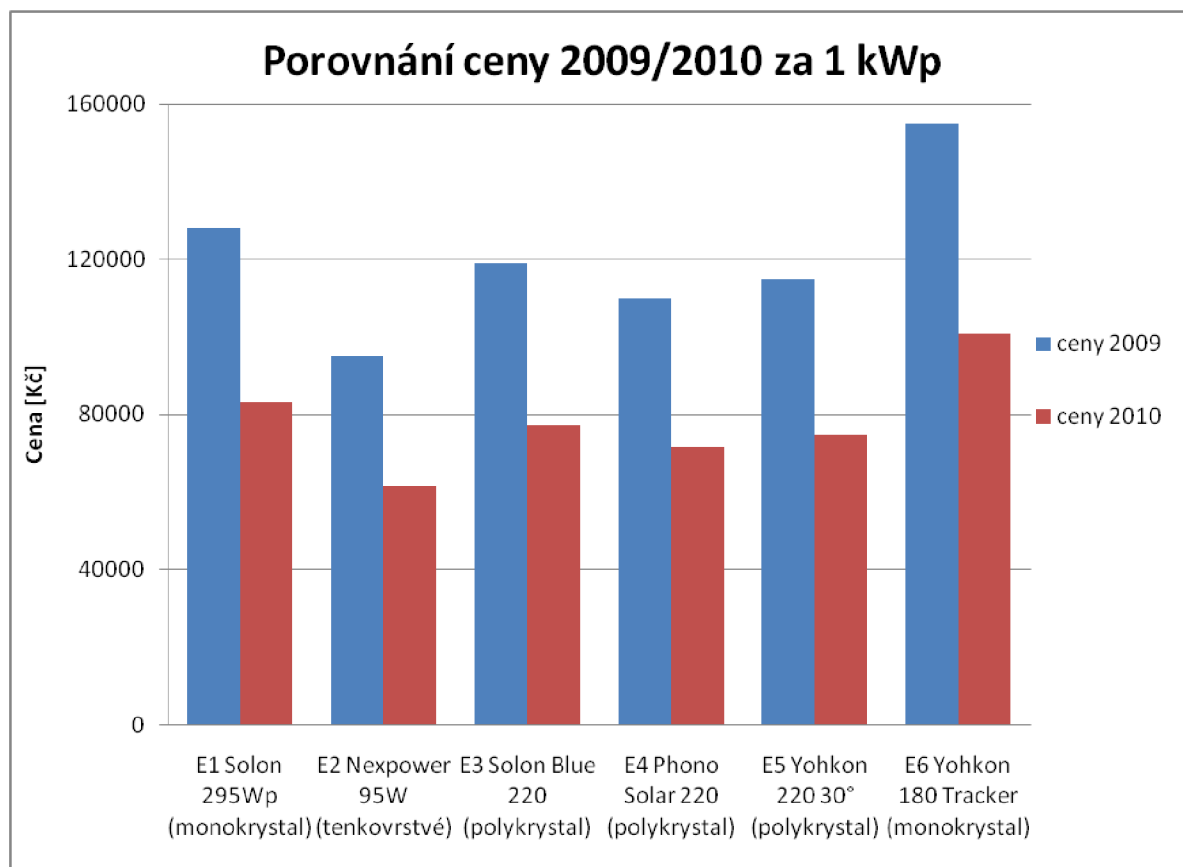
Obr. 6.1.7 E6 Yohkon 180 Tracker

6.2 Pořizovací náklady

V následující tabulce a grafu je vidět strmý pokles prodejních cen instalací mezi roky 2009 a 2010. Prodejní ceny poklesly v roce 2010 až o 35%. Naproti tomu výkupní ceny zůstaly nezměněny a tím bylo způsobeno, že návratnost systému se zkrátila ve většině případů o třetinu.

	E1 Solon 295Wp monokrystal	E2 Nexpower 95W tenkovrstvé	E3 Solon Blue 220 polykrystal	E4 Phono Solar 220 polykrystal	E5 Yohkon 220 30° polykrystal	E6 Yohkon 180 Tracker monokrystal
ceny 2009 (Kč/kWp)	128000	95000	119000	110000	115000	155000
ceny 2010 (Kč/kWp)	83200	61750	77350	71500	74750	100750

