

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra elektroenergetiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Václav Šmíd**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektroenergetika

Název tématu: **Uplatnění fotovoltaiky v elektrizační soustavě**

Pokyny pro vypracování:


1. Přístup ČR a EU k obnovitelným zdrojům
2. Základní legislativa
3. Obnovitelné zdroje energie (energie vody, větru, biomasy a solární energie)
4. Fotovoltaika (FV přeměna, panely, systémy, energie dopadající na plochu panelu)
5. Návrh fotovoltaického systému na rodinném domě

Seznam odborné literatury:


- [1] Obnovitelné zdroje energie 1, Technologie pro udržitelnou budoucnost.
František Janíček a kolektiv, 2007
- [2] Obnovitelné zdroje energie 2, Perspektivní přeměny a technologie.
František Janíček a kolektiv, 2010
- [3] Spolehlivost v elektroenergetice. Jiří Tůma, Stanislav Rusek, Zbyněk Martinek,
Igor Chemišinec, Radomír Goňo
- [4] Obnovitelné zdroje elektrické energie. Petr Mastný, Jiří Drápela, Stanislav Mišák,
Jan Macháček, Michal Ptáček, Lukáš Radil, Tomáš Bartošik, Tomáš Pavelka,
České vysoké učení technické v Praze, Praha 2011

Vedoucí: prof. Jiří Tůma Ing., DrSc.

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2017/2018


doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D.
vedoucí katedry



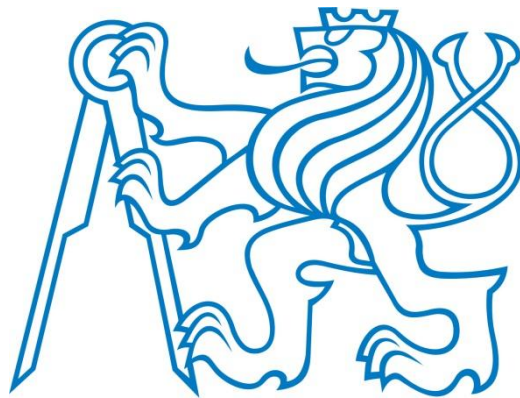

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 18. 4. 2016

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektroenergetiky



Uplatnění fotovoltaiky v elektrizační soustavě

Diplomová práce

Master's thesis

Bc. Václav Šmíd

Vedoucí diplomové práce: Prof. Ing. Jiří Tůma, DrSc.

Obor: Elektroenergetika

2016

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá fotovoltaikou a jejím uplatněním v elektrizační soustavě. Úvodní část je věnována základním informacím o obnovitelných zdrojích energie. Část práce je věnována přístupu Evropské unie k obnovitelným zdrojům energie a k tomu spojená základní legislativa. Následuje stručný popis obnovitelných zdrojů a poté už samotná fotovoltaika. Jsou zde popsány základní informace od vzniku elektrické energie až po hotové fotovoltaické moduly. V praktické části je vyhotovena finanční bilance fotovoltaické elektrárny na rodinném domě.

Klíčová slova

Obnovitelný zdroj energie, elektrizační soustava, solární energie, fotovoltaika, fotovoltaický článek, fotovoltaický modul, fotovoltaické pole

Abstract

This master thesis deals with photovoltaics and its application in power system . The introduction describes the basic information about renewable energy sources . Then follows the European Union's approach to renewable energy sources and related basic legislation. The following is a short description of renewable energy sources and then photovoltaics. It describes the information as generation of electrical energy up to photovoltaic modules. The practical part includes a financial balance of photovoltaic plant on a family house .

Keywords

Renewable energy, electric power systems, solar energy, photovoltaics, photovoltaic cell, photovoltaic module, photovoltaic field

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne:

.....

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Prof. Ing. Jiřímu Tůmovi, DrSc. za spoustu věnovaného času, velkou ochotu a množství důležitých připomínek.

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Obnovitelné zdroje energie	10
3	Přístup Evropské unie a ČR k obnovitelným zdrojům energie	12
3.1	Aktualizace státní energetická koncepce (ASEK).....	13
3.1.1	Současný stav energetiky České republiky	13
3.1.2	Očekávaný vývoj energetiky ČR do roku 2040	15
4	Základní legislativa	23
4.1	První kroky	23
4.2	Pracovní plán pro obnovitelné zdroje energie	24
4.3	Směrnice o obnovitelných zdrojích energie	24
5	Druhy obnovitelných zdrojů.....	25
5.1	Vodní energie	25
5.1.1	Koloběh vody v přírodě.....	25
5.1.2	Vodní elektrárny v České republice	25
5.1.6	Výhody a nevýhody vodních elektráren.....	27
5.2	Větrná energie.....	27
5.2.1	Využití větrných elektráren	28
5.2.2	Větrné elektrárny v České republice	28
5.2.3	Výhody a nevýhody větrných elektráren	29
5.3	Biomasa	29
5.3.1	Co je to biomasa.....	30
5.3.2	Výroba elektrické energie z biomasy	30
5.3.3	Biomasa v České republice	30
5.3.4	Výhody a nevýhody biomasy.....	31
5.4	Solární energie.....	31
5.4.1	Parametry slunečního záření	32

5.4.2	Využitelnost slunečního záření	33
5.4.3	Fototermální přeměna	34
6	Fotovoltaika.....	40
6.1	Oblasti využití fotovoltaických zdrojů	41
6.2	Vznik elektrické energie	41
6.3	Druhy fotovoltaických článků	42
6.3.1	Účinnost fotovoltaických článků.....	44
6.3.2	V-A charakteristika fotovoltaického článku.....	45
6.4	Fotovoltaické moduly	48
6.4.1	Struktura modulu.....	48
6.4.2	Struktura křemíkového modulu.....	49
6.4.3	Uspořádání FV článků v modulu	50
6.4.4	Ztráty	51
6.4.5	Bypass diody	52
6.5	Fotovoltaické systémy	54
6.5.1	Ostrovní systémy (grid-off).....	55
6.5.2	Síťové systémy (grid-on).....	55
6.5.3	Rozdělení podle velikosti FV systémů.....	57
6.5.4	Komponenty	57
7	Fotovoltaická elektrárna na rodinném domě	60
7.1	Použitá technologie.....	61
7.2	Způsob zapojení.....	62
7.3	Technická data teoretická a skutečná	65
7.4	Finanční bilance teoretická.....	69
7.5	Finanční bilance skutečná (2010 – 2015).....	74
8	Závěr.....	76
9	Literatura	78

10	Seznam použitých ilustrací a grafů a tabulek.....	80
----	---	----

1 Úvod

Diplomová práce se zabývá tématem fotovoltaika a její uplatnění v elektrizační soustavě. V teoretické části je shrnutí nejvyužívanějších obnovitelných zdrojů v České republice a poté důkladně rozebrána fotovoltaická část. Praktická část bude věnována návrhu fotovoltaického systému na rodinném domě.

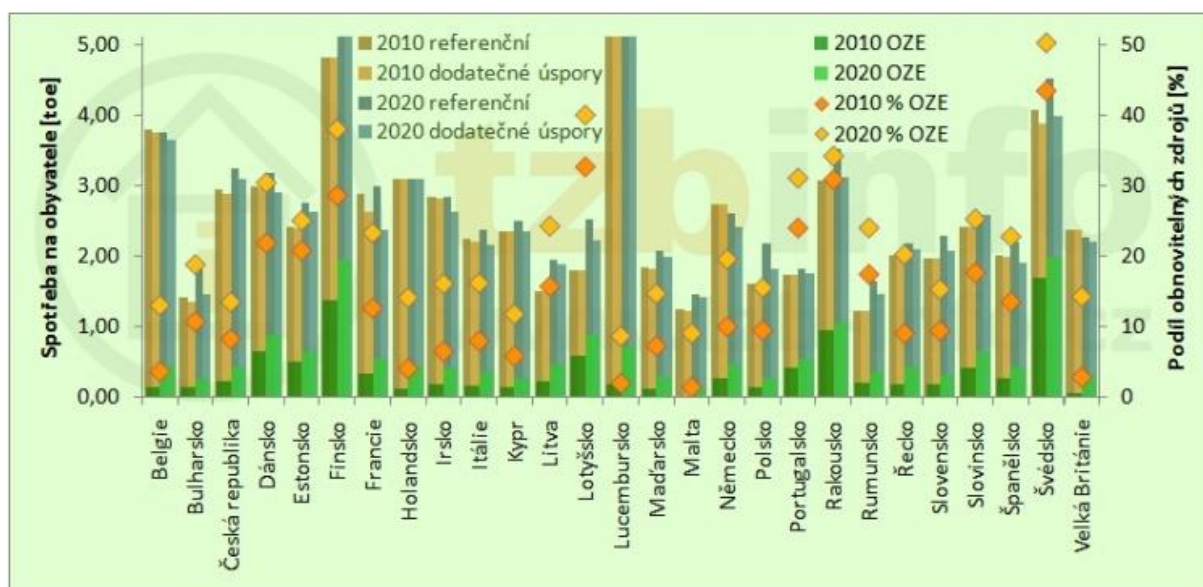
V úvodní části nahlédneme do přístupu Evropské unie a České republiky k obnovitelným zdrojům energie a k základní legislativě, která se k tomu vztahuje. V následující kapitole bude rozebráno, co jsou to obnovitelné zdroje energie a její konkrétní druhy. Na území České republiky je to převážně solární energie a biomasa, dále pak energie vodní a větrná. Samostatně se zde rozeberou všechny druhy obnovitelných zdrojů energie, aby se čtenář dozvěděl základní informace o konkrétním zdroji. Podrobněji se zde bude popisovat fotovoltaická část, která během posledních 10 let zažila největší vývoj ze všech obnovitelných zdrojů u nás. Fotovoltaická elektrárny byly hojně vystavovány, ale poslední dobou se spíše staví menší systémy na střechách domů.

V praktické části bude představen návrh fotovoltaického systému na střeše rodinného domu v Trutnově. Bude zde uvedena spousta věcí jako třeba druhy fotovoltaických modulů, měniče, typ konstrukce atd. Důvodem, proč se dnes staví fotovoltaika na střeše, je převážně finanční úspora díky vyrobené elektrické energii ze systému a to by měl být výsledek této práce.

2 Obnovitelné zdroje energie

Lidská společnost je závislá na zdrojích energie. Závisí na nich doprava, průmysl, služby i naše životní úroveň. V posledních letech je trendem stoupající spotřeba energie. Úměrně s rostoucím počtem obyvatel na Zemi a jejich životní úrovně roste i spotřeba. Důsledkem jsou nejen zničující se zásoby fosilních paliv.

Jedna z hlavních příčin spočívá v našem plýtvavém nakládání s přírodními zdroji a s energií. Jelikož neobnovitelné zdroje mají snadnou dostupnost, tak se v průmyslových zemích odstavují ostatní zdroje až na druhou kolej. Na neobnovitelných zdrojích je založena celá infrastruktura a na jejich podporu se vynakládá asi 90 % veřejných prostředků a prostředků na vědu a výzkum.



Obrázek 1: Celková spotřeba energie v přepočtu na jednoho obyvatele

Protože je nutné řešit ubývající zásobu klasických energetických zdrojů, je potřeba hledat vhodnou alternativu. Mezi tuto alternativu patří jaderná energetika, klasické zdroje a zvyšování jejich účinnosti a v neposlední řadě také obnovitelné zdroje energie.

Širšímu využití jaderné energie v současné době brání stále přetrvávající nedůvěra k bezpečnosti provozu těchto zařízení spojená například s havárií v Černobylu nebo nedávno ve Fukušimě. Další pocit nedůvěry může vyvolat to, že mohou být snadným cílem pro teroristické útoky a může také dojít ke zneužití radioaktivního materiálu pro výrobu zbraní, způsob ukládání vyhořelého paliva.

Získáváním energie z klasických fosilních paliv se uvolňují do ovzduší tzv. skleníkové plyny a další emise, které způsobují globální oteplování zeměkoule a mohou zhoršovat životní prostředí.

A proto se v dnešním vyspělém světě a zejména v Evropské unii ve velké míře uplatňuje politika ochrany životního prostředí. Počítá se s výrazným omezením skleníkových plynů, je tedy nutné hledat dostupné, bezpečné a udržitelné zdroje energie, které umožní zachování a rozvoj životní úrovně obyvatel.

Ať už se volí energie jaderná nebo energie z fosilních paliv nebo obnovitelné zdroje energie, nejdůležitější věcí je zajištění dostatečného množství elektrické energie. To je v první řadě závislé na přesnosti odhadu potřeb energie a správné bilanci výkonů energie v elektrizační soustavě, a to hlavně při plánování jejího rozvoje a při přípravě jejího provozu.

Aby byla zajištěna dodávka potřebného množství elektrické energie, musí být zajištěno, že maximální výkon zdrojů elektrizační soustavy je větší než maximální výkon odebíraný elektrospotřebiči včetně ztrát, a to v každém okamžiku. Vede to k požadavku vytváření jistého rezervního výkonu v elektrizační soustavě. Musí být splněny vztahy:

$$P_{max} = P_{z\ max} + P_r \quad (2.1)$$

$$A_{max} = A_z + A_r \quad (2.2)$$

kde P_{max} - maximální výkon zdrojů ES (MW)

$P_{z\ max}$ - maximum zátěže ES (MW)

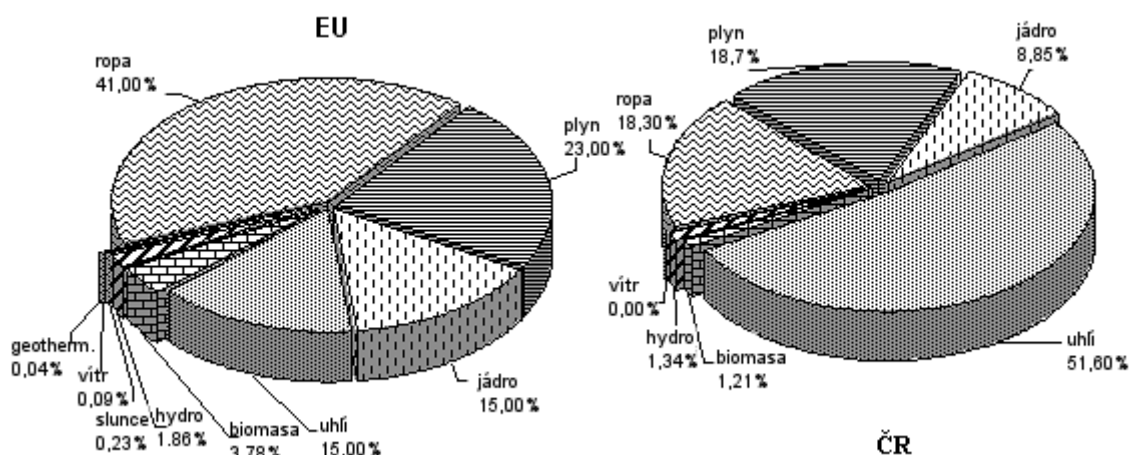
P_r - záložní výkon ES (MW)

Obdobně je značena energie A.

3 Přístup Evropské unie a ČR k obnovitelným zdrojům energie

Změny v oblasti energetiky nastaly nejen ve státech Evropské unie, ale i v celém světě. Liberalizace trhů s energetikou, při kterých se podstatně mění struktura skladby elektrizační soustavy a podstatně se rozšiřuje počet subjektů působících na energetické scéně, je aktuální na celém světě. EU vydala na zvládnutí a sjednocení těchto problémů určité řešení. Reformy se týkaly hlavně výroby od ostatních funkcí a zavedení konkurence do výroby. V současnosti se uvažuje o restrukturalizaci nejen na straně výroby, ale i v přenosu elektrické energie a v její distribuci na straně spotřeby. Podpora elektrické energie vyráběné z obnovitelných zdrojů je jednou z hlavních priorit EU. Využitelný potenciál obnovitelných zdrojů se v současnosti nevyužívá dostatečně. EU uznává potřebu podporovat obnovitelné zdroje prioritně za předpokladu, že bude jejich využívání přispívat k ochraně životního prostředí.

Podíl primárních energetických zdrojů na výrobu elektrické energie ve státech EU je znázorněný na obrázku 2, ze kterého je zřejmé, že většina elektrické energie je získávána z fosilních a jadrových paliv.



Obrázek 2: Struktura primárních zdrojů

Víc jako 60 % průměrné spotřeby energie pokrývají státy EU dovozem. Ke snížení závislosti států od dovozu energetických zdrojů může přispět využívání obnovitelných zdrojů energie, které mohou výrazně přispět ke snížení negativních dopadů na životní prostředí. Pro posílení energetické soběstačnosti klade EU větší důraz na obnovitelné zdroje. V roce 2006 měla EU cíl, aby státy do roku 2010 dosáhly 12 % podíl obnovitelných zdrojů na celkové spotřebě energie. Na obrázku 1 je vidět, jak jednotlivé státy uspěly. V roce 2015 se podíl OZE na vyrobené energii v EU dostal na úctyhodných

29 %. V konkrétních číslech to dělalo 87 terowatt hodin. Nárůst oproti roku 2014 byl o 2,5 % a bylo to hlavně díky třem zemím, jimiž jsou Německo, Velká Británie a Itálie.

3.1 Aktualizace státní energetické koncepce (ASEK)

V květnu 2015 schválila vláda České republiky Aktualizace státní energetické koncepce, což je klíčový dokument v oblasti energetiky. Dokument pojednává o tom, jak bude probíhat rozvoj české energetiky v příštích 25 letech.

ASEK musí zajistit dodávku energie s ohledem na bezpečnost, spolehlivost a šetrnost k životnímu prostředí pro obyvatele a státní ekonomiku. ASEK také zodpovídá za to, aby Česká republika měla k dispozici stálé dodávky energie i v případě, že by nastala krizová situace. Důvodem, proč tato Aktualizace vznikla, bylo to, že předchozí státní energetická koncepce z roku 2004 byla v mnohém překonána a díky množství změn, které se v energetice a v evropské ekonomice udály, již byla nedostačující. Dalším důvodem byla také snaha o plnění evropských cílů v oblasti energetiky. Díky této změně bude Česká republika schopna vyhovět požadavkům Evropské unie.

Prostřednictvím Aktualizace státní energetické koncepce přebírá stát odpovědnost za dlouhodobé fungování v energetickém sektoru. Tam, kde je volný trh efektivní, se ASEK spoléhá na jeho fungování a využívá tržní mechanismy. Avšak kupříkladu energetická infrastruktura, věda a výzkum a výchova energetických expertů jsou oblastmi, kde stát musí disponovat jasnými prioritami a nespolehat se pouze na krátkodobé tržní signály.

ASEK slouží také pro rozpoznání mechanismů zabezpečující bezpečnost státu s ohledem na zásobování energiemi. Hlavním cílem je udržet plnou nezávislost v oblasti dodávek elektřiny a tepla, ale nepočítá se nějakým větším vývozem vyrobené energie. Abychom docílili i vývozu vyrobené energie, bude to možné pouze pomocí jaderné energetiky. Tímto tématem se bude do detailů zabývat Národní akční plán jaderné energetiky, který bude na schválenou aktualizaci navazovat.

3.1.1 Současný stav energetiky České republiky

Energetika ČR prošla dlouhodobým vývojem a zaznamenala velký pokrok za poslední léta. OECD oceňuje především snahu ve zlepšení v energetické politice a politice ochrany klimatu, dále pak pokrok v zajištění bezpečnosti u ropy a plynů, velký posun v liberalizaci trhu s elektřinou a také přínos v rozvoji trhu s elektřinou ve Střední Evropě.

Jedním z hlavních pokroků udělala ČR ve zmenšování dopadů energetiky a průmyslu na životní prostředí. V dnešní době si mnoho lidí myslí, že klíčovým ukazatelem toho, jak moc jsme šetrní k životnímu prostředí, jsou emise CO₂. Ve skutečnosti tomu ale tak není. Snižování emisí CO₂ je spíše závazkem politickým, než že by měl vliv přímo na zdraví obyvatel. Daleko důležitějším

aspektem jsou lokální emise polétavého prachu. Problémem je, že do sebe tento prach vstřebává škodlivé látky a ty se pak dostávají v koncentrované podobě do našeho organismu díky dýchání. Jsou to také emise SO₂ a NO_x. Tyto emise jsou vyvolány hlavně díky neefektivnímu spalování tuhých paliv (včetně biomasy) a dopravou.

Jednou ze silných stránek České republiky je soběstačnost ve výrobě elektřiny a tepla. Spotřeba primárních energetických zdrojů je v ČR asi 50 % kryto domácími zdroji. Dovoz je tedy také okolo 50 % (včetně jaderného paliva) a patří k nejlepším hodnotám v celé Evropské unii, kde je průměr okolo 60 %. Struktura zdrojů v ČR je stabilní. Nejzásadnější změnou v posledních 10 letech bylo postavení naší druhé jaderné elektrárny Temelín. Díky relativně dobré podpoře obnovitelných zdrojů se změnil podíl jednotlivých typů OZE u výroby. Dříve to byly převážně jen vodní elektrárny, ale v dnešní době už jim slušně konkuruje také biomasa a fotovoltaika. Problémem ale zůstává, že i při významné finanční podpoře obnovitelných zdrojů nám OZE nedokážou nahradit fosilní zdroje. Podíl výroby tepla z domácích paliv je asi 60 % a u soustav zásobování teplem je to více než 80 %. V ČR máme dobře zavedenou kombinovanou výrobu elektřiny a tepla, kde u středních a velkých zdrojích je podíl kogenerace téměř 70 % z celkové hrubé výroby tepla. Na celkové výrobě tepla tvoří podíl kogenerační výroby tepla necelou polovinu. Výhodou u kogenerace je vysoký stupeň využití energie paliva. Díky kogeneraci je také vyráběno 12-13 % hrubé výroby elektřiny. Do budoucna je důležité zefektivnit využití vyrobené elektřiny a tepla. U nás se nejčastěji jako palivo používá hnědé a černé uhlí v soustavách zásobování teplem. Teplárny, které používají kogenerační výrobu, mají také nejvíce efektivní využití biomasy a zároveň se tím z hlediska technicko-ekonomického řeší emise, kde je úroveň koncentrace škodlivin na přijatelné úrovni.

Obnovitelné zdroje energie (OZE), mezi které patří energie větru, vody, biomasy a bioplynu, slunečního záření, geotermální energie a energie kapalných biopaliv, se podílely v roce 2010 v ČR hrubou výrobou elektřiny 8,3 % na hrubé spotřebě elektřiny. Národní cíl pro ten rok byl 8 %, tudíž byl splněn, což můžeme brát jako pozitivum. Podíl hrubé výroby OZE z hlediska tepelné energie na celkové výrobě tepelné energie činí asi 8 %. Státní energetická koncepce souhlasí s Národním akčním plánem České republiky pro energie obnovitelných zdrojů a snaží se docílit toho, aby bylo za určité sledované období dosaženo plného využívání potenciálu biomasy, které bylo stanovené Akčním plánem pro biomasu a splňovalo požadavky na ochranu životního prostředí a také zajištění potravinové bezpečnosti. Biomasa má jako jediná z OZE dostatečné množství pro potřeby teplárenství, protože ostatní zdroje jsou z technických a jiných důvodů omezené. Významným zdroje může být geotermální energie, ale ta má v ČR zatím neověřený potenciál. Tento potenciál bude předmětem studie, která bude vyhledávat vhodné lokality pro využití tohoto typu obnovitelného zdroje. Dalším problémem u tohoto typu jsou momentálně vysoké náklady. Dalšími typy jsou energie vody a větru, ale ty v teplárenství moc využití nemají. U sluneční energie je problémem nedostatečný potenciál pro centralizované dodávky tepla. Očekává se nárůst využití bioplynu hlavně v zemědělství. Obecně je

podpora biomasy prorůstové opatření z pohledu českých výrobců. Úspora produkce skleníkových plynů je u biomasy realizována s nejnižším nákladem na cenu uspořené tuny CO₂. Při spalování biomasy je také problém s dalšími druhy emisí (polévatý prach) a v některých případech jsou vyšší než nejen u spalování zemního plynu, ale i u spalování uhlí. To je jedním z hlavních důvodů, proč je nutné zajistit technologický vývoj prostředků na omezení tohoto problému.

Česká republika se zavázala, že do roku 2020 bude 13 % hrubé konečné spotřeby kryto z obnovitelných zdrojů. K tomuto se samozřejmě váží i další požadavky, jako jsou environmentální normy ochrany ovzduší, půdy a vody a udržet deficit státního rozpočtu na HDP menší než 3 %. Nastává potom ale problém konkurenceschopnosti Evropské unie vůči vyspělým státům nebo státům rychle se rozvíjejícím, které mají nižší náklady na výrobu energie a také mají nižší závazky a požadavky na ochranu životního prostředí. Mezi tyto státy řadíme Čínu, USA, Brazílie, Indie. V dnešní době si nemůžeme být jistí ohledně společné politiky v roce 2020, ale i tak se bude ČR snažit, aby splnila požadavky ve výši 13 % na OZE za přijatelných podmínek. Tohoto cíle nelze dosáhnout bez podpory, která by měla být flexibilní, nízká, postupně utlumovaná a v pozdějším období zaměřená na technologicky a ekonomicky perspektivní zdroje. I u OZE musí fungovat princip konkurence různých zdrojů a technologií. V případě ekonomicky nerovnoměrné zátěže při plnění požadavku na cíl pro OZE existují i doplňující řešení. Mezi tyto řešení patří např. „statistické převody“ z jiných států EU, společné projekty v zahraničí atd. Např. v situaci, kdy zdroje v Německu neúměrně zatěžují síť v naší republice, by takové řešení bylo příkladem mezinárodní spolupráce, kdy stát s vhodnějšími podmínkami pro OZE staví zdroje a další stát posiluje naopak infrastrukturu, aby mohla celá oblast dobře a spolehlivě fungovat a také země s nadměrnou instalací zdrojů by se měly na nákladech v regionu, kde nastanou problémy s kapacitou sítě, podílet.

