



Středoškolská technika 2013

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Obnovitelné zdroje elektrické energie historie a vývoj fotovoltaiky

Darek Bogdány

Integrovaná střední škola Nová Paka

Kumburská 846, Nová paka

Obsah

• Úvod	str. 3
• Solární energie a její výroba	str. 4
• Princip fotovoltaického článku	str. 5
• Základ z technologie fotovoltaických panelů	str. 6
• Recyklace fotovoltaických panelů	str. 7
- Metody recyklace	str. 8
• Střídač a elektroměr	str. 9
• Fotovoltaické elektrárny	str. 10
• Rozdělení podle připojení k elektrické síti	str. 10
- Podle umístění a velikosti instalovaného výkonu	str. 10
- Podle připojení k elektrické síti, a formy podpory státu	str. 11
○ Výkupní cena	str. 11
○ Zelený bonus	str. 12
○ Ostrovní systém	str. 13
- Grafické porovnání	str. 14 - 15
• Historie a zajímavosti	str. 16
• Seznam výrobců fotovoltaických panelů a střídačů	str. 17
• Rodinný dům s fotovoltaickou elektrárnou	str. 18
- Výpočty	str. 19
○ Současnost	str. 20
○ Emise	str. 21
• Fotodokumentace	str. 22
• Závěr, poděkování	str. 23
• Použité zdroje, prohlášení	str. 24

Darek Bogdány, ISŠ Nová Paka, Kumburská 846



Úvod:

Nejvíce energie lidé získávají z neobnovitelných zdrojů, jako jsou například ropa, uhlí, zemní plyn, uran a jiné. Již dříve některé studie vědců prokázaly, že tyto zdroje lidstvo vyčerpá v horizontu stovek let. Je proto nutné se tímto problémem zabývat už teď. Zatím jedinou možnou alternativou jsou obnovitelné zdroje. Za obnovitelný zdroj považujeme takovou energii, kterou můžeme teoreticky čerpat další tisíce až miliardy let. Jednou z těchto alternativ je i solární (sluneční) energie.

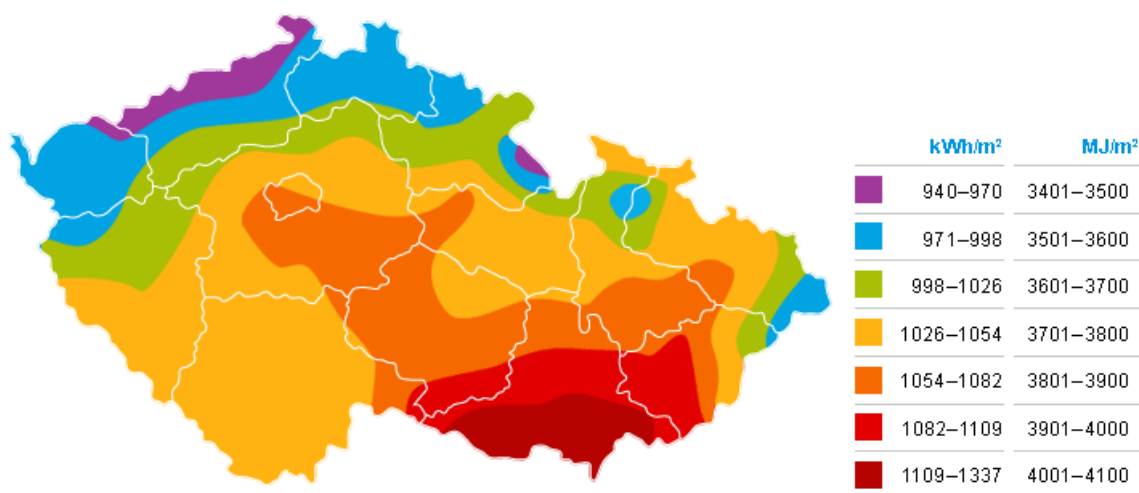
Právě využití solární energie jsem si vybral ke zpracování své práce. Tímto téma jsem se zabýval již dříve, protože v rámci projektu Zelený most mezi školou a praxí jsme v loňském roce dostali za úkol od našeho pana učitele zpracovat malou seminární práci na téma Obnovitelné zdroje energie v našem okolí. Jelikož nedaleko mého bydliště v Rokytnici nad Jizerou stojí rodinný dům s fotovoltaickými panely, měl jsem hned jasno, na jaké téma svou práci zaměřím. Začal jsem se tedy touto problematikou podrobněji zabývat a rozšiřoval jsem si znalosti v tomto oboru. Zašel jsem i za majitelem domu jestli by mi neposkytl konkrétní informace k fotovoltaické elektrárně na své střeše. Dále se vše vyvíjelo už přímou cestou. Pan učitel mě později oslovil, zda bych nechtěl svou práci rozšířit, doplnit o některé informace a zapojit se do soutěže Enersol a Stretech.

Solární energie

Tuto energii lze využít přímo, a to například k přitápění nebo ohřevu vody pomocí solárních kolektorů nebo k výrobě elektrické energie pomocí fotovoltaických panelů. Solární energie se řadí mezi obnovitelné zdroje, které mají dostatečný potenciál dlouhodobě pokrýt energetické potřeby lidí bez vedlejších následků a újmy na životním prostředí. Na většinu domů dopadne za rok více sluneční energie, než kolik činí jejich roční spotřeba tepla a elektřiny. Největší výhodou solární energie je, že je to zdroj, který je dostupný všude, na rozdíl například od vodní energie. Ovšem na druhou stranu vodní energii můžeme získávat nepřetržitě 24 hodin, ale solární nikoli, protože v noci to není možné.

Solární energie na území ČR

Celkové množství solární energie, které na zem nebo střechu rodinného domu dopadne za určitou časovou jednotku (například den, rok atd.), také ovlivňují zeměpisné podmínky. To můžeme demonstrovat na obrázku č. 1, ze kterého je patrné, že průměrná intenzita slunečního záření během roku je nejmenší na severovýchodě ČR, kdežto na jihozápadě ČR je naopak intenzita největší. Na území ČR se nejvyšší intenzity dočkáme mezi dubnem a zářím. Je zde ještě jeden z důležitých údajů, a tím je počet slunečních hodin, který se odhaduje na 1350-1800 hodin ročně.