Tab. 6.2.1 pořizovací náklady jednotlivých typu instalací na kWp



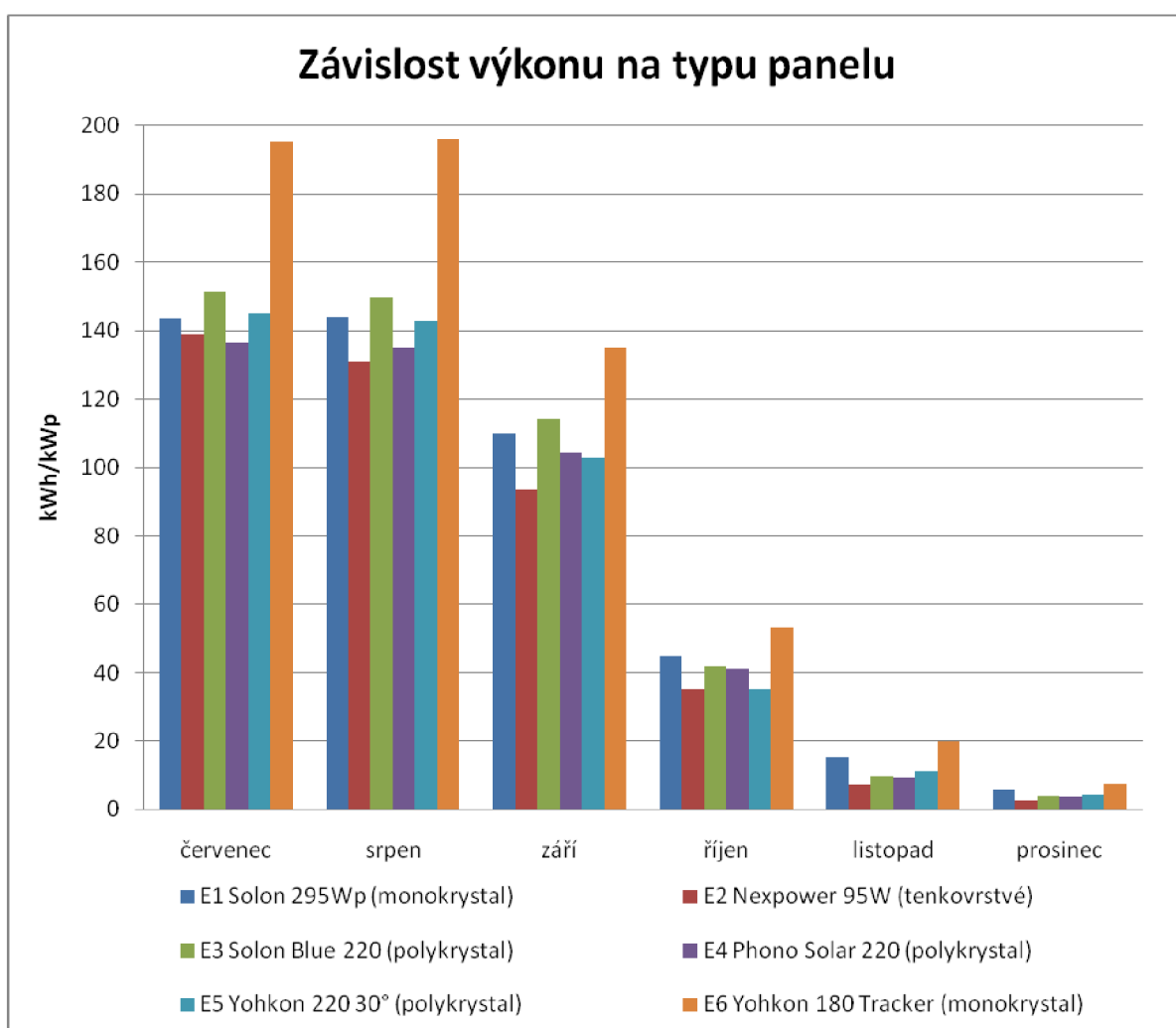
Obr. 6.2.1 Porovnání pořizovacích cen instalací 2009 a 2010 za 1kWp

6.3 Porovnání výkonu v závislosti na typu panelu (kWp)

Fotovoltaický panel je schopen vyrábět elektrickou energii i bez přímého osvětlení na základě difúzního záření, které je v ČR převládající. Monokrystalický panel má lepší výsledky při přímém osvětlení a polykrystalický panel při dlouhodobějším difúzním záření, celkový roční úhrn vyrobené energie je srovnatelný s místními odchylkami v řádu procent. Proto papírově silnější panely Solon 295Wp vyrobené z monokrystalického křemíku, vyrábí méně elektrické energie než papírově méně výkonné Solon 220W vyrobené z polykrystalického křemíku. Z následující tabulky a následného grafu je vidět porovnání jednotlivých typů panelů mezi sebou, kolik jednotlivá instalace vyrobí kWh/kWp. Všechny tyto instalace mají stejné střídače a to Delta 2500 od firmy Delta Energy Systems. Jedinou nepřímou srovnatelnou instalací je E6 s panely značky Yohkon 180Wp, které jsou umístěné na trackeru 180/180, který hledá nejlepší natočení panelu vůči slunci po celý den.

	E1 Solon 295Wp monokrystal	E2 Nexpower 95W tenkovrstvé	E3 Solon Blue 220 polykrystal	E4 Phono Solar 220 polykrystal	E5 Yohkon 220 30° polykrystal	E6 Yohkon 180 Tracker monokrystal
celkem (kWh/kWp)	457,8	405,75	466,28	426,46	436,9	599,65
celkem (kWh/instalace)	1367,09	620,78	1241,12	1135,68	1164,50	1966,84

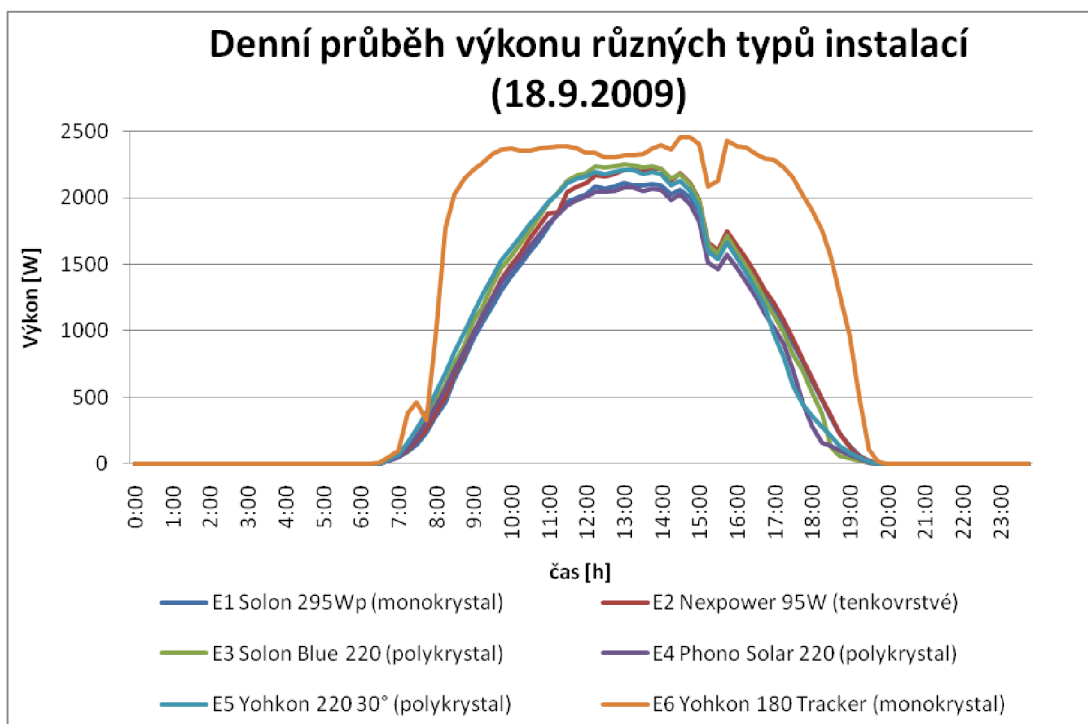
Tab. 6.3.1 porovnání jednotlivých typu instalací kWh/kWp



