

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta



Ekonomické zhodnocení různých typů
fotovoltaických elektráren

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Martin Libra, CSc.

Autor diplomové práce: Bc. Radek Macík

Praha 2011

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra fyziky

Akademický rok 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Radek Macík

obor Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Vedoucí katedry Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu ČZU v Praze
čl. 17 odst. 2 určuje tuto diplomovou práci.

Název práce: **Ekonomické zhodnocení různých typů
fotovoltaických elektráren**

Osnova diplomové práce:

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Stav problematiky
4. Závěr
5. Seznam literatury
6. Přílohy

Rozsah hlavní textové části: 40 - 60 stran

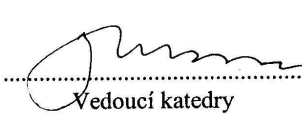
Doporučené zdroje:

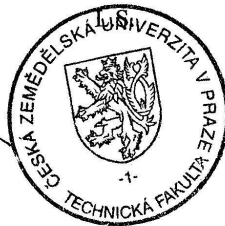
- [1] HALLIDAY, D. - RESNICK, R. - WALKER, J.: Fyzika, VUT v Brně, VUTIUM, 2000
- [2] MECHLOVÁ, E. - KOŠTÁL, K.: Výkladový slovník fyziky, Prometheus, 1999
- [3] JARDINE, J.: Physics through applications, Oxford University Press, 1991

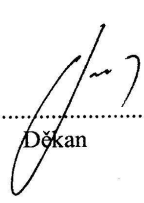
Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Martin Libra, CSc.**

Termín zadání diplomové práce: listopad 2009

Termín odevzdání diplomové práce: duben 2011


.....
Vedoucí katedry




.....
Děkan

V Praze dne: 30. 11. 2009

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně, na základě uvedené literatury a za pomoci vedoucího diplomové práce prof. Ing. Martina Libry, CSc.

V Praze dne.....

Podpis.....

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu prof. Ing. Martinovi Librovi, CSc., který mi poskytl informace a rady, z kterých jsem čerpal.

Abstrakt a klíčová slova

Abstrakt: Cílem této diplomové práce bylo ekonomické zhodnocení různých typů fotovoltaických elektráren od projektového návrhu až po posouzení návratnosti investic. Zhodnocení bylo v závislosti na prodeji veškeré vyrobené elektrické energie do distribuční sítě s počátkem provozování v protikladných letech 2010 a 2011. V kapitole „Stav problematiky“ je popsána problematika fotovoltaických elektráren, základní rozdělení a parametry slunečního záření, technologie fotovoltaiky. Dále tato kapitola pokračuje generačním vývojem a přehledem trendu v použití fotovoltaických článků. Praktická část obsahuje vlastní projektový návrh třech modelových typů FV elektráren, se zcela odlišnými primárními parametry. Na základě vlastní ekonomické kalkulace byla zhodnocena graficky i početně ekonomická efektivnost těchto druhů FV elektráren, z kterých se odvozují projektové záměry pro budoucí investory. Zjištěné poznatky jsem shrnul do kapitoly „Závěr“.

Klíčová slova: fotovoltaická elektrárna, technologie fotovoltaiky, fotovoltaický článek

Economic evaluation of different types of photovoltaic power

Summary: The aim of this thesis is economical an evaluation of different types of photovoltaic power plants from the project design to assessment of the return on investment. The evaluation depending on the sale of all electric energy in distribution network at the beginning of the conflicting years 2010 and 2011. In the chapter "status issue" are discussed issues of photovoltaic power plants, basic characteristics and the distribution of solar radiation, photovoltaics technology. In addition, this chapter continues with the generational development and an overview of trends in the use of photovoltaic cells. The practical part contains the project proposal of the three model types of solar power plants with different primary parameters. On the basis of my economic calculations the economic efficiency of these kinds of solar power plants was evaluated graphically and numerically. From calculations are derived the project plans for future investors. The findings are summarized in following Chapter "Conclusion".

Key words: photovoltaic power plant, photovoltaic technology, photovoltaic cell

Obsah

1. Úvod	- 1 -
2. Cíl práce a metodika	- 2 -
3. Stav problematiky	- 3 -
3.1 Intenzita a energie slunečního záření.....	- 4 -
3.2 Fotovoltaika	- 7 -
3.3 Generační vývoj.....	- 8 -
3.4 Rozdělení fotovoltaických článků	- 11 -
3.5 Fotovoltaické elektrárny	- 15 -
4. Vlastní ekonomická kalkulace efektivity jednotlivých fotovoltaických elektráren.	- 19 -
4.1 Fotovoltaická elektrárna s pevným stojanem	- 22 -
4.2 Fotovoltaická elektrárna s pohyblivými stojany TRAXLE™	- 28 -
4.3 Fotovoltaická elektrárna s pohyblivými stojany TRAXLE™ a s hřebenovými koncentrátory záření	- 34 -
5. Závěr	- 41 -
6. Seznam literatury	- 43 -
7. Seznam použitých zkratk, obrázků a tabulek	- 45 -

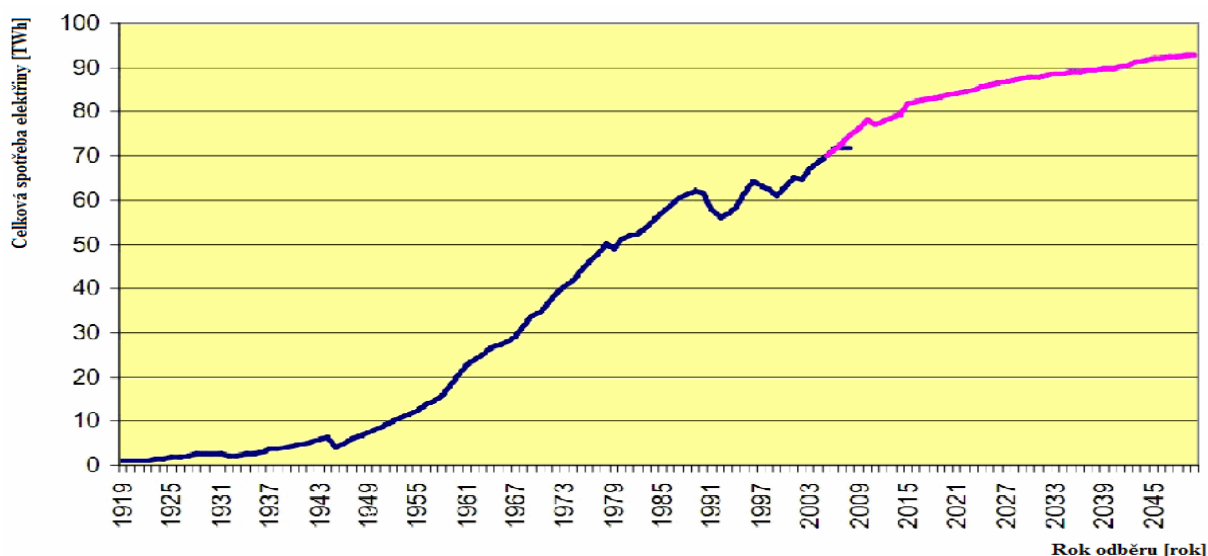
Přílohy

Příloha 8.1 Ukázka fotovoltaické elektrárny s pohyblivým stojanem TRAXLE™ s hřebenovými koncentrátory záření	I
Příloha 8.2 Ukázka fotovoltaické elektrárny s pohyblivými stojany TRAXLE™	I
Příloha 8.3 Ukázka fotovoltaické elektrárny s pohyblivými stojany TRAXLE™ s hřebenovými koncentrátory záření v Moravském Krumlově.....	II
Příloha 8.4 Ukázka fotovoltaické elektrárny s pevnými stojany	II

1. Úvod

Jedním z klíčových bodů energetické politiky Evropské unie je maximální využívání obnovitelných zdrojů. V období od roku 1994 do roku 2009 došlo k mnoha významným změnám v energetickém hospodářství v ČR. Do prosince 2009 evropská energetická politika samostatně mezi jednotlivými politikami EU uváděna nebyla, ale byla obsažena v oblasti životního prostředí, hospodářské soutěže a vnějších vztahů. Česká republika se v rámci vstupu do EU zavázala v roce 2010 dosáhnout 8 % podílu obnovitelných zdrojů energie na hrubé spotřebě elektřiny. Energetická politika ČR proto musí být formulována s ohledem na již schválené dlouhodobé strategie a cíle EU. Cíle podílu z obnovitelných zdrojů energií jsou definovány ve směrnici 2001/77/EC o podpoře elektřiny z OZE na vnitřním trhu s elektřinou EU. Pro každý členský stát je určena cílová hodnota podílu výroby elektřiny na hrubé domácí spotřebě v roce 2010. Směrnice zároveň definuje celkový cíl pro EU ve výši 22,1 %. Cíl pro Českou republiku je tedy hluboko pod průměrem EU. Směrnice 2001/77/EC byla nahrazena novou směrnicí 2009/28/EC, která zahrnuje kromě podpory výroby elektřiny i podporu výroby tepla. Mimo jiné rozděluje celoevropský závazek 20 % podílu OZE na hrubé konečné spotřebě energie v roce 2020 mezi jednotlivé státy EU. Na rozdíl od předchozí směrnice jsou cíle pro jednotlivé státy závazné. Zástupci České republiky opět vyjednali velmi nízký cíl, jen dva státy mají závazné cíle nižší (Lucembursko, Malta). Závazek 8 % podílu obnovitelných zdrojů energie na hrubé spotřebě elektřiny se týká pouze elektřiny. Naproti tomu závazek 13 % pro rok 2020 se týká všech obnovitelných zdrojů.

Obr. 1.1 Vývoj a prognóza spotřeby elektřiny v ČR



Zdroj: [8]

2. Cíl práce a metodika

Cílem diplomové práce je vlastní ekonomická kalkulace efektivity mnou zvolených solárních elektráren. Základní determinantou pro její určení je investiční cena a množství vyrobené elektřiny v závislosti na technických parametrech systému (použité komponenty, maximální výkon a sklon FV panelů, umístění systému na střeše nebo zemi atd.) a jeho geografickém umístění. Kalkulace návratnosti investice vložených do realizace FV elektrárny je provedena ve dvou variantách a to:

A) Prodej veškeré vyrobené elektrické energie do distribuční sítě počínaje 1. 1. 2010

B) Prodej veškeré vyrobené elektrické energie do distribuční sítě počínaje 1. 1. 2011

Předpokládá se, že FV elektrárny budou provozovány v režimu pevné výkupní ceny, kterou každoročně stanovuje Energetický regulační úřad. Aktuální výkupní ceny jsou zobrazeny v tabulce 2.1. Tyto výkupní ceny jsou garantovány pro následujících 20 let provozu FV elektrárny jako minimální.

Tab. 2.1 Výkupní ceny pro výrobu elektřiny využitím slunečního záření [Kč/MWh]

Datum uvedení do provozu	Výkupní ceny elektřiny dodané do sítě v Kč/MWh	Zelené bonusy v Kč/MWh
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem do 30 kW včetně a uvedeným do provozu od 1. ledna 2011 do 31. prosince 2011	7500	6500
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem nad 30 kW do 100 kW včetně a uvedeným do provozu od 1. ledna 2011 do 31. prosince 2011	5900	4900
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem nad 100 kW a uvedeným do provozu od 1. ledna 2011 do 31. prosince 2011	5500	4500
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem do 30 kW včetně a uvedeným do provozu od 1. ledna 2010 do 31. prosince 2010	12500	11500
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem nad 30 kW a uvedeným do provozu od 1. ledna 2010 do 31. prosince 2010	12400	11400
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem do 30 kW včetně a uvedeným do provozu od 1. ledna 2009 do 31. prosince 2009	13420	12420
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem nad 30 kW a uvedeným do provozu od 1. ledna 2009 do 31. prosince 2009	13320	12320
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj uvedený do provozu od 1. ledna 2008 do 31. prosince 2008	14300	13300
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj uvedený do provozu od 1. ledna 2006 do 31. prosince 2007	14660	13660
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj uvedený do provozu před 1. lednem 2006	6990	5990

Zdroj: [12]

3. Stav problematiky

První známá fakta o fotovoltaickém jevu představil světu v roce 1839 francouzský fyzik Alexandre Edmond Becquerel. Avšak první fotovoltaický článek byl sestaven až o 44 let později, a to Charlesem Frittem v roce 1883, který potáhnul polovodivý selen velmi tenkou vrstvou zlata. Článek měl účinnost při přeměně světla na energii mezi 1 – 2 %. V roce 1904 jej fyzikálně popsal Albert Einstein a v roce 1921 mu byla za „práci pro rozvoj teoretické fyziky, zejména objev zákona fotoelektrického efektu“ udělena Nobelova cena. Dalšího zlomového průlomu dosáhl v roce 1946 americký inženýr Russel Shoemaker Ohl, který je všeobecně uznávaný za patentování moderní součástky "Light sensitive device" (US Patent 2402662). V roce 1954 se konaly ve výzkumné a vývojové organizaci Bell Laboratories USA pod vedením G. L. Pearsonem, C. S. Fullerem a D. M. Chapinem pokusy s řadami několika pásků křemíku (o velikosti 5x2 cm), kdy byla objevena vysoká citlivost křemíku na osvětlení. Výsledkem byla realizace fotovoltaického článku s účinností cca. 6 %.

Obr. 3.1 Bell Laboratories testující FV panel v roce 1954



Zdroj: [7]

Primární vývoj i výzkum fotovoltaiky byl koncipován pro využití sluneční energie v místech, bez možností dodávky elektrické energie, proto se první aplikace FV článků projeví zvláště v kosmonautice, kde fotovoltaika dodnes tvoří prakticky jediný zdroj elektrické energie pro umělé družice země. První družicí s fotovoltaickými články byla sovětská družice Sputnik 3, vypuštěná na oběžnou dráhu 15. května 1958 [2].

Na začátku 70. 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.

Již v roce 1992 nastal mezi velmocemi konkurenční boj o celkovém výkonu odvozeného ze solárních elektráren. Spojené státy dosáhly 43,5 kWp následovalo Japonsko s 19 kWp a Německo s 5,619 kWp. Rok 2010 byl průlomový a zaznamenal pro ČR šestou příčku s instalovaným výkonem fotovoltaických elektráren, který byl k 31.12.2010 celkem ve výši 1950 MWp produkce solární energie. Tento nárůst byl neočekávaný a podle odborníků je zřejmé, že bez státních dotací tato energetická bublina splaskne a ČR se v solárním žebříčku bude propadat. Za zmínku stojí třetí Japonsko s 2633 MWp a ambiciózními plány do budoucna, kdy chce produkci solárních panelů zvýšit do roku 2020 na 28 GWp a za dalších deset let ji téměř zdvojnásobit na 53 GWp.

3.1 Intenzita a energie slunečního záření

Dostupnost slunečního záření je základní parametr pro správný návrh solárního systému. Sluneční záření je elektromagnetické vlnění o spektru vlnových délek, které před vstupem do zemské atmosféry připomíná spektrum absolutně černého tělesa o povrchové teplotě cca 6000 K. Základní veličinou při popisu přímého slunečního záření je jeho intenzita, kterou definujeme jako množství zářivé energie, jež za jednotku času dopadá na jednotkovou plochu orientovanou kolmo ke slunečním paprskům. Pro snadnější a rychlejší návrh existují pomůcky pro určení zastínění daného místa během celého roku, počítačové programy pro konkrétní návrh solárního zařízení využívající naměřená klimatická data.