3.1.2 Očekávaný vývoj energetiky ČR do roku 2040

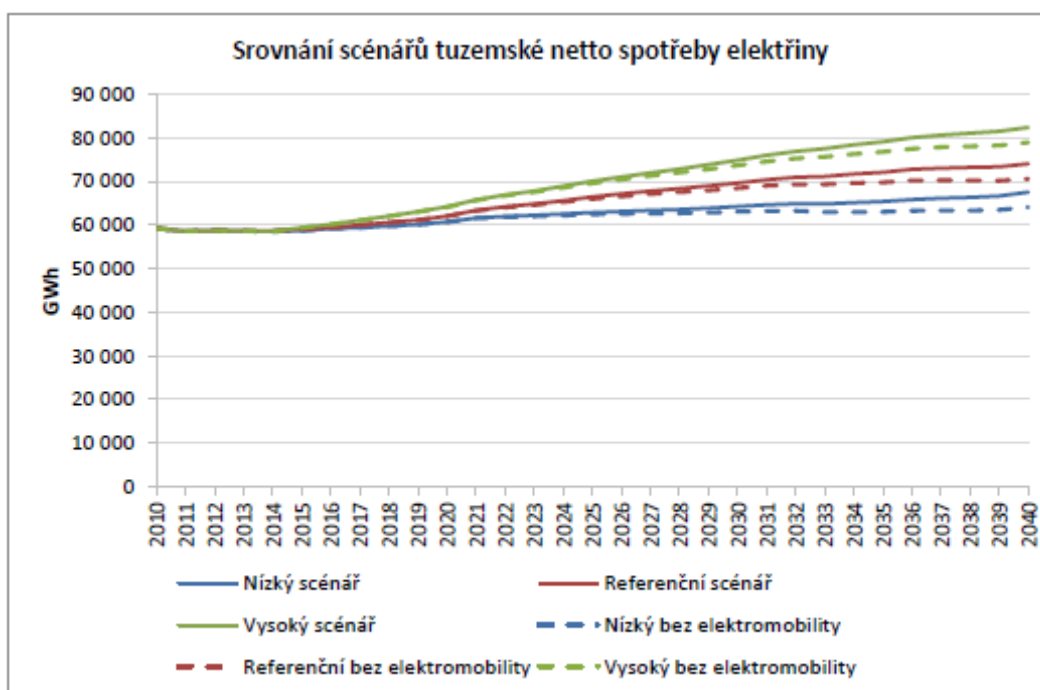
V této kapitole uvádíme jeden z možných scénářů vývoje energetiky ČR v dlouhodobém časovém horizontu a v souladu se zadáním SEK. Jsou zde předem stanovené předpoklady a očekávané vývoje technologií, Jedná se tedy jen o ilustraci jednoho z možných scénářů v rámci doporučených koridorů. Tato prognóza vychází z aktuálně dostupných informací a expertních odhadů u vstupních parametrů. Je tady velká míra nejistoty, protože v případě, kdy by došlo k nějaké významné změně vstupních parametrů, tak by došlo i ke změně předpokládané prognózy.

3.1.2.1 Základní vstupy do modelu

Mezi klíčové vstupy optimalizovaného scénáře vývoje energetické bilance ČR patří:

- Respektování již přijatých závazků ČR: ^[7]
- Klimaticko-energetický balíček

- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/27/EU ze dne 25. října 2012 o energetické účinnosti, o změně směrnic 2009/125/ES a 2010/30/EU a o zrušení směrnic 2004/8/ES a 2006/32/ES
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/75/EU ze dne 24. listopadu 2010 o průmyslových emisích (integrováné prevenci a omezování znečištění)
- Akční plán pro biomasu
- Národní akční plán ČR pro energii z OZE
- Národní akční plán energetické účinnosti ČR
- Plán odpadového hospodářství ČR (2003)
- 3 scénáře spotřeby elektřiny (nízký, referenční a vysoký). Z grafu 1 můžeme vidět vývoj spotřeby elektřiny netto a spotřeby elektřiny bez uvažování elektromobility. ^[7]



Graf 1: Srovnání scénářů netto spotřeby elektřiny

- Očekávaný průměrný růst HDP ve stálých cenách roku 2005 mezi lety 2012 až 2040 je pro referenční scénář spotřeby elektřiny uvažován o velikosti 1,92 %. ^[7]
- Provoz JETE za rok 2040 a JEDU do období mezi lety 2034 až 2036 a v návaznosti na jejich postupné odstavování dále výstavba nových zdrojů s výrobou cca 30 TWh ^[7]

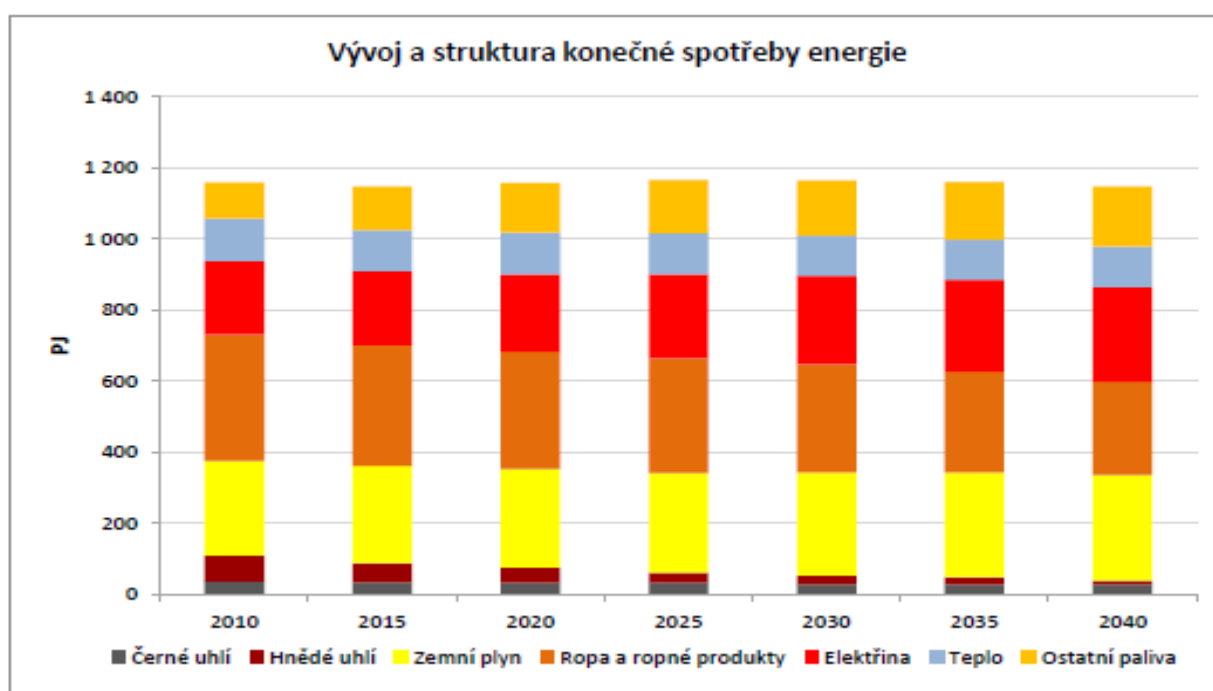
v horizontu ASEK, přičemž tyto zdroje by měly být do elektrizační soustavy připojeny mezi lety 2033 až 2037 podle predikce bilance výroby a spotřeby. ^[7]

- Pro vývoj cen zdrojů byly využity expertní odhady MPO, jakož i odhady Mezinárodní energetické agentury a Evropské komise. Pro predikce investičních nákladů do energetické infrastruktury byly použity vlastní odhady zpracované na MPO a údaje dodané provozovateli energetické infrastruktury. ^[7]
- Disponibilita OZE v souladu s Národním akčním plánem pro OZE do roku 2020, dále v souladu s Akčním plánem pro biomasu a výstupy z projektu Národního Akčního Plánu pro inteligentní síť. ^[7]

3.1.2.2 Vývoj a struktura konečné spotřeby energie

Konečná spotřeba energie		2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
černé uhlí	PJ	35	32	31	31	27	27	27
hnědé uhlí	PJ	74	56	45	30	26	20	11
zemní plyn	PJ	266	273	277	281	290	295	298
ropa	PJ	354	340	329	323	305	283	260
elektrina	PJ	208	207	219	236	249	259	267
teplo	PJ	120	117	116	116	112	114	114
ostatní paliva	PJ	101	122	139	149	156	162	169
celkem	PJ	1158	1147	1156	1166	1165	1160	1146

Tabulka 1: Vývoj a struktura konečné spotřeby energie



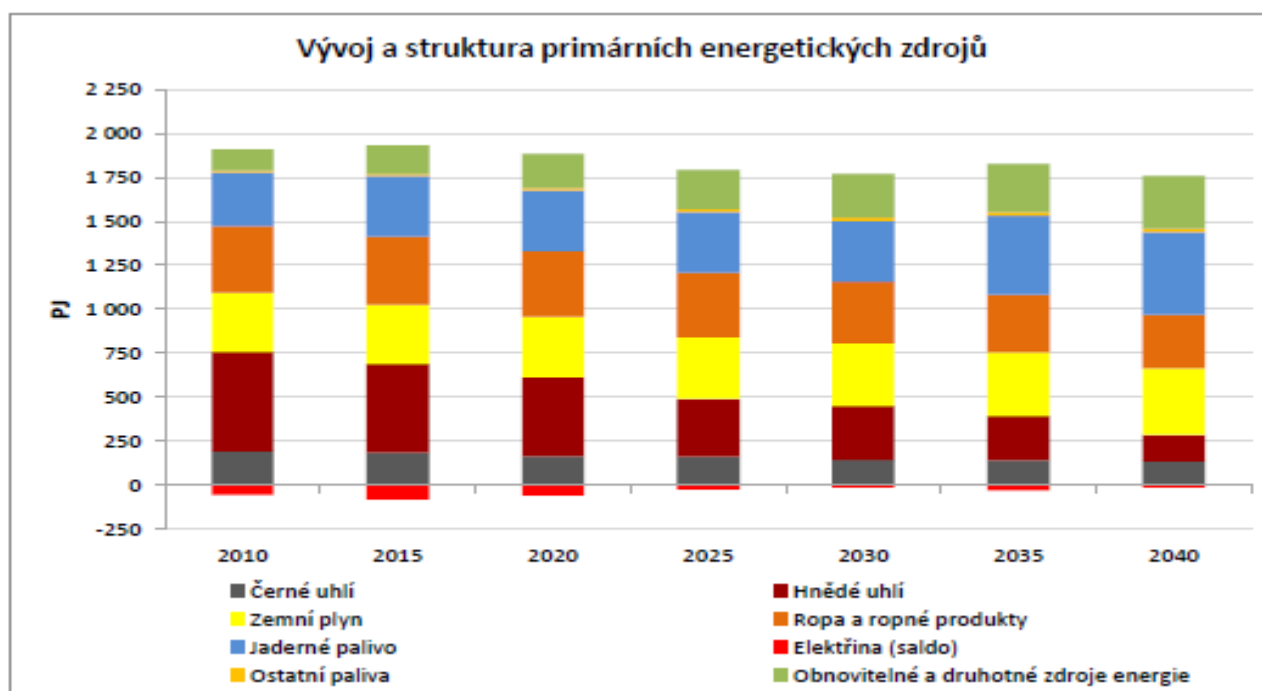
Graf 2: Vývoj a struktura konečné spotřeby energie

Mírný růst spotřeby se očekává u plynu a také změna vnitřní struktury spotřeby, protože poklesne spotřeba na teplo v domácnostech a vzroste naopak spotřeba v průmyslu. V domácnostech se budou nahrazovat tuhá paliva zemním plynem, ale spotřeba se nebude nějak výrazně zvyšovat, protože u budov se předpokládá v budoucnu vyšší energetická efektivnost.

3.1.2.3 Vývoj a struktura primárních energetických zdrojů (PEZ)

PEZ		2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
černé uhlí	PJ	194	185	164	163	144	143	136
hnědé uhlí	PJ	564	505	449	330	307	253	150
zemní plyn	PJ	336	339	344	348	307	253	150
ropa	PJ	378	385	374	366	348	326	301
jaderné palivo	PJ	305	343	343	343	343	449	470
elektřina (saldo)	PJ	-54	-80	-59	-22	-12	-30	-13
ostatní paliva	PJ	10	13	14	17	19	20	20
OZE a druhotné zdroje	PJ	119	161	196	224	248	274	300
celkem	PJ	1852	1851	1825	1769	1704	1688	1514

Tabulka 2: Vývoj a struktura primárních energetických zdrojů



Graf 3: Vývoj a struktura primárních energetických zdrojů

V letech od 2010 až do 2040 se díky úsporám energie očekává značný pokles jednotkové spotřeby tepla jak v decentralizované výrobě, tak i v soustavách zásobování teplem. Opačně bude působit malý nárůst rozsahu vytápěných ploch v domácnostech (díky zvyšujícímu se komfortu a obytné ploše na obyvatele), ale hlavně v sektoru služeb (nová sportovní, obchodní a kulturní centra). Celkový pokles spotřeby bude tedy mírnější. Naopak ve spotřebě elektřiny je předpokládán mírný nárůst, protože

některá racionalizační opatření v oblasti spotřeby energie bude doprovázena přechodem k elektřině (např. elektromobilita, tepelná čerpadla). V domácnostech lze naopak očekávat mírný pokles spotřeby elektřiny díky používání energeticky úspornějších spotřebičů. Na druhou stranu to bude kompenzováno rostoucími požadavky na komfort v domácnostech a nárůstem jejich počtu.

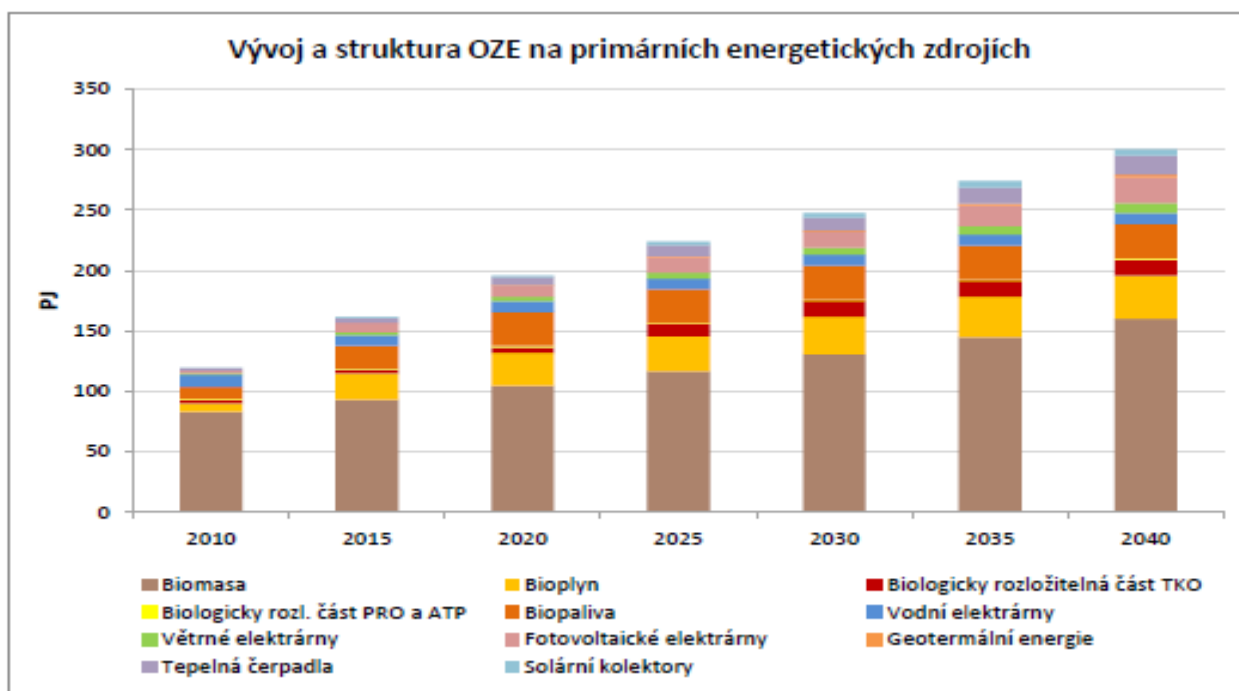
Ve struktuře primárních energetických zdrojů roste především podíl obnovitelných a druhotných zdrojů energie zejména biomasy a odpadů, neboť se jedná o významné energetické zdroje ČR. Naopak podíl hnědého uhlí, které je současný hlavní tuzemský zdroj, do roku 2025 značně klesne, jak můžeme vidět v grafu 3, a je to především díky transformaci a modernizaci energetiky. Po roce 2025 je klesající trend způsoben klesající těžbou. Mezi lety 2035 a 2040 opět dochází k poklesu využití hnědého uhlí, ale v následujících letech už by měla spotřeba být stabilní a počítá se s ní dlouhodobě, tzn. i v letech po roce 2040. Můžeme očekávat nárůst podílu zemního plynu, protože to bude částečná náhrada za hnědé uhlí. U černého uhlí počítáme s výrazným poklesem těžby a palivo do tepláren, koksáren a elektráren bude nutné dovážet ze zahraničí. Mezi roky 2030 a 2035 je změna ve struktuře PEZ způsobena především kvůli výstavbě nových jaderných bloků, které budou působit i jako náhrada za stávající bloky.

3.1.2.4 Vývoj a struktura OZE na primárních energetických zdrojích

Obnovitelné a druhotné zdroje energie		2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
biomasa	PJ	83	93	105	117	130	145	160
bioplyn	PJ	7	22	27	29	31	34	36
biologicky rozložitelná část TKO	PJ	3	3	5	10	13	13	13
biologicky rozložitelná část PRO a ATP	PJ	1	1	1	1	1	1	1
biopaliva	PJ	10	18	28	28	28	28	28
vodní elektrárny	PJ	10	9	9	9	9	9	9
větrné elektrárny	PJ	1	2	4	5	6	7	8
fotovoltaické elektrárny	PJ	2	8	9	13	13	17	21
geotermální energie	PJ	0	0	1	1	1	2	2
tepelná čerpadla	PJ	2	4	6	9	11	13	16
solární kolektory	PJ	0,4	1	1,5	3	3,5	5	5
celkem	PJ	119,4	161	190,5	225	246,5	274	299

Pozn.: TKO – tuhý komunální odpad, PRO – průmyslové odpady, ATP – alternativní paliva

Tabulka 3: Vývoj a struktura OZE na primárních energetických zdrojích



Graf 4: Vývoj a struktura OZE na primárních energetických zdrojích

Ve sledovaném období můžeme vidět trvale rostoucí charakter celkové výše obnovitelných zdrojů. Tento trend se snaží o maximální možné využití tohoto tuzemského zdroje, ale za předpokladu, že dojde k jeho ekonomické návratnosti a také zároveň snahu o co nejmenší dopady na rozpočet státu a jeho obyvatelstvo. Hlavním důvodem rozvoje v této oblasti tak bude co nejvyšší konkurenceschopnost konvenčním zdrojům energie.

Mezi zdroje s největším potenciálem do budoucna řadíme biomasu, a to převážně cíleně pěstovaná, u které je předpokládáno postupné využití maxima dostupných zdrojů při zachování všech omezení, jako je například potravinová bezpečnost. Vše je uvažováno v souladu s Akčním plánem pro biomasu.

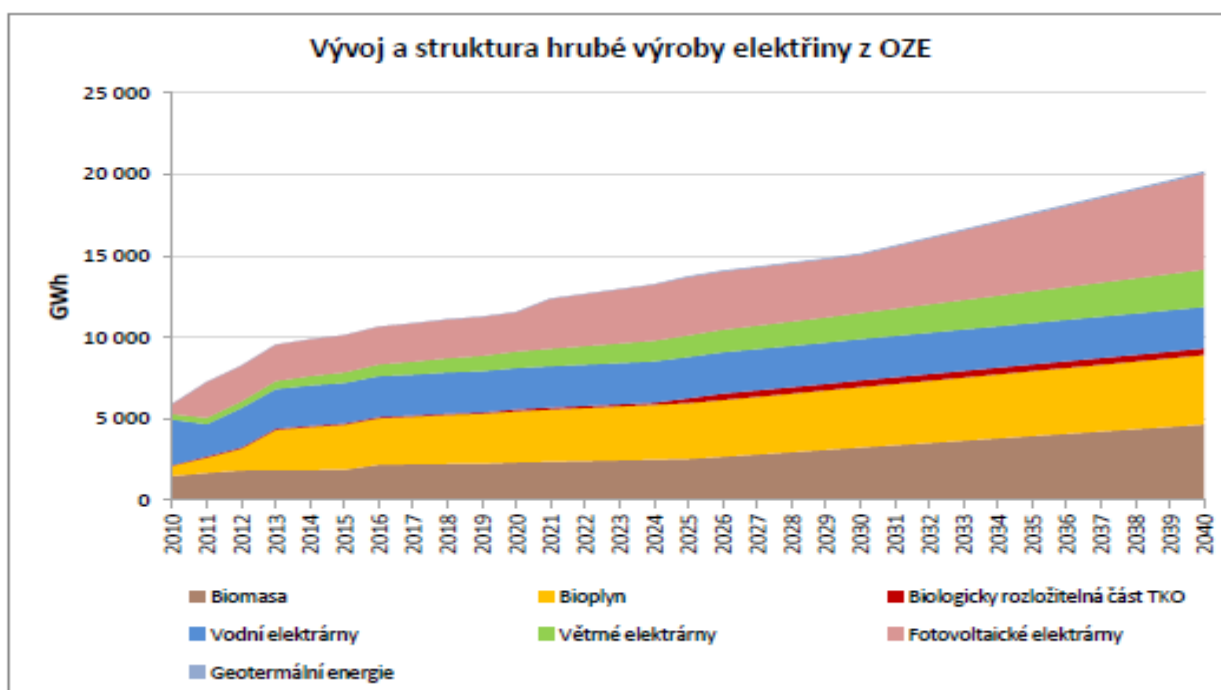
U dalších zdrojů stojí za zmínku opětovný nárůst FV po roce 2025 v návaznosti na dosažení její plné konkurenceschopnosti, ale je nutné započítat významný objem akumulace. Mezi lety 2025 až 2030 nedochází k růstu instalovaného výkonu, v oblasti fotovoltaiky, jako bychom mohli předpokládat. Důvodem je to, že nově postavené fotovoltaické elektrárny budou nahrazovat ty stávající, protože budou na konci jejich životnosti. Po roce 2030 bude opět pokračovat růst instalovaného výkonu ve fotovoltaice. V souvislosti s tím se předpokládá využití hlavně na střechách a jiných částech budov a to tak, abychom byly v souladu s ochranou památek a jinými technickými omezeními. Očekává se využití více jak poloviny plochy všech střech na rodinných domech a v průmyslových objektech to bude více jak 70 %. Naopak se nepočítá s rozšiřováním FVE na zemědělských půdách. Naopak se budou zemědělské plochy navracet v případech, kdy bylo vyjmutí ze zemědělského půdního fondu pouze dočasné.

Postupný nárůst bude také u využívání odpadů za předpokladu využití 100 % spalitelné složky odpadu nevhodného pro recyklování. U větrné energie se předpokládá, že bude dosaženo plné využití potenciálu. Budou se muset respektovat všechny omezující faktory včetně ochrany krajinného rázu. Důležitou část bude tvořit využívání tepelné energie pomocí tepelných čerpadel.

3.1.2.5 Vývoj a struktura hrubé výroby elektřiny z OZE

OZE		2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
biomasa	GWh	1492	1879	2331	2540	3243	3946	4648
bioplyn	GWh	634	2754	3121	3416	3696	3976	4256
biologicky rozložitelná část TKO	GWh	36	91	138	310	425	425	425
vodní elektrárny	GWh	2789	2475	2522	2524	2526	2528	2529
větrné elektrárny	GWh	335	647	1013	1328	1598	1945	2291
fotovoltaické elektrárny	GWh	615	2275	2403	3567	3567	4725	5883
geotermální energie	GWh	0	0	18	55	69	92	138
celkem	GWh	5901	10121	11546	13740	15124	17637	20170

Tabulka 4: Vývoj a struktura hrubé výroby elektřiny z OZE



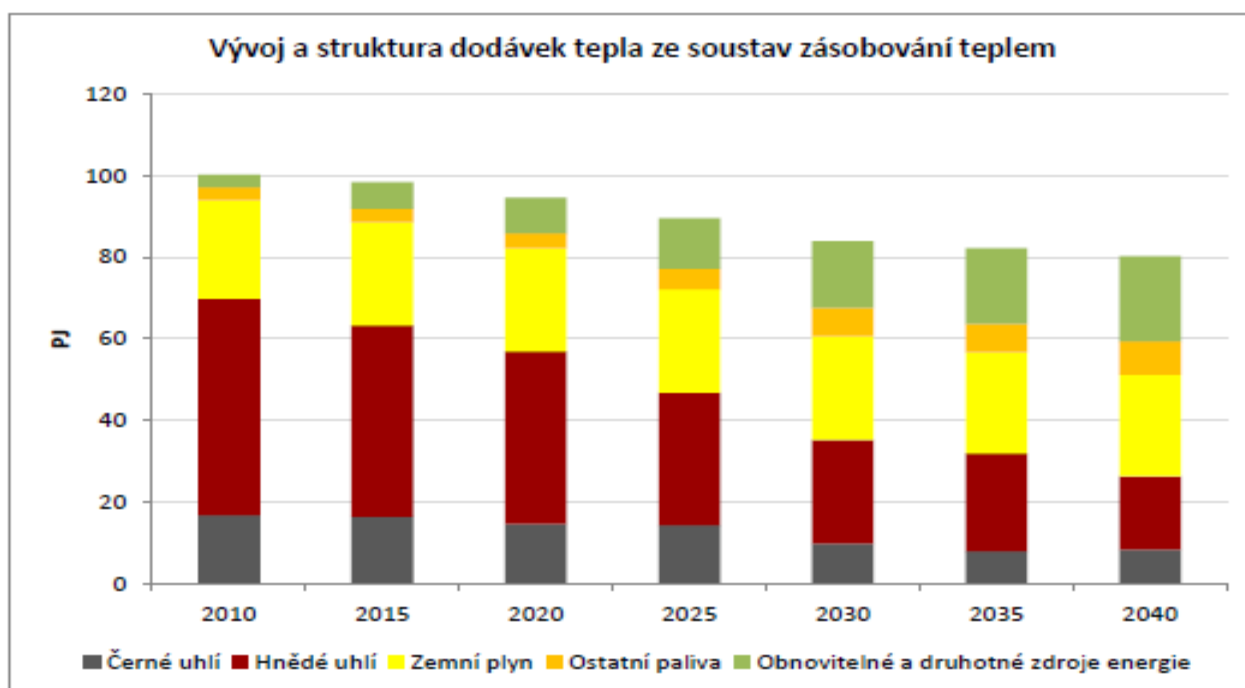
Graf 5: Vývoj a struktura hrubé výroby elektřiny z OZE

Celková výroba elektřiny z OZE mezi roky 2010 a 2040 stále roste. Jak už bylo zmíněno, je to hlavně díky snaze o konkurenceschopnost vůči konvenčním zdrojům energie. Jedinou výjimkou je vodní energie, u které je její energetický potenciál prakticky vyčerpán. Můžeme zde pozorovat předpoklad dalšího rozvoje bioplynových stanic a FVE. Rozvoj výroby elektřiny z biomasy a odpadu je trvalý až do vyčerpání potenciálu České republiky.

3.1.2.6 Vývoj a struktura dodávek tepla ze soustav zásobování teplem

STZ		2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
černé uhlí	PJ	17	16	15	14	10	8	8
hnědé uhlí	PJ	53	47	42	32	25	24	18
zemní plyn	PJ	24	25	25	25	25	25	25
ostatní paliva	PJ	3	3	4	5	7	7	8
OZE	PJ	3	7	9	12	16	19	21
celkem	PJ	100	98	95	88	83	83	80

Tabulka 5: Vývoj a struktura dodávek tepla ze soustav zásobování teplem



Graf 6: Vývoj a struktura dodávek tepla ze soustav zásobování teplem

V letech 2010 až 2040 můžeme očekávat docela významný pokles spotřeby v soustavách zásobování teplem, a to hlavně díky úspornými opatřeními na straně konečné spotřeby, ale i rozvodů tepla. Ve struktuře soustav zásobování teplem roste značně podíl OZE, a to především biomasy a odpadů a naopak podíl dnes nejpoužívanějšího prvku, čímž je kvalitní hnědé uhlí, bude značně klesat. Mírné meziroční navýšení spotřeby bude mít zemní plyn, což můžeme brát jako počátek dlouhodobějšího trendu vyššího využívání zemního plynu u středních a malých teplotních systémů.