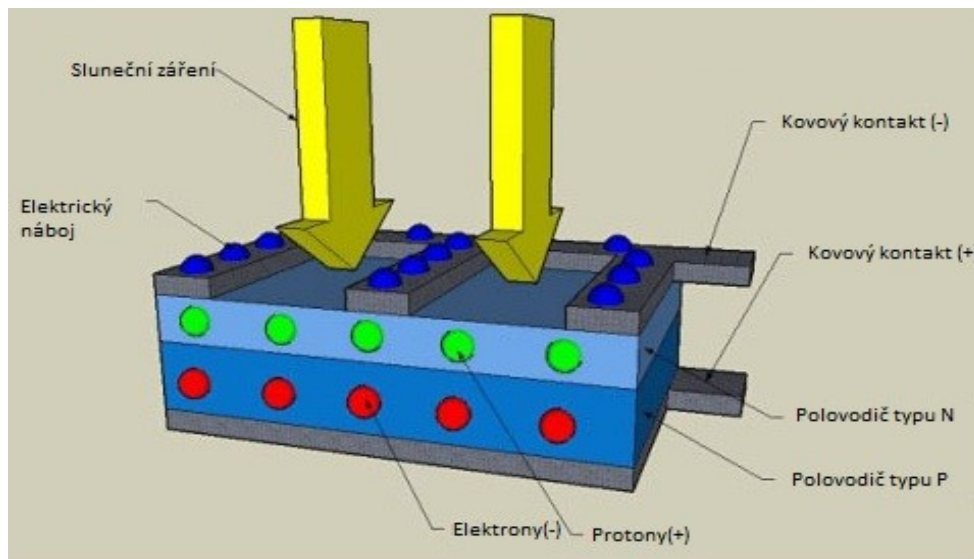
Obrázek č. 1

4. Výroba elektrické energie ze solární energie

V praxi je využití solární energie do jisté míry hodně omezené. Velkou roli zde zastává účinnost fotovoltaických panelů, pomocí kterých se solární energie získává. V současnosti jsou na trhu dostupné panely s účinností běžně okolo 15-20%. Vzhledem k malé plošné hustotě a malému záření solární energie jsou tyto fotovoltaické panely poměrně rozměrné. Pro dosažení co nejvyšší účinnosti je důležité správné umístění fotovoltaických panelů. Nejvhodnější umístění je jižním směrem a sklon by měl být nejlépe pod úhlem mezi 30-35 stupni. Výkon solární elektrárny se uvádí v jednotkách **kWp** [maximální (špičkový) výkon elektrárny], a dále obecně platí, že 1 kWp zabere 8-10 m² plochy a dokáže vyrobit přibližně 1 MWh za rok.

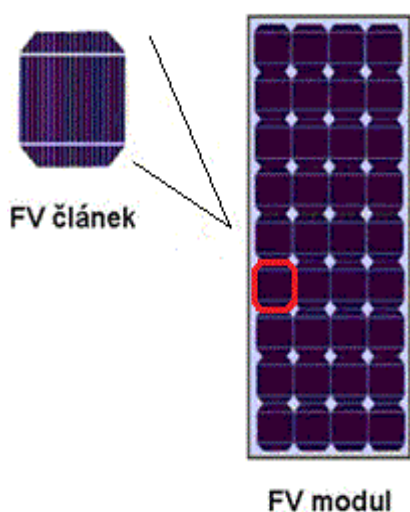
Princip fotovoltaického článku

Celá fotovoltaika je postavena na využití křemíkových polovodičů. Solární (fotovoltaický) článek, zpravidla o velikosti 12 x 12 cm pracuje na principu P-N přechodu a je to, dá se říci polovodičová dioda. Základ článku tvoří tenká křemíková destička s vodivostí typu P, na kterou se při výrobě vytvoří další tenká vrstva polovodiče, ale nyní typu N. Mezi těmito vrstvami vznikne přechod, který nazýváme P-N.



Obrázek č. 2

Když na fotovoltaický článek dopadne sluneční záření, vznikne v křemíkovém polovodiči fotoelektrický jev a z jeho krystalové mřížky se začnou uvolňovat záporné elektrony. Díky tomu se na přechodu vytvoří elektrické napětí. Dopadající solární energie se v článku mění na elektrickou energii, a když uzavřeme obvod, lze získat elektrický proud. Jeden takový článek dokáže tímto způsobem při svém maximálním výkonu vytvořit napětí okolo 0,5 voltů a elektrický proud až 3 ampéry.



Obrázek č. 3

Významnou a důležitou vlastností solárních článků je možnost jejich vzájemného propojení, abychom dosáhli větších celků. Tyto celky poté nazýváme fotovoltaické (solární) moduly a ty představují zase základní stavební jednotky větších fotovoltaických systémů. Například v jednom panelu nebo, jak je uvedeno na obrázku č. 3 modulu, je v našem případě 36 článků spojených do série a jeho výstupní napětí činí 12 V. Nyní se už vyrábí i panely s jiným, většinou větším počtem článků a tudíž i vyšším výstupním napětím. Z toho také vyplývá, že fotovoltaické panely mají různé výkony. Tyto veškeré parametry se většinou mohou lišit podle daného výrobce.

Základ z technologie fotovoltaických panelů

Jak jsem již uvedl, panely jsou složeny z článků a ty jsou vyrobeny z křemíkových polovodičů. Křemík je sice velmi dostupný materiál, ale pro výrobu FV panelů je potřeba křemík o vysoké čistotě (i když řádově je to méně než je potřeba do počítačových součástek). Zásadní problém je ve výrobě, protože FV panely jsou vyráběny pomocí náročné technologie, a to jsou důvody, proč je cena panelů stále poměrně vysoká, přestože že během posledních let cena díky masivní výrobě a konkurenci poklesla, stále se nynější cena pohybuje okolo 5 000 – 10 000 korun. Záleží ovšem na velikosti, typu a kvalitě panelu. Garantovaná životnost panelů výrobcem je 25-30 let. Dále výrobci garantují maximální pokles účinnosti o 10% v průběhu 10 až 12 let a o 20% za 20 až 25 let. V praxi se ale pokles účinnosti na nejstarších instalacích po 25 letech pohybuje okolo 6 až 8%. Tento pokles je brán v úvahu z počáteční účinnosti panelu a není rovnoměrný. Z toho vyplývá, že u kvalitních panelů se předpokládá pokles účinnosti o 20% minimálně po 30 až 40 letech od jejich instalace.

Dostupné křemíkové fotovoltaické panely můžeme rozdělit na 3 typy:

Panel z monokrystalického křemíku

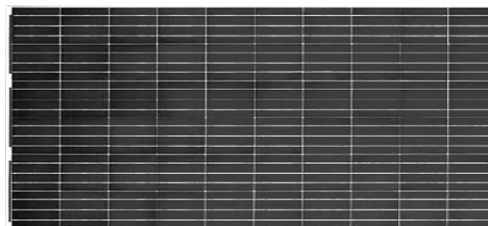
Účinnost je okolo 15 až 18% z dopadající solární energie. Panel se skládá z článků tvaru čtverce s kulatými rohy. To je dáno výrobní technologií, kde je třeba vyrobít jednolitý ingot, což je kovový, v našem případě křemíkový hutní polotovár ve tvaru kulatiny, který se poté nařeže na tenké destičky. Tato technologie je poměrně náročná, protože ingot vznikl jako jeden velký krystal křemíků. Proto je jeho struktura jednotná a velmi čistá.