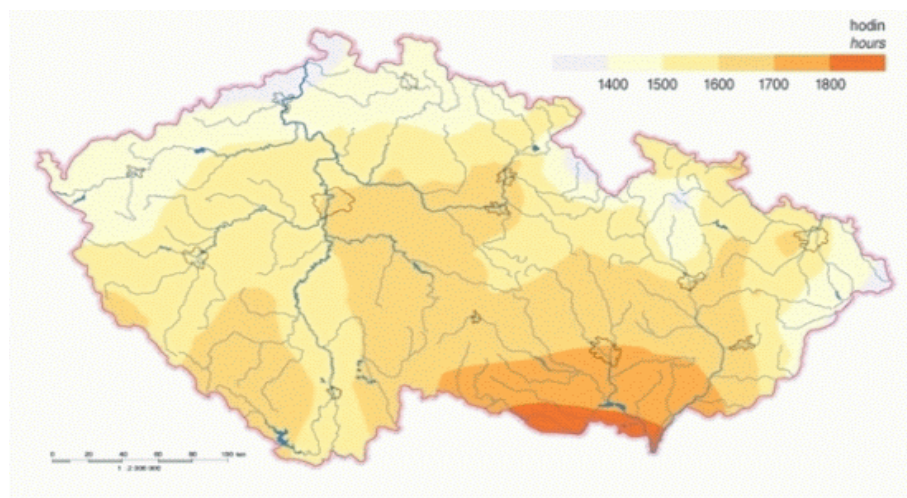
Sluneční záření je nejdůležitější obnovitelný a přitom naprosto čistý zdroj energie a je tedy perspektivní v dlouhodobém časovém horizontu. Slunce se nachází ve stabilním stádiu vývoje, kdy předpokládaná doba využití přesahuje dalších 5 miliard let. Z hlediska lidské populace se jedná o zdroj udržitelný, nikoliv nevyčerpatelný. Na naši planetu trvale dopadá záření o výkonu zhruba $P = 1,8 \times 10^{17}$ W jen s mírnými výkyvy v závislosti na aktivitě Slunce a roční době. To je o 3 řády více než výkon, jaký vyrobí a spotřebuje celé lidstvo [4]. Nevýhodou pro větší energetické využití slunečního záření je pohlcení 1/5 záření v atmosféře, značná část 34 % nedopadne na povrch Země, neboť se odráží od mraků, částec prachů

a z celkového toku energie Slunce je pro lidstvo využitelných přibližně 47 % v podobě přímého a difúzního záření, dále proměnlivá intenzita slunečního záření a nerovnoměrné územní rozložení. V našich zeměpisných šířkách je roční časový průběh nabídky sluneční energie přesně opačný, než je poptávka po energii. Intenzita slunečního záření dopadající na skloněnou plochu se skládá z přímého záření, jenž bylo zeslabeno průchodem vrstvou atmosféry a rozptýleného záření vzniklým následkem rozptylu přímých slunečních paprsků na molekulách plyných složek vzduchu, na vodních kapičkách, ledových krystalcích a na nejružnějších aerosolových částicích vyskytujících se v zemském ovzduší. Celková intenzita slunečního záření dopadající na obecnou plochu, někdy označována jako globální intenzita, je dána součtem intenzit difúzního a přímého záření. Celkové roční množství intenzity a energie dopadající slunečního záření ovlivňuje zejména zeměpisná poloha, doba slunečního svitu orientace fotovoltaického systému vzhledem ke slunci, nadmořská výška a v neposlední řadě i čistota ovzduší.

Možnosti využití solární energie jsou závislé především na dvou hodnotách:

Doba slunečního záření – v literatuře nazývána též jako doba slunečního svitu, která se pohybuje v rozmezí od 1 400 do 1 800 hodin za rok dle lokality viz. obr 3.2 , z čehož největší část (asi 72 %) v letním období. Informace o ročním úhrnu globálního slunečního záření je velmi důležitá pro výpočty budoucí energetické bilance fotovoltaického systému a tedy i návratnosti investice. Známe-li kolik slunečního záření ročně dopadne na 1 m² fotovoltaického systému a účinnost solárního panelu, která se pohybuje přibližně kolem 14 %, pak dostaneme z této plochy asi 133 - 188 kWh elektrické energie za rok.

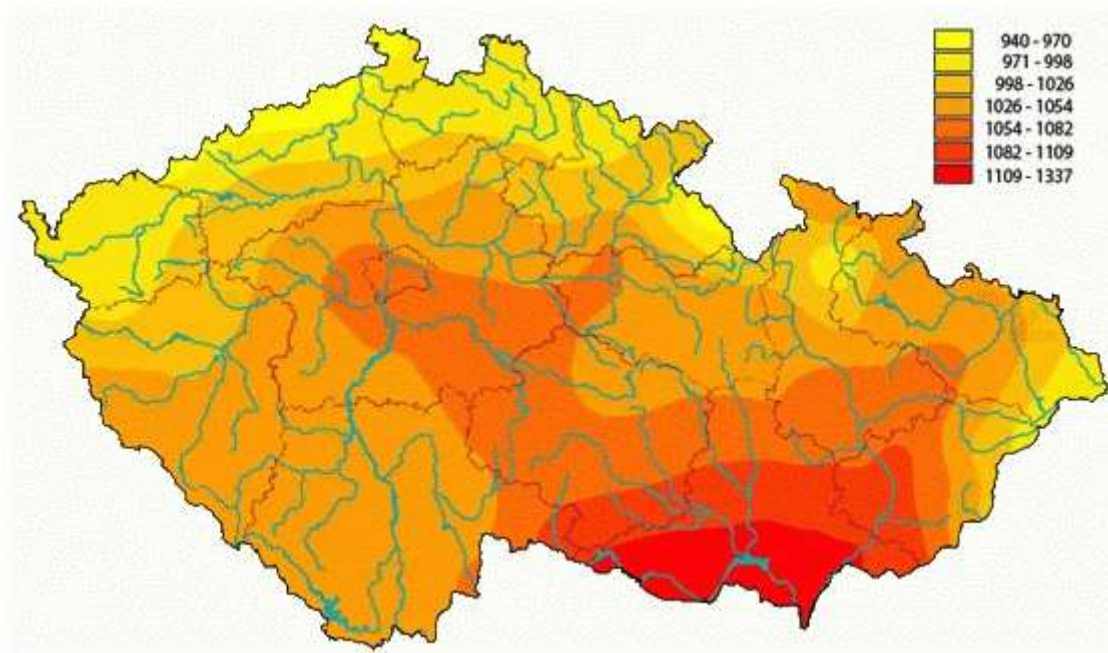
Obr. 3.2 Průměrný roční úhrn trvání slunečního svitu v ČR [hodin]



Zdroj : [20]

Intenzita slunečního záření – jedná se o denní resp. měsíční sumu globálního záření na jednotku vodorovné plochy. Výkon solárních elektráren závisí zejména na okamžitém slunečním záření, a proto se jejich výkon udává jako tzv. špičkový, tedy při dopadajícím slunečním záření s intenzitou 1000 kWh/m^2 odpovídající zhruba záření okolo poledne v letních měsících, je-li jasná obloha. Solární panel s účinností např. 14% má při ploše 1 m^2 špičkový (peak) výkon 140 Wp. Výkon článků časem klesá, výrobci solárních panelů garantují maximální snížení výkonu po 20 letech provozu o méně než 20 %. Podmínky České republiky ležící na severní polokouli uprostřed evropského světadílu z hlediska slunečního záření nejsou tak příznivé jako například v jižní Evropě, kde intenzita ročního množství slunečního záření je $\geq 1400 \text{ kWh/m}^2$, ale i zde je možné vyrábět elektrickou energii přeměnou ze slunečního záření. Obr. 3.3 zobrazuje průměrnou intenzitu ročního množství slunečního záření v České republice, které se pohybuje v rozmezí 950 až 1350 kWh/m^2 .

Obr. 3.3 Mapa intenzity slunečního záření v ČR [$\text{kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$]



Zdroj: [20]

Přímé využití solární energie lze využívat jak pasivně – díky vhodné tzv. solární architektuře, nebo aktivně - buď přeměnou na tepelnou energii v tzv. termických kolektorech (sběračích), anebo transformací na energii elektrickou ve fotovoltaických kolektorech [3].

Mezi další body využití sluneční energie patří:

Biomasa – díky biochemickým reakcím je až 0,1 % sluneční energie přeměněno a uloženo v zelených částech rostlin. Ty lze posléze využít jako zdroj energie.

Fosilní paliva – za příznivých podmínek, působením geofyzikálních procesů ve větších hloubkách za vysokých tlaků a teplot bez přístupu vzduchu může být biomasa časem přeměněna na uhlí, ropu, či zemní plyn.

Vodní energie – zhruba čtvrtina slunečního záření je využita k výparu vody. Její následná kondenzace ve výše položených místech dává vzniknout vodní energii.

Větrné energie – vlivem nerovnoměrného zahřívání zemského povrchu dochází k pohybu vzduchu, tedy vzniku větru.

3.2 Fotovoltaika

Fotovoltaiku lze chápat jako technologii s neomezeným růstovým potenciálem a časově neomezenou možností výroby elektrické energie. Jedná se o vyspělé (hi-tech) průmyslové odvětví, které nyní ve světě zažívá rychlý rozvoj a ovlivňuje nejen obchodní aktivity. Většina vyspělých zemí včetně EU se snaží fotovoltaiku podporovat zejména vzhledem k narůstající energetické závislosti mnohých zemí, hrozící energetickou krizí, zvyšování emisí CO², postupnému stárnutí stávající technické inteligence a nezbytnost její včasné a adekvátní náhrady. Energetika je jedním z nejstarších sektorů české ekonomiky s věkovým průměrem blížící se 50-ti roků. Zvláštní důraz je kladen na rozvoj infrastruktury. Rozvoj sítí a přepravních tras je nutnou podmínkou pro zajištění bezpečnosti dodávek v elektroenergetice.

Fotovoltaická technologie umožňuje transformaci slunečního světla přímo na elektrickou energii. Fotovoltaické systémy mohou přivádět elektrickou energii do konkrétního spotřebiče nebo elektrické sítě. Je schopna sehrát důležitou roli při přechodu k dlouhodobě udržitelným energetickým systémům 21. století a pokrývat významný podíl na spotřebě elektrické energie v Evropě. Fotovoltaika by mohla přispět k budoucímu zabezpečení zásobování elektrickou energií, poskytovat ekologicky příznivé energetické služby a zlepšovat hospodářský a společenský blahobyt. Spolu s dalšími technologiemi založenými na obnovitelných zdrojích energie a energetickou účinností by se fotovoltaika mohla stát klíčovou technologií budoucnosti.

Mezi hlavní výhody fotovoltaiky patří flexibilita z hlediska realizace. Fotovoltaické systémy lze zabudovávat do budov jako samostatné pohyblivé či nepohyblivé moduly i do spotřebního zboží. Zajištění šetrného přístupu k životnímu prostředí a minimálních dopadů energetiky na životní prostředí a na krajinu. Fotovoltaika vyrábí elektřinu bez vzniku emisí skleníkových plynů = ekologická energie. Cílem státní podpory fotovoltaiky je, aby postupně každá budova na Zemi byla energeticky soběstačná. Mezi další důležité státní podpory patří státem garantované výkupní ceny, kdy pro fotovoltaické systémy je garance cen po dobu 20-ti let, a snaha snížit současné náklady na elektrickou energii, která se prodává zpět poskytovateli distribuční sítě (ČEZ a.s., PRE a.s. aj.).

3.3 Generační vývoj

1. Generace (wafer based) – rozvoj fotovoltaiky na komerční úrovni byl umožněn až zvládnutím hromadné výroby polovodičových substrátů, což bylo vyřešeno v souvislosti s výrobou elektronických součástek jako jsou tranzistory, integrované obvody a mikroprocesorová technika již v 70. letech minulého století. Protože za účelem jejich výroby byla zvládnuta technologie výroby čistého křemíku ve větších objemech, začala se logicky nejprve rozvíjet výroba fotovoltaických prvků právě na bázi křemíku. Zatímco u výroby integrovaných obvodů byl prioritní požadavek na zvyšování hustoty integrace, u fotovoltaických článků se jednalo především o zvětšování plochy substrátu. Původně se rozšířila výroba 5" FV článků o rozměrech 125 x 125 mm. Později se rozvoj ubíral k 6" technologii o rozměrech 156 x 156 mm, která se dnes považuje za standard. Původně byl nastíněn i vývoj 9" FV článků, ale z praktických hledisek se nerealizoval. Hlavním důvodem, proč se od tohoto záměru upustilo, jsou ztráty v kabeláži, protože proud těchto článků by byl kolem 16 A a oproti necelým 5 A u 5" FV článků by byly ztráty při stejných průřezech vodičů více než 10x větší. Žádný z výrobců dnes nenabízí FV moduly s FV články o rozměrech 225 x 225 mm. Přestože je jejich výroba relativně drahá (a to zejména z důvodu drahého vstupního materiálu – krystalického křemíku), budou ještě v několika dalších letech na trhu dominovat.

Monokrystalický křemík – protože právě polovodičové součástky jsou na bázi monokrystalického křemíku, šel vývoj fotovoltaiky nejprve tímto směrem. Solární články z monokrystalického křemíku (c-Si mono) mají sytě modré až černé zabarvení a obvykle mají

čtvercové články seříznuté rohy, takže mají osmiúhelníkový tvar. Je viditelná síť kovových vodičů, které tvoří horní kontakt. Teoreticky mají tyto články účinnost 24 %, ale technologicky je reálné dosáhnout účinnosti solárních modulů v rozsahu 14 až 16 %. Jejich energetická návratnost (EPT – Energy Payback Time), což je vlastně doba, za kterou vyprodukují energii spotřebovanou při jejich výrobě a je cca 2,7 let. Protože technologie výroby monokrystalického křemíku metodou zonální tavby je energeticky velmi náročná, hledaly se další možnosti, jak toto obejít. Řešením je výroba solárních článků na základě polykrystalického křemíku.

Polykrystalický křemík - Solární články z polykrystalického křemíku (c-Si poly) jsou jasně modré a je u nich zřejmá výrazná krystalická struktura. V horní části jsou rovněž viditelné kovové kontakty. Polykrystalické solární články bývají čtvercové. Účinnost polykrystalických článků je sice nepatrně nižší, ale lépe dokáží proměňovat difúzní světlo a světlo přicházející z boku, takže prakticky jsou v dnešní době zcela rovnocenné s články monokrystalickými. Obvykle bývají nepatrně levnější. Tento rozdíl se však v poslední době zmenšuje, případně zcela mizí. Z energetického pohledu se podařilo snížit ukazatel EPT na čtyři roky v ideálních podmínkách [19].

Obr. 3.4 Solární panely s monokrystalickým a polykrystalickým křemíkem



Zdroj: [19]

2. Generace (thin film) – Impulsem pro rozvoj článků druhé generace byla především snaha o snížení výrobních nákladů úsporou drahého základního materiálu – křemíku. Články druhé generace se vyznačují 100 krát až 1000 krát tenčí aktivní absorbující polovodičovou vrstvou (thin-film) a jejími představiteli jsou např. články z amorfního a mikrokrytalického

křemíku (případně silicon-germania, či silicon-karbidu, ale také tzv. směsné polovodiče z materiálů jako Cu, In, Ga, S, Se, označované obecně jako CIS struktury). S úsporou materiálu došlo v porovnání s články první generace k poklesu výrobních nákladů (a tedy za předpokladu velkosériové výroby i k poklesu ceny), nicméně dosahovaná účinnost je obvykle nižší (v sériové výrobě obecně pod 10 %). Nespornou výhodou tenkovrstvých článků je možnost volby substrátu (na něhož se tenkovrstvé struktury deponují) a v případě použití flexibilních materiálů (organické, kovové či textilní folie) i značně širší aplikační sféra. Mezi hlavní nevýhody patří nižší účinnost a menší stabilita výkonu. Komerčně se začaly články druhé generace prodávat v polovině osmdesátých let [19].

3. Generace (organic dye) – pokus o „fotovoltaickou revoluci“ představují solární články třetí generace. Zde je hlavním cílem nejen snaha o maximalizaci počtu absorbovaných fotonů a následně generovaných párů elektron - díra („proudový“ zisk), ale i maximalizace využití energie dopadajících fotonů („napět'ový“ zisk fotovoltaických článků). Existuje řada směrů, kterým je ve výzkumu věnována pozornost:

- vícevrstvé solární články (z tenkých vrstev)
- články s vícenásobnými pásy
- články, které by využívaly „horké“ nosiče náboje pro generaci více párů elektronů a děr
- termofotovoltaická přeměna, kde absorbér je současně i radiátorem vyzařujícím selektivně na jedné energii
- termofotonická přeměna, kde absorbér je nahrazen elektroluminiscencí
- články využívají kvantových jevů v kvantových tečkách nebo kvantových jamách
- prostorově strukturované články vznikající samoorganizací při růstu aktivní vrstvy
- organické články (např. na bázi objemových heteropřechodů)

Zatím jediným komerčním příkladem dobře fungujících článků třetí generace (přímo navazující na FV druhé generace) jsou vícevrstvé struktury (dvojrvtvé – tzv. tandemy a trojvrstvé články), z nichž každá sub-struktura (p-i-n) absorbuje určitou část spektra a maximalizuje se tak energetická využitelnost fotonů. Příkladem tandemového solárního článku je struktura skládající se z p-i-n přechodu amorfního (hydrogenovaného) křemíku (a-Si:H) a p-i-n přechodu mikrokrytalického (hydrogenovaného) křemíku ($\mu\text{c-Si:H}$). Amorfní křemík má vysokou absorpci části spektra, mikrokrytalický křemík pak dobře absorbuje i v oblasti červené a infračervené. Mikrokrytalický křemík může být nahrazen i „slitinou“ křemíku s germániem a dle zvoleného poměru obou materiálů se dají upravovat jejich optické (i elektrické) vlastnosti. Tohoto materiálů se např. využívá komerčně právě pro trojvrstvé

solární články, kde dva spodní články jsou vyrobeny s různou koncentrací Si a Ge. Základní podmínkou pro dobrou funkci vícevrstevných článků je, aby každý z článků generoval stejný proud. V opačném případě, horší (příp. nejhorší) z článků limituje dosažitelnou účinnost. Výsledné napětí je pak dané součtem obou (příp. všech) článků [10]. Výhodou je radikální (100 x) snížení nákladů na výrobu těchto článků. V současné době mají účinnost 2 % a v laboratorních podmínkách 4 %. Komerčně jsou zatím nedostupné.