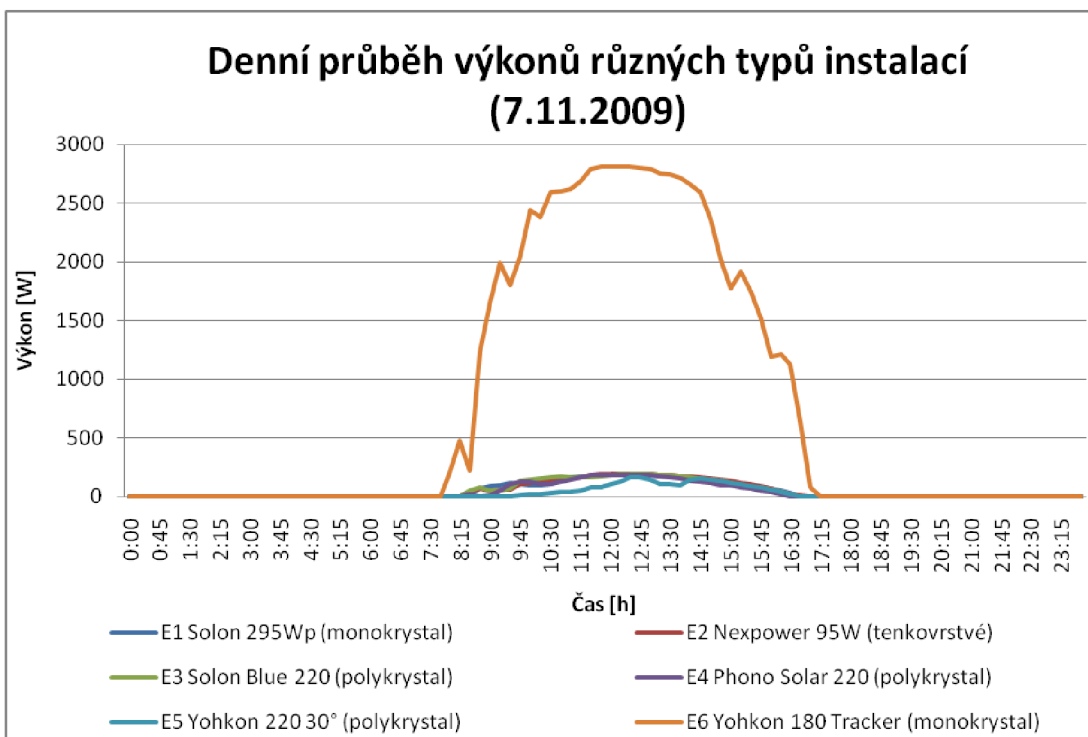
Obr. 6.3.1 Závislost výkonu na typu panelu

V následujících dvou grafech jsou vidět denní průběhy výkonů jednotlivých instalací v různém ročním období. První graf je ze dne 18.9.2009, kde jde vidět výhoda instalace s trackerem, který se dostává na maximální výkon výroby energie o 2 hodiny dříve oproti pevným instalacím. To samé platí i odpoledne, kdy se tracker natáčí na nejvýhodnější pozici oproti Slunci. Druhý graf je ze dne 7.11.2009, kde jde vidět, že pevné instalace s optimálním

sklonem 30° dodávají do sítě desítky wattů (maximálně 200W). Oproti tomu tracker dodává tisíce (maximálně 2814W).