Obrázek č. 4

Panel z polykrystalického křemíku

Účinnost je okolo 13 až 16 % z dopadající solární energie. Panel je složen z destiček čistě čtvercového tvaru s jasně viditelnou kontaktní mřížkou. Pro získání polykrystalického ingotu je zde použit jiný postup než u monokrystalického. Postup je v tomto případě technologicky snadnější. Zde se nechá vykrystalizovat množství menších krystalů. Nikoli jeden velký, jednolitý. Z menších krystalů se vyrobí substrát a ten se poté slisuje do jednoho celku. Další postup je již stejný jako u monokrystalického panelu. Touto technologií pochopitelně nelze docílit takové čistoty materiálu, a proto je také tento panel méně účinný, ale za to je cenově přijatelnější.



Obrázek č. 5

Panel z amorfního tenkovrstvého křemíku

Účinnost je okolo 5 až 8 % z dopadající solární energie. Panely jsou na pohled tvořeny jednolitou tmavou plochou, s nevýraznou kontaktní mřížkou. Mohou být na ohebných materiálech (například jako střešní folie). Technologický postup je zde takový, že ve vakuově uzavřené komoře při teplotě přibližně 200°C se napařením nanese vrstva amorfního křemíku na podkladový materiál, kterým je především plast, dále to může být sklo nebo kovy. Amorfní křemík je nanášen do velice tenkých vrstev, které nepřesahují 1µm. Díky tomu se proto této metodě říká tenkovrstvá technologie.



Obrázek č. 6

Recyklace fotovoltaických panelů na konci životnosti

Životnost fotovoltaických panelů není, jak jsem již zmínil, neomezená, a vzhledem k tomu, že se panely vyrábí z poměrně cenných surovin, byla by škoda likvidovat panely tak, že by se odvezly na skládku. Je to výhodné jak z ohledu finančního, tak i z ohledu na životní prostředí. Vznikl proto dobrovolný program PV Cycle, který vytvořili výrobci a dodavatelé fotovoltaických panelů. Z mého pohledu je toto jednání velice zodpovědné, že jsou aktivní i v tomto směru a zajímají se o své výrobky i na konci životního cyklu. Vezmeme-li v potaz předpokládanou životnost panelů, je pravděpodobné, že větší množství panelů k recyklaci přibude odhadem až po roce 2030. Do té doby budou recyklovány spíše panely, které se poškodily nebo poškodí při montáži, dopravě, nebo také panely na kterých se objeví výrobní vady, jež se projeví až po prvních měsících či letech provozu. Také sem můžeme zařadit panely, u kterých klesne jejich účinnost dříve, než jak garantuje jejich výrobce. Tyto panely by byly pravděpodobně reklamovány a jejich pozdější likvidaci bude mít na starost výrobce, nebo dodavatel.

O programu PV Cycle

Na každém místě určeném ke sběru jsou k dispozici dva kontejnery na fotovoltaické panely. Jeden kontejner je určen na křemíkové panely, ten druhý na panely z amorfního tenkovrstvého křemíku, protože na každý druh je používána jiná technologie způsobu recyklace. Po naplnění je kontejner vyměněn za další prázdný, a plný s panely se odveze k recyklaci. Pro odvoz velkého množství panelů, konkrétně z větších fotovoltaických elektráren se používá kamion, který přijíždí až přímo k místu likvidace fotovoltaické elektrárny.



Recyklované materiály

Hliník - materiál, ze kterého jsou vyrobeny rámy fotovoltaických panelů. Jejich výroba zabere asi 8% energie, která je potřebná na výrobu celého panelu. Hliník lze poměrně dobře recyklovat.

Sklo - je základním konstrukčním dílem všech fotovoltaických panelů, mimo panely z amorfního tenkovrstvého křemíku, kdy jsou použity plastové materiály. Díky recyklaci se sníží spotřeba energie na výrobu skla o 40%. Veliká výhoda skla je, že ve většině případů jde zrecyklovat na původní výrobek.

Fotovoltaické články - výroba zabere asi 80% energie z energie na výrobu celého panelu a dále pak 50% na celkové ceně panelu. Na konci životnosti fotovoltaických článků jsou téměř beze změny. S recyklací celých článků jsou již určité praktické zkušenosti. Články jsou vyrobeny z cenných polovodičových materiálů (křemík), navíc zpětné získávání z odpadu je výhodnější než z vytěžených surovin.

Těžké kovy - mají v panelech sice velice malý podíl, ale recyklace je zde také na místě. Těžké kovy jsou totiž toxické, a proto je hodně důležité, ne-li přímo nutné oddělit je od životního prostředí.

Plastové komponenty – téměř vždy jsou plastové komponenty vlivem klimatických podmínek znehodnoceny, ale v nějakých případech je lze jednoduchými metodami recyklovat na původní výrobek. Právě proto se víc využívá energie, kterou plasty uvolňují během jejich spalování.

Metody recyklace

Bylo jich navrženo hned několik. Některé se hodí pro více druhů panelů a jiné se hodí pouze pro určité typy. Podrobněji se podíváme na dvě metody.

- **Termicko – mechanická metoda**

Tato metoda je použitelná pro všechny dosavadní typy fotovoltaických panelů z krystalických článků a jde o nejpokročilejší metodu recyklace fotovoltaických panelů. Tuto metodu navrhla a také poprvé v praxi vyzkoušela firma Deutsche Solar AG. Celý proces recyklace je následující. Nejprve jsou celé panely vloženy do speciální pece. V peci jsou panely vystaveny vysoké teplotě přesahující 500° C. Při této teplotě se odpaří veškeré plastové materiály, které jsou poté přivedeny v plynném stavu do jiné komory, ve které jsou potom spalovány. Ostatní materiály jsou po vyndání panelů z pece oddělovány ručně. Pokud nejsou panely nějak výrazně poničené, jde z nich zrecyklovat až 85% článků pro nové použití. Díky tomu lze snížit spotřebu energie na výrobu nových panelů téměř až o celých 70%, a to je z mého hlediska opravdu velká výhoda.



Obrázek č. 7

- **Mechanicko – chemická metoda**

Tato metoda je určena hlavně pro panely z amorfního tenkovrstvého křemíku, protože u tohoto typu nelze jinak získat z recyklovaného panelu polovodičové součásti. Zde je na začátku potřeba odmontovat hliníkový rám a až potom se může pokračovat v dalším zpracování. Následuje rozdrčení a roztřídění jednotlivých částí fotovoltaického panelu. Vzácné kovy se získávají chemickou cestou. Materiály získané touto metodou pak už nelze použít při výrobě nových fotovoltaických článků, což je také jeden z rozdílů mezi těmito recyklačními metodami.