3.4 Rozdělení fotovoltaických článků

Podle struktury materiálu:

Monokrystalické články na bázi křemíku – nejstarším typem fotovoltaických článků jsou články vyrobené z monokrystalického křemíku. Výroba těchto článků není vůbec jednoduchá a je značně energeticky i finančně náročná. K výrobě monokrystalů se převážně používá tzv. Czochralského metoda. Při této metodě je pevný krystal pomalu (5–150 mm za hodinu, s rotací 10–100 otáček za minutu) vytahován z kapalné taveniny na zárodku vysoce kvalitního materiálu, nejčastěji wolframu (materiál s vysokým bodem tání). Pro vypěstování kvalitních monokrystalů se užívá speciálních typů kelímků (zvaných crucibles – výheň) vyráběných z křemene, do kterých je na začátku umístěn roztavený materiál (při teplotě cca 1500 °C). Koncentrace se podél tahaného materiálu mění a nečistoty mají tendenci zůstávat v kapalné fázi. Při růstu je nutno v peci udržovat stálé podmínky, např. atmosféru tvoří některý z inertních plynů (např. argon), též velmi záleží např. na ovládní teploty a prostorové orientaci. Takto vzniklé ingoty monokrystalického křemíku se nařezou speciální pilou na pláty, které mají tloušťku 0,25 - 0,35 mm. Poté se plátky zarovnají na rovnoměrnou tloušťku a provede se jejich následná úprava (leštění a odstranění případných nečistot). PN přechod je vytvořen tak, že z jedné strany dojde k obohacení pětimocným prvkem (P, As) - vznik vodivosti typu N a z druhé strany dojde k přidání prvku trojmocného (B) - vznik vodivosti typu P. Ekonomicky výhodnější je tažení monokrystalického pásku rovnou z taveniny. Tímto způsobem tažení lze vyrobit až dvojnásobnou plochu solárního článku. Nevýhodou této výroby je o něco nižší účinnost fotovoltaických článků.

Polykrystalické články na bázi křemíku – jedná se o nejrozšířenější typ fotovoltaických článků. Výhodou těchto článků je jednodušší technologie výroby a z toho vyplývající nižší cena. V současné době, kdy je velká poptávka po solárních panelech, se ceny

monokrystalických a polykrystalických článků téměř shodují. Při výrobě polykrystalických článků dochází k odlévání materiálu (čistého křemíku) do speciálních forem (čtvercový nebo obdélníkový tvar - lepší využitelnost materiálu). Vzniklé ingoty se jako v předchozím případě nařežou. Nevýhodou této technologie výroby je vznik většího odporu mezi jednotlivými krystalovými zrny v porovnání s monokrystalem. Zhoršují se tím elektrické vlastnosti - nižší elektrický proud a větší elektrický odpor.

Články na bázi tenkých vrstev amorfního křemíku – amorfní články jsou v porovnání s monokrystalickými a polykrystalickými články znatelně levnější, výroba je méně materiálově a energeticky náročná. Pokles ceny je zde způsoben použitím menšího množství materiálu. Ve vakuové atmosféře při teplotách kolem 200° C je nanášena vrstva na destičku zhotovené ze skla, plastu nebo nerez. Klasické krystalické články mají tloušťku cca 0,3 mm, v případě amorfního křemíku se jedná většinou o nanášení vrstev nepřesahující tloušťky 0,001 mm. V případě, že se jedná o malé tloušťky článků, mluví se o tzv. tenkovrstvé technologii. V praxi konstrukci článků tvoří jedna nebo více vrstev z amorfního křemíku s příměsí germania a dalších prvků, které jsou nanášeny na základní fólii zhotovené z ušlechtilé oceli. Základní fólie vytváří záporný pól článku. Kladný pól je vytvářen z vláken z ušlechtilé oceli. Celý článek je zataven v polymerním ochranném pouzdře tvořeném ze směsi etylen – vinyl – acetátu (EVA) a fluoro – polymeru na bázi teflonu. Pouzdro tvoří vysoce odolný obal. Funkcí tohoto pouzdra je schopnost zabránit tvorbě usazenin a tím článek udržovat v čistém stavu. Ve srovnání s krystalickým křemíkem se jedná o málo pravidelnou strukturu. Některé z atomů křemíku nemají vedle sebe potřebné atomy, se kterými by mohly vytvořit vazbu. V těchto místech může docházet k rekombinaci nábojů. Tyto elektrony (díry) se dále nezúčastní vedení proudu, což má za následek snížení účinnosti těchto článků. Problém lze z části odstranit navázáním vodíku na tyto volné vazby, jedná se o tzv. hydrogenizaci nebo pasivaci. Účinnost těchto článků je 5 - 9 %. Jejich výhodou je menší pokles výkonu při nízké intenzitě osvětlení ve srovnání s krystalickými fotovoltaickými články. Články, které jsou vyrobené z amorfního křemíku, vykazují při spuštění systému vyšší výkon, než udává výrobce. V průběhu prvního roku používání se hodnota výkonu ustálí na hodnotě, kterou udává výrobce v katalogových listech. Amorfní články jsou v letních měsících méně teplotně závislé, tzn., že se nezmenšuje jejich výkon. Díky malé tloušťce a značné ohebnosti je možné takto vyrobený fotovoltaický článek aplikovat na různé materiály (plast, guma, sklo,...).

Podle počtu PN přechodů:

Jednopřechodové – výroba těchto článků je jednoduchá, ale mají nejmenší účinnost, neboť zachyceny mohou být jen fotony s energií větší nebo srovnatelnou se šířkou zakázaného pásu. U fotonů s nižší energií nedojde k zachycení, u fotonů s vyšší energií, než je šířka zakázaného pásu, se část energie přemění na teplo.

Vícepřechodové – v případě vytvoření vícevrstvé struktury je každá vrstva navržena na optimální šíři slunečního spektra a účinnost celého článku se zvyšuje. Ve slunečním spektru jsou obsaženy fotony o různých vlnových délkách a ty fotony, které mají nižší energii než je šířka zakázaného pásu polovodiče, projdou bez zachycení. U fotonů s vyšší energií se využije jen její malá část a zbytek se přemění v teplo. Aplikací více vrstev lze v každé vrstvě využít jinou část solárního spektra a navýšit účinnost celého článku. Teoreticky je možné využít celé solární spektrum. V praxi se první vrstvou propouští fotony s vyšší energií, které jsou později zachyceny v nižších vrstvách polovodiče. Pro jednotlivé vrstvy jsou použity intermetalické sloučeniny III. a V. skupiny periodické soustavy prvků (např. GaSb, InP, GaAs). V současné době jsou dostupné třívrstvé články, ověřují se čtyřvrstvé struktury a začíná se pracovat na šestivrstvých strukturách [15]. Tyto články mají účinnost až 58 %, avšak vyšší cenu v důsledku složitější výroby. V budoucnu je nadějný směr ve spojení některé levné tenkovrstvé technologie, včetně nanotechnologií, s mnohapřechodovou strukturou, umožňující zachytávat a využívat fotony z širšího pásma vlnových délek.

Podle druhu vrstev:

Tenkovrstvé – polovodičové vrstvy jsou nanášeny na nepolovodičový substrát (plast, papír, sklo), jsou flexibilnější (často ohebné), lehčí, levnější, je menší spotřeba drahého materiálu a lepší energetická návratnost, avšak horší účinnost, která se pohybuje 6 % – 10 % a méně stabilní parametry, tvoří asi 17 % všech vyráběných článků.

Tlustovrstvé – substrát je polovodič vyrobený rozřezáním monokrystalického, nebo polykrystalického ingotu, na něm se vytvářejí další vrstvy. Mají stabilnější a lepší parametry, avšak větší spotřebu materiálu a vyšší cenu, tvoří asi 82 % všech vyráběných článků.

Podle druhu materiálu:

Křemík – nejrozšířenější a komerčně nejdostupnější fotovoltaické články se z 90 % vyrábějí z křemíku. Křemík je velmi vhodný materiál pro výrobu fotovoltaických článků, protože z hlediska šířky zakázaného pásu je u křemíku možno dosáhnout velmi vysoké účinnosti generace volných nosičů dopadajícím slunečním zářením. Na obr. 3.5 je znázorněno procentuální využití technologie krystalického křemíku multikrystalického materiálu (c-Si multi), ve formě monokrystalické destičky (c-Si mono) a ve formě multikrystalických pásků (c-Si ribbon). Teoretická účinnost ideálního křemíkového článku dosahuje až 33 %, nejlepší dosažená účinnost u komerčně vyráběného solárního článku je < 19 %. FV články z krystalického křemíku mají pracovní napětí okolo 0,5 V a proudovou hustotu v řádu desítek mA/cm² (≈ 30 mA/cm²). Křemíkové články patří mezi nejdražší, ale mají nejlepší parametry.

Na bázi jiných materiálů než křemíku – v současné době mezi dalšími alternativními materiály jsou: telurid kadmia (CdTe), arsenid gallia (GaAs) fosfid india (InP), materiály typu CIS (CuInSe₂, CuIn_xGa_{1-x}Se₂) [17].

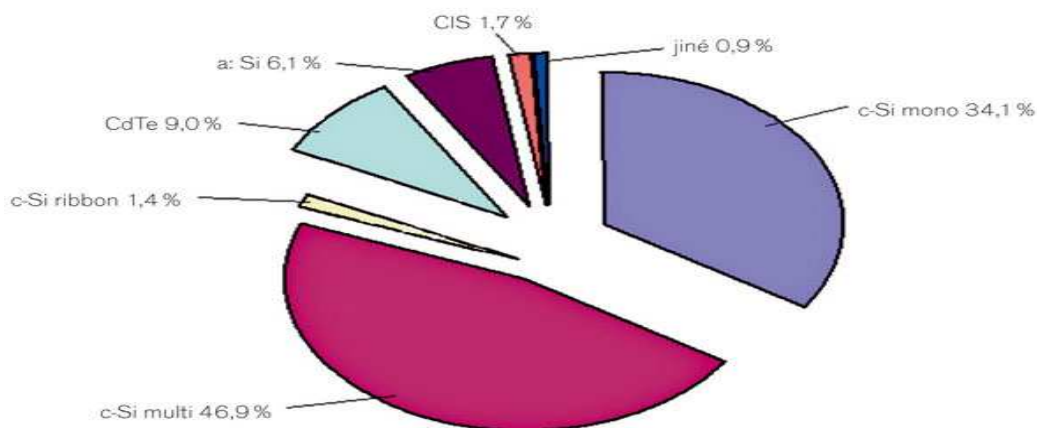
Telurid kadmia (CdTe) – velmi užitečný materiál ve výrobě tenkovrstvých článků, obsah kadmia v jednotlivých člancích ≤ 0,1 %, vysoká absorpce materiálu, odolnost vůči teplotám v rozsahu 760° C – 1100° C, životnost až 30 let, kdy je možno využít kadmium ekologicky recyklovat. Z důvodů vysokých vstupních nákladů je použití tohoto materiálu výhradně využíváno ve vesmíru.

Arsenid gallia (GaAs) – jsou to monokrystalické tenkovrstvé články, které se dají vyrobit s odlišnými vlastnostmi. Dá se u nich měnit poměr Ga/As a použít různé příměsové prvky (např. Sb, In, Al, P). Pozitivním důsledkem tohoto procesu je zvýšená absorpce záření a možnost minimalizovat tloušťku na řády mikronů. Citlivost na vyšší teploty je výrazně menší v porovnání s křemíkovými články. Tuto výhodu lze aplikovat ve fotovoltaických systémech s koncentrátory záření, které ve výsledku vykazují vyšší účinnost. Nevýhodou je to, že se galium poměrně málo vyskytuje (je vzácnější než zlato) a arsen vykazuje značnou jedovatost [15].

Materiály typu CIS (CuInSe₂, CuIn_xGa_{1-x}Se₂) – mezi hlavní výhody patří schopnost reagovat na červenou složku světla, jsou účinnější při malém osvětlení, a proto množství vyrobené elektrické energie je větší než u křemíkových modulů, mají vysokou absorpci pro sluneční

záření, a proto mohou být velmi tenké (v prvním mikrometru se pohltí až 99 % slunečního záření). Jejich účinnost dosahuje v laboratoři až 18 %. Na trhu se již vyskytují FV panely s nominálním výkonem až 155 Wp.

Obr. 3.5 Podíl jednotlivých technologií na produkci FV článků v roce 2009 [%]



Zdroj: [13]

3.5 Fotovoltaické elektrárny

Jsou technologické zařízení sloužící k výrobě elektrické energie. Podle způsobu využití rozeznáváme čtyři hlavní skupiny fotovoltaických elektráren. Nejvýznamnější skupinu tvoří jednoznačně síťové elektrárny (on-grid), které jsou ve světě aplikovány v hojném měřítku a využívány s ohledem na jejich dlouhou životnost. Například v Německu tvoří více než 90 % veškerých instalací právě zmiňovaný síťový systém (on-grid).

Síťové systémy (on-grid) – jsou nejvíce uplatňovány v oblastech s hustou sítí elektrických rozvodů. V případě dostatečného slunečního svitu jsou spotřebiče v budově napájeni vlastní „solární“ elektrickou energií a případný přebytek je dodáván do veřejné rozvodné sítě. Při nedostatku vlastní energie je elektrická energie z rozvodné sítě odebírána. Systém funguje zcela automaticky díky mikroprocesorovému řízení 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 [8].

V České republice rozlišujeme mezi dvěma způsoby napojení na rozvodnou síť:
Prodej veškeré vyrobené energie – varianta preferována u větších elektráren.

Spotřeba vyrobené energie a možný prodej přebytků – varianta vhodná tam, kde je možné vyrobenou energii alespoň částečně spotřebovat. Nejčastější využití v rodinných domech.

Základní prvky síťového systému jsou:

- Fotovoltaické panely
- Měnič napětí (střídač)
- Základová + nosná konstrukce
- Kabeláž
- popř. sledovač Slunce, indikační a měřicí přístroje

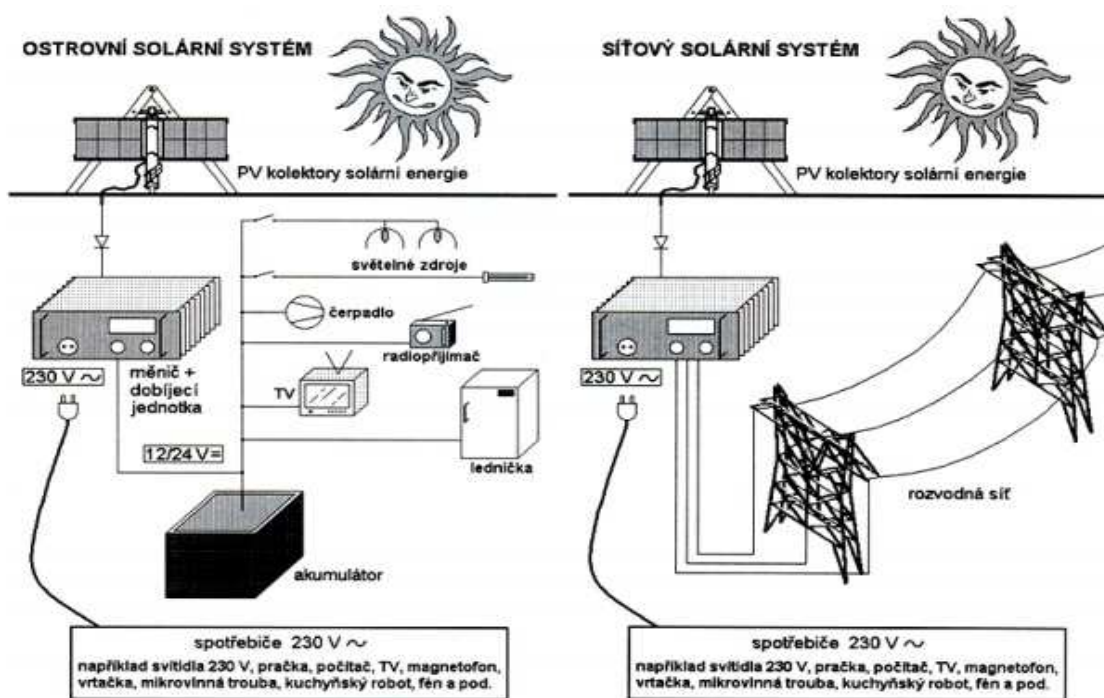
Ostrovní systémy (off-grid) – ostrovní systémy nejsou připojeny na rozvodnou síť a používají se v oblastech, kde není k dispozici rozvodná síť nebo je velmi vzdálená a nebylo by účelné se na ni připojovat z hlediska finanční náročnosti. Mohou to být odlehlé objekty např. chaty nebo karavany. U tohoto systému je žádoucí kalkulovat s průměrnými hodnotami slunečního svitu a množstvím energie, které dané spotřebiče vyžadují. Systémy také mohou být konstruovány hybridní formou nebo jako systémy s akumulací energie. Hybridní systémy jsou využívány v případech celoročního provozu, kdy v zimních měsících je nedostatek energie doplněn jiným zdrojem energie např. větrnou elektrárnou nebo kogenerační jednotkou [15].