4 Základní legislativa

Jak už bylo řečeno, EU patří mezi organizace, které kladou důraz na obnovitelné zdroje. Podporuje technologie využívající nové a obnovitelné formy energie a také vývoj nízkouhlíkových technologií. Koncepti energetické strategie EU můžeme shrnout do několika bodů:

- podpora investic energetiky a infrastruktury a inovačních technologií kvůli stále se zvyšující poptávce po energii
- podpora snížení energetické závislosti na třetích zemích a podpora zvyšování konkurenceschopnosti energií z domácích zdrojů
- podpora vnitřního trhu s energií, vzájemná propojení a s tím spojené stanovení právních a regulačních rámců
- podpora diverzifikaci energetických zdrojů
- podpora snížení vlivu výroby a spotřeby energií na životní prostředí
- podpora snahy o zvýšení energetické účinnosti
- podpora energetických úspor v celém spektru energetické spotřeby

4.1 První kroky

V roce 1997 byla přijata bílá kniha o obnovitelných zdrojích energie a EU-15 si následně stanovila cíl do roku 2010 vyrábět 12 % hrubé domácí spotřeby energie a 22,1 % spotřeby elektřiny z obnovitelných zdrojů. K dosažení tohoto cíle byly ve směrnici 2001/77/ES (o podpoře elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů energie na vnitřním trhu s elektřinou) stanoveny vnitrostátní orientační cíle pro podíl spotřeby elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů energie. Tato směrnice tvoří nezbytnou součást balíčku opatření, která je třeba provést, má-li EU dostát svým závazkům v oblasti snížení emisí skleníkových plynů v rámci Kjótského protokolu. Po rozšíření v roce 2004 se vnitrostátní orientační cíle, které byly ve smlouvách o přistoupení stanoveny pro podíl elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů energie v každém novém členském státě, spojily v celkový cíl 21 % pro EU-25. I přes tato opatření dosáhl podíl obnovitelných zdrojů na hrubé domácí spotřebě energie v EU-27 v roce 2006 míry 7,1 % (z toho 66,1 % z biomasy, 20,5 % z vodní energie, 5,5 % z větrné energie, 4,3 % z geotermální energie a 0,8 % ze solární energie) a hrubá spotřeba elektřiny z obnovitelných zdrojů podílu 14,7 %. Z tohoto nedostatečného pokroku k dosažení cílů z roku 2010 vyplynulo, že je nutné vytvořit komplexnější právní rámec. ^[8]

4.2 Pracovní plán pro obnovitelné zdroje energie

V lednu 2007 Komise vydala sdělení s názvem „Pracovní plán pro obnovitelné zdroje energie – Obnovitelné zdroje energie v 21. století: cesta k udržitelnější budoucnosti“ s cílem posílit podporu a využívání energie z obnovitelných zdrojů a usnadnit plnění dvou propojených cílů, zvýšení bezpečnosti dodávek energie a snížení emisí skleníkových plynů. Pracovní plán navrhuje dlouhodobou strategii pro obnovitelné zdroje energie v EU do roku 2020, k čemuž stanoví závazný cíl 20 % podílu obnovitelných zdrojů na spotřebě energie a závazný minimální cíl 10 % podílu biopaliv a navrhuje vytvoření nového právního rámce. Na jarním zasedání Evropské rady v roce 2007 se EU dohodla, že do roku 2020 navýší podíl energie z obnovitelných zdrojů na 20 % celkové spotřeby energie a podíl biopaliv na alespoň 10 % celkové spotřeby benzínu a motorové nafty v dopravě.^[8]

4.3 Směrnice o obnovitelných zdrojích energie

Směrnice o energii z obnovitelných zdrojů přijatá na jaře 2009 postupem spolurozhodování (směrnice 2009/28/ES o následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES) stanovila obecné závazné cíle a závazné vnitrostátní cíle pro celkový podíl energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energie, a to s ohledem na různé výchozí situace jednotlivých členských států. Všechny členské státy navíc musí dosáhnout 10 % podílu obnovitelných zdrojů energie v odvětví dopravy. Dále směrnice rozvrhuje požadavky pro různé mechanismy, které mohou členské státy využít k dosažení svých cílů (režimy podpory, záruky původu, společné projekty, opatření v oblasti spolupráce mezi členskými státy a třetími zeměmi), a stanovuje kritéria udržitelnosti pro biopaliva a biokapaliny. V souladu s požadavky směrnice členské státy v roce 2010 přijaly národní akční plány pro energii z obnovitelných zdrojů. Pokrok členských států v plnění svých cílů v oblasti energie z obnovitelných zdrojů do roku 2020 posoudila Komise v roce 2011 a v roce 2013. Z nejnovější zprávy vyplývá, že od přijetí této směrnice došlo ke značnému nárůstu spotřeby energie z obnovitelných zdrojů. V roce 2010 činil podíl energie z obnovitelných zdrojů v Unii 12,7 % a většina členských států již dosáhla svých průběžných cílů stanovených směrnicí pro roky 2011/2012. EU jako celek a většina členských států jsou na dobré cestě ke splnění cílů do roku 2020. Plnění orientačního plánu však bude s blížícím se koncem stanoveného období stále obtížnější, téměř všechny členské státy tedy budou v následujících letech nuceny vyvinout další úsilí, aby cílů pro rok 2020 dosáhly. Komise ve své zprávě rovněž upozorňuje na řadu faktorů, které vyvolávají obavy ohledně budoucího vývoje, zejména: odchýlení některých členských států od jejich vlastních národních akčních plánů pro energii z obnovitelných zdrojů, neúspěšné odstraňování překážek v oblasti administrativy a rozvodné soustavy, které brání využívání energie z obnovitelných zdrojů, nedávné negativní změny vnitrostátních režimů podpory energie z obnovitelných zdrojů a pomalé provádění směrnice do vnitrostátního práva. Komise již zahájila řízení o nesplnění povinnosti s některými členskými státy, které směrnici neprovádějí (zejména s Polskem a Kypr).^[8]

5 Druhy obnovitelných zdrojů

Protože fotovoltaika patří do kategorie obnovitelných zdrojů energie, měli bychom si něco málo říci i o nich. V této kapitole si probereme celky jako vodní energie, energie větrná, biomasa a energie solární. Jsou to asi 4 nejpoužívanější druhy obnovitelných zdrojů u nás.

5.1 Vodní energie

Vodní energie je technicky využitelná, potenciálně, kinetická nebo tepelná energie veškerého vodstva na Zemi. Jedná se hned po biomase o druhý nejvyužívanější obnovitelný zdroj energie. Nejvíce se v dnešní době využívá přeměny ve vodních elektrárnách na elektrickou energii.

5.1.1 Koloběh vody v přírodě

Všechny obnovitelné zdroje mají svůj původ ve sluneční energii a stejně je to tak i s energií vody. Voda v přírodě je nositelem mechanické, chemické a tepelné energie. Mechanická energie vody zahrnuje:

- mechanickou energii atmosférických srážek,
- mechanickou energii ledovců,
- mechanickou energii vodních toků,
- mechanickou energii moří.

Využití mechanické energie atmosférických srážek a pohybu ledovců je velmi problematické a v oblasti využití mechanické energie moří se už dlouho zkoumá rozšíření jeho využitelnosti, ale bez patřičného progresu. Na energetické využití zůstává jen energie vodních toků a právě v této oblasti dosáhl technický rozvoj svůj vrchol.

5.1.2 Vodní elektrárny v České republice

Díky hydrologickým podmínkám v České republice nevyužíváme vodní elektrárny pro objem vyrobené elektrické energie, na který máme u nás spíše energii z jaderných nebo tepelných elektráren, ale hlavní výhodou vodních elektráren je velmi pohotová reakce na okamžitou potřebu elektrické energie v elektrizační soustavě. Další výhodou je, že se jedná o velmi čistou formu energie nezatežující životní prostředí odpady (vyhořelé jaderné palivo) a také není potřeba uložení pro toto palivo. Vodní elektrárny jsou levným zdrojem elektrické energie, který je využit převážně v době špičkové spotřeby. Přecherpací vodní elektrárny navíc umožňují i účelné využití elektriny

produkované méně flexibilními energetickými zdroji v období nízké spotřeby. Vodní elektrárny mají i vodohospodářský význam.

Máme dva nejrozšířenější typy vodních elektráren. První jsou akumulční vodní elektrárny, které se staví na řekách. Příkladem mohou být elektrárny, které jsou součástí tzv. Vltavské kaskády. Největší z nich je elektrárna Orlík. Dokáže zadržet 720 mil m³ vody. Hlavní výhodou těchto elektráren je ochrana před povodněmi. Druhým významným typem jsou elektrárny přečerpávací. Jsou součástí vodních děl – nádrží. Nejenže dokážou akumulovat vodu pro výrobu elektrické energie, ale také stabilizují průtoky říčním korytem a stejně jako akumulční nás chrání před povodněmi. Největší přečerpávací elektrárnou u nás jsou Dlouhé Stráně s instalovaným výkonem 2 x 325 MW.

Vodní elektrárny mají řadu specifických vlastností. Nejdůležitější je asi schopnost elektráren rychlého najetí na maximální výkon, což nám pomáhá řešit potřebu energie v dobách energetických špiček.

Na elektrizační soustavu jsou požadavky vyrobit tolik elektrické energie, kolik je v daném okamžiku potřeba. Problémem je, že se spotřeba elektrické energie během dne nebo ročního období hodně mění. Díky těmto typům elektráren ale dokážeme těmto požadavkům vyhovět. Pomáhají nám v tom převážně elektrárny přečerpávací.

Přečerpávací vodní elektrárna funguje na principu propojení dvou nádrží pomocí tlakového potrubí. Tyto nádrže musí mít rozdílnou výšku hladin. V dolní části je turbína s elektrickým generátorem. Turbína vyrábí elektřinu a dodává ji do elektrizační soustavy v době energetické špičky. V době mimo špičku, většinou v nočních hodinách, se voda přečerpává z dolní nádrže do horní, kde její potenciální energie bude čekat na vhodné využití. Díky gravitaci a dalším vlivům je ale přečerpání vody z dolní nádrže energeticky nákladnější než opačným směrem. Na jednu vyrobenou kWh musíme pro přečerpání zpět do horní nádrže vynaložit asi 1,4 kWh. Avšak pro stabilizaci elektrizační sítě v době špičky jsou tyto elektrárny nezbytné.



Obrázek 3: Přečerpávací elektrárna
Dlouhé Stráně



Obrázek 4: Akumulační elektrárna Orlík

5.1.6 Výhody a nevýhody vodních elektráren

Výhody:

- vytvářejí proud téměř zadarmo
- neznečišťují ovzduší, nedevastují krajinu a povrchové či podzemní vody těžbou a dopravou paliva surovin, jsou bezodpadové, nezávislé na dovozu surovin a vysoce bezpečné
- vysokým stupněm automatizace přispívají k vyrovnávání změn na tocích a vytvářejí nové možnosti pro revitalizaci (prokysličování vodního toku)
- akumulace vody a stabilizace průtoku říčním korytem
- při vlastní spotřebě elektrické energie se vyhneme přenosovým ztrátám

Nevýhody:

- vodní hráze brání migračním cestám vodních živočichů
- mění se klimatické podmínky v kraji
- hrozba protržení hráze
- poměrně složitá obsluha a údržba zařízení

5.2 Větrná energie

Vítr vzniká vlivem nerovnoměrného ohřevu zemského povrchu slunečním zářením, kde energie představuje 10^{20} J. Kinetická energie akumulovaná ve vzduchu je přibližně 1 % sluneční energie. Suché části povrchu se ohřívají rychleji než vlhké plochy. Od ohřátého povrchu se ohřívá i přilehlá vrstva vzduchu a teplý vzduch má snahu stoupat nahoru, protože je lehčí než vzduch studený. Vítr je teda jev způsobený povrchem země, ale neomezuje se jen na malou výšku, zasahuje i do výšek středních a končí ve velkých výškách. Přízemní vítr nad pevninou je velmi silně ovlivněný tvarem zemského povrchu na rozdíl od moře a pobřežní části pevniny. Kromě směru větru, který je nerovnoměrných zemským povrchem podstatně měněný, vznikají těsně při povrchu víry, které způsobují, že vítr nad pevninou je nestálý, co se týká intenzity, rychlosti i směru. Nad mořem a přilehlým pobřežím jsou tyto změny směru a intenzity mnohem menší.

5.2.1 Využití větrných elektráren

Větrná energie je nepřekonatelná možnostmi výroby, rozvodů a mnoha využitími, u spotřebitele pak ekologickou čistotou. Má však jednu nevýhodu, nelze ji ekonomicky a v potřebném objemu akumulovat. To má svůj vliv i na způsoby využití větrné energie vyrobenými větrnými elektrárnami. Přímá dodávka do elektrické sítě má využití tam, kde je vítr spolehlivější než na území České republiky. Výhodnými místy jsou rovinaté pláně nebo horské lokality. Z důvodu potřeby náročné regulační techniky nejsou jednotlivé větrné elektrárny efektivní a tak se staví tzv. „větrné farmy“, které je však možné stavět jen v opravdu velmi větrných lokalitách. Je prokázáno, že už skupina sedmi větrných elektráren využívá i nepravidelných poryvů větru tak, že výsledkem je poměrně kvalitní elektrický proud. Jednotlivé větrné elektrárny totiž chytají větrné poryvy s časovými posuny a výsledná produkce celé skupiny se tak vyrovnává.

U menších větrných zdrojů, které nejsou připojeny přímo do sítě, nastává problém, jak vyrobenou energii uchovat. Elektřinu je sice možné akumulovat v olověných nebo jiných akumulátorech, ale tento způsob je kvůli ztrátám, omezené životnosti a vysoké ceně akumulátorů neekonomický. Používá se pouze tam, kde není jiná možnost uchování energie (na trasách ropovodů nebo plynovodů, na horských chatách v místech, kde není dost dobře možné dovést kabely elektrické sítě).

Vyrobenou elektřinu lze ale výhodně akumulovat tam, kde je potřeba vytápět nebo udržovat teplotu v objektech nebo kde se počítá s potřebou teplé vody. Vyrobená elektrická energie je prostřednictvím odporového ohřevu jednoduchými tělisky převedena na ohřev vody v izolovaném zásobníku. Toto řešení může najít uplatnění např. při vytápění skleníků, přípravu teplé vody, lze předeřhřívát i vodu, přicházející do klasických topných systémů, zvláště v zimním období to může ušetřit velké částky.

Řešení akumulace vyrobené energie větrnou elektrárnou není jednoduché a v současné době se vyvíjejí další možnosti co s vyrobenou energií, když ji nebudeme dodávat do elektrické sítě. Nabízí se možnost při výrobě vodíku, ale to je spíše náhled do budoucnosti. V současnosti se problém, když nefouká, řeší jinými alternativními zdroji.

5.2.2 Větrné elektrárny v České republice

Zatímco na konci roku 2004 pracovaly větrné elektrárny v ČR s celkovým instalovaným výkonem o něco málo vyšším než 15 MW (vyrobily necelých 10 GWh elektrické energie), v roce 2015 dosáhly instalovaného výkonu 276 MW. Nepravidelnost, nahodilost a nepřesnost předpovědí síly i směru větru způsobují, že zařízení určená k využívání jeho energie jsou schopna pracovat pouze po 10 % až 20 % roční doby.

Až na výjimky jsou vhodné lokality v horských pohraničních pásmech Krušných hor a Jeseníků, popř. v oblasti Českomoravské vrchoviny. Podle předběžných odhadů by bylo možné v Krušných horách postavit 320 až 340 větrných elektráren o jednotkovém výkonu 1,2 až 2 MW. Nejvýkonnější elektrárnou u nás je větrná elektrárna Pchery (obr. 9) s instalovaným výkonem 3 MW na jednu turbínu. Při racionálním využití větrného potenciálu, který je v České republice k dispozici, by se zde mohlo vyrábět 6 TWh ročně, což je spotřeba více než 4 milionů lidí.



Obrázek 5: Větrná elektrárna Pchery

5.2.3 Výhody a nevýhody větrných elektráren

Výhody:

- minimální vliv na životní prostředí
- výroba čisté energie bez odpadů a krajiny zdevastované uhelnými doly
- snižování emisí CO₂, a pomáhají tak k odvrácení změny světového podnebí

Nevýhody:

- nestabilní zdroj
- mění ráz krajiny a znamenají určité nebezpečí pro tažné ptáky
- poměrně finančně a časově náročná před realizační fází

5.3 Biomasa

Získávání energie z biomasy patří mezi nejstarší energetické technologie využívané lidstvem. Biomasa byla využívána na získávání tepla a světla už v době kamenné a na následných tisíce roků se stala nejdůležitějším zdrojem energie. Biomasa je biologický materiál vhodný na energetické využití,

kteřý se tvoří ve volné přírodě nebo je vyprodukovaný činností člověka. Je to zakonzervovaná sluneční energie, kterou rostliny díky fotosyntéze přeměňují na organickou hmotu. Tato hmota (dřevo, rostliny, exkrementy užitkových zvířat) dokáže vhodným využitím poskytnout užitečné formy energie (elektrickou energii, teplo i kapalné paliva pro motorová vozidla). Biomasa patří mezi nejvýznamnější obnovitelné zdroje energie, které můžou do značné míry nahradit fosilní paliva. Význam biomasy je velký i vzhledem k poměrně velkému množství, které je k dispozici, k možnosti jejímu skladování a i vzhledem k příspěvku ve zlepšení bilance emisí oxidu uhličitého (CO₂). Biomasa má tedy nezastupitelnou úlohu ke snižování skleníkových plynů, ze kterých je nejvýznamnější CO₂. Vegetaci rostlin dochází ke snižování jeho koncentrace v ovzduší. Největší množství energie se spotřebovává na produkci tepla, víc jako na výrobu elektřiny nebo zabezpečení dopravy. Biomasa má obrovský potenciál nárůstu využití a mohla by nahradit podstatné množství fosilních paliv a elektřiny v současnosti používaných na vytápění.

5.3.1 Co je to biomasa

Biomasu můžeme definovat jako hmotu organického původu. V oblasti energetiky můžeme hovořit nejčastěji o dřevu a dřevním odpadu, pak také o slámě a jiných zemědělských zbytcích včetně exkrementech užitkových zvířat. Máme dva základní druhy biomasy suchou (dřevo) a mokrou (keřda – tekuté a pevné výkaly hospodářských zvířat smíchané s vodou). S tím souvisí také dvě základní technologie zpracování. Jsou to suché procesy (spalování, zplyňování a pyrolýza) a mokré procesy (anaerobní vyhnívání, lihové kvašení, výroba biovodíku). Do zvláštní skupiny řadíme lisování olejů a posléze jejich úprava (výroba bionafty a přírodních maziv).

5.3.2 Výroba elektrické energie z biomasy

Tradiční způsob výroby elektřiny z biomasy je ve většině případů založený na jejím přímém spalování a výrobě páry, která pohání parní turbínu, podobně jako je to v tepelných elektrárnách využívajících uhlí. Tato technologie je dnes velmi propracovaná a umožňuje použití více vstupních surovin. Její nevýhodou je, že vyžaduje relativně vysoké investiční náklady na jednotku výkonu, celková účinnost výroby je nízká a neposkytuje možnosti dalšího zlepšení.

5.3.3 Biomasa v České republice

Energie biomasy pokrývá v České republice asi 40 % získané energie ze všech obnovitelných zdrojů energie a to včetně odpadků. Běžné zdroje biomasy, mezi které řadíme odpady z lesů a sadů, zemědělské odpady a odpady ze dřevozpracujícího průmyslu, jsou prakticky vyčerpány. Proto se začíná využívat umělé pěstování. Tyto uměle vypěstované plodiny by měly přinést větší efekt než odpadní biomasa. Nejlevnější zdroj biomasy je využívání přírodního odpadu, kde nepoužívanějším je

odpad ze dřeva. Při zpracování dřeva u nás tvoří odpad asi polovinu (30 % při těžbě a 25 % následné zpracování).

Kvůli snaze o plnění stanovených cílů EU na zvýšení podílu obnovitelných zdrojů energie na celkové výrobě energie a také se zvýšenou poptávkou po dřevním odpadu nelze opomenout pěstování energetických rostlin. Výsledkem je vznik plantáží s rychle rostoucími dřevinami. Obrovskou výhodou pěstování tohoto typu rostlin je to, že můžeme využívat půdu, která není vhodná pro produkci potravin nebo krmiv, protože bylo prokázáno, že tento typ rostlin může růst i na devastované půdě z důlních činností nebo složištích elektrárenského popílku.

5.3.4 Výhody a nevýhody biomasy

Výhody:

- značný energetický potenciál, do 15 let může pokrývat až 30 % celkové spotřeby energie (zatím pouze okolo 2 %)
- spalování biomasy je ekologické, nezvyšuje se množství plynů, které vytvářejí skleníkový efekt, popele je velmi málo a je výborným hnojivem
- energie obsažená v biomase může být využívána v době, kdy ji nejvíce potřebujeme (obrovský energetický akumulátor)

Nevýhody:

- u výroby a využití bioplynu poměrně vysoké investiční náklady na technická zařízení, což zvyšuje cenu vyrobené energie
- nutnost úpravy paliva (tvarování, sušení) vyžaduje investice do nových zařízení

5.4 Solární energie

Zájem o solární energii, která je nekonvenčním zdrojem energie, je značný. Solární energie může částečně krýt stále rostoucí spotřebu energie na zemi. Slunce je regenerativní a dlouhodobě stabilní zdroj, který prakticky neznečišťuje životní prostředí. Lidstvo vědomě i nevědomě využívalo solární energii od pradávna, ale jen moderní technologie a vědecký pokrok umožňují intenzivní využití energie ze Slunce. Na výzkum využití solární energie a jejich aplikování se nejvíce podílejí nejvyspělejší státy světa jako je USA, Japonsko, státy EU. V posledním období, tak jako v jiných oblastech výzkumu, se přidávají Čína a Indie a to hlavně proto, že u nich je růst spotřeby energie nejvyšší. Výzkum drahých a v podstatě ještě nekonkurenceschopných energetických zdrojů je možný jen s podporou silných ekonomik. Cílem je snižovat náklady na získávání a využívání sluneční

energie. V případě přeměny sluneční energie na elektrickou je v Evropě cílem cenová parita s klasickými zdroji energie.

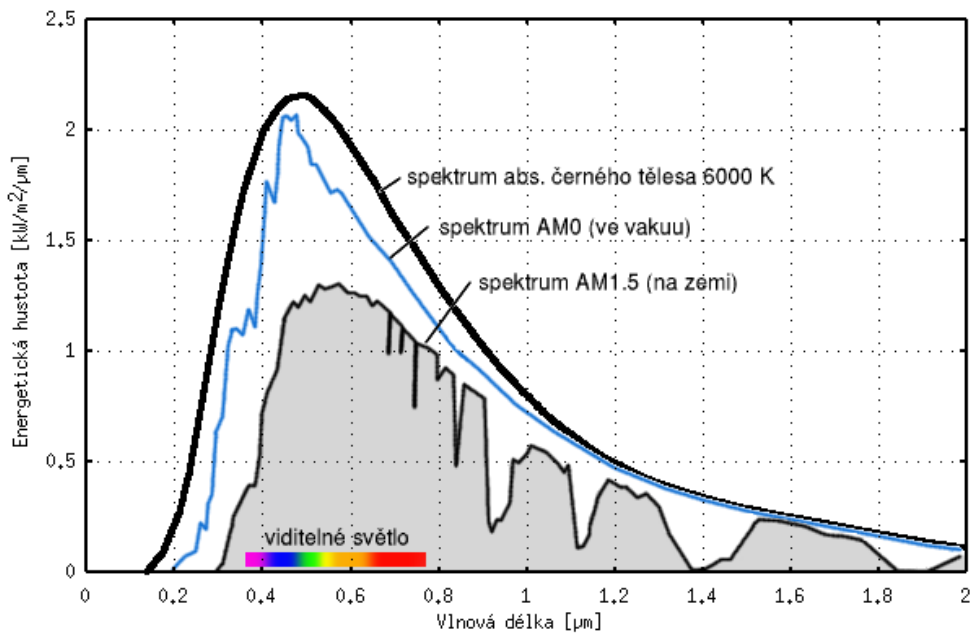
Energie slunce, která dopadá na zemský povrch ve formě fotonů elektromagnetického záření, asi osmtisíckrát převyšuje celkovou momentální spotřebu energie lidstva. Kdybychom se tento zdroj naučili lépe využívat, vyřešili bychom energetickou spotřebu z dlouhodobého hlediska. Problémem však zůstává nízká hustota sluneční energie na Zemi, její časová nestabilita a značně nerovnoměrné rozložení. Posuzování efektivity jednotlivých zdrojů OZE a i energie ze Slunce je komplexní proces, který musí zahrnout všechny materiálové, technologické a energetické vstupy, resp. náklady na likvidaci zařízení po uplynutí životnosti.

5.4.1 Parametry slunečního záření

Slunce je průměrná hvězda, která vznikla před 5 miliardami let a minimálně stejný čas bude ještě existovat, než se změní na červeného obra. Zdroj energie slunce je termonukleární reakce, kde se při teplotě 13 000 000 K a tlaku 2^{10} MPa mění vodík na hélium, přičemž se uvolňuje energie. Různé hvězdy vyřazují různé typy záření. Slunce většinu energie vyzáří ve formě světelného záření různých vlnových délek. Maximum vyzařované energie je v oblasti vlnových délek, které odpovídají zelené části spektra viditelného světelného záření. Zelenému světlu se nejlépe přizpůsobilo i lidské oko i většina rostlin.

Sluneční záření odpovídá jeho povrchové teplotě, která je přibližně 6000 K. Po dopadu na povrch Země se intenzita slunečního záření v různé míře podle vlnových délek zeslabuje pohlcením a špatnými odrazy při průchodu zemskou atmosférou. Mění se i spektrum záření, tzn. mění se intenzita záření fotonů s různou vlnovou délkou.

Na charakterizaci spektra slunečního záření se zavedla veličina AM (air mass). Záření nad atmosférou Země se označuje jako AM0. Po průchodu atmosférou označujeme spektrum AM1.5.