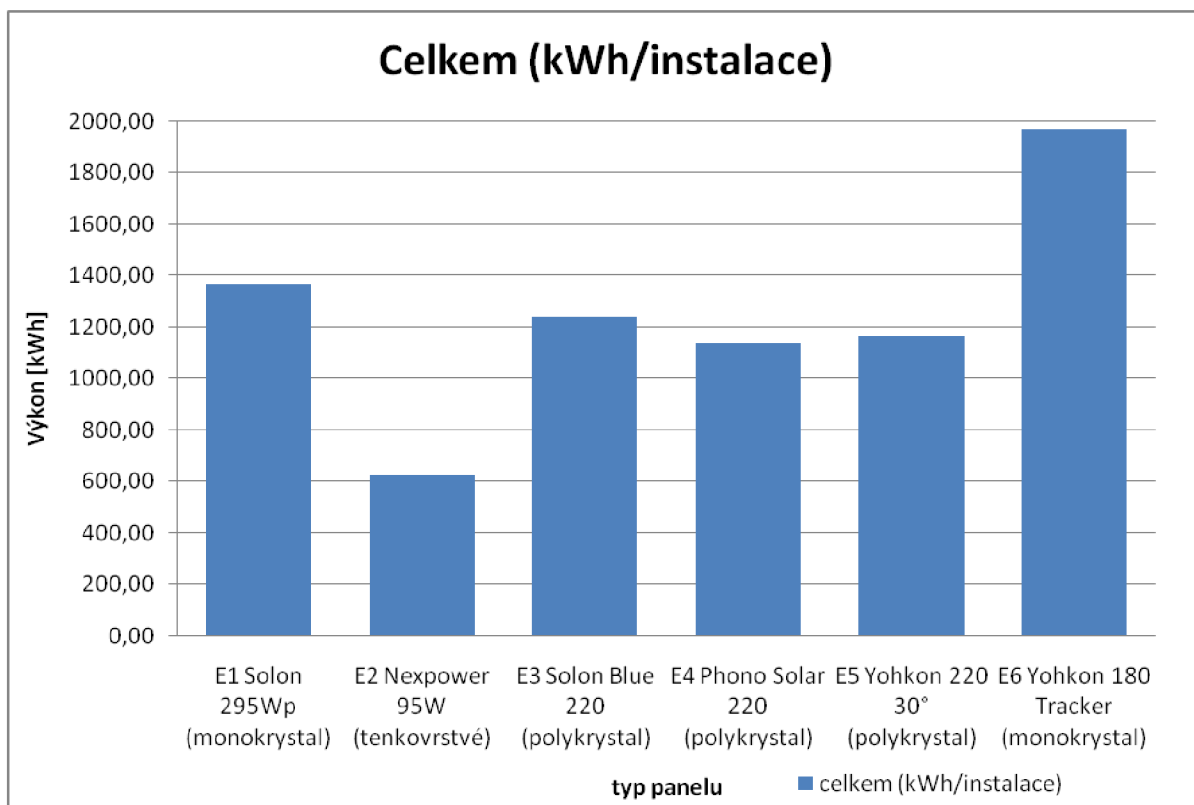


Obr. 6.3.2 Denní průběh výkonů různých typů instalací dne 18.4.2009



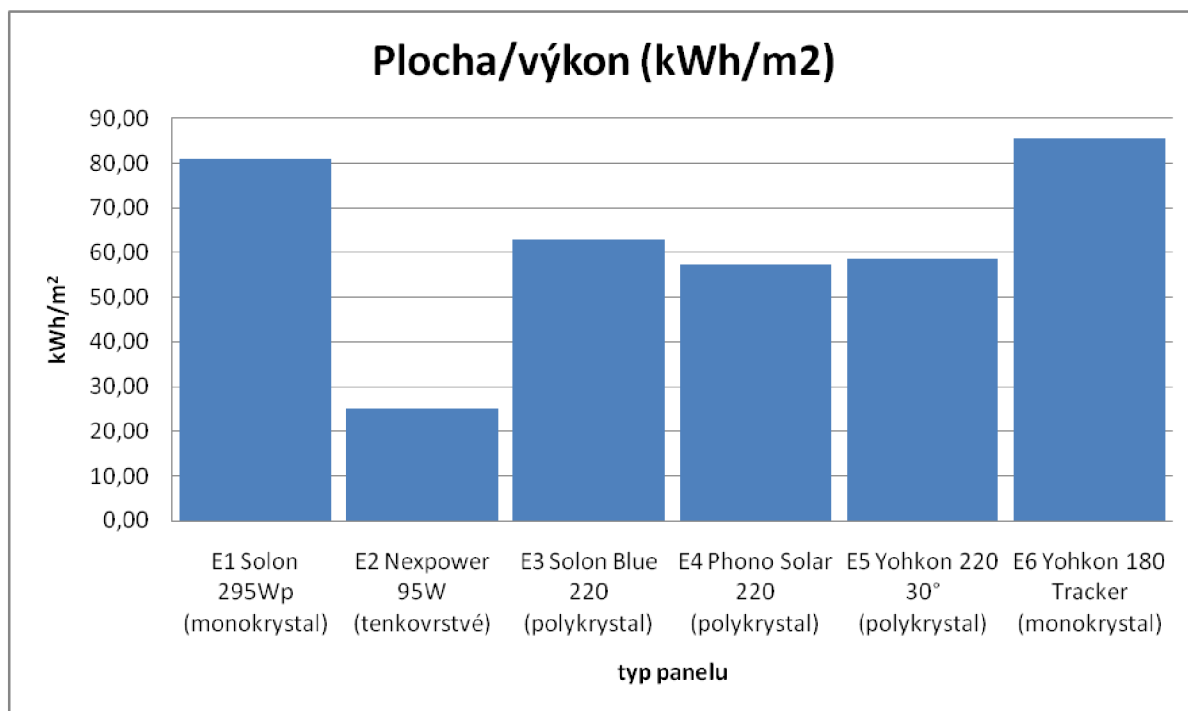
Obr. 6.3.3 Denní průběh výkonů různých typů instalací dne 7.11.2009

Grafu půlročních výkonů vévodí instalace elektrárny umístěná na trackeru, která, jak již bylo uvedeno výše, sleduje slunce a upravuje své natočení pro maximalizaci výkonu. V tomto grafu je na druhém místě typ panelu Solon 295wp, oproti předchozímu grafu, protože celkový instalovaný výkon je vyšší (2950Wp) než instalovaný výkon Solon Blue 220 (2760Wp) a to i přes vyšší počet panelů Solon Blue. Nejnižší výkon mají tenkovrstvé panely Nexpower 95Wp.



Obr. 6.3.4 Půlroční výkony jednotlivých instalací

V následujícím grafu je vidět kolik kWh vyrobí m² dané instalace za půl roku. Nejlepších výkonů dosahují instalace s monokrystalickými panely (E1, E6). Jejich výkony na m² jsou podobné, i když na trackeru jsou umístěny panely třetinového výkonu.



Obr. 6.3.5 Závislost výkonu na typu panelu na m²

6.4 Půlroční výnosy a návratnost jednotlivých instalací

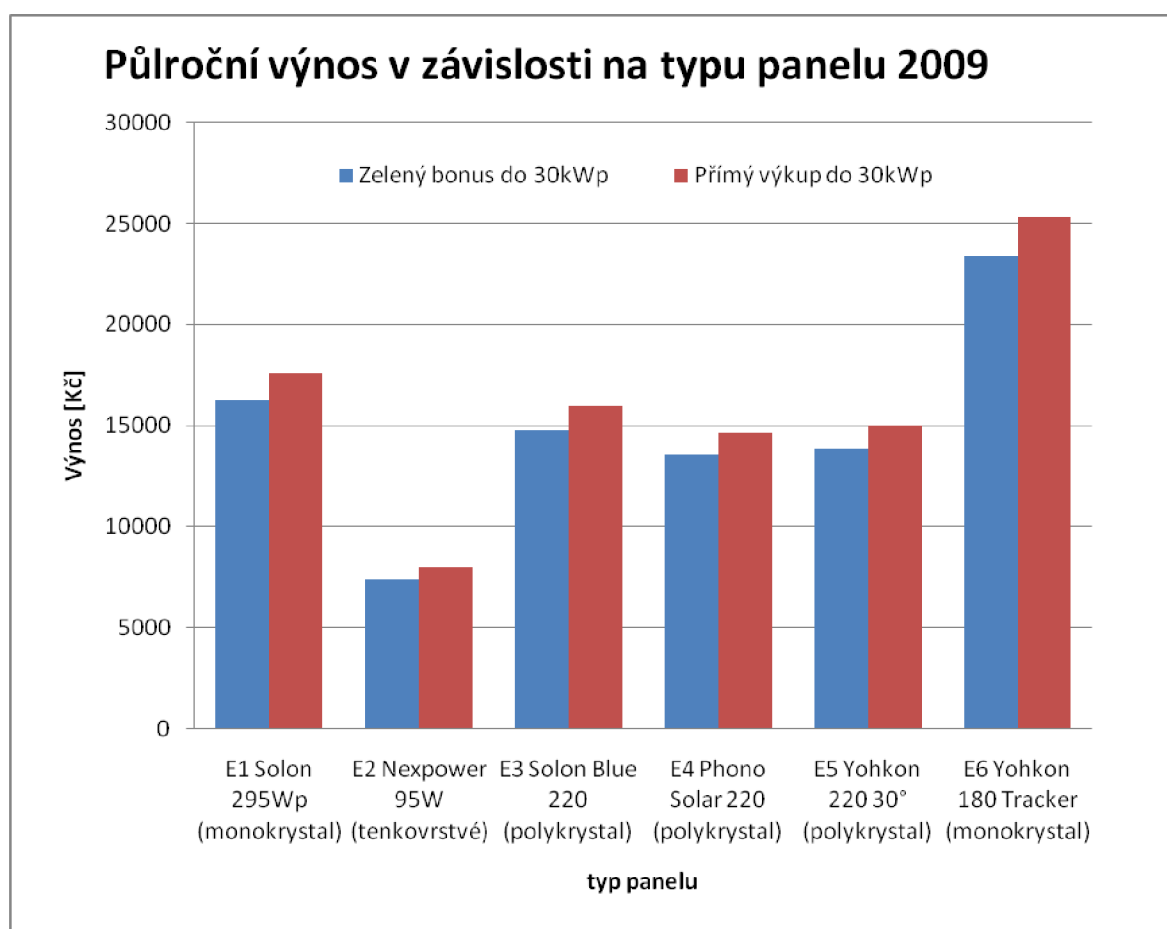
Pro výpočet výnosů byly použity výkupní ceny zeleného bonusu (ZB) a přímého výkupu (PV) pro instalovaný výkon do 30kWp. V tabulce je uvedený výnos jak na instalovaný kWp (pro lepší porovnání), tak pro celkovou reálnou instalaci v inkubátoru Hády. V příloženém xls souboru jsou i kalkulace pro instalované výkony nad 30kWp. V těchto propočtech ale není zahrnuta 26% srážková daň, kterou zavedla vláda na jaře roku 2011. Daň se nevztahuje na solární elektrárny na střechách a budovách s nejvyšším instalovaným výkonem 30 kWp.