Oproti síťové verzi vyžaduje tento systém navíc solární baterie, které uchovají vyrobenou energii na dobu, kdy není dostatek slunečního svitu (v noci). Optimální dobíjení a vybití akumulátorové baterie je zajištěno elektronickým regulátorem. Systémy se navrhují na napětí 12 V nebo 24 V. Pro použití běžných spotřebičů je třeba použít ještě střídač napětí na 230 V.

Základní prvky ostrovního systému jsou:

- Fotovoltaické panely
- Akumulátory (v 95 % Pb)
- Měnič napětí (střídač) + dobíjecí jednotka
- Základová + nosná konstrukce
- Kabeláž
- popř. sledovače Slunce, měřicí a indikační přístroje

Obr. 3.6 Porovnání ostrovního a síťového FV systému



Zdroj: [1]

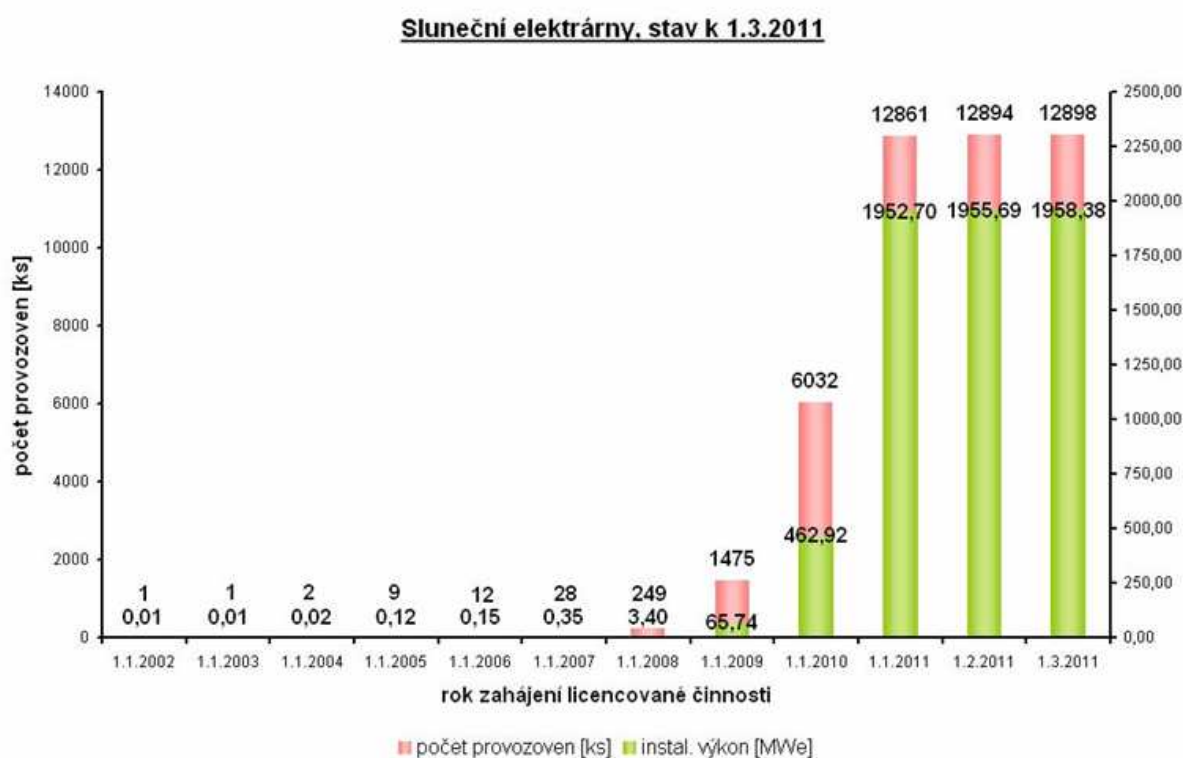
Drobné aplikace – tvoří nejmenší podíl na světovém FV trhu, avšak jejich poptávka nabývá stále větších hodnot, zejména po nabíjecích zařízeních pro okamžité dobíjení akumulátorů v místech bez možnosti elektrické přípojky např. ve volné přírodě. Z dřívějších dob známe FV články v kalkulačkách, v současnosti se trend rozšířil hlavně na mobilní zařízení typu notebooky, mobilní telefony, fotoaparáty, MP3 přehrávače apod.

Systémy integrované do budov (Building Integrated Photovoltaics) – aplikace fotovoltaiky v obvodových pláštích budov (střechy, fasády) představuje významný fenomén, který přispívá k její atraktivitě a má příznivý dopad na snížení nákladů na instalaci FV systémů. V průběhu posledních pěti let bylo ve světě realizováno mnoho fasádních systémů a to hlavně v Japonsku, Spojených státech a v zemích EU. Velmi široká škála pojetí fotovoltaických fasád má původ v kreativě, která je vlastní architektonickému pohledu na životní prostředí člověka. Solární panel v mnoha různých podobách se stal přímo výzvou pro architekty a konstruktéry, což v mnohých případech vedlo ke zcela novým a velmi atraktivním řešením, ne jenom obvodových plášťů, ale i koncepcí budov. Obvodové pláště budov plní mnoho funkcí, které souhrnně zajišťují přijatelné životní podmínky pro uživatele objektu. V závislosti na vnějších podmínkách se zpravidla jedná o fyzické oddělení interiéru od

exteriéru poskytující ochranu před vnějšími klimatickými podmínkami, zajištění tepelné pohody, fasády ochraňují vnitřní prostor před přesvětlením. Střechy a fasády budov však mohou plnit i aktivní funkci zdroje energie, a to jak tepelné, tak i elektrické. Pláště budov jsou vystavovány nemalým energetickým tokům v podobě slunečního záření. Využívání této energie pomocí zařízení umístěných na střeších a fasádách budov představuje významný přínos v úspoře primárních energií.

Tyto systémy fungují jednak jako výkonné fotovoltaické elektrárny a zároveň tvoří bezpečnou povlakovou hydroizolaci ploché střechy dle ČSN 73 1901. Provoz systému je zcela automatizovaný a bezúdržbový s možností kontroly vzdáleným počítačem. Vyžaduje pouze, stejně jaká kterákoliv jiná plochá střecha s povlakovou hydroizolací, pravidelnou kontrolu střešní plochy a odklizení hrubých nečistot zanesených na plochu větrem [9].

Obr. 3.7 Celkový instalovaný výkon FV elektráren v ČR [MWp]



Zdroj: [12]

4. Vlastní ekonomická kalkulace efektivity jednotlivých fotovoltaických elektráren

V následující kapitole se zabývám třemi odlišnými parametry fotovoltaických elektráren, které jsou optimálně navrženy pro daný způsob užití, tzn. prodej veškeré vyrobené elektrické energie do sítě. Pro podnikatelský záměr je nejdůležitější ekonomický efekt, který daná elektrárna vyprodukuje. Pro ekonomiku provozu a návratnost investice podnikatele, který je plátcem DPH, jsou nejdůležitější tyto faktory: pořizovací cena za kWp, produkce elektrické energie za kWp, a výkupní cena za MWh pro daný rok.

Podle vyhlášky č. 140/2009 Sb. o způsobu regulace cen v energetických odvětvích a postupech pro regulaci cen, která udává, že výkupní ceny se za dobu provozu výroby meziročně zvyšují s ohledem na index průmyslových cen výrobců *PPI* minimálně o 2 % a maximálně o 4 %. V tomto výpočtu ekonomiky provozu FV elektrárny bude uvažováno s minimálním meziročním zvýšením výkupní ceny o 2 % [18].

Dále se na vyrobeném množství elektrické energie projeví pokles výkonu FV panelů během doby provozu. Výrobce FV panelů garantuje, že výkon neklesne po deseti letech o více než 10 % a po 25-ti letech o více než 20 %. V tomto výpočtu je uvažováno s meziročním poklesem výkonu o 1 % ročně.

Tržba v každém roce je potom počítána podle vztahu:

$$\text{Tržba} = \text{roční vyrobená energie} * \left(1 - \frac{\text{pokles výkonu}}{100}\right)^n * \text{pevná cena} * \left(1 + \frac{\text{PPI}}{100}\right)^n \quad [18]$$

kde: n – rok provozu (1 až 20)

Náklady FV elektrárny:

U rozsáhlejších FV elektráren během doby provozu počítáme s provozními náklady, kde mezi hlavní patří ostraha objektu či kamerový systém. Další finanční položku, kterou započítáváme do nákladů jsou odpisy FV elektrárny. Pro výrobce elektřiny z obnovitelných zdrojů energie je umožněna možnost osvobození od daně z příjmu v roce, kdy byla FV elektrárna spuštěna a dále v následujících pěti letech. Celkem je tedy osvobození od daně z příjmu v prvních šesti letech provozu FV elektrárny. Po této době je možné uplatňovat daňové odpisy FV elektrárny. Daňové odpisy tedy představují částku – náklady, které snižují základ pro výpočet daně z příjmu. FV elektrárny na střechách budov podle § 26 odst. 2 zákona o daních z příjmů jsou samostatné movité věci, ale i zařízení a předměty sloužící k provozování

služeb a účelová zařízení a předměty, které s budovou nebo se stavbou netvoří jeden funkční celek, i když jsou s ní pevně spojeny. V případě solární elektrárny instalované na střeše budovy, dojde k technickému zhodnocení budovy a také ke vzniku samostatné movité věci – fotovoltaického systému produkujícího střídavý nebo stejnosměrný proud. Tento systém pak bude spadat do odpisové skupiny č. 3 s dobou odpisování deseti let. FV elektrárny na volném prostranství jsou elektrárny instalovány samostatně na venkovní ploše, stejně jako její venkovní kabeláž od FV panelů k rozvaděči, spadají do daňové odpisové skupiny č. 4, tj. s dobou odpisování 20-ti let.

Zpravidla po desetiletém provozu jsou instalovány nové měniče. Ve výpočtu ekonomiky provozu se projeví, zda na počáteční investici FV elektrárny bude nutný bankovní úvěr nebo nebude. Bude-li na investici FV elektrárny nutný bankovní úvěr, pak maximálně 70 % z počáteční investice. Předpokládá se, že bude splácen s roční úrokovou mírou 5 % po dobu 20-ti let.

Náklady jsou potom vypočteny podle následujícího vztahu:

Náklady = provozní náklady + náklady na odpisy + náklady na splátku bankovního úvěru

Hrubý zisk FV elektrárny:

$$Hrubý\ zisk = Tržba - Náklady \quad [5]$$

Čistý zisk FV elektrárny:

$$Čistý\ zisk = Hrubý\ zisk * \left(\frac{100 - daň\ z\ příjmu}{100} \right) \quad [5]$$

Peněžní tok (cash-flow):

$$Peněžní\ tok = Čistý\ zisk + odpisy \quad [5]$$

Aktualizovaný peněžní tok:

$$Aktualizovaný\ peněžní\ tok = \frac{Peněžní\ tok}{\left(1 + \frac{diskontní\ míra}{100} \right)^n} \quad [11]$$

kde : *diskontní míra* – v současné době max.2 %
n – rok provozu (1 až 25)

Čistá současná hodnota (NPV):

Výpočet pomocí metody NPV, čisté součastné hodnoty, slouží k určení návratnosti počátečních investic do FV elektrárny. Návratnost FV elektrárny je v takovém roce provozu, kdy $NPV \geq 0$. Aby se návratnost FV elektrárny co nejlépe přiblížila skutečnosti, aktualizujeme peněžní tok z FV elektrárny v každém roce na cenový pohled v současné době pomocí diskontní míry. Diskontní míra představuje výnos z alternativní investice, např. uložení na bankovním účtu. Ve výpočtu je uvažována maximální 2 % diskontní míra. Výpočet hodnoty NPV v jednotlivých rocích provozu je vypočítán podle vztahu:

$$NPV = \sum_{i=1}^n \text{Aktualizovaný peněžní tok } i - \text{počáteční investice} \quad [18]$$

kde : i – rok provozu (1 až 25)

Vnitřní výnosové procento (VVP):

Vnitřní výnosové procento projektu je taková úroková míra, při které se aktualizované peněžní toky rovnají počáteční investici do projektu. Vnitřní výnosové procento je maximální úroková míra, při níž projekt ještě není ztrátový. Při výpočtu vnitřního výnosového procenta se postupuje metodou postupné aproximace, početně nebo graficky. Úkolem početní aproximace je nalézt dvě úrokové sazby, při jedné p_1 je hodnota NPV kladná, při druhé p_2 je hodnota NPV záporná. Obě hodnoty NPV musí mít co nejmenší rozdíl od nuly. Nejvýhodnější je ta varianta, která má vyšší VVP [18].

$$VVP = p_1 + \frac{A}{A + |B|} * (p_2 - p_1)$$

kde : p_1 úrokové procento při kladné NPV

p_2 úrokové procento při záporné NPV

A kladná NPV při úrokovém procentu p_1

B záporná NPV při úrokovém procentu p_2

[5]

4.1 Fotovoltaická elektrárna s pevným stojanem

Prvním projektem je stavba fotovoltaické elektrárny s pevnými stojany na střeše rodinného domu o ploše 35,3 m² fotovoltaických polykrystalických solárních panelů. Lokalita navrhované instalace fotovoltaické elektrárny byla fiktivně určena v oblasti Jihomoravského kraje, ve městě Velké Bílovice, GPS souřadnice lokality 48° 51' 20" N, 16° 56' 37" E.

Fotovoltaický systém bude orientován vzhledem k poloze střechy na jih 0°. Pro požadovaný celkový výkon 5,04 kWp bude použito 24 solárních panelů Suntech STP210-18/Ud, o špičkovém výkonu 210 Wp. Výkon fotovoltaických panelů bude transformován střídačem Kostal Piko 5.5. Technické parametry nejvýznamnějších součástí dané FV elektrárny jsou zobrazeny v tabulce 4.1. Střídač je vybaven bezpečnostní ochranou, která v případě zjištění odchylek napětí nebo frekvence od normovaných hodnot odpojí solární systém od sítě.

Měření vyrobené elektrické energie bude realizováno třífázovým elektroměrem. Tento bude umístěn v rozvaděči na fasádě budovy. Tento projekt jsem řešil financováním z vlastních zdrojů, budu porovnávat ekonomické změny v roce 2010 a 2011.

Tab. 4.1 Technické parametry FV elektrárny 5,04 kWp s pevným stojanem

Technické parametry: FV panel Suntech STP210-18/Ud		Technické parametry: Měnič STP210-18/Ud	
Špičkový výkon	210 Wp	Minimální vstupní napětí	950 V DC
Tolerance výkonu	5 %	Maximální vstupní napětí	180 V DC
Pracovní napětí	26,4 V	Maximální DC výkon	5800 W
Pracovní proud	7,95 A	Maximální AC výkon	5500 W
Napětí naprázdno	33,6 V	Počet fází	3
Zkratový proud	8,33 A	Maximální vstupní proud	9 A DC
Účinnost panelu	14,3 %	Maximální výstupní proud na fázi	8 A AC
Pracovní teploty	- 40° C / + 85° C	Maximální účinnost	95,3 %
Garantovaná životnost	25 let	Síťová frekvence	50 Hz
Pokles výkonu po 25 letech	max. 20 %	Noční spotřeba	< 1 W
Hmotnost	16,8 kg	Pracovní teploty	- 20° C / + 60° C
Rozměry	1482*992*35 mm	Relativní vlhkost	0 - 95 %
Celková plocha	1,47 m ²	Třída ochrany IP	IP 55
Materiál	Polykrystal	Hmotnost	21,1 kg

Roční vyrobená elektrická energie:

Pro výpočet výroby elektrické energie i dopadající energie slunečního záření byl použit software PVGIS PV. V tabulce 4.2 je znázorněna vyrobená elektrická energie v jednotlivých kalendářních měsících a dále průměrná denní E_d , měsíční E_m a celková roční. V tom samém znění je uvedena i dopadající energie slunečního na FV panely I_d , I_m . Předpokládané množství roční vyrobené elektrické energie podle použitého software je 4820 kWh a celkové dopadající sluneční energie je 1100 kWh/m².