Obrázek č. 8

Střídač

Střídač nebo měnič, jak se také nazývá, je přístroj, který je také velice důležitý. Fotovoltaické panely totiž vyrábí stejnosměrný proud a chceme-li dodávat elektrickou energii do sítě, musí se přetransformovat na proud střídavý (230V, 50Hz). Tento proces má za úkol právě střídač. Lze říci, že toto zařízení je mozkiem celého systému. Podává informace o vyrobené energii a o provozních stavech. Dále také sleduje a případně reguluje napájení sítě. Střídače jsou nyní vybaveny i displejem, na kterém se zobrazují aktuální údaje o činnosti daného systému. Jde například o činnosti typu: okamžitý výkon, doba práce systému, celkové množství vyprodukované energie, porucha a popřípadě i její příčinu, což může být velice užitečné. Střídače musí mít co nejvyšší účinnost, aby mohly dodávat co největší výkon. Kvalitní střídače mohou dosahovat maximální účinnosti okolo 98%. Životnost střídačů je různá. Záleží na výrobci a především na kvalitě. Výrobci poskytují záruku, která se pohybuje v rozmezí 5-20 let. Přibližná cena těchto zařízení se pohybuje okolo 50 – 100 tisíc korun.



Obrázek č. 9

Elektroměr

- Jeden elektroměr na vlastní vyrobenou energii
- Druhý, čtyřkvadrantní (nebo klasický, záleží na způsobu zapojení fotovoltaického systému) elektroměr na energii prodanou do sítě



Obrázek č. 10
Elektroměr



Obrázek č. 11
Čtyřkvadrantní elektroměr

Fotovoltaické elektrárny

Toto odvětví obnovitelných zdrojů energie patří v dnešní době k jednomu z nejrychleji se rozvíjejících. Existuje hned několik druhů systémů elektráren, které se rozdělují podle instalovaného výkonu, velikosti, místa, kde je fotovoltaická elektrárna instalovaná, nebo také podle připojení k elektrické síti.

Rozdělení podle umístění a velikosti instalovaného výkonu

- **Malé střešní instalace**

Tyto systémy mají ze všech elektráren zpravidla nejmenší výkon. Jde většinou o systémy které mají výkon do 15kWp. Tento typ instalace se používá nejčastěji na střeších rodinných domů, a proto je také nejrozšířenější.

- **Velké střešní instalace**

Tento typ se se svým výkonem pohybuje už v oblasti nad 15kWp do několika MWp. Ovšem v případě velikosti výkonu v MWp jde pro představu o takovou velikost elektráren, které se nacházejí na střeších velkých obchodních center, průmyslových objektů nebo na skladních halách.

- **Volně stojící instalace**

Zde se jedná už o velký výkon. Od těch nejmenších elektráren v řádech stovek kWp dosahujících až několika desítek MWp. Jde o instalace, které jsou spojeny pevně se zemí pomocí speciální konstrukce a zabírají často velké plochy půdy.



Obrázek č. 12



Obrázek č. 13



Obrázek č. 14

Rozdělení podle připojení k elektrické síti – systém podpory státem

Když shrneme veškeré možnosti připojení fotovoltaické elektrárny k elektrické síti, je možné vybrat si ze tří níže uvedených forem, z nichž jsou v současné době dvě tyto formy podporovány státem. Každá varianta se od jedné liší a je potřeba zvolit typ připojení ještě před začátkem výstavby fotovoltaické elektrárny. V současné době mají nárok na podporu od státu nárok pouze systémy s výkonem do 30kWp. Tato novela je v zákoně od roku 2011. Z toho plyne, že pro fotovoltaické elektrárny spuštěné dříve tato novela neplatí.

- **Výkupní cena**

Výkupní cena je garantována na 20 let od uvedení elektrárny do provozu. Zde jde o přímý prodej provozovateli distribuční síť, který je výhodnější převážně pro větší fotovoltaické elektrárny, kdy majitel elektrárny veškerou vyrobenou elektrickou energii prodává do sítě distributorovi elektrické energie příslušného regionu a tento distributor je ze zákona povinen veškerou energii od majitele elektrárny odkoupit za tak zvanou **garantovanou výkupní cenu**. Výši této částky určuje pro každý rok stát a je vždy zavázána smlouvou. V zákonu je také napsáno, že každý rok výkupní cena, která je platná v roce, kdy je fotovoltaická elektrárna uvedena do provozu vzroste v rozmezí 2 až 4% ročně. Výhodou této formy připojení a podpory státem je, že majitel má zajištěný odbyt energie a má o něco vyšší výkupní cenu prodané elektrické energie. Naopak nevýhodou je, že je potřeba platit za odebranou elektrickou energii, protože veškerá vyrobená energie jde na prodej.

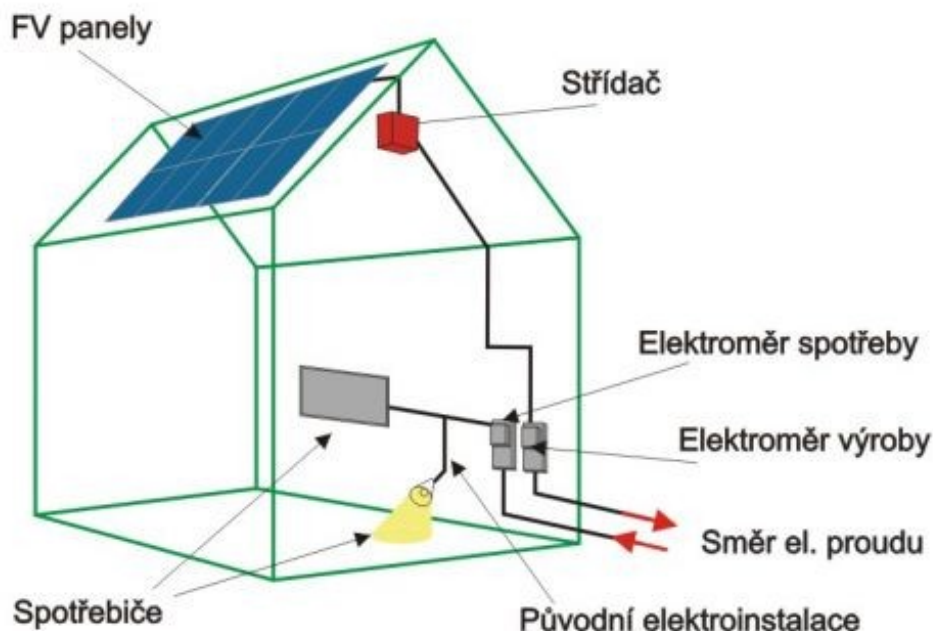


Schéma zapojení v rámci výkupní ceny.

