

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

2019

**ALBERT
BURÝŠEK**

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Analýza malých větrných elektráren a fotovoltaických elektráren s instalovaným výkonem do 10 kW na území České republiky“ vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Michala Kolovratníka, CSc. a Ing. Ondřeje Šišpely, s použitím literatury, uvedené na konci diplomové práce.

V Praze, dne

.....

Podpis

Anotační list

| | |
|------------------------------|--|
| Jméno autora: | Bc. Albert Burýšek |
| Název DP: | Analýza malých větrných elektráren a fotovoltaických elektráren s instalovaným výkonem do 10 kW na území České republiky |
| Anglický název: | Analysis of small-scale wind and solar power plants with capacity below 10 kW in the Czech Republic |
| Akademický rok: | 2018/2019 |
| Ústav: | Ústav energetiky |
| Vedoucí DP: | prof. Ing. Michal Kolovratník, CSc. |
| Konzultant: | Ing. Ondřej Šišpela |
| Bibliografické údaje: | Počet stran: 108 |
| Počet obrázků: | 30 |
| Počet tabulek: | 30 |
| Počet grafů: | 10 |
| Počet příloh: | 0 |
| Klíčová slova: | Obnovitelné zdroje energie, větrná energie, malá větrná elektrárna, větrná turbína, rychlost proudění větru, fotovoltaická elektrárna, fotovoltaický panel, fotovoltaický článek, solární záření, intenzita slunečního záření, hybridní elektrárna, elektrická energie, akumulace energie. |
| Keywords: | Renewable energy sources, wind energy, small wind power plant, wind turbine, wind speed, photovoltaic power plant, photovoltaic panel, photovoltaic cell, solar radiation, intensity of solar radiation, hybrid power plant, electrical energy, energy storage. |

Anotace:

Tato práce se zabývá malými větrnými elektrárnami a fotovoltaickými elektrárnami na území České republiky, s instalovaným výkonem do 10 kW. V teoretické části práce jsou popsány teoretické aspekty větrných a fotovoltaických elektráren a jsou uvedeny jak dostupné technologie, tak i současní výrobci těchto technologií. Následuje popsání nejdůležitějších faktorů, ovlivňujících výrobu elektrické energie těchto typů elektráren. Značná část teoretické části je věnována také legislativě a dotacím týkajícím se obnovitelných zdrojů energie. V praktické části této práce jsou nejdříve provedeny základní ekonomické analýzy malých větrných elektráren a fotovoltaických elektráren, za účelem stanovení lokalit na území ČR, kde by instalace těchto elektráren mohla být smysluplná, dle základních podmínek definovaných v této práci. Dílčím cílem základních ekonomických analýz je stanovení nejvhodnějších technologií fotovoltaických panelů a větrných turbín, a také stanovení nejvhodnějšího nakládání s vyprodukovanou elektrickou energií. Je uvažována i varianta s využitím dotací. Následně jsou provedeny podrobné ekonomické analýzy několika variant vzorových instalací fotovoltaických elektráren i jedné varianty kombinace malé větrné a fotovoltaické elektrárny. Výsledky praktické části jsou popsány, vyhodnoceny a ze získaných poznatků jsou uvedena závěrečná doporučení.

Abstract:

This thesis deals with small wind power plants and photovoltaic power plants in the Czech Republic with installed capacity up to 10 kW. The theoretical part of the thesis describes the theoretical aspects of wind and photovoltaic power plants and lists the available technologies as well as current producers of these technologies. Following is the description of the most important factors influencing the power generation of these types of power plants. Much of the theoretical part is devoted to legislation and subsidies related to renewable energy sources. In the practical part of this work, basic economic analyzes of small wind power plants and photovoltaic power plants are first carried out, with the aim of determining localities in the Czech Republic, where the installation of these power plants could be meaningful, according to the basic conditions defined in this work. The partial objective of the basic economic analyzes is to determine the most suitable technologies of photovoltaic panels and wind turbines, as well as to determine the most appropriate utilization of the produced electricity. A variant using subsidies is also considered. Subsequently, detailed economic analyzes of several variants of sample installations of photovoltaic power plants as well as one combination of a small wind and photovoltaic power plant are carried out. The results of the practical part are described, evaluated and the final findings are presented.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svým vedoucím diplomové práce, prof. Ing. Michalovi Kolovratníkovi, CSc., Ing. et Ing. Radkovi Jirků a Ing. Ondřeji Šišpelovi, za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce.

Obsah:

| | |
|---|----|
| Seznam použitých zkratk: | 10 |
| Seznam použitých veličin a jednotek: | 12 |
| 1. Úvod | 14 |
| 2. Fotovoltaika | 16 |
| 2.1 Základní podstata | 16 |
| 2.2 Výhody / nevýhody | 16 |
| 2.3 Fotovoltaické články | 16 |
| 2.3.1 Princip fotovoltaických článků | 16 |
| 2.3.2 Generační vývoj fotovoltaických článků | 17 |
| 2.4 Fotovoltaické panely | 18 |
| 2.5 Fotovoltaické systémy | 19 |
| 2.5.1 Nejjednodušší fotovoltaické systémy | 19 |
| 2.5.2 „Off-grid“ systémy | 20 |
| 2.5.3 „On-grid“ systémy | 22 |
| 2.5.4 Důležité pomocné komponenty fotovoltaických/větrných elektráren | 23 |
| 3. Malé větrné elektrárny | 25 |
| 3.1 Základní princip | 25 |
| 3.2 Výhody / nevýhody | 26 |
| 3.3 Typy mikro/malých větrných turbín | 26 |
| 3.3.1 Odporové větrné turbíny | 26 |
| 3.3.2 Vztlakové větrné turbíny | 27 |
| 3.3.3 Větrné turbíny s horizontální osou rotace (HAWT) | 28 |
| 3.3.4 Větrné turbíny s vertikální osou rotace (VAWT) | 29 |
| 3.4 Možnosti zapojení mikro/malých větrných elektráren | 30 |
| 3.4.1 „On-grid“ | 30 |
| 3.4.2 „Off-grid“ | 31 |
| 3.5 Výrobci malých/mikro větrných turbín | 33 |
| 3.5.1 Čeští výrobci | 33 |

| | |
|--|----|
| 3.5.2 Zahraniční výrobci..... | 34 |
| 4. Legislativa a dotace | 37 |
| 4.1 Licence ERÚ a daň z příjmů | 37 |
| 4.2 Nové možnosti připojení elektrárny..... | 37 |
| 4.3 Dotační programy | 38 |
| 4.3.1 Fotovoltaika..... | 38 |
| 4.3.2 Větrné elektrárny..... | 41 |
| 4.3.3 Dotace OZE v jiných zemích EU | 42 |
| 4.4 Likvidace fotovoltaických panelů..... | 42 |
| 5. Možnosti využití jednotlivých technologií | 43 |
| 5.1 Fotovoltaika | 43 |
| 5.1.1 Stanovení účinnosti energetické konverze fotovoltaických článků | 43 |
| 5.1.2 Faktory ovlivňující výrobu elektrické energie z fotovoltaických elektráren..... | 43 |
| 5.2 Větrné elektrárny | 48 |
| 5.2.1 Stanovení účinnosti energetické konverze větrných turbín | 48 |
| 5.2.2 Faktory ovlivňující výrobu elektrické energie z větrných elektráren..... | 49 |
| 5.3 Kombinace | 53 |
| 6. Ekonomika – praktická část..... | 55 |
| 6.1 Předpoklady výpočtů | 55 |
| 6.1.1 Rozbor ceny elektrické energie | 55 |
| 6.1.2 Výpočet produkce elektrické energie fotovoltaickou elektrárnou..... | 56 |
| 6.1.3 Výpočet produkce elektrické energie větrnou elektrárnou | 57 |
| 6.2 Základní ekonomická analýza..... | 58 |
| 6.2.1 Metodika základní ekonomické analýzy | 58 |
| 6.2.2 Zjednodušující předpoklady ekonomických analýz | 59 |
| 6.2.3 Fotovoltaická elektrárna – základní ekonomická analýza | 60 |
| 6.2.4 Větrná elektrárna – základní ekonomická analýza..... | 63 |
| 6.3 Podrobné ekonomické analýzy konkrétních instalací fotovoltaických elektráren | 68 |
| 6.3.1 Použité vztahy a metodika | 68 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 6.3.2 | Specifikace použitých komponent a ostatních nákladů..... | 70 |
| 6.3.3 | Varianta 1 – fotovoltaický systém o výkonu 1.925 kWp s využitím přebytků pro ohřev vody..... | 73 |
| 6.3.4 | Varianta 2 – fotovoltaický systém pro rodinný dům s průměrnou spotřebou elektřiny - výkon 3.3 kW s akumulacími bateriemi | 77 |
| 6.3.5 | Varianta 3 – fotovoltaický systém pro rodinné domy s nadprůměrnou spotřebou elektřiny – 4.4 kW s akumulacími bateriemi | 81 |
| 6.4 | Podrobná ekonomická analýza vzorového hybridního systému složeného z fotovoltaické a malé větrné elektrárny..... | 85 |
| 6.4.1 | Specifikace dalších použitých komponent a ostatních nákladů..... | 86 |
| 6.4.2 | Vzorová instalace hybridního systému FVE+MVE – 4,2 kW s akumulacími bateriemi..... | 87 |
| 6.5 | Závěrečná doporučení..... | 92 |
| 7. | Závěr..... | 95 |
| | Bibliografie | 97 |
| | Seznam obrázků: | 106 |
| | Seznam tabulek: | 106 |
| | Seznam grafů:..... | 108 |

Seznam použitých zkratek:

| | |
|----------------|--|
| AC | Střídavý proud (Alternating Current) |
| CAPEX | Kapitálové náklady (Capital expenditures) |
| CF | Cash flow (Peněžní tok) |
| Cu | Měď |
| ČHMÚ | Český Hydrometeorologický Ústav |
| ČR | Česká republika |
| DC | Stejnoseměrný proud (Direct Current) |
| DCF | Diskontované cash flow |
| DOD | Hloubka vybití (Depth of discharge) |
| EE | Elektrická energie |
| ERÚ | Energetický Regulační Úřad |
| EVA | Ethylen-vinyl-acetát |
| FV | Fotovoltaika/fotovoltaický |
| FVE | Fotovoltaická elektrárna |
| Ga | Gallium |
| HAWT | Větrná turbína s horizontální osou rotace (horizontal axis wind turbine) |
| In | Indium |
| IRR | Vnitřní výnosové procento (Internal rate of return) |
| KCF | Kumulované cash flow |
| LiFePO4 | Lithium-železo-fosfát |
| LiFeYPO | Lithium-yttrium-železo-fosfát |
| Li-Ion baterie | Lithium-iontová baterie |
| MPP | Bod maximálního výkonu (Maximal power point) |
| MPPT | Sledování bodu maximálního výkonu (Maximal power point tracker) |

| | |
|----------|--|
| MVE | Malá větrná elektrárna |
| MVT | Malá větrná turbína |
| NPV | Čistá současná hodnota (Net present value) |
| NZÚ | Nová Zelená Úsporám |
| Off-grid | Bez připojení k distribuční síti |
| On-grid | Připojeno k distribuční síti |
| OPIK | Operační program podnikání a inovace pro konkurenceschopnost |
| OTE | Operátor trhu s elektřinou |
| OZE | Obnovitelné zdroje energie |
| S | Síra |
| Se | Selen |
| Si | Křemík |
| VAWT | Větrná turbína s vertikální osou rotace (vertikal axis wind turbine) |

Seznam použitých veličin a jednotek:

| | | |
|-------|---------------------------|---|
| A_p | [m ²] | Celková plocha solárních panelů |
| C_p | [1] | Výkonový součinitel |
| d | [m] | Průměr kruhu |
| E | [kWh] | Energie |
| E_k | [kWh] | Kinetická energie |
| E_v | [kWh/rok] | Výroba elektrické energie |
| f | [Hz] | Frekvence |
| h | [m] | Výška |
| I | [A] | Elektrický proud |
| k_d | [1] | Součinitel zohledňující degradaci fotovoltaického panelu |
| k_r | [1] | Koeficient ročního využití větrné elektrárny (Kapacitní faktor) |
| m | [kg] | Hmotnost |
| n | [min ⁻¹] | Otáčky rotoru |
| P | [W] | Výkon |
| P_j | [W] | Jmenovitý výkon |
| P_p | [W _p] | Špičkový výkon |
| r | [m] | Poloměr kruhu |
| S | [m ²] | Plocha |
| S_z | [kWh/m ² /rok] | Dopadající globální sluneční záření |
| t | [h] | Čas |
| U | [V] | Napětí |
| v | [m/s] | Rychlost větru |
| V | [m ³] | Objem |
| x | [°] | Orientace panelu (odklon od jihu) |

| | | |
|----------|----------------------|------------------------------------|
| γ | [%] | Sklon panelu (od vodorovné polohy) |
| z | [Ω] | Impedance |
| π | [1] | Matematická konstanta |
| η | [%] | Účinnost |
| ρ | [kg/m ³] | Hustota |

1. Úvod

Větrná i sluneční energie se řadí mezi obnovitelné zdroje energie, které jsou v dnešní době velmi diskutovaným tématem. Oba tyto druhy energie mají obrovský teoretický potenciál, ale jejich hlavním problémem je jejich nepravidelnost, způsobená jejich silnou závislostí na roční době, denní době, lokalitě umístění a na aktuálním stavu počasí. Tento problém se dá částečně řešit akumulací energie. Díky technologickým pokrokům je možné tyto obnovitelné zdroje energie již poměrně efektivně využívat, a kvůli tenčícím se zásobám fosilních paliv je na implementaci obnovitelných zdrojů do světového energetického mixu kladen čím dál tím větší důraz.

V České republice nejsou dostatečné přírodní podmínky pro hojné využívání obnovitelných zdrojů energie, což je hlavním důvodem, proč využívání těchto zdrojů v ČR není tak rozšířené, jako na příklad v Německu nebo v Dánsku. Stavění obřích větrných/solárních elektráren na území České republiky tedy nepaří mezi nejvýhodnější investice, především kvůli nízké intenzitě dopadajícího slunečního záření a nízkým průměrným rychlostem větru. Platí toto tvrzení však i pro malá zařízení využívající slunečního záření a energie větru? V tomto případě odpověď není jednoznačná, jelikož se jedná o značně odlišnou problematiku, kterou se v této diplomové práci budeme zabývat.

Hlavním cílem této diplomové práce tedy bude podrobný ekonomický rozbor malých větrných elektráren a fotovoltaických elektráren, nebo jejich kombinací, s instalovaným výkonem do 10 kW na území České republiky. U fotovoltaických elektráren se bude jednat o výkon špičkový (maximální při referenčním osvitu) a u větrných elektráren o výkon jmenovitý (dosahovaný při jmenovité rychlosti větru, definované pro danou turbínu). Ekonomické analýzy budou rozděleny na dvě hlavní kategorie: základní a podrobné. V základních ekonomických analýzách budou určeny vhodné lokality pro instalaci větrných a fotovoltaických elektráren na základě hodnot ročního osvitu a průměrných rychlostí větru. Vyhodnocení lokalit se bude řídit podmínkou smysluplnosti instalace, která v této práci je stanovena jakožto „prostá návratnost investice“ (doba, za kterou se nám vrátí vložená investice) do patnácti let. Základní ekonomické analýzy budou zároveň porovnávat několik technologií a možností využití produkované elektřiny, s cílem stanovit neoptimálnější varianty, které budou poté použity v podrobnějších ekonomických analýzách. Podrobnější analýzy budou vycházet ze základních poznatků získaných z analýz základních, a budou již pracovat s konkrétními variantami elektráren, s přesně stanovenými komponenty, které budou co neoptimálněji navrženy. Nedílnou součástí také bude zohlednění momentálních dotací a legislativních zákonů České republiky v oblasti obnovitelných zdrojů energie pro výkony do 10 kW.

Hodnocení bude prováděno podle důležitých ekonomických ukazatelů, které budou předem popsány a vysvětleny.

I přes veškerá úskalí při využívání obnovitelných zdrojů energie v České republice se přepokládá, že se jejich podíl na celkovém energetickém mixu bude navyšovat. Hlavními důvody pro zvyšování podílu obnovitelných zdrojů energie jsou nařízení Evropské unie, docházející zásoby fosilních paliv, snaha o trvale udržitelný rozvoj společnosti a v neposlední řadě i lidská vize o udržitelné energetice, spojené s čistými zdroji energie.

2. Fotovoltaika

2.1 Základní podstata

Fotovoltaika je technologie přeměňující energii slunečního záření přímo na energii elektrickou, konkrétně na stejnosměrný proud. Jedná se o technologii využití obnovitelného zdroje energie, která je velmi šetrná k životnímu prostředí. Technologie funguje na základě fotoelektrického jevu, který se odehrává ve fotovoltaických článcích. Tyto články se následně skládají do fotovoltaických panelů, které se případně dále skládají do velikých fotovoltaických polí. [1; 2]

2.2 Výhody / nevýhody

Jedná se o technologii s obrovským potenciálem, především kvůli téměř neomezenému množství sluneční energie dopadající na zemský povrch. Fotovoltaické elektrárny při provozu neznečišťují životní prostředí, a ekologické problémy při výrobě a likvidaci těchto zařízení, díky technologickým pokrokům, nejsou příliš závažné. Jde o velmi spolehlivé technologie, s minimální potřebou údržby, s velmi dlouhou životností (desítky let) a s velice snadnou škálovatelností. [1; 3]

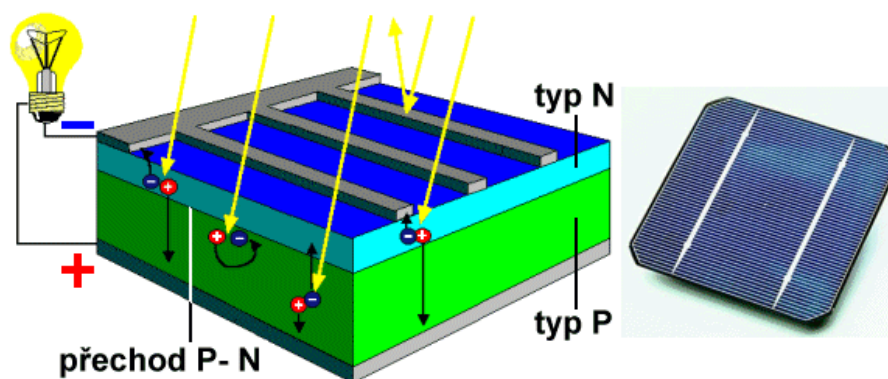
Mezi nevýhody fotovoltaických technologií patří relativně nízká účinnost fotovoltaických článků (běžně do 20 %) a potřeba poměrně rozsáhlých ploch pro výstavbu. Hlavní nevýhodou však je jejich obrovská závislost na roční a denní době, lokalitě umístění a na aktuálním stavu počasí, což má za důsledek značně nestabilní dodávku elektrické energie. Proto je nezbytné kombinovat fotovoltaické technologie s akumulátory energie a často i s jinými zdroji energie. [1; 3]

2.3 Fotovoltaické články

2.3.1 Princip fotovoltaických článků

Fotovoltaický článek je polovodičová dioda, umožňující přeměnu energie slunečního záření na elektřinu. Skládá se z materiálu N, materiálu P a P-N přechodu, který tyto dva materiály odděluje. Materiál N má přebytek elektronů (záporný náboj), zatímco materiál P má přebytek děr (kladný náboj). Na P-N přechodu je vytvořeno elektrické pole (spárováním elektronů a děr), které zabraňuje přechodu elektronů z materiálu N do děr v materiálu P a naopak. Při dopadu fotonu (sluneční záření) na fotovoltaický článek, se uvnitř článku uvolní elektron, který je přitahován k materiálu N a na svém místě zanechá novou díru, která je přitahována k materiálu P. Tyto uvolněné elektrony protékají přes kontakty článku, čímž na kontaktech vznikne napětí a následně se vracejí zpět do volných děr. Připojeným vnějším

obvodem ke kontaktům článku poté protéká stejnosměrný proud. Tento stejnosměrný elektrický proud je přímo úměrný ploše fotovoltaického článku a intenzitě slunečního záření. Obvyklé napětí jednoho fotovoltaického článku je 0,5 V, proto se sériově/paralelně spojují do fotovoltaických panelů. Stavba obyčejného fotovoltaického článku je znázorněna na obrázku 1. [3; 4; 5]



Obrázek 1 Fotovoltaický článek [6]

2.3.2 Generační vývoj fotovoltaických článků

I. Generace

První generace fotovoltaických článků využívá technologii krystalických křemíkových článků. Jedná se o dodnes nejrozšířenější technologii článků na trhu (tvoří převážnou většinu). Tato technologie disponuje poměrně vysokou účinností přeměny 16-24 % (při sériové výrobě se dosahuje maxima 19 %). Problémem jsou však vysoké náklady, kvůli drahému krystalickému křemíku. Dokud se však novější technologie dostatečně nerozvinou, bude tato technologie na trhu i nadále dominovat. [7; 8; 9]

II. Generace

Druhá generace se snaží řešit nevýhody generace první. Jedná se o tenkovrstvé fotovoltaické články (thin-film), které mohou být vyráběny z amorfního, polykrystalického, mikrokrystalického křemíku, nebo z tzv. směsných polovodičů, tvořených CIS strukturami (Cu, Ga, In, S, Se). Mají výrazně nižší spotřebu polovodičových materiálů, díky až o dva řády tenčí vrstvě polovodičového materiálu. Díky tomu jsou tyto články výrazně levnější než jejich předchůdci. Tenkovrstvé články jsou díky používaným materiálům také lehčí, ohebnější a pružnější než krystalické články. Hlavní nevýhodou, která je způsobena úsporou materiálu, je podstatně nižší účinnost přeměny, která se pro články v sériové výrobě pohybuje kolem 8 %. Dalším negativem je rychlejší degradace těchto článků. [4; 7; 8]

III. Generace

Účinnost předchozích fotovoltaických článků byla dána Shockley-Queisserovým limitem, který definuje maximální účinnost fotovoltaických článků s jedním P-N přechodem (cca 33 %). Třetí generace článků se snaží tento limit překonat, čímž se pokouší o tzv. fotovoltaickou revoluci. Hlavními cíli jsou maximalizace počtu absorbovaných fotonů a maximalizace využití energie dopadajících fotonů. Existuje mnoho technologií, které se tyto cíle snaží realizovat, ale většina z nich je stále ve fázi výzkumu, nebo nejsou vhodné pro komerční využití. [7; 8]

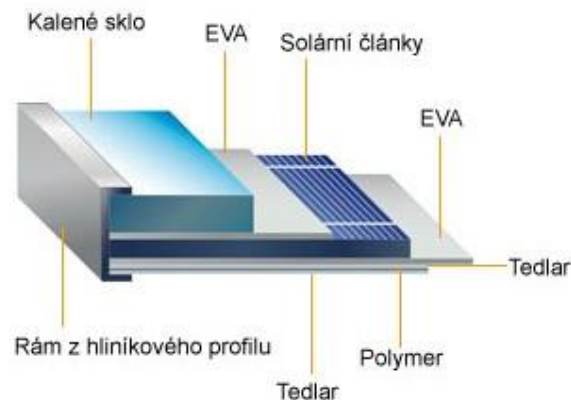
Nejúspěšnějšími a zatím jedinými prokazatelně funkčními články třetí generace jsou vícevrstvé články. Vícevrstvé články mohou být dvouvrstvé (tandemy) nebo třívrstvé. Základním principem této technologie je, že každá vrstva absorbuje určitou část spektra slunečního záření, čímž se maximalizuje energetická využitelnost fotonů. Jednotlivé vrstvy se skládají z rozdílných materiálů, z nichž každý dokáže absorbovat určitou část spektra. To, co neabsorbuje, propustí na další vrstvu. Požadavkem je, aby každá vrstva generovala stejný proud, jinak se snižuje celková účinnost článku (ovlivňována nejméně účinnou vrstvou). Účinnost nejlepších, komerčně dostupných třívrstvých článků dosahuje až 30 % (teoretická maxima vícevrstvých článků se však pohybují v rozmezí 40–68 %, podle počtu vrstev). Typickými materiály vrstev bývá amorfní hydrogenovaný křemík (a-Si:H), mikrokrystalický hydrogenovaný křemík ($\mu\text{c-Si:H}$) nebo slitina křemíku s germániem (Si, Ge). Vícevrstvé fotovoltaické články mají veliký potenciál, ale jsou zatím příliš nákladné. [4; 7; 8]

2.4 Fotovoltaické panely

Fotovoltaické panely se skládají ze sériově/paralelně spojených fotovoltaických článků. Klasicky se fotovoltaické panely dělí na krystalické a na tenkovrstvé.

Konstrukce běžného krystalického fotovoltaického panelu je taková, že propojené fotovoltaické články jsou vloženy mezi dvě fólie EVA (ethylen-vinyl-acetát) a jsou chráněny přední i zadní krycí vrstvou. Přední krycí vrstva je nejčastěji tvořena kaleným sklem se sníženým obsahem železa, které má dobrou mechanickou a klimatickou odolnost, dobře propouští sluneční záření a slouží jako nosná vrstva. Přední krycí vrstva může ještě být pokryta antireflexní vrstvou, pro další minimalizaci odrazu slunečního záření. Zadní krycí vrstva bývá tvořena plastem (tzv. Tedlar). Toto popsané složení je pro názornost schematicky zobrazeno na Obr. 2. Po složení se panely zahřejí na teplotu tání EVA fólie, která poté plní funkci lepidla mezi jednotlivými vrstvami. Nakonec se panely zatmelí do hliníkových rámců a opatří se připojovacím boxem. Tyto nejpoužívanější krystalické panely se běžně dělí na monokrystalické a polykrystalické (. [1; 2; 4; 10; 11]

Konstrukce tenkovrstvých fotovoltaických panelů se poněkud liší, jednotlivé vrstvy jsou postupně nanášeny a okamžitě upevňovány na nosný podklad. [4; 10]



Obrázek 2 Struktura fotovoltaického panelu [12]

V dnešní době existuje veliké množství výrobců fotovoltaických panelů, které jsou k dostání i v České republice. Technologie jednotlivých výrobců panelů se příliš neliší, zpravidla se vyrábějí velice podobné monokrystalické, polykrystalické, tenkovrstvé (amorfní) a hybridní panely. Mezi tyto výrobce patří například: SUNSET GmbH, Sunways AG, Schüco International KG, Solartec, Sharp, SOLARWATT AG, EFEKTIM a.s., Mitsubishi Electric, Rich Solar, Schott Solar CR, Shenzhen Topray Solar, Alwitra GmbH, AUO BenQ a mnoho dalších. [13]

2.5 Fotovoltaické systémy

Kompletní fotovoltaický systém se skládá z fotovoltaických panelů (případně z fotovoltaických polí), nosné konstrukce, akumulátoru, měniče/střídače (pro napájení běžných spotřebičů 230 V/~50 Hz), řídicí jednotky a propojovacích kabelů. Fotovoltaické systémy se dělí na 3 základní druhy: nejjednodušší fotovoltaické systémy (drobné aplikace), „off-grid“ systémy (ostrovní systémy) a na „on-grid“ systémy (systémy připojené k síti). [5]

2.5.1 Nejjednodušší fotovoltaické systémy

Do tohoto druhu fotovoltaických systémů patří veškeré „drobné“ aplikace fotovoltaických technologií. Jedná se vždy o malé aplikace, bez připojení k síti a často i bez jakékoliv akumulace. Tento druh systémů se využívá pro malá, přenosná zařízení, jako například kalkulačky, solární nabíječky pro telefony a jiná elektrická zařízení, hračky atd. [5; 7]



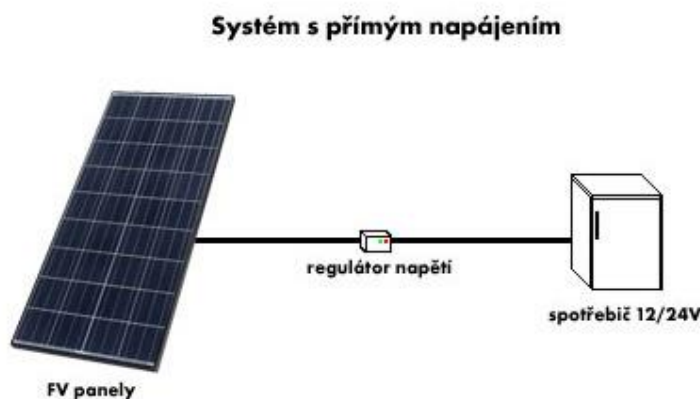
Obrázek 3 Solární nabíječka [14]

2.5.2 „Off-grid“ systémy

Jedná se o ostrovní systémy, které se vyznačují tím, že nejsou připojeny k rozvodové síti (odtud název „off-grid“). Využívají se nejčastěji jako zdroj energie v odlehlých oblastech, kde není vybudována elektrická přípojka (často i z ekonomických důvodů), jako např. chaty, jachty, dopravní komunikace atd. Ostrovní systémy se klasifikují do tří kategorií: systémy s přímým napájením, systémy s akumulací elektrické energie a hybridní systémy. [5; 7]

Systémy s přímým napájením

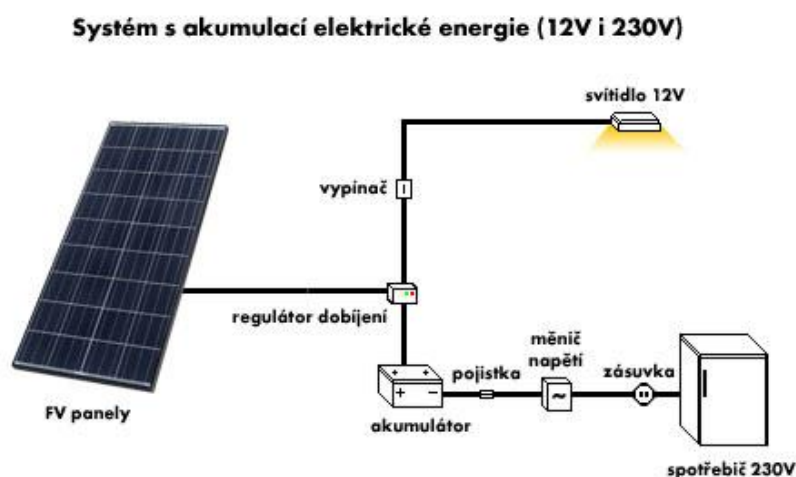
U systémů s přímým napájením dochází k okamžité spotřebě vygenerované elektřiny spotřebičem. Spotřebič tedy funguje pouze při dostatečné generaci elektrické energie fotovoltaickým panelem (při veliké intenzitě osvitů). Jediným pomocným členem je regulátor napětí. Tyto systémy nemají příliš velké využití (především kvůli nepravidelnosti intenzity slunečního záření), používají se spíše jen pro malé aplikace, jako např. dobíjení powerbank atd. [4; 15]



Obrázek 4 Systém s přímým napájením [16]