Tab. 4.2 Vyrobené množství elektrické energie [kWh, kWh/m²]

FV elektrárna s pevným stojanem se sklonem 35°, orientace 0° na jih				
Měsíc	E_d [kWh]	E_m [kWh]	I_d [kWh/m²]	I_m [kWh/m²]
Leden	5,56	172	1,29	40,1
Únor	9,00	252	2,15	60,1
Březen	13,20	410	3,27	101
Duben	17,10	514	4,43	133
Květen	19,30	597	5,12	159
Červen	19,20	577	5,18	155
Červenec	20,30	629	5,50	170
Srpen	18,30	569	4,95	153
Září	15,00	451	3,93	118
Říjen	11,70	361	2,92	90,7
Listopad	5,76	173	1,39	41,7
Prosinec	3,84	119	0,90	27,8
Průměr za rok	13,20	402	3,43	104
Celkem za rok	4820		1100	

Zdroj: [21]

Investiční náklady:

Pro tuto menší FV elektrárnu jsem volil z konkrétní nabídky firmy Solární Panely CZ s.r.o, která nabízí kompletní řešení solární elektrárny na klíč. Celkové investiční náklady jsou zobrazeny v tabulce 4.3.

Obsah FV elektrárny na klíč:

- 24 solárních panelů Suntech STP210-18/Ud, 210 Wp
- Střídač Kostal Piko 5.5
- Kompletní konstrukční a uchyvací prvky pro uchycení na střechu
- Kabely s konektory pro připojení solárních panelů

- Zpracování, výrobu a revizi rozvaděče
- Celkovou revizi celé elektrárny
- Všechny potřebné dokumenty
- Elektromateriál
- Dopravu

Tab. 4.3 Investiční náklady FV elektrárny 5,04 kWp s pevným stojanem [Kč]

Položky	Množství [Ks]	Cena za jednotku [Kč]	Celková cena [Kč]
FV panely	24	18 933	454 392
Měnič	1	55 299	55 299
Elektroinstalace	1	40 000	40 000
Připojení k sítí	1	12 500	12 500
Celkové investiční náklady			562 191

Investiční náklady FV elektrárny 5,04 kWp s pevným stojanem jsou 562 191 Kč. Investiční náklady na instalovaný výkon 1 kWp jsou 111 545 Kč. Investiční náklady na 1 kWh jsou 116,75 Kč.

Vstupní ekonomické údaje zobrazeny v tabulce 4.4, z kterých vychází kompletní podnikatelský záměr, jsou přehledem nejdůležitějších vstupních hodnot.

Tab. 4.4 Vstupní ekonomické údaje

Investiční náklady	562 191 Kč	Doba provozu	20 let
Vyrobená el. energie	4 820 kWh/rok	Daň z příjmu	15 %
Pokles výkonu FVE	1 %	Odpisová skupina č. 3	10 let
Index prům. výroby	2 %	Odpisová sazba v 1 roce	5,5 %
Pevná výkupní sazba	A, 12 500 Kč/MWh	Odpisová sazba v dalších letech	10,5 %
	B, 7 500 Kč/MWh	Diskontní míra	2 %

A) Pevná výkupní sazba pro rok 2010 bez bankovního úvěru

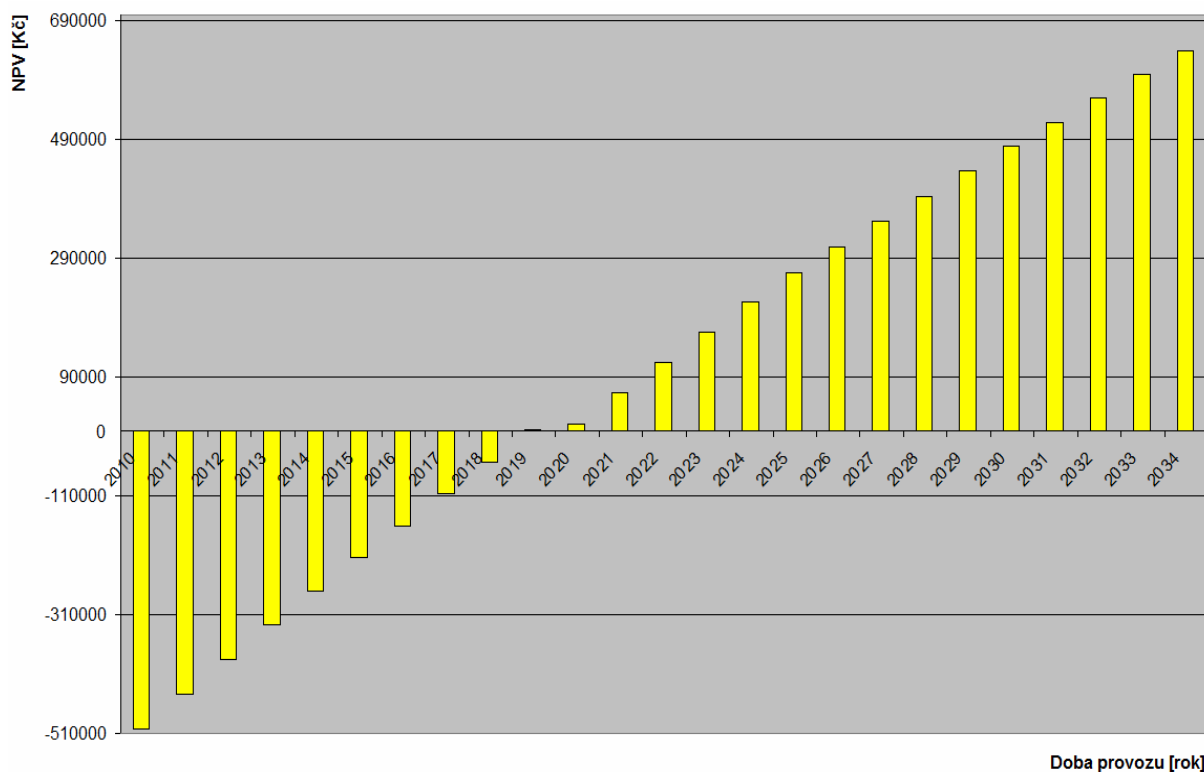
V tabulce 4.5 je proveden výpočet ekonomiky provozu a návratnosti investice FV elektrárny pro výkupní cenu v roce 2010 bez bankovního úvěru s přímým prodejem veškeré vyrobené energie do distribuční sítě počínaje 1. 1. 2010. Výpočet vychází z teoretických ekonomických vzorců uvedených v odstavci 4.

Tab. 4.5 Výpočet hotovostních toků varianta A bez bankovního úvěru [Kč]

Rok	Tržba	Náklady na odpisy	Náklady na úrok	Náklady	Hrubý zisk	Čistý zisk	Peněžní tok	Aktual. peněžní tok	NPV
2010	60840	0	0	0	60840	60840	60840	59647	-502544
2011	61437	0	0	0	61437	61437	61437	59051	-443493
2012	62039	0	0	0	62039	62039	62039	58461	-385032
2013	62647	0	0	0	62647	62647	62647	57876	-327156
2014	63261	0	0	0	63261	63261	63261	57297	-269859
2015	63881	0	0	0	63881	63881	63881	56724	-213135
2016	64507	30921	0	30921	33586	28548	59469	51771	-161364
2017	65139	59030	0	59030	6109	5193	64223	54814	-106550
2018	65777	59030	0	59030	6747	5735	64765	54192	-52358
2019	66422	59030	0	59030	7392	6283	65313	53579	1221
2020	67077	59030	0	114329	-47252	-47252	11778	9473	10694
2021	67730	59030	0	59030	8700	7395	66425	52376	63070
2022	68394	59030	0	59030	9364	7959	66989	51785	114855
2023	69064	59030	0	59030	10034	8529	67559	51201	166056
2024	69741	59030	0	59030	10711	9104	68134	50625	216681
2025	70424	59030	0	59030	11394	9685	68715	50055	266736
2026	71115	0	0	0	71115	60448	60448	43169	309905
2027	71811	0	0	0	71811	61039	61039	42738	352643
2028	72515	0	0	0	72515	61638	61638	42310	394953
2029	73226	0	0	0	73226	62242	62242	41887	436840
2030	73943	0	0	0	73943	62852	62852	41468	478308
2031	74668	0	0	0	74668	63468	63468	41054	519362
2032	75400	0	0	0	75400	64090	64090	40643	560005
2033	76138	0	0	0	76138	64717	64717	40236	600241
2034	76885	0	0	0	76885	65352	65352	39834	640075

Na obrázku 4.1 je znázorněna návratnost FV elektrárny pomocí metody NPV, která vychází z tabulky 4.5 na 10 let. Vnitřní výnosové procento této FV elektrárny je 9,86 %.

Obr. 4.1 Návratnost FV elektrárny 5,04 kWp pomocí metody NPV varianta A bez bankovního úvěru [Kč]



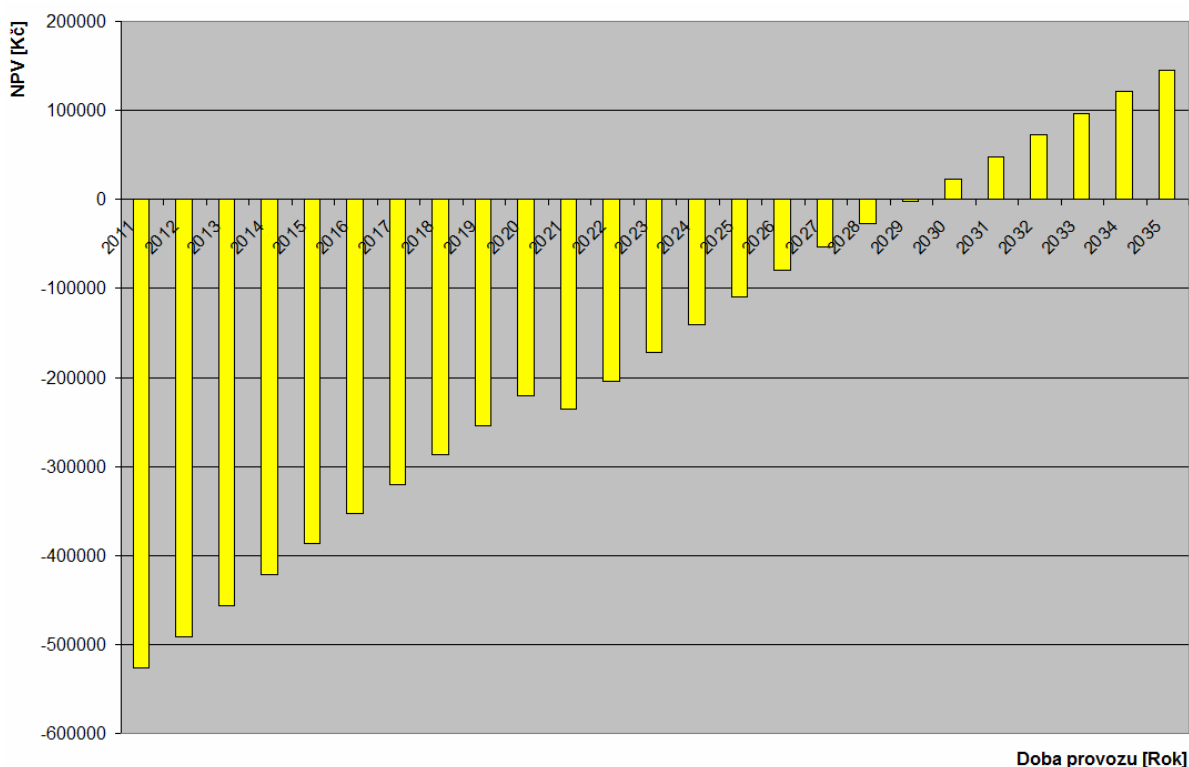
B) Pevná výkupní sazba pro rok 2011 bez bankovního úvěru

V tabulce 4.6 je proveden výpočet ekonomiky provozu a návratnosti investice FV elektrárny pro výkupní cenu v roce 2011 bez bankovního úvěru s přímým prodejem veškeré vyrobené energie do distribuční sítě počínaje 1. 1. 2011. Výpočet vychází z teoretických ekonomických vzorců uvedených v odstavci 4. Dále na obrázku 4.2 je znázorněna návratnost FV elektrárny pomocí metody NPV, která vychází z tabulky 4.6 na 20 let. Vnitřní výnosové procento této FV elektrárny je 4,08 %.

Tab. 4.6 Výpočet hotovostních toků varianta B bez bankovního úvěru [Kč]

Rok	Tržba	Náklady na odpisy	Náklady na úrok	Náklady	Hrubý zisk	Čistý zisk	Peněžní tok	Aktual. peněžní tok	NPV
2011	36504	0	0	0	36504	36504	36504	35788	-526403
2012	36862	0	0	0	36862	36862	36862	35431	-490972
2013	37223	0	0	0	37223	37223	37223	35076	-455896
2014	37588	0	0	0	37588	37588	37588	34726	-421170
2015	37956	0	0	0	37956	37956	37956	34378	-386792
2016	38328	0	0	0	38328	38328	38328	34034	-352758
2017	38704	30921	0	30921	7783	6616	37537	32678	-320080
2018	39083	59030	0	59030	-19947	-19947	39083	33357	-286723
2019	39446	59030	0	59030	-19584	-19584	39446	33007	-253716
2020	39853	59030	0	59030	-19177	-19177	39853	32693	-221023
2021	40244	59030	0	114329	-74085	-74085	-15055	-15055	-236078
2022	40638	59030	0	59030	-18392	-18392	40638	32043	-204035
2023	41036	59030	0	59030	-17994	-17994	41036	31722	-172313
2024	41438	59030	0	59030	-17592	-17592	41438	31405	-140908
2025	41845	59030	0	59030	-17185	-17185	41845	31091	-109817
2026	42255	59030	0	59030	-16775	-16775	42255	30780	-79037
2027	42669	0	0	0	42669	36269	36269	25902	-53135
2028	43087	0	0	0	43087	36624	36624	25643	-27492
2029	43509	0	0	0	43509	36983	36983	25386	-2106
2030	43936	0	0	0	43936	37346	37346	25133	23027
2031	44366	0	0	0	44366	37711	37711	24881	47908
2032	44801	0	0	0	44801	38081	38081	24632	72540
2033	45240	0	0	0	45240	38454	38454	24386	96926
2034	45683	0	0	0	45683	38831	38831	24142	121068
2035	46131	0	0	0	46131	39211	39211	23900	144968

Obr. 4.2 Návratnost FV elektrárny 5,04 kWp pomocí metody NPV varianta B bez bankovního úvěru [Kč]



FV elektrárna s pevným stojanem instalovaná se špičkovým výkonem 5,04 kWp ročně vyrobí zhruba 4820 kWh elektřiny, kterou dodá do sítě. Takové množství elektrické energie vystačí pro roční spotřebu čtyřčlenné domácnosti. Při financování s využitím vlastních zdrojů je u varianty A vypočítána návratnost investice za 10 let, kdy dalších minimálně 15 let bude daná elektrárna prosperovat s celkovým ziskem 640 075 Kč. Při financování s využitím vlastních zdrojů je u varianty B vypočítána návratnost investice za 20 let, kdy dalších minimálně 5 let bude daná FV elektrárna prosperovat s celkovým ziskem 144 968 Kč.

4.2 Fotovoltaická elektrárna s pohyblivými stojany TRAXLE™

Druhým projektem je stavba fotovoltaické elektrárny s monokrystalickými FV panely a pohyblivými stojany TRAXLE™ na pozemku o celkové rozloze 3000 m². Lokalita navrhované instalace fotovoltaické elektrárny byla fiktivně určena v oblasti Jihomoravského kraje, ve městě Velké Bílovice, GPS souřadnice lokality 48° 51 '20" N, 16° 56' 37" E.

Sledovač Slunce TRAXLE™ je technické zařízení schopné otáčet se za Sluncem, tedy sledovat dráhu Slunce od rozednění na východě až po západ Slunce na západě. Solární sledovač TRAXLE™ je konstrukce složená z hliníkových profilů a nerez. Pro požadovaný celkový výkon 49,68 kWp bude použito 216 ks solárních panelů LPM-230-6S, o špičkovém výkonu 230 Wp. Výkon fotovoltaických panelů bude transformován 5 kusy střídačů Power One PVI-10,5-OUTD-FS, které mají maximální DC výkon 11,4 kW. Střídač je vybaven bezpečnostní ochranou, která v případě zjištění odchylek napětí nebo frekvence od normovaných hodnot odpojí solární systém od sítě. Na této konstrukci budou uchyceny fotovoltaické panely. Vzhledem k tomu, že se solární sledovač otáčí za Sluncem, jsou solární panely nastaveny během celého dne přímo proti Slunci a podstatně se tak zvyšuje jejich účinnost. Technické parametry nejvýznamnějších součástí dané FV elektrárny jsou zobrazeny v tabulce 4.7. Měření vyrobené elektrické energie bude realizováno třífázovým elektroměrem. Tento projekt jsem řešil financováním 30-ti % z vlastních zdrojů, tak i bankovním úvěrem ve výši 70-ti % z celkové investice, tzn. 2 571 948 Kč a budu porovnávat ekonomickou bilanci v letech 2010 a 2011.