Obrázek 6: Spektrum slunečního záření

Slunečné záření dopadající na povrch Země se dělí na složky, které se spolu označují jako globální záření:

- přímé - nerozptýlené záření dopadající na zem
- difúzní - vzniká rozptylem drobných částic v atmosféře (prachové částice)
ve střední Evropě tvoří 50 % - 70 % z globálního záření
- odražené - část záření odraženého od povrchu země

Sluneční záření se na zemi mění na jiné formy energie, které umíme využít:

- na tepelnou energii - ohřev zemského povrchu a atmosféry
- na mechanickou energii - vznik vzdušných a mořských proudů
- na chemickou energii - prostřednictvím fotosyntézy vázaná v rostlinách (biomasa)

5.4.2 Využitelnost slunečního záření

Množství sluneční energie na různých místech Země je různé. Místa bližší k rovníku jsou výhodnější oproti místům na severu a s tím taky souvisí náklady na využití. EU je jako celek víc jako 50 % závislá na dovozu primárních zdrojů energie, často z politicky či ekonomicky velmi stabilních

regionů. EU se snaží řešit svoji závislost od dovozu primárních zdrojů energie podporou využívání domácích obnovitelných zdrojů energie a klade na to velký důraz. V současnosti jsou rozšířené dva způsoby využívání sluneční energie. Fototermální přeměna a fotovoltaická přeměna. Fotovoltaická přeměna je v porovnání s fototermální přeměnou nákladnější a méně efektivní způsob přeměny energie světelného záření. Jednoznačnými lídry v počtu nainstalovaných tepelných kolektorů jsou Německo, Rakousko a Řecko.



Obrázek 7: Využití sluneční energie

Pomocí solárních systémů aktivně nebo pasivně využíváme sluneční energii přeměnou buď na tepelnou nebo elektrickou energii. Blokový diagram na obrázku 7 zobrazuje základní alternativy využití sluneční energie. Základní části tepelných solárních systémů jsou kolektor, spojovací trubice a spotřebič. Nejčastěji se používají na přípravu teplé užitkové vody, přitápění budov, ohřev vody v bazénu a průmyslové teplo. Když dodávka sluneční energie je nerovnoměrná, přidává se výměník tepla, který je připojený na kotel ústředního topení nebo na elektrickou odporovou spirálu. Fotovoltaické systémy se skládají z článků spojených určitým způsobem dohromady a jsou připojené na akumulátor přes regulátor nabíjení a nebo přes měnič do rozvodové sítě. Pasivní solární systémy jsou architektonická řešení, která napomáhají ohřevu vnitřních prostorů budov. Pasivní využívání slunečního záření je využíváno hlavně při stavbě nových budov, kde může ušetřit značné procento energie např. za vytápění.

5.4.3 Fototermální přeměna

Fototermální přeměna (FT) je přeměna dopadajícího záření na teplo. Kdyby se přeměnila viditelná složka záření, získalo by se až 90 % tepla z celkového dopadajícího záření. Tato účinnost se

nedá dosáhnout při žádné jiné přeměně slunečního záření. Při fototermální přeměně nastává jev, při kterém dochází k posunu vlnové délky záření do tepelného spektra. Záření dopadá na neprůhlednou (pokud to jde) nebo co nejvíce tmavou překážku s malou vyzařovací schopností v tepelném spektru. Sluneční záření se absorbuje. Tato přeměna se uskutečňuje v zařízeních nazývaných kolektory slunečního záření. Další schopnost využití je samovolné pronikání slunečního záření např. přes okna do budov a jeho následná absorpce v objektech uvnitř budovy.

5.4.3.1 Solární kolektory

Solární kolektor je v podstatě zdokonalený absorbér umožňující celoroční provoz. Ke zlepšení funkce a účinnosti kolektoru podstatně přispívá dobrá tepelná izolace. Na vrchní straně je transparentní kryt (sklo, polykarbonát), který propouští krátkovlnné sluneční záření a zabraňuje zpětnému vyzařování dlouhovlnného záření (skleníkový efekt). Na spodní straně a bocích je absorbér izolován klasickými izolačními materiály (např. minerální vlákna, pěnový polyuretan apod.). Celý systém je zapouzdřen v tuhém rámu nebo vaně chránícím absorbér proti mechanickým a vlhkostním účinkům. Teplo je odváděno z kolektoru prostřednictvím teplotnosného média (voda, nemrznoucí směs na bázi propylenglykolu, vzduch atd.) izolovaným potrubím do místa spotřeby, např. do solárního zásobníku.

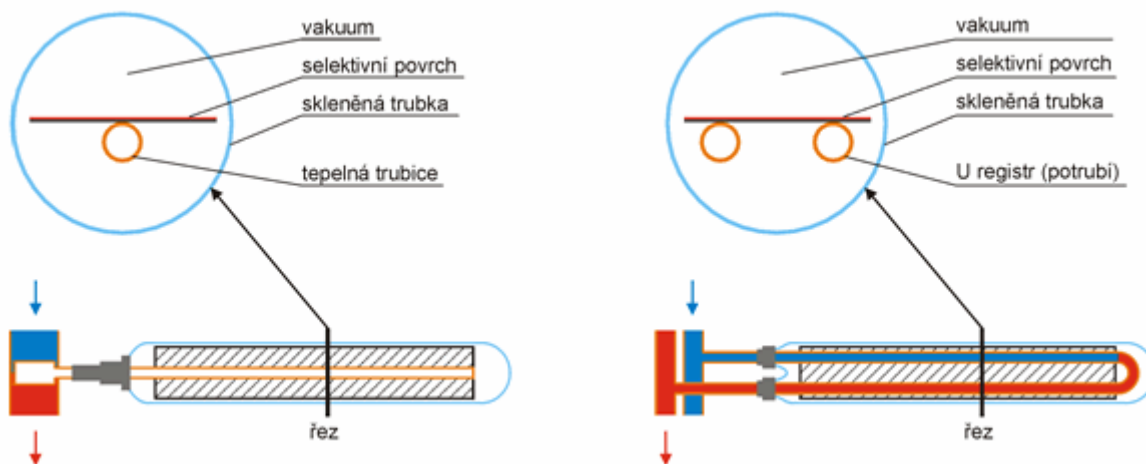
Solární kolektory se používají nejčastěji na tyto účely:

- příprava teplé užitkové vody
- přitápění v budově
- ohřev vody v bazénech
- průmyslové teplo a chlazení

5.4.3.2 Typy solárních kolektorů

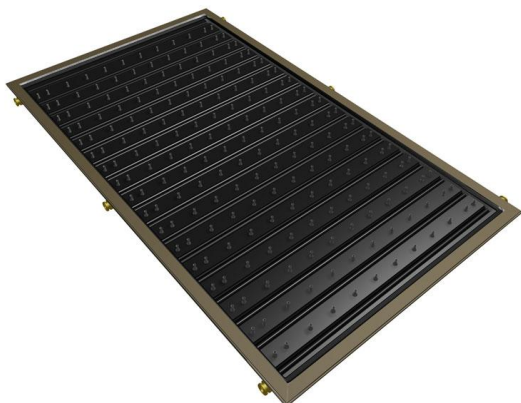
Základní typy solárních kolektorů podle tvaru absorbéru:

Vakuové trubkové kolektory jsou kolektory s nejvyšší účinností zejména v zimním období, neboť vysokým vakuem uvnitř trubice jsou téměř eliminovány tepelné ztráty konvekcí. Další výhodou přímo protékaných trubkových vakuových kolektorů je variabilnost jejich umístění. Mohou být umístěny i ve svislé poloze a natočením trubice s absorbérem se docílí optimální orientace vůči dopadajícím paprskům slunečního záření. Jejich nevýhodou jsou však vysoké pořizovací náklady a obtížnější vestavba do střešního pláště nebo fasády. ^[12]



Obrázek 8: Řezy vakuovým kolektorem

Ploché vakuové kolektory jsou jedním z nejmodernějších výrobků v oblasti solární techniky. Spojují v sobě výhody trubkových vakuových kolektorů (nízké tepelné ztráty konvekcí) a plochých zasklených kolektorů se selektivní vrstvou (nižší pořizovací náklady při vysoké účinnosti).^[12]



Obrázek 9: Plochý vakuový kolektor

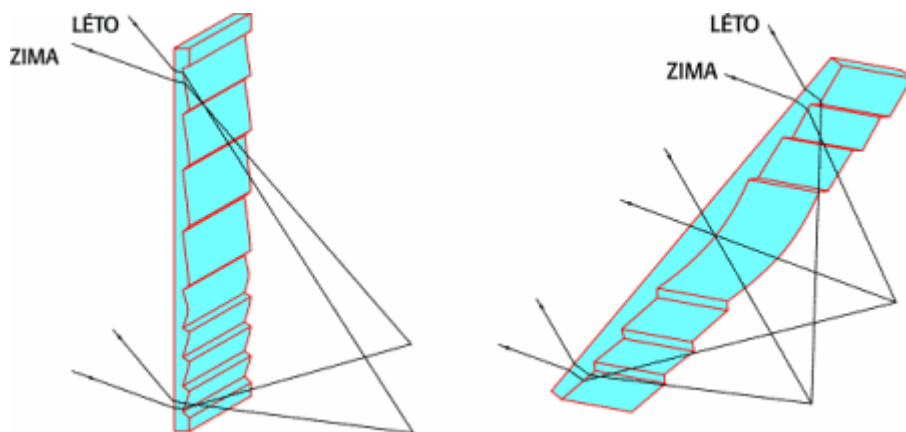


Obrázek 10: Plochý zasklený kolektor

Plochý zasklený kolektor se selektivní vrstvou. Tyto kolektory by měly v současnosti představovat nejrozšířenější typ instalovaných kolektorů. Jejich pořizovací náklady jsou jen o málo vyšší než u neselektivních plochých kolektorů s matným černým absorberem, avšak při vyšší účinnosti. Selektivní vrstva podstatně snižuje tepelné ztráty sáláním z povrchu absorberu (o 15 % – 30 %). Její princip spočívá v nízké emisivitě pohlceného záření.^[12]

Lineární Fresnelova čočka pracuje na principu kombinace pasivního a aktivního využití energie Slunce. Jedná se o původní český kolektorový systém využívající ploché sklo – optický rastr – lineární Fresnelovu čočku (LFČ). Pod čočkou, která je zabudována do střešní konstrukce, je v ohniskové vzdálenosti (cca 40 cm) umístěn pohyblivý rám s absorberem. LFČ má schopnost separovat přímou složku (neovlivněnou oblačností) a difuzní složku dopadajícího slunečního záření.

Koncentrovaná přímá složka je pak soustředěna na absorbér, kde je prostřednictvím teplotnosného média přeměněna na teplo a odvedena k dalšímu použití (např. ohřev teplé užitkové vody nebo vody v bazénu). Difuzní složka bez podstatných změn proniká do vnitřních prostor, kde osvětluje prosklený interiér stavby. Celý systém má tak kromě zajímavého architektonického efektu i další přínosné funkce jako osvětlení, klimatizace a ohřev teplotnosného média. ^[13]



Obrázek 11: Lineární Fresnelova čočka

5.4.3.3 Návrh fototermálního systému

Solární systém je komplexní systém. Jeho správná funkce závisí na správné funkci jednotlivých komponentů a jejich správné spolupráce. Množství získané energie nezávisí jen na počtu a kvalitě kolektorů, ale i na optimálním návrhu celého solárního systému. Optimální návrh vychází z dokonalých znalostí světelných podmínek vybrané lokality.

Množství sluneční energie dopadající na povrch Země se mění v průběhu dne i roku v závislosti na lokalitě. Výkon kolektorů závisí na jejich účinnosti, azimutové orientaci, sklonu, zeměpisné šířce a nadmořské výšce lokality. Návrh vychází ze stanovení sumy globálního záření, které dopadá na plochu při předpokládané orientaci a sklonu v uvažovaném časovém období, zpravidla se jedná o jeden rok. Výpočet střední hodnoty energie Q_s vychází z integrace okamžitých hodnot v průběhu dne, např. na vodorovnou plochu

$$Q_s = \int_{t_1}^{t_2} I dt, \quad (5.4.3.3.1)$$

kde I ($W * m^{-2}$), když se uvažuje interval denního svitu t_1 až t_2 a následně sumarizace do měsíčních a ročních počtů. Je zřejmé, že časové závislosti vykazují maximum okolo poledne v letních měsících. Při výpočtu energetického zisku vstupuje do procesu návrhu výpočet založený na okamžité účinnosti kolektoru v závislosti na pracovních podmínkách (plocha, teplota okolí, střední teplota kolektoru). Při odklonu od kolmého dopadu se použije korekční faktor

$$K_{CH} = \frac{\eta_{\phi}}{\eta_{CH}}, \quad (5.4.3.3.2)$$

kde η_{ϕ} , resp. η_{CH} jsou účinnosti při dopadu pod úhlem ϕ , resp. kolmo na plochu kolektoru.

Je několik důležitých aspektů, které je potřeba zohlednit při návrhu fototermálního systému. Jedním z nich je množství získané energie, která závisí na kvalitě a počtu kolektorů, přičemž je ale potřeba vybrat optimální typ – druh kolektoru vzhledem k účelu solární instalace. Účinnost se mění v závislosti na podmínkách, teploty teplotnosné kapaliny T_m , teploty okolí T_a a druhu kolektoru. Energetická účinnost je definovaná jako poměr odebrané energie a příkonu energie dodané. Účinnost je vyjádřena funkcí

$$\eta = c_0 - c_1 * x - c_2 * G_K * x^2 \quad (5.4.3.3.3)$$

$$x = \frac{T_m - T_a}{G_K}, \quad (5.4.3.3.4)$$

kde c_0 , c_1 , c_2 jsou konstanty (při $T_m = T_a$ je účinnost maximální, $\eta = c_0$), c_1 , c_2 souvisí se ztrátami, G_K je výkon globálního záření ($W * m^{-2}$). Účinnost závisí na optických ztrátách (nezávislé na teplotě) a na tepelných ztrátách (závisí na rozdílu teplot absorbéru a okolí). Maximální účinnost je asi 80 %. Samotná hodnota účinnosti může klamat, protože uvedené nejvyšší hodnoty se dosahují pomocí jednoduchých kolektorů s neselektivními absorbéry. Kolektory s neselektivním absorbérem jsou vhodné do jižních oblastí anebo na sezónní ohřev vody, např. pro bazény. V severních oblastech anebo na začátku jara nebo na konci podzimu jsou nejvýhodnější kolektory selektivní a vakuové. Podle účelu se systém optimalizuje na nejefektivnější činnost ve vybraném období v roce. Při celoročním používání je standardní sklon 45° a orientace na jih. Odchytky v orientaci $\pm 30^\circ$ způsobují zanedbatelné ztráty. Dalším důležitým faktorem, na který se musí brát zřetel, je životnost. Degradace vlastností po čase užívání souvisí s více faktory. Prvořadá je stabilita konverzní vrstvy absorbéru vůči vlivům, jako jsou termická a korozní degradace. Další důležité okolnosti jsou těsnost systému, vlastnosti izolace, stabilita vakua a podobně. Výhodou plochých vakuových kolektorů je možnost kontroly a obnovy vakua. Výrobci udávají životnost 20 – 25 let.

5.4.3.4 Výhody a nevýhody fototermální přeměny

Výhody:

- relativně vysoká účinnost
- nezávislost na dodavatelích tepla a růstu cen paliv
- možnost 100 % recyklace použitých konstrukčních materiálů

Nevýhody:

- relativně vysoké investiční náklady
- systémy jsou nejefektivnější v oblasti teplot do 100 °C
- potřeba doplňkových energetických zdrojů

6 Fotovoltaika

Fotovoltaika je proces přeměny slunečního záření přímo na elektrickou energii pomocí solárních článků. Dnes je rychle rostoucí a důležitou obnovitelnou alternativou, která má nahradit konvenční fosilní paliva ve výrobě elektřiny, ale ve srovnání s ostatními technologiemi na výrobu elektřiny je relativním nováčkem. První fotovoltaická zařízení se datují do roku 1950. Výzkum a vývoj fotovoltaiky se uskutečnil díky kosmickému průmyslu v roce 1960, protože to vyžadovalo napájení oddělené od elektrické sítě pro satelitní aplikace. Tyto kosmické solární články byly dříve několikanásobně dražší, a proto fotovoltaika nemohla dříve být tak rozsáhlá jako dnes, ale solární články se staly zajímavou vědeckou variací, které zaplnily specializovaná místa na trhu. Až v roce 1970 při ropné krizi se pozornost světa zaměřila na alternativní zdroje energie a fotovoltaika začala být daleko více podporována. Přestože se ropná krize ukázala jako krátkodobá a finanční prostředky k rozvoji solárních článků se omezily, solární články vstoupily na trh jako technologie pro výrobu elektrické energie. Výhody fotovoltaiky jako například napájení objektů v odlehlých oblastech byly velmi rychle rozpoznány a to vedlo k rozvoji fotovoltaického průmyslu. Z fotovoltaiky těžily v malém měřítku i přenosné aplikace jako jsou kalkulačky a hodinky.

V roce 1980 se výzkum v oblasti křemíkových solárních článků začal konečně vyplácet a solární články začaly zvyšovat svou účinnost. V roce 1985 dosáhla účinnost křemíkových článků 20 %. V příštím desetiletí zažil fotovoltaický průmysl stabilní tempo růstu mezi 15 % a 20 %. V roce 1997 byla dosažena účinnost až 38 % a dnes solární články jsou uznávány nejen jako prostředek k zajištění napájení a zvýšení kvality života pro ty, kteří nemají přístup k distribuční soustavě, ale jsou také prostředkem výrazně snižující dopad škodlivin na životní prostředí způsobené konvenční výrobou elektřiny ve vyspělých průmyslových zemích.

Fotovoltaický systém má uplatnění v širokém spektru možností. Vzniká jednoduchým vhodným poskládáním jednotlivých článků od nejmenších jednotek pro různou elektroniku s výkonem několik mikrowatt až po slunečné fotovoltaické elektrárny s výkony několik kW až MW na základě stejného principu. Všechny konstrukce fotovoltaického zdroje musí brát v úvahu jeho základní charakteristiky:

- sluneční generátor je zdroj elektrické energie jen, když je osvětlený
- množství generovaného proudu je úměrné intenzitě dopadajícího záření
- fotovoltaický zdroj je zdrojem jednosměrného proudu

Nestabilní zdroje závislé na intenzitě světelného záření jsou použitelné jen pro několik málo aplikací. Spolehlivá činnost spotřebičů musí být proto podpořená:

- uskladňováním energie do opakovatelně nabíjecích baterií
- použitím jiného generátoru pro období bez dostatku osvětlení
- činností paralelně s veřejnou sítí elektrické energie

6.1 Oblasti využití fotovoltaických zdrojů

Výkon jednotlivého článku je podle velikosti jeho plochy řádově jednotkách wattů. Spájením článků můžeme výkon v podstatě libovolně měnit. FV zdroje podle výkonu můžeme rozdělit takto:

- nejnižší výkon - náhrada primárních článků – baterií – s potřebným napětím několik voltů např. kalkulačky, hračky
- nízký výkon - zdroje od několika wattů pro nabíječky malých baterií, napájením měřících přístrojů nebo malých světelných zdrojů
- autonomní zdroje středního výkonu
 - zařízení od 50 W do 5 kW, často ve spojení s podpurným zdrojem elektrické energie (víkendové domy, chaty)
- zdroje středního výkonu napojené na veřejnou síť
 - zdroje střídavého proudu do 5 kW (použitý měnič) dodávající energii do veřejné sítě, nejčastěji panely na střeších domů
- autonomní zdroje velkého výkonu
 - zařízení s instalovaným výkonem do 100 kW s měniči na střídavý proud, napájení malých veřejných sítí (ostrov)
- zdroje velkého výkonu napojené na síť
 - zdroje až několik MW napojené na veřejnou síť

6.2 Vznik elektrické energie

Fotony, které dopadají na přechod P-N, díky svojí energii vyrážejí elektrony z valenčního pásu do pásu vodivostního (uvolňují je z pevných vazeb na atomy krystalové mřížky). Tyto volné elektrony se pomocí elektrod odvedou u jednoduchých systémů přímo ke spotřebiči, případně do akumulátoru.

Abychom mohli napájet běžné domácí spotřebiče na střídavý proud, je potřeba doplnit střídač, který energii převede na střídavé napětí o velikosti a frekvenci shodné s distribuční soustavou.

V nejjednodušším solárním článku jsou vytvořeny dvě vrstvy s rozdílným typem vodivosti. V jedné z vrstev (materiál typu N) převažují negativně nabitě elektrony, kdežto v druhé vrstvě (materiál typu P) převažují tzv. díry, které můžeme popsat jako prázdná místa, která snadno akceptují elektrony. V místě, kde se tyto dvě vrstvy setkávají (P-N přechod), dojde ke spárování elektronů s děrami, čímž se vytvoří elektrické pole, které zabrání dalším elektronům v pohybu z N-vrstvy do P-vrstvy.

Za normálních okolností jsou elektrony v polovodičovém materiálu pevně vázány k atomům krystalové mřížky, materiál je nevodivý. Například křemík, který je nejpoužívanější materiál, má čtyři valenční elektrony. Přidáním velmi malého množství prvku s větším počtem valenčních elektronů (donor) se vytvoří oblast s vodivostí typu N, v níž se vyskytují volné elektrony, které mohou přenášet elektrický náboj. Naopak příměs prvku s menším počtem elektronů vytvoří oblast s vodivostí typu P, v níž se krystalovou mřížkou pohybují díry, což jsou místa, kde chybí elektron. Při zachycení fotonu o dostatečné energii (odpovídající vlnové délce) v polovodičovém materiálu vznikne jeden pár elektron-díra. Je-li vnější obvod uzavřen, pohybují se tyto nositelé náboje opačným směrem, elektrony k záporné elektrodě, díry ke kladné.

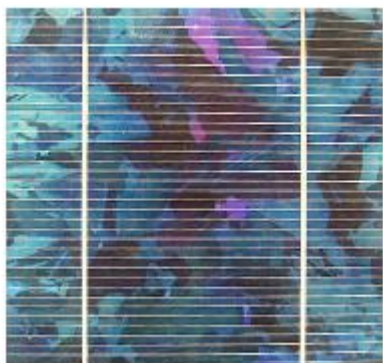
Křemík je velmi dobrý materiál pro solární články, protože díky šířce zakázaného pásu je u něj snadno dosažitelné vysoké účinnosti generace volných nosičů. Důležité je také to, že křemíku, jakožto základního materiálu pro mikroelektroniku, se povedlo dobře zvládnout všechny procesy k vytváření struktur.

Solární články je nutno chránit před nepříznivými vlivy prostředí, proto se umísťují mezi ochranné vrstvy, obvykle sklo a plastovou fólii (tedlar), ale používají se i dvě skla (zde je problém s vahou modulu, takže jsou nevhodné na střešní instalace) nebo jiné kombinace materiálů. Protože napětí jednoho článku je nízké, propojují se články sériově do větších panelů. Jeden solární panel poskytuje dostatek energie (do cca 300 W) pro napájení jednoduchých zařízení, jako je rozhlasový přijímač. Pro napájení větších spotřebičů nebo v případě fotovoltaických elektráren jsou jednotlivé solární panely propojeny do větších systémů.

6.3 Druhy fotovoltaických článků

V dnešní době nejvíce využíváme tři typy solárních FV článků. Je to monokrystalický, multikrystalický a amorfní. Základní rozdíl mezi nimi pro koncového odběratele je účinnost. Monokrystalický má účinnost v praxi mezi 14 % – 16 % a pro kosmické účely až 19 %. Polykrystalické ji mají téměř totožnou 13 % – 16 %. U amorfních už je to odlišné, neboť účinnost je

rapidně nižší jen 5 % – 7 %, ale mají řadu jiných výhod jako například flexibilita, velké napětí naprázdno, vysoká absorpce světla a nízká spotřeba materiálu při výrobě. Amorfni vyrábíme z vhodných sloučenin křemíku a ty jsou následně taveny ve vodíkové atmosféře. Takto můžeme připravit velmi tenké vrstvy křemíku na nerezové, plastové nebo plastové podložce.



Obrázek 12: Multikrystalický článek



Obrázek 13: Monokrystalický článek

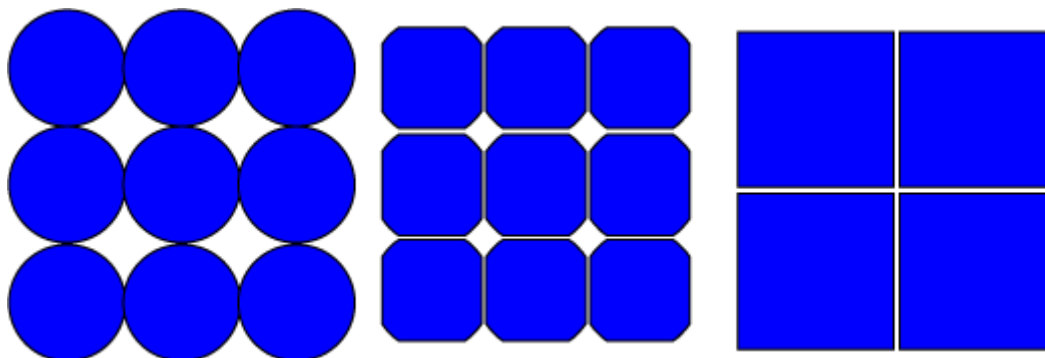


Obrázek 14: Modul z amorfniho křemíku

Druhou generaci článků tvoří tzv. tenkovrstvé články. Mají stokrát až tisíckrát tenčí polovodičovou vrstvu. Mezi jejich zástupce můžeme řadit i již výše zmíněný amorfni křemík. Hlavním důvodem pro rozvoj těchto článků byla snaha o úsporu materiálu na výrobu článků. U článků monokrystalických a multikrystalických se tloušťka křemíku pohybuje 0,2 – 0,3 mm, což se nám negativně projevuje na spotřebě materiálu při výrobě. Tenkovrstvé články mají kratší dráhu přechodu P-N, tudíž mohou lépe využít dopadajícího kvanta a také jsou flexibilní a mají poměrně snadnou instalaci. Jako další výhodu můžeme zmínit volbu substrátu, na který se tenkovrstvé struktury deponují a také se dají využít flexibilní materiály, což nám zvýší možnosti uplatnění. Zatímco běžné

solární články pracují jako polovodičové diody s přechodem P-N, články s inverzní vrstvou MIS mají přechod P-N indukovaný, tj. přechod s inverzní vrstvou typu N, podobně jako je tomu u tranzistorů. Tyto články dosahují v laboratořích účinnosti až 15 %.

Důležité je také zmínit tvar FV článku. Monokrystalické články jsou buď kulaté nebo poločtvercové, zatímco multikrystalický křemíkové články jsou obvykle čtvercové.