Systémy s akumulací elektrické energie

Tento typ se používá tehdy, je-li energie potřeba i v době nízké intenzity slunečního záření (zataženo, noc). Z tohoto důvodu jsou zde použity akumulátory elektrické energie, které uchovávají vyrobenou elektřinu z fotovoltaických panelů. Používají se speciální akumulátory pro pomalé dobíjení a vybíjení. Optimální rychlost dobíjení/vybíjení akumulátoru zajišťuje elektronický regulátor. [5; 7; 15]



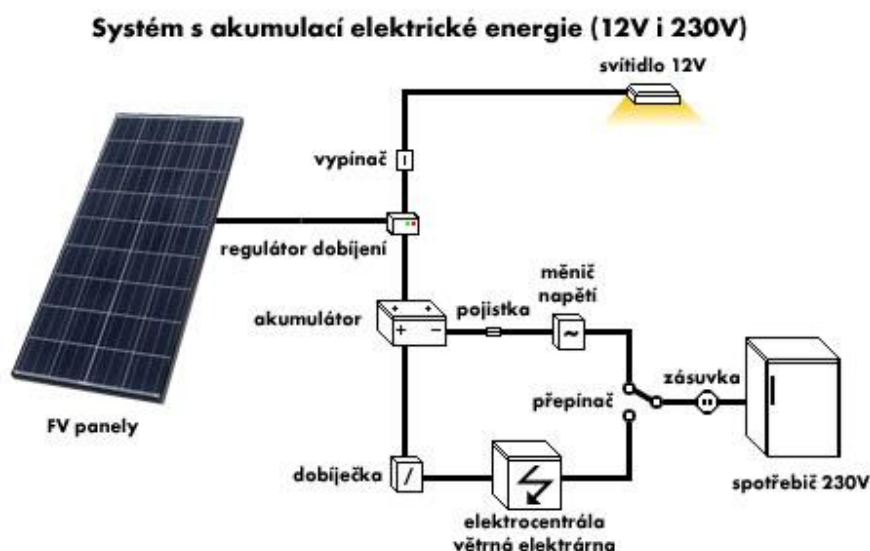
Obrázek 5 Systém s akumulací elektrické energie [17]

Hybridní systémy

Tento druh může pracovat v „off-grid“ i „on-grid“ zapojení, ale v drtivé většině případů se používá bez připojení k rozvodové síti, jelikož díky kombinaci několika zdrojů energie (vítr, slunce, dieselový motor) zvládá pokrývat spotřebu nepřetržitě, a tudíž nepotřebuje být připojen k rozvodové síti. [18]

Hybridní systémy kombinují fotovoltaické panely s dalším zdrojem elektrické energie, typicky s větrnou elektrárnou, malou vodní elektrárnou atd. Tyto kombinace se používají při potřebě celoročního provozu, nebo při pohonu zařízení s vysokým příkonem. Jelikož získaná energie z fotovoltaických panelů je v zimě značně omezena, bylo by pro celoroční provoz nutné navrhovat systém právě na zimní provoz, což by výrazně navýšilo celkové náklady. Proto je vhodné fotovoltaické systémy kombinovat např. s větrnými elektrárnami, které pokryjí spotřebu energie, pokud zrovna nesvítlí. Větrné elektrárny jsou efektivnější v zimním období, zatímco fotovoltaické elektrárny v létě. Fotovoltaické a větrné elektrárny se tedy skvěle

doplňují a tvoří společně výborný hybridní zdroj energie. Ideální kombinací se sníží celkové náklady a zvýší se efektivnost celého systému. [5; 15]

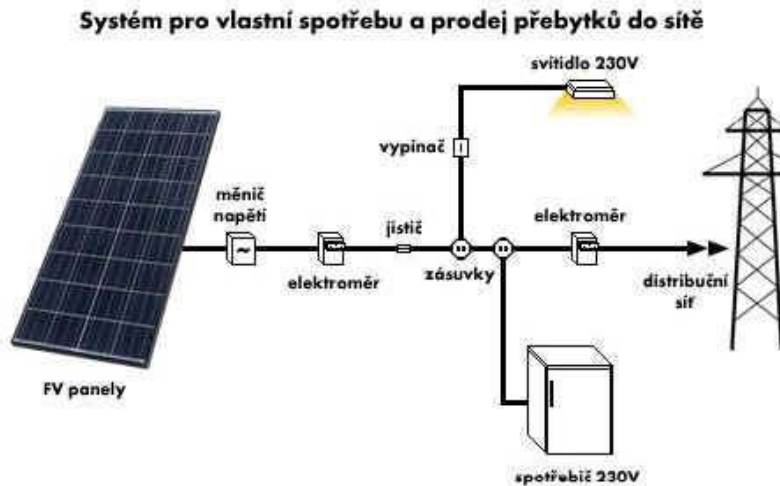


Obrázek 6 Hybridní systém s akumulací elektrické energie [19]

2.5.3 „On-grid“ systémy

Tato skupina fotovoltaických systémů je přímo připojena k elektrické rozvodové síti. Jedná se o nejideálnější fotovoltaický systém, díky jeho mnohým možnostem. Pokud je získáváno dostatečné množství energie z fotovoltaických panelů, může využívat pouze tuto energii, nebo dokonce její část/veškerou prodávat do rozvodové sítě. Naopak při nedostatečné momentální intenzitě slunečního záření může klasicky čerpat energii z rozvodové sítě pro vlastní spotřebu. Celý tento systém funguje automaticky díky měniči (střídači) se zabudovaným mikroprocesorem, který celý proces řídí. [4; 7]

Tato aplikace je však možná pouze v oblastech s hustou rozvodovou sítí. Jedná se o nejvýznamnější a nejrozsáhlejší skupinu fotovoltaických systémů. Tyto fotovoltaické systémy se typicky aplikují na střechy rodinných domů, na fasády a střechy budov, nebo na volné přírodní plochy (většinou pro velmi rozsáhlé fotovoltaické elektrárny). [4; 7]



Obrázek 7 System pro vlastní spotřebu a prodej přebytků do sítě [20]

2.5.4 Důležité pomocné komponenty fotovoltaických/větrných elektráren

Mezi pomocné komponenty fotovoltaických systémů patří měniče (střídače), akumulátory, řídicí jednotky, mikrostrídače, výkonové optimalizéry a propojovací kabely. Všechny tyto součásti do jisté míry ovlivňují celkovou účinnost fotovoltaického systému. Pozornost zde bude věnována měničům, jelikož jsou po fotovoltaických panelech nejdůležitější součástí fotovoltaických systémů.

Měniče (střídače)

Měniče neboli střídače, jsou součástí, jejichž funkcí je převod stejnosměrného napětí na napětí střídavé (230 V). Stejnosměrné napětí je generováno solárními panely a je využíváno i v akumulátorech, zatímco střídavé napětí je potřeba do většiny spotřebičů a do rozvodové sítě. Měnič ale může vykonávat i celou řadu doplňkových funkcí. Základní rozdělení střídačů je na síťové, ostrovní a hybridní. Síťové využívají pouze elektřinu ze sítě, ostrovní pouze vlastní vyprodukovanou elektřinu a hybridní dokážou oba tyto druhy elektřiny kombinovat. Hybridní střídače jsou proto nejvhodnější a často jsou opatřeny i zařízením zamezujícím přetokům elektřiny zpět do distribuční soustavy. [2]

Nejdůležitějšími parametry měničů jsou celková účinnost (převod stejnosměrného proudu na střídavý) a účinnost sledování MPTT – maximal power point tracker, která znázorňuje, jak efektivně dokáže měnič sledovat bod maximálního výkonu panelů. Hlavním problémem střídačů je snižování celkového výkonu panelů, a to kvůli centrálnímu sledování maximálního bodu výkonu (většinou jedním střídačem). Pokud je nějaký nesoulad ve

výkonech jednotlivých panelů, tak celkový výkon je omezen momentálně „nejslabším“ panelem. Tento nesoulad nastává běžně a jeho příčinami jsou: částečné zastínění, znečištění, teplotní rozdíly, rychlé změny klimatických podmínek a v neposlední řadě i nesoulad panelů již od jejich výroby. Mezi výrobce klasických střídačů patří například firmy Refusol, Power One, SMA atd. [21; 22]

Možnou alternativou je poměrně moderní aplikace **střídač + výkonový optimizér**, která je v dnešní době již běžně k dostání na trhu. Jedná se opět o jeden střídač pro celou řadu panelů, ale ke každému panelu je navíc přiřazen výkonový optimizér, který reguluje daný panel. Tím pádem už nenastává nesoulad v jednotlivých panelech, jelikož výkonové optimizéry udržují u každého panelu stejný výkon, čímž lze navýšit zisk energie z fotovoltaického systému až o jednu čtvrtinu. Další velikou výhodou je monitorace každého panelu zvlášť, díky čemuž lze snadno určit, zda je některý panel vadný, nebo není ideálně umístěn. Tato aplikace je také bezpečnější než obyčejné střídače, umožňuje lepší využití střechy (jelikož zde už nevádí, když je např. jeden panel mírně zastíněn) a disponuje delší životností. Jedinou nevýhodou je vyšší cena, což je však při tolika výhodách vřele přijatelné. Použití střídače + výkonového optimizéru je velmi perspektivní a rychle se rozvíjející aplikace. Mezi výrobce střídačů + výkonových optimizérů patří například firmy SolarEdge, SolarMagic, Tigo. [22]

Další alternativou jsou **mikrostřídače**, které sice nemají problém s počtem panelů a jsou bezpečnější, ale jsou méně spolehlivé, mají nižší účinnost a jsou dražší. [22]

Řídící jednotky – např. WATTrouter

Úkolem řídicích jednotek je efektivní rozvod elektrické energie do jednotlivých spotřebičů. Tyto jednotky se nejčastěji instalují do fotovoltaických systémů, které nemají akumulární baterie. Důvodem je, že přebytečnou elektřinu nelze jednoduše akumulovat do baterií, ale je třeba ji vhodně rozvádět do spotřebičů které ji mohou momentálně využít.

WATTrouter je řídicí jednotka české výroby, která monitoruje veškerý tok elektrické energie. Při přebytku produkované elektřiny fotovoltaickými panely zajišťuje především ohřev vody v bojleru. Umí elektřinu přeměrovat i do jiných spotřebičů, které ji mohou využít, a tím zvyšuje vlastní spotřebu elektřiny našeho domu, abychom nemuseli elektřinu dodávat do distribuční sítě za minimální sazbu. [23]

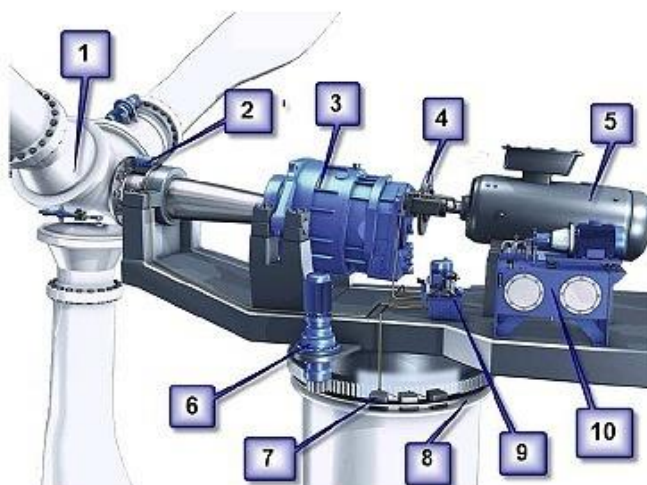
3. Malé větrné elektrárny

Pojmem mikro větrné elektrárny bývají typicky označovány větrné elektrárny s výkonem do 2,5 kW a s průměrem rotoru do 3 m. Malé větrné elektrárny dosahují výkonů typicky do 15 kW a mají značně větší průměry rotorů. Tato dvě označení větrných elektráren se často slučují/zaměňují a jsou často rozdílně interpretována v různých literárních zdrojích. Jelikož nás v této diplomové práci zajímají jmenovité výkony do 10 kW, budeme se zabývat jak mikro, tak i malými větrnými elektrárnami.

3.1 Základní princip

Větrné elektrárny jsou technologií převádějící energii větru na mechanickou práci a následně na elektrickou energii. Jedná se o technologii využití obnovitelných zdrojů energie, která je velmi šetrná k životnímu prostředí. Princip je takový, že kinetická energie větru roztáčí rotor větrné turbíny, který pohání generátor, jenž z rotační mechanické energie vytváří elektřinu. Tato elektřina (stejnoseměrný proud) je nakonec střídačem transformována na proud střídavý. [24; 25]

Složení typické větrné elektrárny je znázorněno níže, na obrázku 8.



Obrázek 8 Složení větrné elektrárny [80]

Každá větrná elektrárna se skládá z rotoru (1), strojovny (gondoly) a stožáru. U nejběžnějších typů turbín je rotor složen z několika listů, které mají speciálně tvarované profily kvůli velikým aerodynamickým silám větru, vznikajícím podél listů rotoru vlivem proudění vzduchu. Strojovna, také nazývána gondola, obsahuje mnoho nezbytných součástí větrné elektrárny a zajišťuje její funkčnost. Mezi základní součásti strojovny patří brzda rotoru (2), převodovka (3), generátor (5), transformátor a mechanismus natáčení strojovny (8). Otočný mechanismus je opatřen svou brzdou (7) a motorem (6), hřídele převodovky a generátoru jsou

propojeny spojkou (4). Brzdy a natáčení lopatek jsou ovládány hydraulicky (9,10). Celé toto složení je zobrazeno na obrázku 8. Veliké větrné elektrárny často obsahují několik anemometrů, což jsou přístroje pro měření rychlosti a směru větru, díky kterým dokáží automaticky natáčet své listy i celou strojevnou, pro co nejoptimálnější využití kinetické energie větru. U menších větrných turbín se pro tento účel používá větrné kormidlo. [24; 26]

3.2 Výhody / nevýhody

Jedná se o technologii s velkým potenciálem pro výrobu „čisté“ elektrické energie bez škodlivých emisí. Veliké větrné elektrárny hrají významnou roli v globální produkci elektřiny (avšak mohou způsobovat nestabilitu sítě), zatímco malé/mikro větrné elektrárny, umístěné ve výškách typicky do 10 m nad zemí, mohou energií zásobovat odlehlé objekty (chaty, dopravní komunikaci, ...), mobilní zařízení nebo i rodinné domy. Hlavními výhodami jsou poměrně velký výkon na malé rozměry, minimální zatěžování životního prostředí (vzhled, hluk), možnost napájení odlehlých objektů a ideální kombinace se solárními panely v hybridní systémy. [24; 25; 27]

Nevýhod větrných elektráren je však celá řada, počínaje vysokou počáteční investicí. Dále je potřeba opravdu ideálních větrných podmínek pro dostatečnou výrobu elektřiny. Je tedy poměrně složité najít vhodné umístění pro větrnou elektrárnu, v mnoha lokalitách je to přímo nemožné. Instalace dokonce i malých větrných elektráren je poměrně složitá a dále je výroba elektřiny z větrných elektráren velmi nespolehlivá, kvůli závislosti na meteorologických podmínkách. Tato nevýhoda je však společná u téměř všech technologií využívajících obnovitelných zdrojů energie. V neposlední řadě je třeba brát ohled na emise hluku z větrných elektráren, pokud jsou postaveny v obydlených oblastech. [25; 27]

3.3 Typy mikro/malých větrných turbín

Základní dělení větrných turbín je podle jejich aerodynamického principu, na vztahové (lift turbines) a odporové (drag turbines). Dále se větrné turbíny dělí podle osy rotace na horizontální (horizontal axis wind turbine – HAWT) a vertikální (vertical axis wind turbine – VAWT). [28; 26]

3.3.1 Odporové větrné turbíny

Tento typ větrných turbín je nejjednodušší a nejstarší. Pracuje na principu odporové síly, kterou klade plocha (lopatka) proti proudícímu větru. Tím je zařízení uvedeno do rotace. Pro tuto funkci je však velmi důležité, aby plocha na druhé straně kladla menší odpor vůči proudícímu vzduchu, jinak by se síly vyvážily a nedocházelo by k rotaci. Tento problém se nejčastěji řeší **různým tvarem lopatek**, nebo **natáčením lopatek**. Odporové větrné turbíny

se dnes již používají jen zřídka, jelikož dosahují značně nižších účinností než větrné turbíny vztlakové. Mohou mít vertikální i horizontální osu rotace a také mohou mít velmi rozmanité tvary. [24; 26; 29]

Různé tvary lopatek

Principem je takový tvar lopatky, aby kladl proti proudícímu vzduchu různý odpor, v závislosti na směru proudění vzduchu. Na obrázku 9 je uvedeno nejtýpčtější řešení. [24; 26]



Obrázek 9 Odporová větrná turbína s lopatkami ve tvaru misek [81]

Natáčení lopatek

Zde jsou lopatky natáčeny tak, aby jedna lopatka vždy kladla co největší možný odpor, zatímco ostatní lopatky budou klást odpor minimální. Jedná se o komplikovanější, ale efektivnější řešení odporových větrných turbín. Příklad tohoto řešení je uveden na obrázku 10. [24; 29]



Obrázek 10 Odporová větrná turbína s natáčeji lopatkami [82]

3.3.2 Vztlakové větrné turbíny

Vztlakové větrné turbíny mají speciálně tvarované lopatky (podobně jako profil křídla letadla), na kterých vznikají aerodynamické síly (vztlak) vlivem proudění vzduchu podél lopatek. Tento vztlak je příčinou roztočení rotoru s lopatkami (vrtule). Jedná se o nejpoužívanější typ větrných turbín, který dosahuje vyšších účinností nežli větrné turbíny

odporové. Klasické vrtulové vztlakové větrné turbíny se vyrábí nejčastěji s dvěma nebo třemi listy. Každý list při své rotaci „rozvíří“ vzduch, se kterým přijde do styku, což má vliv na další list vrtule, který ho následuje. Proto je použití většího počtu listů na vrtuli nežádoucí a snižovalo by celkovou účinnost a zvyšovalo konstrukční náklady. Na obrázku 11 je znázorněna dvoulistá vrtule vztlakové větrné turbíny i s principem rotace. [24; 26; 30]



Obrázek 11 Dvoulistá vrtule vztlakové větrné turbíny a princip rotace [31]

3.3.3 Větrné turbíny s horizontální osou rotace (HAWT)

Jedná se o klasický typ větrných turbín, který se využívá u větrných elektráren všech velikostí a výkonů. Skládá se většinou ze stožáru a rotoru s třemi aerodynamicky tvarovanými listy. Tento typ větrné turbíny musí být vždy nasměrován proti směru větru, k čemuž se u mikro a u malých větrných turbín využívá větrné kormidlo (směrová lopatka), zatímco u velkých větrných elektráren jsou pro tento účel umístěny anemometry a strojovna je opatřena otáčecím ústrojím. Větrné turbíny s horizontální osou rotace se využívají mnohem více než turbíny vertikální. Jejich hlavní výhodou oproti vertikálním turbínám je vyšší dosahovaná účinnost. Na obrázcích 12 a 13 jsou uvedeny zástupci velkých i malých větrných turbín tohoto typu. [24; 26; 28]



Obrázek 13 Velké HAWT [83]



Obrázek 12 Malá HAWT [84]

3.3.4 Větrné turbíny s vertikální osou rotace (VAWT)

Tento druh větrných turbín se používá převážně pouze u malých/mikro větrných turbín. Díky vertikální ose rotace není potřeba tento druh turbíny natáčet proti směru větru, což je jejich hlavní výhodou. Strojovna je umístěna na zemi pod turbínou, což zjednodušuje její případnou údržbu. Další drobnou výhodou je, že zabírají méně prostoru než horizontální větrné turbíny a mají o něco nižší emise hluku. Kromě těchto ne příliš významných výhod nejsou vertikální větrné turbíny v ničem lepší než turbíny horizontální. Dominantní větrné turbíny s horizontální osou rotace jsou totiž levnější, a navíc dosahují značně vyšších účinností (až 48 % vs. až 35 %). [24; 29; 32]

Existují dva hlavní druhy těchto turbín, z nichž jeden pracuje na odporovém principu (Savonius – obr. 14) a druhý pracuje na vztakovém principu (Darrieus – obr. 15, 16).

Větrná turbína Savonius

Jedná se o rotor využívající odporové síly pro svou rotaci, s velmi jednoduchou konstrukcí. Skládá se z dvou válcových ploch, vyduté a vypouklé, které jsou umístěny vedle sebe na společné ose rotace. Ve zvláštních případech mohou být plochy i šroubovitě. Rotace je vyvolána tlakovým rozdílem větru na jednotlivé válcové plochy. Rotor se snadno rozbíhá i při nízkých rychlostech větru, ale naopak při vyšších rychlostech větru hrozí jeho destrukce. Jeho hlavní nevýhodou je velmi nízká účinnost, což je hlavním důvodem proč se téměř nevyužívá. [26; 29]



Obrázek 14 Větrná turbína Savonius [85]

Větrná turbína Darrieus

Tento druh větrné turbíny s vertikální osou rotace je již sofistikovanější, byl vynalezen francouzským inženýrem Darrieusem a je nejvýznamnějším představitelem vertikálních větrných turbín. Skládá se z dvou až čtyř aerodynamicky tvarovaných lopatek různých tvarů, na kterých při proudění vzduchu vznikají vztahové síly, kterých využívá pro svou rotaci. Dosahuje o něco vyšší účinnosti než typ Savonius, ale potřebuje větší rychlost větru pro rozběh, kvůli čemuž se pro jeho rozběh často využívá cizího zdroje. [26; 29; 32]



Obrázek 16 Darrieus klasický [86]



Obrázek 15 Darrieus moderní [87]

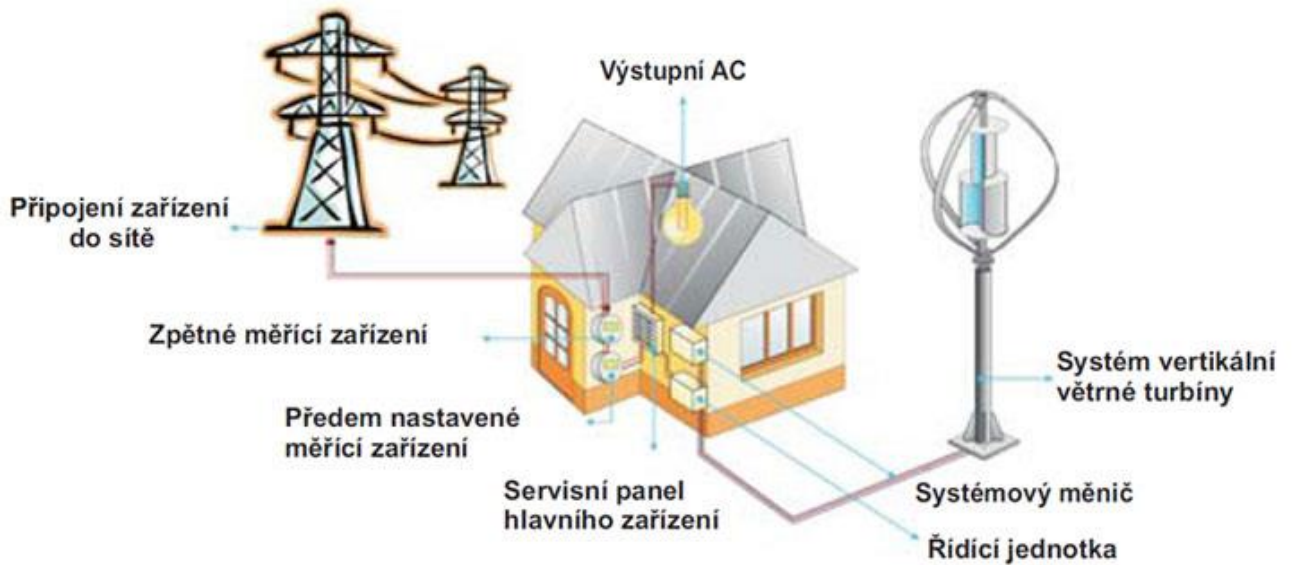
3.4 Možnosti zapojení mikro/malých větrných elektráren

Způsoby zapojení větrných elektráren se primárně dělí na „on-grid“ (připojené k rozvodové síti) a „off-grid“ (ostrovní systémy). Součástí každého zapojení musí být řídicí elektronika (řídicí jednotka, měnič, měřicí zařízení), která zajišťuje optimální funkci celého systému. [33]

3.4.1 „On-grid“

Toto zapojení je typické pro velké větrné elektrárny, ale je možné ho použít i u menších větrných elektráren. Využívá se spíše u výkonnějších malých větrných elektráren (než u mikro větrných elektráren), které vyrábějí dostatečné množství energie na to, aby vůbec mělo smysl větrnou elektrárnu připojovat k rozvodové síti. Nejčastější princip je takový, že při přebytku energie získané z větrné elektrárny část energie spotřebujeme a přebytek prodáváme do sítě. Naopak pokud nefouká, můžeme odebírat elektřinu z rozvodové sítě. Další možností je prodávat do sítě veškerou vyrobenou elektřinu. Pro prodej elektřiny do rozvodové sítě je však nejdříve potřeba vyřídit legislativní požadavky a sjednat si smlouvu s provozovatelem

rozvodové sítě v dané oblasti. „On-grid“ zapojení s vertikální větrnou turbínou je schematicky znázorněno na obrázku 17. [18; 26; 33]

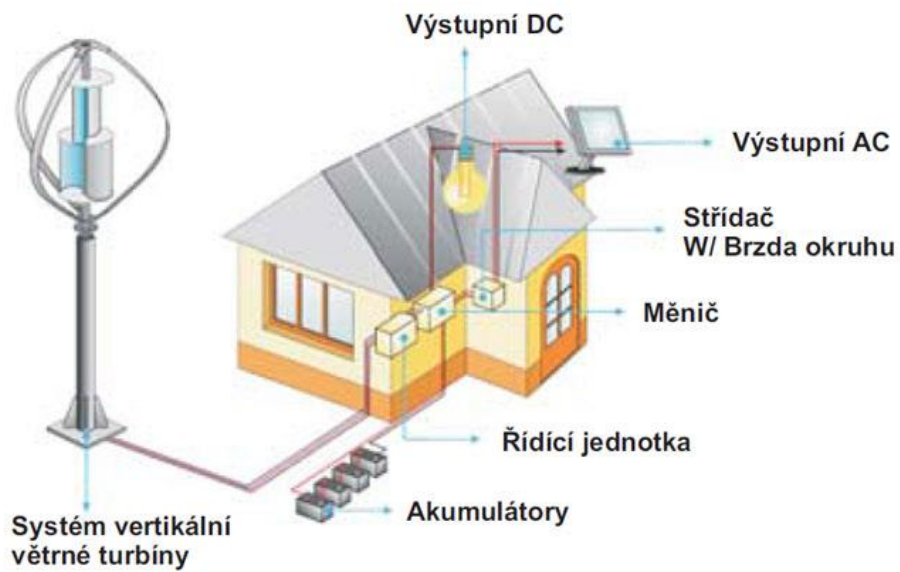


Obrázek 17 On-grid malá větrná elektrárna [34]

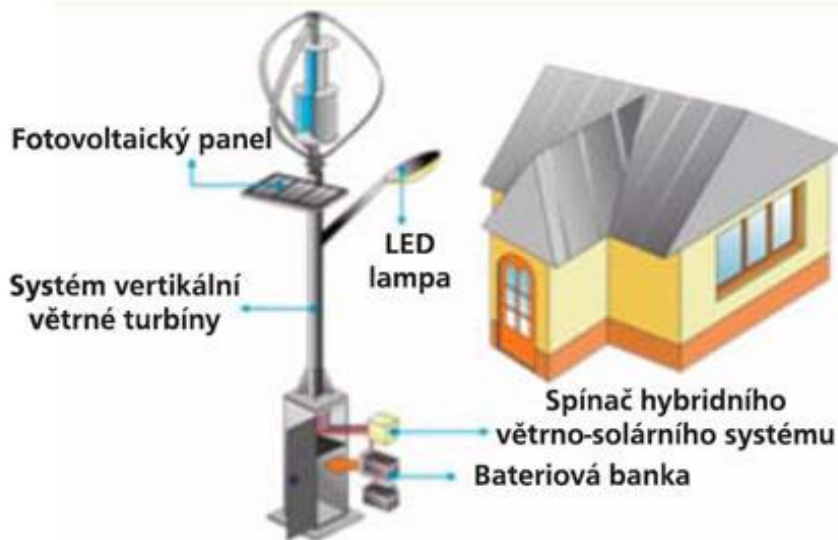
3.4.2 „Off-grid“

Toto zapojení se jinak nazývá ostrovní neboli bez připojení k rozvodové síti. Jedná se o nejpoužívanější a nejvýznamnější využití malých větrných elektráren. Jeho hlavním přínosem je možnost napájení odlehlých a mobilních objektů (chaty, rodinné domy, jachty, dopravní komunikace atd.), u kterých připojení k síti není možné, nebo by bylo příliš nákladné. [18; 33]

„Off-grid“ zapojení větrných elektráren se mohou dále dělit na **přímé napájení**, na využití **akumulace elektrické energie** a na **hybridní zapojení**. Všechna tato zapojení již byla popsána u fotovoltaických systémů v kapitole 2.5.2. Na obrázku 18 je zobrazeno zapojení malé větrné elektrárny s použitím akumulátorů, zatímco na obrázku 19 je zjednodušeně zobrazeno využití hybridního systému v kombinaci s akumulací elektrické energie.



Obrázek 18 Přímé napájení malé větrné elektrárny [35]



Obrázek 19 Hybridní systém s akumulátorem [36]

3.5 Výrobci malých/mikro větrných turbín

S dostupností malých/mikro větrných turbín to není tak jednoduché, jako s dostupností fotovoltaických panelů. Výrobci fotovoltaických panelů je celá řada a jejich technologie se příliš neliší. Nabídka na trhu malých/mikro větrných elektráren je však značně nedostatečná. Každý výrobce prosazuje odlišné technologie i tvary větrných turbín a často nebývají řádně otestované, což snižuje jejich důvěryhodnost. Na pořízení těchto větrných elektráren je zpravidla potřeba znatelně vyšší finanční obnos než na pořízení fotovoltaických panelů o podobném výkonu, a ještě k tomu mají kratší životnost. [29; 30; 37]

Momentálně je jediným českým výrobcem firma **Aerplast s.r.o.** Zahraničních výrobců je poměrně hodně (USA, Čína, Dánsko), ale jejich technologie také často nejsou dostatečně ověřené (neobdrželi žádné certifikace) a funkce větrných turbín nebývá dostatečně zdokumentována. Navíc jsou často veliké problémy s dovozem větrných turbín. Pokud je dovoz vůbec možný, tak za veliký finanční obnos.