Tab. 4.7 Technické parametry FV elektrárny 49,68 kWp s pohyblivými stojany TRAXLE™

Technické parametry: FV panel LPM-230-6S		Technické parametry: Měnič PVI-10,5-OUTD-FS	
Špičkový výkon	230 Wp	Minimální vstupní napětí	360 V DC
Tolerance výkonu	4 %	Maximální vstupní napětí	900 V DC
Pracovní napětí	29,19 V	Maximální DC výkon	11400 W
Pracovní proud	7,88 A	Maximální AC výkon	11000 W
Napětí naprázdno	36,75 V	Počet fází	3
Zkratový proud	8,46 A	Maximální vstupní proud	18 A DC
Účinnost panelu	14,89 %	Maximální výstupní proud na fázi	16,6 A AC
Pracovní teploty	- 40° C / + 90° C	Maximální účinnost	97,7 %
Garantovaná životnost	25 let	Síťová frekvence	50 Hz
Pokles výkonu po 25 letech	max. 20 %	Noční spotřeba	< 1 W
Hmotnost	19 kg	Pracovní teploty	- 20° C / + 60° C
Rozměry	1629*989*47 mm	Relativní vlhkost	0 - 95 %
Celková plocha	1,61 m ²	Třída ochrany IP	IP 65
Materiál	Monokrystal	Hmotnost	38 kg

Roční vyrobená elektrická energie:

Pro výpočet výroby elektrické energie i dopadající energie slunečního záření byl použit software PVGIS PV viz. tabulka 4.2. V navržené FV elektrárně je použita technologie sledovače Slunce TRAXLE™, která má za výsledek až o 20 % vyšší výkon vyrobené elektrické energie. Proto tedy předpokládané množství roční vyrobené elektrické energie je 51 661 kWh a množství celkové dopadající sluneční energie je 1250 kWh/m².

Investiční náklady:

Investiční náklady jsou zobrazeny v tabulce 4.8, kde v nákladové položce elektroinstalace je zahrnuto kabelové vedení s konektory pro připojení solárních panelů, montážní práce, zpracování, výrobu a revizi rozvaděče. Do nákladové položky další investice spadají převážně méně nákladné položky, mezi které patří ochrana pozemku kamerovým systémem, zajištění celkové revize elektrárny s náležitými dokumenty. Nový otočný pohyblivý stojan s polární osou solárních kolektorů (sledovač Slunce) z hliníkové slitiny při váze 25 kg je navržen na 18 ks solárních panelů s optimálním sledováním Slunce v rozmezí úhlů ± 60°.

Tab. 4.8 Investiční náklady FV elektrárny 49,68 kWp s pohyblivými stojany TRAXLE™ [Kč]

Položky	Množství [Ks]	Cena za jednotku [Kč]	Celková cena [Kč]
FV panely	216	12 000	2 592 000
Měnič	5	55 299	276 495
Pohyblivé stojany TRAXLE™	12	45 268	543 216
Základová konstrukce	12	3 000	36 000
Elektroinstalace	12	12 000	144 000
Připojení k sítí	1	62 500	62 500
Další investice	1	20 000	20 000
Celkové investiční náklady			3 674 211

Celkové investiční náklady na FV elektrárnu s pohyblivými stojany TRAXLE™ s instalovaným výkonem 49,68 kWp jsou 3 674 211 Kč. Investiční náklady na instalovaný výkon 1 kWp jsou 73 958 Kč. Investiční náklady na 1 kWh jsou 71,1 Kč.

Vstupní ekonomické údaje zobrazeny v tabulce 4.9, z kterých vychází kompletní podnikatelský záměr, jsou přehledem nejdůležitějších vstupních hodnot.

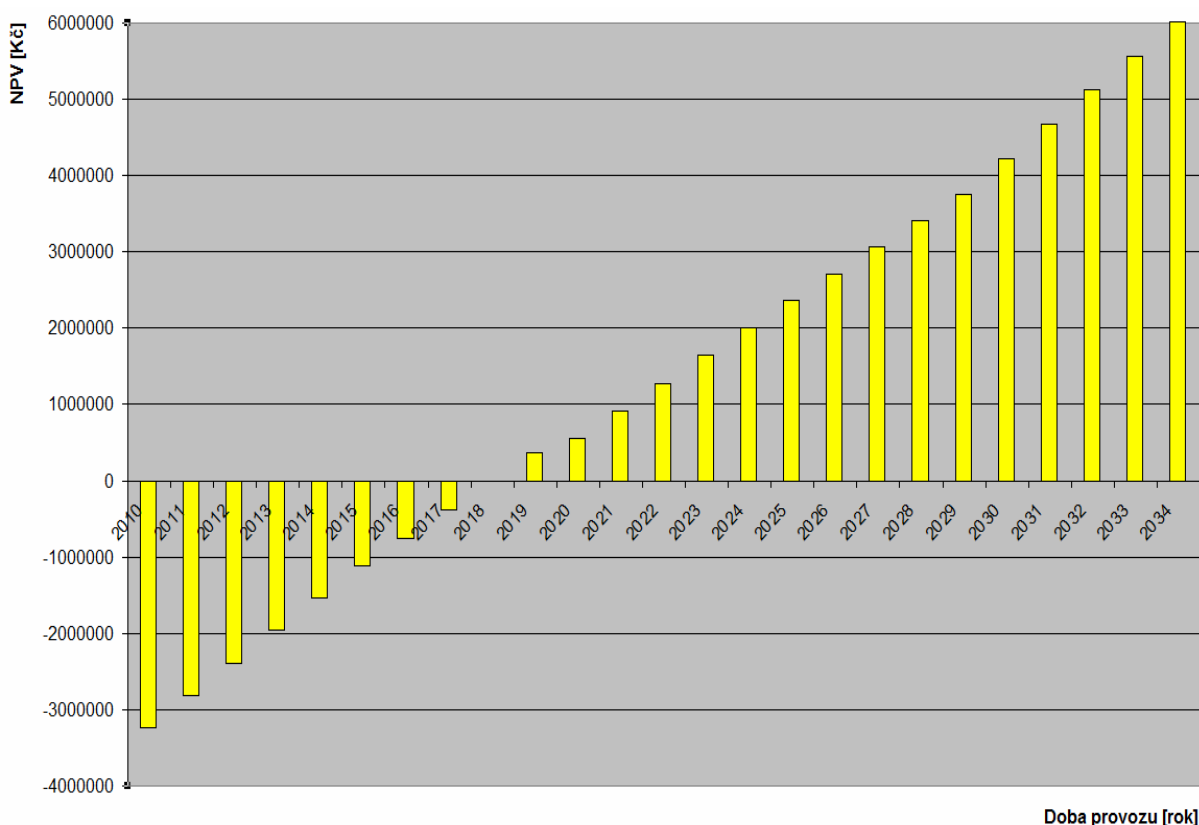
Tab. 4.9 Vstupní ekonomické údaje

Investiční náklady	3 674 211 Kč	Doba provozu	25 let
Vyrobená el. energie	51 661 kWh/rok	Daň z příjmu	15 %
Pokles výkonu FVE	1 %	Odpisová skupina č. 4	20 let
Index prům. výroby	2 %	Odpisová sazba v 1 roce	2,15 %
Poskytnutý úvěr ČS	2 571 948 Kč	Odpisová sazba v dalších letech	5,15 %
Délka splácení úvěru	20 let	Diskontní míra	2 %
Roční úroková míra	5 %	Pevná výkupní sazba	A, 12 400 Kč/MWh
Roční anuitní splátka	206 380 Kč		B, 5 900 Kč/MWh

A) Pevná výkupní sazba pro rok 2010 s bankovním úvěrem

Na obrázku 4.3 je znázorněna návratnost FV elektrárny pomocí metody NPV, která vychází z tabulky 4.10 na 10 let. Vnitřní výnosové procento této FV elektrárny je 11,79 %. V tabulce 4.10 je proveden výpočet ekonomiky provozu a návratnosti investice FV elektrárny pro výkupní cenu v roce 2010 s bankovním úvěrem a s přímým prodejem veškeré vyrobené energie do distribuční sítě počínaje 1. 1. 2010.

Obr. 4.3 Návratnost FV elektrárny 49,68 kWp pomocí metody NPV varianta A s bankovním úvěrem [Kč]



Tab. 4.10 Výpočet hotovostních toků varianta A s bankovním úvěrem [Kč]

Rok	Tržba	Náklady na odpisy	Náklady na úrok	Náklady	Hrubý zisk	Čistý zisk	Peněžní tok	Aktual. peněžní tok	NPV
2010	646874	0	206380	206380	440494	440494	440494	431857	-3242354
2011	653214	0	206380	206380	446834	446834	446834	429483	-2812871
2012	659615	0	206380	206380	453235	453235	453235	427094	-2385777
2013	666079	0	206380	206380	459699	459699	459699	424691	-1961086
2014	672607	0	206380	206380	466227	466227	466227	422276	-1538810
2015	679198	0	206380	206380	472818	472818	472818	419849	-1118961
2016	685855	78996	206380	285376	400479	340407	419403	365116	-753845
2017	692576	189222	206380	395602	296974	252428	441650	376944	-376901
2018	699363	189222	206380	395602	303761	258197	447419	374380	-2521
2019	706217	189222	206380	395602	310615	264023	453245	371819	369298
2020	713138	189222	206380	672097	41041	34885	224107	180241	549539
2021	720127	189222	206380	395602	324525	275846	465068	366703	916242
2022	727184	189222	206380	395602	331582	281845	471067	364150	1280392
2023	734310	189222	206380	395602	338708	287902	477124	361600	1641992
2024	741507	189222	206380	395602	345905	294019	483241	359055	2001047
2025	748773	189222	206380	395602	353171	300195	489417	356514	2357561
2026	756111	189222	206380	395602	360509	306433	495655	353978	2711539
2027	763521	189222	206380	395602	367919	312731	501953	351447	3062986
2028	771004	189222	206380	395602	375402	319092	508314	348922	3411908
2029	778560	189222	206380	395602	382958	325514	514736	346403	3758311
2030	786189	189222	0	189222	596967	507422	696644	459629	4217940
2031	793894	189222	0	189222	604672	513971	703193	454853	4672793
2032	801674	189222	0	189222	612452	520584	709806	450128	5122921
2033	809531	189222	0	189222	620309	527263	716485	445454	5568375
2034	817464	189222	0	189222	628242	534006	723228	440830	6009205

B, Pevná výkupní sazba pro rok 2011 s bankovním úvěrem

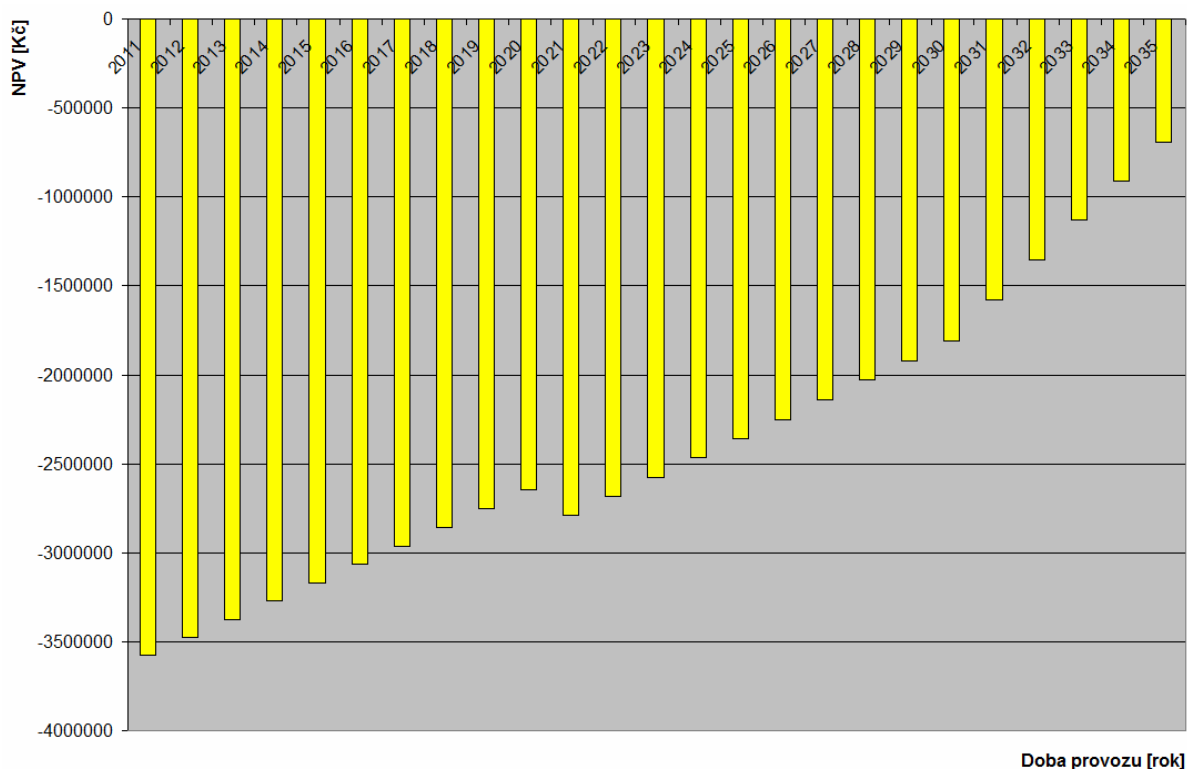
V tabulce 4.11 je proveden výpočet ekonomiky provozu a návratnosti investice FV elektrárny pro výkupní cenu v roce 2011 s bankovním úvěrem a s přímým prodejem veškeré vyrobené energie do distribuční sítě počínaje 1. 1. 2011. Dále na obrázku 4.4. je znázorněna návratnost FV elektrárny pomocí metody NPV, která vyhodnocuje tuto investici záporně, tzn. po dobu provozu FV elektrárny není reálná návratnost investice, projekt z pohledu investora není zajímavý. Vnitřní výnosové procento této FV elektrárny je 0,76 %.

Tab. 4.11 Výpočet hotovostních toků varianta B s bankovním úvěrem [Kč]

Rok	Tržba	Náklady na odpisy	Náklady na úrok	Náklady	Hrubý zisk	Čistý zisk	Peněžní tok	Aktual. peněžní tok	NPV
2011	307787	0	206380	206380	101407	101407	101407	99419	-3574792
2012	310803	0	206380	206380	104423	104423	104423	100368	-3474424
2013	313849	0	206380	206380	107469	107469	107469	101270	-3373154
2014	316925	0	206380	206380	110545	110545	110545	102126	-3271028
2015	320021	0	206380	206380	113641	113641	113641	102928	-3168100
2016	323167	0	206380	206380	116787	116787	116787	103704	-3064396
2017	326334	78996	206380	285376	40958	34814	113810	99078	-2965318
2018	329532	189222	206380	395602	-66070	-66070	123152	105109	-2860209
2019	332762	189222	206380	395602	-62840	-62840	126382	105751	-2754458
2020	336023	189222	206380	395602	-59579	-59579	129643	106352	-2648106
2021	339316	189222	206380	672097	-332781	-332781	-143559	-143559	-2791665
2022	342641	189222	206380	395602	-52961	-52961	136261	107441	-2684224
2023	345999	189222	206380	395602	-49603	-49603	139619	107930	-2576294
2024	349390	189222	206380	395602	-46212	-46212	143010	108384	-2467910
2025	352814	189222	206380	395602	-42788	-42788	146434	108803	-2359107
2026	356271	189222	206380	395602	-39331	-39331	149891	109187	-2249920
2027	359763	189222	206380	395602	-35839	-35839	153383	109540	-2140380
2028	363288	189222	206380	395602	-32314	-32314	156908	109861	-2030519
2029	366849	189222	206380	395602	-28753	-28753	160469	110151	-1920368
2030	370444	189222	206380	395602	-25158	-25158	164064	110410	-1809958
2031	374074	189222	0	189222	184852	157124	346346	228511	-1581447
2032	377740	189222	0	189222	188518	160240	349462	226046	-1355401
2033	381442	189222	0	189222	192220	163387	352609	223609	-1131792
2034	385180	189222	0	189222	195958	166564	355786	221200	-910592
2035	388955	189222	0	189222	199733	169773	358995	218819	-691773

FV elektrárna s pohyblivými stojany TRAXLE™ instalovaná se špičkovým výkonem 49,68 kWp ročně vyrobí zhruba 51 661 kWh elektřiny, kterou dodá do sítě. Při financování s využitím varianty A je vypočítána návratnost investice za 10 let, kdy dalších minimálně 15 let bude daná FV elektrárna prosperovat s celkovým ziskem 6 009 205 Kč. Při financování s využitím varianty B je vypočítána návratnost investice vyšší než životnost dané FV elektrárny, tzn. projekt je pro investora nevýhodný.