Obrázek 15: Tvary křemíkových článků

6.3.1 Účinnost fotovoltaických článků

Účinnost je limitována termodynamickými zákonitostmi. Výsledek je kromě toho daný technickými a technologickými okolnostmi jako kompromis často protichůdných požadavků na optimální fyzikální vlastnosti (např. horní sběrací elektroda má být co nejvíce vodivá, dobrá vodivost si vyžaduje velké rozměry a tím vzniká zastínění velké části povrchu článku). Maximální teoreticky možná účinnost přímé přeměny světelného – slunečního záření na elektrickou energii prostřednictvím solárních článků s přechodem P-N je asi 30 %. Prakticky se však pohybuje na hodnotách zmíněných v minulé kapitole. Nejlepší struktury s jedním přechodem připravené jen na laboratorní účely mají účinnost do 25 %. Účinnost

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_L} = \frac{FF * U_{oc} * I_{sc}}{P_L}, \quad (6.3.1.1)$$

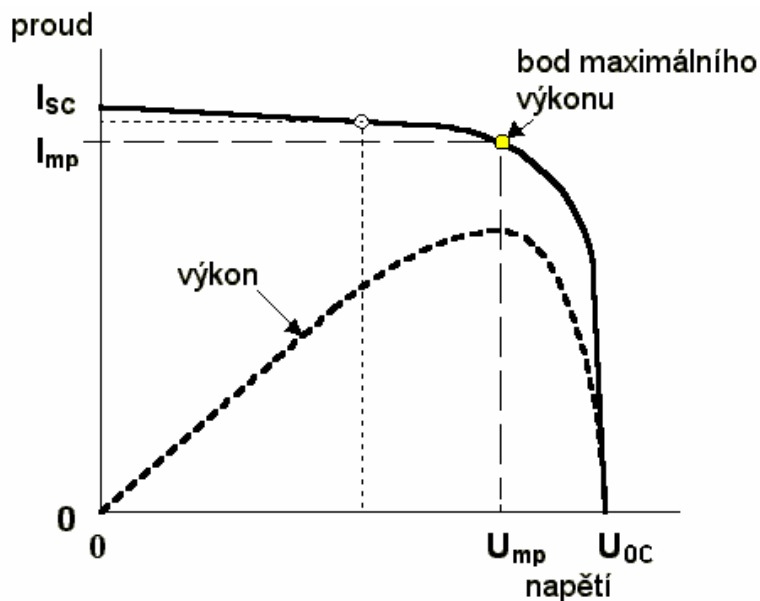
kde P_L je výkon dopadajícího záření, U_{oc} je napětí naprázdno, I_{sc} je proud nakrátko a FF je činitel plnění (fill factor), který charakterizuje křivost voltampérové charakteristiky při osvětlení a je dán vztahem

$$FF = \frac{U_{mp} * I_{mp}}{U_{oc} * I_{sc}}, \quad (6.3.1.2)$$

kde U_{mp} a I_{mp} je napětí resp. proud v bodu maximálního výkonu, jak je vidět na obrázku 16.

6.3.2 V-A charakteristika fotovoltaického článku

Fotovoltaický článek je velkoplošná polovodičová dioda, která při osvětlení pracuje jako generátor. Hraniční veličiny jsou U_{oc} a I_{sc} , které udávají velikost napětí naprázdno a proudu nakrátko. Charakteristika výkonu na obrázku 16 vznikne násobením okamžitých hodnot napětí a proudů. Maximum na výkonové charakteristice představuje maximální hodnotu možného výkonu, který je fotovoltaický článek za daných podmínek schopný dodat do zátěže. V generátorovém režimu pracuje osvětlená dioda ve čtvrtém kvadrantu, ale je zvykem tuto část charakteristiky překlopit do kvadrantu prvního, jako je na obrázku 16.



Obrázek 16 Voltampérová charakteristika fotovoltaického článku

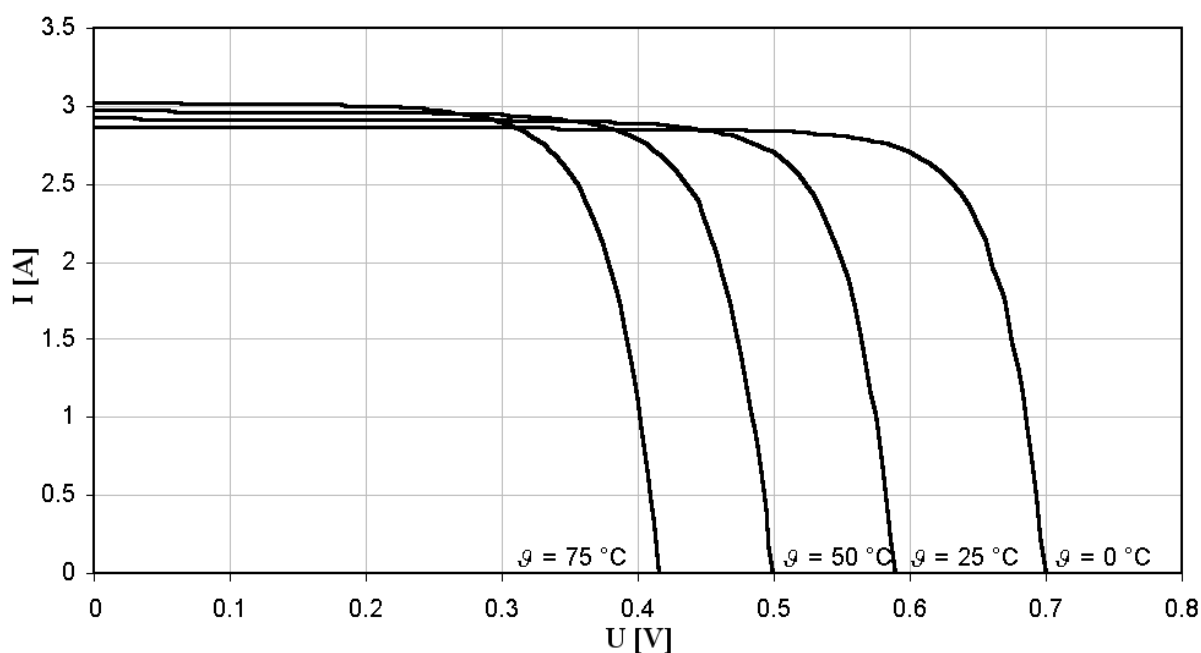
Z vnějších podmínek má na tvar V-A charakteristiky vliv teplota článku a intenzita dopadajícího záření.

Teplota

Vlivem zvýšené teploty roste proud proto, že se zvýší difúzní délka nosičů náboje a zmenší se energetická mezera polovodiče. Nárůst je však zanedbatelný. Významnější je pokles napětí naprázdno vlivem změny saturačního proudu. Změna U_{oc} je

$$\frac{dU_{oc}}{dT} = -\frac{1}{T} \left(\frac{\Delta W_z}{e} - U_{oc}(T) \right), \quad (6.3.2.1)$$

což pro křemík při pokojové teplotě dělá asi $-2,3 \text{ mV}/^\circ\text{C}$. Se vzrůstající teplotou mírně klesá i faktor plnění.



Obrázek 17: Závislost V-A charakteristiky na teplotě

Osvětlení

Fotovoltaický proud roste přímo úměrně s intenzitou dopadajícího záření. Při intenzitě dopadajícího světla 1 kW/m^2 dosahuje generovaný proud hodnoty $10 - 40 \text{ mA}$ v závislosti na typu použitého polovodiče a konstrukce článku. Proud je přímo úměrný ploše článku tak, že na standardním křemíkovém článku o velikosti $10 \times 10 \text{ cm}$ vzniká proud 1 až 4 A ($0,5$ až 2 W). Platí

$$I_L = x * I_{L1}, \quad (6.3.2.2)$$

když I_{L1} je proud při uvažovaném záření a x je koncentrační faktor. Vliv měnící se intenzity záření na napětí naprázdno je méně významný,

$$U_{oc} = U_{oc1} + n * \frac{k * T}{e} * \ln x, \quad (6.3.2.3)$$

kde n je tzv. diodový faktor ideality. Se vzrůstající intenzitou osvětlení roste i účinnost až po hodnotu danou fyzikálními principy, resp. konstrukčními vlastnostmi článku. Intenzita dopadajícího záření se mění v závislosti na odklonu od kolmého dopadu světla na povrch článku nebo modulu.

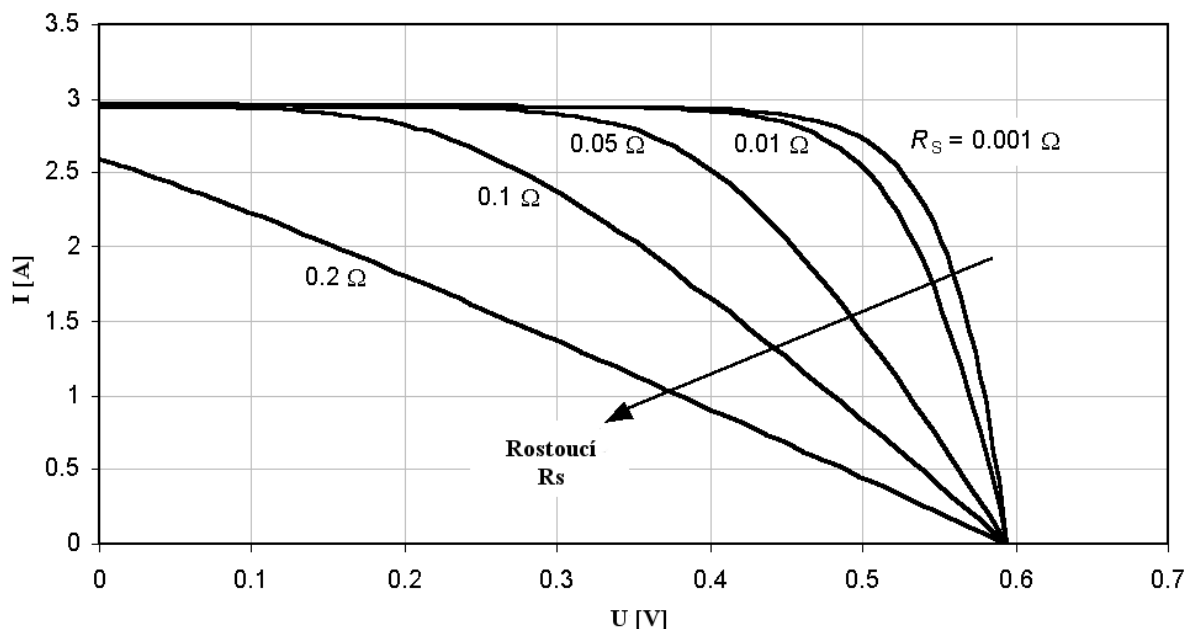
Pracovní bod článku

Je to bod na charakteristice, ve kterém článek právě pracuje. Proud závisí od výkonu připojeného spotřebiče. Nejvyšší možná hodnota proudu je I_{sc} , který může FV článek při dané intenzitě ozáření dodávat. Dalším charakteristickým bodem je napětí naprázdno U_{oc} , které udává

maximální napětí článku, když není připojený žádný spotřebič. Výkon FV článku se určuje jako součin proudu a napětí. Pro každý článek existuje pracovní bod na charakteristice, ve kterém výkon dosahuje maximum. Tento bod se označuje jako bod maximálního výkonu při U_{mp} a I_{mp} . V bodě režimu nakrátko nebo naprázdno neodevzdává článek žádný výkon.

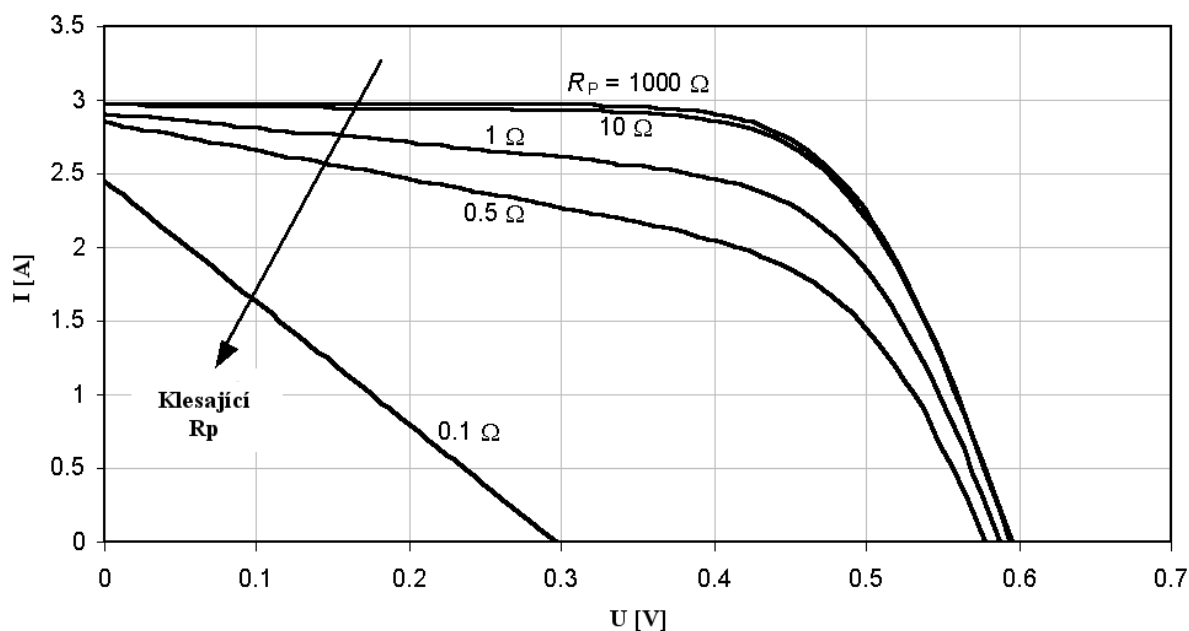
Vliv sériového a paralelního odporu

V reálných podmínkách ve člancích vzniká ztrátový výkon způsobený paralelním a sériovým odporem. Sériový odpor článku je dán celkovým odporem hmoty polovodiče, odporem kontaktů a propojením. Ideální hodnota by se měla být nulová. Na obrázku 20 je zobrazen průběh volt-ampérové charakteristiky článku pro různé hodnoty sériového odporu. Tento odpor ovlivňuje náklon V-A charakteristiky. Výkon článku nám s rostoucí hodnotou sériového odporu klesá.



Obrázek 18: Vliv sériového odporu na V-A charakteristice FV článku

Paralelní odpor je dán defekty krystalické mřížky nebo svodovými proudy kolem okrajů článku. Vliv paralelního odporu na volt-ampérovou charakteristiku FV článku je na obrázku 21. Ideální hodnota paralelního odporu by měla být nekonečno. Malá hodnota paralelního odporu snižuje úhel mezi osou y a volt-ampérovou charakteristikou článku v oblasti mezi body I_{sc} a MPP . Celkový výkon solárního článku se zmenšuje.



Obrázek 19: Vliv paralelního odporu na V-A charakteristice FV článku

6.4 Fotovoltaické moduly

Fotovoltaický modul se skládá z jednotlivých solárních článků elektricky spojených dohromady ke zvýšení jejich výkonu. Jsou zabaleny tak, aby byly chráněny před prostředím, a také se musí dát pozor, aby byl uživatel chráněn před úrazem elektrickým proudem. Nicméně některé aspekty návrhu FV panelů, které mohou snížit buď výkon modulu nebo jeho životnost, je třeba identifikovat. Následující kapitola se bude zabývat tím, jak jsou solární články zapouzdřeny do fotovoltaických modulů a též zkoumáním některých problémů, které vznikají v důsledku propojení a zapouzdření. Mezi nejvýznamnější účinky FV modulů nebo polí patří následující:

1. ztráty v důsledku propojení nesourodých solárních článků
2. teplota modulu
3. druhy poruch FV panelů

6.4.1 Struktura modulu

Fotovoltaický modul se skládá z několika vzájemně propojených solárních článků (typicky 36 zapojených v sérii) zapouzdřených do jedné stabilní části. Hlavním cílem zapouzdření elektricky propojených solárních článků je zajistit ochranu článkům a jejich propojovacím vodičům v typicky drsném prostředí, ve kterém jsou používány. Například solární články jsou relativně tenké a jsou náchylné k mechanickému poškození, a proto je nutná ochrana. Kromě toho kovová mřížka na horní ploše solárních článků a vodičů propojujících jednotlivých solárních článků může bez dostatečné

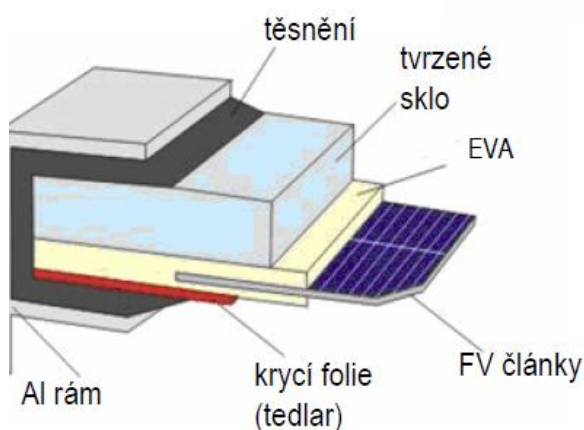
ochrany zkorodovat. Dvě klíčové funkce zapouzdření tedy jsou, aby se zabránilo mechanickému poškození solárních článků a aby se zabránilo korozi elektrických kontaktů díky vodě nebo vodní páře.

Existuje mnoho různých typů FV panelů a struktura modulu se často liší pro různé typy solárních článků nebo pro různé aplikace. Například amorfní křemíkové solární články jsou často zapouzdřeny do flexibilního pole, zatímco zapouzdření křemíkových solárních článků je obvykle pevné se skleněnou čelní plochou.

Životnost a záruka křemíkových fotovoltaických modulů je více než 20 let. Typická záruka zaručí, že modul produkuje 90 % svého jmenovitého výkonu pro prvních 10 let a 80 % jmenovitého výkonu až 25 let.

6.4.2 Struktura křemíkového modulu

Většina křemíkových modulů se skládá z transparentní horní plochy (sklo), těsnění, zapouzdřovací látky EVA (ethyl vinyl acetát), zadní vrstvy (tedlar) a rámečkem okolo vnějšího okraje nejčastěji hliníku.



Obrázek 20: Struktura křemíkového modulu

Přední plocha

Povrch FV modulu musí mít vysokou propustnost u vlnových délek, které mohou být použity díky solárním článkům v FV panelu. Pro křemíkové solární články musí horní plocha mít vysokou propustnost světla v rozsahu vlnových délek od 350 nm do 1200 nm. Kromě toho by měl být odraz od přední plochy co nejnižší. I když teoreticky tento odraz může být snížen nanesením antireflexní vrstvy na horní ploše, v praxi tyto povlaky nejsou dostatečně odolné, aby vydržely podmínky, za kterých se většinou používají fotovoltaické systémy. Alternativní postup ke snížení odrazu je "zdrsnění" nebo texturace povrchu. Problémem jsou v tomto případě prach a nečistoty, protože je zde větší

pravděpodobnost, že se usadí na povrchu, a je menší šance, že budou odfouknuty větrem nebo spláchnuty deštěm. Tyto moduly nejsou tedy „samočisticí“ a výhody redukováného odrazu rychle převáží ztráty vzniklé v důsledku zvýšeného znečištění povrchu.

Kromě jeho odrazu a prostupu by měl být povrchový materiál nepropustný pro vodu, dobrou odolnost proti nárazu, musí být stabilní při dlouhém působení UV záření a měl by mít nízký tepelný odpor. Voda nebo vodní páry vniknuté do FV modulu způsobí korozi kovových kontaktů a v důsledku toho se výrazně sníží životnost FV modulu. Ve většině modulů čelní plocha slouží k poskytování mechanické pevnosti a tuhosti, tudíž poskytuje dostatečnou ochranu pro solární články.

Existuje několik materiálů, které jsou obsaženy v povrchové vrstvě, jako jsou akryl, polymery a hlavně sklo. Nejčastěji se používá sklo s nízkým obsahem železa, protože je to levné, silné, stabilní, vysoce transparentní, nepropustné pro vodu a plyny a má dobré samočisticí vlastnosti.

EVA (ethyl vinyl acetát)

Je látka, která poskytuje adhezi mezi solárními články a přední a zadní vrstvou. Další důležité vlastnosti jsou stabilita při vysokých teplotách a odolnost vůči UV záření. EVA by měl být opticky transparentní a měl by mít malý tepelný odpor. Skládá se z tenkých vrstev, které se vkládají mezi solární články a přední a zadní povrch. Tento „sendvič“ se potom zahřeje na 150°C, začne polymerizovat a tím se spojí všechny části k sobě.

Zadní povrch

Ve většině modulů se používají jako krycí vrstva tenké polymerové fólie zvané tedlar. Klíčové charakteristiky zadní části jsou malý tepelný odpor a hlavně zabránění pronikání vody a vodních par. Některé FV panely jsou známé jako oboustranné moduly a jsou navrženy tak, že solární články přijímají světlo ze přední i zadní strany. V tomto případě musí být jako zadní povrch sklo stejně jako zepředu. U klasických panelů by sklo mohlo být též použito, ale není to vhodné skrz váhu modulu.

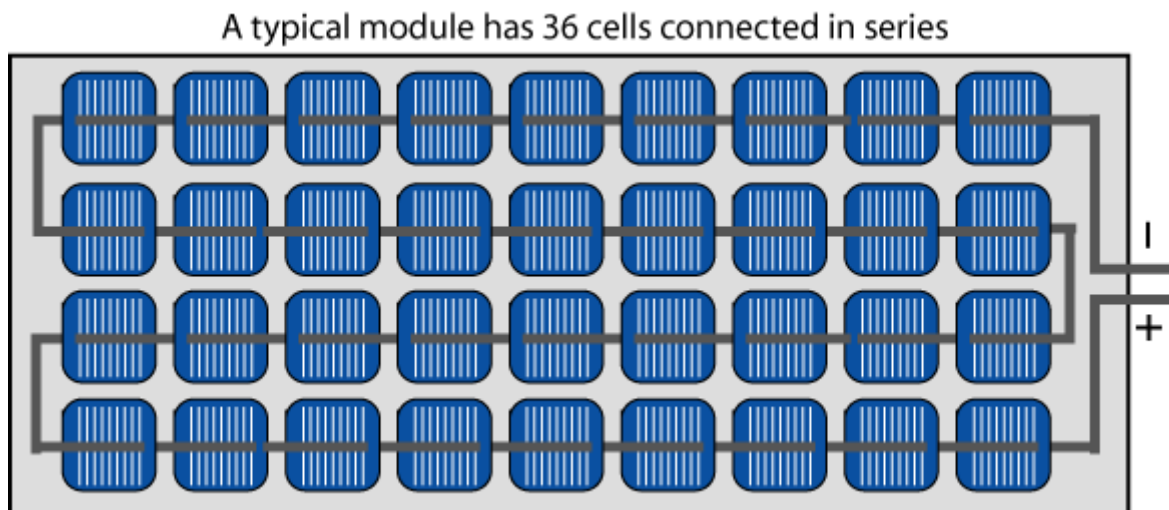
Rám

Konečným konstrukčním prvkem modulu je lemování nebo rámování modulu. Konvenční FV modulový rám je obvykle vyroben z hliníku. Rámová konstrukce musí být bez výstupků, které by mohly vést k usazování vodě, prachu nebo jiných látek.

6.4.3 Uspořádání FV článků v modulu

FV panel se skládá z několika jednotlivých solárních článků spojených téměř vždy do série. Je to hlavně kvůli zvýšení výkonu a napětí. Napětí FV modulu je obvykle navrženo tak, aby bylo kompatibilní s akumulátorem 12 V. Samotný křemíkový článek má napětí těsně pod 0,6 V a teplotu

těsně pod 25°C. Vezmeme-li v úvahu očekávané snížení napětí modulu díky zvýšené teplotě a skutečnosti, že baterie může vyžadovat i 15 V i více, tak se většina modulů skládá z 36 článků v sérii. To nám dává napětí naprázdno asi 21 V při standardních testovacích podmínkách a provozní napětí při maximálním výkonu a provozní teplotě asi 17 V. Zbývající přepětí se sníží díky ostatním prvkům fotovoltaického zařízení včetně provozu mimo bod maximálního výkonu a snížení intenzity světla.



Obrázek 21: Zapojení 36 článků v modulu

I když je napětí fotovoltaického modulu určeno počtem solárních článků, proud závisí převážně na velikosti článků a také jejich účinnosti. V AM 1,5 za optimálního náklonu je proudová hustota komerčně vyráběných článků v rozmezí od 30 mA/cm² až 36 mA/cm². Monokrystalické články mají obsah často 100 cm², takže proud je přibližně 3,5 A z jednoho modulu. Multikrystalické mají větší plochu jednotlivých článků, ale zároveň nižší proudové hustoty a proud z těchto modulů je asi 4 A. Nicméně existuje velká rozmanitost velikosti multikrystalických křemíkových článků, a proto se proud může lišit. Pokud mají všechny články v modulu stejné elektrické vlastnosti, stejné teploty a dopadá na ně stejná intenzita záření, pak mají všechny články stejnou velikost proudu a napětí.

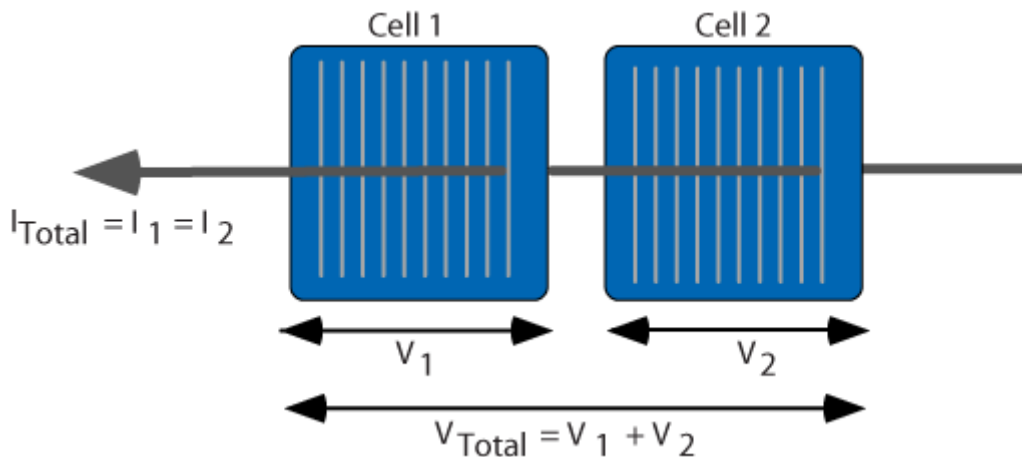
6.4.4 Ztráty

Ztráty jsou způsobeny propojením článků nebo modulů, které nemají stejné vlastnosti nebo kvůli jiným vlastnostem působících na článek. Ztráty jsou velice závažným problémem, protože výstup celého FV panelu je v nejhorším případě dán článkem s nejnižším výkonem. Například je-li jeden článek ve stínu, zatímco zbytek je osvětlený a generují klasický výkon, tak nám vzniká lokální ztrátový výkon a ten vede k zahřívání zastíněného článku. Je to pro nás nežádoucí jev, protože to může způsobit vlivem vyšší teploty nevratné poškození článku, a tudíž i modulu. Aby nedocházelo ke ztrátám, musíme se snažit dodržovat následující body, aby byly stejné:

- pracovní bod FV modulu respektive článků

- konfiguraci okruhu
- parametry modulů a článků

Velké nerovnoměrnosti jsou nejčastěji způsobeny rozdíly proudu nakrátko nebo napětím naprázdno. Záleží to na konfiguraci obvodu.