- **Zelený bonus**

Toto je forma podpory v rámci odměny za výrobu čisté energie. Majitel zelený bonus získá za veškerou vyrobenou energii. Nejvíce se vyplatí majitelům rodinných domů, kteří svoji vyrobenou energii spotřebovávají. Je to nejlepší a nejjednodušší způsob připojení do distribuční sítě. V současné době je výše zelených bonusů vypisována pokaždé na jeden rok a odvíjí se z cen silové elektrické energie na trhu. Zelený bonus je z finančního hlediska nejvýhodnější. Je zde ale riziko, že majitel neprodá všechny přebytky do sítě, protože distributor zde není povinen energii vykupovat a je jen na něm, zda energii vykoupí či ne.

V praxi zelený bonus funguje takto:

- I. Fotovoltaická elektrárna nevyrábí žádnou elektrickou energii (například v noci) a energie je v tomto případě odebírána z distribuční sítě za normální tržní cenu.
- II. Fotovoltaická elektrárna vyrábí větší množství elektrické energie, než je potřeba k pokrytí spotřebované energie v objektu. To znamená, že není třeba odebírat elektrickou energii z distribuční sítě. Majiteli je za spotřebovanou energii vyplacen zelený bonus. Přebytky, které vznikají, se prodají do sítě distributorovi za tržní cenu. Jak jsem již uvedl, záleží však, zda distributor bude ochoten přebytky energie odkupovat.
- III. V tomto případě vyrábí fotovoltaická elektrárna menší množství elektrické energie. Toto množství nestačí k pokrytí spotřebované energie v objektu (například je zapnuto hodně spotřebičů elektrické energie). Z toho plyne, že objekt spotřebovává veškerou vyrobenou elektrickou energii z fotovoltaické elektrárny a k tomu je potřeba dokupovat zbývající potřebnou energii z distribuční sítě.

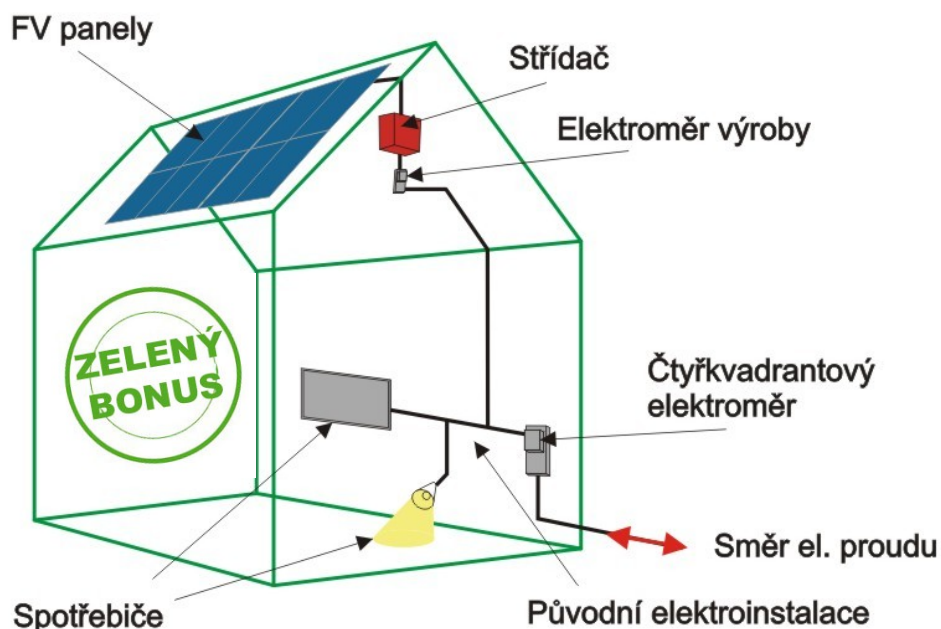


Schéma zapojení v rámci zeleného bonusu.

- **Off grid- ostrovní systém**

Tento systém nemá žádné připojení do distribuční sítě. Je vhodný převážně pro objekty určené k rekreaci (například o víkendech), a také na místech, kde není možné objekt připojit k distribuční síti kvůli odlehlosti objektu. Tento způsob není podporován státem, takže není téměř vůbec rozšířený, nicméně je možný.

Zde se veškerá vyrobená energie ukládá do akumulátoru a objekt poté spotřebovává energii přímo z něho. Pokud objekt žádnou energii nespotebovává, ukládá se energie v akumulátoru, dokud nebude plně nabitý. Jsme omezeni kapacitou akumulátoru, z čehož plyne, že objekt není vhodné dlouhodobě energeticky zatěžovat. Je zde riziko vypotřebování naakumulované energie, kterou fotovoltaická elektrárna nestihne do akumulátoru doplňovat.

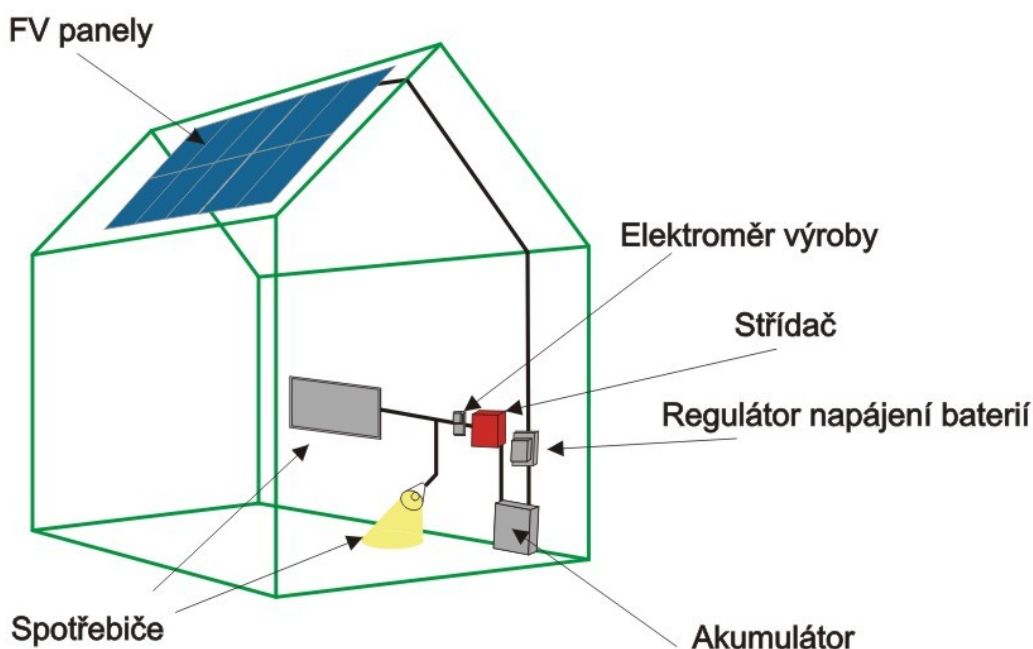
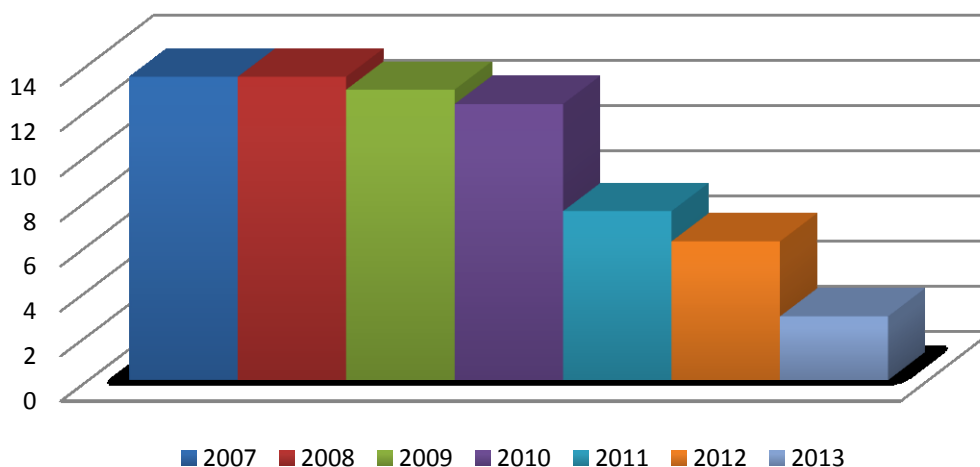