3.5.1 Čeští výrobci

Společnost **Aerplast s.r.o.**, jediný momentální výrobce malých větrných turbín v České republice, nabízí větrné turbíny různých jmenovitých výkonů, od 300 W až do 22kW (z hlediska této diplomové práce nás ale zajímají výkony pouze do 10kW). Celá řada je označována APxxx, kde znaménka x jsou nahrazena číslicemi, které odpovídají jmenovitému výkonu dané turbíny. AP300 a AP400 jsou nejmenší verze, které generují napětí 12/24 V. O něco větší AP1200 dosahuje generovaným napětím hodnoty 48 V a další typ AP7 (dále případně AP12, AP22), který má jmenovitý výkon 7kW, má napětí již shodné se síťovým (230 V). Tento typ malé větrné turbíny zde podrobněji uvedu jako zástupce celé skupiny (obrázek 20). Jedná se vždy o horizontální větrné turbíny pracující na vztlakovém principu. [33]



Obrázek 20 Malá větrná turbína AP7 [90]

- Jmenovitý výkon: 7kW
- Jmenovitá rychlost větru: 12 m/s
- Rozběhová rychlost: 3 m/s
- Max. rychlost větru: 50 m/s
- Průměr rotoru: 6,5m
- Materiál rotoru: GRP (sklolaminát)
- Max. otáčky rotor: 200 n/min
- Výstupní napětí: 230 V
- Řídicí systém Siemens, Mitsubishi
- Hmotnost: 240 kg [33]

3.5.2 Zahraniční výrobci

Zahraničních výrobců je veliké množství, ale kvalita a dobrá nabídka turbín není zdaleka samozřejmostí. Spousta výrobců se snaží vymýšlet „moderní skvělé turbíny“, u kterých uvádějí vynikající vlastnosti, avšak často opak bývá realitou. Nejvíce se opět osvědčují klasické horizontální turbíny se třemi lopatkami pracující na vztakovém principu. Jejich konstrukce je poměrně jednoduchá, funkčnost ověřena a mají slušnou účinnost. Mezi některé významné zahraniční výrobce patří například společnosti: **Bergey Windpower**, **XZERES Wind**, **AELOS Wind Turbine**, **WTT**, **Tozzi Nord** atd. [30; 38; 39; 40; 41; 42]

XZERES Wind (USA) nabízí dva velmi perspektivní produkty, AirBreeze a Skystream 3.7. AirBreeze je velmi oblíbená a rozšířená mikro větrná turbína o jmenovitém výkonu 160 W, průměru rotoru 1,19 m a hmotnosti 5,9 kg. Má integrovaný regulátor, suchozemské i mořské (pro použití na jachtách) provedení a může mít výstupní napětí 12, 24 i 48 V. Skystream 3.7 je již o něco větší větrná turbína, v moderním kompaktním provedení s nominálním výkonem 2,4 kW, průměrem rotoru 3,72 m a váhou 77 kg. Součástí turbíny je monitorovací systém na počítač, invertor, řídicí jednotka, a pětiletá záruka. Jedná se o jednu z nejlepších mikro větrných turbín na trhu. Dodavatelé obou těchto turbín jsou v Německu (SOLARWINDTECHNIK), Slovensku (ALTENER s.r.o.), Rakousku (Windenergy) i Polsku (MZ Complex), tudíž by dostupnost turbín v České republice nemusela být příliš velkým problémem. Mikro větrná elektrárna AirBreeze je dostupná i na českém webu (<http://energyforever.cz>) za 18 480 Kč. [41; 43]



Obrázek 22 Větrná turbína AirBreeze [88]



Obrázek 21 Větrná turbína Skystream 3.7 [89]

Americká společnost **Bergey Windpower** nabízí výkonové řady větrných turbín 1kW, 6kW a 10kW. Střední šesti-kilowattová verze stojí cca \$21 995, což už je značná investice a tato cena se může (a pravděpodobně bude) navyšovat kvůli velikosti použitého stožáru, instalaci a dopravě. Společnost uvádí dvouletou, pětiletou a desetiletou záruku, podle výkonnostní třídy turbíny. Tyto větrné turbíny jsou k dostání v České republice prostřednictvím dodavatele HELION CZ. [39]

Další společností vyrábějící mikro/malé větrné turbíny je **AEOLOS Wind Turbine**, která sídlí v Dánsku. Na rozdíl od ostatních výrobců, AEOLOS nabízí i vertikální větrné turbíny, a to s výkony od 300 W až do 10 kW, které jsou všechny typu Darrieus se třemi aerodynamicky tvarovanými lopatkami vyrobenými ze slitiny hliníku (viz. obrázek 23). Jsou lehké, spolehlivé a tiché. V jejich sortimentu jsou však i turbíny horizontální, od 500 W do 10 kW. Nabídka této společnosti je opravdu veliká. Nejbližší dodavatelé těchto turbín sídlí v Německu. Jediná dostupná turbína této firmy v České republice je Aeolos H-500 W 24 V, což je opět typická horizontální vztlaková turbína, s nominálním výkonem 500 W, průměrem rotoru 1,7 m a hmotností 19,7 kg. Cena této turbíny na českém e-shopu (<http://energyforever.cz>) je 26 136 Kč s DPH. [40; 43]



Obrázek 23 Vertikální turbína AEOLOS 10kW [44]

Jedním z německých významných výrobců mikro/malých větrných turbín je společnost **WTT – Wind Turbine Trade**. Vyrábí horizontální vztlakové turbíny, s nominálními výkony od 2 kW, 3 kW, 5kW a 7,5 kW. Parametry ani konstrukcí se tyto turbíny nijak neliší od ostatních výrobců. Společnost WTT dodává své větrné turbíny i do České republiky. [42]

Novým trendem ve větrné energetice pro malé výkony je snaha vyrábět turbíny určené pro nízké rychlosti větru, při co nejvyšší energetické produkci. Jedním ze zástupců tohoto trendu je německá společnost **Tozzi Nord**, která vytvořila poměrně nový a proslulý model TN 535. Jedná se o turbínu s jmenovitým výkonem 10 kW, která má jmenovitou rychlost větru 5 m/s. Disponuje obrovským rotorem v této kategorii, s průměrem 13,2 m, který právě umožňuje vysokou produkci elektrické energie i při nízkých rychlostech větru. Těmito parametry turbína překonává veškerou konkurenci, jelikož většina ostatních turbín vyžaduje jmenovité rychlosti větru značně vyšší, kterých se v mnoha lokalitách vůbec nedosahuje. TN 535 je tedy ideální turbínou pro lokality s nižšími průměrnými rychlostmi větru. Bohužel její cena není běžně k dispozici a distribuce do ČR zatím není dostupná, proto tuto turbínu v našich ekonomických

analýzách nebudeme uvažovat. Očekává se však, že by dosahovala výrazně lepších výsledků i při předpokládané vysoké pořizovací ceně.



Obrázek 24 Větrná turbína Tozzi Nord - TN 535

4. Legislativa a dotace

4.1 Licence ERÚ a daň z příjmů

Díky nedávné novele energetického zákona (zákon číslo 458/2000 Sb.), která vstoupila v platnost v roce 2016, se podstatně zjednodušilo provozování malých domácích elektráren připojených k distribuční soustavě. Nyní pro elektrárny s výkonem do 10 kW, určené především pro vlastní spotřebu, již není zapotřebí být držitelem licence Energetického regulačního úřadu (ERÚ). Osoby, které takovouto elektrárnu provozují, tedy již nejsou považovány za OSVČ (osoby samostatně výdělečně činné). Jedná se o vstřícný krok státu vůči malým zdrojům energie z OZE. Pokud elektrárna není připojena k distribuční soustavě, tak není zapotřebí licence ERÚ ani při libovolném výkonu elektrárny. [45; 46; 47; 48]

Dále prodej přebytků elektřiny vyrobené z těchto malých elektráren nebude brán jako příjem z podnikatelské činnosti, ale jako ostatní příjem. Tím pádem tento příjem bude osvobozen od daně z příjmů (pokud roční hodnota příjmu nepřesáhne hodnotu 30 000 Kč). Tato příznivá změna vyplývá z novely zákona č. 586/1992 Sb., o daních z příjmů. [46; 47]

4.2 Nové možnosti připojení elektrárny

Domácí elektrárnu, jak již bylo popsáno v kapitolách [2.5](#) a [3.4](#), lze klasicky provozovat jako off-grid systém (bez připojení k distribuční soustavě), nebo on-grid systém (připojen k distribuční soustavě).

Pokud elektrárna není připojena k distribuční soustavě, není zapotřebí licence ERÚ ani smlouva o připojení s provozovatelem distribuční soustavy. [47]

Z hlediska dotací a legislativy je výhodnější připojení k distribuční soustavě, s tím, že se elektrárna provozuje primárně pro vlastní spotřebu. Důvodem je především podmínka připojení elektrárny k distribuční soustavě pro možnost získání dotace NZÚ. V tomto případě se jedná o standardní režim připojení, kdy je zapotřebí sjednat smlouvu s provozovatelem distribuční soustavy. Provozovatel s připojením tohoto zdroje však není nucen souhlasit. Dále je potřeba zajistit dohodu s obchodníkem s elektřinou, který se zaváže k odkupu přetoků vyrobené elektřiny do sítě a převezme zodpovědnost za odchylky dodávek do sítě. Pokud se podaří vše zajistit, následuje bezproblémový provoz domácí elektrárny bez dalších výdajů. [46; 47; 48]

Nově však byla zavedena zcela nová kategorie domácích elektráren, pod názvem „Mikrozdroje“. Tato skutečnost vyplývá z vyhlášky o připojování č. 16/2016 Sb., která vstoupila v platnost 1.2.2016. Pro tyto zdroje je zavedeno zjednodušené připojení. Stačí jen

smlouva o připojení k distribuční soustavě, kterou v tomto případě provozovatel musí připravit a je povinen žádosti o připojení mikrozdroje vyhovět. Do této kategorie spadají výrobní, které mají maximální výkon do 10kW a jejich jmenovitý střídavý fázový proud nepřesahuje hodnotu 16 A. Pro nárok na připojení je nutno prokázat, že hodnota impedance proudové smyčky v místě připojení na fázi nepřesáhne 0,47 Ω (zdroje do 16 A) a 0,75 Ω (zdroje do 10 A). Navíc je potřeba nainstalovat zařízení, které zabrání přetokům vyrobené elektřiny do distribuční soustavy (pokud tato funkce není již součástí použitého střídače). Pokud by k přetokům docházelo, jsou za to stanoveny sankce formou pokut, které určuje cenové rozhodnutí ERÚ č. 7/2015. Velikost pokut závisí na míře překročení rezervovaného výkonu a pohybuje se v rozmezí 36 až 1449 Kč/kW/měsíc. [46; 47; 48]

Volba optimálního řešení připojení domácí elektrárny je individuální. Záleží na ochotnosti provozovatele distribuční soustavy, na vzdálenosti od přípojky k distribuční soustavě i na akceptovatelné technické a finanční náročnosti připojení.

4.3 Dotační programy a výkupní ceny

Dotační programy na OZE v ČR nejsou příliš rozšířené. Pro větší projekty je možnost využít dotační program OPIK (operační program podnikání a inovace pro konkurenceschopnost), či nový připravovaný systém aukcí. Pro menší zdroje takováto možnost zatím neexistuje.

4.3.1 Fotovoltaika

Pro podporu malých fotovoltaických elektráren lze využít programu úspěšného českého dotačního programu „Nová zelená úsporám“. Výkupní ceny a zelené bonusu pro fotovoltaické elektrárny byly již dávno zrušeny.

Nová zelená úsporám

Nová zelená úsporám je nový, velice úspěšný dotační program určený primárně pro úspory energií a pro rozšiřování obnovitelných zdrojů energie, zejména na rodinných domech. Tento dotační program existuje již od října 2015, ale je průběžně aktualizován. Z počátku neměl takový úspěch, proto byla vytvořena druhá a následně i třetí výzva pro rodinné domy, jejímž cílem je zatraktivnění programu, zlepšování podmínek a zjednodušení celého žádacího procesu. Z této právě probíhající kontinuální výzvy je možné čerpat dotace až do roku 2021. Do dotačního programu jsou peníze postupně získávány z prodeje emisních povolenek. [49; 50; 51]

Dotiční program podporuje tři základní oblasti: A) Snižování energetické náročnosti stávajících rodinných domů; B) Výstavba rodinných domů s velmi nízkou energetickou náročností; C) Efektivní využití zdrojů energie. [49; 51]

V rámci této diplomové práce nás zajímá oblast C, konkrétně dotace na fotovoltaické systémy. V rámci této oblasti je možné žádat o dotaci na výstavbu fotovoltaické elektrárny na střeše rodinného domu. Elektrárna musí mít maximální špičkový výkon 10 kW a může i nemusí být připojena k distribuční soustavě. Pokud však připojena není, je na ni možné čerpat dotaci jedině v tom případě, že pouze ohřívá vodu a není napojena na vnitřní rozvody domu. Varianta připojené fotovoltaické elektrárny k distribuční soustavě je proto výhodnější. V tomto případě je nutno alespoň 70 % vyrobené elektrické energie použít pro vlastní spotřebu. [46; 50; 51]

Dotace jsou poskytovány formou investičních dotací na výstavbu FVE. Kromě investiční dotace je poskytována i dotace na zpracování posudku, která činí vždy 5000 Kč na projekt. Konkrétní hodnoty investičních dotací jsou shrnuty v následující tabulce [50; 51].

| Podoblast podpory | Specifikace fotovoltaické elektrárny | Maximální výše dotace [Kč/dům] |
|-------------------|--|--------------------------------|
| C 3.4 | FVE bez akumulace elektrické energie s celkovým využitelným ziskem ≥ 1700 kWh/rok | 55 000 |
| C 3.5 | FVE s akumulací elektrické energie s celkovým využitelným ziskem ≥ 1700 kWh/rok | 70 000 |
| C 3.6 | FVE s akumulací elektrické energie s celkovým využitelným ziskem ≥ 3000 kWh/rok | 100 000 |
| C 3.7 | FVE s akumulací elektrické energie s celkovým využitelným ziskem ≥ 4000 kWh/rok | 150 000 |

Tabulka 1 Hodnoty investičních dotací programu NZÚ na FVE [52]

Pro všechny podoblasti platí, že z nich může přetéci maximálně 30 % vyrobené energie do sítě (alespoň 70 % vlastní spotřeba), musejí být připojeny k distribuční soustavě až po 1.1.2016, jejich měnič musí mít účinnost alespoň 94 % a MPP tracker alespoň 98 %. U podoblasti C 3.4 je zapotřebí, aby byl nainstalován zásobník teplé vody o objemu 80 litrů na každý instalovaný kWp fotovoltaiky, který slouží k uchování přebytků elektrické energie. U fotovoltaických elektráren ostatních podoblastí musejí být nainstalovány baterie o velikosti 1,75 kWh na každý instalovaný kWp fotovoltaiky. Jsou-li však použity kvalitnější lithiové baterie (Li-Ion, LiFePO₄, LiFeYPO), které umožňují vysokou hloubku vybíjecích cyklů s minimálními ztrátami, stačí splnit limit 1.25 kW na každý instalovaný kWp instalovaného výkonu. [50; 51; 53]

Z tabulky je zřejmé, že preferovanější jsou fotovoltaické systémy s akumulací elektrické energie. Pokud by někdo nechtěl zahrnout akumulaci do svého systému, mohl by dosáhnout maximální výše dotace 50 000 Kč. Hodnota dotací na systémy s akumulací se

pohybuje v rozmezí 70 000-150 000 Kč. Výše dotace se navyšuje s celkovým využitelným ziskem elektrárny, což je roční množství vyrobené energie, která se použije pro vlastní spotřebu. Nad hodnotou 4 000 kWh/rok se dotace již navyšují, což je logické, jelikož o moc vyšších hodnot celkového využitelného energetického zisku se na běžných rodinných domech nedosahuje.

O dotaci je nutno zažádat přes formulář na stránkách NováZelenáÚsporám.cz. Kromě formuláře je nutno doložit odborný posudek zpracovaný projektantem a energetickým specialistou a krycí list technických parametrů potvrzený žadatelem a energetickým specialistou. Pro dokončení realizace je nutno ještě dodat aktuální výpis z katastru nemovitostí a veškeré faktury. [49; 51]

Nová zelená úsporám je velice úspěšný dotační program. Tato skutečnost je znázorněna následujícím grafem, který zobrazuje instalovaný výkon všech realizovaných fotovoltaických projektů na rodinných domech, v rámci programu NZÚ.



Graf 1 Instalovaný výkon realizovaných fotovoltaických projektů v rámci NZÚ [54]

Do roku 2021 bude v rámci programu poskytnuto celkem 27 miliard Kč. Roční rozložení finančních prostředků je znázorněno na následujícím obrázku [49; 51].



Graf 2 Alokace ročních finančních prostředků programu NZÚ [49]

Nepředpokládá se, že by program Nová zelená úsporám byl v budoucnu zastaven. Stát je přesvědčen, že se jedná o přínosný dotační program a jeho podmínky zhoršovat nehodlá. Předpokládá se, že momentální úroveň programu se bude do budoucna udržovat, či dokonce navyšovat. [51]

4.3.2 Větrné elektrárny

Dotační tituly

Větrné elektrárny malých výkonů v ČR zatím dotačními programy podporovány nejsou a v nejbližší době zřejmě ani nebudou. Zatím o ně není příliš velký zájem, a proto se v nejbližší době nechystá tvorba žádného dotačního programu.

Žadatel by mohl takovouto elektrárnu nyní realizovat jako novostavbu v oblasti podpory B (podpora výstavby rodinných domů) programu NZÚ. V takovém případě by byla uznatelným výdajem, ale dotace by se tím nezvyšovala, jelikož u novostaveb je v podstatě paušální. Jako OZE by však mohla přispět ke splnění podmínek pro vyšší podoblast podpory, a tak dotaci přeci jen navýšit.

Tyto informace jsem získal z diskuze s panem Martinem Kotěrou, který působí jako metodik v Oddělení metodiky a strategie Státního fondu životního prostředí ČR.

Výkupní ceny, zelené bonusy

Větrné elektrárny, na rozdíl od elektráren fotovoltaických, jsou však podporovány formou výkupních cen či zelených bonusů. Lze využít pouze jednu formu této podpory pro elektrárnu, nikoliv oboje. Při volbě výkupních cen je třeba uzavřít smlouvu s provozovatelem distribuční soustavy, ve které se zaváže k výkupu veškeré vyrobené elektřiny z větrné elektrárny z ceny stanovenou ERÚ (1.93 Kč/kWh). Máme tak zajištěný odkup veškeré vyrobené elektřiny, ale nemůžeme ji využívat pro vlastní spotřebu. Pokud však zvolíme

formu podpory prostřednictvím zelených bonusů, můžeme část vyprodukované elektřiny sami spotřebovávat a část dodávat odběrateli za domluvenou cenu, která není regulována ERÚ. Na dodanou elektřinu obdržíme podporu zelených bonusů výši 1.08 Kč/kWh. Odběratele elektřiny si však musíme sehnat sami, tudíž z toho vyplývá nejistota odběru vyprodukované elektřiny. Využití vyprodukované elektřiny při tomto způsobu je však flexibilnější. [55; 56; 57]

4.3.3 Dotace OZE v jiných zemích EU

V jiných zemích EU, jako např. v Dánsku nebo Německu, které jsou jedněmi z lídrů ve využívání energie větru a slunečního záření, jsou elektrárny využívající těchto zdrojů obnovitelné energie obvykle lépe a aktivněji podporované.

Situace např. v Dánsku je následující. Dánové se snaží nejvíce podporovat větrné elektrárny a rozšiřovat jejich instalace, ale fotovoltaické elektrárny podporují také. V první řadě provozovatel elektrárny není povinen odvádět žádné daně z vyrobené elektřiny. Dotace nejsou vedeny formou investičních jednorázových příspěvků, ale formou příspěvku za každou vyrobenou kWh elektrické energie. Konkrétní sazba příspěvku, která vejde v platnost na začátku května roku 2019 je 0.13 Euro/kWh (3.5 Kč/kWh). Projektové dokumentace pro případnou výstavbu elektráren jsou podporovány formou garantovaných půjček. [58]

4.4 Likvidace fotovoltaických panelů

Z provozování fotovoltaické elektrárny vyplývají určité zákonné povinnosti, které vyplývají z novely zákona č. 185/2001 Sb. o odpadech, na základě zákona č. 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích. Jedná se o využití, zpracování, sběr a ekologickou likvidaci vysloužilých solárních panelů. [59; 60]

Recyklace solárních panelů spočívá v oddělení materiálů, ze kterých se panely skládají, za účelem jejich vyčištění a opětovného využití druhotných surovin, popřípadě ekologické likvidace nevyužitelných frakcí. Tyto úkony jsou prováděny recyklačními společnostmi, pomocí technologií termické, či mechanicko-chemické metody, případně jejich kombinací. Mezi nejvýznamnější recyklační společnosti fotovoltaických panelů na území ČR patří ASEKOL Solar s.r.o. a RESolar s.r.o. [60]

Podstatný je recyklační poplatek, který se musí platit zpracovatelským firmám. Tento poplatek však bylo nutné platit pouze do počátku roku 2013. Od 1.1.2013 již nejsme povinni tento recyklační poplatek platit, jelikož nyní už je zahrnut v prodejní ceně fotovoltaických panelů. Tím pádem poplatek nyní odvádějí výrobci, prodejci, či dovozci panelů. [61]

5. Možnosti využití jednotlivých technologií

Tato kapitola se bude zabývat především možnostmi přeměny energie větru a slunečního záření a všemi faktory, které ovlivňují účinnost těchto přeměn. Bude využito i map osvitů a povětrnostních map na území ČR, na kterých se budou znázorňovat lokality vhodné pro umístění jednotlivých technologií, a budou se postupně měnit (omezovat) podle poznatků získaných z ekonomických analýz.

5.1 Fotovoltaika

5.1.1 Stanovení účinnosti energetické konverze fotovoltaických článků

Samotná účinnost konverze fotovoltaických článků závisí především na typu fotovoltaických článků, konkrétně na jejich materiálovém složení. Dosahované účinnosti jednotlivých článků již byly pospány v kapitole 2.3.2. Konkrétní účinnost jednotlivých typů článků bývá udávána výrobcí. Stanovuje se jako podíl množství vyrobené energie ku referenční hodnotě osvitů, která činí 1000 W/m². Účinnost bývá, nebo by alespoň měla být, udávána na základě skutečných testů.

Kromě této účinnosti energetické konverze existuje celá řada faktorů, které ovlivňují energetickou produkci fotovoltaické elektrárny.

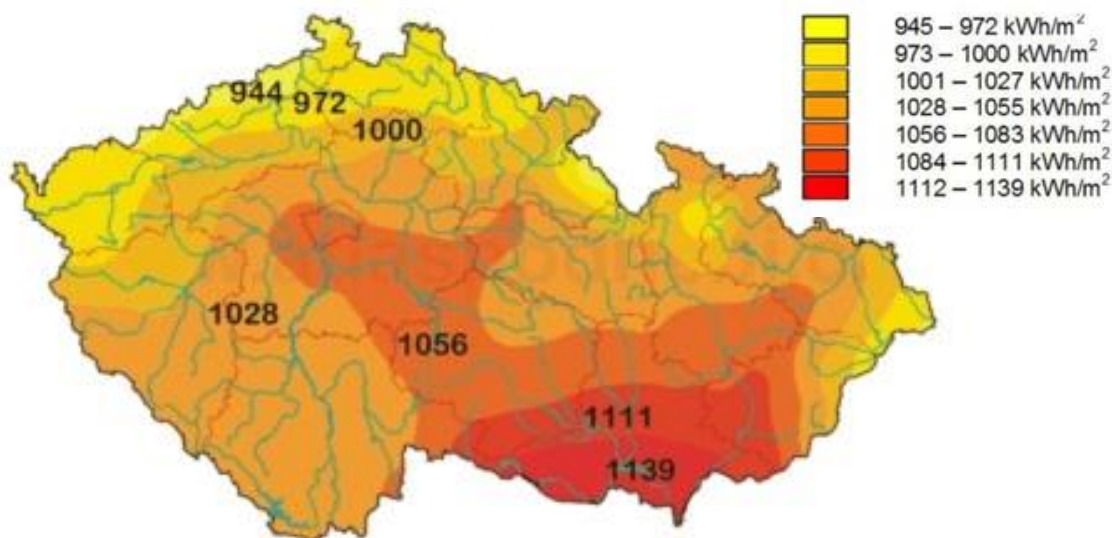
5.1.2 Faktory ovlivňující výrobu elektrické energie z fotovoltaických elektráren

Efektivnost fotovoltaických panelů je ovlivňována mnoha faktory, mezi které patří zeměpisná šířka, roční období, sklon a orientace panelů, znečištění atmosféry, a především přírodní podmínky, do kterých spadá úroveň osvitů na dané lokalitě a časový interval slunečního osvitů.

Přírodní podmínky

Přírodní podmínky mají největší vliv na využitelnost fotovoltaických elektráren a je na ně třeba klást velký důraz při volbě lokality pro umístění elektrárny.

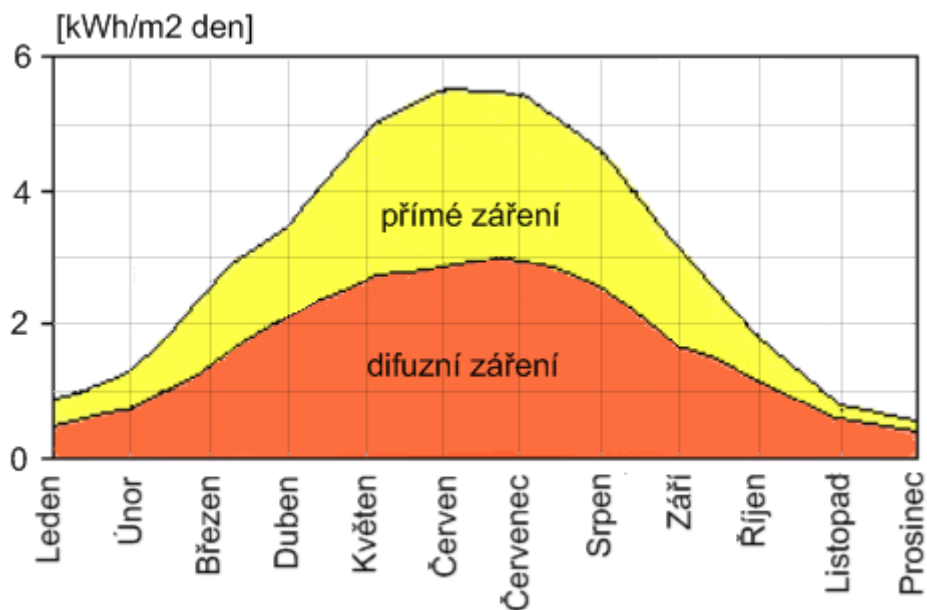
V první řadě se sleduje **roční úhrn globálního dopadajícího slunečního záření**. Tyto údaje vycházejí z dlouhodobých meteorologických měření a jsou pravidelně vydávány Českým Hydrometeorologickým Ústavem (dále jen „ČHMÚ“). Naměřená data jsou znázorňována v grafické podobě formou mapy osvitů, která je uvedena na následujícím obrázku. [4; 62]



Obrázek 25 Mapa ročního osvitu na území ČR [62]

Energie dopadajícího slunečního záření za rok na 1 m² plochy se na území České republiky pohybuje v rozmezí 945-1 139 kWh/m². Nejlepší podmínky z hlediska osvitu jsou na Moravě, konkrétně na Jižní Moravě, zatímco nejhůře na tom jsou severozápadní lokality Čech. [4; 62]

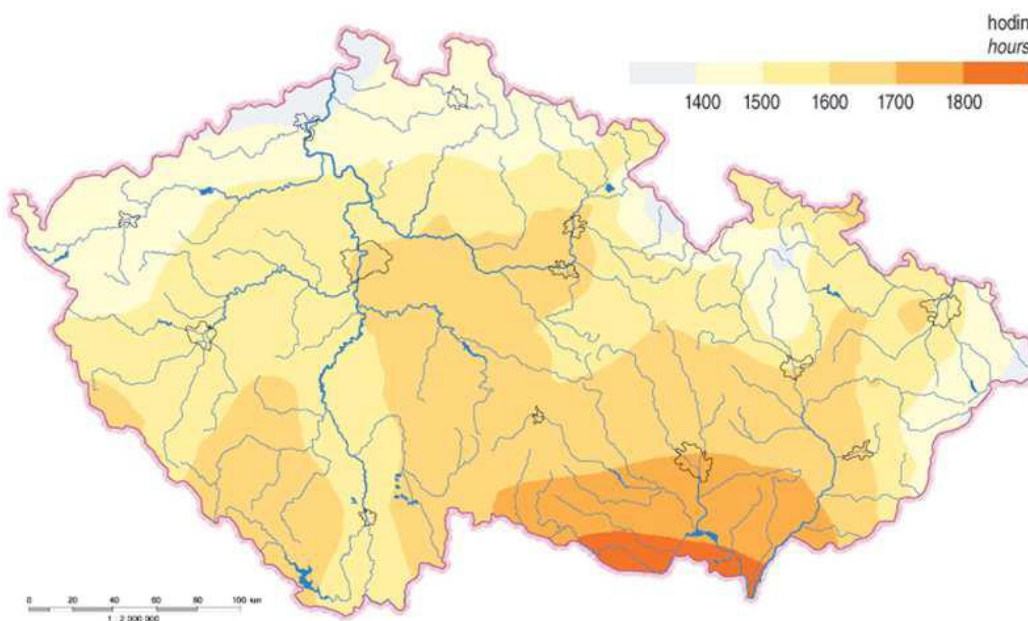
Globální sluneční záření se skládá ze záření přímého a difuzního. Přímé sluneční záření je takové, které v cestě nemá žádné překážky a dopadá přímo na zemský povrch. Toto záření umějí využívat všechny druhy fotovoltaických článků a je tedy nejdůležitějším druhem slunečního záření pro funkci fotovoltaických systémů. Difuzní sluneční záření již nedopadá přímočaře na zem, ale odráží se a dopadá ze všech směrů. Jedná se o přímé záření, které se rozptýlilo v mracích či různých částicích v zemské atmosféře. Tohoto záření dokážou využívat pouze vícevrstvé fotovoltaické články z amorfního křemíku, což je příčinou jejich vyšší účinnosti. Roční průběh obou těchto typů slunečního záření je znázorněn na níže uvedeném grafu [63].



Graf 3 Roční průběh přímého a difuzního záření na území ČR [63]

Z grafu je zřejmé, že přímé sluneční záření výrazně převyšuje záření difuzní. Tato dominance je markantní zejména v letních měsících, kdy je minimum oblačnosti, a tudíž přímé záření nemá tolik podnětů k rozptylu. Naopak v zimních a podzimních měsících, kdy je výrazně větší oblačnost, se množství difuzního záření přibližuje záření přímému.

Dalším důležitým údajem je **doba slunečního svitu**, která stanovuje, v jakém časovém intervalu k nám sluneční záření dopadá. Tato data jsou také stanovována jako roční souhrn a zveřejňuje je ČHMÚ [62].