Obrázek 22: dva články spojené do série

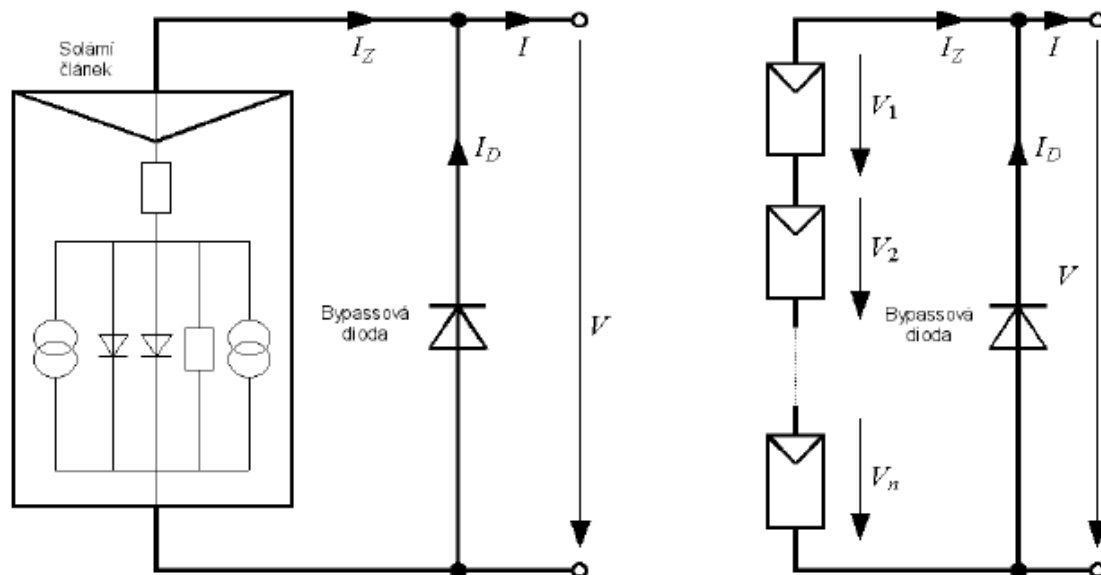
Pro dva články zapojené do série je proud oběma články stejný. Celkové elektrické napětí je dáno jejich součtem. Vzhledem k tomu, že proud musí být všude stejný, tak například při částečném zastínění (komín, strom, sloup a další překážky) se nám začnou odlišovat jednotlivé proudy a zastíněný článek ho bude mít výrazně nižší. A z toho nám plyne, že celkový proud se bude rovnat nejnižšímu proudu. Samozřejmě je to velmi nežádoucí, protože nám klesá výkon úměrně k zastíněné části a také hrozí nenávratné poškození článku (prasknutí skla, tavení pájky) z důvodu vysoké teploty. Řešením jsou pro nás bypass diody, které si popíšeme v následující kapitole.

6.4.5 Bypass diody

Abychom předešli zničení jednotlivých článků a také značnému poklesu výkonu, tak se používají bypass (překlenovací) diody. V momentu zastínění jednotlivých článků je nám diody odpojí a tím nám umožní eliminovat pokles výkonu solárního modulu a proudu, který by jinak procházel zastíněnými články.

Tyto diody se dnes nejčastěji zapojují tak, že překlenují 18 – 24 článků. Pro ideální ochranu modulu a článků by musely být diody použity pro každý článek zvlášť. To se ovšem v praxi nikdy nepoužívá z důvodu ekonomické stránky, ale také i proto, že způsobují ztrátový proud, který nám způsobí snížení celkového proudu dodávaného solárními články. Nejčastěji se používají dvě překlenovací diody, které nám stačí pro modul o výkonu 200 Wp obsahující 36 – 40 článků. Tyto diody jsou nejčastěji vloženy do rámu modulu nebo spojovací skříňky.

Využitím polovodičové technologie mohou být bypass diody také vloženy přímo do solárních článků. Solární moduly s těmito diodami mají menší ztráty vlivem nesouměrného ozáření, ale jejich cena je stále velmi vysoká.

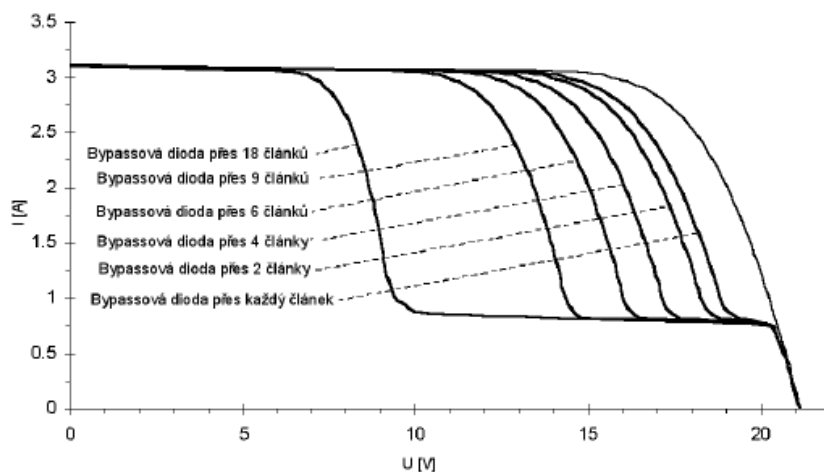


Obrázek 23: Způsob zapojení bypass diody v solárním modulu

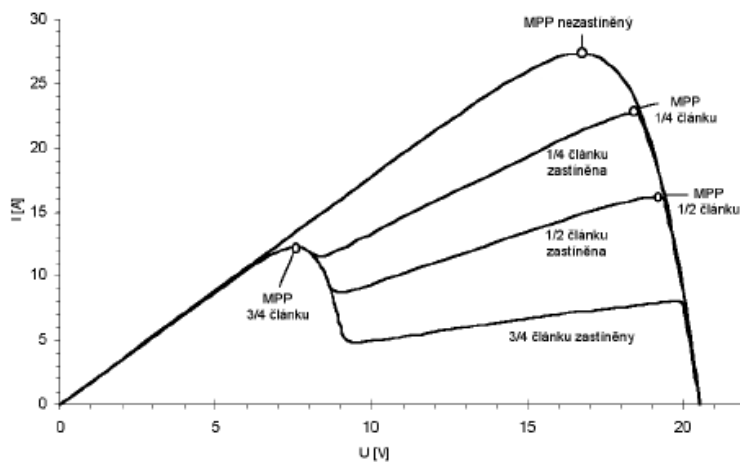
Bypass diody nám přecházejí do propustného směru, když se napětí dostává k hodnotě $-0,6$ V v závislosti na typu diody. Jakmile je součet napětí nezastíněných článků a napětí bypass diody roven napětí zastíněného článku, tak se nám objeví již zmíněné záporné napětí.

Na obrázku 27 můžeme vidět tvar volt-ampérové charakteristiky solárního modulu, u kterého je zastíněn jeden článek ze 75 % a znázorňuje měnící se charakteristiku pro použití bypass diod přes různý počet článků. Čím bypass dioda překleneje větší počet článků, tím se značný pokles proudu posouvá k nižšímu napětí. Nejvyššího výkonu dosahuje solární modul, který má diodu přes každý článek. Výhodou je, že při zastínění se přemostí jen konkrétní článek a ne celý řetězec, ve kterém je článek zapojen.

Na obrázku 28 je znázorněna výkonová charakteristika modulu s různým stupněm zastínění článku. V modulu je použito 36 článků a 2 bypass diody, kde každá je pro 18 článků. Výkon modulu se vlivem zastínění výrazně mění. S rostoucím zastíněním klesá proud a částečně i napětí. U panelu zastíněného z jedné čtvrtiny je celkový výkon přibližně 70 %.



Obrázek 24: V-A charakteristika modulu s bypass diodami přes různý počet článků ($E = 1000 \text{ W/m}^2$, $T = 300 \text{ K}$)



Obrázek 25: Výkonová charakteristika modulu s různým stupněm zastínění jednoho solárního článku ($E = 574 \text{ W/m}^2$, $T = 300 \text{ K}$)

6.5 Fotovoltaické systémy

Složením několika FV článků vzniká fotovoltaický modul a následným zapojením těchto panelů do série, paralelně nebo nějakou jejich kombinací vzniká fotovoltaický systém. Ten můžeme rozdělit na 2 základní skupiny.

6.5.1 Ostrovní systémy (grid-off)

Jsou to systémy potřebné v místech, kde není možné napojení na síť nebo by takové napojení bylo velice ekonomicky náročné. Jedná se o připojení, kde by náklady na připojení byly vyšší než cena samotného FV systému. Za mezní vzdálenost, kde se musíme rozhodnout pro určitou variantu, považujeme 500 – 1000 m. Toto řešení volíme u odlehlých a špatně dostupných objektů (chata v horách, lodě, dopravní signalizace). Velikost systému je závislá podle potřeby napájeného zařízení a také možností akumulace nejčastěji v akumulátorech. Pokud je výkon elektrárny vyšší než 4,6 kWp je nutné provést vždy připojení třífázově, musí být tedy použit střídač s třífázovým výstupem. Při větších výkonech nad 100kWp se zpravidla elektrárna připojuje přes trafostanici do vysokonapěťového vedení VN 22kV. Grid-off systémy dělíme na systémy s akumulací elektrické energie, hybridní systémy a systémy s přímým připojením.

Systémy s přímým připojením

Jedná se o jednoduchý systém, kde je sluneční energie přeměněna na elektrickou energii bez možnosti akumulace. Výhodou je jednoduchost systému, ale obrovská nevýhoda je, že v momentě, kdy nesvítí, nemáme elektrickou energii žádnou.

Hybridní systémy

Jsou to fotovoltaické systémy doplněné jiným alternativním zdrojem energie. Využití nacházejí v místech, které jsou celoročně značně vytiženy. Systémy jsou stavěny převážně na provoz v zimním období, kdy FV moduly produkují daleko méně elektrické energie než v letních měsících. Za následek to má zvýšení instalovaného výkonu, ale velkou nevýhodou je zvýšení pořizovacích nákladů. Proto doplňujeme hybridní fotovoltaické systémy alternativním zdrojem jako např. vodní elektrárna, větrná elektrárna atd.

Systémy s akumulací energie

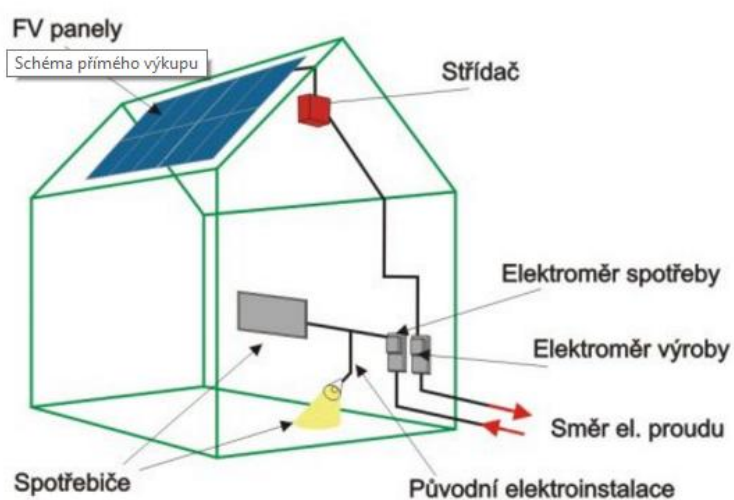
Na rozdíl od systémů s přímým napájením zde mají možnost používání spotřebiče i v době, kdy slunce nesvítí. Je to díky přidání akumulátorové baterie do systému. V denních hodinách dochází k nabíjení akumulátoru přebytkovou energií, která může být spotřebována v nočních hodinách nebo když je zataženo. Používají se speciální akumulátory pro pomalé nabíjení a vybíjení (nejčastěji na bázi olova).

6.5.2 Síťové systémy (grid-on)

Na rozdíl od grid-off systému se instalují v místě s dobrou hustotou elektrických rozvodů. Z hlediska připojení systému k distribuční síti je možné rozlišit 2 základní způsoby.

Přímý výkup

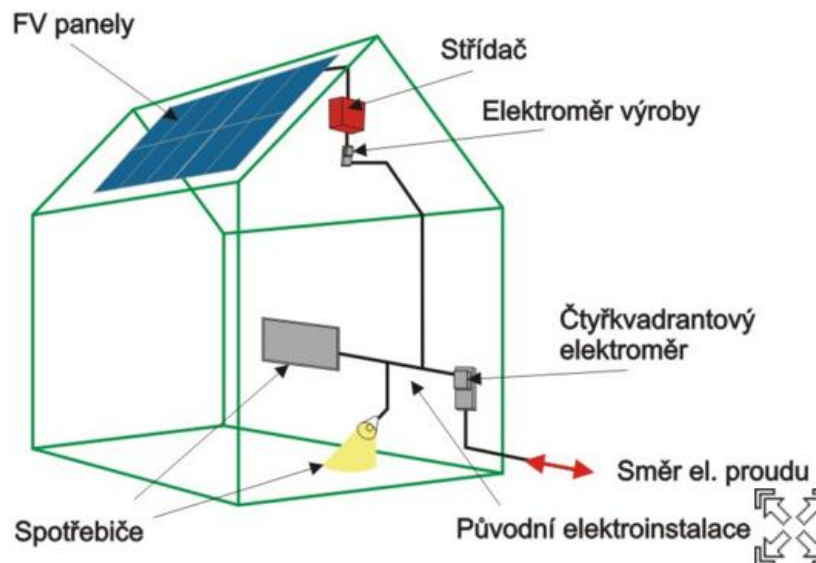
Můžeme jej též nazvat přímým připojením do sítě a prodej provozovateli distribuční sítě. U tohoto typu připojení je všechna vyrobená elektrická energie dodávána do distribuční sítě a je prodávána za výkupní cenu. Tento způsob připojení je méně obvyklý a pro majitele malého fotovoltaického systému zbytečně složitý. Veškerá vyrobená elektrická energie je dodávána obchodníkovi s elektřinou, který za předem sjednanou cenu vykupuje celkovou produkci tohoto FV systému.



Obrázek 26: Schéma přímého výkupu

Zelený bonus

V tomto případě můžeme hovořit o připojení do stávajících rozvodů elektrické energie v objektu. Tento typ připojení je vhodné použít v případě, že v místě výroby elektrické energie je možno vyrobenou energii částečně zpracovávat a vyrobené přebytky jsou dodávány a prodávány do sítě. Používá se to u instalací menších výkonů jako například na rodinných domech nebo firemních elektrárnách do výkonu 30 kWp. Je to nejjednodušší způsob k připojení fotovoltaického systému do distribuční soustavy. Výhodou je, že není třeba zřizování nového odběrného místa a také přípojky elektrické energie, což nám ušetří náklady spojené s těmito věcmi. Úspory mohou být desítky tisíc korun.



Obrázek 27: Schéma zapojení zeleného bonusu

6.5.3 Rozdělení podle velikosti FV systémů

Malé střešní instalace

Výkon se zde pohybuje zpravidla do pár kWp a umístění je obvykle na střešní konstrukci budovy, převážně na rodinných domech. Rozeznáváme pak ještě instalace integrované do střešní krytiny a instalace v rovině střechy na hliníkové nosné konstrukci. Dále rozlišujeme ještě instalace integrované do střešní krytiny a instalace v rovině střechy na hliníkové nosné konstrukci.

Velké střešní instalace

Výkony těchto systémů jsou větší jak 30 kWp a dosahují hodnot až v řádech MWp. Jedná se převážně o velké průmyslové objekty, haly nebo logistické centra.

Volně stojící instalace

Jedná se o výkony stovek kWp až po obrovské plochy v řádech MWp. Radíme zde elektrárny postavené na volných prostranstvích a jejich konstrukce je pevně spojená se zemí.

6.5.4 Komponenty

Kabeláž

Díky narůstajícímu počtu FV systémů nedochází ke zpracování vyrobené energie přímo na místě, ale musí se přemístit. Abychom omezili ztráty způsobené přepravou na minimum, a také se musí omezit náklady na instalaci, je nutné volit vhodnou kabeláž. Ta je rozdělena na AC a DC stranu.

U AC strany je preferována kabeláž s hliníkovým nebo měděným jádrem. Jedná se o kabely mezi střídačem a distribuční soustavou. Výběr kabeláže na straně AC přípojky zohledňuje mnoho faktorů, které mají vliv na životnost. Největší vliv má okolní prostředí (teplota), seskupení kabelů, pokládka kabelů, počet zatížených žil a další technické údaje přístrojů. DC kabely jsou speciálně vyvinuté pro vnější prostředí. Jsou to jednožilové kabely s Cu jádrem, které jsou odolné proti vnějším vlivům (UV záření, mechanické poškození, vlhkost). Pro minimalizaci ztrát musíme kabeláž správně dimenzovat.

Střídače

Střídač neboli tracker, měnič, invertor slouží k přeměně stejnosměrného napětí, které je vyrobené FV systémy, na napětí střídavé. Je to nezbytná součást každého FV systému, protože většina spotřebičů funguje na střídavé napětí nebo se energie dodává do rozvodné sítě. Střídače se zapojují buď samostatně, nebo můžeme zapojit několik nezávislých trackerů spolu, kde každý hlídá jednotlivé části FV systému. Účinnost se pohybuje v mezích 90 – 98 % a je měřena pro různé stupně zatížení při optimálním napětí na stejnosměrné straně.

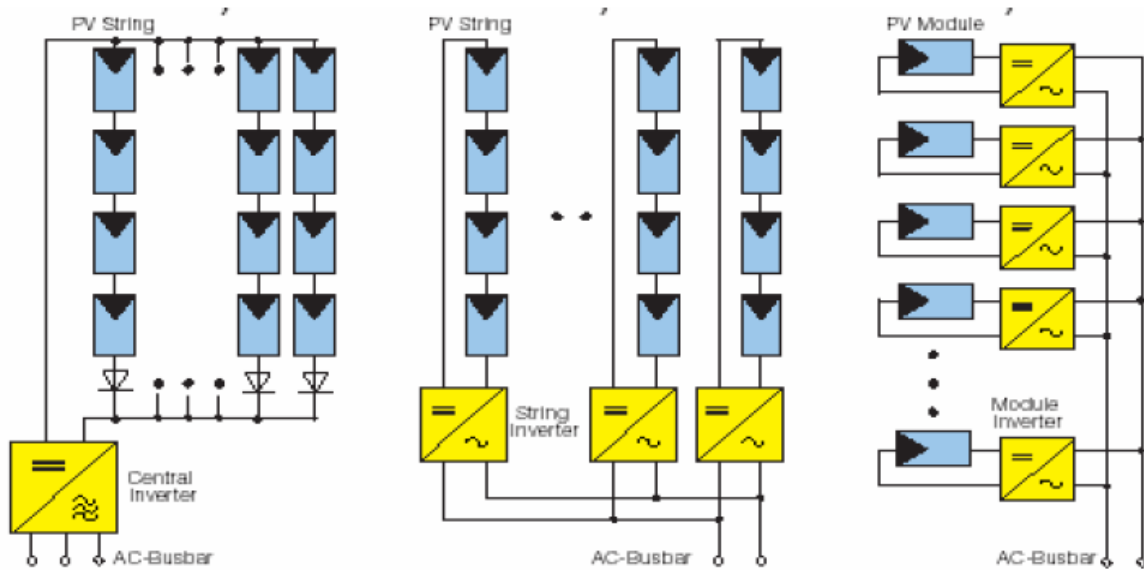
V reálných podmínkách je účinnost střídače výrazně ovlivněna teplotou. Pro ideální pracovní chod je důležité, aby tracker držel co nejvyšší účinnost v celém rozsahu V-A charakteristiky. Díky měnícím se klimatickým podmínkám obsahují dobré střídače tzv. MPP (maximum power point) trackery, což jsou pro nás sledovače pro udržení maximálního výkonu z FV systému. Hodnota této charakteristiky neklesá pod 99 % u kvalitních střídačů. Nejvyšší účinnost mají beztransformátorové střídače, protože u nich není galvanické oddělení, které chrání střídač před poškozením. U FV systémů s tenkovrstvou technologií je galvanické oddělení nutností.

Střídače můžeme rozdělit do tří skupin.

1. Centrální střídač - výkony 10 kW až 250 kW
 - třífázové, více řetězců paralelně
 - velká účinnost, malé náklady, nemá optimální sledování MPP, nízká spolehlivost
 - používá se ve velkých FV systémech

2. Řetězcové střídače - 1,5 kW až 5 kW
 - lepší sledování bodů MPP
 - oddělené řetězce mohou mít různé parametry panelů a jejich orientace

- obvykle jednofázové střídače
3. Modulové střídače
- 50 W až 180 W
 - modul má své sledování MPP
 - nižší účinnost, vyšší náklady, obtížná údržba

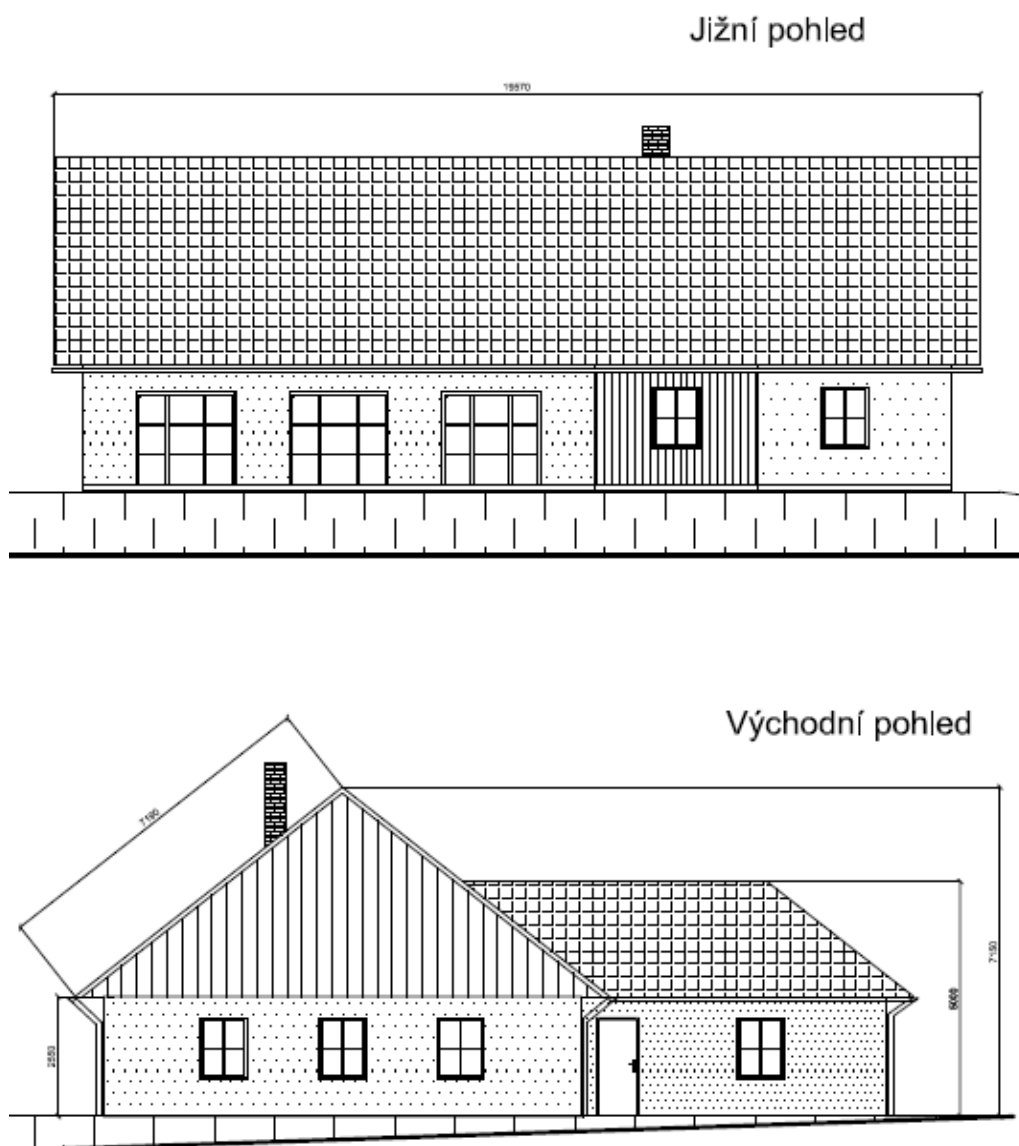


Obrázek 28: Centrální střídač, řetězcové střídače a modulové střídače

7 Fotovoltaická elektrárna na rodinném domě

Zvolený rodinný dům se nachází ve městě Trutnov v Královéhradeckém kraji. Dům je v nadmořské výšce 406 m.n.m. Dům je zobrazen na obrázku 32. V této části si rozebereme technickou část instalace a posléze bude vypočítáno ekonomické zhodnocení.

Rodinný dům má 3 ložnice, obývací pokoj, kuchyni, jídelnu, koupelnu, pracovnu a garáž. Vytápění je řešeno pomocí podlahového topení a zdrojem energie topení je elektřina, což se nám posléze promítne do spotřeby elektřiny v zimních měsících.



Obrázek 29: Pohledy na rodinný dům

FVE byla na rodinném domě postavena v roce 2010. Díky tomu mohl majitel uzavřít s distributorem výhodnou smlouvu a bylo dohodnuto, že výkup elektřiny bude probíhat pomocí

zeleného bonusu, popsaného v předcházející kapitole. FVE je umístěna na jižní stranu střechy. Jako solární moduly byly zvoleny převážně z estetického hlediska moduly z amorfního křemíku od firmy Helion. Původní návrh byl pro technologii multikrystalického křemíku, ale od společnosti ČEZ bylo povoleno na střeše mít maximálně 8 kW. A kvůli již zmíněnému estetickému hledisku byla nakonec vybrána varianta s amorfním křemíkem.