Schéma zapojení systému off-grid.

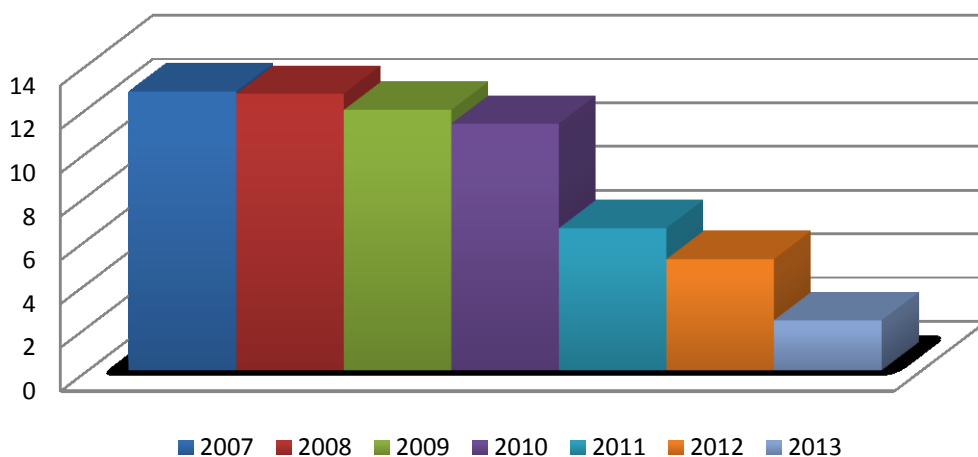
Srovnání výkupních cen během uplynulých let v ČR pro elektrárny s výkonem do 30 kWp.



Tabulka výkupních cen:

Rok:	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Cena: (Kč/kWh)	13,46	13,46	12,89	12,15	7,50	6,16	2,83

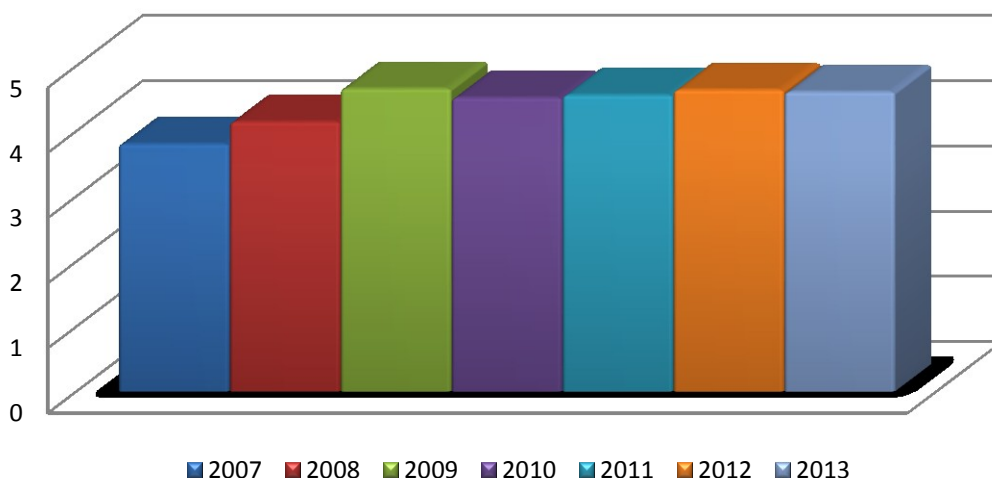
Srovnání zelených bonusů během uplynulých let v ČR pro elektrárny s výkonem do 30 kWp.



Tabulka zelených bonusů:

Rok:	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Cena: (Kč/kWh)	12,75	12,65	11,91	11,28	6,50	5,08	2,28

Vývoj průměrné ceny elektrické energie za 1 kWh tarifu D02d.



Tabulka průměrných cen silové elektřiny:

Rok:	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Cena: (Kč/kWh)	3,80	4,14	4,65	4,51	4,55	4,63	4,60

Co vyplývá z grafů?

V porovnání grafu výkupních cen s grafem zelených bonusů zjistíme, že výkupní ceny jsou každým rokem po zaokrouhlení cca o 1 korunu vyšší než zelené bonusy. Je také jasně vidět, že rok co rok výše výkupní ceny a zeleného bonusu klesá. Největší pokles výkupní cena a zelený bonus zaznamenaly v roce 2010, kdy byla vydaná novela zákona pro rok 2011. Výše výkupní ceny a zeleného bonusu klesla téměř o polovinu. Další větší změna těchto cen platí od 1. ledna 2013, kdy se obě ceny snížily cca o 3 koruny za kWh. O průměrné ceně elektrické energie můžeme říci, že se během posledních let nijak výrazně nemění. Celkové a konečné roční náklady za elektrickou energii jsou potom ještě ovlivněny paušály a poplatky distributorovi.

Historie a zajímavosti fotovoltaiky

Základy fotovoltaiky byly položeny již roku 1839, kdy fotoelektrický jev objevil francouzský fyzik jménem Alexander Edmond Berquerel. Po více než 35 letech byl roku 1876 objeven stejný jev, ovšem pro krystaly selenu a zasloužil se o to Adams Richard E. společně s Williamem G. Několik let



potom byl v roce 1883 sestromen první fotovoltaický článek a zasloužil se o to Charles Fritts, který potáhl polovodivý selen tenkou vrstvou zlata. Tento článek měl ale velmi špatnou účinnost, která se měla pohybovat pouze okolo 1%. Jako první si konstrukci solárního článku však nechal patentovat v roce 1946 Russell Ohl, který se zasloužil o rozvoj křemíkových solárních článků. Na obrázku č. 15 můžete vidět solární panel z roku 1975, který je vystaven v muzeu Sunset.