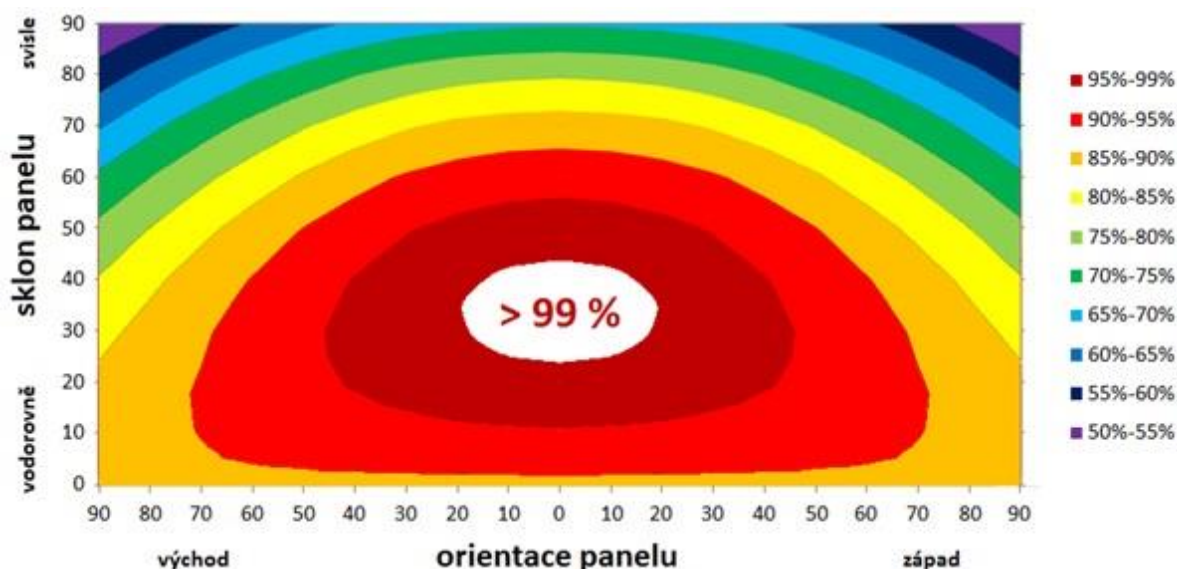
Obrázek 26 Roční doba svitu slunečního záření na území ČR [62]

Doba osvitu se pohybuje od 1 400 h/rok až po 1 800 h/rok. Z této mapy je zřejmé, že vhodné lokality jsou totožné s předchozí situací – Morava má podmínky nejlepší, zatímco severozápad Čech nejhorší (až na pár východních lokalit). [62]

I po vhodně zvolené lokalitě pro umístění fotovoltaické elektrárny nemusí její efektivnost být zdaleka ideální. Je nutno brát v potaz i lokální ovlivnění těchto podmínek. To může být způsobeno zastíněním panelů vlivem okolních vysokých objektů, či výrazným znečištěním atmosféry v dané lokalitě. Dalším důležitým faktorem je také zvolený sklon a orientace panelů. [62]

Orientace a sklon fotovoltaických panelů

Volbou různých sklonů a orientací fotovoltaických panelů můžeme podstatně ovlivnit jejich výnos elektrické energie vlivem efektivnosti využívání slunečního záření. Tato závislost je znázorněna na následujícím grafu [64].



Graf 4 Výnos energie FVE panelů vlivem sklonu a orientace panelů [64]

Procentuální možný výnos energie je rozlišen dle barevné škály, jejíž odpovídající hodnoty jsou vyneseny vpravo od grafu. Vertikální osa grafu znázorňuje sklon panelu od vodorovné osy ve stupních, zatímco horizontální osa grafu znázorňuje orientaci panelu, konkrétně odklon panelu od jižního směru, také ve stupních.

Ideální nastavení fotovoltaického panelu by se dosáhlo při orientaci přímo na jih a sklonu 35°. Toto nastavení však není nutnou podmínkou. Z grafu vyplývá, že s oběma těmito parametry je možno relativně dobře hýbat, při zachování velmi dobrého výnosu energie. Při stanovení požadovaných hodnot výnosu energie 95 %, je přípustnou odchylkou orientace panelů $\pm 45^\circ$ od jihu a přípustné rozmezí sklonu panelů je cca 10-55°. Ideální sklon a orientace

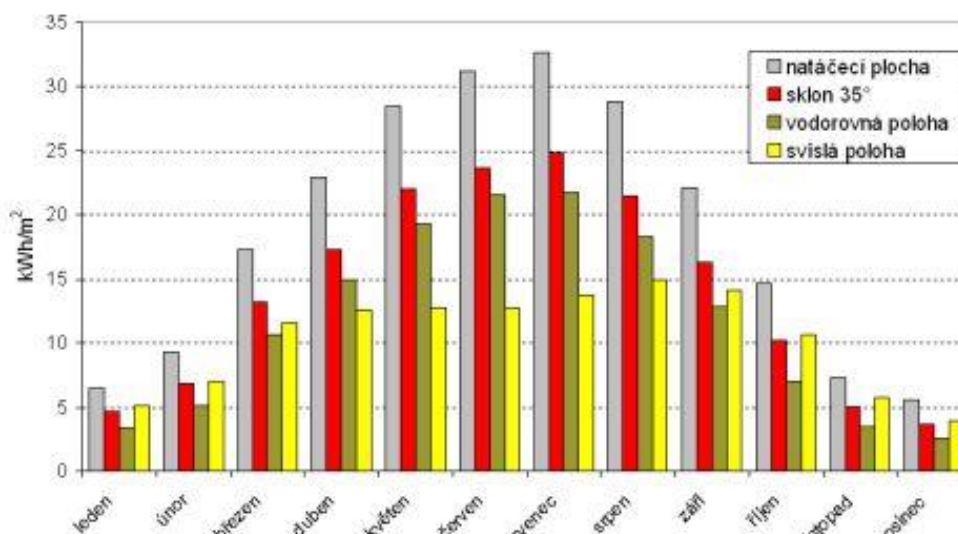
panelů se liší také dle ročního období, ale jelikož kolem 70 % celkového ročního záření dopadá na zem právě v létě, navrhují se fotovoltaické panely především pro toto roční období. Existují také polohovací systémy, které se automaticky natáčejí za sluncem, čímž lze výnos energie fotovoltaické elektrárny značně navýšit. Při návrhu sklonu a orientace panelů je také nutno brát v potaz ekonomickou stránku. Nejvýhodnější z hlediska ekonomie je umístění panelů paralelně se střechou. Je nutno zvážit, zdali by případný vyšší energetický výnos vyrovnal náklady na dražší upevnění při volbě jiného umístění panelů. [64]

Degradace fotovoltaických článků

Postupné degradaci fotovoltaických článků nelze zabránit. Při přeměně světelné energie na energii elektrickou polovodičový prvek (fotovoltaický článek) postupně degraduje. Jedná se o pozvolnou degradaci s přibližně lineární závislostí. Tato závislost není přesně stanovena a liší se pro každý typ fotovoltaického článku, ale lze říci, že během prvních deseti let životnosti článku klesne jeho výkon na 90 % a během dalších patnácti let klesne na 80 %. Výrobci je standardně udávána výkonová záruka, která stanovuje, že výkon článku za 20 let neklesne pod hodnotu 80 %. Přibližně lze tedy stanovit, že dochází k meziročnímu poklesu výkonu článků o 0,8 %. [65]

Roční období

Dopadající sluneční záření na povrch země v dané lokalitě se výrazně liší podle momentálního ročního období. Množství dopadajícího slunečního záření výrazně dominuje v letních měsících a tvoří až 70 % celkového ročního záření. Proto je provoz fotovoltaiky nejvhodnější v létě a celý systém bývá navrhován právě na toto roční období. Tato závislost je zobrazena na grafu č. 4 [66].



Graf 5 Roční výroba fotovoltaické elektrárny, včetně vlivu sklonu panelů [66]

Graf také znázorňuje vliv sklonu panelů na celkovou výrobu elektrické energie, jak již bylo popsáno výše. Nejeftektivnější jsou natáčecí plochy, které se automaticky nastavují do optimální polohy. Tyto systémy však mohou být drahé a je nutná jejich pravidelná kontrola i případný servis při poruše. Jako nejjednodušší a zároveň velice efektivní se tedy jeví nastavení stálého sklonu panelů na 35°. Vodorovné nastavení panelů může být efektivní v letních měsících, kdy je slunce nejvýše, zatímco svislá poloha připadá v úvahu v zimních měsících. Použití vodorovného či svislého nastavení lze odůvodnit pouze nižšími náklady na upevnění.

5.2 Větrné elektrárny

5.2.1 Stanovení účinnosti energetické konverze větrných turbín

Pro fyzikální znázornění funkce větrných elektráren, jejichž základní princip byl popsán v kapitole 3.1, a stanovení jejich účinnosti, je potřeba vysvětlit následující základní fyzikální zákonitosti.

Kinetická energie proudu vzduchu: $E_k = \frac{1}{2}mu^2 = \frac{1}{2}\rho Vu^2$ [J] (kde „m“ je hmotnost vzduchu, „u“ rychlost proudění vzduchu, „ρ“ hustota vzduchu a „V“ objem vzduchu) je částečně využívána větrnou turbínou pro výrobu elektrické energie. [27; 67; 68]

Maximální možný výkon větrné turbíny, způsobený tímto proudem vzduchu proudícím na kolmo orientovanou jednotkovou plochou byl roven: $P = \frac{1}{2}\rho u^3$ [W/m²]. Při průměru rotoru „D“ a jím opisované ploše $S = \pi \frac{D^2}{4}$ by platilo $P_{max} = \frac{1}{2}S\rho u^3$ [W]. [27; 67]

Reálný výkon větrné turbíny je však definován jako: $P_{VT} = \frac{1}{2}S\rho u^3 c_p$ [W], kde „c_p“ je výkonový součinitel neboli účinnost přeměny energie větru na elektřinu, a „S“ je plocha opisovaná rotorem turbíny. [27; 67]

Účinnost přeměny energie větru na energii elektrickou je definována poměrem výkonu větrné elektrárny ku maximálnímu možnému výkonu proudu vzduchu procházejícího rotorem větrné elektrárny: $\eta = c_p = \frac{P_{VT}}{P_{max}}$ [-]. [67; 68]

Tato účinnost nemůže být stoprocentní, jelikož by výstupní rychlost větru musela být nulová, což by zamezilo průtoku dalšího vzduchu a turbína by se zastavila. Je tedy potřeba, aby byl co neoptimalnější poměr rychlosti vzduchu za turbínou „u₂“ a rychlosti vzduchu před turbínou „u₁“. Tuto optimální závislost jako první definoval Albert Betz již v roce 1919 a stanovil tím tzv. Betzův limit, který definuje maximální možné využití výkonu klasické větrné turbíny

(součinitel výkonu): $c_{pmax} = 0.593$, neboli $\eta = 59.3\%$ (při $\frac{u_2}{u_1} = \frac{1}{3}$). Skutečné větrné turbíny dosahují cca jen 0,5 až 0,8 tohoto limitu. Celková účinnost větrné elektrárny je také ovlivňována účinností mechanického převodu, účinností generátoru a ztrátami v rozvodech. [27; 68]

5.2.2 Faktory ovlivňující výrobu elektrické energie z větrných elektráren

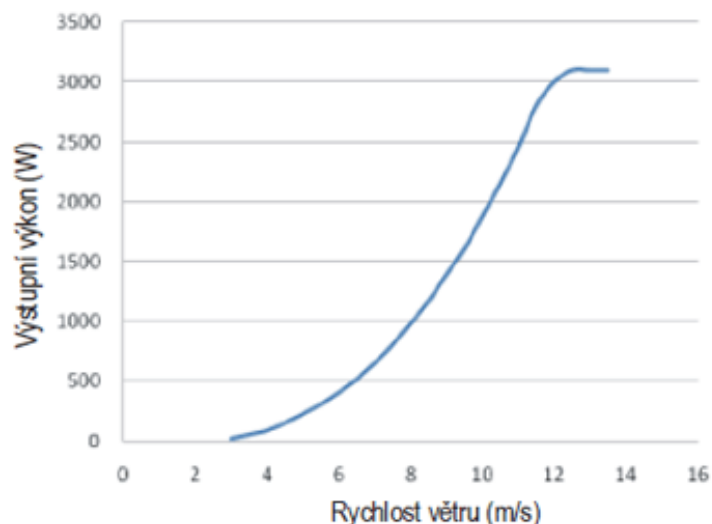
Výroba elektrické energie větrné turbíny je dále ovlivňována koeficientem ročního využití, výkonovou křivkou turbíny a povětrnostními podmínkami.

Koeficient ročního využití

Jedná se o jiný přístup k zhodnocení efektivnosti větrných elektráren (i jiných energetických zdrojů) a označuje se též jako „kapacitní faktor“. Tento ukazatel znázorňuje, nakolik je energetický zdroj v průběhu roku využíván. Je definován jako: $k_r = \frac{E_{vyr}}{P_{inst} * t}$ [-], kde „ E_{vyr} “ je množství vyrobené elektřiny za rok, „ P_{inst} “ je instalovaný výkon zdroje a „ t “ je počet hodin v roce. U větrných elektráren umístěných na území ČR tento koeficient dosahuje maximálně hodnot 0.2 (20 %), ale často se blíží i hodnotě 0.1. Hodnotu kapacitního faktoru lze orientačně stanovit dle příslušných středních rychlostí větru. Při nižší střední rychlosti 4 m/s se kapacitní faktor blíží 0.1, při 5 m/s dosahuje hodnoty 0.14 a při maximálních středních rychlostech na území ČR se může vyšplhat až na 0.18. V jiných, velmi větrných zemích (přímořských), kapacitní faktor dosahuje hodnot až 28 %. [67; 69; 70]

Výkonová křivka

Výkonová křivka větrných turbín znázorňuje závislost jejich výkonu na rychlosti větru. Tato křivka velmi výrazně ovlivňuje výrobu elektřiny dané větrné turbíny a pro přesnou kalkulaci vyrobené elektrické energie turbíny je její znalost naprosto nezbytná. Příklad této křivky, pro malou vertikální větrnou turbínu o jmenovitém výkonu 3 kW, je uveden níže na obrázku. Tvar těchto křivek je u většiny typů i výkonů turbín téměř totožný.



Graf 6 Výkonová křivka malé větrné turbíny [71]

Z obrázku je zřejmé, že turbína začíná vyrábět elektrickou energii při rychlostech cca 3-4 m/s. Poté závislost téměř kubicky roste až do rychlostí větru 10-11 m/s. Nárůst následuje i dále, až do jmenovité hodnoty výkonu, ale jedná se už o mírný nárůst. Po dosažení jmenovité hodnoty dochází ke stagnaci, většinou i mírnému poklesu. K vyšším rychlostem křivka již nepokračuje, jelikož při vyšších rychlostech větru by se turbína měla odstavit, aby se nepoškodila. [27]

Jedná se o velmi podstatnou závislost, která by měla být udávána u každé větrné turbíny, ale bohužel tomu tak není. Výrobci uvádějí většinou jen jmenovitý výkon turbíny, který je však často vztažen k rychlostem větru, které se v místě umístění turbíny vyskytují jen zřídka. Také se stává, že když už je křivka uvedena, je často jen teoreticky odvozena a k testování větrné turbíny vůbec nedošlo. [27]

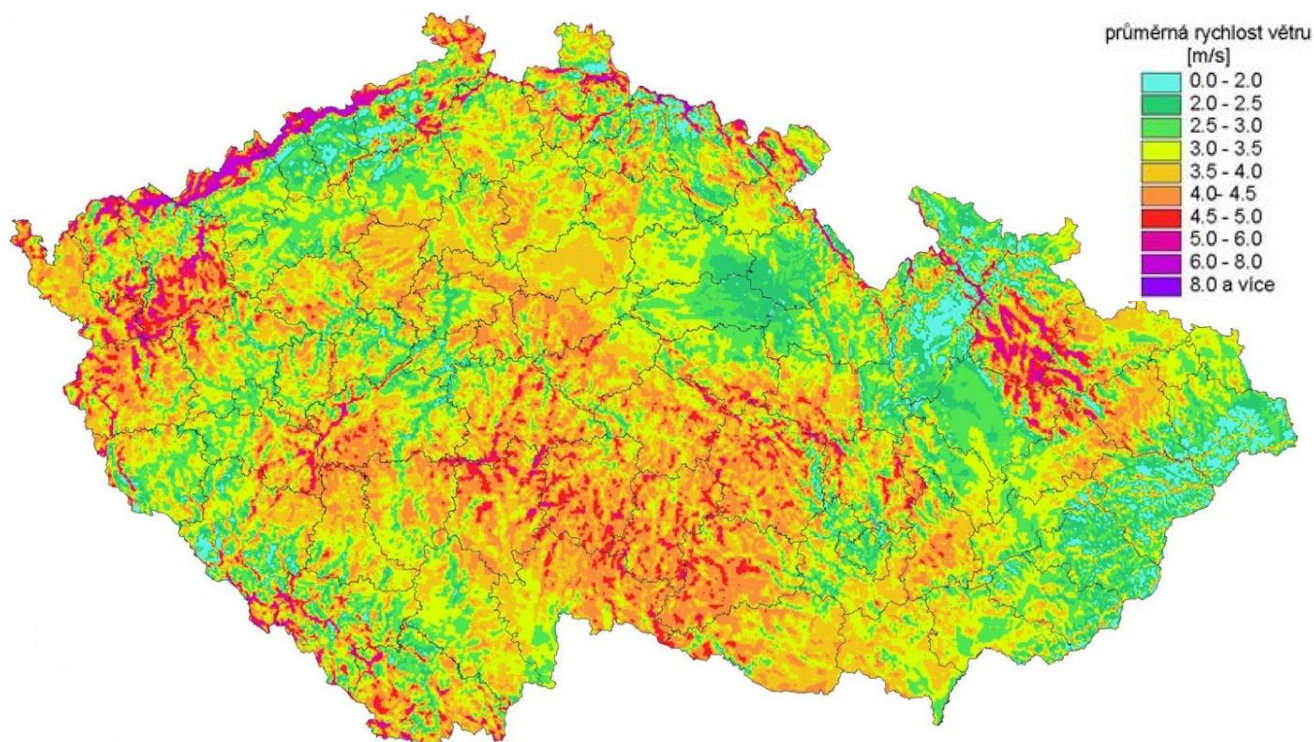
Povětrnostní podmínky

V potaz je potřeba brát jak obecné povětrnostní podmínky lokality, tak i možné lokální ovlivnění těchto podmínek.

Lokální ovlivnění může být způsobeno překážkami poblíž turbíny, které negativně ovlivní vlastnosti proudění, a především vyššími objekty, které proudění větru k turbíně značně zpomalují, nebo turbínu dokonce zcela zastiňují. Je tedy potřeba klást obrovský důraz na vhodné umístění větrné turbíny. [27]

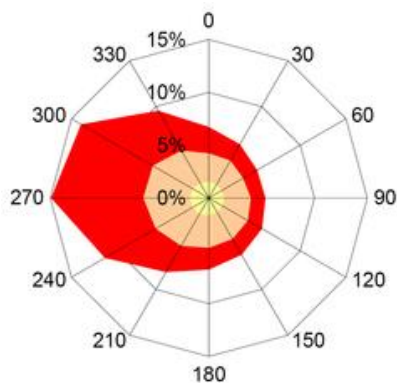
Povětrnostní podmínky lokality jsou poté hlavním ukazatelem toho, zdali má smysl větrnou elektrárnu v dané lokalitě nainstalovat. Na území České republiky se tyto podmínky značně liší, jelikož u nás panuje typicky kontinentální klima, které je charakteristické také

značnou sezónní proměnlivostí rychlostí větru. Povětrnostní podmínky na daném území se vyjadřují především průměrnými rychlostmi proudění větru, které bývají teoreticky vypočteny, či naměřeny. Tyto rychlosti jsou velmi odlišné v různých výškách nad povrchem, což je způsobeno zejména vlivem tření o zemský povrch. Jelikož převážná většina malých větrných turbín je umístěna ve výškách do 10 m nad zemským povrchem, zajímají nás průměrné rychlosti právě v této výškové úrovni. Geografické znázornění těchto průměrných rychlostí je znázorněno na následujícím obrázku [72].



Obrázek 27 Průměrné rychlosti větru na území ČR ve výšce 10 m nad zemí [73]

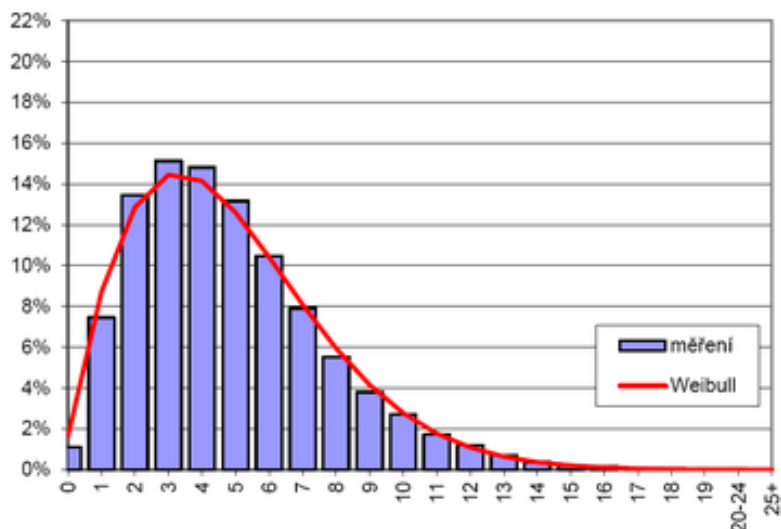
Tato „povětrnostní mapa“ přehledně znázorňuje značně odlišné průměrné rychlosti větru na našem území, ve výšce 10 m nad povrchem. Nejnižší rychlosti větru se vyskytují v údolích a nížinách, kde je proudění větru značně omezeno, zatímco nejvyšší rychlosti větru bývají na horských hřebenech a na velmi vysoko postavených a otevřených lokalitách. V těchto lokalitách je téměř nemožné větrné elektrárny stavět, ať už z legislativních či environmentálních důvodů. Průměrné rychlosti větru se u nás pohybují v rozmezí 3-3.5 m/s a vyskytují se v níže až středně vysoko položených lokalitách. Největší potenciál je tedy ve výše položených lokalitách, které jsou značně otevřené vůči proudění větru. V takovýchto lokalitách se dosahuje průměrných hodnot až 6 m/s. Ideálně by tyto oblasti měly být exponované vůči západnímu směru, odkud nejčastěji proudí vyšší rychlosti větru. Tato skutečnost je znázorněna na následující větrné růžici, která charakterizuje směry proudění větru na většině území ČR, a má také značný vliv na ideální umístění větrné elektrárny. [72; 74]



Graf 7 Typická větrná růžice pro ČR [27]

Z této větrné růžice je zřejmé, že na území ČR je dominantní západní směr větru, a to především u vyšších rychlostí proudění větru (červená část). U nižších rychlostí (růžová část) je rozložení četností směrů proudění větru rovnoměrněji rozložené mezi jednotlivé světové strany.

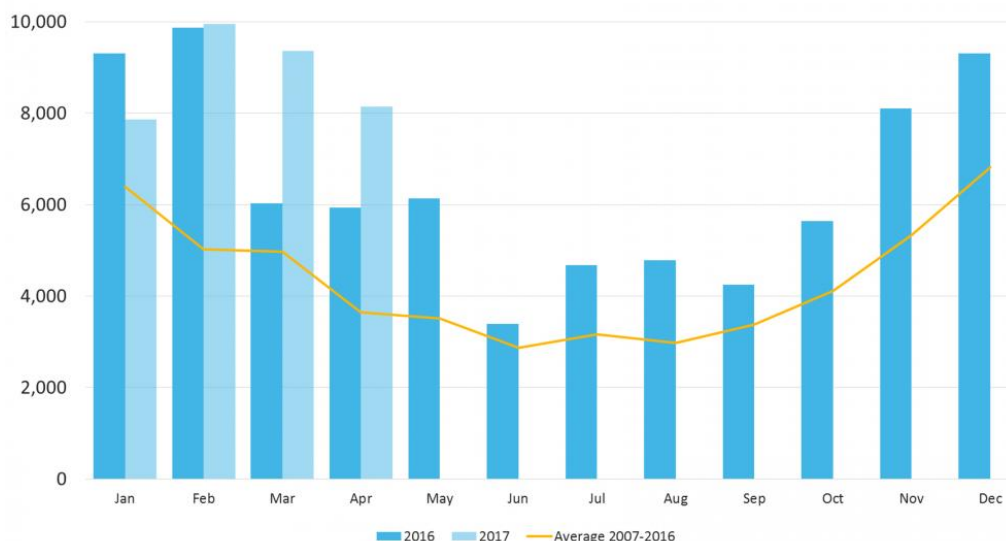
Naměřené průměrné rychlosti větru je dále možno graficky znázornit četnostním rozdělením. V oblastech větrné energetiky se pro matematické výpočty často používá dvouparametrové Weibullovo rozdělení, které četnostní rozdělení skvěle nahrazuje. [27; 74]



Graf 8 Četnostní a Weibullovo rozdělení rychlostí větru [74]

Roční období

Stejně jako sluneční záření, i proudění větru je silně závislé na ročním období. V tomto případě je závislost téměř opačná než u slunečního záření. V teplých letních měsících většinou fouká málo, zatímco na podzim a v zimě vítr fouká neustále a dosahuje vysokých rychlostí. Tato závislost je graficky znázorněna níže [75].



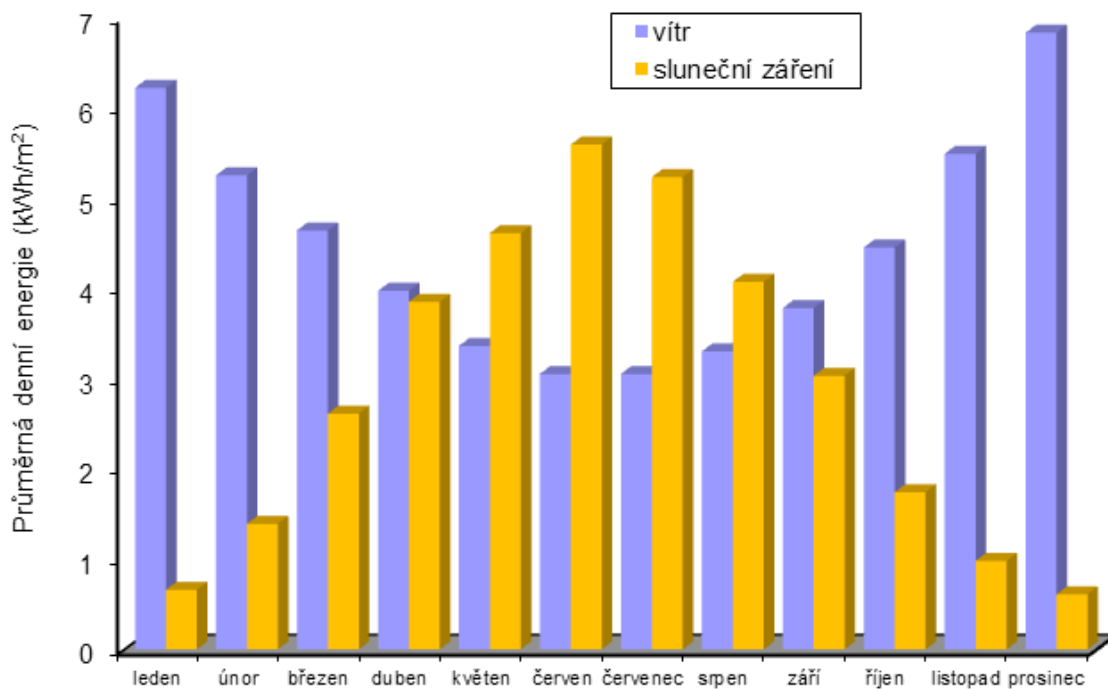
Graf 9 Měsíční produkce elektřiny větrných elektráren v Německu [75]

Tento graf, uvedený pro názornost, odpovídá situaci v Německu za rok 2016 a 2017, včetně vyznačeného průměru výroby. Měsíční poměry vyrobené energie jsou téměř shodné pro každou zem s podobnými povětrnostními podmínkami, jako jsou v Německu. Rozdíl např. v České republice by byl pouze v množství vyrobené energie, kvůli výrazně nižší instalované kapacitě a kvůli o něco nepříznivějším povětrnostním podmínkám. Na svislé ose je uvedena měsíční energetická produkce v GWh a na vodorovné ose jsou jednotlivé měsíce.

5.3 Kombinace

Z výše uvedených grafů č.5 a č.9 vyplývá, že roční výroba elektrické energie obou technologií se každý měsíc velmi výrazně liší. Tento problém lze řešit čerpáním elektřiny z distribuční soustavy, pokud na ni bude daný dům (objekt) připojen. Problémem však je rezervovaná kapacita, jelikož např. u fotovoltaického systému nám jeho výroba pokryje celou spotřebu v létě, zatímco v zimě nám spotřebu nepokryje ani z daleka a musíme tedy dočerpávat velké množství elektřiny z distribuční soustavy. Tento problém lze řešit buď sjednáním velké rezervované kapacity, což nám značně zvýší náklady a v létě to budou „vyhozené peníze“, nebo dimenzováním fotovoltaického systému tak, aby nám i jeho malá zimní výroba pokryla celou spotřebu, což by bylo obrovsky finančně náročné a tedy nereálné. S větrnou elektrárnou je problém obdobný, akorát je prohozeno maximum (v zimě) a minimum (v létě) výroby.

Z tohoto důvodu se jako atraktivní řešení jeví kombinace obou technologií. Jejich proměnlivé hodnoty měsíční výroby se výborně kompenzují a získali bychom tak relativně stálý měsíční přísun elektrické energie z vlastní výroby. Tuto skutečnost znázorňuje následující graf [76].



Graf 10 Měsíční hodnoty průměrné denní výroby elektřiny fotovoltaických a větrných elektráren [76]

Při kombinaci obou technologií by výrazně vzrostly investiční i servisní náklady a také by byla zapotřebí větší plocha pro umístění obou technologií. Diagram výroby elektrické energie by se ale vyrovnal a stabilně by nám kryl část, či celou, vlastní spotřebu. Rezervovaná kapacita by se tudíž mohla značně snížit a ani jedna technologie by nemusela být předimenzována.

Pokud bychom chtěli být zcela nezávislí na rozvodové síti, a zvolit cestu ostrovního systému (off-grid připojení), byla by tato kombinace jediným logickým možným řešením pro kompletní pokrytí energetické spotřeby domácnosti. Toto řešení je velmi výhodné pro odlehle objekty s potřebou stálého napájení elektrickou energií.

6. Ekonomika – praktická část

6.1 Předpoklady výpočtů

6.1.1 Rozbor ceny elektrické energie

Přínos elektrické energie pro uživatele je různý, dle způsobu jejího využití. Při následujících ekonomických analýzách se budeme zabývat třemi kategoriemi: elektřinou pro vlastní spotřebu, elektřinou dodávanou do sítě a jejich kombinací. Elektřina dodávaná do sítě a kombinace se bude lišit pro fotovoltaické a větrné elektrárny, kvůli výkupním cenám a zeleným bonusům pro větrné elektrárny.