		E1 Solon 295Wp	E2 Nexpower 95W	E3 Solon Blue 220	E4 Phono Solar 220	E5 Yohkon 220 30°	E6 Yohkon 180 Tracker
výkupní ceny 2009	Kč/kWh						
Zelený bonus Kč/kWp	11,91	5519,33	4864,16	5599,13	5123,44	5253,50	7229,97
výnos celé instalace	11,91	16282,03	7393,53	14781,70	13525,89	13869,24	23425,09
Přímý výkup Kč/kWp	12,89	5973,48	5264,40	6059,85	5545,02	5685,78	7824,87
výnos cele instalace	12,89	17621,78	8001,90	15998,00	14638,85	15010,46	25352,59
výkupní ceny 2010	Kč/kWh						
Zelený bonus Kč/kWp	11,28	5227,38	4606,86	5302,95	4852,43	4975,61	6847,52

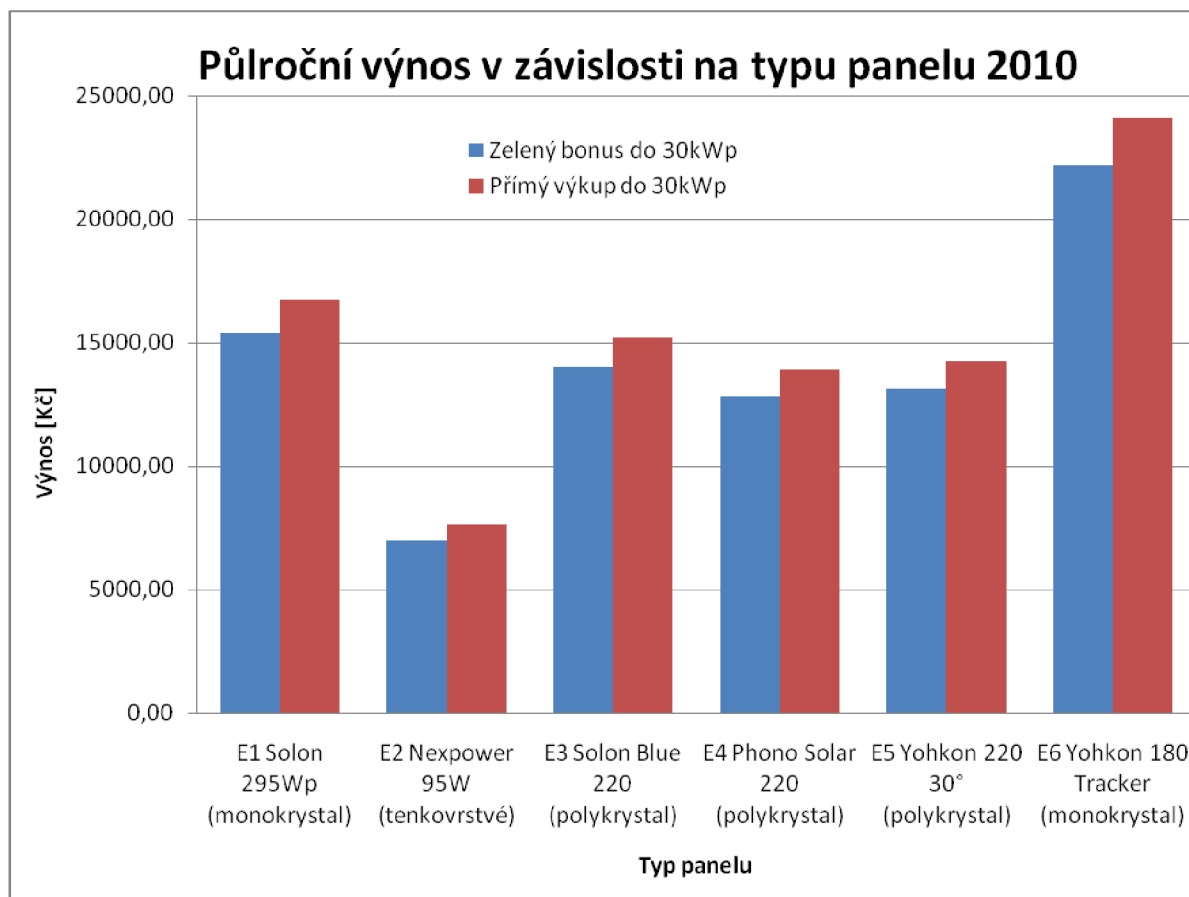
výnos celé instalace	11,28	15420,76	7002,43	13999,80	12810,42	13135,61	22185,98
Přímý výkup Kč/kWp	12,25	5676,90	5003,02	5758,97	5269,71	5403,48	7436,36
výnos cele instalace	12,25	16746,84	7604,59	15203,68	13912,02	14265,17	24093,81