Obrázek č. 15

Panely a jejich podoba tak, jak ji známe dnes, mají počátky v roce 1954, kdy v Bellových laboratořích při experimentech s krystalickým křemíkem byla zjištěna jeho vysoká citlivost na světlo. Výsledkem těchto experimentů byl fotovoltaický článek o účinnosti přibližně 6%. Zpočátku se tento význam fotovoltaiky uplatnil hlavně v kosmonautice, protože zde solární energie tvořila částečný zdroj elektrické energie pro družice. První družice, která na sobě měla fotovoltaické články, nesla název Vanguard 1 a byla vypuštěna americkými vědci na oběžnou dráhu země 17. 3. 1958.

- Prozatím největší solární elektrárnu na světě má Indie ve státě Gudžarát, která byla postavena v roce 2012 a její výkon činí 600 MW. Investiční cena celého projektu činila 2,3 miliard dolarů, což je v přepočtu okolo 44,1 miliard korun.
- Pro srovnání, největší solární elektrárna v České republice, která se nachází v obci Vepřek na Mělnicku a svůj provoz zahájila v září 2010, má výkon 35 MW a investiční náklady byly okolo dvou miliard.
- Fotovoltaický článek s největší účinností se povedlo vyvinout týmu vědců z Univerzity v Delaware společně s vědci Fraunhoferova Institutu pro solární energetické systémy. Docílili rekordních hodnot pohybujících se okolo 40%. Jde ale o výsledky, které nebyly podrobeny standardizovaným testům kompletně smontovaných fotovoltaických panelů.
- Jeden z fotovoltaických rekordů padl v Německu 25. května 2012, kdy veškeré německé solární elektrárny během jedné hodiny za příznivých podmínek vyrobily 22 GW elektrické energie. Toto množství energie lze přibližně srovnat s výkonem 20 jaderných elektráren v plném provozu. Německo ze sluneční energie pokrývá asi okolo 4 % roční spotřeby elektrické energie. V Německu mají energii z obnovitelných zdrojů pokrytou spotřebu více jak z 20%

Seznam nejznámějších výrobců fotovoltaických panelů:



Seznam nejznámějších výrobců střídačů:



Rodinný dům s fotovoltaickou elektrárnou, objekt mého pozorování

Jak jsem se již zmínil v úvodu, objekt se nachází v Rokytnici nad Jizerou, což je menší městečko v Krkonoších. Rodinný dům byl postaven v roce 2009. Majitel mi sdělil, že se stavbou fotovoltaické elektrárny na svém domě počítal již před zahájením celé stavby domu. Proto je jedna strana střechy domu orientovaná přímo na jih a pod úhlem okolo 35 stupňů pro dosažení co možná největší účinnosti. Maximální okamžitý výkon této fotovoltaické elektrárny je 14,4 kWp. Plocha, která je osazena panely, je cca 115 m². Dům je připojen do sítě v rámci zeleného bonusu a vzhledem k tomu, že byla fotovoltaická elektrárna uvedena do provozu před rokem 2010, je zelený bonus ve výši cca 12 Kč za kWh garantován na dobu 20 let od spuštění. Roční výroba fotovoltaické elektrárny se pohybuje okolo 13,5 MWh ročně. Pořizovací cena celé elektrárny přišla majitele v roce 2009 na přibližně 1,4 milionu korun. Dnes by ta samá elektrárna přišla na 500 000 tisíc korun.

- **Fotovoltaické panely:**

Používané panely jsou od výrobce Suntech.

Rozměry panelu jsou 160 cm x 80cm.

Výkon panelu činí 180W.

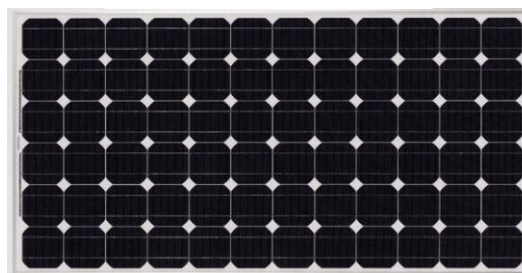
Cena panelu v roce pořízení byla přibližně 15 000 Kč.

Dnes, o více než 3 roky později, je ten samý panel již za cenu okolo 4 000 Kč.

Účinnost nového panelu je 15% z dopadající energie, ale ta v průběhu používání klesá. Vezmeme-li v úvahu, že účinnost poklesne o 1% ročně (tedy 1% z původních 15% je 0,15%) je patrné, že každý rok ztratí panel ze své účinnosti 0,15%. Dnes je tedy účinnost těchto panelů instalovaných v roce 2009 cca 14,5 %.

- **Střídač**

Součástí instalace je střídač značky Danfoss



- **Výpočty**

Vyplatí se mít fotovoltaickou elektrárnu na svém domě?



Porovnáme nyní **úspory** a **výnosnost** fotovoltaické elektrárny na rodinném domě postavené v roce 2009 s elektrárnou, kterou bychom postavili v roce 2013. Počítat budu se zaokrouhlenými údaji, které mi sdělil majitel objektu. Dále pro zjednodušení zanedbám roční úbytky účinnosti panelů a také meziroční změny zelených bonusů. Cenu za 1 kWh elektřiny stanovím z průměru cen během uplynulých let, která tedy vychází na 4,4 Kč za 1kWh, jelikož nevím přesný tarif.

Fotovoltaická elektrárna s výkonem 14,4 kWp

Investiční náklady: 1 390 000 Kč.

Roční výroba energie: 13 500 kWh

Roční přímá spotřeba vyrobené energie činí cca 50%, což je 6750 kWh

Cena za 1 kWh elektřiny: 4,4 Kč.

Zelený bonus v roce 2009: 11,91 Kč.

V rámci zelených bonusů:

Majitel ročně **utrží** za spotřebovanou energii:

$$13\,500 \times 11,91 = \mathbf{160\,785\,Kč}$$

Dále **uspoří** za spotřebovanou energii, kterou nemusel kupovat.

$$6750 \times 4,4 = \mathbf{29\,700\,Kč}$$

Celkem za rok **úspora + tržba** činí: **190 485 Kč**.

Návratnost investice:

$$\frac{1\,390\,000}{190\,485} = \mathbf{7,2\,let.}$$

Majiteli se investice z roku 2009 do fotovoltaické elektrárny pravděpodobně vrátí až po roce 2016

- **Současnost (2013)**

Jaká by byla návratnost stejné elektrárny za současných podmínek?

Budeme předpokládat, že zelený bonus vypsáný pro rok 2013, bude stejný i v následujících letech. Tedy budeme počítat, jako by byl stále garantován. Taktéž budeme přistupovat i k ceně silové elektrické energie.