Při využití elektřiny pro **vlastní spotřebu** je její cena nejvyšší. Tato elektrická energie má nejvyšší hodnotu, jelikož nahrazuje poměrně drahou silovou elektřinu, kterou bychom museli odkupovat od dodavatele. Celková cena za jednu kWh silové elektřiny má zde několik složek, mezi které patří: cena za dodávku elektřiny, cena za distribuci elektřiny, daň z elektřiny, systémové služby, a podpora výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů. Konečná cena momentálně, dle ceníku ČEZ, činí **4.73 Kč/kWh s DPH**. [77]

V případě **dodávání elektřiny do sítě**, je oceněna výkupní cenou, která je značně nižší a momentálně činí cca **0.3 Kč/kWh**. V případě podpory větrné elektrárny formou výkupních cen tato hodnota činí **1.93 Kč/kWh**. [77]

Při **kombinaci** obou těchto možností bude záležet na poměru spotřebované elektřiny a elektřiny dodané do sítě. Zisk podpory z dotačního programu Nová zelená úsporám je podmíněn využitím alespoň 70 % vyprodukované elektřiny pro vlastní spotřebu. Do sítě se tedy smí dodávat maximálně 30 % produkce. Při tomto procentuálním zastoupení by vycházela cena elektrické energie z **fotovoltaické elektrárny** na **3.4 Kč/kWh s DPH**. U **větrné elektrárny**, při volbě kombinace vlastní spotřeby a dodávky do sítě, by tedy muselo být využito zelených bonusů, jejichž hodnota činí 1.08 Kč/kWh, která by se přičetla k ceně elektřiny pro vlastní spotřeby i k ceně za dodávku do sítě. Při stejném procentuálním zastoupení kombinace (70 %/30 %), by cena této elektřiny tedy činila **4.48 Kč s DPH**.

6.1.2 Výpočet produkce elektrické energie fotovoltaickou elektrárnou

Základní metodika výpočtu produkce elektrické energie fotovoltaickou elektrárnou za rok je vyjádřena následujícím vztahem [65] :

$$E_v = S_z \cdot A_p \cdot \eta_c \cdot k_d$$

Kde:

E_v = výroba elektrické energie [kWh/rok]

S_z = dopadající globální sluneční záření [kWh/m²/rok] – tato hodnota se mění v závislosti na lokalitě a také na sklonu či natočení panelů

A_p = celková plocha solárních panelů v [m²]

η_c = celková účinnost fotovoltaického systému [-]

k_d = součinitel zohledňující degradaci fotovoltaického panelu [-]

Celková účinnost se vypočte jako součin všech dílčích účinností, dle následujícího vztahu [65] :

$$\eta_c = \eta_{panelů} \cdot \eta_{střídače} \cdot \eta_{transformátoru}$$

Díky stanovení jednotkové ceny elektrické energie v kapitole 6.1.1 je možné určit hodnotu celkového množství vyrobené elektřiny. Při znalosti celkové investice do fotovoltaického systému je tedy možno snadno stanovit návratnost celé investice. Pro reálnou dobu návratnosti je také nutno brát v potaz cenu peněz a časový vývoj cen elektrické energie. Tyto výpočty budou podrobně provedeny v následující ekonomické analýze.

6.1.3 Výpočet produkce elektrické energie větrnou elektrárnou

Základní metodika výpočtu produkce elektrické energie větrnou elektrárnou za rok je vyjádřena následujícím vztahem [70] :

$$E_v = P_{el} \cdot k_r \cdot t_r$$

Kde:

E_v = výroba elektrické energie [kWh/rok]

P_{el} = instalovaný elektrický jmenovitý výkon větrné elektrárny [kW]

k_r = koeficient ročního využití větrné elektrárny [-]

t_r = počet hodin v roce (8760)

Elektrický výkon je možno určit ze vztahu [70]:

$$P_{el} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \rho \cdot r^2 \cdot v^3 \cdot \eta_c$$

Kde:

P_{el} = elektrický výkon [kW]

ρ = hustota vzduchu [kg/m³]

η_c = celková účinnost větrné elektrárny [-]

r = poloměr rotoru [m]

v = střední rychlost vzduchu [m/s]

Celková účinnost se vypočte jako součin všech dílčích účinností, dle následujícího vztahu [70]:

$$\eta_c = \eta_{rotoru} \cdot \eta_{převodovky} \cdot \eta_{generátoru}$$

Díky stanovení jednotkové ceny elektrické energie v kapitole [6.1.1](#) je možné určit hodnotu celkového množství vyrobené elektřiny. Při znalosti celkové investice do větrné elektrárny je tedy možno snadno stanovit návratnost celé investice. Pro reálnou dobu návratnosti je také nutno brát v potaz cenu peněz a časový vývoj cen elektrické energie. Tyto výpočty budou podrobně provedeny v následující ekonomické analýze.

6.2 Základní ekonomická analýza

Tato základní ekonomická analýza bude provedena za účelem stanovení potřebných přírodních podmínek dané lokality pro základní smysluplnost instalace fotovoltaického či větrného systému. V této práci byla stanovena podmínka smysluplnosti instalace jakožto „prostá návratnost investice“ (doba, za kterou se nám vrátí vložená investice) do patnácti let. Špičkový výkon fotovoltaických a jmenovitý výkon větrných elektráren v této analýze bude 10 kW čili horní výkonová hranice pro účely této diplomové práce.

Analýza bude navíc provedena pro různé typy solárních panelů a větrných turbín, za účelem určení nejvhodnějších technologií, které budou použity pro následující podrobnější ekonomické analýzy. Jsou uvažovány tři varianty užití vyprodukované elektřiny:

- vlastní spotřeba
- dodávka do sítě
- kombinace

Kombinace je stanovena na 70 % podíl vlastní spotřeby a 30 % dodávky do sítě, jelikož je to jedna z podmínek pro nárok na dotaci NZÚ. Navíc je to smysluplné rozdělení, jelikož primárním cílem těchto domácích elektráren je výroba pro vlastní spotřebu, což je mnohem výhodnější než pouhý prodej elektřiny do sítě (viz. rozbor ceny elektřiny).

6.2.1 Metodika základní ekonomické analýzy

Základní podmínkou analýzy, jak již bylo zmíněno, bude prostá návratnost investice do patnácti let. Nejdříve stanovíme celkovou investici, která se bude skládat z: fotovoltaických panelů/větrných turbín, střídačů, baterií, montážních doplňků, servisních nákladů a cen instalace. Budou uvažovány vždy 3 typy fotovoltaických panelů a větrných turbín. Dle použitých komponent budou uvedeny potřebné technologické parametry pro výpočet výroby elektrické energie (např. účinnosti konverze, plocha...). Dále bude dle cen elektrické energie (3 varianty dle způsobu jejího využití) vypočtena potřebná roční výroba elektřiny, pro splnění návratnosti 15 let. Cena akumulčních baterií se bude lišit dle způsobu nakládání s vyprodukovanou elektřinou (při kombinaci se cena baterií sníží o jednu třetinu a při přímé dodávce do sítě investice na baterie zcela odpadne). Nakonec budou určeny požadované roční hodnoty osvitu a průměrné rychlosti větru, takové, které jsou nezbytné pro naplnění této výroby elektřiny. Hodnoty osvitu a průměrné rychlosti větru nakonec budou porovnány s podmínkami v České republice pomocí statistických map a případně budou vyznačeny lokality, které požadované podmínky splňují. Pokud budou vycházet takové hodnoty, které se

v ČR nevyskytují, pak instalace takového systému na území ČR nemá smysl. Pokud tomu bude naopak, pak má smysl se těmito instalacemi dále zabývat.

Součástí bude také zohlednění dotací, které značně sníží nároky na požadované hodnoty osvitů a průměrné rychlosti větru. Výsledky se zahrnutím dotací budou uvedeny pro porovnání, případně zakresleny do map, pro znázornění možného rozšíření lokalit na našem území, kde by základní podmínka smysluplnosti byla splněna.

6.2.2 Zjednodušující předpoklady ekonomických analýz

V rámci ekonomických analýz je uvažováno několik zjednodušujících předpokladů.

Jedním z nich je použití dat průměrného ročního osvitů a průměrných rychlostí větru na území České republiky. K dostání jsou i podklady k určité lokalitě, s přesným denním rozložením dopadajícího slunečního záření a s naměřenými rychlostmi větru za každý den, nicméně by se tyto podklady musely zakoupit a jednalo by se pouze o konkrétní lokalitu. Pro naše účely je přínosnější pracovat s ročním úhrnem těchto veličin pro celé území České republiky. Nejde nám totiž o dokonalé zmapování hodinové produkce elektráren, nýbrž o obecnější ekonomické vyhodnocení smysluplnosti instalace. Hlavním důvodem pro využití těchto obecnějších dat jsou časové a finanční důvody. Produkce fotovoltaických elektráren tímto téměř ovlivněna není, ale u větrných elektráren tedy není možno zahrnout výkonovou křivku turbín, což by jejich roční produkci pravděpodobně snížilo.

V rámci všech ekonomických analýz uvažujeme, že budeme schopni využít veškerou vyprodukovanou elektřinu. Ve skutečnosti tomu tak ale pravděpodobně nebude. Pro vyrobenou elektřinu nebudeme mít uplatnění např. při vyšší výrobě a zároveň nižší spotřebě v některých letních měsících (tomuto se snažíme zabránit „poddimenzováním“ FVE), při delším odjezdu na dovolenou (baterie se nám naplní a dále nebude dostatečná spotřeba, panely se budou muset odstavit, nebo bude elektřina přetékat do sítě), atd. Všechny tyto skutečnosti by nám negativně ovlivnily ekonomické výsledky.

Dalším zjednodušujícím předpokladem je, že větrná turbína vydrží pracovat celých 15 let. Z nedostatku přesných dat není možné životnost použitých malých větrných turbín přesně stanovit, nicméně jejich záruky jsou běžně udávány na 5 let. Dá se tedy očekávat, že při zahrnutí reálné životnosti turbín by se jejich ekonomické výsledky ještě zhoršily.

V ceně elektřiny je uvažována platba na podporu OZE dle spotřeby v Kč/MWh. Ve skutečnosti se platí buď podle jističe, nebo podle spotřeby, a volí se vždy méně nákladná varianta. U rodinných domů je však obvykle typická platba dle spotřeby, a proto je uvažována ve všech ekonomických analýzách (495 Kč/MWh bez DPH).

V následujících dvou kapitolách budou provedeny základní ekonomické analýzy pro fotovoltaické a větrné elektrárny.

6.2.3 Fotovoltaická elektrárna – základní ekonomická analýza

Základní ekonomická analýza fotovoltaických elektráren uvažuje 3 varianty fotovoltaických panelů:

- a) „QCELLS DUO“ – vysoce efektivní a kvalitní monokrystalické panely, ale velmi drahé
- b) „Jinko Solar 275 W poly“ – polykrystalické panely se slušnou účinností za rozumnou cenu – „střední varianta“,
- c) Jinko Solar 225 W poly“ – nejlevnější varianta s nejmenší účinností, také polykrystalické.

Špičkový výkon elektrárny je vždy 10 kWp a veškeré použité komponenty jsou tomu přizpůsobovány. Analýza je provedena dle metodiky popsané v kapitole 6.2 a je zobrazena níže:

| Varianta | a) | b) | c) |
|----------|----|----|----|
|----------|----|----|----|

| CAPEX | | | | |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|-----------|
| cena panelů na 1kW _p | 15 354 | 11 665 | 9 889 | Kč |
| cena panelů pro celk. výkon | 153 538 | 116 655 | 98 889 | Kč |
| cena střídače | 83 900 | 83 900 | 83 900 | Kč |
| cena baterie | 109 005 | 109 005 | 109 005 | Kč |
| montážní doplňky | 29 000 | 34 000 | 40 000 | Kč |
| instalace | 10 000 | 10 000 | 10 000 | Kč |
| servisní náklady | 15 000 | 15 000 | 15 000 | Kč |
| Σ | 400 443 | 368 560 | 356 794 | Kč |

| Technologické parametry | | | | |
|-------------------------|------|------|------|----------------|
| účinnost panelů | 0.19 | 0.17 | 0.14 | - |
| počet panelů | 30.0 | 36.0 | 45.0 | ks |
| plocha panelu | 1.7 | 1.6 | 1.6 | m ² |
| celková plocha panelů | 50.6 | 58.9 | 73.7 | m ² |
| degradace panelů | 0.07 | 0.08 | 0.09 | -/rok |
| účinnost střídače | 0.96 | | | - |
| účinnost transformátoru | 0.98 | | | - |

| Cena elektřiny | | |
|---------------------|-----|--------|
| vlastní spotřeba | 4.7 | Kč/kWh |
| dodávka do sítě | 0.3 | Kč/kWh |
| kombinace (70%/30%) | 3.4 | Kč/kWh |

| Potřebná roční výroba | a) | b) | c) | |
|-----------------------|----------|----------|----------|---------|
| vlastní spotřeba | 5 644.0 | 5 194.6 | 5 028.8 | kWh/rok |
| dodávka do sítě | 64 764.1 | 57 678.8 | 55 064.2 | kWh/rok |
| kombinace (70%/30%) | 7 137.3 | 6 512.3 | 6 281.7 | kWh/rok |

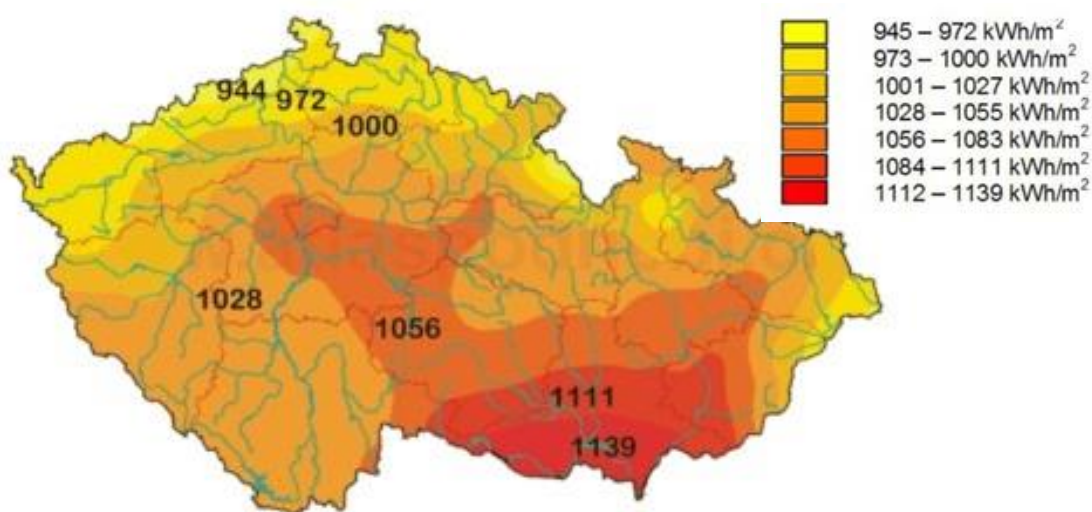
| Požadovaný min. osvit | a) | b) | c) | |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|
| vlastní spotřeba | 654.2 | 593.4 | 555.4 | kWh/m ² /rok |
| dodávka do sítě | 7 506.4 | 6 588.5 | 6 081.6 | kWh/m ² /rok |
| kombinace (70%/30%) | 827.2 | 743.9 | 693.8 | kWh/m ² /rok |

Tabulka 2 Základní ekonomická analýza fotovoltaických elektráren

Mimo již uvedených parametrů se uvažuje optimální sklon panelů (35°) a orientace (přímo na Jih). Jiný sklon či orientace by měly za následek zhoršení výsledků.

Z výsledků analýzy je zřejmé, že nejvýhodnější je použití levných technologií (varianta c). Nejdražší typ panelů (varianta a) zde dosahuje nejhorších výsledků, i přes jejich vysokou účinnost. Je nutno však brát v potaz celkovou plochu panelů. Nejlevnější panely by sice dosáhly kratší návratnosti, ale zaberou plochu o cca 15 m² větší než nejdražší typ panelů. Jedná se o značný rozdíl, který zdaleka ne každý zákazník musí mít k dispozici. Při vyšší potřebné ploše (vyššímu počtu panelů) také rostou montážní náklady. Z těchto důvodů se pro další ekonomické analýzy bude uvažovat střední varianta monokrystalických fotovoltaických panelů „Jinko Solar 275 W poly“ (varianta b), které mají také velice dobrý poměr cena/výkon, ale nevyžadují příliš velkou plochu pro naplnění požadovaného výkonu elektrárny.

Výsledky dle způsobů využití vyrobené energie jsou následující. Nejvýhodnějším způsobem využití vyrobené energie je vlastní spotřeba. U varianty kombinace vlastní spotřeby a prodeje elektrické energie do sítě se dosahuje o něco horších, avšak stále přijatelných výsledků. Požadované prosté návratnosti 15 let by se v těchto variantách dosáhlo dokonce při podprůměrných ročních hodnotách osvitů. Při prodeji veškeré vyrobené elektřiny do sítě by se však jednalo o neekonomické řešení a návratnosti by se nedosáhlo. Pro názornost je níže opět uvedena mapa ročního osvitů na území ČR.



Obrázek 28 Mapa ročního osvitů na území ČR [62]

Zatím zde však nebyla uvažována hodnota dotace z programu NZÚ. Dotace pro tuto výkonovou hladinu (10 kW) by činila v maximální výši 150 000 Kč. Navíc je poskytována podpora 5 000 Kč na zpracování projektové dokumentace, což je cca polovina její ceny. Celková investice by tedy vzrostla o 5 000 Kč. Při čerpání této dotace by došlo k velmi výraznému zlepšení výsledků:

| Požadovaný min. osvit | a) | b) | c) | |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------------------------|
| vlastní spotřeba | 417.3 | 359.9 | 329.7 | kWh/m ² /rok |
| kombinace (70%/30%) | 497.8 | 419.2 | 379.9 | kWh/m ² /rok |

Tabulka 3 Základní ekonomická analýza fotovoltaických elektráren se zahrnutím dotace

Prodej veškeré elektřiny do sítě zde není uvažován, jelikož nesplňuje nárok na získání dotace.

Z této základní ekonomické analýzy fotovoltaických elektráren je zřejmé, že jejich instalace na území ČR jsou smysluplné a má smysl tento obnovitelný zdroj energie implementovat. Budeme se jimi tedy dále zabývat v podrobnějších ekonomických analýzách, kde bude navrženo a zhodnoceno několik možných variant instalací fotovoltaických systémů.

6.2.4 Větrná elektrárna – základní ekonomická analýza

Základní ekonomická analýza větrných elektráren uvažuje 3 varianty větrných turbín:

- a) Horizontální větrné turbíny Cronimo: 3x typ CRWT3KW 3kW a 1x typ CRWT999WB 1kW
- b) Horizontální větrné turbíny Cronimo: 5x typ CRWT2KWAB 2kW
- c) Vertikální větrné turbíny: 3x typ DS 3000 W a 3x typ DS 300 W

Tyto varianty větrných turbín byly voleny dle dostupnosti větrných turbín na českém trhu.

Špičkový výkon elektrárny je vždy 10 kW a veškeré použité komponenty jsou tomu přizpůsobovány. Analýza je provedena dle metodiky popsané v kapitole [6.2.1](#) a je zobrazena níže:

| Varianta | a) | b) | c) |
|----------|----|----|----|
|----------|----|----|----|

| CAPEX | | | | |
|------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------|
| cena turbíny | 314 960 | 224 950 | 1756 338 | Kč |
| cena baterie | 109 005 | 109 005 | 109 005 | Kč |
| montážní doplňky | 4 000 | 4 000 | 4 000 | Kč |
| instalace | 20 000 | 20 000 | 20 000 | Kč |
| servisní náklady | 30 000 | 30 000 | 30 000 | Kč |
| Σ | 477 965 | 387 955 | 1919 343 | Kč |

| Technologické parametry | | | | |
|-----------------------------------|------|-----|-----|---|
| účinnost turbín | 0.4 | 0.4 | 0.3 | - |
| průměr rotoru hlavních turbín | 4.0 | 3.3 | 4.0 | m |
| průměr rotoru doplňujících turbín | 3.0 | - | 1.2 | m |
| počet hl. turbín | 3.0 | 5.0 | 3.0 | - |
| počet doplň. Turbín | 1.0 | 0.0 | 3.0 | - |
| účinnost převodovky | 0.98 | | | - |
| účinnost generátoru | 0.96 | | | - |

| Cena elektřiny | | | |
|---------------------|-----|--|--------|
| vlastní spotřeba | 4.7 | | Kč/kWh |
| dodávka do sítě | 0.3 | | Kč/kWh |
| kombinace (70%/30%) | 4.5 | | Kč/kWh |

| Potřebná roční výroba | a) | b) | c) | |
|-----------------------|----------|----------|-----------|---------|
| vlastní spotřeba | 6 736.6 | 5 468.0 | 27 052.1 | kWh/rok |
| dodávka do sítě | 81 991.1 | 61 988.9 | 402 297.3 | kWh/rok |
| kombinace (70%/30%) | 6 950.4 | 5 638.0 | 28 399.4 | kWh/rok |

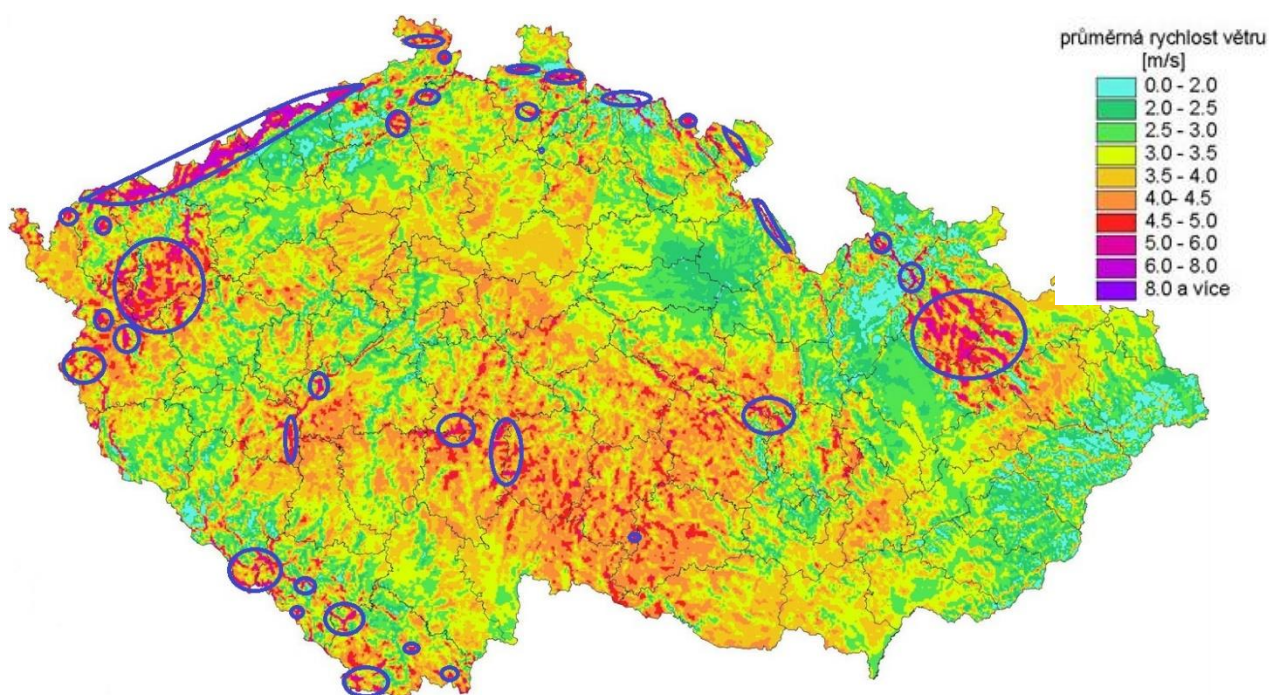
| Požadovaná prům. rychlost větru | a) | b) | c) | |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|-----|
| vlastní spotřeba | 5.7 | 5.4 | 10.2 | m/s |
| dodávka do sítě | 13.1 | 12.1 | 25.2 | m/s |
| kombinace (70%/30%) | 5.8 | 5.5 | 10.4 | m/s |

Tabulka 4 Základní ekonomická analýza větrných elektráren

Z výsledků analýzy vyplývá, že obě varianty horizontálních větrných turbín (varianty a+b) se jeví značně efektivnější nežli turbíny vertikální (varianta c), jejichž technologie je příliš drahá.

Opět zde vychází nejvýhodněji vlastní spotřeba elektřiny, ale v tomto případě kombinace případně kombinace vlastní spotřeby a prodeje do sítě dosahuje téměř stejných výsledků, díky zeleným bonusům a také díky faktu, že při kombinaci uvažujeme menší bateriový systém (levnější), jelikož nám při menší vlastní potřebě postačí (stejná úvaha u analýzy fotovoltaických elektráren). Kompletní dodávka vyrobené elektřiny do sítě dosahuje velmi špatných a nerealistických výsledků.

Z této analýzy je zřejmé, že dosažení patnáctileté návratnosti malých větrných elektráren na území ČR není vůbec jednoduché. Nejvýhodnější možností zde je přímá spotřeba energie, ale i tak by byla potřeba takové průměrné rychlosti větru, které se na našem území hojně nevyskytují. Při volbě kombinace spotřeby a dodávky do sítě, by byla situace nepatrně horší. Přímá dodávka energie do sítě zde nepřipadá v úvahu, jelikož by bylo zapotřebí nereálných průměrných rychlostí větru na poměry ČR. Většina lokalit, ve kterých se takovéto rychlosti větru vyskytují (pro vlastní spotřebu nebo kombinaci), je obtížně dostupná či součástí chráněného území (vrcholky hor, přírodní rezervace, chráněné krajinné oblasti, či národní parky). Potenciálně vhodných lokalit pro umístění malých větrných elektráren (s horizontální větrnou turbínou) je tedy poměrně málo a jsou zjednodušeně graficky znázorněny na následující mapě (pouze růžová a fialová barva v modrém vyznačení).



Obrázek 29 Lokality ČR splňující požadované rychlosti větru pro návratnost 15 let [73]

Je nutno vzít v potaz, že kvůli dostupnosti pouze průměrných ročních hodnot rychlosti větru, není možné do výpočtů zahrnout výkonovou křivku větrných turbín. Pokud by byla zahrnuta, situace by se ještě o něco zhoršila. Další nepříznivou skutečností je životnost

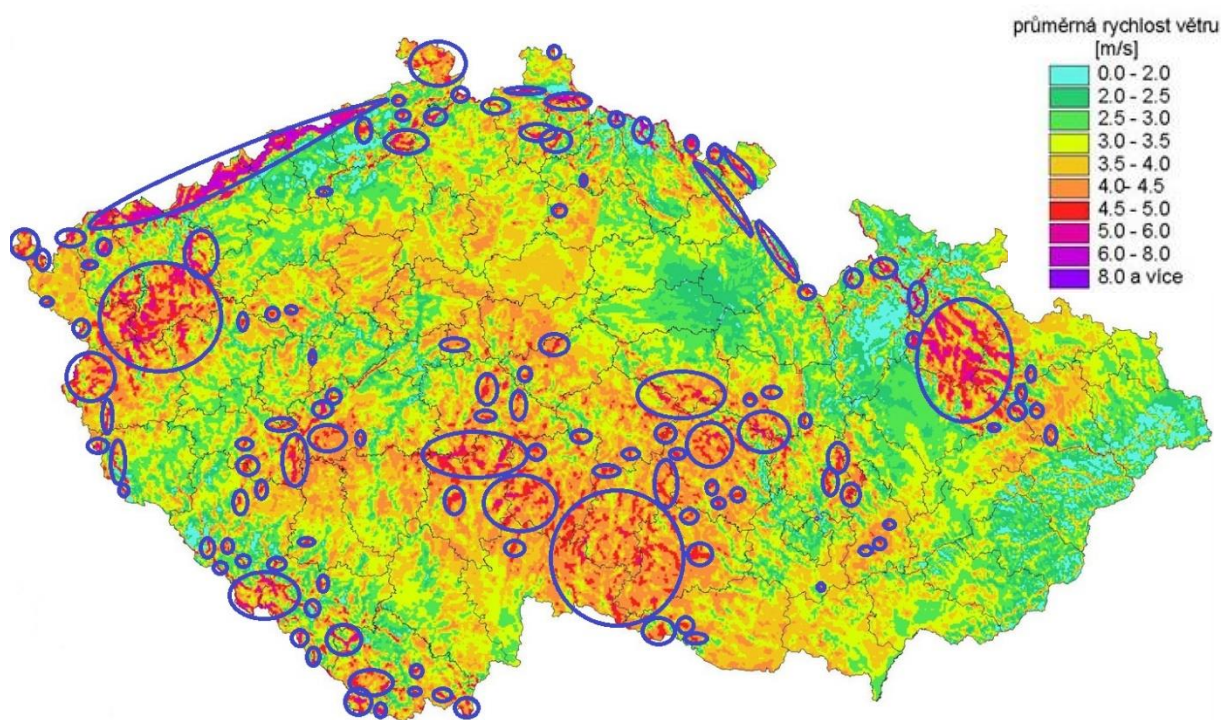
větrných turbín, která je typicky garantována na 5 let, což by se projevilo na výsledcích základní ekonomické analýzy, jelikož uvažujeme provoz větrné elektrárny po dobu patnácti let. Zvýšila by se tudíž investice/servis a již přísné požadavky na průměrné rychlosti větru by se ještě navýšily.

Pro malé větrné elektrárny bohužel neexistuje žádný dotační titul, který by jejich instalaci ztraktivnil. Větší smysluplnosti a také rozšíření počtu instalací malých větrných elektráren na našem území by mohlo být v budoucnu dosaženo zavedením vhodného dotačního titulu a také zlevněním poměrně drahé technologie větrných turbín. Pokud by se například dotační program NZÚ vztahoval i na větrné elektrárny, a to v obdobném rozsahu jako elektrárny fotovoltaické, značně by to zlepšilo výsledky základní ekonomické analýzy, viz tabulka č.5.

| Požadovaná prům. rychlost větru | a) | b) | c) | |
|---------------------------------|-----|-----|------|-----|
| vlastní spotřeba | 5.1 | 4.6 | 10.0 | m/s |
| kombinace (70%/30%) | 5.1 | 4.6 | 10.1 | m/s |

Tabulka 5 Základní ekonomická analýza větrných elektráren se zahrnutím potenciální dotace

Z výsledků je zřejmé, že požadované průměrné rychlosti větru se snížily. Obdobně jako u základní analýzy fotovoltaických elektráren i zde je uvažována kombinace 70 % vlastní spotřeba 30 % dodávka do sítě a kompletní dodávka do sítě je vyřazena, což jsou podmínky pro získání dotace NZÚ (předpokládá se, že tyto podmínky by platily i pro elektrárny větrné). Díky této podpoře by se rozšířily oblasti na našem území, ve kterých by bylo smysluplné takovouto větrnou elektrárnu instalovat (varianty a+b). Toto rozšířené území je zjednodušeně graficky znázorněno v následující mapě (červená, růžová a fialová barva v modrém ohraničení).