Tab. 6.4.1 Půlroční výnosy v závislosti na typu výkupu, roce výkupu (výnos na kWp i celou instalací)

Nejlepší doba pro zapojení fotovoltaické elektrárny o výkonu do 30 kWp byla v roce 2010 a to hlavně kvůli nižším pořizovacím nákladům a stále dosti vysoké výkupní ceně 11,28 Kč/kWh u výkupu se zeleným bonusem a 12,25 Kč/kWh u přímého výkupu. Pro rok 2011 opět klesly pořizovací ceny instalací, ale hlavně výkupní ceny rapidně klesly na 6,50 Kč/kWh u zeleného bonusu a 7,50 Kč/kWh u přímého výkupu. Z tohoto důvodu by se návratnost oddálila a celkový zisk z instalace by klesl.



Obr. 6.4.1 Porovnání výnosů v závislosti na typu panelu a systému výkupu rok 2009

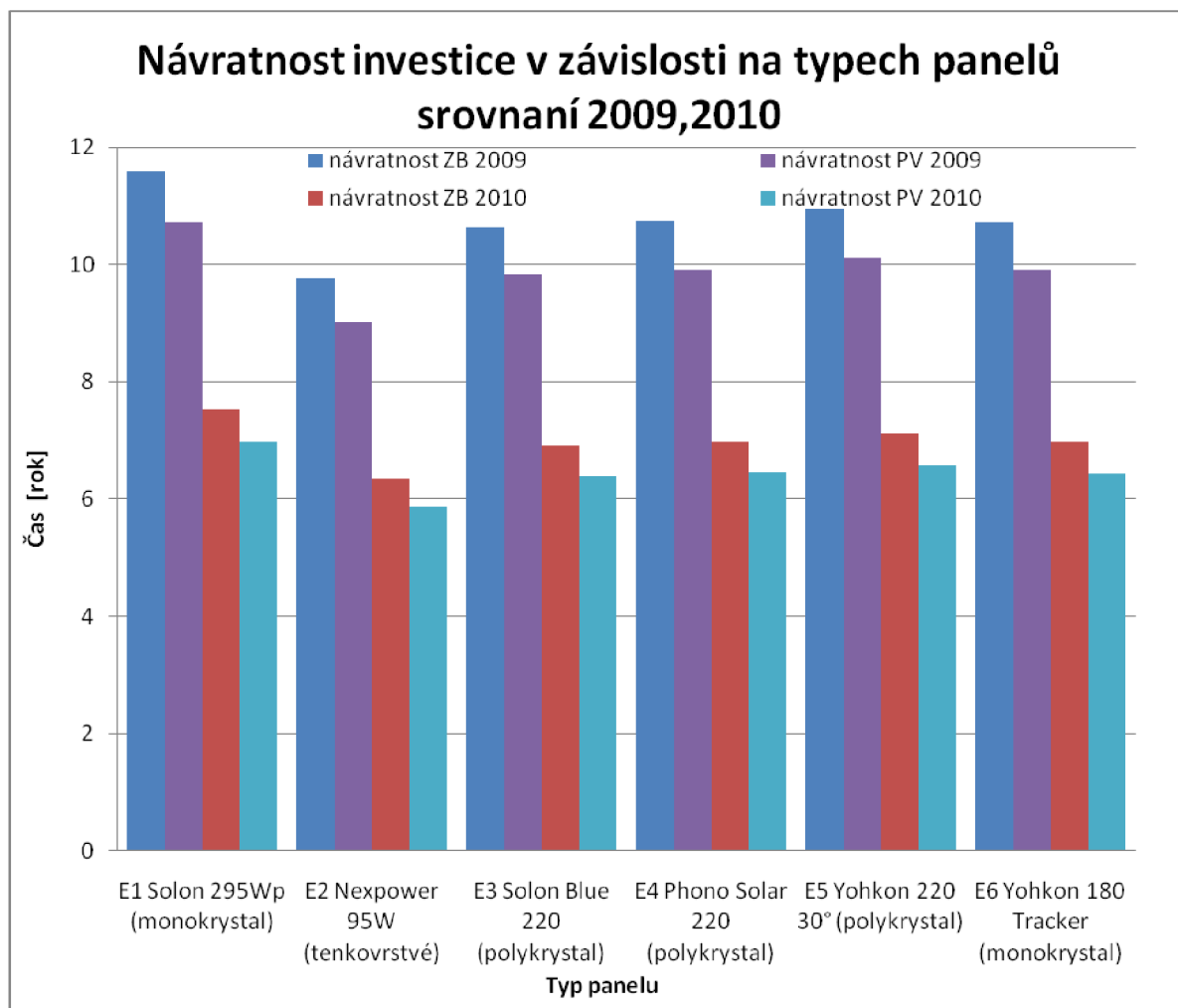


Obr. 6.4.2 Porovnání výnosů v závislosti na typu panelu a systému výkupu rok 2010

Pro výpočet návratnosti investice v letech bylo nutné vynásobit dané hodnoty dvěma. Proto přesnost tohoto grafu není taková jako u ostatních, které jsou dělány jako půlroční. Také zde není započteno, při zapojení se zeleným bonusem, kolik by ušetřila domácnost při spotřebování významného množství vyrobené energie. Kdyby byla započítána tato úspora, byla by kratší návratnost u výkupu se zeleným bonusem.