Obr. 4.4 Návratnost FV elektrárny 49,68 kWp pomocí metody NPV varianta B s bankovním úvěrem [Kč]



4.3 Fotovoltaická elektrárna s pohyblivými stojany TRAXLE™ a s hřebenovými koncentrátory záření

Třetím projektem je stavba fotovoltaické elektrárny s oboustrannými (bificiálními) FV panely a pohyblivými stojany TRAXLE™ s hřebenovými koncentrátory záření na pozemku o ploše 4000 m². Lokalita navrhované instalace fotovoltaické elektrárny byla fiktivně určena v oblasti Jihomoravského kraje, ve městě Velké Bílovice, GPS souřadnice lokality 48° 51' 20" N, 16° 56' 37" E. Tento systém kombinuje relativně levný sledovač Slunce TRAXLE™ s přídatnými zrcadly (hřebenové koncentrátory záření), ale na rozdíl od V-žlabového koncentrátoru jsou u hřebenového koncentrátoru zcela eliminována vnější zrcadla. Pro požadovaný celkový výkon 49,98 kWp bude použito 294 ks solárních panelů MSW 170/85 o špičkovém výkonu 170 Wp. Výkon fotovoltaických panelů bude transformován sedmi kusy střídačů SMA Sunny Mini Central 10000TL-10 o maximálním DC

výkonu 10,35 kW. Technické parametry nejvýznamnějších součástí dané FV elektrárny jsou zobrazeny v tabulce 4.12.

Měření vyrobené elektrické energie bude realizováno třífázovým elektroměrem. Tento projekt jsem řešil financováním 30-ti % z vlastních zdrojů, tak i bankovním úvěrem ve výši 70-ti % z celkové investice, tzn. 3 591 450 Kč a budu porovnávat změny v roce 2010 a 2011.

Tab. 4.12 Technické parametry FV elektrárny 49,98 kWp s pohyblivými stojany TRAXLE™ a hřebenovými koncentrátory záření

Technické parametry: FV panel MSW 170/85		Technické parametry: Měnič SMA 10000TL-10	
Špičkový výkon	170 Wp	Minimální vstupní napětí	333 V DC
Tolerance výkonu	5 %	Maximální vstupní napětí	700 V DC
Pracovní napětí	24 V	Maximální DC výkon	10350 W
Pracovní proud	5 A	Maximální AC výkon	10000 W
Napětí naprázdno	34 V	Počet fází	3
Zkratový proud	5,88 A	Maximální vstupní proud	31 A DC
Účinnost panelu	13,4 %	Maximální výstupní proud na fázi	44 A AC
Pracovní teploty	- 30° C / + 80° C	Maximální účinnost	97,7 %
Garantovaná životnost	25 let	Síťová frekvence	50 Hz
Pokles výkonu po 25 letech	max. 20 %	Noční spotřeba	< 1 W
Hmotnost	18 kg	Pracovní teploty	- 25° C / + 60° C
Rozměry	1575 * 807 * 46 mm	Relativní vlhkost	0 - 95 %
Celková plocha	1,27 m ²	Třída ochrany IP	IP 65
Materiál	Monokrystal	Hmotnost	35 kg

Roční vyrobená elektrická energie:

Pro výpočet výroby elektrické energie i dopadající energie slunečního záření byl použit software PVGIS PV viz. tabulka 4.2. V navržené FV elektrárně je použita technologie sledovače Slunce TRAXLE™ doplněna o hřebenové koncentrátory záření, která má za výsledek až o 40 % vyšší výkon vyrobené elektrické energie. Proto tedy předpokládané množství roční vyrobené elektrické energie je 56 312 kWh a celkové dopadající sluneční energie je 1 350 kWh/m².

Investiční náklady:

Celkové investiční náklady pro tuto FV elektrárnu jsou zobrazeny v tabulce 4.13. V nákladové položce elektroinstalace je zahrnuto kabelové vedení s konektory pro připojení solárních panelů, montážní práce, zpracování, výrobu a revizi rozvaděče. Do nákladové položky další investice spadají převážně méně nákladné položky, mezi které patří ochrana pozemku kamerovým systémem, zajištění celkové revize elektrárny s náležitými dokumenty.

Tab. 4.13 Investiční náklady FV elektrárny 49,98 kWp s pohyblivými stojany TRAXLETM a hřebenovými koncentrátory záření [Kč]

Položky	Množství [Ks]	Cena za jednotku [Kč]	Celková cena [Kč]
FV panely	294	9 130	2 684 220
Měnič	7	73 370	513 590
Hřebenový koncentrátor TRAXLE TM	21	73 111	1 535 331
Základová konstrukce	21	3 000	63 000
Elektroinstalace	21	12 000	252 000
Připojení k sítí	1	62 500	62 500
Další investice	1	20 000	20 000
Celkové investiční náklady			5 130 641

Celkové investiční náklady na FV elektrárnu s pohyblivými stojany TRAXLETM a hřebenovými koncentrátory záření s instalovaným výkonem 49,98 kWp jsou 5 130 641 Kč. Investiční náklady na instalovaný výkon 1 kWp jsou 102 654 Kč. Investiční náklady na 1 kWh jsou 91,1 Kč .

Vstupní ekonomické údaje zobrazeny v tabulce 4.14, z kterých vychází kompletní podnikatelský záměr, jsou přehledem nejdůležitějších vstupních hodnot.

Tab. 4.14 Vstupní ekonomické údaje

Investiční náklady	5 130 641 Kč	Doba provozu	25 let
Vyrobená el. energie	56 312 kWh/rok	Daň z příjmu	15 %
Pokles výkonu FVE	1 %	Odpisová skupina č. 4	20 let
Index prům. výroby	2 %	Odpisová sazba v 1 roce	2,15 %
Poskytnutý úvěr ČS	3 591 450 Kč	Odpisová sazba v dalších letech	5,15 %
Délka splácení úvěru	20 let	Diskontní míra	2 %
Roční úroková míra	5 %	Pevná výkupní sazba	A, 12 400 Kč/MWh
Roční anuitní splátka	288 187 Kč		B, 5 900 Kč/MWh

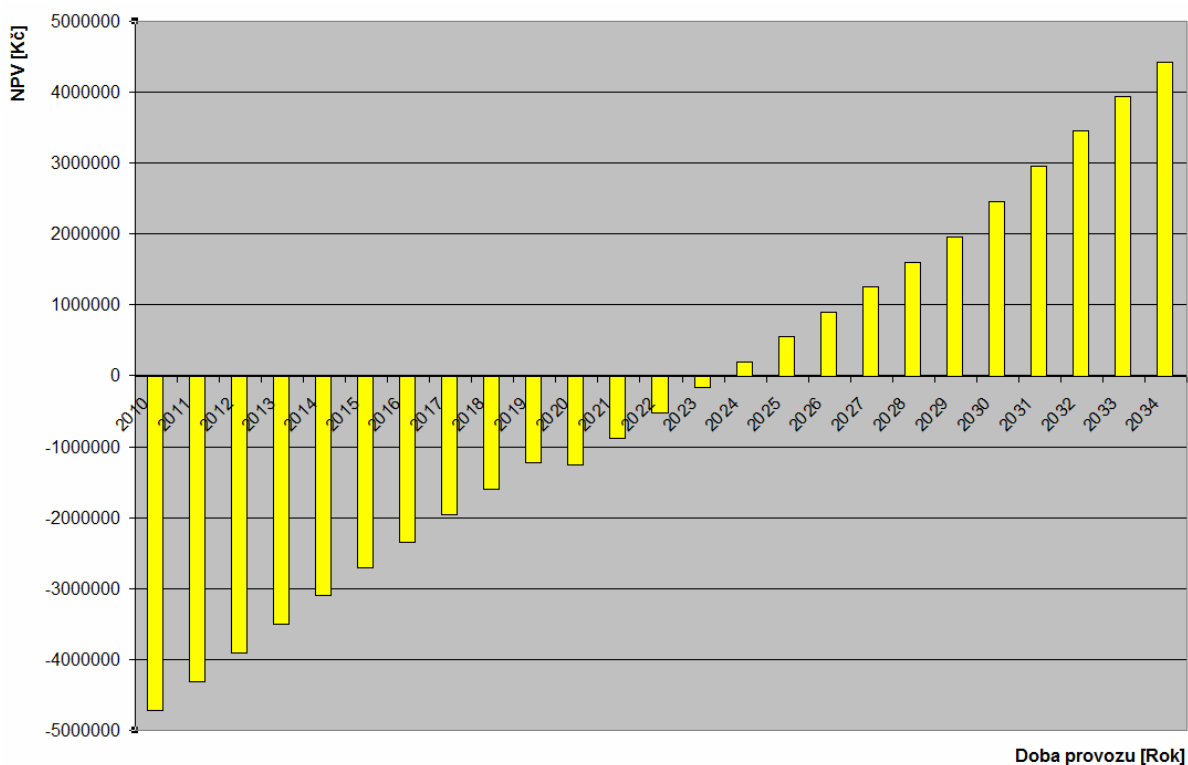
A) Pevná výkupní sazba pro rok 2010 s bankovním úvěrem

V tabulce 4.15 je proveden výpočet ekonomiky provozu a návratnosti investice FV elektrárny pro výkupní cenu v roce 2010 s bankovním úvěrem a s přímým prodejem veškeré vyrobené energie do distribuční sítě počínaje 1. 1. 2010. Dále na obrázku 4.5 je znázorněna návratnost investice FV elektrárny pomocí metody NPV, která vychází z tabulky 4.15 na 15 let. Vnitřní výnosové procento této FV elektrárny je 7,44 %.

Tab. 4.15 Výpočet hotovostních toků varianta A s bankovním úvěrem [Kč]

Rok	Tržba	Náklady na odpisy	Náklady na úrok	Náklady	Hrubý zisk	Čistý zisk	Peněžní tok	Aktual. peněžní tok	NPV
2010	705112	0	288187	288187	416925	416925	416925	408750	-4721891
2011	712022	0	288187	288187	423835	423835	423835	407377	-4314514
2012	719000	0	288187	288187	430813	430813	430813	405965	-3908549
2013	726046	0	288187	288187	437859	437859	437859	404514	-3504035
2014	733161	0	288187	288187	444974	444974	444974	403027	-3101008
2015	740346	0	288187	288187	452159	452159	452159	401504	-2699504
2016	747602	110309	288187	398496	349106	296740	407049	354361	-2345143
2017	754928	264228	288187	552415	202513	172136	436364	379881	-1965262
2018	762326	264228	288187	552415	209911	178424	442652	370391	-1594871
2019	769797	264228	288187	552415	217382	184775	449003	368339	-1226532
2020	777341	264228	288187	1066005	-288664	-288664	-24436	-24436	-1250968
2021	784959	264228	288187	552415	232544	197662	461890	364197	-886771
2022	792652	264228	288187	552415	240237	204201	468429	362111	-524660
2023	800420	264228	288187	552415	248005	210804	475032	360015	-164645
2024	808264	264228	288187	552415	255849	217472	481700	357910	193265
2025	816185	264228	288187	552415	263770	224205	488433	355797	549062
2026	824183	264228	288187	552415	271768	231003	495231	353675	902737
2027	832260	264228	288187	552415	279845	237868	502096	351547	1254284
2028	840417	264228	288187	552415	288002	244802	509030	349414	1603698
2029	848653	264228	288187	552415	296238	251802	516030	347273	1950971
2030	856969	264228	0	264228	592741	503830	768058	506746	2457717
2031	865368	264228	0	264228	601140	510969	775197	501428	2959145
2032	873848	264228	0	264228	609620	518177	782405	496167	3455312
2033	882412	264228	0	264228	618184	525456	789684	486438	3941750
2034	891060	264228	0	264228	626832	532807	797035	485817	4427567

Obr. 4.5 Návratnost FV elektrárny 49,98 kWp pomocí metody NPV varianta A s bankovním úvěrem [Kč]



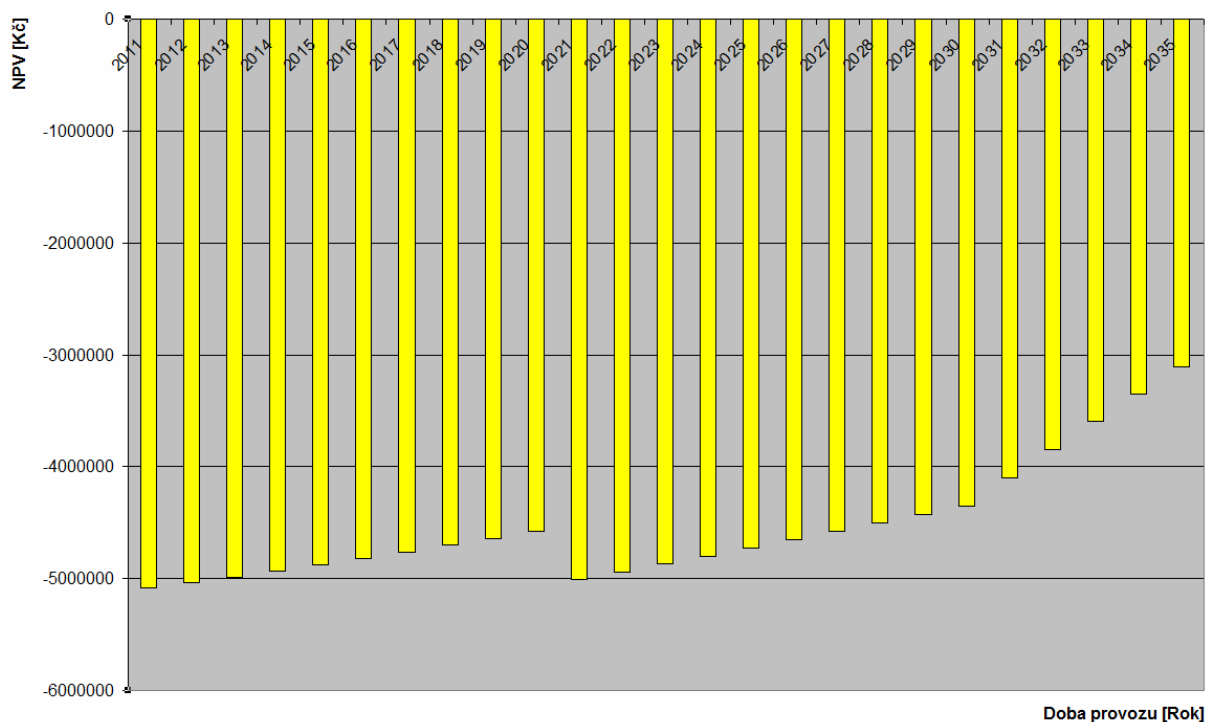
B, Pevná výkupní sazba pro rok 2011 s bankovním úvěrem

V tabulce 4.16 je proveden výpočet ekonomiky provozu a návratnosti investice FV elektrárny pro výkupní cenu v roce 2011 s bankovním úvěrem a s přímým prodejem veškeré vyrobené energie do distribuční sítě počínaje 1. 1. 2011. Dále na obrázku 4.6 je znázorněna návratnost FV elektrárny pomocí metody NPV, která vyhodnocuje tuto investici záporně, tzn. po dobu provozu FV elektrárny není reálná návratnost investice, projekt z pohledu investora není zajímavý. Vnitřní výnosové procento této FV elektrárny je 0,26 %.

Tab. 4.16 Výpočet hotovostních toků varianta B s bankovním úvěrem [Kč]

Rok	Tržba	Náklady na odpisy	Náklady na úrok	Náklady	Hrubý zisk	Čistý zisk	Peněžní tok	Aktual. peněžní tok	NPV
2011	335497	0	288187	288187	47310	47310	47310	46382	-5084259
2012	338785	0	288187	288187	50598	50598	50598	48633	-5035626
2013	342105	0	288187	288187	53918	53918	53918	50808	-4984818
2014	345457	0	288187	288187	57270	57270	57270	52909	-4931909
2015	348843	0	288187	288187	60656	60656	60656	54938	-4876971
2016	352262	0	288187	288187	64075	64075	64075	56897	-4820074
2017	355714	110309	288187	398496	-42782	-42782	67527	58786	-4761288
2018	359200	264228	288187	552415	-193215	-193215	71013	60609	-4700679
2019	362720	264228	288187	552415	-189695	-189695	74533	62366	-4638313
2020	366274	264228	288187	552415	-186141	-186141	78087	64059	-4574254
2021	369864	264228	288187	1066005	-696141	-696141	-431913	-431913	-5006167
2022	373489	264228	288187	552415	-178926	-178926	85302	67260	-4938907
2023	377149	264228	288187	552415	-175266	-175266	88962	68771	-4870136
2024	380845	264228	288187	552415	-171570	-171570	92658	70223	-4799913
2025	384577	264228	288187	552415	-167838	-167838	96390	71619	-4728294
2026	388346	264228	288187	552415	-164069	-164069	100159	72960	-4655334
2027	392152	264228	288187	552415	-160263	-160263	103965	74248	-4581086
2028	395995	264228	288187	552415	-156420	-156420	107808	75483	-4505603
2029	399876	264228	288187	552415	-152539	-152539	111689	76667	-4428936
2030	403794	264228	288187	552415	-148621	-148621	115607	77800	-4351136
2031	407752	264228	0	264228	143524	121995	386223	254821	-4096315
2032	411748	264228	0	264228	147520	125392	389620	252021	-3844294
2033	415783	264228	0	264228	151555	128822	393050	249255	-3595039
2034	419857	264228	0	264228	155629	132285	396513	246521	-3348518
2035	423972	264228	0	264228	159744	135782	400010	243818	-3104700

Obr. 4.6 Návratnost FV elektrárny 49,98 kWp pomocí metody NPV varianta B s bankovním úvěrem [Kč]



FV elektrárna s pohyblivými stojany TRAXLE™ a hřebenovými koncentrátory záření instalovaná se špičkovým výkonem 49,68 kWp ročně vyrobí zhruba 56 312 kWh elektřiny, kterou dodá do sítě. Při financování s využitím varianty A je vypočítána návratnost investice za 15 let, kdy dalších minimálně 10 let bude daná FV elektrárna prosperovat s celkovým ziskem 4 427 567 Kč. Při financování s využitím varianty B je vypočítána návratnost investice vyšší než životnost dané FV elektrárny, tzn. projekt je pro investora nevýhodný.