7.1 Použitá technologie

Modul z amorfního křemíku

Značka	NexPower Technology
Model	NH-100AT_4A
Výkon [W]	100
Napětí jmenovité [V]	37,5
Proud jmenovitý [A]	2,66
Napětí naprázdno [V]	50,5
Proud nakrátko [A]	3,3
Fill faktor [%]	60
Účinnost [%]	6,30
Modul výška [mm]	1414
Modul šířka [mm]	1114
Modul hloubka [mm]	35,5
Modul plocha [m ²]	1,58
Životnost [rok]	25
Modul váha [kg]	20,5



Tabulka 6: Parametry modulu z amorfního křemíku

Obrázek 30: Modul amorfní křemík

Střídače



Obrázek 31: Střídače Fronius IG PLUS 50 a 20

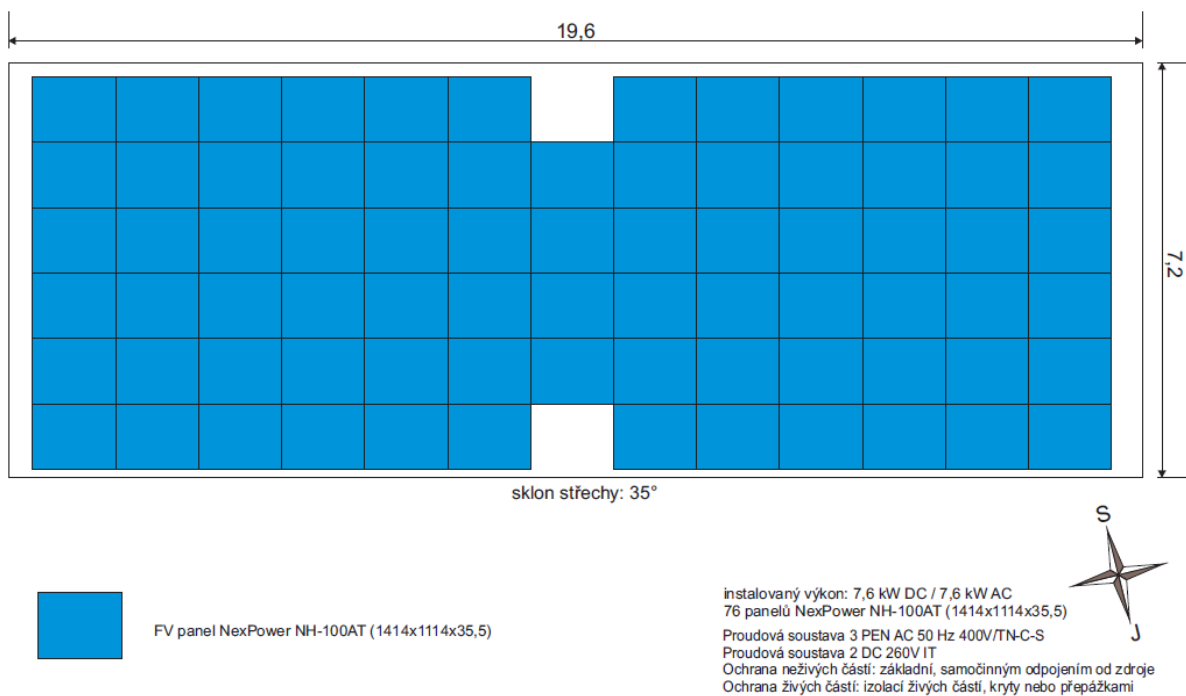
Značka	Fronius	
Model	Fronius IG PLUS 50	Fronius IG PLUS 20
Výkon DC [W]	4260	1800
Proud max DC [A]	18,6	14,3
Proud nakrátko DC [A]	27,9	17,9
Napětí jmenovité [V]	370	230
Rozsah napětí MPP [V]	230 – 500	150 – 400
Výkon AC [W]	4000	1800
Proud max AC [A]	17,4	11,3
Napětí min AC [V]	180	180
Napětí max AC [V]	270	270
Frekvence [Hz]	50/60	50/60
Frekvenční rozsah [Hz]	46 – 65	46 – 65
Účinnost [-]	0,75 – 7 ind/kap	0,75 – 7 ind/kap
Váha [Kg]	23,8	9
Rozměry [mm]	673 x 436 x 250	366 x 344 x 220
Chlazení	vzduch	vzduch
Instalace	venkovní a vnitřní	venkovní a vnitřní
Dovolená vlhkost [%]	1 – 95	1 – 95

Tabulka 7: *Střídače Fronius*

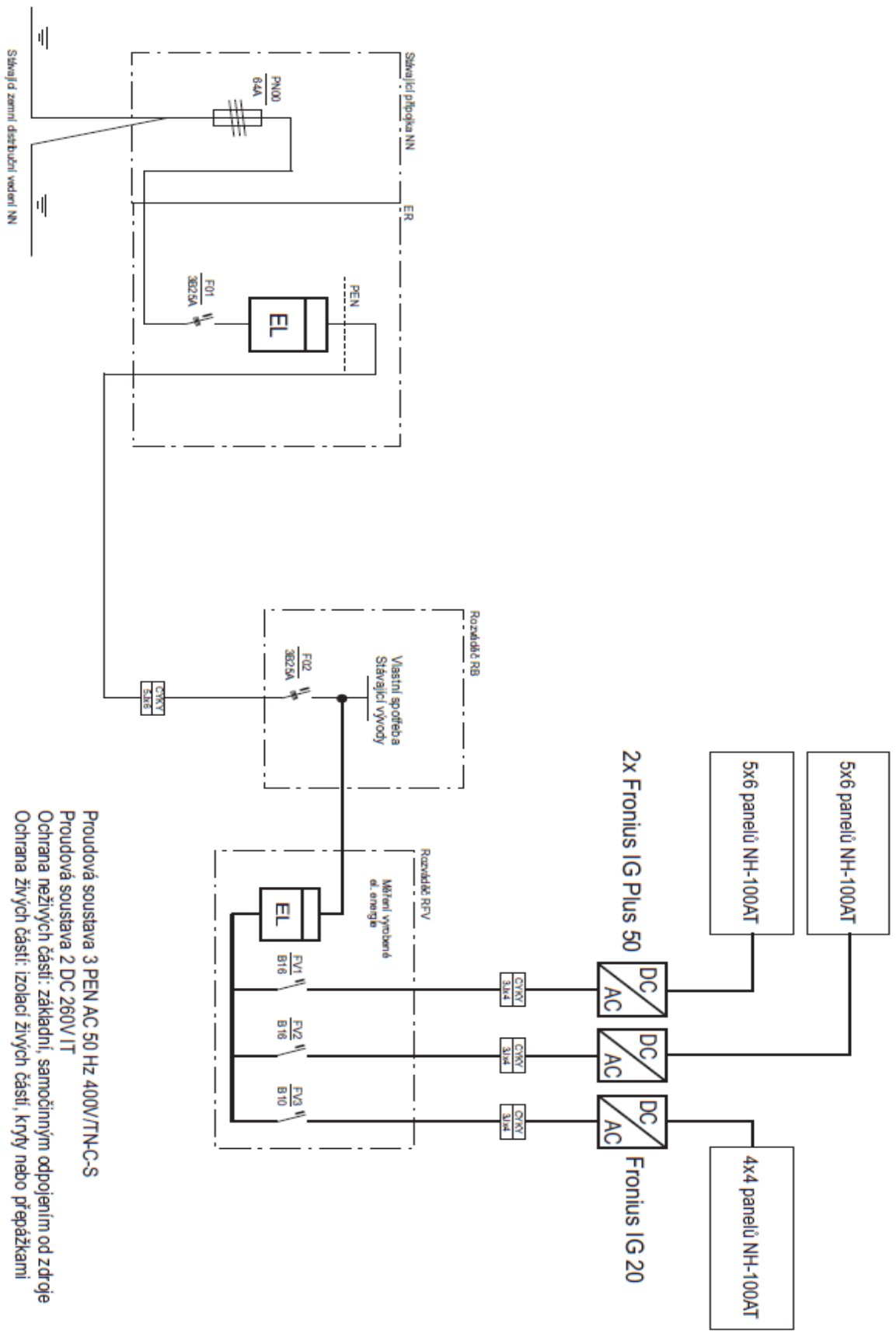
7.2 Způsob zapojení

Systém dodávky z FVE je navržen jako kombinovaný provoz paralelně s distribuční sítí NN. Systémové propojení 76 ks FV panelů je do čtrnácti větví ($5 \times 6 + 5 \times 6 + 4 \times 4$). Tyto větve jsou svedeny do tří střídačů, které jsou instalovány v garáži domu spolu s měřením vyrobené energie a jištěním (rozv. RFV). Od rozvaděče RFV je veden kabel CYKY5x4 do stávajícího domovního rozvaděče. Z domovní rozvodnice je stávající propojení do elektroměrové skříně a přes jištění 3B25A na přípojovací sběrnici stávající přípojky NN.

Na výstupech z FV panelů jsou osazeny střídače nastavené na výstupu na 230V, 50Hz. Tyto střídače mají souhrnný výkon **9,8 kW**. Střídače jsou vybaveny automatickým systémem ochrany a systémem odpojení od sítě v případě výpadku libovolné fáze distribuční sítě. Ke střídačům je dodavatelem vyhotoven protokol o nastavení parametrů výstupního napětí a účinnosti a provedených testů v souladu s podmínkami a pravidly provozování výroby elektrické energie paralelně se sítí provozovatele distribuční soustavy.



Obrázek 32: Umístění modulů na střeše rodinného domu



Proudová soustava 3 PEN AC 50 Hz 400V/TN-C-S
 Proudová soustava 2 DC 260V IT
 Ochrana neživých částí: základní, samočinným odpojením od zdroje
 Ochrana živých částí: izolací živých částí, kryty nebo přepážkami

Obrázek 33: Schéma zapojení FVE

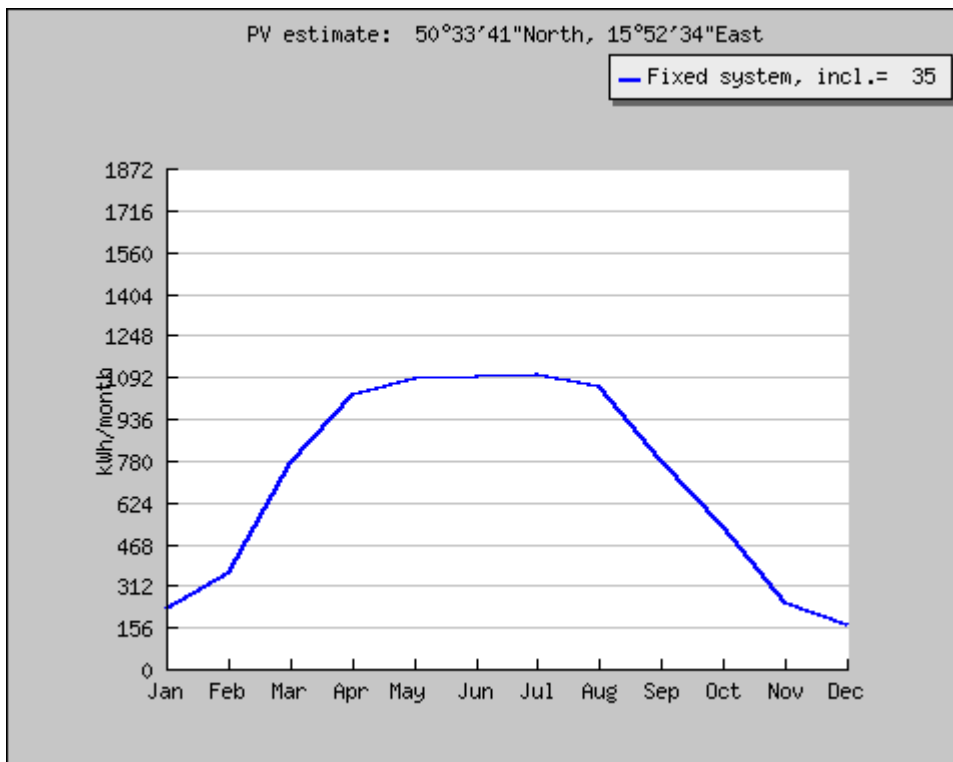
7.3 Technická data teoretická a skutečná

Jak už bylo řečeno, FVE byla postavena v roce 2010. Pomocí programu PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) si necháme propočítat, jaké hodnoty by měla FVE dodávat každý měsíc v roce. Program volíme kvůli přesnosti výsledků, protože při vlastních výpočtech by následovalo mnoho zaokrouhlování a výsledky by byly velice nepřesné. Tento program má vystudované sluneční hodiny a hodnoty teplot v jednotlivých místech a okamžicích velice dobře, tudíž můžeme počítat s velmi přesným odhadem. Následně budou tyto odhady porovnány se skutečnými hodnotami.

Teoretické hodnoty softwaru PVGIS

Měsíc	E_d [kWh]	E_m [kWh]	H_d [kWh/m ²]	H_m [kWh/m ²]
Leden	7,36	228	1,08	33,5
Únor	12,8	359	1,88	52,7
Březen	24,9	772	3,65	113
Duben	34,2	1020	5,01	150
Květen	35,1	1090	5,17	160
Červen	36,4	1090	5,36	11
Červenec	35,5	1100	5,23	162
Srpen	34	1050	4,99	155
Září	25,9	777	3,8	114
Říjen	17,1	531	2,51	77,9
Listopad	8,23	247	1,21	36,2
Prosinec	5,21	162	0,77	23,7
Průměr	23,1	703	3,4	103
Rok celkem		8440		1240

Tabulka 8: Teoretické hodnoty FVE (E_d – průměrná denní produkce, E_m – průměrná měsíční produkce systému, H_d – průměrná denní hodnota intenzity záření dopadající na moduly o velikosti 1 m², H_m - průměrná měsíční hodnota intenzity záření dopadající na moduly o velikosti 1 m²)



Obrázek 34: Vyrobena energie v jednotlivých měsících

Za první rok tedy vyrobíme 8440 kWh elektrické energie a z toho budeme počítat, že pro vlastní spotřebu spotřebujeme asi 65 % vyrobené energie, což činí 5486 kWh. Zbytek dodáváme do sítě. Nejlepší by samozřejmě bylo spotřebovat kompletně celou vyrobenou elektrickou energii, ale to bohužel v tomto systému zapojení nelze. Je to způsobeno tím, že v zimě, kdy je daleko menší počet sluneční hodin a tím pádem i daleko méně vyrobené energie, potřebujeme více energie na topení. Je důležité zmínit, že v našem rodinném domě je pro vytápění použito podlahové topení a to je napájeno pouze elektricky a v našem případě to tedy hraje významnou roli. Jen pro představu rodinný dům spotřebuje ročně kolem 20 000 kWh elektrické energie a téměř 60 % z toho je použito na vytápění. Důležité je zmínit životnost celého systému, která je 25 let. Moduly mají garantovanou účinnost za 10 let větší jak 90 % a za 25 let větší jak 80 %. To znamená, že účinnost systému bude ročně klesat o 0,8 %, a to musíme zohlednit později v predikci příjmů ze systému kvůli menšímu množství vyrobené energie v průběhu let.

Skutečné hodnoty

Měsíc	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
	Em [kWh]/Vlastní spotřeba [kWh]						
Leden	x	277	255	265	232	234	40
Únor	x	520	546	354	332	451	153
Březen	x	1074	1099	631	831	857	408
Duben	x	1119	1212	951	997	1042	x
Květen	x	1404	1178	990	1108	1212	x
Červen	x	1229	1210	1090	1161	1188	x
Červenec	x	1311	1201	1300	1239	1394	x
Srpen	1096	1141	1214	1110	1070	1327	x
Září	1096	1014	890	804	807	1087	x
Říjen	431	710	647	671	455	742	x
Listopad	137	348	168	243	14	328	x
Prosinec	51	142	99	172	141	234	x
celkem	2811	10289	9719	8581	8387	10096	601

Tabulka 9: Skutečné hodnoty z FVE

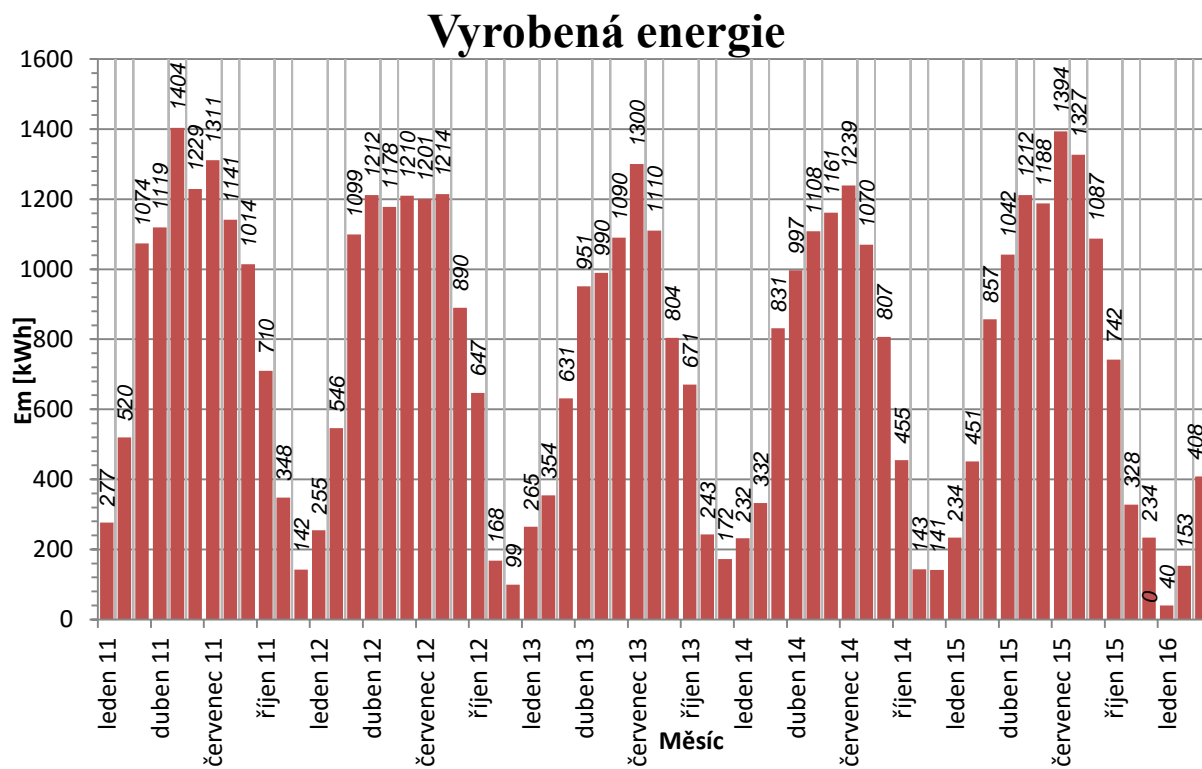
Před postavením FVE byla predikce výroby elektrické energie stanovena na zhruba 8440 kWh ročně. Když si srovnáme jednotlivé roky s předpokladem, tak můžeme říci, že uplynulých 6 let bylo více než úspěšné. Kromě roku 2014 jsme se vždy dostali nad předpoklad a ve třech případech (letech 2011, 2012, 2015) jsme o velkou hodnotu předpoklad překonali. V letošním roce jsou k dispozici pouze 3 hodnoty, nicméně na základě jejich posouzení se dostáváme k prozatímnímu závěru, že jde zatím o nejslabší rok a v případě nepříznivé intenzity slunečního záření se k těmto předpokládaným hodnotám nepřiblížíme.

Z grafu 7 můžeme vyčíst průběh vyrobené energie v závislosti na měsíci v roce. Odráží se zde skutečnost, že vyrobená energie v letních měsících výrazně převyšuje její výrobu v měsících zimních. Což jsme samozřejmě očekávali.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
	Vlastní spotřeba [kWh]						
Leden	x	277	249	260	194	181	1
Únor	x	520	492	304	177	389	25
Březen	x	1028	837	406	419	435	229
Duben	x	942	760	673	523	511	x
Květen	x	1151	427	619	625	658	x
Červen	x	1159	739	647	669	583	x
Červenec	x	1007	401	1300	463	564	x
Srpen	965	983	989	761	592	579	x
Září	965	1014	627	401	360	507	x

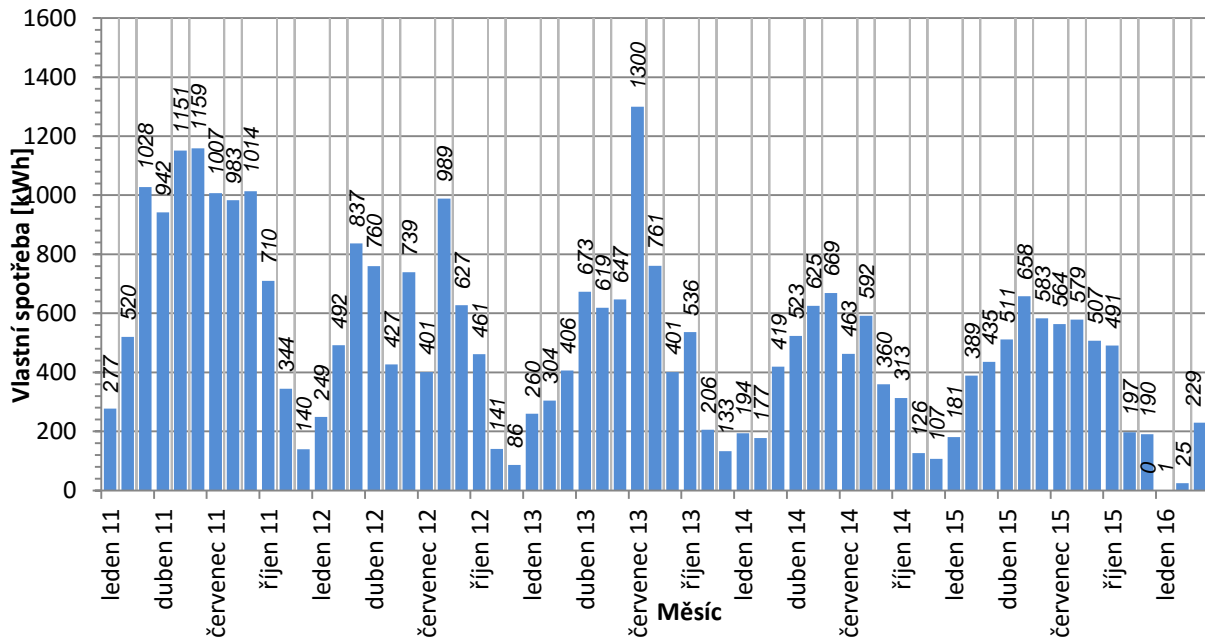
Říjen	420	710	461	536	313	491	x
Listopad	137	344	141	206	126	197	x
Prosinec	51	140	86	133	107	190	x
celkem	2538	9275	6209	6246	4568	5285	255

Tabulka 10: Vlastní spotřeba z vyrobené energie



Graf 7: Vyrobená energie v jednotlivých měsících

Vlastní spotřeba



Graf 8: Vlastní spotřeba z vyrobené energie

7.4 Finanční bilance teoretická

Jak už bylo zmíněno, projekt byl postaven v roce 2010. Díky této skutečnosti si v této kapitole uděláme finanční odhad na naši FVE na rodinném domě. Abychom to viděli z pohledu investora, tak budou určité informace lehce zkreslené oproti skutečnosti, protože ne všechny informace lze predikovat s naprostou přesností. Hovoříme především o již zmíněné výrobě elektrické energie, ale i o výkupních cenách za kWh v zeleném bonusu a také o cenách elektrické energie za nákup energie v dobách, kdy nám ji fotovoltaika nestihá vyrábět dostatek. Náš model bude udělán na 20 let, protože po tuto dobu máme garantovaný výkup elektrické energie.

Důležité parametry:

- investice - 798000 Kč (766000 Kč technologie, 32000 Kč jiné investiční náklady), v roce 2022 znovu zakoupení střídačů za 93488 Kč
- roční výroba - 8440 kWh za rok, účinnost klesá o 0,8 % ročně
- vlastní spotřeba - pro náš zvolený dům ji předpokládáme 65 %

- výkupní cena - za 1 kWh díky zelenému bonusu dostaneme 11,28 Kč, roční nárůst 2 %
- nákup elektřiny - 4,35 Kč za 1 kWh, roční nárůst 2 %
- roční náklady - 3645 Kč (údržba 1620 Kč, pojištění 2025 Kč, roční nárůst 2 %)
- odpisy - 10 let
- daň z příjmu - 15 % (fyzická osoba) odložená o 6 let
- diskont - 3 %

Některé z uvedených parametrů je nutné upřesnit. Roční nárůsty cen výkupu a nákupu elektrické energie jsou dány mírou inflace v roce 2010. Stejně tak i růst ročních nákladů. Fotovoltaika patří do třetí odpisové skupiny, a tudíž jsou odpisy po dobu 10 let. Dále pak má fotovoltaika možnost odložení daně z příjmu až o 6 let, čehož využijeme pro zrychlení doby návratnosti investice. Daň z příjmu u fyzické osoby činí 15 %. Důležité je také zmínit, že investor zaplatil investici v hotovosti, a proto nebylo potřeba tvořit splátkový kalendář a počítat tak s dalšími náklady spojenými s úroky z úvěru.