Způsob výkupu	E1 Solon 295Wp	E2 Nexpower 95W	E3 Solon Blue 220	E4 Phono Solar 220	E5 Yohkon 220 30°	E6 Yohkon 180 Tracker
ZB 2009 [rok]	11,6	9,8	10,6	10,7	10,9	10,7
ZB 2010 [rok]	7,5	6,3	6,9	7,0	7,1	7,0
PV 2009 [rok]	10,7	9,0	9,8	9,9	10,1	9,9
PV 2010 [rok]	7,0	5,9	6,4	6,4	6,6	6,4

Tab. 6.4.2 Návratnost jednotlivých instalací (ZB-zelený bonus, PV-Přímý výkup)



**Obr. 6.4.3 Porovnání návratnosti investice při pořízení v roce 2009 a 2010
(ZB-zelený bonus, PV-Přímý výkup)**

7. Závěr

Fotovoltaické elektrárny patří v dnešní době mezi jedny z nejoblíbenějších zdrojů obnovitelné energie. Toto prvenství si zasloužily zejména díky štedrým dotacím vykupované takzvané zelené energie a tím rychlé návratnosti investic do celého projektu. Diplomová práce se na začátku zaměřuje na historii fotovoltaického jevu a jeho postupnou zvyšující se účinnost. Následně prochází jednotlivé typy solárních panelů, pojednává o účinnosti křemíkových monokrystalických, polykrystalických a tenkovrstvých amorfních panelů. Zabývá se také výhodností konkrétního typu technologie pro určitou aplikaci. Práce se dále zabývá začleněním solárních panelů do moderní architektury, jejich aplikací na střechy, obvodové zdi budov i na volná prostranství. V projektu jsou popsány velké sluneční elektrárny v ČR.

V další části jsou již skutečné kalkulace fotovoltaických elektráren, náklady na jejich pořízení dle ceníku společnosti Energ-servis a.s. (rok 2009), jejich návratnost a celková dodaná energie do sítě vypočítaná pomocí Evropského simulačního programu PVGIS, který počítá se skutečnými průměrnými daty slunečních dní v Evropě. Jeho nevýhodou je nemožnost zadání určitého typu panelu od určitého výrobce, aby simulace byla přesnější.

V závěrečné části diplomové práce jsou zpracovány naměřené hodnoty různých typů instalací umístěných v inkubátoru Hády v Brně společností Energ-servis a.s.. Tato společnost data získává z monitoringu jednotlivých instalací od června 2009. Pro toto zpracování bylo se společností domluveno, že poskytne data za rok 2010, která budou kompletní a ideální pro tuto práci. Nicméně ve společnosti došlo na začátku roku 2011 k závažné chybě systému a firma bohužel o všechny data z monitoringu přišla. Tyto data neměla nijak zálohována, tudíž se práce opírá o naměřená data z období červenec-prosinec 2009, které byly k dispozici pro rešerši semestrálního projektu 1.

Jednotlivé instalace v inkubátoru Hády jsou tvořeny určitým typem panelů, ať už z monokrystalického a polykrystalického křemíku či amorfni technologie. Většina těchto instalací je umístěna na pevných rámech se sklonem 30°. Výjimkou je instalace E6 s monokrystalickými panely Yohkon 180Wp, která je umístěna na trackeru, který je pohyblivý v osách x, y o 90°. Tato instalace, ač není složena z nejvýkonnějších panelů, dodává největší výkon do sítě. Patří mezi nejdražší, co se týče pořizovacích nákladů. Vypočtená návratnost systému uvedeného do provozu v roce 2009 činí 10,7 let a spuštěného v roce 2010 jen 7 let. Nicméně tracker se skládá z mnoha pohyblivých dílů, které mohou za pár let znamenat problém. Co se týče porovnání návratnosti investice do tohoto typu uchycení panelů, tak je srovnatelná s klasickými instalacemi s polykrystalickými panely.

Instalace E1 složená z monokrystalických panelů Solon 295Wp dosahuje také vysokých výnosů, nicméně jejich pořizovací cena je dosti vysoká a tím je i návratnost delší oproti jiným instalacím. Nejlepší návratnost mají tenkovrstvé panely, které nijak neohromují vysokými výkony, ale výrazně nižší pořizovací cenou oproti jiným typům. Spočítaná návratnost této instalace se pohybuje okolo šesti let. Její nevýhodou je nutnost velké plochy, protože jeden panel má výkon pouze 95Wp. Nejvýhodnější instalací se jeví použití polykrystalických panelů. V této práci jsou porovnávány stejně výkonné typy (220Wp) od různých výrobců a to firem Solon, Phono Solar a Yohkon. Mezi těmito typy panelů jsou nepatrné cenové rozdíly, které se promítají do jejich výkonnosti. Spočítaná návratnost těchto instalací uvedených do provozu v roce 2009 se pohybuje v rozmezí 10,5-11 let a u instalací uvedených do provozu v roce 2010 průměrně 7 let. Srážková daň 26% není v těchto propočtech započtena, protože práce se zabývala podmínkami platnými pro roky 2009 a 2010.

Zdroje:

- [1] Superefficient, Cost-Effective Solar Cell Breaks Conversion Records - článek v Scientific American, 8. prosinec 2006
- [2] Ministerstvo životního prostředí [online]. 3.4.2007 [cit. 2010-03-17]. Czech RE Agency. Dostupné z WWW: <http://www.czrea.org/files/pdf/studie/Sbornik_hybridy.pdf>.
- [3] Solární energie [online]. 2006 [cit. 2010-03-17]. ČEZ. Dostupné z WWW: <<http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k41.htm#z>>.
- [4] Sanyo [online]. 2009 [cit. 2010-03-17]. Sanyo. Dostupné z WWW: <<http://sanyo.com/solar/solarark>>.
- [5] Scienceworld.cz [online]. 12.11.09 [cit. 2010-03-17]. První velká fotovoltaická elektrárna v ČR. Dostupné z WWW: <<http://scienceworld.cz/aktuality/prvni-velka-fotovoltaicka-elektrarna-v-cr-5227>>.
- [6] Energyservis [online]. 2005 [cit. 2010-03-17]. Legislativa. Dostupné z WWW: <<http://www.energyservis.cz/cs/fotovoltaika/legislativa>>.
- [7] Domácí solární elektrárna[online]. 19. 06. 2009 [cit. 2010-03-17]. Nazeleno.cz. Dostupné z WWW: <<http://www.nazeleno.cz/energie/fotovoltaika-1/domaci-solarni-elektrarna-kolik-stoji-vyplati-se.aspx>>.
- [8] Www.sharp.eu [online]. 13.11.2009 [cit. 2010-03-24]. Sharp vyvinul nejúčinnější solární článek na světě. Dostupné z WWW: <<http://www.sharp.eu/cps/rde/xchg/cz/hs.xsl/-/html/sharp-vyvinul-nejucinnejsi-solarni-clanek-na-svete.htm>>.
- [9] Www.energyservis.cz [online]. 14.10.2009 [cit. 2010-03-24]. Ceník. Dostupné z WWW: <<http://www.energyservis.cz/files/ENERG-SERVIS-FV-Elektrarna-na-sikmou-strechu-352kWp.pdf>>.
- [10] Fotovoltaická elektrárna Ralsko [online]. 2011 [cit. 2011-05-15]. CESolar. Dostupné z WWW: <<http://www.cesolar.cz/detail-reference/eenergy-ralsko-a-54/>>.