Investiční náklady dnes: 500 000 Kč.

Roční výroba energie: 13 500 kWh

Roční přímá spotřeba vyrobené energie činí: cca 6750 kWh

Cena za 1 kWh elektřiny: 4,4 Kč.

Zelený bonus v roce 2009: 2,28 Kč.

Roční **tržba** za spotřebovanou energii:

$$13\,500 \times 2,28 = \mathbf{30\,780\,Kč}$$

Dále **úspora**, za spotřebovanou energii, kterou není třeba kupovat.

$$6750 \times 4,4 = \mathbf{29\,700\,Kč}$$

Celkem za rok **úspora + tržba** činí: **60 480 Kč**.

Návratnost investice:

$$\frac{500\,000}{60\,480} = \mathbf{8,2\,let.}$$

I přes veliký pokles podpory v rámci zelených bonusů je návratnost pouze o cca jeden rok delší. Hlavní příčinou je snížení nákladů investice. Pokles panelů byl zaviněn masivní výrobou panelů a konkurencí mezi jednotlivými firmami.

Také z těchto výpočtů vyplývá, že bylo výhodnější postavit elektrárnu již dříve. Návratnost se liší pouze o rok, ale podíváme-li se na celkové zisky poté, až se vrátí investice, vydělá elektrárna postavena v roce 2009 majiteli o **130 000 Kč/rok** více.

Majitel nemá smlouvu s distributorem o výkupu přebytků energie, a proto jde nespotebovaná energie do sítě zdarma.

- Emise



Fotovoltaická elektrárna na rodinném domě v porovnání s největší uhelnou elektrárnou České republiky v Dětmarovicích (Moravskoslezský kraj)

Poměry výkonů obou elektráren se v žádném případě nedají reálně srovnávat. Lze jen teoreticky uvažovat.

Uhelná elektrárna Dětmarovice

Výkon: 800 MW

Roční výroba energie: cca 2,5 TWh

Emise CO₂ : 700-1200 kg / MWh

Denní výroba energie: 6840 MWh

Spotřebované černé uhlí: 6400 tun / den

Z toho vyplývá roční výše vypuštěných emisí CO₂ do ovzduší: **1, 7– 3 miliony tun!**

Malá fotovoltaická elektrárna s výkonem 14,4 kWp a roční vyrobenou energií 13 500 kWh.

Ušetřené emise CO₂ ovzduší v tom případě jsou: **9,45-16,2 tun**. V poměru s celkovým množstvím vypuštěných emisí CO₂ uhelnou elektrárnou je toto číslo ušetřených emisí samo o sobě téměř zanedbatelné. Přesto však ušetříme **13,5 tun** uhlí, protože 1 kWh je přibližně 1 kg uhlí.

Přepočítání z excel tabulky pro výpočet emisí:

Typ znečišťující látky		Elektrárna systémová
Tuhé látky	kg/rok	1,24923214
SO ₂	kg/rok	23,5949143
NOx	kg/rok	20,0425821
CO	kg/rok	1,89482143
CxHy	kg/rok	1,88035714
CO₂	kg/rok	15669,6429

Podle uvedených čísel v tabulce jsou mé přibližné výpočty emisí CO₂ správné.

Kdybychom chtěli nahradit tuto uhelnou elektrárnu malými fotovoltaickými elektrárnami na rodinných domech o výkonu 14,4 kWp, potřebovali bychom jich více než **185 000!** To je celkem 2,6 GWp instalovaného výkonu a 23,4 km² plochy. Pro zajímavost rozloha města Hradec Králové je 105,6 km² takže plocha fotovoltaických panelů by zabrala více než $\frac{1}{4}$ jeho rozlohy.

Fotografie objektu v Rokytnici nad Jizerou:



Závěr

- Získávání energie z té solární má zatím velmi malé procento zastoupení mezi obnovitelnými zdroji. Nicméně s pohledem do budoucna si myslím, že právě energie získávaná ze slunce pomocí fotovoltaických elektráren má velkou šanci stát se jedním z hlavních prostředků k získávání energie. Žádný jiný prvek z obnovitelných zdrojů energie nemůže pokrýt celou potřebu lidstva. Podíváme-li se na vodní elektrárny, je k jejich postavení důležitá vhodná lokalita. Z toho je zřejmé, že počet vhodných míst pro vodní elektrárny je hodně omezen v porovnání s malými fotovoltaickými elektrárnami, které mohou být prakticky na každé střeše rodinného nebo panelového domu. Bioplynové stanice zase potřebují dovážet biomasu, ale sluneční energie je dostupná všude. Na druhou stranu vodní elektrárny a bioplynové stanice mohou pracovat i v noci. Fotovoltaická elektrárna bohužel ne. Větší problém ohledně elektráren získávajících energii ze slunce je takový, že i přes veškerou snahu vědců se nedaří přijít na správnou technologii a neumí zatím vyrobit takové články, které by dosahovaly vyšších účinností a získávaly by tak ze slunce více energie. Do budoucna by bylo dobré tento problém vyřešit. V nedávné době se objevily zprávy od vědců z USA z Kalifornie, že možná přišli na nový způsob technologie zachytávání světla pomocí jakési nanostruktury nanesené na povrch článků. Zatím je vše jen v počátcích a je otázkou, zda se skutečně vědcům podaří tímto způsobem dosáhnout vyšších účinností fotovoltaických článků.
- Po shrnutí informací o fotovoltaické elektrárně na rodinném domě si myslím, že by nebylo špatné nějakým způsobem naložit s energií, která se nespotřebuje a ani neprodá. Například ji akumulovat do akumulátorů a spotřebovat až v době, kdy to bude nutné. Později jsem však dohledal, že již takové systémy existují a nazývají se Hybridní fotovoltaické systémy.
- Nakonec bych rád poděkoval mému učiteli a koordinátorovi mé práce panu Ing. Luboši Malému, a majiteli domu panu Pavlu Janouškovi za poskytnutí cenných rad a informací.

Použité zdroje:

<http://www.ceska-solarni.cz/>

<http://www.solarenavi.cz/>

<http://oze.tzb-info.cz/>

<http://solar.mivvy.eu/>

<http://www.joyce-energie.cz/>

<http://www.isofenenergy.cz/>

<http://www.cenyenergie.cz/>

<http://www.chytryodberatel.cz/>

<http://www.svp-solar.cz/>

<http://www.solarity.cz/>

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

<http://www.nemakej.cz/>

<http://www.treals.cz/>

<http://www.silektro.cz/>

<http://www.cne.cz/>

<http://www.pwr.cz/>

<http://www.aulus.cz/>

<http://vtm.e15.cz/>

<http://my.okd.cz/>

<http://www.finance.cz/>

Informace od majitele domu.

Čestné prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem celou práci vypracoval sám.