Obrázek 30 Lokality ČR splňující požadované rychlosti větru pro návratnost 15 let při zavedení dotace [73]

Vylepšení situace malých větrných elektráren na území ČR by se také dosáhlo zlevněním technologií poměrně drahých větrných turbín. Tuto skutečnost však nelze spolehlivě odhadnout ani předpovědět, i když se očekává, že k postupnému zlevňování větrných turbín by mělo v průběhu času docházet (obdobně jako je tomu u fotovoltaických panelů), a to především kvůli narůstající konkurenci.

Závěrem lze říci, že se větrné elektrárny nejeví jako vhodná investice ani momentálně správný směr pro energetickou nezávislost v dnešní době na území ČR. Při zavedení dotačních titulů na bázi NZÚ, či zlevnění technologie turbín by se v budoucnu toto stanovisko mohlo změnit. V nejbližší době k tomu však s největší pravděpodobností nedojde, což naznačuje i má konverzace se zaměstnancem SFŽP, již zmíněná v kapitole [4.3.2](#). Z těchto důvodů se v rámci této diplomové práce větrné elektrárny nebudou dále rozebírat v podrobnějších ekonomických analýzách a pozornost bude věnována především na první pohled jasně výhodnějším elektrárnám fotovoltaickým. Aplikace větrných elektráren však bude zohledněna v možnosti kombinace s fotovoltaickými elektrárnami v hybridní systémy.

6.3 Podrobné ekonomické analýzy konkrétních instalací fotovoltaických elektráren

V této kapitole budou provedeny podrobné ekonomické analýzy několika variant fotovoltaických elektráren. U všech variant bude uvažována stejná hodnota ročního osvitu, pro možnost přesnějšího porovnání ekonomických výsledků jednotlivých variant. Budou uvažovány tři specifické varianty instalací, dle způsobu a rozsahu využívání sluneční energie. První variantou bude menší instalace, kolem 2 kW, bez akumulární baterie, s využitím přebytků pro ohřev vody. Varianta druhá již bude uvažovat akumulaci prostřednictvím baterie a instalovaný výkon bude navržen na rodinný dům s průměrnou roční spotřebou elektřiny - 3,3 kW. Poslední variantou bude opět fotovoltaický systém s akumulárními bateriemi, který bude mít vyšší výkon, cca 4,5 kW, díky kterému dosáhne na nejvyšší úroveň dotace NZÚ. Tento systém bude určen pro domácnosti s nadprůměrnou roční spotřebou elektrické energie.

6.3.1 Použité vztahy a metodika

Zde pro hodnocení ekonomičnosti projektu nebudeme využívat už pouze prosté návratnosti, která není optimálním ekonomickým kritériem, jelikož neuvažuje hodnotu peněz a jedná se tedy o „prvotní“ orientační kritérium výhodnosti projektu. Budou zde využita podrobnější ekonomická kritéria, která nám dají reálnější a podrobnější představu o tom, kdy se nám investice skutečně vrátí, jaké budeme mít roční peněžní toky, kolik nám projekt vydělá a zdali vůbec má smysl konkrétní projekt realizovat. Mezi tato kritéria patří: cash flow, diskontované cash flow, kumulované cash flow, doba návratnosti, diskontovaná doba návratnosti, NPV a IRR. Význam všech použitých kritérií bude níže stručně vysvětlen a budou uvedeny vztahy pro výpočet těchto kritérií.

Cash flow (CF) – Roční peněžní tok, který je roven rozdílu příjmů a výdajů za příslušný rok.

$$CF = \text{Příjmy} - \text{výdaje} \quad [78]$$

Diskontované cash flow (DCF) – Diskontovaný roční peněžní tok, který uvažuje možnost vložení peněz do jiného projektu, kde by nám vydělávaly. Tato skutečnost je vyjádřena diskontem „r“ (diskontní mírou), který je obvykle uvažován v rozmezí 4-12 %. DCF je tudíž vždy nižší než CF, ale jedná se o reálnější ukazatel.

$$DCF = \frac{CF}{(1+r)^t}$$

kde „t“ je rok, ke kterému se DCF počítá. [78]

Kumulované cash flow (KCF) – Jedná se o aktuální stav peněžních toků, tudíž o rozdíl počáteční investice a sumu cash flow k danému roku. Může být diskontované i nediskontované, podle toho, zdali ho počítáme s diskontovaným cash flow, či nediskontovaným.

$$KCF = Investice - \sum_1^t CF$$

$$DKCF = Investice - \sum_1^t DCF$$

kde „t“ je rok, ke kterému se KCF/DKCF počítá. [78]

Doba návratnosti – Doba, za kterou se nám vrátí vložená investice. Jedná se o nejméně přesné, ale nejjednodušší ekonomické kritérium. Čím je doba návratnosti kratší, tím je realizace projektu více žádoucí.

$$Doba\ návratnosti = \frac{Investice}{CF} \quad [78]$$

Diskontovaná doba návratnosti – Přesnější ukazatel nežli prostá doba návratnosti, jelikož opět uvažuje možnost investice peněz do jiného projektu. Je vždy delší než prostá doba návratnosti. Opět platí, že čím kratší diskontovaná doba návratnosti, tím spíše chceme projekt realizovat.

$$Diskontovaná\ doba\ návratnosti = \frac{Investice}{DCF} \quad [78]$$

Net Present Value (NPV) – Českým významem je „čistá současná hodnota“, která udává stav financí na konci životnosti projektu. Může být kladná i záporná, podle toho, zdali nám projekt vydělá nebo nikoliv. Tudíž se přednostně volí projekt s co nejvyšším NPV. NPV také zahrnuje možnost investice do jiného projektu, což z něj dělá velmi vhodné ekonomické hodnotící kritérium.

$$NPV = \sum_0^{tž} DCF$$

kde „tž“ je doba životnosti projektu. [78]

Internal Rate of Return (IRR) – Jedná se o vnitřní výnosové procento, které udává roční výnos investice. Čím je IRR větší, tím je kratší návratnost investice. Pokud chceme, aby nám projekt vynášel, musí být IRR větší než diskont „r“.

$$0 = \sum_0^{t_z} \frac{CF^t}{(1 + IRR)^t}$$

kde „t_z“ je doba životnosti projektu a „t“ je rok, ke kterému se počítá CF. [78]

6.3.2 Specifikace použitých komponent a ostatních nákladů

Veškeré ceny jsou uvedeny včetně DPH.

Fotovoltaické panely

Z hlediska poměru cena/výkon a také z rozměrových důvodů je pro ekonomické analýzy vzorových instalací fotovoltaických systémů použit typ panelu Jinko Solar 275 W poly. Jedná se o polykrystalický panel s účinností 16.8 %, rozměry 1 650 x 992 x 40 mm a referenčním výkonem 275 W. Záruka na panel je 10 let a záruka poklesu výkonu o méně než 20 % na 25 let. Životnost se předpokládá až 30 let. Panel je registrován a schválen v seznamu výrobků a technologií pro dotační program NZÚ. Tento typ panelů je k dostání např. na <https://eshopelektronika.cz> za 3 208 Kč za kus.

Baterie

Kvůli výborné účinnosti, dobré ceně, dlouhé životnosti a schopnosti vysokého cyklického provozu jsou použity baterie LiFePO₄, jejichž použití je pro fotovoltaické systémy typické. Konkrétně jsou použity baterie *Pylontech US2000 Plus* s kapacitou 2.4 kWh a *Pylontech US3000 Plus* s kapacitou 3.5 kWh. Baterie se dají spojovat dohromady ve větší celky a jsou tedy kombinovány vždy dle velikosti fotovoltaického systému v dané variantě. Minimální počet nabíjecích cyklů se udává více než 6 000 při 80 % hloubce vybití (DOD). Záruka je poskytována na 7 let, s možností rozšíření na 10 let. Nicméně kvůli vysoké životnosti se předpokládá, že baterie s fotovoltaickým systémem budeme moci provozovat minimálně 16 let, tudíž jejich výměnu za dvacetiletý provoz elektrárny v ekonomických analýzách neuvažují. K dostání jsou například na e-shopu www.fve-mp.cz, 25 400 Kč za menší variantu a 36 335 Kč za variantu větší.

Střídače(měniče)

Pro první variantu fotovoltaického systému je použit hybridní měnič *Victron Multiplus 24 V 1200VA sinus*, který je pro lepší funkčnost celého systému doplněn o MPPT tracker *Regulátor Epsolar 4415 N MPPT 40 A 12 V-48 V*. Obě tyto komponenty disponují špičkovými účinnostmi energetické konverze a jsou k dostání na <http://www.ostrovni-elektrarny.cz> za 19 950 Kč (střídač) a 4 690 Kč (regulátor). Ve variantě druhé a třetí je použit již kvalitnější hybridní měnič ve verzích *Infinisolar Super 4kW* a *Infinisolar E 5.5kW*. Tyto měniče již v sobě mají zabudovaný MPPT tracker, mají ve své kategorii špičkové vlastnosti a jsou také schváleny pro použití v dotačním programu NZÚ. Tyto měniče také zabraňují zpětnému toku elektrické energie do distribuční sítě. K dostání jsou na stejném e-shopu za 37 500 Kč (4 kW) a 44 900 Kč (5.5 kW). Důležité je, že všechny měniče mívají záruku kolem 5 let. Jejich životnost se uvažuje 5-10 let, což znamená, že pro dvacetileté provozování fotovoltaické elektrárny bude zapotřebí je jednou vyměnit za nové. Tato skutečnost je v kalkulacích zohledněna.

Řídící jednotky

Řídící jednotka je přidána pouze k první variantě fotovoltaického systému, bez akumulární baterie, pro rozvod vyprodukované elektřiny do topného tělesa bojleru. Je použit český výrobek *WATTR OUTER ECO model WRE* z <https://solarcontrols.cz> za 4 490 Kč.

Montážní doplňky

V montážních doplňcích jsou zahrnuty nosné konstrukce panelů (cca 900 Kč/panel - <http://www.ostrovni-elektrarny.cz>), kabeláž pro propojení baterií (1 269 Kč/kus - www.fve-mp.cz) a také je přidána rezerva pro přepětové ochrany.

Instalace

Cena instalace se liší dle velikosti fotovoltaického systému v jednotlivých variantách a pohybuje se od 5 000 Kč do 10 000 Kč. Jedná se spíše o odhad, přesná cena závisí na firmě, která elektrárnu bude realizovat. Instalace fotovoltaických panelů specialistou je vyžadována.

Servis

Servis fotovoltaických panelů není v podstatě žádný, pokud nedojde k jejich náhlému poškození při havárii. Likvidační poplatek panelů je zahrnut již v jejich pořizovací ceně a cena servisu se tedy odvíjí pouze od občasných revizních kontrol zařízení. Cena servisu je tedy odhadnuta na 200 Kč/kW/rok.

Projektová dokumentace

Zpracování projektové dokumentace je nedílnou součástí výstavby fotovoltaické elektrárny a typicky stojí kolem 10 000 Kč. V rámci dotací NZÚ se poskytuje podpora i na tuto projektovou dokumentaci, ve výši 5 000 Kč.

Marže firmy

Předpokládá se, že firma, která bude elektrárnu realizovat, si naúčtuje určitou marži pro zajištění svého výdělku. Tato marže se může pohybovat v jednotkách až desítkách procent z celkové ceny projektu. Hodnotu marže v ekonomických analýzách neuvažujeme.

Vývoj cen

Je nutné podotknout, že během psaní této práce se ceny komponent pro fotovoltaické a větrné elektrárny výrazně změnily. Za necelý rok došlo ke snížení ceny použité baterie i střídače o cca 10 000 Kč. Cena fotovoltaických panelů klesla cca o 3 000 Kč na instalovaný kWp. Tato redukce cen vyplývá z rostoucí konkurence výrobců těchto technologií a také z technologických pokroků v těchto oblastech. Dá se tedy předpokládat, že ceny technologií budou i nadále klesat, i když pokles cen už pravděpodobně nebude tak rapidní.

6.3.3 Varianta 1 – fotovoltaický systém o výkonu 1.925 kWp s využitím přebytků pro ohřev vody

V této variantě budeme uvažovat co nejmenší fotovoltaický systém, který má nárok na získání dotace NZÚ. Pro nárok na dotaci je nutné splňovat základní podmínky, jimiž jsou: roční využitelný zisk elektrické energie vyšší než 1 700 kWh, napojení na distribuční soustavu a využívání alespoň 70 % vyrobené elektřiny pro vlastní spotřebu. Budeme však využívat veškerou vyrobenou elektřinu, a to ze dvou důvodů: ekonomických a legislativních. Hodnota elektřiny využitá pro vlastní spotřebu je mnohonásobně vyšší než její hodnota při prodeji do distribuční soustavy a navíc, pokud zamezíme jakýmkoliv přetokům do sítě, můžeme tento fotovoltaický systém připojit jakožto „mikrozdroj“, čímž si připojovací proces značně usnadníme a provozovatel distribuční sítě bude povinen naši elektrárnu připojit. Kvůli zamezení přetokům elektřiny do sítě se zvedne investice, jelikož použijeme kvalitnější střídač, který těmto přetokům dokáže zabránit. Případné přebytky elektrické energie budeme pomocí WATTrouteru akumulovat do stávajícího bojleru pro ohřev vody. Touto variantou nezískáme tak vysokou dotaci, jako kdybychom využili akumulace do baterií, ale odpadnou nám poměrně vysoké náklady na bateriový systém. Kvůli absenci baterií můžeme vyrobenou elektřinu využívat pouze v omezeném časovém rozsahu (když svítí) anebo alespoň ohřívat vodu v bojleru. Pokud však už máme veškerou vodu ohřátou, není k dispozici žádný odbyt přebytečné energie a panely se musí odpojit. Účelem této fotovoltaické elektrárny bude částečné snížení plateb za elektřinu díky vlastní výrobě. Roční osvit lokality umístění fotovoltaického systému se uvažuje 1 050 kWh/m², což je mírně nadprůměrný osvit na území ČR, dosahovaný v mnoha lokalitách. Tento osvit bude zachován i u ostatních variant, aby byly zachovány stejné podmínky.

Seznam použitých komponent v této variantě: 7x *Jinko Solar 275 W poly*; 1x *Victron Multiplus 24 V 1200VA sinus*; 1x *Regulátor Epsolar 4415 N MPPT 40 A 12 V-48 V*; 1x *WATTR OUTER ECO model WRE*; nosná konstrukce; přepěťové ochrany

Kompletní ekonomické zhodnocení Varianty 1 je provedeno níže:

| CAPEX | | |
|---------------------------------|----|---------------|
| typ panelů | - | Jinko275 |
| cena panelů na 1kW _p | Kč | 11 665 |
| cena panelů pro celk. výkon | Kč | 22 456 |
| cena střídače | Kč | 49 280 |
| cena WATTrouteru | Kč | 4 490 |
| montážní doplňky | Kč | 7 000 |
| projektová dokumentace | Kč | 10 000 |
| instalace | Kč | 5 000 |
| Σ | Kč | 98 226 |

Tabulka 6 Varianta 1 - CAPEX

| Výpočet produkované elektřiny | | |
|--------------------------------------|-------------------------|----------------|
| účinnost panelů | - | 0.17 |
| počet panelů | ks | 7 |
| plocha panelu | m ² | 1.6 |
| celková plocha panelů | m ² | 11.5 |
| degradace panelů | -/rok | 0.08 |
| účinnost střídače | - | 0.96 |
| účinnost transformátoru | - | 0.98 |
| osvit dané lokality | kWh/m ² /rok | 1050 |
| produkce elektřiny | kWh/rok | 1 787.4 |

Tabulka 7 Varianta 1 - výpočet produkované elektřiny

| Základní specifikace | | |
|------------------------------|--------------------|--------|
| instalovaný výkon | [kW _p] | 1.925 |
| investice | [Kč] | 98 226 |
| výše dotace NZÚ | [Kč] | 60 000 |
| investice snížena o dotaci | [Kč] | 38 226 |
| vyrobená energie | [kWh/rok] | 1 787 |
| vlastní spotřeba elektřiny | [%] | 100% |
| dodávka elektřiny do sítě | [%] | 0% |
| cena EE při vlastní spotřebě | [Kč/kWh] | 4.73 |
| cena EE při dodávce do sítě | [Kč/kWh] | 0.3 |

Tabulka 8 Varianta 1 - základní specifikace elektrárny

| Pomocné hodnoty | | |
|------------------------|---------------------------|-----|
| Diskontní sazba | [%] | 5% |
| Růst ceny EE | [%] | 2% |
| Servis | [Kč/kW _p /rok] | 200 |
| Servis celkem | [Kč/rok] | 385 |
| Životnost | [rok] | 20 |

Tabulka 9 Varianta 1 - pomocné hodnoty

| Finanční analýza elektrárny | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Roky | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Investice | [Kč] | 38 226 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Úspora elektřiny spotřebou | [Kč/rok] | | 8 454 | 8 623 | 8 796 | 8 972 | 9 151 | 9 334 | 9 521 | 9 711 | 9 906 | 10 104 | 10 306 | 10 512 | 10 722 | 10 937 | 11 155 | 11 378 | 11 606 | 11 838 | 12 075 | 12 316 |
| Prodej elektřiny do sítě | [Kč/rok] | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Celkové "příjmy" | [Kč/rok] | | 8 454 | 8 623 | 8 796 | 8 972 | 9 151 | 9 334 | 9 521 | 9 711 | 9 906 | 10 104 | 10 306 | 10 512 | 10 722 | 10 937 | 11 155 | 11 378 | 11 606 | 11 838 | 12 075 | 12 316 |
| Náklady (servis) | [Kč/rok] | | 385 | 385 | 385 | 385 | 385 | 385 | 385 | 385 | 385 | 385 | 385 | 385 | 385 | 385 | 385 | 385 | 385 | 385 | 385 | 385 |
| Hrubý zisk (EBITDA) | [Kč/rok] | | 8 069 | 8 238 | 8 411 | 8 587 | 8 766 | 8 949 | 9 136 | 9 326 | 9 521 | 9 719 | 9 921 | 10 127 | 10 337 | 10 552 | 10 770 | 10 993 | 11 221 | 11 453 | 11 690 | 11 931 |
| CF | [Kč/rok] | -38 226 | 8 069 | 8 238 | 8 411 | 8 587 | 8 766 | 8 949 | 9 136 | 9 326 | 9 521 | 9 719 | 9 921 | 10 127 | 10 337 | 10 552 | 10 770 | 10 993 | 11 221 | 11 453 | 11 690 | 11 931 |
| Diskontované CF | [Kč/rok] | -38 226 | 7 685 | 7 472 | 7 266 | 7 064 | 6 869 | 6 678 | 6 493 | 6 312 | 6 137 | 5 966 | 5 800 | 5 639 | 5 482 | 5 329 | 5 181 | 5 036 | 4 896 | 4 759 | 4 626 | 4 497 |
| Kumulované CF | [Kč/rok] | -38 226 | -30 157 | -21 918 | -13 507 | -4 921 | 3 846 | 12 795 | 21 931 | 31 257 | 40 778 | 50 496 | 60 417 | 70 544 | 80 881 | 91 433 | 102 203 | 113 196 | 124 417 | 135 870 | 147 560 | 159 492 |
| Kumulované CF diskontované | [Kč/rok] | -38 226 | -30 541 | -23 068 | -15 803 | -8 738 | -1 870 | 4 808 | 11 301 | 17 613 | 23 750 | 29 717 | 35 517 | 41 156 | 46 638 | 51 968 | 57 148 | 62 184 | 67 080 | 71 839 | 76 465 | 80 962 |

Tabulka 10 Varianta 1 - finanční analýza elektrárny

| Hlavní výstupy analýzy | | |
|-------------------------|-------|--------|
| NPV | [Kč] | 80 962 |
| IRR | [%] | 23% |
| Prostá návratnost | [rok] | 4.6 |
| Diskontovaná návratnost | [rok] | 5.3 |

Tabulka 11 Varianta 1 - hlavní výstupy podrobné ekonomické analýzy

Výsledky analýzy této Varianty 1 fotovoltaického systému jsou příznivé. Doby návratnosti jsou relativně krátké (4.6 let prostá návratnost a 5.3 let návratnost diskontovaná), vnitřní výnosové procento projektu dosahuje hodnoty 23 % a čistá současná hodnota je 80 962 Kč. Je však nutno brát v potaz, že skutečné hodnoty návratnosti při realizaci systému se pravděpodobně prodlouží, jak kvůli marži firmy, tak z důvodu, že s největší pravděpodobností nebudeme schopni využít veškerou vyprodukovanou elektřinu (viz. [6.2.2](#)). Důvodem dobrých výsledků je poměrně nízká investice 98 226 Kč do tohoto malého systému bez baterie, při zachování slušné dotace 60 000 Kč a konstantního „přivýdělku“, který se projevuje jako úspora za jinak nakupovanou elektrickou energii (8 069 Kč za rok, s nárůstem 3 % ročně). Variantu 1 lze doporučit lidem, kteří chtějí pouze vlastní malý nezávislý zdroj energie pro snížení nákladů a nechtějí být na produkované elektřině tohoto zdroje příliš závislí.

6.3.4 Varianta 2 – fotovoltaický systém pro rodinný dům s průměrnou spotřebou elektřiny - výkon 3.3 kW s akumulací bateriemi

V této variantě bude navržen systém na míru rodinného domu s průměrnou roční spotřebou elektrické energie, v lokalitě s ročním osvitem 1 050 kWh/m², jehož roční spotřeba elektrické energie obvykle dosahuje hodnot 4.5-5 MWh [79]. Opět chceme získat dotaci NZÚ, a tudíž základní podmínky budou zachovány: roční využitelný zisk elektrické energie vyšší než 1 700 kWh, napojení na distribuční soustavu a využívání alespoň 70 % vyrobené elektřiny pro vlastní spotřebu. Zde je třeba splnit další podmínku, kterou je velikost lithiových akumulčních baterií 1.25 kWh na každý instalovaný kWp fotovoltaiky. Dle této podmínky tedy bude navržen bateriový systém na 4.8 kWh. Celkový instalovaný výkon fotovoltaického systému bude 3.3 kWp, což nám zajistí dostatečnou produkci energie pro typický rodinný dům, a navíc díky tomu dosáhneme již na vyšší úroveň dotace NZÚ (105 000 Kč). Důvodem volby tohoto instalovaného výkonu, který se na první pohled může zdát poddimenzovaný (orientační hrubá roční výroba 3.3 MWh), je skutečnost výrazně proměnlivého osvitu v letních a zimních měsících, popsaného v kapitole 5.1.2. Pokud bychom tedy fotovoltaický systém dimenzovali na celkovou spotřebu domu (cca 4.5-5 kWp), je téměř jisté, že bychom produkovanou elektřinu v letních měsících nebyli schopni využít a museli bychom panely odpojovat. Opět budeme chtít z ekonomických i legislativních důvodů, popsaných ve variantě 1, využívat veškerou vyrobenou elektřinu. Kvůli zamezení přetokům elektřiny do sítě opět použijeme dražší hybridní střídač. Celková investice zde bude výrazně navýšena o cenu bateriového systému. V tomto případě tedy budeme přebytky elektrické energie akumulovat do těchto baterií, kde bude uložena pro pozdější využití. Především ji budeme využívat večer, v noci i brzo ráno, kdy slunce nesvítí. Možnosti využití vyprodukované elektrické energie z fotovoltaického systému jsou u této varianty mnohem univerzálnější a produkovaná elektřina tak najde širší uplatnění. Nabyté baterie nám také budou sloužit jako záložní zdroj při případném blackoutu (výpadku sítě) a staneme se tak po určitou dobu zcela nezávislí na rozvodné síti. Účelem této elektrárny tedy bude značné snížení odběru elektrické energie ze sítě, spolehlivý zdroj čisté energie a „nouzový“ zdroj energie při výpadku sítě.

Seznam použitých komponent v této variantě: 12x *Jinko Solar 275 W poly*; 2x *Pylontech US2000 Plus*; 1x *Infinisolar Super 4kW*; 1x *kabeláž pro spojení baterií*; nosná konstrukce; přepěťové ochrany

Kompletní ekonomické zhodnocení Varianty 2 je provedeno níže:

| CAPEX | | |
|---------------------------------|----|----------------|
| typ panelů | - | Jinko275 |
| cena panelů na 1kW _p | Kč | 11 665 |
| cena panelů pro celk. výkon | Kč | 38 496 |
| cena střídače | Kč | 75 000 |
| cena baterie | Kč | 50 800 |
| montážní doplňky | Kč | 14 069 |
| projektová dokumentace | Kč | 10 000 |
| instalace | Kč | 8 000 |
| Σ | Kč | 196 365 |

Tabulka 12 Varianta 2 - CAPEX

| Výpočet produkované elektřiny | | |
|--------------------------------------|-------------------------|----------------|
| účinnost panelů | - | 0.17 |
| počet panelů | ks | 12 |
| plocha panelu | m ² | 1.6 |
| celková plocha panelů | m ² | 19.6 |
| degradace panelů | -/rok | 0.08 |
| účinnost střídače | - | 0.96 |
| účinnost transformátoru | - | 0.98 |
| osvit dané lokality | kWh/m ² /rok | 1050 |
| produkce elektřiny | kWh/rok | 3 064.1 |

Tabulka 13 Varianta 2 - výpočet produkované elektřiny

| Základní specifikace | | |
|------------------------------|--------------------|---------|
| instalovaný výkon | [kW _p] | 3.3 |
| investice | [Kč] | 196 365 |
| výše dotace NZÚ | [Kč] | 105 000 |
| investice snížena o dotaci | [Kč] | 91 365 |
| vyrobená energie | [kWh/rok] | 3 064 |
| vlastní spotřeba elektřiny | [%] | 100% |
| dodávka elektřiny do sítě | [%] | 0% |
| cena EE při vlastní spotřebě | [Kč/kWh] | 4.73 |
| cena EE při dodávce do sítě | [Kč/kWh] | 0.3 |

Tabulka 14 Varianta 2 - základní specifikace elektrárny

| Pomocné hodnoty | | |
|------------------------|---------------------------|-----|
| Diskontní sazba | [%] | 5% |
| Růst ceny EE | [%] | 2% |
| Servis | [Kč/kW _p /rok] | 200 |
| Servis celkem | [Kč/rok] | 660 |
| Životnost | [rok] | 20 |

Tabulka 15 Varianta 2 - pomocné hodnoty

| Finanční analýza elektrárny | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Roky | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Investice | [Kč] | 91 365 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Úspora elektřiny spotřebou | [Kč/rok] | | 14 493 | 14 783 | 15 079 | 15 380 | 15 688 | 16 002 | 16 322 | 16 648 | 16 981 | 17 321 | 17 667 | 18 020 | 18 381 | 18 748 | 19 123 | 19 506 | 19 896 | 20 294 | 20 700 | 21 114 |
| Prodej elektřiny do sítě | [Kč/rok] | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Celkové "příjmy" | [Kč/rok] | | 14 493 | 14 783 | 15 079 | 15 380 | 15 688 | 16 002 | 16 322 | 16 648 | 16 981 | 17 321 | 17 667 | 18 020 | 18 381 | 18 748 | 19 123 | 19 506 | 19 896 | 20 294 | 20 700 | 21 114 |
| Náklady (servis) | [Kč/rok] | | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 | 660 |
| Hrubý zisk (EBITDA) | [Kč/rok] | | 13 833 | 14 123 | 14 419 | 14 720 | 15 028 | 15 342 | 15 662 | 15 988 | 16 321 | 16 661 | 17 007 | 17 360 | 17 721 | 18 088 | 18 463 | 18 846 | 19 236 | 19 634 | 20 040 | 20 454 |
| CF | [Kč/rok] | -91 365 | 13 833 | 14 123 | 14 419 | 14 720 | 15 028 | 15 342 | 15 662 | 15 988 | 16 321 | 16 661 | 17 007 | 17 360 | 17 721 | 18 088 | 18 463 | 18 846 | 19 236 | 19 634 | 20 040 | 20 454 |
| Diskontované CF | [Kč/rok] | -91 365 | 13 174 | 12 810 | 12 455 | 12 110 | 11 775 | 11 448 | 11 130 | 10 821 | 10 521 | 10 228 | 9 944 | 9 667 | 9 398 | 9 136 | 8 881 | 8 633 | 8 393 | 8 158 | 7 930 | 7 709 |
| Kumulované CF | [Kč/rok] | -91 365 | -77 532 | -63 409 | -48 990 | -34 270 | -19 242 | -3 901 | 11 761 | 27 749 | 44 070 | 60 731 | 77 738 | 95 098 | 112 819 | 130 907 | 149 370 | 168 216 | 187 452 | 207 086 | 227 126 | 247 580 |
| Kumulované CF diskontované | [Kč/rok] | -91 365 | -78 191 | -65 381 | -52 925 | -40 815 | -29 040 | -17 592 | -6 462 | 4 360 | 14 880 | 25 108 | 35 052 | 44 719 | 54 117 | 63 253 | 72 134 | 80 767 | 89 160 | 97 318 | 105 249 | 112 957 |

Tabulka 16 Varianta 2 - finanční analýza elektrárny

| Hlavní výstupy analýzy | | |
|-------------------------|-------|---------|
| NPV | [Kč] | 112 957 |
| IRR | [%] | 16% |
| Prostá návratnost | [rok] | 6.3 |
| Diskontovaná návratnost | [rok] | 7.3 |

Tabulka 17 Varianta 2 - hlavní výstupy podrobné ekonomické analýzy

Výsledky ekonomické analýzy této varianty fotovoltaického systému jsou následující: Doby návratnosti jsou již o něco delší než ve Variantě 1, nicméně stále přijatelné na úrovni 6.3 a 7.3 let. Je však nutno brát v potaz, že skutečné hodnoty návratnosti při realizaci systému se pravděpodobně prodlouží, kvůli očekávané marži firmy, která elektrárnu bude instalovat, a také z důvodu pravděpodobného nevyužití veškeré vyprodukované elektřiny (popsáno ve zjednodušujících předpokladech). Jedná se o komplikovanější systém s mnohem větším přínosem oproti Variantě 1. Vnitřní výnosové procento projektu je 16 % a čistá současná hodnota je 112 957 Kč. Důvodem přijatelných výsledků je optimální volba velikosti celého systému i dílčích komponent tak, aby se při co nejnižší investici (196 365 Kč) získala vysoká dotace (105 000 Kč). Úspory za elektřinu jsou zde již významnější (13 833 Kč již za první rok), a navíc je obrovským přínosem vlastnictví nezávislého zdroje na rozvodové síti, který nám zajistí několik hodin provozu domácích spotřebičů i při výpadku sítě, což je výhoda, kterou v ekonomické analýze nelze zohlednit. Hlavním rozdílem oproti variantě první je bateriový systém, který nám umožní mnohem širší uplatnění vyprodukované elektřiny a stejně tak její časové využití, jelikož nyní ji díky akumulaci můžeme využívat i když zrovna slunce nesvítí. Variantu 2 lze doporučit, pokud je požadavkem mít již významnější nezávislý zdroj elektřiny využívající obnovitelných zdrojů energie a pokud je žádoucí si většinu elektřiny raději vyrábět než odebírat z distribuční sítě.