Fotovoltaický panel představuje dlouhodobou investici. Pro posouzení budoucích výnosů investice se používá diskontování. Diskontní sazba, tj. procento, o které je budoucí výnos při přepočtu na současnou hodnotu každoročně snížen, by měla být srovnatelná s potenciálním výnosem alternativní investice. Obvykle se používá diskontní sazba, která je o tzv. rizikovou přírážku (kolem 2 %) vyšší, než úroková sazba státních dluhopisů s dobou splatnosti srovnatelnou s dobou návratnosti uvažované investice. Energetický regulační úřad například používal při stanovování výkupních cen diskontní sazbu kolem 7 %. Uvažuje-li o investici domácnost, je možno použít diskontní sazbu nižší – alternativní investicí je v tomto případě dlouhodobý termínovaný vklad – přiměřený diskont je kolem 3 %.

rok	Výroba [kWh]	Vlastní spotřeba 65% [kWh]	Výkupní cena	Nákup el. energie	Příjem z výroby	Příjem ze šetření	Příjem
2010	3517	2286	11,28 Kč	4,35 Kč	39 672 Kč	9 944 Kč	49 616 Kč
2011	8411	5467	11,51 Kč	4,44 Kč	96 774 Kč	24 258 Kč	121 031 Kč
2012	8344	5423	11,74 Kč	4,53 Kč	97 919 Kč	24 545 Kč	122 464 Kč
2013	8277	5380	11,97 Kč	4,62 Kč	99 079 Kč	24 836 Kč	123 914 Kč

2014	8211	5337	12,21 Kč	4,71 Kč	100 252 Kč	25 130 Kč	125 381 Kč
2015	8145	5294	12,45 Kč	4,80 Kč	101 439 Kč	25 427 Kč	126 866 Kč
2016	8080	5252	12,70 Kč	4,90 Kč	102 640 Kč	25 728 Kč	128 368 Kč
2017	8015	5210	12,96 Kč	5,00 Kč	103 855 Kč	26 033 Kč	129 888 Kč
2018	7951	5168	13,22 Kč	5,10 Kč	105 085 Kč	26 341 Kč	131 426 Kč
2019	7888	5127	13,48 Kč	5,20 Kč	106 329 Kč	26 653 Kč	132 982 Kč
2020	7824	5086	13,75 Kč	5,30 Kč	107 588 Kč	26 969 Kč	134 556 Kč
2021	7762	5045	14,03 Kč	5,41 Kč	108 862 Kč	27 288 Kč	136 150 Kč
2022	7700	5005	14,31 Kč	5,52 Kč	110 151 Kč	27 611 Kč	137 762 Kč
2023	7638	4965	14,59 Kč	5,63 Kč	111 455 Kč	27 938 Kč	139 393 Kč
2024	7577	4925	14,88 Kč	5,74 Kč	112 774 Kč	28 269 Kč	141 043 Kč
2025	7516	4886	15,18 Kč	5,85 Kč	114 110 Kč	28 603 Kč	142 713 Kč
2026	7456	4847	15,49 Kč	5,97 Kč	115 461 Kč	28 942 Kč	144 403 Kč
2027	7397	4808	15,79 Kč	6,09 Kč	116 828 Kč	29 285 Kč	146 112 Kč
2028	7337	4769	16,11 Kč	6,21 Kč	118 211 Kč	29 631 Kč	147 842 Kč
2029	7279	4731	16,43 Kč	6,34 Kč	119 611 Kč	29 982 Kč	149 593 Kč

Tabulka 11: Výsledné příjmy v jednotlivých letech

$$\text{Příjem z výroby} = \text{Výroba} * \text{Výkupní cena} \quad [\text{Kč}] \quad (7.4.1)$$

$$\text{Příjem ze šetření} = \text{Vlastní spotřeba} * \text{Nákup elektrické energie} \quad [\text{Kč}] \quad (7.4.2)$$

$$\text{Příjem} = \text{Příjem z výroby} + \text{Příjem ze šetření} \quad [\text{Kč}] \quad (7.4.3)$$

Příklad výpočtu pro rok 2010:

Výroba je 3517 kWh z důvodu provozu jen 5 měsíců

$$\text{Příjem z výroby} = 3517 * 11,28 = 39672 \text{ Kč} \quad (7.4.4)$$

$$\text{Příjem ze šetření} = 2286 * 4,35 = 9944 \text{ Kč} \quad (7.4.5)$$

$$\text{Příjem} = 39672 + 9944 = 49616 \text{ Kč} \quad (7.4.6)$$

Rok	Roční náklady	Odpisy	Úrok	Daň z příjmů	Zisk po zdanění	CF	DCF	KDCF
2010	3 645 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	45 971 Kč	45 971 Kč	45 971 Kč	-752 029 Kč
2011	3 718 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	117 313 Kč	117 313 Kč	113 897 Kč	-638 132 Kč
2012	3 792 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	118 672 Kč	118 672 Kč	111 860 Kč	-526 273 Kč
2013	3 868 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	120 046 Kč	120 046 Kč	109 859 Kč	-416 413 Kč
2014	3 945 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	121 436 Kč	121 436 Kč	107 894 Kč	-308 519 Kč
2015	4 024 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	122 842 Kč	122 842 Kč	105 964 Kč	-202 555 Kč
2016	4 105 Kč	79 800 Kč	0 Kč	6 669 Kč	37 794 Kč	117 594 Kč	98 483 Kč	-104 072 Kč
2017	4 187 Kč	79 800 Kč	0 Kč	6 885 Kč	39 016 Kč	118 816 Kč	96 608 Kč	-7 464 Kč
2018	4 271 Kč	79 800 Kč	0 Kč	7 103 Kč	40 252 Kč	120 052 Kč	94 770 Kč	87 306 Kč
2019	4 356 Kč	79 800 Kč	0 Kč	7 324 Kč	41 502 Kč	121 302 Kč	92 968 Kč	180 274 Kč
2020	4 443 Kč	79 800 Kč	0 Kč	7 547 Kč	42 766 Kč	122 566 Kč	91 201 Kč	271 475 Kč
2021	4 532 Kč	79 800 Kč	0 Kč	7 773 Kč	44 045 Kč	123 845 Kč	89 468 Kč	360 943 Kč
2022	98 111 Kč	79 800 Kč	0 Kč	0 Kč	-40 149 Kč	39 651 Kč	27 810 Kč	388 754 Kč
2023	4 715 Kč	79 800 Kč	0 Kč	8 232 Kč	46 646 Kč	126 446 Kč	86 104 Kč	474 857 Kč
2024	4 809 Kč	79 800 Kč	0 Kč	8 465 Kč	47 969 Kč	127 769 Kč	84 470 Kč	559 327 Kč
2025	4 905 Kč	79 800 Kč	0 Kč	8 701 Kč	49 306 Kč	129 106 Kč	82 869 Kč	642 196 Kč
2026	5 004 Kč	0	0 Kč	20 910 Kč	118 489 Kč	118 489 Kč	73 839 Kč	716 034 Kč
2027	5 104 Kč	0	0 Kč	21 151 Kč	119 858 Kč	119 858 Kč	72 516 Kč	788 550 Kč
2028	5 206 Kč	0	0 Kč	21 396 Kč	121 241 Kč	121 241 Kč	71 216 Kč	859 767 Kč
2029	5 310 Kč	0	0 Kč	21 642 Kč	122 641 Kč	122 641 Kč	69 940 Kč	929 707 Kč

Tabulka 12: Výpočet doby návratnosti (CF – cash flow, DCF – diskontovaný cash flow, KDCF – kumulovaný diskontovaný cash flow, což je doba návratnosti investice)

$$\text{Daň z příjmu} = (\text{Příjem} - \text{Roční náklady} - \text{Odpisy}) * 15 \% \text{ [Kč]} \quad (7.4.7)$$

$$Zisk\ po\ zdanění = Příjem - Roční\ náklady - Odpisy - Daň\ z\ příjmu \ [Kč] \quad (7.4.8)$$

$$CF = Zisk\ po\ zdanění + Odpisy \ [Kč] \quad (7.4.9)$$

$$DCF = \frac{CF}{(1 + \text{diskont})^{rok}} \ [Kč] \quad (7.4.10)$$

$$KDCF = -Investice + \sum_{rok=0}^{19} DCF(rok) \ [Kč] \quad (7.4.11)$$

Příklad výpočtu pro rok 2016:

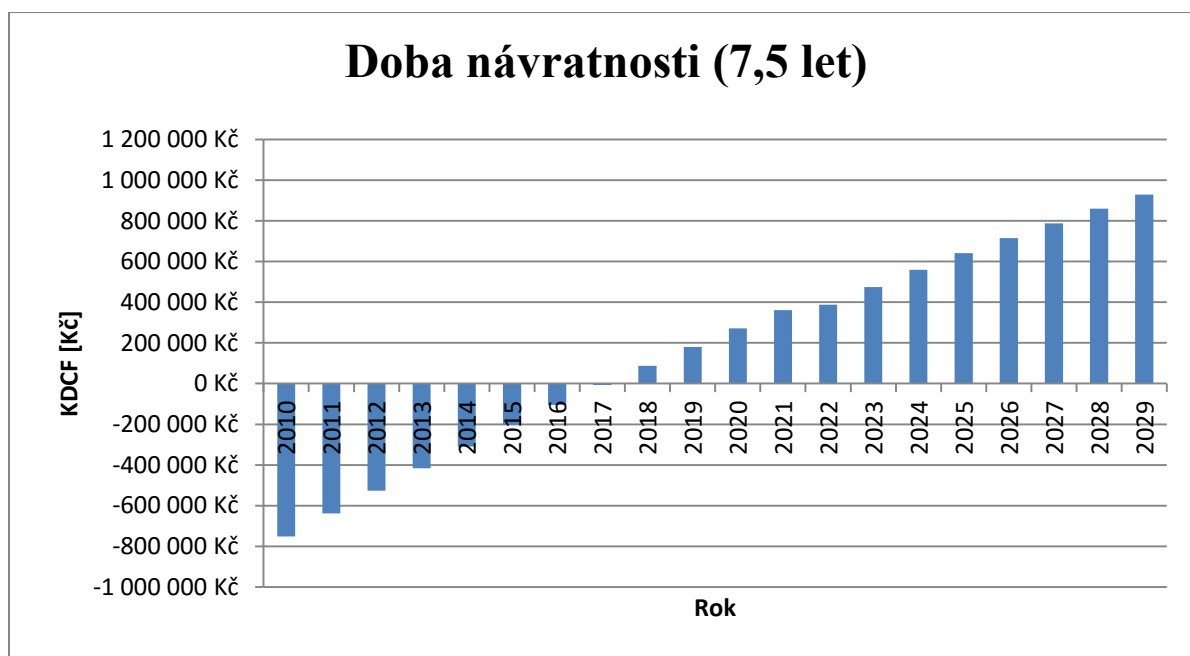
$$Daň\ z\ příjmu = (128368 + 4105 - 79800) * 0,15 = 6669 \ Kč \quad (7.4.12)$$

$$Zisk\ po\ zdanění = 128368 - 4105 - 79800 - 6669 = 37794 \ Kč \quad (7.4.13)$$

$$CF = 37794 + 79800 = 117594 \ Kč \quad (7.4.14)$$

$$DCF = \frac{117594}{(1 + 0,03)^6} = 938483 \ Kč \quad (7.4.15)$$

$$KDCF = -798000 + \sum_{rok=0}^6 DCF(rok) = -104072 \ Kč \quad (7.4.16)$$



Graf 9: Doba návratnosti investice

V grafu 9 vidíme predikovanou dobu návratnosti naší investice do fotovoltaické elektrárny na rodinném domě. Za dobu 7,5 let se nám investice vrátí a posléze budeme jen vydělávat. Po 20 letech by se nám investice v roce 2010 celkově zhodnotila jako +929 707 Kč.

7.5 Finanční bilance skutečná (2010 – 2015)

Rok	Výroba [kWh]	Vlastní spotřeba 65% [kWh]	Výkupní cena	Nákup el. energie	Příjem z výroby	Příjem ze šetření	Příjem
2010	2811	2538	11,28 Kč	4,35 Kč	31 708 Kč	11 040 Kč	42 748 Kč
2011	10289	9275	11,50 Kč	4,61 Kč	118 324 Kč	42 758 Kč	161 081 Kč
2012	9719	6209	11,67 Kč	4,75 Kč	113 421 Kč	29 493 Kč	142 913 Kč
2013	8581	6246	12,45 Kč	4,78 Kč	106 791 Kč	29 856 Kč	136 646 Kč
2014	8516	4568	12,67 Kč	4,24 Kč	107 855 Kč	19 368 Kč	127 223 Kč
2015	10096	5285	12,88 Kč	3,82 Kč	130 036 Kč	20 189 Kč	150 225 Kč

Tabulka 13: Skutečné příjmy v letech 2010 až 2015

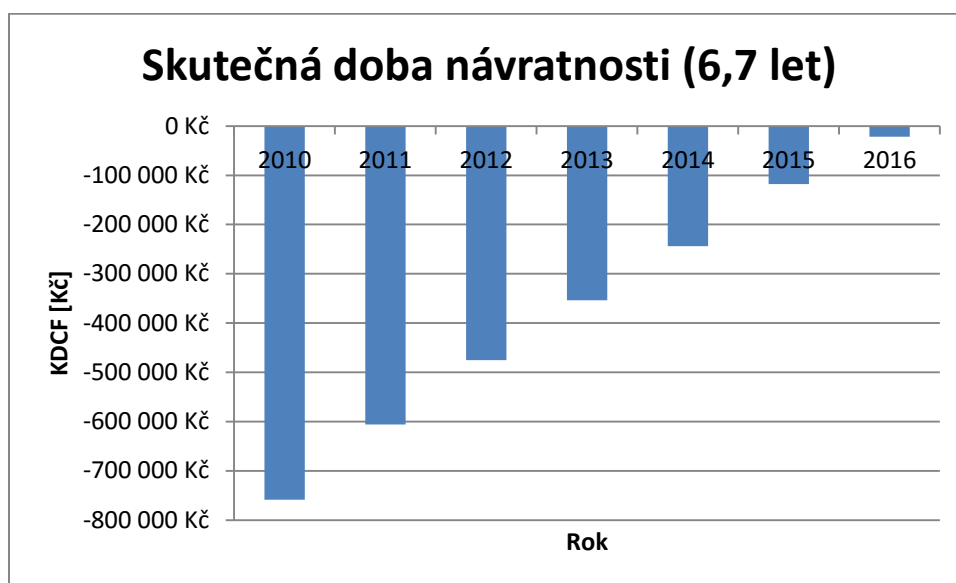
Rok	Roční náklady	Odpisy	Úrok	Daň z příjmů	Zisk po zdanění	CF	DCF	KDCF
2010	3 645 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	39 103 Kč	39 103 Kč	39 103 Kč	-758 897 Kč
2011	3 718 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	157 363 Kč	157 363 Kč	152 780 Kč	-606 117 Kč
2012	3 792 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	139 121 Kč	139 121 Kč	131 135 Kč	-474 982 Kč
2013	3 868 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	132 778 Kč	132 778 Kč	121 511 Kč	-353 471 Kč
2014	3 945 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	123 278 Kč	123 278 Kč	109 531 Kč	-243 940 Kč
2015	4 024 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	146 201 Kč	146 201 Kč	126 114 Kč	-117 826 Kč

Tabulka 14: Výpočet doby návratnosti (CF – cash flow, DCF – diskontovaný cash flow, KDCF – kumulovaný diskontovaný cash flow, což je doba návratnosti investice)

Odhad výroby energie pro rok 2016

Rok	Výroba [kWh]	Vlastní spotřeba 65% [kWh]	Výkupní cena	Nákup el. energie	Příjem z výroby	Příjem ze šetření	Příjem
2016	8080	5252	13,10 Kč	3,71 Kč	105 848 Kč	19 485 Kč	125 333 Kč
Roční náklady	Odpisy	Úrok	Daň z příjmů	Zisk po zdanění	CF	DCF	KDCF
4 105 Kč	79 800 Kč	0 Kč	6 214 Kč	35 214 Kč	115 014 Kč	96 322 Kč	-21 503 Kč

Tabulka 15: Doplnění roku 2016 (odhadujeme výrobu)



Graf 10: Skutečná doba návratnosti (odhad výroby roku 2016)

V grafu 10 vidíme reálné hodnoty z let 2010 až 2015 a odhad pro rok 2016 z důvodu přesnějšího vypočítání doby návratnosti investice. Jak můžeme vidět, je to cca o rok dříve, než bylo původně kalkulováno. Důvodem budou převážně hodně slunečné roky 2011 a 2015, kdy nám vyrobená energie velkým způsobem překročila plánovanou hodnotu.

8 Závěr

Diplomová práce se zabývala tématem fotovoltaika a její uplatnění v elektrizační soustavě. V teoretické části bylo shrnutí nejvyužívanějších obnovitelných zdrojů v České republice a poté důkladně rozebrána fotovoltaická část. Praktická část byla věnována návrhu fotovoltaického systému na rodinném domě včetně ekonomického zhodnocení.

Obnovitelné zdroje na výrobu elektrické energie, resp. tepelné energie, přinášejí výraznou polemiku, jakou cestou se v budoucnosti bude ubírat naše republika ale i Evropská unie. OZE je možno chápat ze dvou hledisek. Prvním je cíl, a ne jenom povinnost, vůči Evropské komisi dosáhnout určitý podíl na spotřebovávané energii. Druhým přístupem je rozvinutí takových OZE, které přinesou víc různých výhod pro obyvatele, ekonomiku ale i využití české výzkumné základny na univerzitách, ve výzkumných pracovištích a v pracovištích aplikovaného výzkumu.

Díky této práci jsem hlouběji nahlédl do fotovoltaiky. Nejen z hlediska technologie jako je výroba článků, modulů a systémů, ale i z hlediska financování. Měl jsem výhodu pracovat s projektem, který byl vybudovaný ve zlatém období fotovoltaiky u nás. Ceny za výkup elektrické energie byly opravdu vysoké. Když se k tomu přidá smlouva o výkupu na dlouhou dobu, tak z toho vzniká slušný byznys. Z pohledu investora v roce 2010 byla fotovoltaika opravdu výhodná. V našem případě bylo vypočítáno, že by se nám fotovoltaický systém v tom roce zhodnotil téměř jako milion korun za 20 let a to už není tak zanedbatelná částka v rodinném rozpočtu. Doba návratnosti byla spočítána na 7,5 let za předpokladu 2 % nárůstu cen vykupované energie, nakoupené energie v době nedostatku ze systému a ročních provozních nákladů. Důležitou věcí byla skutečnost financování projektu v hotovosti. V situaci, kdy by musela být splácená půjčka od banky a úroky plynoucí ze vzetí úvěru, bychom dobu návratnosti měli jistě nesrovnatelně delší. Reálné hodnoty se nakonec ukázaly příznivější, než se čekalo v původní kalkulaci. Můžou za to především velice silné roky z hlediska vyrobené energie a to konkrétně roky 2011 a 2015. Doba návratnosti by měla být téměř o rok kratší, což majiteli tohoto systému určitě udělá radost. Jako další způsob, jak zrychlit dobu návratnosti bych viděl v nějakém zlepšení. Převážně v budoucnu lepší technologie, ale to jen za předpokladu, že se zachovají cenové hodnoty. V současné době bych největší ušetření viděl díky přidání možnosti akumulace energie. Tím pádem bychom spotřebovali prakticky všechnu vyrobenou energii, ale na druhou stranu akumulátory nejsou zadarmo a musela by se na to udělat další finanční analýza.

Bohužel v dnešní době zlaté časy fotovoltaiky jsou dávno pryč a není teď výhodné fotovoltaiku na různých objektech budovat. Přitom je ale ve státní energetické koncepci plánováno, že v roce 2030 bude více jak 70 % rodinných domů a průmyslových objektů napájeno právě pomocí

fotovoltaiky. Dokud nám ale Energetický regulační úřad nevypíše nějaké zajímavé částky na podporu fotovoltaiky, tak se momentální situace nezmění. Je otázkou, jak to všechno v budoucnu bude a mohli bychom o tom teď maximálně polemizovat, protože všechno ukáže až čas.

9 Literatura

- [1] Obnovitelné zdroje energie 1, Technologie pro udržitelnou budoucnost. František Janíček a kolektiv, 2007
- [2] Obnovitelné zdroje energie 2, Perspektivné premeny a technologie. František Janíček a kolektiv, 2010
- [3] Spolehlivost v elektroenergetice. Jiří Tůma, Stanislav Rusek, Zbyněk Martínek, Igor Chemišinec, Radomír Goňo
- [4] Obnovitelné zdroje elektrické energie. Petr Mastný, Jiří Drápela, Stanislav Mišák, Jan Macháček, Michal Ptáček, Lukáš Radil, Tomáš Bartošík, Tomáš Pavelka, České vysoké učení technické v Praze Praha 2011
- [5] Obnovitelný zdroj energie. Zdroj:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Obnoviteln%C3%BD_zdroj_energie
- [6] Vodní energie. Zdroj:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%AD_energie
- [7] *Státní energetická koncepce*. Zdroj:
<http://www.mpo.cz/dokument158012.html>
- [8] Základní legislativa. Zdroj:
http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/cs/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.7.4.html
- [9] Větrná energie. Zdroj:
http://cs.wikipedia.org/wiki/V%C4%9Btrn%C3%A1_energie
- [10] Větrné elektrárny. Zdroj:
<http://www.alternativni-zdroje.cz/vetrne-elektrarny.htm>
- [11] Sluneční kolektory. Zdroj:
<http://www.tzb-info.cz/1862-slunecni-kolektory-prehled-trhu>
- [12] Vakuové trubkové kolektory. Zdroj:

- <http://www.tzb-info.cz/4903-ucinnost-vakuovych-trubkovych-solarnich-kolektoru-i>*
- [13] Ploché zasklené sluneční kolektory. Zdroj:
<http://www.3energy.cz/ploche-zasklene-slunecni-kolektory-e22>
- [14] Fotovoltaika úvod. Zdroj:
<http://pveducation.org/pvcdrom/introduction/introduction>
- [15] Přímé připojení, zelený bonus. Zdroj:
<http://www.nemakej.cz/fotovoltaiicky-jev-a-idealni-podminky-pro-solarni-elektrarny.php>
- [16] Fotovoltaický článek. Zdroj:
<http://pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/solar-cell-structure>
- [17] Fotovoltaický modul. Zdroj:
<http://pveducation.org/pvcdrom/modules/introduction>
- [18] Fotovoltaika. Zdroj:
<http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaiika>
- [19] Fotovoltaické systémy. Zdroj:
<http://www.fotovoltaiicke-systemy.info/>
- [20] Sluneční energie. Zdroj:
<http://energetika.plzen.eu/alternativni-zdroje-energie/slunecni-energie/>
- [21] Střídače pro fotovoltaiku. Zdroj:
<http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaiika/9555-stridac-pro-fotovoltaiickou-elektrarnu-jakou-technologie-zvolite>
- [22] Technická zařízení budov. Zdroj:
<http://www.tzb-info.cz/3542-vysoce-ucinne-fotovoltaiicke-systemy-strackery-a-koncentratory-zareni>
- [23] Síťové a ostrovní systémy. Zdroj:
http://www.isolar.cz/technologie.html#sitove_systemy

[24] návratnost fotovoltaiky. Zdroj:

<http://www.nemakej.cz/navratnost-fotovoltaicke-elektrarny.php>

[25] Amorfnní fotovoltaický článek nexpower-nh-100. Zdroj:

http://helion.cz/media/1943/panel-nexpower-nh-100_at.pdf

[26] Střídač fronius IG 20. Zdroj:

http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-02E7EC64-E51AA47C/fronius_international/hs.xsl/83_384_ENG_HTML.htm#.VzoHh5GLTIU

[27] Srřídač fronius IG plus 50. Zdroj:

http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-276D162F-95C68185/fronius_ceska_republika/hs.xsl/30_5069.htm#.VzoH5pGLTIU

[28] Přednášky pana profesora Bendy z FEL ČVUT

10 Seznam použitých ilustrací a grafů a tabulek

Obr. 1. Celková spotřeba energie v přepočtu na jednoho obyvatele. Zdroj:

<http://energetika.tzb-info.cz/energeticka-politika/7406-narodni-akcni-plany-zemi-eu-souhrn>

Obr. 2. Struktura primárních zdrojů. Zdroj:

<http://www.tzb-info.cz/1925-fakta-a-myty-o-obnovitelných-zdrojích-i>

Obr. 3. Přečerpávací elektrárna Dlouhé Stráně. Zdroj:

<http://www.penzionvanek.com/penzion-detail.php?foto=79>

Obr. 4. Akumulační elektrárna Orlík. Zdroj:

<http://www.modrystatek.cz/okoli---vylety>

Obr. 5. Větrná elektrárna Pchery. Zdroj:

http://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam_v%C4%9Btrn%C3%BDch_elektr%C3%A1ren_v_%C4%8Cesku#mediaviewer/Soubor:Pchery_CZ_wind_farm_W_tower_crane_removal_013.jpg

Obr. 6. Spektrum slunečního záření. Zdroj:

<http://www.micronix.cz/solarix/zakladni-informace/solarni-panely>

Obr. 7. Využití sluneční energie. Zdroj:

<http://energetika.plzen.eu/alternativni-zdroje-energie/slunecni-energie/>

Obr. 8. Řezy vakuovým kolektorem. Zdroj:

<http://www.tzb-info.cz/4903-ucinnost-vakuovych-trubkovych-solarnich-kolektoru-i>

Obr. 9. Plochý vakuový kolektor. Zdroj:

<http://www.solarenavi.cz/slunecni-kolektory/typy-slunecnich-kolektoru/ploche-vakuovane-kolektory/>

Obr. 10. Plochý zasklený kolektor. Zdroj:

<http://www.3energy.cz/ploche-zasklene-slunecni-kolektory-e22>

Obr. 11. Lineární Fresnelova čočka. Zdroj:

<http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/5964-multifunkcni-solarni-kolektory-pro-integraci-do-budov>

Obr. 12. Multikrystalický článek. Zdroj:

Přednáška profesora Bendy z FEL ČVUT

Obr. 13. Monokrystalický článek. Zdroj:

Přednáška profesora Bendy z FEL ČVUT

Obr. 14. Modul z amorfního křemíku. Zdroj:

<http://dalu.welia-hosting.cz/Technologie/Fotovoltaiicke-panely>

Obr. 15. Tvary křemíkových článků. Zdroj:

<http://pveducation.org/pvcdrom/modules/packing-density>

Obr. 16. Voltampérová charakteristika fotovoltaiického článku. Zdroj:

<http://www.slatinsky.eu/jak-elektrarna-funguje.html>

Obr. 17. Závislost V-A charakteristiky na teplotě. Zdroj:

https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=39536

Obr. 18. Vliv sériového odporu na V-A charakteristice FV článku. Zdroj:

https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=39536

Obr. 19. Vliv paralelního odporu na V-A charakteristice FV článku. Zdroj:

https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=39536

Obr. 20. Struktura křemíkového modulu. Zdroj:

Přednáška profesora Bendy FEL ČVUT

Obr. 21. Zapojení 36 článků v modulu. Zdroj:

<http://pveducation.org/pvcdrom/modules/module-circuit-design>

Obr. 22. Dva články do série. Zdroj:

<http://pveducation.org/pvcdrom/modules/mismatch-for-cells-connected-in-series>

Obr. 23. Způsob zapojení bypass diody v solárním modulu. Zdroj:

https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=39536

Obr. 24. V-A charakteristika modulu s bypass diodami přes různý počet článků. Zdroj:

https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=39536

Obr. 25. Výkonová charakteristika modulu s různým stupněm zastínění jednoho solárního článku. Zdroj: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=39536

Obr. 26. Schéma přímého výkupu. Zdroj:

<http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>

Obr. 27. Schéma zapojení zeleného bonusu. Zdroj:

<http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>

Obr. 28. Centrální měnič, řetězové měniče a modulové měniče. Zdroj:

Přednáška profesora Bendy FEL ČVUT

Obr. 29. Pohledy na dům. Zdroj:

Dokumentace projektu

Obr. 30. Modul z amorfního křemíku. Zdroj:

<http://dalu.welia-hosting.cz/Technologie/Fotovoltaicke-panely>

Obr. 31. Střídače Fronius IG PLUS 50 a 20. Zdroj:

http://solar-eshop.com/index.php?id_category=37&controller=category&id_lang=1

Obr. 32. Umístění modulů na střeše rodinného domu. Zdroj:

Dokumentace projektu

Obr. 33. Schéma zapojení FVE. Zdroj:

Dokumentace projektu

Obr. 34. Vyrobená energie v jednotlivých měsících. Zdroj:

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>

Grafy:

Graf 1. Srovnání scénářů netto spotřeby elektřiny. Zdroj:

<http://www.mpo.cz/dokument158012.html>

Graf 2. Vývoj a struktura konečné spotřeby energie. Zdroj:

<http://www.mpo.cz/dokument158012.html>

Graf 3. Vývoj a struktura primárních energetických zdrojů. Zdroj:

<http://www.mpo.cz/dokument158012.html>

Graf 4. Vývoj a struktura OZE na primárních energetických zdrojích. Zdroj:

<http://www.mpo.cz/dokument158012.html>

Graf 5. Vývoj a struktura hrubé výroby elektřiny z OZE. Zdroj:

<http://www.mpo.cz/dokument158012.html>

Graf 6. Vývoj a struktura dodávek tepla ze soustav zásobování teplem. Zdroj:

<http://www.mpo.cz/dokument158012.html>

Tabulky:

Tabulka 1. Vývoj a struktura konečné spotřeby energie. Zdroj:

<http://www.mpo.cz/dokument158012.html>

Tabulka 2. Vývoj a struktura primárních energetických zdrojů. Zdroj:

<http://www.mpo.cz/dokument158012.html>

Tabulka 3. Vývoj a struktura OZE na primárních energetických zdrojích. Zdroj:

<http://www.mpo.cz/dokument158012.html>

Tabulka 4. Vývoj a struktura hrubé výroby elektřiny z OZE. Zdroj:

<http://www.mpo.cz/dokument158012.html>

Tabulka 5. Vývoj a struktura dodávek tepla ze soustav zásobování teplem. Zdroj:

<http://www.mpo.cz/dokument158012.html>

Tabulka 6. Parametry modulu z amorfního křemíku. Zdroj:

http://helion.cz/media/1943/panel-nexpower-nh-100_at.pdf

Tabulka 7. Střídače nonius. Zdroj:

http://solar-eshop.com/index.php?id_category=37&controller=category&id_lang=1

Tabulka 8. Teoretické hodnoty FVE. Zdroj:

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>