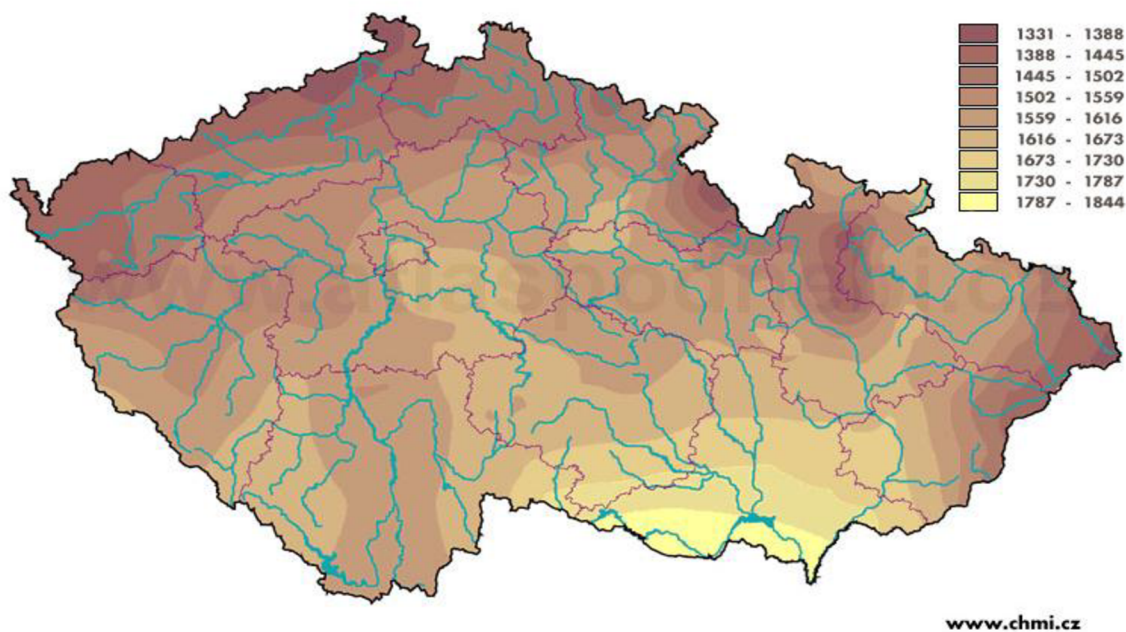
[11] Solarninovinky.cz [online]. 2011 [cit. 2011-05-15]. V okolí Ralska vzniká největší solární elektrárna na světě. Dostupné z WWW:

<<http://www.solarninovinky.cz/2010/index.php?rs=4&rl=2010062902&rm=26>>.

[12] Www.imaterialy.cz [online]. 12. 10. 2007 [cit. 2011-05-17]. Největší solární park ve střední Evropě mají Bušanovice. Dostupné z WWW: <<http://www.imaterialy.cz/Tema-Nejvetsi-fotovoltaiicke-elektrarny-v-CR/Nejvetsi-solarni-park-ve-stredni-Evrope-maji-Busanovice.html>>.

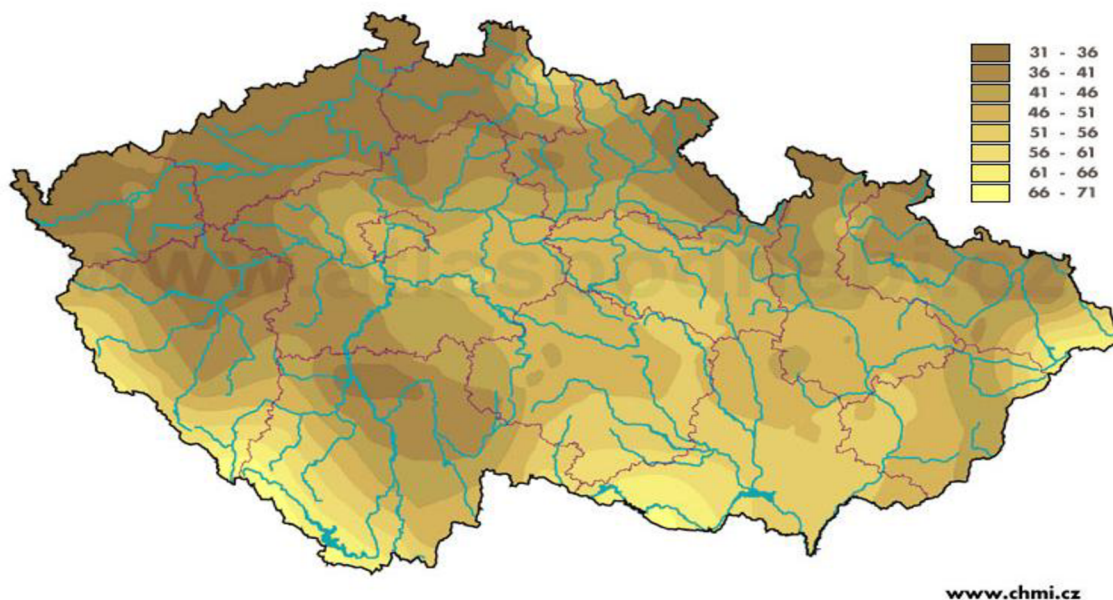
Přílohy:

Roční průměrná doba slunečního záření [h]



Obr. 0.1: : Mapa úhrnu doby slunečního záření

Roční průměrný počet bezoblačných dní



Obr. 0.2: : Mapa úhrnu jasných dnů