6.3.5 Varianta 3 – fotovoltaický systém pro rodinné domy s nadprůměrnou spotřebou elektřiny – 4.4 kW s akumulací bateriemi

Varianta 3 instalace fotovoltaického systému bude navržena pro rodinné domy s vyšší spotřebou elektrické energie, která za rok činí cca 6 MWh [79]. Umístění se předpokládá v lokalitě s ročním osvitem 1 050 kWh/m². Splnění podmínek pro nárok na zisk dotace NZÚ je samozřejmostí: roční využitelný zisk elektrické energie vyšší než 1 700 kWh, napojení na distribuční soustavu a využívání alespoň 70 % vyrobené elektřiny pro vlastní spotřebu. Jelikož zde budeme uvažovat využití akumulací baterií, je opět nutno dodržet velikost lithiových akumulací baterií 1.25 kWh na každý instalovaný kWp fotovoltaiky. S ohledem na tuto podmínku tedy bude navržen bateriový systém na 5.9 kWh. Celkový instalovaný výkon fotovoltaického systému bude navržen na 4.4 kWp, což nám zajistí zvýšenou produkci elektřiny pro rodinný dům s nadprůměrnou spotřebou. Opět tímto instalovaným výkonem zamezíme přílišným přebytkům produkované elektřiny v letních měsících. Díky této výkonové úrovni fotovoltaického systému získáme nárok na nejvyšší možnou úroveň dotace NZÚ v hodnotě 155 000 Kč. Cílem bude opět využití veškeré vyprodukované elektřiny a tím pádem použití kvalitního hybridního střídače. Stejně jako ve Variantě 2, investice bude značně vyšší kvůli drahým bateriím, ve kterých budeme přebytky elektřiny skladovat pro pozdější využití. Účelem této elektrárny je zisk obnovitelného zdroje energie pro pokrytí vlastní spotřeby, který díky bateriím můžeme využívat i když slunce nesvíti. Minimalizujeme tím odběr elektřiny z distribuční sítě a budeme mít záložní zdroj při případném výpadku sítě.

Seznam použitých komponent v této variantě: 16x *Jinko Solar 275 W poly*; 1x *Pylontech US2000 Plus*; 1x *Pylontech US3000 Plus*; 1x *Infinisolar Super 5,5kW*; 1x kabeláž pro spojení baterií; nosná konstrukce; přepěťové ochrany

Kompletní ekonomické zhodnocení Varianty 3 je provedeno níže:

| CAPEX | | |
|---------------------------------|----|----------------|
| typ panelů | - | Jinko275 |
| cena panelů na 1kW _p | Kč | 11 665 |
| cena panelů pro celk. výkon | Kč | 51 328 |
| cena střídače | Kč | 89 800 |
| cena baterie | Kč | 61 735 |
| montážní doplňky | Kč | 17 269 |
| projektová dokumentace | Kč | 10 000 |
| instalace | Kč | 10 000 |
| Σ | Kč | 240 132 |

Tabulka 18 Varianta 3 - CAPEX

| Výpočet produkované elektřiny | | |
|--------------------------------------|-------------------------|----------------|
| účinnost panelů | - | 0.17 |
| počet panelů | ks | 16 |
| plocha panelu | m ² | 1.6 |
| celková plocha panelů | m ² | 26.2 |
| degradace panelů | -/rok | 0.08 |
| účinnost střídače | - | 0.96 |
| účinnost transformátoru | - | 0.98 |
| osvit dané lokality | kWh/m ² /rok | 1050 |
| produkce elektřiny | kWh/rok | 4 085.4 |

Tabulka 19 Varianta 3 - výpočet produkované elektřiny

| Základní specifikace | | |
|------------------------------|--------------------|---------|
| instalovaný výkon | [kW _p] | 4.4 |
| investice | [Kč] | 240 132 |
| výše dotace NZÚ | [Kč] | 155 000 |
| investice snížena o dotaci | [Kč] | 85 132 |
| vyrobená energie | [kWh/rok] | 4 085 |
| vlastní spotřeba elektřiny | [%] | 100% |
| dodávka elektřiny do sítě | [%] | 0% |
| cena EE při vlastní spotřebě | [Kč/kWh] | 4.73 |
| cena EE při dodávce do sítě | [Kč/kWh] | 0.3 |

Tabulka 20 Varianta 3 - základní specifikace elektrárny

| Pomocné hodnoty | | |
|------------------------|---------------------------|-----|
| Diskontní sazba | [%] | 5% |
| Růst ceny EE | [%] | 2% |
| Servis | [Kč/kW _p /rok] | 200 |
| Servis celkem | [Kč/rok] | 880 |
| Životnost | [rok] | 20 |

Tabulka 21 Varianta 3 - pomocné hodnoty

| Finanční analýza elektrárny | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Roky | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Investice | [Kč] | 85 132 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Úspora elektřiny spotřebou | [Kč/rok] | | 19 324 | 19 711 | 20 105 | 20 507 | 20 917 | 21 335 | 21 762 | 22 197 | 22 641 | 23 094 | 23 556 | 24 027 | 24 508 | 24 998 | 25 498 | 26 008 | 26 528 | 27 058 | 27 600 | 28 152 |
| Prodej elektřiny do sítě | [Kč/rok] | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Celkové "příjmy" | [Kč/rok] | | 19 324 | 19 711 | 20 105 | 20 507 | 20 917 | 21 335 | 21 762 | 22 197 | 22 641 | 23 094 | 23 556 | 24 027 | 24 508 | 24 998 | 25 498 | 26 008 | 26 528 | 27 058 | 27 600 | 28 152 |
| Náklady (servis) | [Kč/rok] | | 880 | 880 | 880 | 880 | 880 | 880 | 880 | 880 | 880 | 880 | 880 | 880 | 880 | 880 | 880 | 880 | 880 | 880 | 880 | 880 |
| Hrubý zisk (EBITDA) | [Kč/rok] | | 18 444 | 18 831 | 19 225 | 19 627 | 20 037 | 20 455 | 20 882 | 21 317 | 21 761 | 22 214 | 22 676 | 23 147 | 23 628 | 24 118 | 24 618 | 25 128 | 25 648 | 26 178 | 26 720 | 27 272 |
| CF | [Kč/rok] | -85 132 | 18 444 | 18 831 | 19 225 | 19 627 | 20 037 | 20 455 | 20 882 | 21 317 | 21 761 | 22 214 | 22 676 | 23 147 | 23 628 | 24 118 | 24 618 | 25 128 | 25 648 | 26 178 | 26 720 | 27 272 |
| Diskontované CF | [Kč/rok] | -85 132 | 17 566 | 17 080 | 16 607 | 16 147 | 15 700 | 15 264 | 14 841 | 14 428 | 14 028 | 13 638 | 13 258 | 12 889 | 12 530 | 12 181 | 11 842 | 11 511 | 11 190 | 10 878 | 10 574 | 10 278 |
| Kumulované CF | [Kč/rok] | -85 132 | -66 688 | -47 857 | -28 632 | -9 005 | 11 032 | 31 487 | 52 369 | 73 687 | 95 448 | 117 662 | 140 338 | 163 485 | 187 113 | 211 231 | 235 849 | 260 976 | 286 624 | 312 803 | 339 522 | 366 794 |
| Kumulované CF diskontované | [Kč/rok] | -85 132 | -67 566 | -50 486 | -33 879 | -17 732 | -2 032 | 13 232 | 28 072 | 42 501 | 56 528 | 70 166 | 83 424 | 96 313 | 108 844 | 121 025 | 132 866 | 144 378 | 155 568 | 166 445 | 177 019 | 187 298 |

Tabulka 22 Varianta 3 - finanční analýza elektrárny

| Hlavní výstupy analýzy | | |
|-------------------------|-------|---------|
| NPV | [Kč] | 187 298 |
| IRR | [%] | 23% |
| Prostá návratnost | [rok] | 4.4 |
| Diskontovaná návratnost | [rok] | 5.1 |

Tabulka 23 Varianta 3 - hlavní výstupy podrobné ekonomické analýzy

Hlavní výstupy ekonomické analýzy třetí varianty se na první pohled jeví příznivější než u varianty druhé. Celková investice do této varianty je samozřejmě vyšší (240 132 Kč), kvůli zvětšení výkonové úrovně celého fotovoltaického systému i dílčích komponent. Podstatné však je, že díky tomuto zvětšení celého systému získáme značně vyšší dotaci NZÚ v hodnotě 155 000 Kč. Výroba elektřiny se samozřejmě zvedne a tím nám tedy roste i úspora na nákupu elektřiny ze sítě. (18 444 Kč/rok s 3 % meziročním nárůstem). Díky těmto skutečnostem se doby návratnosti sníží na 4.4 let (prostá) a 5.1 let (diskontovaná). Je však nutno brát v potaz, že skutečné hodnoty návratnosti při realizaci systému se pravděpodobně prodlouží, kvůli marži firmy a kvůli již popsané pravděpodobnosti nevyužití veškeré vyprodukované elektřiny. I při nárůstu systému se ekonomická výhodnost tedy zlepšila. Vnitřní výnosové procento projektu stoupl na 23 % a čistá současná hodnota na impozantních 187 289 Kč. Důvodem dobrých výsledků je opět optimální volba velikosti celého systému i dílčích komponent, s tím rozdílem, že nyní získáme nárok na výrazně vyšší dotaci (155 000 Kč). Roční úspory činí 18 444 Kč ročně a drasticky si tak snížíme nutný odběr ze sítě. Opět je obrovským přínosem vlastnictví nezávislého zdroje na rozvodové síti, jehož elektřinu můžeme díky bateriím využívat prakticky kdykoliv. Tuto variantu lze využít pouze pro domy s vyšší roční spotřebou, které budou schopny veškerou vyprodukovanou elektřinu využít. Pokud by tomu tak nebylo, a část elektřiny by se musela odvádět do sítě, či by bylo nutné panely občas odpojovat, ekonomika by se značně zhoršila. Přínosem je významný nezávislý zdroj elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a částečná nezávislost na distribuční síti.

6.4 Podrobná ekonomická analýza vzorového hybridního systému složeného z fotovoltaické a malé větrné elektrárny

V této kapitole bude provedena ekonomická analýza jedné vzorové instalace hybridního systému fotovoltaické a malé větrné elektrárny. Při návrhu tohoto systému budeme vycházet z již získaných poznatků v předchozích ekonomických analýzách, a budou tedy použity technologie fotovoltaických panelů a větrných turbín s nejlepším poměrem cena/výkon. Postup analýzy bude shodný s podrobnými analýzami fotovoltaických elektráren v předchozí kapitole, jejichž vztahy, metodika a použité komponenty jsou již popsány v kapitolách [6.3.1](#) a [6.3.2](#). Další komponenty a náklady, potřebné pro sestavení tohoto hybridního systému, budou stručně popsány v následující podkapitole.

Cílem této ekonomické analýzy bude zjištění ekonomických výsledků tohoto hybridního systému. Ze získaných poznatků z předchozích analýz je zřejmé, že ekonomické výsledky kombinace fotovoltaické a větrné elektrárny budou horší než výsledky samostatných fotovoltaických systémů. Tato skutečnost vyplývá již ze základní ekonomické analýzy malých větrných elektráren ([6.2.4](#)) a z absence dotací na větrnou energetiku ([4.3.2](#)). Chceme tedy zjistit, do jaké míry se ekonomické výsledky zhorší. Od tohoto hybridního systému se však očekávají i přínosy, jelikož se tyto dva zdroje energie skvěle doplňují, jak již je popsáno v kapitole [5.3](#).

Velikým potenciálem takovéto hybridní elektrárny, je možnost dostatečně stabilní produkce, pro získání úplné nezávislosti na rozvodové síti. Při vlastní produkci elektřiny pouze z fotovoltaické či větrné elektrárny, je produkce v průběhu dne i v jednotlivých měsících výrazně rozdílná. Tento problém částečně řeší akumulární baterie, ale ty jsou schopny vyřešit pouze rozdílnou produkci v průběhu dne, nikoliv obrovské výkyvy v jednotlivých měsících. Při kombinaci fotovoltaické a větrné elektrárny se však produkce v jednotlivých měsících výrazně vyrovná, a tato hybridní elektrárna nám tedy zajistí relativně stabilní přísun elektrické energie jak v průběhu dne, tak po celý rok. Pokud by tedy někdo nechtěl odebírat žádnou elektřinu z rozvodné sítě, kombinace fotovoltaické a větrné elektrárny by byla vhodným řešením.

6.4.1 Specifikace dalších použitých komponent a ostatních nákladů

Veškeré ceny jsou uvedeny včetně DPH.

Větrné turbíny

Je uvažováno použití horizontální větrné turbíny Cronimo CRWT2KWAB, o jmenovitém výkonu 2kW. Dostupné z <http://www.cronimo.cz> za 44 990 Kč. Turbína je dodávána se zabudovaným střídačem, díky čemuž ho nemusíme zvlášť dokupovat. Nicméně životnost jak turbíny, tak střídače se předpokládá cca 10 let, proto je nutné, zahrnout jednu výměnu celé turbíny se střídačem za uvažovaný dvacetiletý provoz elektrárny. Tato skutečnost značně zhorší ekonomické výsledky.

Regulátor nabíjení

Pro efektivní nabíjení a vybíjení baterie z těchto dvou zdrojů elektrické energie je zde zahrnut regulátor nabíjení, který tuto funkci bude zajišťovat. Použitý typ *Hybridní regulátor WWS-30-48-N00* je dostupný na <http://www.ostrovni-elektrarny.cz> za 23 900 Kč. Kvůli své životnosti by bylo nutné tento regulátor alespoň jednou za dvacetiletý provoz také vyměnit, ale jelikož tento regulátor neuvažujeme u variant samostatných fotovoltaických elektráren, tak ho zde budeme uvažovat pouze jednou, aby ekonomické výsledky hybridního systému nebyly touto skutečností příliš ovlivněny.

Montážní doplňky

Zde je k montážním doplňkům ještě připočítána rezerva na potřebnou kabeláž pro větrnou turbínu v odhadnuté hodnotě 3 000 Kč.

Instalace

K ceně za instalaci fotovoltaické elektrárny je připočítána orientační cena instalace větrné turbíny, která se předpokládá vyšší a je odhadnuta na cca 10 000 Kč.

Servis

Servis hybridního systému je navýšen o nutný servis větrných turbín a je odhadnut na 700 Kč/kW/rok.

6.4.2 Vzorová instalace hybridního systému FVE+MVE – 4,2 kW s akumulací bateriemi

Tento hybridní systém bude navržen pro rodinné domy s průměrnou spotřebou elektrické energie, která za rok činí cca 4.5-5 MWh [79]. Umístění se předpokládá např. v lokalitě Oderské vrchy, což je jedna z potenciálně vhodných lokalit pro instalaci MVE (viz kapitola 6.2.4), s průměrnou rychlostí větru cca 6 m/s a ročním osvitem cca 1 050 kWh/m². Předpokládá se, že fotovoltaická část elektrárny, pokud bude splňovat veškeré podmínky NZÚ, bude mít nárok na dotaci, i když je kombinována s malou větrnou elektrárnou. Splnění těchto podmínek je tedy žádoucí a patří mezi ně opět: roční využitelný zisk elektrické energie vyšší než 1 700 kWh, napojení na distribuční soustavu a využívání alespoň 70 % vyrobené elektřiny pro vlastní spotřebu. Jelikož zde budeme uvažovat využití akumulčních baterií, je opět nutno dodržet velikost lithiových akumulčních baterií 1.25 kWh na každý instalovaný kWp fotovoltaiky. Touto podmínkou se větrná část elektrárny řídit nemusí, ale jelikož je žádoucí mít bateriový systém raději předimenzovaný než poddimenzovaný, pro možnost akumulovat co největší množství energie, bude navržen na 5.9 kWh. Celkový instalovaný výkon hybridního systému bude navržen na 4.4 kW, z čehož fotovoltaická část tvoří 2.2 kW a větrná část 2 kW. V tomto případě není nutné instalovaný výkon systému příliš poddimenzovat, jelikož se nám při kombinaci FVE a MVE měsíční výroba elektřiny značně zrovnoměří. Přece jen v létě bude stále nižší odběr než v zimě, a proto opět není vhodné výrobu celého systému dimenzovat na celkovou spotřebu domu. Tím zamezíme přílišným přebytkům produkované elektřiny v letních měsících. Díky této výkonové úrovni fotovoltaického systému získáme nárok na dotaci NZÚ v hodnotě 60 000 Kč. Cílem bude opět využití veškeré vyprodukované elektřiny a tím pádem použití kvalitního hybridního střídače, i když v tomto případě by připadala v úvahu i částečná dodávka do sítě, a to z větrné části elektrárny, kvůli výhodným zeleným bonusům. Investice se značně navýší kvůli drahým bateriím, ve kterých budeme přebytky elektřiny skladovat pro pozdější využití. Účelem této elektrárny je zisk obnovitelného zdroje energie pro pokrytí vlastní spotřeby, který díky bateriím můžeme využívat i když slunce nesvíti, či vítr nefouká. Oproti samotným fotovoltaickým elektrárnám získáme mnohem stabilnější přísun elektřiny po celý rok. Minimalizujeme tím odběr elektřiny z distribuční sítě a budeme mít záložní zdroj při případném výpadku sítě.

Seznam použitých komponent v této variantě: 8x *Jinko Solar 275 W poly*; 1x *Cronimo CRWT2KWAB 2kW*; 2x *Victron Multiplus 24 V 1200VA sinus*; 2x *Regulátor Epsolar 4415 N MPPT 40 A 12 V-48 V*; 1x *Hybridní regulátor WWS-30-48-N00*; 1x *Pylontech US2000 Plus*; 1x *Pylontech US3000 Plus*; 1x *kabeláž pro spojení baterií*; nosná konstrukce; přepěťové ochrany

Kompletní ekonomické zhodnocení tohoto hybridního systému je provedeno níže:

| CAPEX | | |
|---|----|----------------|
| typ panelů | - | Jinko 275 |
| cena panelů na 1kW _p | Kč | 11 665 |
| cena panelů pro celk. výkon 2.2 kW _p | Kč | 25 664 |
| typ větrné turbíny | | CRWT 2 kW |
| cena turbíny | Kč | 89 980 |
| cena střídače | Kč | 49 280 |
| cena baterie | Kč | 61 735 |
| hybridní regulátor nabíjení | Kč | 23 900 |
| montážní doplňky | Kč | 12 269 |
| projektová dokumentace | Kč | 10 000 |
| instalace | Kč | 18 000 |
| Σ | Kč | 290 828 |

Tabulka 24 Hybridní systém - CAPEX

| Výpočet produkované elektřiny FVE | | |
|--|-------------------------|----------------|
| účinnost panelů | - | 0.17 |
| počet panelů | ks | 8 |
| plocha panelu | m ² | 1.6 |
| celková plocha panelů | m ² | 13.1 |
| degradace panelů | -/rok | 0.08 |
| účinnost střídače | - | 0.96 |
| účinnost transformátoru | - | 0.98 |
| osvit dané lokality | kWh/m ² /rok | 1050 |
| produkce elektřiny | kWh/rok | 2 042.7 |

Tabulka 25 Hybridní systém - výpočet produkované elektřiny FVE

| Výpočet produkované elektřiny MVE | | |
|--|---------|----------------|
| účinnost turbíny | - | 0.4 |
| průměr rotoru turbíny | m | 4.0 |
| počet turbín | - | 1.0 |
| účinnost převodovky | - | 0.98 |
| účinnost generátoru | - | 0.96 |
| průměrná rychlost větru dané lokality | m/s | 6 |
| produkce elektřiny | kWh/rok | 2 205.2 |

Tabulka 26 Hybridní systém - výpočet produkované elektřiny MVE

| Základní specifikace | | |
|------------------------------|-----------|---------|
| instalovaný výkon | [kW] | 4.2 |
| výkon FVE | [kW] | 2.2 |
| výkon MVE | [kW] | 2 |
| investice | [Kč] | 290 828 |
| výše dotace NZÚ | [Kč] | 60 000 |
| investice snížena o dotaci | [Kč] | 230 828 |
| vyrobená energie | [kWh/rok] | 4 248 |
| vlastní spotřeba elektřiny | [%] | 100% |
| dodávka elektřiny do sítě | [%] | 0% |
| cena EE při vlastní spotřebě | [Kč/kWh] | 4.73 |
| cena EE při dodávce do sítě | [Kč/kWh] | 0.3 |

Tabulka 27 Hybridní systém - základní specifikace elektrárny

| Pomocné hodnoty | | |
|------------------------|---------------------------|-------|
| Diskontní sazba | [%] | 5% |
| Růst ceny EE | [%] | 2% |
| Servis | [Kč/kW _p /rok] | 700 |
| Servis celkem | [Kč/rok] | 2 940 |
| Životnost | [rok] | 20 |

Tabulka 28 Hybridní systém - pomocné hodnoty

| Finanční analýza elektrárny | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Roky | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Investice | [Kč] | 230 828 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Úspora elektřiny spotřebou | [Kč/rok] | | 20 093 | 20 495 | 20 905 | 21 323 | 21 749 | 22 184 | 22 628 | 23 080 | 23 542 | 24 013 | 24 493 | 24 983 | 25 483 | 25 992 | 26 512 | 27 042 | 27 583 | 28 135 | 28 698 | 29 271 |
| Prodej elektřiny do sítě | [Kč/rok] | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Celkové "příjmy" | [Kč/rok] | | 20 093 | 20 495 | 20 905 | 21 323 | 21 749 | 22 184 | 22 628 | 23 080 | 23 542 | 24 013 | 24 493 | 24 983 | 25 483 | 25 992 | 26 512 | 27 042 | 27 583 | 28 135 | 28 698 | 29 271 |
| Náklady (servis) | [Kč/rok] | | 2 940 | 2 940 | 2 940 | 2 940 | 2 940 | 2 940 | 2 940 | 2 940 | 2 940 | 2 940 | 2 940 | 2 940 | 2 940 | 2 940 | 2 940 | 2 940 | 2 940 | 2 940 | 2 940 | 2 940 |
| Hrubý zisk (EBITDA) | [Kč/rok] | | 17 153 | 17 555 | 17 965 | 18 383 | 18 809 | 19 244 | 19 688 | 20 140 | 20 602 | 21 073 | 21 553 | 22 043 | 22 543 | 23 052 | 23 572 | 24 102 | 24 643 | 25 195 | 25 758 | 26 331 |
| CF | [Kč/rok] | -230 828 | 17 153 | 17 555 | 17 965 | 18 383 | 18 809 | 19 244 | 19 688 | 20 140 | 20 602 | 21 073 | 21 553 | 22 043 | 22 543 | 23 052 | 23 572 | 24 102 | 24 643 | 25 195 | 25 758 | 26 331 |
| Diskontované CF | [Kč/rok] | -230 828 | 16 336 | 15 923 | 15 518 | 15 123 | 14 737 | 14 360 | 13 992 | 13 632 | 13 280 | 12 937 | 12 602 | 12 274 | 11 955 | 11 643 | 11 339 | 11 042 | 10 752 | 10 469 | 10 193 | 9 924 |
| Kumulované CF | [Kč/rok] | -230 828 | -213 675 | -196 120 | -178 156 | -159 773 | -140 964 | -121 720 | -102 032 | -81 892 | -61 290 | -40 217 | -18 664 | 3 379 | 25 921 | 48 974 | 72 546 | 96 648 | 121 291 | 146 486 | 172 243 | 198 575 |
| Kumulované CF diskontované | [Kč/rok] | -230 828 | -214 492 | -198 569 | -183 051 | -167 927 | -153 190 | -138 830 | -124 838 | -111 206 | -97 926 | -84 989 | -72 388 | -60 113 | -48 158 | -36 515 | -25 177 | -14 135 | -3 384 | 7 085 | 17 278 | 27 202 |

Tabulka 29 Hybridní systém - finanční analýza elektrárny

| Hlavní výstupy analýzy | | |
|-------------------------|-------|--------|
| NPV | [Kč] | 27 202 |
| IRR | [%] | 6% |
| Prostá návratnost | [rok] | 11.7 |
| Diskontovaná návratnost | [rok] | 17.4 |

Tabulka 30 Hybridní systém - hlavní výstupy podrobné ekonomické analýzy

Hlavní výstupy ekonomické analýzy hybridního systému jsou značně horší než u všech variant jednotlivých fotovoltaických systémů. Celková investice do této kombinované elektrárny je výrazně vyšší (290 828 Kč), kvůli přidání drahé větrné turbíny, uvažování její výměny za životnost elektrárny (i se střídačem) a přidání hybridního nabíjecího regulátoru. Fotovoltaická část má nárok na dotaci 60 000 Kč, zatímco na větrnou část není dotace žádná. Celková roční produkce elektřiny činí 4 248 kWh/rok (17 153 Kč/rok s 3 % meziročním nárůstem), z čehož fotovoltaická část vyrobí 2 044 kWh/rok a větrná část vyrobí 2 205 kWh/rok. Vlivem těchto skutečností dosahují doby návratnosti již vysokých hodnot 11.7 let (prostá) a 17.4 let (diskontovaná). Je však nutno brát v potaz, že skutečné hodnoty návratnosti při realizaci systému se pravděpodobně prodlouží, kvůli marži firmy. Dalším důvodem prodloužení skutečných návratností bude již popsaná pravděpodobnost nemožnosti využití veškeré vyprodukované elektřiny. Vnitřní výnosové procento projektu činí pouhých 6 % a čistá současná hodnota 27 202 Kč. Důvodem nepříznivých ekonomických výsledků je drahá technologie větrných turbín s nízkou životností a absence dotací na větrnou energetiku. Jedná se však o poměrně stabilní zdroj elektrické energie a drasticky si tak snížíme nutný odběr ze sítě. Obrovským přínosem je vlastnictví nezávislého zdroje na rozvodové síti, jehož elektřinu můžeme díky bateriím využívat prakticky kdykoliv. Tuto variantu lze využít pouze pro domy s průměrnou roční spotřebou, které budou schopny veškerou vyprodukovanou elektřinu využít. Pokud by tomu tak nebylo, a část elektřiny by se musela odvádět do sítě, či by bylo nutné panely/větrnou turbínu občas odpojovat, ekonomika by se značně zhoršila. Přínosem je významný nezávislý zdroj elektřiny z obnovitelných zdrojů energie s poměrně vyrovnanou celoroční produkcí, a částečná nezávislost na distribuční síti.

6.5 Závěrečná doporučení

V této kapitole budou uvedena základní doporučení, vyplývající především ze získaných poznatků z ekonomických analýz, ale také z teoretické části práce. Jedná se o základní body, kterými je nutno se řídit při uvažování o výstavbě domácích fotovoltaických či malých větrných elektráren (případně kombinaci).

Fotovoltaické elektrárny

Co se technologie fotovoltaických panelů týče, neplatí zde, že čím efektivnější panel, tím lépe. Z ekonomického hlediska nejlépe vycházejí levné panely s minimální účinností, ale tato nízká účinnost většinou nespĺňuje podmínky pro získání dotace NZÚ, a navíc je zapotřebí značně vyšší celková plocha panelů. Je tedy žádoucí použití panelů „střední třídy“, které mají nejlepší poměr cena/výkon, splňují požadavky min. účinnosti na dotaci NZÚ a nevyžadují příliš velkou plochu pro naplnění požadovaného instalovaného výkonu.

Z hlediska využití vyprodukované elektřiny je vždy nejvýhodnější vlastní spotřeba, z důvodu minimálních výkupních cen při dodání do distribuční sítě.

Volba lokality umístění fotovoltaické elektrárny by se měla řídit mapou osvitů ČR. Rozdíly osvitů v jednotlivých lokalitách však u nás nejsou nijak dramatické, a proto lze instalaci doporučit kdekoli po ČR. Důležitým faktorem při volbě umístění elektrárny však je nežádoucí lokální ovlivnění, zejména stínění okolními objekty, či stromy. Pro maximalizaci roční výroby se doporučuje orientace panelů na jih a sklon panelů 35°, ale přípustné jsou odchylky od jihu až ± 45° a sklon v rozmezí 10-55° (čímž dojde ke snížení roční produkce pouze o cca 5 %). Natočením panelů na severovýchod však lze dosáhnout stabilnější celoroční produkce (i když celkové množství produkce se o něco sníží) a různými sklony panelů se mohou posouvat denní špičky výroby dle potřeby. Produkce v jednotlivých měsících se při různých sklonech panelů bude také značně měnit.

Legislativní požadavky na připojení elektrárny k distribuční síti se výrazně zmírňují při maximálním instalovaném výkonu elektrárny do 10 kW. Stále je však třeba uzavřít smlouvu s provozovatelem distribuční sítě, který nám připojení nemusí schválit. Proto je nejvýhodnější připojit elektrárnu jako mikrozdvoj, s tím, že musíme zamezit jakýmkoliv přetokům elektřiny do distribuční sítě. V tomto případě je provozovatel povinen naši elektrárnu připojit.

Jelikož malé fotovoltaické elektrárny jsou v ČR podporovány dotačním programem Nová Zelená Úsporám, je vždy žádoucí splnit veškeré požadavky tohoto dotačního systému a získat investiční dotaci na svou elektrárnu.

Z hlediska konkrétních instalací fotovoltaických elektráren je mnoho možností provedení (bez baterie, s baterií, ostrovní atd.). Vždy je třeba se řídit individuálními požadavky na elektrárnu a finančními možnostmi, ale je výhodné se řídit výše zmíněnými poznatky. Pro zajištění lepších ekonomických výsledků je při volbě instalovaného výkonu elektrárny také třeba dbát na úroveň dotací dle výkonu elektrárny a také na dostupné technologie (abychom nebyli nuceni koupit baterie či střídače za mnohem vyšší cenu, kvůli drobnému navýšení výkonu elektrárny). Jako nejvýhodnější se však jeví využití akumulčních baterií, což nám umožní větší uplatnění pro vyprodukovanou elektřinu, zálohu při výpadku sítě a vyšší úroveň dotací.

Celkově se fotovoltaické elektrárny v podmínkách ČR jeví jako poměrně efektivní instalace zdroje pro vlastní výrobu elektrické energie, využívající obnovitelného zdroje energie. Jejich atraktivnost je do značné míry ovlivněna dotačním titulem NZÚ, který by však měl dále pokračovat, a o jehož ukončení se v nejbližší době neuvažuje.