5. Závěr

Z obrázku 3.7 je patrné, že solární elektrárny v České republice zažily největšího nárůstu v letech 2009 a 2010, který byl způsoben několika faktory. Mezi nejdůležitější spadají: podpora státních dotací, prudký pokles cen fotovoltaických panelů, příznivé výkupní ceny vyrobené elektrické energie, prudký nárůst firem zabývajících se fotovoltaikou, investiční záměry nadnárodních korporací a také rozmáhající se dovoz výrobků z Čínské lidové republiky.

Praktickým cílem této diplomové práce bylo navrhnout tři modelové typy fotovoltaických elektráren, které mají všechny primární parametry odlišné, tzn. FV panely různých značek výrobců, s tím spojené špičkové výkony, maximální účinnosti, a v neposlední řadě také měniče napětí. Z praktických výpočtů prezentovaných v kapitole 4 byla graficky i početně zhodnocena ekonomická efektivnost těchto druhů FV elektráren. Při výpočtech ekonomiky a efektivity FV elektráren nebyla započtena do nákladů cena pozemků ani nebylo uvažováno o praktické realizaci těchto instalací v dané lokalitě města Velké Bílovice. Podle mých ekonomických výpočtů z kapitoly 4 vychází z modelového příkladu FV elektrárny s pevným stojanem o špičkovém instalovaném výkonu 5,04 kWp cena elektrické energie 4,67 Kč/kWh v závislosti na životnosti FV elektrárny, určenou na 25 let. V modelovém příkladu FV elektrárny s pohyblivými stojany TRAXLETM o špičkovém instalovaném výkonu 49,68 kWp dojde k navýšení transformované energie až o 20 % a poklesu ceny elektrické energie na 2,84 Kč/kWh v závislosti na životnosti FV elektrárny, určenou na 25 let. Třetí modelový případ FV elektrárny s pohyblivými stojany TRAXLETM doplněný o hřebenové koncentrátory slunečního záření o špičkovém instalovaném výkonu 49,98 kWp navýší transformovanou energii až o 40 %, ale cena vyrobené elektrické energie vychází na 3,64 Kč/kWh v závislosti na životnosti FV elektrárny, určenou na 25 let. Paradoxně, i když u všech modelových FV elektráren vychází cena elektrické energie výhodněji než nákup el.energie od distribučních společností, vycházejí projekty v roce 2011 pro investora nevýhodně či ztrátově, kde vyjímku tvoří FV elektrárna s pevnými stojany na střeše rodinného domu, čímž je poukázáno na konkrétní problém České republiky podporovat menší střešní instalace do špičkového výkonu 30 kWp. Tento paradox je dán prudkým poklesem výkupních cen v roce 2011, kdy vláda České republiky chtěla zabránit přetížení distribuční soustavy a skokovému zdražování elektřiny pro domácnosti a firmy. Elektrická energie z FV elektráren je pouze doplňkovým

zdrojem, neboť sluneční svit je v podstatě kvadratickou funkcí s maximem v letních měsících, kdy celostátní spotřeba elektrické energie výrazně klesá.

Tato diplomová práce vznikala v období, ve kterém byl vyhlášen Ministerstvem průmyslu a obchodu stop-stav, tzn. kdy distribuční společnosti ČEZ a.s., PRE a.s. aj. zamítaly nové žádosti o připojení FV elektráren do distribuční soustavy s odůvodněním nepřipravenosti české distribuční soustavy na nápor nových zdrojů elektrické energie. Dále vznik novely zákona s 26-ti % zdaněním FV elektráren s instalovaným výkonem nad 30 kWp z důvodů kompenzace nákladů na výkupní ceny elektřiny. Tato srážková daň je pro většinu FV elektráren likvidační. Z důvodů pozdní změny legislativy tato srážková daň nebyla započtena do ekonomických výpočtů FV elektráren.

Stop-stav solárním i větrným elektrárnám nadále trvá i přes velké změny legislativy, které fotovoltaika zažila. Národní akční plán počítá s nárůstem výkonů solárních elektráren o pouhých 5 MWp ročně, což znamená minimální růst tohoto trhu a úpadek firem zabývajících se fotovoltaikou. Další novela zákona o podpoře elektřiny z obnovitelných zdrojů, která má začít platit v létě 2011, přestane úplně podporovat velké fotovoltaické instalace. Tento krok má omezit výstavbu megalomanských projektů na polích a loukách. S přesunem fotovoltaiky na střechy budov a domů nelze než souhlasit, lze jen diskutovat o velikosti instalovaných nominálních výkonů, kdy pro průmyslový podnik či veřejnou budovu je instalovaný nominální výkon 30 kWp rozhodně zanedbatelný a také je nevhodný globální zákaz fotovoltaiky na volné ploše.

6. Seznam literatury

- [1] LIBRA, M., POULEK, V. *Fotovoltaika - teorie i praxe využití solární energie*. 1. vydání. Praha: ILSA, 2009, 160 s. ISBN 978-80-904311-0-2
- [2] MURTINGER, K., BERANOVSKÝ, J., TOMEŠ, M. *Fotovoltaika elektřina ze slunce*. 2. vydání. Brno: 2008, 81 s. ISBN 978-80-7366-133-5
- [3] BROŽ, K., ŠOUREK, B. *Alternativní zdroje energie*. 1. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003, 213 s. ISBN 80-01-02802-X
- [4] LIBRA, M., POULEK, V. *Zdroje a využití energie*, 1.vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2007, 141 s. ISBN 978-80-213-1647-8
- [5] BERVIDOVÁ, L., VANČUROVÁ, P. *Cvičení z ekonomiky podniků I*. 1. vydání. Česká zemědělská univerzita v Praze: 2007, 118 s. ISBN 978-80-213-1192-3
- [6] EPIA.org. *Global Market Outlook for Photovoltaics until 2014* [online], [cit. 2010-04-15]. Dostupné z:
http://www.epia.org/fileadmin/EPIA_docs/public/Global_Market_Outlook_for_Photovoltaics_until_2014.pdf
- [7] BEATRICE company. *Belllabs_photovoltaics* [online], [cit. 2009-08-11]. Dostupné z:
http://www.porticus.org/bell/belllabs_photovoltaics.html
- [8] Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR. *Státní energetické koncepce ČR* [online], [cit. 2010-02-02]. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/dokument5903.html>
- [9] STÁREK, V. Evropskou fotovoltaiku svázala tvrdá regulace. *Mladá fronta E15*, 2011, č. 796, s. 4-5.
- [10] FLEISCHHANS, J. Chytrá energie do poloviny století bez uhlí a jádra. *Energie kolem nás*, 2010, č. 4, s. 14-15.
- [11] ROSOCHATECKÁ, E. *Ekonomika podniků*, 9. vydání, Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2009, 209 s. ISBN 978-80-213-1892-2
- [12] Energetický regulační úřad, *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 2/2010* [online], [cit. 2010-11-12]. Dostupné z:
http://eru.cz/user_data/files/cenova%20rozhodnuti/CR%20elektro/2_2010_OZE-KVET-DZ%20final.pdf
- [13] BENDA, V. *Fotovoltaické články – historie a současné trendy vývoje* [online], [cit. 2010-11-11]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/tzb/energie/fotovoltaicke-clanky-historie-a-soucasne-trendy-vyvoje-2262.html>

- [14] POULEK, V., LIBRA, M. *A New Low Cost Tracking Ridge Concentrator*, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 61, 2, 2000, s. 199-202
- [15] STRNAD, J. *Ekonomické zhodnocení různých typů solárních fotovoltaických systémů*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2009, 53 s.
- [16] HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. *Fyzika*. 1. vydání. VUT v Brně: VUTIUM, 2001, 256 s. ISBN: 80-214-1868-0
- [17] MECHLOVÁ, E., KOŠTÁL, K. *Výkladový slovník fyziky pro základní vysokoškolský kurz*. 1. vydání. Praha: Prometheus, 1999, 588 s. ISBN 80-7196-151-5.
- [18] MICHL, P. *Začleňování fotovoltaických elektráren do elektrizační soustavy*. Brno: VUT v Brně, 2010, 91 s.
- [19] Czechsolar s.r.o. *Technologie a vývoj FV modulů*. [online], [cit. 2010-01-05]. Dostupné z: <http://www.czechsolar.cz/fotovoltaika/technologie-a-vyvoj-panelu/>
- [20] Solární novinky.cz, *Vliv slunečního záření na výkon solárních elektráren v podmínkách České republiky* [online], [cit. 2010-01-21]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/2010/index.php?rs=4&rl=2010012104&rm=15:91>
- [21] European Communities, *Performance of Grid-connected PV*. [online], [cit. 2010-03-16]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php>
- [22] Solární panely cz s.r.o., *Fotovoltaická elektrárna na klíč*. [online], [cit. 2010-06-10]. Dostupné z: <http://solarni-panely.cz/e-shop/fotovoltaicke-elektrarny>

7. Seznam použitých zkratek, obrázků a tabulek

Seznam použitých zkratek:

OZE	obnovitelné zdroje energie
EU	Evropská unie
ERÚ	Energetický regulační úřad
FV	fotovoltaické
EPT	energetická návratnost
EVA	ethylen-vinyl-acetát
NPV	čistá současná hodnota
ON-GRID	síťový systém
OFF-GRID	ostrovní systém
ČEZ a.s.	České energetické závody akciová společnost
PRE a.s.	Pražská energetika akciová společnost

Seznam obrázků:

Obr. 1.1	Vývoj a prognóza spotřeby elektřiny v ČR
Obr. 3.1	Bell Laboratories testující FV panel v roce 1954
Obr. 3.2	Průměrný roční úhrn trvání slunečního svitu v ČR [hodin]
Obr. 3.3	Mapa intenzity sluneční záření v ČR [$\text{kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$]
Obr. 3.4	Solární panely s monokrystalickým a polykrystalickým křemíkem
Obr. 3.5	Podíl jednotlivých technologií na produkci FV článků v roce 2009 [%]
Obr. 3.6	Porovnání ostrovního a síťového FV systému
Obr. 3.7	Celkový instalovaný výkon FV elektráren v ČR [MWp]
Obr. 4.1	Návratnost FV elektrárny 5,04 kWp pomocí metody NPV varianta A bez bankovního úvěru [Kč]
Obr. 4.2	Návratnost FV elektrárny 5,04 kWp pomocí metody NPV varianta B bez bankovního úvěru [Kč]
Obr. 4.3	Návratnost FV elektrárny 49,68 kWp pomocí metody NPV varianta A s bankovním úvěrem [Kč]
Obr. 4.4	Návratnost FV elektrárny 49,68 kWp pomocí metody NPV varianta B s bankovním úvěrem [Kč]

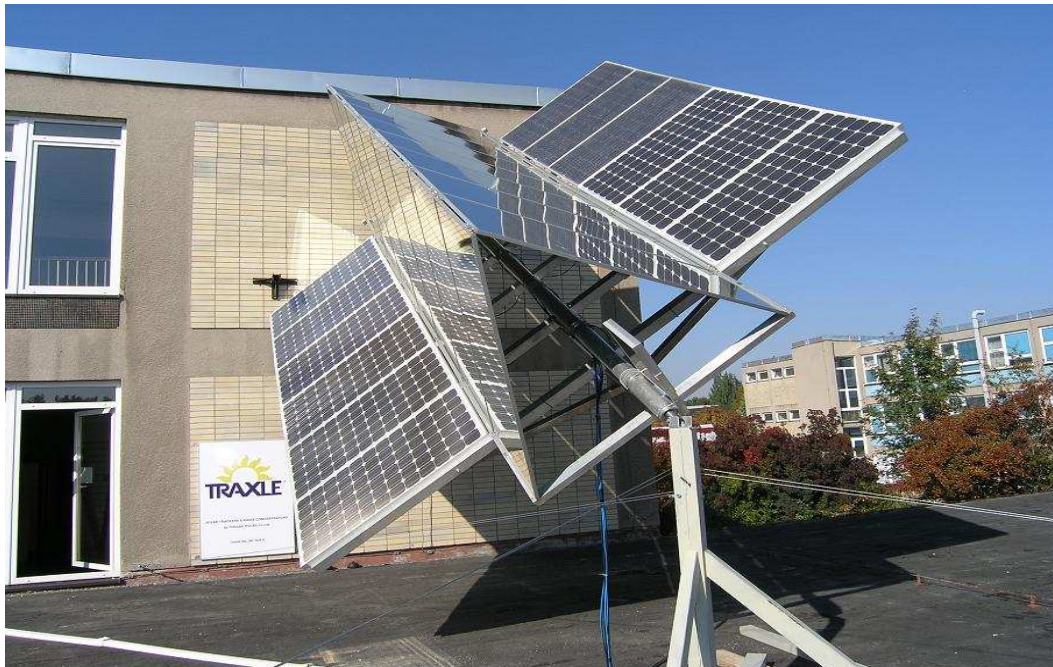
- Obr. 4.5 Návrh návratnosti FV elektrárny 49,98 kWp pomocí metody NPV varianta A s bankovním úvěrem [Kč]
- Obr. 4.6 Návrh návratnosti FV elektrárny 49,98 kWp pomocí metody NPV varianta B s bankovním úvěrem [Kč]

Seznam tabulek:

- Tab. 4.1 Technické parametry FV elektrárny 5,04 kWp s pevným stojanem
- Tab. 4.2 Vyrobené množství elektrické energie [kWh, kWh/m²]
- Tab. 4.3 Investiční náklady FV elektrárny 5,04 kWp s pevným stojanem [Kč]
- Tab. 4.4 Vstupní ekonomické údaje
- Tab. 4.5 Výpočet hotovostních toků varianta A bez bankovního úvěru [Kč]
- Tab. 4.6 Výpočet hotovostních toků varianta B bez bankovního úvěru [Kč]
- Tab. 4.7 Technické parametry FV elektrárny 49,68 kWp s pohyblivými stojany TRAXLE™
- Tab. 4.8 Investiční náklady FV elektrárny 49,68 kWp s pohyblivými stojany TRAXLE™ [Kč]
- Tab. 4.9 Vstupní ekonomické údaje
- Tab. 4.10 Výpočet hotovostních toků varianta A s bankovním úvěrem [Kč]
- Tab. 4.11 Výpočet hotovostních toků varianta B s bankovním úvěrem [Kč]
- Tab. 4.12 Technické parametry FV elektrárny 49,98 kWp s pohyblivými stojany TRAXLE™ a hřebenovými koncentrátory záření
- Tab. 4.13 Investiční náklady FV elektrárny 49,98 kWp s pohyblivými stojany TRAXLE™ a hřebenovými koncentrátory záření [Kč]
- Tab. 4.14 Vstupní ekonomické údaje
- Tab. 4.15 Výpočet hotovostních toků varianta A s bankovním úvěrem [Kč]
- Tab. 4.16 Výpočet hotovostních toků varianta B s bankovním úvěrem [Kč]

8. Přílohy

Příloha 8.1 Ukázka fotovoltaické elektrárny s pohyblivým stojanem TRAXLE™ s hřebenovými koncentrátory záření



Zdroj: Katedra fyziky TF ČZU v Praze

Příloha 8.2 Ukázka fotovoltaické elektrárny s pohyblivými stojany TRAXLE™



Zdroj: Katedra fyziky TF ČZU v Praze

Příloha 8.3 Ukázka fotovoltaické elektrárny s pohyblivými stojany TRAXLE™ s hřebenovými koncentrátory záření v Moravském Krumlově



Zdroj: Katedra fyziky TF ČZU v Praze

Příloha 8.4 Ukázka fotovoltaické elektrárny s pevnými stojany



Zdroj: Katedra fyziky TF ČZU v Praze