Malé větrné elektrárny

U větrných turbín jsou mnohem výhodnější technologie s horizontální osou rotace, které jsou typickým, poměrně efektivním a cenově dostupným typem, zatímco turbíny s vertikální osou rotace jsou předražené a nekonvenční. Větrné turbíny nejsou na českém trhu příliš rozšířené, dostupné turbíny většinou vyžadují rychlosti větru, které se na našem území běžně nevyskytují a jejich technologie je zatím příliš drahá. V zahraničí (především Německo) se už vyrábějí turbíny s mnohem většími rotory pro efektivní uplatnění v lokalitách s nízkými rychlostmi, které by u nás zcela jistě dosahovaly lepších výsledků, pokud by jejich cena nebyla příliš vysoká. Z těchto hledisek doporučuji s aplikací větrných turbín počkat, na zlevnění technologií a dostupnost těchto efektivnějších turbín i u nás.

Z hlediska využití vyprodukované elektřiny je samozřejmě opět nejvýhodnější vlastní spotřeba, z důvodu minimálních výkupních cen při dodání do distribuční sítě.

S volbou lokality pro umístění malé větrné elektrárny na území ČR je to značně horší než u elektráren fotovoltaických. Pro dostatečnou produkci elektrické energie větrnou elektrárnou jsou zapotřebí průměrné rychlosti větru, které se na našem území vyskytují jen zřídka (cca 5.5 m/s a výše). Lokality, kde je těchto rychlostí dosahováno, jsou znázorněny v povětrnostních mapách v kapitole [6.2.4](#). Většina těchto lokalit je však navíc chráněná či obtížně dostupná. Dále je třeba brát v potaz lokální ovlivnění proudění vzduchu, které může být způsobeno okolními objekty či vegetací, které rozvíří proudící vzduch, což je pro optimální funkci větrných turbín nežádoucí.

Legislativní požadavky jsou u větrných elektráren s instalovaným výkonem do 10 kW stejné jako u elektráren fotovoltaických.

Dotační tituly na podporu malé větrné energetiky v ČR bohužel neexistují, a v nejbližší době se ani žádné nové formy podpory nepřipravují.

Z výše popsaných faktů se instalace malých větrných elektráren na území ČR nejeví jako rozumná. Jejich instalace dosahují špatných ekonomických výsledků, především kvůli drahé technologii větrných turbín, nízké životnosti větrných turbín, nedostatečným rychlostem větru v ČR a nulové podpoře tohoto zdroje energie v ČR.

Kombinace fotovoltaické a malé větrné elektrárny

Při kombinaci těchto dvou typů elektráren je třeba u každé části dbát na výše zmíněná doporučení.

Tyto dva zdroje energie (slunce a vítr) se skvěle doplňují. Větrné elektrárny mají maximální produkci v zimě, zatímco fotovoltaické v létě. Navíc se doplňují i v průběhu dne, jelikož často když nesvítí slunce, fouká vítr a naopak. Touto kombinací tedy získáme mnohem stabilnější produkci elektrické energie než při aplikaci pouze jedné z těchto elektráren. Pokud bychom tedy chtěli být zásobeni pouze elektrickou energií z těchto obnovitelných zdrojů energie a zcela nezávislí na rozvodné síti, bylo by to díky tomuto hybridnímu systému možné, s použitím akumulčních baterií.

Co se ekonomických výsledků takovéto hybridní elektrárny týče, jednalo by se zcela jistě o zhoršení oproti samostatné fotovoltaické elektrárně, kvůli připojení méně ekonomické větrné elektrárny. Pokud by však tato skutečnost pro uživatele byla přijatelná, za cenu vyrovnání celoroční energetické produkce, dala by se elektrárna doporučit k realizaci.

7. Závěr

V rámci této diplomové práce byly nejdříve stručně uvedeny dva obnovitelné zdroje energie, sluneční záření a vítr, jejichž využitím se tato práce zabývá. Byl popsán jejich teoretický potenciál, úskalí, budoucí rozvoj a přístup České republiky k těmto zdrojům elektrické energie.

Teoretická část byla rozdělena na dvě hlavní kapitoly: fotovoltaika a malé větrné elektrárny. V rámci těchto kapitol byly obě tyto technologie, využívající obnovitelných zdrojů energie, detailně rozebrány. Nejdříve byl popsán základní princip, varianty připojení těchto elektráren a jednotlivé součásti elektráren, s důrazem na základní prvky (fotovoltaické panely a větrné turbíny), u kterých byli uvedeni i výrobci těchto technologií. Následovalo hlubší rozebrání všech aspektů ovlivňujících výrobu elektrické energie z těchto elektráren (výkonové křivky, mapy osvitů, mapy rychlostí větru, sklon a natočení panelů, degradace článků atd.). V rámci teoretické části byly také uvedeny legislativní požadavky a dotační tituly pro tyto typy elektráren.

Praktická část této diplomové práce byla provedena formou ekonomických analýz. Byla stanovena základní podmínka smysluplnosti instalace elektráren (návratnost menší než 15 let), podle které se v základních ekonomických analýzách určovaly lokality v ČR, ve kterých se vyskytují takové přírodní podmínky (roční hodnoty osvitů a průměrné rychlosti větru ve výšce 10 m nad zemí), které by umožnily splnění této podmínky. Vhodné lokality byly graficky znázorněny, a následně byly do analýzy zahrnuty dotační tituly, které umožnily rozšíření těchto lokalit. Dalším cílem základních ekonomických analýz bylo stanovení nejvýhodnějšího nakládání s produkovanou elektřinou a také určení technologií fotovoltaických panelů či větrných turbín s nejlepším poměrem cena/výkon. Získaných poznatků z těchto analýz bylo následně využito v podrobných ekonomických analýzách. U fotovoltaických elektráren byly provedeny podrobné analýzy tří konkrétních variant, které byly pečlivě navrhovány dle potřeb uživatelů a dle požadavků jak legislativy, tak i dotačního programu Nová Zelená Úsporám. U větrných elektráren se tyto analýzy vůbec neprováděly, kvůli nepříznivým ekonomickým výsledkům již v základních analýzách. V podrobných ekonomických analýzách byla zohledněna i varianta hybridního systému, která kombinuje fotovoltaickou a malou větrnou elektrárnu.

Ze získaných poznatků jak z části teoretické, tak z části praktické, byla vytvořena základní doporučení, která popisují vhodné postupy a důležité aspekty, jimiž by bylo dobré se řídit při uvažování o instalaci fotovoltaické či malé větrné elektrárny (případně kombinace).

Cíl diplomové práce, jímž bylo posouzení uplatnitelnosti malých fotovoltaických a větrných elektráren s instalovaným výkonem do 10 kW v okrajových podmínkách ČR, byl splněn.

Bibliografie

- [1] Fotovoltaika. *Tzb-info* [online]. b.r. [cit. 2018-03-30]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika>
- [2] BECHNÍK, Bronislav. Nejpoužívanější pojmy ve fotovoltaike. *Tzb-info* [online]. b.r. [cit. 2018-03-26]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaike>
- [3] Fotovoltaika. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaika>
- [4] Technologie: Fotovoltaika. In: *Isolar* [online]. 2009 [cit. 2018-03-26].
- [5] KUSALA, Jaroslav. Solární energie: Fotovoltaika. *ČEZ* [online]. b.r. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/solar.htm>
- [6] Fotočlánaek. In: *ČEZ* [online]. b.r. [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>
- [7] FOTOVOLTAIKA. *MINISTERSTVO PRO MÍSTNÍ ROZVOJ ČR* [online]. b.r. [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: https://www.mmr.cz/getmedia/b4a94988-32fd-4b69-a548-82a288467769/FVE-web_01_2014.pdf
- [8] BECHNÍK, Bronislav. Historie a perspektivy OZE - fotovoltaika, méně rozšířené technologie. *Tzb-info* [online]. b.r. [cit. 2018-03-26]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5517-historie-a-perspektivy-oze-fotovoltaika-mene-rozsirene-technologie>
- [9] BECHNÍK, Bronislav. Historie a perspektivy OZE - fotovoltaika, technologie krystalického křemíku. *Tzb-info* [online]. b.r. [cit. 2018-03-26]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5470-historie-a-perspektivy-oze-fotovoltaika-technologie-krystalickeho-kremiku>
- [10] LIBRA, M. a V. POULEK. Fotovoltaické články a panely jako prostředek k využití solární energie. *Agrojournal* [online]. b.r. [cit. 2018-03-26]. Dostupné z:

<https://www.agrojournal.cz/clanky/fotovoltaiicke-clanky-a-panely-jako-prostredek-k-vyuziti-solarni-energie-169>

- [11] *So/Sol: produkty* [online]. b.r. [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <http://solsol.cz/cs/>
- [12] Struktura fotovoltaického panelu. In: *Rdsolar* [online]. b.r. [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: <http://www.rdsolar.cz/sluzby/solarni-panely/>
- [13] VOJÁČEK, Antonín. Přehled trhu - fotovoltaické panely. *Tzb-info* [online]. b.r. [cit. 2018-04-01]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaiika/6093-prehled-trhu-fotovoltaiicke-panely>
- [14] Solární nabíječka. In: *Treking* [online]. b.r. [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <https://www.treking.cz/testy/solarni-nabijecky.htm>
- [15] Služby: ostrovní fotovoltaické elektrárny. *Rdsolar* [online]. b.r. [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: <http://www.rdsolar.cz/sluzby/ostrovni-fotovoltaiicke-elektrarny/>
- [16] Systém s přímým napájením. In: *Rdsolar* [online]. b.r. [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: http://www.rdsolar.cz/data/2013107_ostrov_primi.jpg
- [17] Systém s akumulací elektrické energie. In: *Rdsolar* [online]. b.r. [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: http://www.rdsolar.cz/data/2013107_ostrov_akum230v.jpg
- [18] *Small Wind Electric Systems: A Pennsylvania Consumer's Guide*. 2007. Dostupné také z: <https://www.nrel.gov/docs/fy07osti/42032.pdf>
- [19] Hybridní systém s akumulací elektrické energie. In: *Rdsolar* [online]. b.r. [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: http://www.rdsolar.cz/data/2013107_ostrov_hybrid.jpg
- [20] Systém pro vlastní spotřebu a prodej přebytků do sítě. In: *Amself sweb* [online]. b.r. [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: <http://amself.sweb.cz/fotovoltaiika.htm>
- [21] CZECH RE AGENCY, o.p.s., Fotovoltaický střídač - účinnost není vše. *Tzb-info* [online]. b.r. [cit. 2018-04-02]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaiika/5571-fotovoltaiicky-stridac-ucinnost-neni-vse>
- [22] KLIMEK, Petr a Bronislav BECHNÍK. Střídač pro fotovoltaickou elektrárnu. Jakou technologii zvolíte?. *Tzb-info* [online]. b.r. [cit. 2018-03-26]. ISSN 1801-4399. Dostupné

z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/9555-stridac-pro-fotovoltaickou-elektrarnu-jakou-technologiei-zvolite>

- [23] *FVE pro vlastní spotřebu o výkonu 4,13 kWp* [online]. b.r. [cit. 2019-03-17]. ISSN Solární experti. Dostupné z: <https://www.solarniexpert.cz/solarni-systemy/fotovoltaika/fotovoltaicka-elektrarna-fve-pro-vlastni-spotrebu-312-kwp/>
- [24] VOBOŘIL, David. Větrné elektrárny – princip, rozdělení, elektrárny v ČR. *Oenergetice* [online]. b.r. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/typy-elektraren/vetrne-elektrarny-princip-cinnosti-zakladni-rozdeleni/>
- [25] VOJÁČEK, Antonín. Větrné elektrárny - mikro, malé i velké - princip, provedení, regulace. *Hw: automatizace* [online]. b.r. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2006102901>
- [26] STUDENÍK, Jiří a Michal SVITAVSKÝ. *Energie větru, vody, biomasy* [online]. publi, 2014 [cit. 2018-04-15]. ISBN 978-80-88058-08-3. Dostupné z: <https://publi.cz/books/90/Cover.html>
- [27] HANSLIAN, David. Větrné podmínky pro malé větrné elektrárny. *Tzb-info* [online]. b.r. [cit. 2018-04-13]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/8358-vetrne-podminky-pro-male-vetrne-elektrarny>
- [28] BECKERS, Rob. The Truth About Small Wind Turbines. *Solacity* [online]. b.r. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://www.solacity.com/small-wind-turbine-truth/>
- [29] KOČ, Břetislav. Větrné elektrárny V. – Malé větrné elektrárny v ČR. *Tzb-info* [online]. b.r. [cit. 2018-04-13]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/14174-vetrne-elektrarny-v-male-vetrne-elektrarny-v-cr>
- [30] GIPE, Paul. Betz: Everything You Need to Know about Wind Turbines Was Written in 1927. *Wind-works* [online]. b.r. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: http://www.wind-works.org/cms/index.php?id=64&tx_ttnews%5Btt_news%5D=4757&cHash=4d029b7594485d4ad32d885690a4febe
- [31] Vrtule větrné elektrárny. In: *Elektronická učebnice* [online]. b.r. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2072>
- [32] GIPE, Paul. Darrieus and His Vertical-Axis Wind Turbines (VAWTs). *Wind-works* [online]. b.r. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: http://www.wind-works.org/cms/index.php?id=64&tx_ttnews%5Btt_news%5D=4757&cHash=4d029b7594485d4ad32d885690a4febe

works.org/cms/index.php?id=64&tx_ttnews%5Btt_news%5D=4756&cHash=0929180a80a5ebc62e619c3526b05554

- [33] *Větrné elektrárny: Malé větrné elektrárny AERPLAST s.r.o.* [online]. b.r. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://www.vetrne-elektrarny.eu/>
- [34] Obrázek síťového připojení. In: *Wind systems* [online]. b.r. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://www.wind-systems.eu/vertikalni-vetrne-turbiny-hivawt.php>
- [35] Obrázek samostatného systému. In: *Wind systems* [online]. 2002 [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://www.wind-systems.eu/vertikalni-vetrne-turbiny-hivawt.php>
- [36] Hybridní systém pouličního osvětlení. In: *Wind systems* [online]. b.r. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://www.wind-systems.eu/vertikalni-vetrne-turbiny-hivawt.php>
- [37] GIPE, Paul. Windtamer Ducted Wind Turbine Finally and Officially Kaput. *Wind-works* [online]. b.r. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: http://www.wind-works.org/cms/index.php?id=64&tx_ttnews%5Btt_news%5D=4254&cHash=21a7a99915bec896473c41631596fa1c
- [38] CASEY, Tina. Top Five Micro Wind Turbines – Remix!. *Cleantechnica* [online]. b.r. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://cleantechnica.com/2011/12/19/the-best-five-micro-wind-turbines-remix/>
- [39] *Bergey* [online]. b.r. [cit. 2018-04-24].
- [40] *AEOLOS Wind Turbine* [online]. b.r. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.windturbinestar.com/>
- [41] *XZERES Wind* [online]. 2010 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://windenergy.com>
- [42] Windräder. *Wind Turbine Trade* [online]. b.r. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.wtt-wind.de/windr%C3%A4der/>
- [43] Větrné elektrárny: Mikro větrné elektrárny. *Energyforever* [online]. 2010 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://energyforever.cz/cz/sluzby/vetrne-elektrarny/mikro-vetrne-elektrarny/>
- [44] Aeolos-V 10kW vertical wind turbine. In: *AEOLOS Wind Turbine* [online]. b.r. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.windturbinestar.com/10kwv-v-aeolos-wind-turbine.html>

- [45] Legislativa. *Informační portál Ministerstva průmyslu a obchodu* [online]. b.r. [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/cz/legislativa/>
- [46] DOUCHA, Pavel. Možnosti připojení domácí elektrárny v roce 2016. *Tzb-info* [online]. b.r. [cit. 2018-03-26]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13918-moznosti-pripojeni-domaci-elektrarny-v-roce-2016>
- [47] Fotovoltaická elektrárna na rodinný dům: Cena, dotace, jak postupovat. *Skrblik: Energie* [online]. b.r. [cit. 2018-11-16]. Dostupné z: <https://www.skrblik.cz/energie/elektrina/fotovoltaicka-elektrarna-na-rodinny-dum-navod-cena-dotace/>
- [48] NEČAS, Filip. Připojení fotovoltaické elektrárny do 10 kW do sítě. *Frank Bold Advokáti* [online]. b.r. [cit. 2018-11-06]. Dostupné z: <https://www.fbadvokati.cz/cs/clanky/405-pripojeni-fotovoltaicke-elektrarny-do-10-kw-do-site>
- [49] Nová zelená úsporám 2018: Dotace, podmínky, rady. *Skrblik: Energie* [online]. b.r. [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: <https://www.skrblik.cz/energie/teplo/nova-zelena-usporam/>
- [50] ZILVAR, Jiří. Příspěvek na fotovoltaiku pro rodinné domy v Nové zelené úsporám. *TZB info: Fotovoltaika* [online]. b.r. [cit. 2018-11-06]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/zelena-usporam-na-tzb-info/13476-prispevek-na-fotovoltaiku-pro-rodinne-domy-v-nove-zelene-usporam>
- [51] Nová zelená úsporám: Nabídka dotací. *Nová zelená úsporám* [online]. b.r. [cit. 2018-11-21]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/nabidka-dotaci/rodinne-domy-zdroje-energie/>
- [52] Nabídka dotací: Rodinné domy – zdroje energie. In: *Nová Zelená Úsporám* [online]. b.r. [cit. 2019-04-04].
- [53] Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory z podprogramu Nová zelená úsporám RODINNÉ DOMY v rámci 3. výzvy k podávání žádostí. In: *Nová Zelená Úsporám: dokumenty* [online]. b.r., s. 14-17 [cit. 2019-04-04].
- [54] *Státní fond životního prostředí České Republiky: Nová Zelená Úsporám* [online]. b.r. [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/nova-zelena-usporam/>

- [55] Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 3/2018. In: *Energetický Regulační Úřad* [online]. b.r., s. 9 [cit. 2019-04-25].
- [56] Podporované zdroje energie: Často kladené dotazy. *Energetický Regulační Úřad* [online]. b.r. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/poze/casto-kladene-dotazy#7>
- [57] Zelený bonus. *MojeEnergie* [online]. b.r. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <http://www.mojeenergie.cz/cz/zeleny-bonus>
- [58] Promotion of renewable energy act. In: *Danish Energy Agency* [online]. b.r. [cit. 2019-04-07].
- [59] *ASEKOL Solar s.r.o.* [online]. b.r. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.asekolsolar.cz/>
- [60] *REsolar s.r.o.* [online]. b.r. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.resolar.cz/cs>
- [61] Recyklace solárních panelů: účetní a daňové aspekty poplatku. *Solární novinky* [online]. b.r. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/?legislativa/2018051502/recyklace-solarnich-panelu-ucetni-a-danove-aspekty-poplatku>
- [62] Fotovoltaika v podmínkách České republiky. *ISO FEN ENERGY* [online]. b.r. [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/Slunecni-zareni-v-CR.aspx>
- [63] Teorie fotovoltaiky. *ISO FEN ENERGY* [online]. b.r. [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/fotovoltaika.aspx>
- [64] BECHNÍK, Bronislav. Optimální orientace a sklon fotovoltaických panelů. *TZB-info: obnovitelná energie* [online]. b.r. [cit. 2018-12-02]. ISSN ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/114865-optimalni-orientace-a-sklon-fotovoltaickych-panelu>
- [65] Fotovoltaické elektrárny. *Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů* [online]. b.r. [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: <http://www.spvez.cz/pages/OZE/fotovoltaika.htm>
- [66] ENERGIE SLUNCE - VÝROBA ELEKTRINY. *EkoWATT: obnovitelné zdroje energie* [online]. b.r. [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: <https://ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-slunce---vyroba-elektriny>

- [67] Větrná turbína. *Wikipedia* [online]. b.r. [cit. 2018-11-28]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C4%9Btrn%C3%A1_turb%C3%ADna
- [68] Betz's law. *Wikipedia* [online]. b.r. [cit. 2018-11-28]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Betz%27s_law
- [69] BECHNÍK, Bronislav. Roční využití výkonu větrných elektráren v České republice. *TZB-info* [online]. b.r. [cit. 2018-11-28]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/11077-rocni-vyuziti-vykonu-vetrnych-elektraren-v-ceske-republice>
- [70] Větrné elektrárny. *Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů* [online]. b.r. [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: <http://www.spvez.cz/pages/OZE/vitr.htm>
- [71] SYSTÉM VERTIKÁLNÍ VĚTRNÉ TURBÍNY MODEL: DS3000 Výkonová křivka. In: *Wind systems* [online]. b.r. [cit. 2018-11-28]. Dostupné z: <http://www.wind-systems.eu/specifikace-systemu-ds3000.php>
- [72] HANSLIAN, David. Větrné podmínky v České republice ve výšce 10 m nad povrchem I. *TZB-info: větrná energie* [online]. b.r. [cit. 2018-12-01]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/9770-vetrne-podminky-v-ceske-republice-ve-vysce-10-m-nad-povrchem-i>
- [73] *Povětrnostní mapa ČR: Průměrné rychlosti větru ve výšce 10 m nad zemí* [online]. In: . b.r. [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <http://www.adviseurmakelaar.nl/povetrnostni-mapa-cr/>
- [74] HANSLIAN, David. Větrné podmínky v České republice ve výšce 10 m nad povrchem II. *TZB-info: větrná energie* [online]. b.r. [cit. 2018-12-01]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/9800-vetrne-podminky-v-ceske-republice-ve-vysce-10-m-nad-povrchem-ii>
- [75] WEHRMANN, Benjamin. Monthly wind power generation in Germany. In: *Clean energy wire* [online]. b.r. [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/german-onshore-wind-power-output-business-and-perspectives>

- [76] MARKVART, Tomáš. Dimenzování hybridních systémů fotovoltaika-vítr. *TZB-info: obnovitelné zdroje energie* [online]. b.r. [cit. 2018-12-08]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/8747-dimenzovani-hybridnich-systemu-fotovoltaika-vitr>
- [77] Ceník elektřiny na dobu neurčitou 2019. In: *ČEZ: produkty a služby* [online]. b.r., s. 2 [cit. 2019-2-24].
- [78] *Stavba tzb-info: VÝPOČET EFEKTIVNOSTI ENERGETICKÝCH INVESTIC - NÁPOVĚDA* [online]. b.r. [cit. 2019-02-17]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: https://stavba.tzb-info.cz/docu/tabulky/0001/000110_help.html
- [79] SPOTŘEBA PALIV A ENERGIÍ V DOMÁCNOSTECH: Roční spotřeba elektřiny v domácnostech (bez ohledu na účel užití). In: *Český Statistický Úřad* [online]. b.r. [cit. 2019-04-04].
- [80] Komponenty větrné elektrárny. In: *Oenergetice* [online]. b.r. [cit. 2018-04-14]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/typy-elektraren/vetrne-elektrarny-princip-cinnosti-zakladni-rozdeleni/>
- [81] Větrník k anemometru. In: *Garni-meteo* [online]. b.r. [cit. 2018-04-14]. Dostupné z: <http://www.garni-meteo.cz/cz/eshop/bezdratova-cidla-a-nahradni-dily/nahradni-dily/292-vetrnik-ventus.html>
- [82] Energetický kontejner v provedení pro potřeby armády s větrnými elektrárnami SIMETI. In: *Tzb-info* [online]. b.r. [cit. 2018-04-14]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/14174-vetrne-elektrarny-v-male-vetrne-elektrarny-v-cr>
- [83] Horizontal axis wind turbine. In: *Govschoolagriculture* [online]. b.r. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <https://govschoolagriculture.com/tag/wind-turbines/>
- [84] Horizontal-axis small wind turbine / three-bladed. In: *Archiexpo* [online]. b.r. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://www.archiexpo.com/prod/fortis-wind-energy/product-109723-1386141.html>
- [85] Kleinwindanlage Savonius. In: *Projetos* [online]. b.r. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <https://projetos.de/windenergie.html>
- [86] Darrieus eggbeater style wind turbine. In: *Quora* [online]. b.r. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <https://www.quora.com/What-is-the-most-efficient-design-for-a-Darrieus-wind-turbine>

- [87] Beautiful Darrieus wind turbine. In: *Quora* [online]. b.r. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <https://www.quora.com/What-is-the-most-efficient-design-for-a-Darrieus-wind-turbine>
- [88] Air Breeze. In: *Energyforever* [online]. 2010 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://energyforever.cz/cz/sluzby/vetrne-elektrarny/mikro-vetrne-elektrarny/>
- [89] Skystream. In: *XZERES Wind* [online]. 2010 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://windenergy.com/products/skystream>
- [90] Větrná elektrárna AP7. In: *Vetrne-elektrarny: Malé větrné elektrárny AERPLAST s.r.o.* [online]. b.r. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.vetrne-elektrarny.eu/ap7/>

Seznam obrázků:

| | |
|---|----|
| Obrázek 1 Fotovoltaický článek [6]..... | 17 |
| Obrázek 2 Struktura fotovoltaického panelu [12]..... | 19 |
| Obrázek 3 Solární nabíječka [14]..... | 20 |
| Obrázek 4 Systém s přímým napájením [16]..... | 20 |
| Obrázek 5 Systém s akumulací elektrické energie [17] | 21 |
| Obrázek 6 Hybridní systém s akumulací elektrické energie [19]..... | 22 |
| Obrázek 7 Systém pro vlastní spotřebu a prodej přebytků do sítě [20]..... | 23 |
| Obrázek 8 Složení větrné elektrárny [80] | 25 |
| Obrázek 9 Odporová větrná turbína s lopatkami ve tvaru misek [81]..... | 27 |
| Obrázek 10 Odporová větrná turbína s natáčejícími se lopatkami [82]..... | 27 |
| Obrázek 11 Dvoulistá vrtule vztlakové větrné turbíny a princip rotace [31] | 28 |
| Obrázek 12 Malá HAWT [84] | 28 |
| Obrázek 13 Velké HAWT [83] | 28 |
| Obrázek 14 Větrná turbína Savonius [85]..... | 29 |
| Obrázek 15 Darrieus moderní [87] | 30 |
| Obrázek 16 Darrieus klasický [86]..... | 30 |
| Obrázek 17 On-grid malá větrná elektrárna [34]..... | 31 |
| Obrázek 18 Přímé napájení malé větrné elektrárny [35]..... | 32 |
| Obrázek 19 Hybridní systém s akumulátorem [36] | 32 |
| Obrázek 20 Malá větrná turbína AP7 [90] | 33 |
| Obrázek 21 Větrná turbína Skystream 3.7 [89]..... | 34 |
| Obrázek 22 Větrná turbína AirBreeze [88]..... | 34 |
| Obrázek 23 Vertikální turbína AEOLOS 10kW [44] | 35 |
| Obrázek 24 Větrná turbína Tozzi Nord - TN 535 | 36 |
| Obrázek 25 Mapa ročního osvětlení na území ČR [62] | 44 |
| Obrázek 26 Roční doba svitu slunečního záření na území ČR [62]..... | 45 |
| Obrázek 27 Průměrné rychlosti větru na území ČR ve výšce 10 m nad zemí [73]..... | 51 |
| Obrázek 28 Mapa ročního osvětlení na území ČR [62] | 62 |
| Obrázek 29 Lokality ČR splňující požadované rychlosti větru pro návratnost 15 let [73] | 65 |
| Obrázek 30 Lokality ČR splňující požadované rychlosti větru pro návratnost 15 let při zavedení dotace [73]..... | 67 |

Seznam tabulek:

| | | |
|------------|---|----|
| Tabulka 1 | Hodnoty investičních dotací programu NZÚ na FVE [52] | 39 |
| Tabulka 2 | Základní ekonomická analýza fotovoltaických elektráren | 61 |
| Tabulka 3 | Základní ekonomická analýza fotovoltaických elektráren se zahrnutím dotace | 63 |
| Tabulka 4 | Základní ekonomická analýza větrných elektráren | 64 |
| Tabulka 5 | Základní ekonomická analýza větrných elektráren se zahrnutím potenciální dotace | 66 |
| Tabulka 6 | Varianta 1 - CAPEX | 74 |
| Tabulka 7 | Varianta 1 - výpočet produkované elektřiny | 74 |
| Tabulka 8 | Varianta 1 - základní specifikace elektrárny | 74 |
| Tabulka 9 | Varianta 1 - pomocné hodnoty | 74 |
| Tabulka 10 | Varianta 1 - finanční analýza elektrárny | 75 |
| Tabulka 11 | Varianta 1 - hlavní výstupy podrobné ekonomické analýzy | 76 |
| Tabulka 12 | Varianta 2 - CAPEX | 78 |
| Tabulka 13 | Varianta 2 - výpočet produkované elektřiny | 78 |
| Tabulka 14 | Varianta 2 - základní specifikace elektrárny | 78 |
| Tabulka 15 | Varianta 2 - pomocné hodnoty | 78 |
| Tabulka 16 | Varianta 2 - finanční analýza elektrárny | 79 |
| Tabulka 17 | Varianta 2 - hlavní výstupy podrobné ekonomické analýzy | 80 |
| Tabulka 18 | Varianta 3 - CAPEX | 82 |
| Tabulka 19 | Varianta 3 - výpočet produkované elektřiny | 82 |
| Tabulka 20 | Varianta 3 - základní specifikace elektrárny | 82 |
| Tabulka 21 | Varianta 3 - pomocné hodnoty | 82 |
| Tabulka 22 | Varianta 3 - finanční analýza elektrárny | 83 |
| Tabulka 23 | Varianta 3 - hlavní výstupy podrobné ekonomické analýzy | 84 |
| Tabulka 24 | Hybridní systém - CAPEX | 88 |
| Tabulka 25 | Hybridní systém - výpočet produkované elektřiny FVE | 88 |
| Tabulka 26 | Hybridní systém - výpočet produkované elektřiny MVE | 88 |
| Tabulka 27 | Hybridní systém - základní specifikace elektrárny | 89 |
| Tabulka 28 | Hybridní systém - pomocné hodnoty | 89 |
| Tabulka 29 | Hybridní systém - finanční analýza elektrárny | 90 |
| Tabulka 30 | Hybridní systém - hlavní výstupy podrobné ekonomické analýzy | 91 |

Seznam grafů:

| | |
|---|----|
| Graf 1 Instalovaný výkon realizovaných fotovoltaických projektů v rámci NZÚ [54] | 40 |
| Graf 2 Alokace ročních finančních prostředků programu NZÚ [49]..... | 41 |
| Graf 3 Roční průběh přímého a difuzního záření na území ČR [63] | 45 |
| Graf 4 Výnos energie FVE panelů vlivem sklonu a orientace panelů [64]..... | 46 |
| Graf 5 Roční výroba fotovoltaické elektrárny, včetně vlivu sklonu panelů [66]..... | 47 |
| Graf 6 Výkonová křivka malé větrné turbíny [71] | 50 |
| Graf 7 Typická větrná růžice pro ČR [27] | 52 |
| Graf 8 Četnostní a Weibullovo rozdělení rychlostí větru [74] | 52 |
| Graf 9 Měsíční produkce elektřiny větrných elektráren v Německu [75] | 53 |
| Graf 10 Měsíční hodnoty průměrné denní výroby elektřiny fotovoltaických a větrných elektráren [76]..... | 54 |